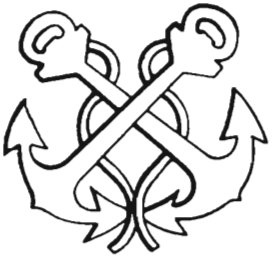
ΑΝΩΤΕΡΕΣ ΔΗΜΟΣΙΕΣ ΣΧΟΛΕΣ
ΕΜΠΟΡΙΚΟΥ ΝΑΥΤΙΚΟΥ
ΑΣΥΡΜΑΤΙΣΤΩΝ

ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΗ

Ιωάννου Κ. Πίτλιγγερ
ΚΑΘΗΓΗΤΟΥ ΑΔΣΕΝ ΡΑΔΙΟΗΛΕΚ/ΓΟΥ

ΙΔΡΥΜΑ ΕΥΓΕΝΙΔΟΥ

ΧΡΥΣΟΥΝ ΜΕΤΑΛΛΙΟΝ ΑΚΑΔΗΜΙΑΣ ΑΘΗΝΩΝ



ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΚΕΙΜΕΝΟ

Α.Δ.Σ.Ε.Ν.

ΥΠΟΥΡΓΕΙΟΥ ΕΜΠΟΡΙΚΗΣ ΝΑΥΤΙΛΙΑΣ

ΠΡΟΛΟΓΟΣ ΙΔΡΥΜΑΤΟΣ

Ο Ευγένιος Ευγενίδης ιδρυτής και χορηγός του «Ιδρύματος Ευγενίδου» προείδε ενωρίτατα και σχημάτισε τη βαθιά πεποίθηση ότι αναγκαίο παράγοντα για την πρόοδο του έθνους θα αποτελούσε η άρτια κατάρτιση των τεχνικών μας σε συνδυασμό προς την ηθική τους αγωγή.

Την πεποίθησή του αυτή τη μετέτρεψε σε γενναία πράξη ευεργεσίας, όταν κληροδότησε σεβαστό ποσό για τη σύσταση Ιδρύματος που θα είχε ως σκοπό να συμβάλει στην τεχνική εκπαίδευση των νέων της Ελλάδας.

Με το Β. Διάταγμα της 10ης Φεβρουαρίου 1956, συνεστήθη το Ίδρυμα Ευγενίδου και κατά την επιθυμία του διαθέτη του ανέλαβε τη διοίκηση η αδελφή του Κυρία Μαρ. Σίμου. Από τη στιγμή εκείνη άρχισαν πραγματοποιούμενοι οι σκοποί που οραματίσθηκε ο Ευγένιος Ευγενίδης και συγχρόνως η εκπλήρωση μιάς από τις βασικότερες ανάγκες του εθνικού μας βίου.

Κατά την κλιμάκωση των σκοπών του, το Ίδρυμα πρόταξε την έκδοση τεχνικών βιβλίων τόσο για λόγους θεωρητικούς όσο και πρακτικούς. Διαπιστώθηκε πράγματι ότι αποτελεί πρωταρχική ανάγκη ο εφοδιασμός των μαθητών με σειρές από βιβλία, τα οποία θα έθεταν ορθά θεμέλια στην παιδεία τους και θα αποτελούσαν συγχρόνως πολύτιμη βιβλιοθήκη για κάθε τεχνικό.

Ειδικότερα, όσον αφορά στα εκπαιδευτικά βιβλία των μαθητών των Δημοσίων Σχολών Εμπορικού Ναυτικού, το Ίδρυμα ανέλαβε την έκδοσή τους σε πλήρη και στενή συνεργασία με τη Διεύθυνση Ναυτικής Εκπαιδεύσεως του Υπουργείου Εμπορικής Ναυτιλίας, υπό την εποπτεία του οποίου υπάγονται οι Σχολές αυτές.

Η ανάθεση στο Ίδρυμα έγινε με την υπ' αριθ. 61288/5031, της 9ης Αυγούστου 1966, απόφαση του Υπουργείου Εμπορικής Ναυτιλίας, οπότε και συγκροτήθηκε και η Επιτροπή Εκδόσεων.

Κύριος σκοπός τῶν ἐκδόσεων αὐτῶν εἶναι ἡ παροχή πρός τούς μαθητές τῶν ναυτικῶν σχολῶν ΑΔΣΕΝ καί Ναυτικῶν Λυκείων τῶν ἀναγκαίων ἐκπαιδευτικῶν κειμένων, τά ὁποῖα ἀντιστοιχοῦν πρός τά μαθήματα πού διδάσκονται στίς Σχολές αὐτές.

Ἐπίσης ἐλήφθη πρόνοια, ὥστε τά βιβλία αὐτά νά εἶναι γενικότερα χρήσιμα γιά ὅλους τούς ἀξιωματικούς τοῦ Ἐμπορικοῦ Ναυτικοῦ, πού ἀσκοῦν ἤδη τό ἐπάγγελμα καί ἐξελίσσονται στήν ἱεραρχία τοῦ κλάδου τους, χωρίς αὐτό νά σημαίνει ὅτι ἐπέρχεται μεταβολή στή στάθμη τοῦ περιεχομένου τους.

Οι συγγραφείς και η Επιτροπή Εκδόσεων του Ιδρύματος κατέβαλαν κάθε προσπάθεια, ώστε τα βιβλία να είναι επιστημονικώς άρτια αλλά και προσαρμοσμένα στις ανάγκες και τις δυνατότητες των μαθητών. Γι' αυτό και τα βιβλία αυτά έχουν γραφεί σε απλή γλώσσα και ανάλογη προς τη στάθμη της εκπαιδεύσεως για την οποία προορίζεται κάθε σειρά των βιβλίων.

Έτσι προσφέρονται στο ευρύ κοινό των καθηγητών, των μαθητών της ναυτικής μας εκπαιδεύσεως και όλους τους αξιωματικούς τού Ε.Ν. οι εκδόσεις του Ιδρύματος, των οποίων η συμβολή στην πραγματοποίηση του σκοπού του Ευγενίου Ευγενίδου ελπίζεται να είναι μεγάλη.

ΕΠΙΤΡΟΠΗ ΕΚΔΟΣΕΩΝ ΙΔΡΥΜΑΤΟΣ ΕΥΓΕΝΙΔΟΥ

Μιχαήλ Γ. Αγγελόπουλος, καθηγητής ΕΜΠ, Πρόεδρος.
Αλέξανδρος Σταυρόπουλος, καθηγητής Α.Β.Σ. Πειραιώς, Αντιπρόεδρος.
Ιωάννης Τεγόπουλος, καθηγητής ΕΜΠ.
Γεώργιος Β. Γρηγοράκος, Αρχιπλοίαρχος Λ.Σ., Διευθ. Ναυτ. Εκπ. Υ.Ε.Ν.
Σύμβουλος επί των εκδόσεων του Ιδρύματος **Κωνστ. Α. Μανάφης,** καθηγητής Φιλοσοφικής Σχολής Παν/μίου Αθηνών.
Γραμματέας της Επιτροπής, **Γεώργιος Σ. Ανδρεάκος.**

Ειδικός Επιστημονικός Σύμβουλος για το βιβλίο Ηλεκτρονική ο κ. **Νικόλαος Κων. Ουζούνογλου,** Δρ **Ηλεκτρον**ικός Μηχανικός, Υφηγητής Ε.Μ.Π.

Ι Δ Ρ Υ Μ Α Ε Υ Γ Ε Ν Ι Δ Ο Υ
ΒΙΒΛΙΟΘΗΚΗ ΤΟΥ ΝΑΥΤΙΚΟΥ

ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΗ

(ΕΙΔΙΚΟΤΗΤΑΣ ΑΣΥΡΜΑΤΙΣΤΩΝ)

ΙΩΑΝΝΟΥ ΚΩΝ/ΝΟΥ ΠΙΤΛΙΓΓΕΡ
ΚΑΘΗΓΗΤΟΥ ΑΔΣΕΝ-ΡΑΔΙΟΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΟΥ

ΑΘΗΝΑ
1988

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Το βιβλίο αυτό γράφτηκε για τους δευτεροετείς σπουδαστές δοκίμους Ασυρματιστές των ΑΔΣΕΝ σύμφωνα με την αντίστοιχη ύλη του αναλυτικού προγράμματος του Υπουργείου Εμπορικής Ναυτιλίας, η οποία αποτελεί στοιχείο της ραδιοηλεκτρολογίας, στον τομέα των ραδιοεπικοινωνιών.

Έγινε προσπάθεια να αποδοθεί περισσότερο ο τρόπος λειτουργίας των διαφόρων κυκλωμάτων και βαθμίδων παρά η μαθηματική ανάλυση αυτών, γιατί σκοπός του βιβλίου δεν είναι ο υπολογισμός των βαθμίδων αλλά η κατανόηση του τρόπου λειτουργία τους. Έτσι ο σπουδαστής θα έχει την ευκαιρία να γνωρίσει πώς λειτουργούν οι συσκευές του άμεσου περιβάλλοντός του που είναι κυρίως οι πομποί και οι δέκτες, πώς γίνονται οι ραδιοεπικοινωνίες και έτσι όταν παρουσιαστεί ανάγκη να μπορεί να προσφέρει τη βοήθειά του στις ηλεκτρονικές του συσκευές.

Στο βιβλίο δίνεται η εικόνα των συσκευών παλαιότερης τεχνολογίας με τις λυχνίες, αλλά και της νεότερης Τεχνολογίας με τα τρανζίστορ και τα ολοκληρωμένα κυκλώματα. Αυτό κρίνεται σκόπιμο γιατί η αρχή λειτουργίας είναι ίδια τόσο στα κυκλώματα με λυχνίες όσο και στα κυκλώματα με τρανζίστορ, αλλά και γιατί υπάρχουν συσκευές ακόμη με λυχνίες και συσκευές σύγχρονης τεχνολογίας. Σε ένα σύγχρονο πομποδέκτη μπορεί να συνυπάρχουν λυχνίες, τρανζίστορ και ολοκληρωμένα κυκλώματα σε μια αρμονική συνεργασία.

Το πλήθος των κυκλωμάτων και των παραδειγμάτων έχουν σκοπό να εξοικειώσουν το σπουδαστή με τα πιο σύνθετα κυκλώματα που θα συναντήσει στις διάφορες ηλεκτρονικές συσκευές της αρμοδιότητάς του.

Ελπίζω ότι το βιβλίο θα εξυπηρετήσει τις ανάγκες προόδου των σπουδαστών που είναι ο σκοπός της εκδόσεώς του, γιατί έλειπε ένα τέτοιο βιβλίο που να καλύπτει το πλήρες πρόγραμμα της αναλυτικής ύλης.

Επιθυμώ και από τη θέση αυτή να ευχαριστήσω τον Υφηγητή του Ε.Μ.Π κ. Νικόλαο Ουζούνογλου για τη συμβολή του στην πληρέστερη συγγραφή του βιβλίου. Επίσης ευχαριστώ θερμά και τους συνεργάτες του Τμήματος Εκδόσεων του Ιδρύματος Ευγενίδου για τη βοήθειά τους στην όσο το δυνατό άρτια έκδοση του βιβλίου.

Ο Συγγραφέας

ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΗ ΡΑΔΙΟΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΙΑ

Η ηλεκτρονική είναι η επιστήμη με τη μεγαλύτερη εξέλιξη τις τελευταίες δεκαετίες. Από τις απλές εφαρμογές στις τηλεπικοινωνίες και το ραδιόφωνο, αρχικά, εξυπηρετεί σήμερα πολλούς άλλους τομείς και συμβάλλει στή ανάπτυξή τους, όπως π.χ. στη βιομηχανία με τους αυτοματισμούς και τους ηλεκτρονικούς υπολογιστές, την ιατρική με τα ηλεκτρονικά ιατρικά μηχανήματα, τη ναυτιλία με τα ναυτικά ηλεκτρονικά όργανα και συσκευές, τις τηλεπικοινωνίες, τα μέσα ενημερώσεως, τις στρατιωτικές υπηρεσίες κλπ.

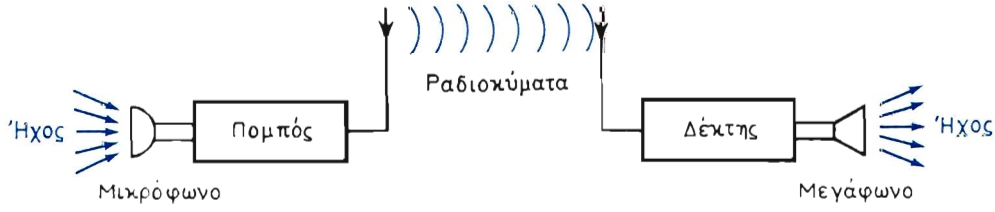
Για την εξυπηρέτηση όλων αυτών των τομέων, η ηλεκτρονική έχει χωρισθεί σε πολλούς κλάδους. Ένας από αυτούς είναι η ***ραδιοηλεκτρολογία*** που ασχολείται με τις μεθόδους επικοινωνίας και μεταδόσεως πληροφοριών σε μεγάλες αποστάσεις με τη χρήση των ραδιοκυμάτων.

Για τις τηλεπικοινωνίες υπάρχουν δύο βασικοί τρόποι:

Η ***ενσύρματη επικοινωνία,*** που χρησιμοποιεί αγωγούς (σύρματα) για τη σύνδεση των δύο σημείων επικοινωνίας και η ***ασύρματη*** ή ***ραδιοεπικοινωνία,*** όπου αντί για σύρματα χρησιμοποιούνται ραδιοκύματα.

Η μετάδοση πληροφοριών στην ξηρά από μια θέση σε μια άλλη, μπορεί να γίνει και με τις δύο μεθόδους. Η επικοινωνία όμως μεταξύ των πλοίων και αυτών με την ξηρά ή μεταξύ αεροπλάνων και αυτών με επίγειους σταθμούς γίνεται αποκλειστικά με τα ραδιοκύματα.

Μια απλή και γνωστή μέθοδος ασύρματης επικοινωνίας είναι το ***ραδιόφωνο.*** Ο ραδιοφωνικός σταθμός, που είναι ένας πομπός μεγάλης σχετικά ισχύος, εκπέμπει τα ραδιοκύματα που περιέχουν τη μουσική ή την ομιλία, κατάλληλα διαμορφωμένη. Σε κάποια θέση μακριά από τον πομπό υπάρχει ο δέκτης (ή οι δέκτες) που διεγείρεται από τα ραδιοκύματα, τα ενισχύει, τα μετατρέπει και τα αποδίδει από το μεγάφωνο (σχ. 1).

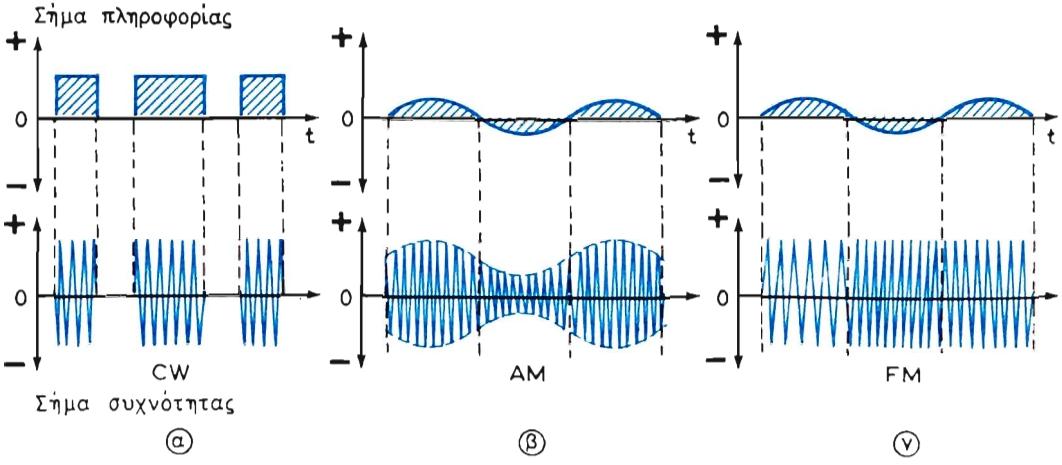


Σχ. 1.
Τρόπος απλής ραδιοεπικοινωνίας.

Ο πομπός είναι ένα ηλεκτρονικό συγκρότημα που σκοπό έχει να μετατρέπει κατάλληλα την ομιλία ή τη μουσική και να την εκπέμπει σε μεγάλη απόσταση σαν ηλεκτρομαγνητικό κύμα. Για το σκοπό αυτό παράγει με τη βοήθεια του ταλαντωτή

ρεύμα υψηλής συχνότητας, απαραίτητο για το φαινόμενο της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας, απορροφώντας ηλεκτρική ενέργεια από μπαταρίες ή από το ηλεκτρικό δίκτυο. Το ρεύμα της υψηλής συχνότητας, αφού ενισχυθεί έτσι ώστε να έχει υψηλή ισχύ, κωδικοποιείται κατάλληλα με μια αντίστοιχη μέθοδο διαμορφώσεως, οδηγείται στην κεραία και από εκεί εκπέμπεται.

Η απλούστερη μέθοδος κωδικοποιήσεως πληροφοριών είναι αυτή που χρησιμοποιείται στη ραδιοτηλεγραφία, όπου το ρεύμα υψηλής συχνότητας διακόπτεται και αποκαθίσταται στο ρυθμό του μορσικού αλφαβήτου. Η μέθοδος αυτή είναι γνωστή και ως ***CW*** (continuous wave) ή ***A1*** [σχ. 2(α)].



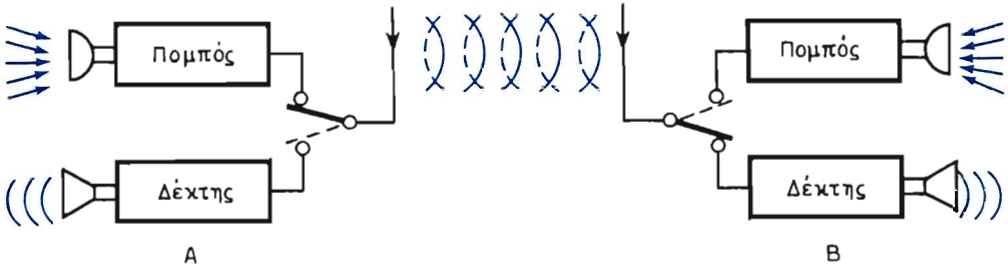
Σχ. 2.
Κυματομορφές για διάφορες μεθόδους διαμορφώσεως.

Άλλη απλή μέθοδος είναι η ***διαμόρφωση πλάτους AM*** (amplitude modulation), όπου το πλάτος του ρεύματος υψηλής συχνότητας μεταβάλλεται στο ρυθμό της ομιλίας ή της μουσικής [σχ. 2(β)]. Αυτή η μέθοδος χρησιμοποιείται στη ραδιοτηλεφωνία και ραδιοφωνία και είναι γνωστή και ως ***διαμόρφωση A2.***

Μια άλλη μέθοδος είναι η ***διαμόρφωση συχνότητας FM*** (frequency modulation), όπου η συχνότητα του ρεύματος υψηλής συχνότητας δεν είναι σταθερή, αλλά μεταβάλλεται σε συνάρτηση με την ομιλία ή τη μουσική [σχ. 2(γ)]. Η μέθοδος αυτή εφαρμόζεται στη ραδιοφωνία και την τηλεφωνία.

Στην πράξη χρησιμοποιούνται και άλλες μέθοδοι διαμορφώσεως, όπως είναι το ***SSB*** για την επικοινωνία των πλοίων, η ***παλμοχρονική διαμόρφωση PTM*** και ***PCM*** που χρησιμοποιείται από τον ΟΤΕ για μεγάλο αριθμό ανταποκριτών κλπ. Το κωδικοποιημένο ρεύμα υψηλής συχνότητας, με ανάλογη ισχύ, θα οδηγηθεί στην κεραία του πομπού που είναι το τελευταίο τμήμα του συγκροτήματος. Η κεραία θα μετατρέψει την ηλεκτρική ενέργεια υψηλής συχνότητας σε ενέργεια ηλεκτρομαγνητικού πεδίου, που θα μεταδοθεί με την ταχύτητα του φωτός και θα φθάσει στην κεραία του δέκτη.

Εκεί το ηλεκτρομαγνητικό κύμα θα μετατραπεί σε ηλεκτρικό ρεύμα πάρα πολύ μικρής ισχύος σε σχέση προς την ισχύ που εκπέμπει ο πομπός. Ο δέκτης, με ένα σύστημα επιλογής συντονιζομένων κυκλωμάτων, θα επιλέξει το μικρό ρεύμα αντί-



Σχ. 3.
Τρόπος ραδιοεπικοινωνίας με πομποδέκτες (T/R).

στοιχης συχνότητας, θα το ενισχύσει, θα το αποκωδικοποιήσει και θα το μετατρέψει σε ήχο με το μεγάφωνο ή τα ακουστικά.

Για τη ραδιοεπικοινωνία των πλοίων μεταξύ τους και με την ξηρά για ανταλλαγή πληροφοριών, υπάρχουν τα σύνθετα συγκροτήματα πομποδεκτών, για κάθε θέση. Για κάθε συγκρότημα υπάρχει συνήθως μία κοινή κεραία, η οποία με ένα διακόπτη μεταφέρεται κατά την εκπομπή στον πομπό, ενώ κατά τη λήψη μεταφέρεται στο δέκτη (σχ. 3).

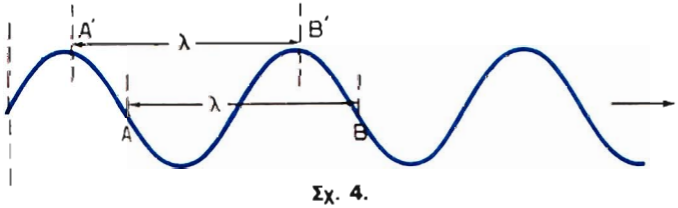
Τα ραδιοκύματα ή ηλεκτρομαγνητικά κύματα (hertzian waves) αποτελούν συνύπαρξη ηλεκτρικού και μαγνητικού πεδίου, το οποίο σχηματίζεται στην κεραία του πομπού όταν αυτή τροφοδοτείται με ρεύμα υψηλής συχνότητας. Τα ραδιοκύματα μοιάζουν με τα κύματα του φωτός, αλλά έχουν πολύ μικρότερη συχνότητα από αυτά και διαδίδονται με την ίδια ταχύτητα, δηλαδή 300 000 000 μέτρα στο δευτερόλεπτο.

Το κάθε ραδιοκύμα χαρακτηρίζεται από τη συχνότητά του, που είναι ίδια με τη συχνότητα του ρεύματος που το παράγει, και από το μήκος κύματος. Το μήκος κύματος λ αντιπροσωπεύει την απόσταση που καλύπτει σε μια πλήρη εναλλαγή του καθώς διαδίδεται στο χώρο, δηλαδή από A ως B ή A΄ ως B΄ στο σχήμα 4.

Το μήκος κύματος είναι η περίοδος του σήματος στο χώρο. Μετράται σε μέτρα και δίνεται απο τη σχέση:

$$\lambda = \frac{C}{F}$$

όπου C η ταχύτητα του φωτός και F η συχνότητα του ρεύματος Υ.Σ. του πομπού.

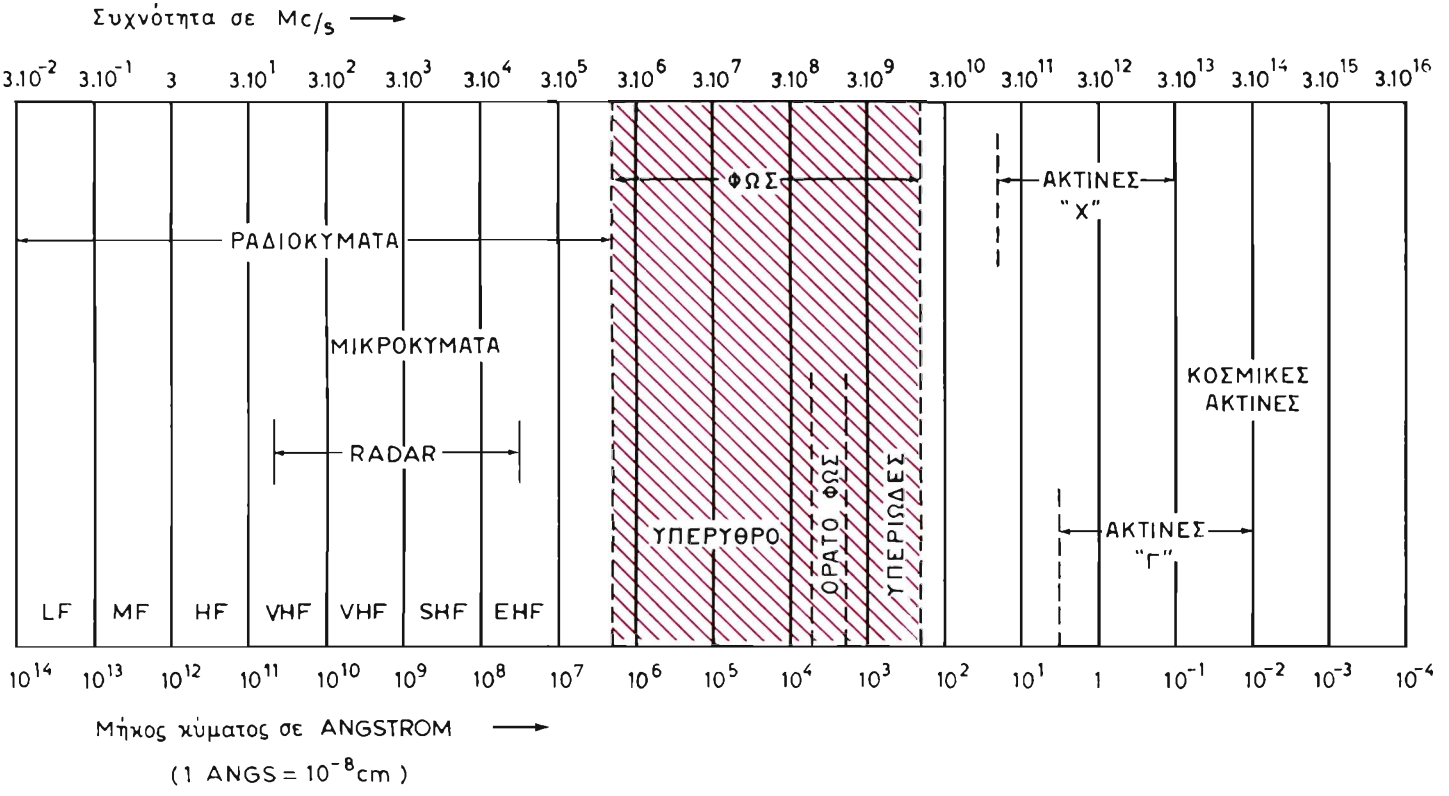


Σχ. 4.
Το μήκος κύματος λ.

΄Ενας πομπός με συχνότητα 500 kc/s έχει μήκος κύματος

$$\lambda = \frac{C}{F} = \frac{300\,000\,000\ \mu/s}{500\,000\ c/s} = 600\ \text{μέτρα ανά κύκλο ή περίοδο}$$

ΠΙΝΑΚΑΣ ΗΛΕΚΤΡΟΜΑΓΝΗΤΙΚΟΥ ΦΑΣΜΑΤΟΣ



Τα ραδιοκύματα, ανάλογα με τη συχνότητά τους ή το μήκος κύματος, χωρίζονται στις παρακάτω περιοχές:

- Χαμηλές συχνότητες (LF) 30-300 kc/s ή μακρά κύματα (LW) 10000-1000m
- Μεσαίες συχνότητες (MF) 300-3000 kc/s ή μεσαία κύματα (MW) 1000 - 100 m
- Υψηλές συχνότητες (HF) 3-30 Mc/s ή βραχέα κύματα (SW) 100-10 m
- Πολύ υψηλές συχνότητες (VHF) 30-300 Mc/s ή υπερβραχέα κύματα 10-1 m
- Πάρα πολύ υψηλές συχνότητες (UHF) 300-3000 Mc/s ή μικροκύματα 1 m - 10 cm
- Υπερυψηλές συχνότητες (SHF) 3-30 Gc/s ή μικροκύματα 10-1 cm
- Εξαιρετικά υψηλές συχνότητες (EHF) 30-300 Gc/s ή μικροκύματα 1-0,1 cm

Τα μακρά κύματα χρησιμοποιούνται για ειδικούς σκοπούς, όπως, για την εκπομπή μετεωρολογικών ανακοινώσεων, στα διάφορα συστήματα ραδιοναυτιλίας (Loran - Deca - Ραδιογωνιόμετρα) και στις πολύ χαμηλές συχνότητες στην περιοχή των 10 kc για μετάδοση σημάτων σε υποβρύχια που βρίσκονται σε κατάδυση (σύστημα Omega).

Τα μεσαία από 300 ως 530 kc/s χρησιμοποιούνται στη ναυτιλία και στους 500 kc/s εκπέμπεται το σήμα κινδύνου. Από 550 kc/s ως 1650 kc/s έχομε εκπομπή ραδιοφωνίας.

Τα βραχέα χρησιμοποιούνται για τη ραδιοφωνία και για την επικοινωνία των πλοίων, σε CW και τηλεφωνία.

Τα πολύ βραχέα χρησιμοποιούνται για τηλεφωνία, ραδιοφωνία-τηλεόραση και στην πολιτική αεροπορία.

Τα εξαιρετικά βραχέα κύματα χρησιμοποιούνται για την τηλεόραση (UHF) και για τις επικοινωνίες του ΟΤΕ και τα μικροκύματα στα RADAR και διάφορες έρευνες.

Το πλήρες φάσμα των ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων από τις χαμηλές συχνότητες ως την κοσμική ακτινοβολία φαίνεται στον πίνακα.

ΙΔΡΥΜΑ ΕΥΓΕΝΙΔΟΥ 1958

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΠΡΩΤΟ

ΒΑΣΙΚΑ ΚΥΚΛΩΜΑΤΑ ΜΕ ΑΝΤΙΣΤΑΤΗ – ΠΗΝΙΟ – ΠΥΚΝΩΤΗ

1.1 Αντιστάτης – Πηνίο – Πυκνωτής.

Οι ηλεκτρονικές συσκευές αποτελούνται από κυκλώματα που περιέχουν λυχνίες ή τρανζίστορς και τα βασικά στοιχεία αντιστάτη (αντίσταση), πηνίο και πυκνωτή. Παρακάτω θα γίνει μια υπενθύμιση των χαρακτηριστικών και της συμπεριφοράς των στοιχείων αυτών στο συνεχές και στο εναλλασσόμενο ρεύμα, που είναι γνωστά από την ηλεκτρολογία.

Ο αντιστάτης είναι εξάρτημα συνήθως κυλινδρικό με μέγεθος που καθορίζεται ανάλογα από την ισχύ του. Για μεγάλη σχετικά ισχύ, άνω των 5 Watt, κατασκευάζεται από σύρμα χρωμονικελίνης, που περιτυλίγεται σε μονωτικό και πυρίμαχο υλικό (πορσελάνη ή κεραμικό). Για μικρή ισχύ, λίγα W και κλάσμα του W, το υλικό κατασκευής είναι ο γραφίτης, που επιστρώνεται σαν ταινία στην επιφάνεια του κυλίνδρου πορσελάνης ή τοποθετείται στο εσωτερικό μικρού κυλίνδρου από βακελίτη. Η τιμή της αντιστάσεως αναγράφεται στην επιφάνειά του με κώδικα χρωμάτων ή με αριθμούς και μετράται σε Ω.

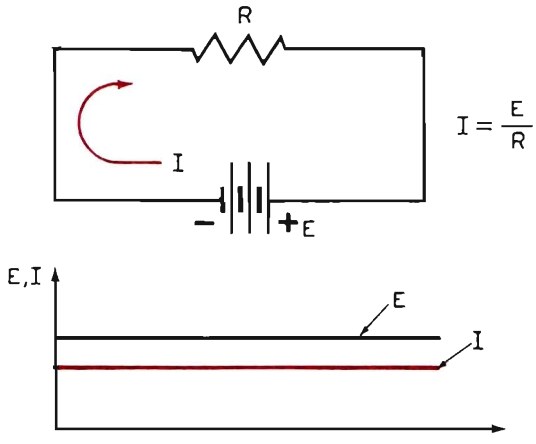
Η συμπεριφορά του είναι ίδια τόσο στο συνεχές όσο και στο εναλλασσόμενο ρεύμα. Εμφανίζει δηλαδή την ίδια αντίδραση, που είναι η αντίσταση τριβών που παρουσιάζουν τα μόρια του υλικού στην κίνηση των ηλεκτρονίων. Η αντίδραση αυτή ονομάζεται ***ωμική αντίσταση***.

Σε ένα κύκλωμα ο αντιστάτης περιορίζει και καθορίζει την ένταση του ρεύματος που περνά απ' αυτόν. Στις άκρες του προκαλεί μια πτώση της τάσεως, που σύμφωνα με το νόμο του Ohm είναι $E = I \cdot R$ (σχ. 1.1α). Αποδίδεται τότε μια ισχύς $P = I \cdot E = I^2 \cdot R = E^2/R$ και καταναλίσκεται μια πραγματική ενέργεια $A = P \cdot t$ που τον θερμαίνει. Η ίδια ενέργεια αποδίδεται και στο εναλλασσόμενο ρεύμα, γιατί το ρεύμα και η τάση είναι συμφασικά και η ισχύς $P = E_{εν} \cdot I_{εν}$. συνφ είναι πραγματική (σχ. 1.1β).

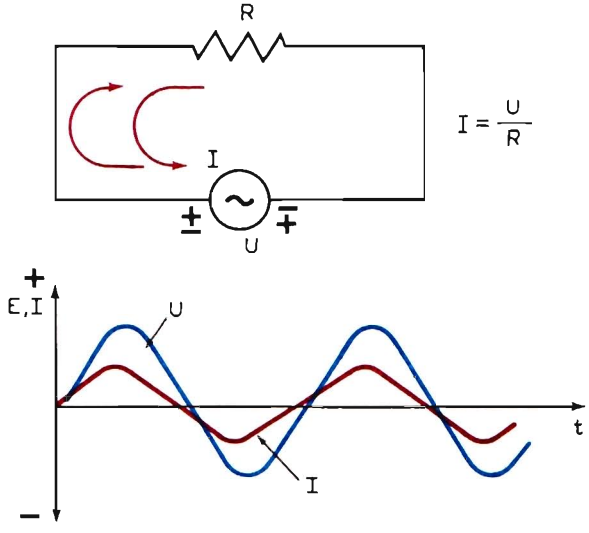
Το πηνίο κατασκευάζεται συνήθως από χάλκινο σύρμα, με μόνωση εξωτερικά, που τυλίγεται σαν ελατήριο επάνω σε μονωτικό κύλινδρο σε μια ή πολλές στρώσεις. Αν το μονωτικό είναι κενό εσωτερικά, το πηνίο λέγεται ***αέρα*** ενώ αν έχει πυρήνα από μαγνητικό υλικό, συνήθως φερίτη, τότε λέγεται ***πηνίο με πυρήνα.*** Το μέγεθος και ο τρόπος κατασκευής του καθορίζονται από το διερχόμενο ρεύμα, την τιμή της αυτεπαγωγής και την ποιότητά του.

Η συμπεριφορά του στο εναλλασσόμενο ρεύμα είναι διαφορετική από αυτή στο συνεχές. Εμφανίζει δηλαδή διαφορετική αντίδραση. Στο συνεχές παρουσιάζει ωμική αντίσταση R_L, η τιμή της οποίας εξαρτάται από το μήκος, τη διατομή και την ειδική αντίσταση του σύρματος (σχ. 1.1γ).

Στο εναλλασσόμενο εμφανίζεται η αυτεπαγωγή του L, που δημιουργεί μια πρό-



Σχ. 1.1α.
Ο αντιστάτης στο Σ.Ρ.



Σχ. 1.1β.
Ο αντιστάτης στο Ε.Ρ.

σθετη αντίδραση, την X_L. Η αυτεπαγωγή του πηνίου καθορίζεται με την κατασκευή του και για ένα απλό πηνίο δίνεται από τη σχέση:

$$L = \frac{\mu\mu_0 N^2 S}{l} \quad \text{σε Henry} \qquad (1.1)$$

όπου: N ο αριθμός σπειρών
μ η μαγνητική διαπερατότητα πυρήνα
μ_0 η μαγνητική σταθερά
S η διατομή κυλίνδρου σε m και
l το μήκος πηνίου σε m.

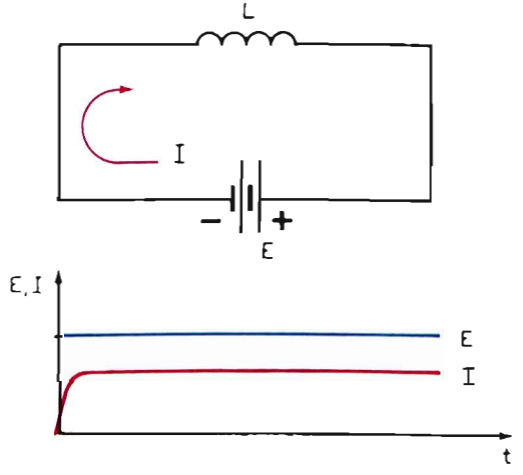
Η αυτεπαγωγική αντίδραση X_L μετράται σε Ω και η τιμή της μεταβάλλεται σε συνάρτηση με τη συχνότητα της πηγής που το τροφοδοτεί, γιατί είναι $X_L = L \cdot 2\pi F$. Όταν η συχνότητα F αυξάνει, αυξάνει και η αντίδραση X_L. Έτσι ένα πηνίο με L = 10 mH στη συχνότητα 1 kc/s παρουσιάζει αντίδραση 62,8 Ω, ενώ στη συχνότητα 1 Mc/s η αντίδρασή του γίνεται 62 800 Ω. Για μεγαλύτερη ακρίβεια υπολογίζομε τη σύνθετη αντίδραση Z_L του πηνίου που είναι:

$$Z_L = \sqrt{R_L^2 + X_L^2} \qquad (1.2)$$

Σε ένα κύκλωμα με εναλλασσόμενο ρεύμα η Z_L περιορίζει και καθορίζει το ρεύμα. Στις άκρες της προκαλεί μια πτώση της τάσεως, που είναι $U = I_L \cdot Z_L$. Η ισχύς που αναπτύσσεται είναι φαινόμενη και η ενέργεια που καταναλίσκεται πολύ μικρή, εξαρτώμενη από την R_L. Αυτό συμβαίνει γιατί, με τη δράση της αυτεπαγωγής, το ρεύμα δεν κινείται συμφασικά με την τάση της πηγής, αλλά καθυστερεί 90° περίπου (σχ. 1.1δ). Η ισχύς τότε είναι $P = U_{εν} \cdot I_{εν} \cdot συνφ$ και επειδή η γωνία φ είναι περίπου 90° το συνφ είναι περίπου 0 και P = 0.

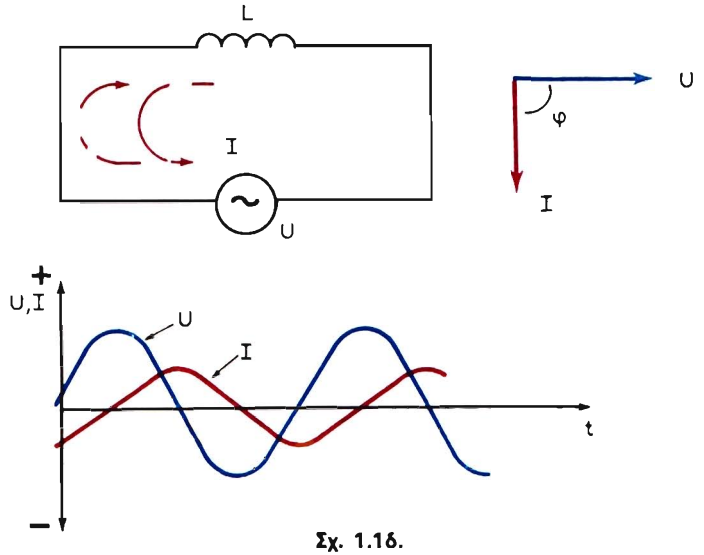
Ο λόγος των δύο αντιδράσεων X_L καί R_L καθορίζει δύο χαρακτηριστικά μεγέθη του πηνίου.

$$\frac{X_L}{R_L} = εφφ = Q \qquad (1.3)$$



Σχ. 1.1γ.
Το πηνίο στο Σ.Ρ.

Το πρώτο καθορίζει τη διαφορά της φάσεως που έχει η τάση με το ρεύμα στο πηνίο, ενώ το δεύτερο καθορίζει την ποιότητα του πηνίου και λέγεται ***συντελεστής ποιότητας.*** Όσο μεγαλύτερη τιμή έχει αυτός ο λόγος τόσο πιο τέλειο είναι το πηνίο, γιατί έχει μικρότερες απώλειες. Μπορεί να υποθέσομε ότι όσο αυξάνει η συχνότητα τόσο και το X_L γίνεται μεγαλύτερο, άρα και το Q εφόσον το R_L παραμένει σταθερό. Με την αύξηση όμως της συχνότητας αυξάνει και το R_L και παίρνει την ονομασία R ενεργό. Σ' αυτό το $R_{εν}$ υπολογίζονται οι απώλειες του πηνίου σε θερμότητα, σκέδαση, δινορρεύματα, επιδερμικό, υστέρηση, οι οποίες αυξάνουν με την αύξηση της συχνότητας και δίνονται από τη σχέση $P = R_{εν} I^2$. Τελικά το Q



Σχ. 1.16.
Το πηνίο στο Ε.Ρ.

παραμένει πρακτικά σταθερό και χαρακτηρίζει κάθε πηνίο.

Ο πυκνωτής αποτελείται από δύο αγώγιμες επιφάνειες, που λέγονται οπλισμοί και μεταξύ τους υπάρχει μονωτικό υλικό. Το μονωτικό μπορεί να είναι αέρας, χαρτί, πολυστερίνη, κεραμικό, μίκα κλπ. Από το μονωτικό οι πυκνωτές παίρνουν και την ονομασία τους, όπως π.χ. χάρτου, πολυστερίνης, κεραμικοί, μίκας κλπ. Το μέγεθος, ο τρόπος κατασκευής και η μορφή ενός πυκνωτή καθορίζονται από τη χωρητικότητά του, το είδος του μονωτικού και την τάση εργασίας του.

Η συμπεριφορά του στο εναλλασσόμενο ρεύμα είναι διαφορετική από εκείνη στο συνεχές και είναι αντίθετη από τη συμπεριφορά του πηνίου. Στο συνεχές ρεύμα παρουσιάζει άπειρη αντίσταση, η οποία οφείλεται στην ύπαρξη του μονωτικού μεταξύ των δύο οπλισμών του. Έτσι, από τον πυκνωτή δεν διέρχεται το συνεχές ρεύμα. Παρουσιάζει όμως αυτός την ιδιότητα της φορτίσεως. Έχει δηλαδή την ικανότητα να απορροφά και να συγκρατεί ορισμένα ηλεκτρικά φορτία στους οπλισμούς του, όταν συνδεθεί σε μια πηγή με τάση V (σχ. 1.1ε). Τα φορτία σε Coulomp είναι $q = C.V$ όπου C είναι η χωρητικότητα του πυκνωτή σε Farad.

Ο κάθε πυκνωτής έχει σταθερή και καθορισμένη χωρητικότητα C, που δίνεται από τη σχέση:

$$C = \frac{\epsilon.\epsilon_0 .S}{l} \quad \text{σε Farad} \tag{1.4}$$

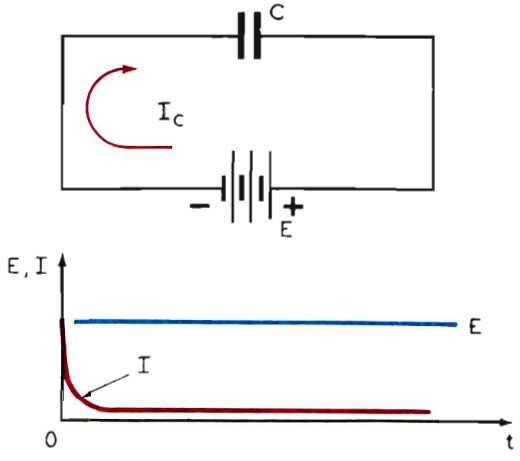
όπου: ε η διηλεκτρική σταθερά μονωτικού

$\epsilon_0 = 8{,}86 \times 10^{-12}$ Cb/Vm

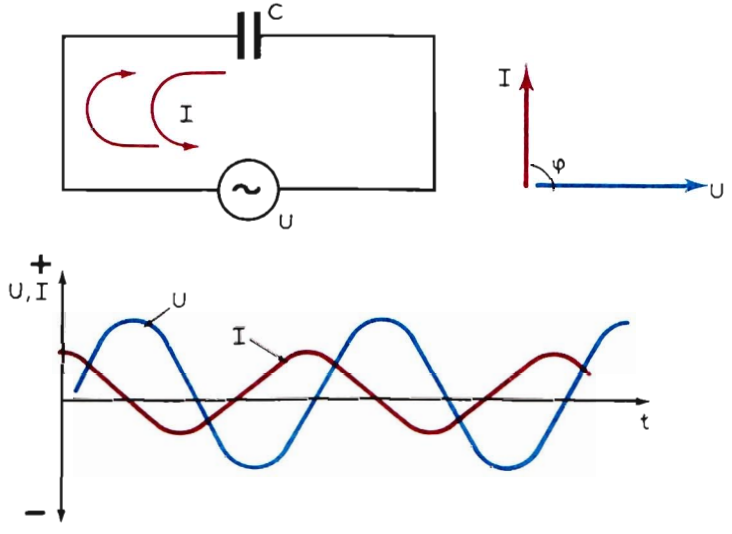
S η επιφάνεια οπλισμού σε m και

l η απόσταση μεταξύ των οπλισμών ή πάχος διηλεκτρικού σε m

Στο εναλλασσόμενο ρεύμα, παρουσιάζει μια αγωγιμότητα που οφείλεται στη μετατόπιση των φορτίων από τον ένα οπλισμό στον άλλο. Έτσι, φαίνεται ότι μέσα από τον πυκνωτή διέρχεται ένα ρεύμα, που ονομάζεται ***ρεύμα μετατοπίσεως.*** Αυτό



Σχ. 1.1ε.
Ο πυκνωτής στο Σ.Ρ.



Σχ. 1.1στ.
Ο πυκνωτής στο Ε.Ρ.

το ρεύμα δεν είναι συμφασικό με την τάση που το κινεί, αλλά προπορεύεται 90 (σχ. 1.1στ).

Η αντίδρασή του είναι η X_c, μετράται σε Ω και δίνεται από τη σχέση:

$$X_c = \frac{1}{C\omega} = \frac{1}{C2\pi F}$$

Μεταβάλλεται σε συνάρτηση με τη συχνότητα της πηγής που τον τροφοδοτεί και μικραίνει όταν η συχνότητα αυξάνει. Έτσι ένας πυκνωτής 100 pF (100×10^{-12} Farad) στη συχνότητα 1kc/s παρουσιάζει αντίδραση 1,6 ΜΩ περίπου, ενώ στον

1 Mc/s η αντίδρασή του γίνεται 1,6 kΩ. Για μεγαλύτερη ακρίβεια σε υψηλή συχνότητα, υπολογίζομε τη σύνθετη αντίδραση Z_c του πυκνωτή, που είναι:

$$Z_c = \sqrt{R_c^2 + X_c^2} \qquad (1.5)$$

όπου R_c είναι οι πραγματικές απώλειες στο μονωτικό του.

Σε ένα κύκλωμα με εναλλασσόμενο ρεύμα, ο πυκνωτής με την αντίδρασή του X_c προκαλεί μια πτώση της τάσεως, που είναι:

$$U = I_c \cdot X_c$$

Η ισχύς που αναπτύσσεται και εδώ είναι φαινόμενη, γιατί το ρεύμα προπορεύεται από την τάση 90° και στη μέγιστη τιμή του ρεύματος αντιστοιχεί τάση μηδέν. Έτσι το συνφ των 90°είναι μηδέν και η ισχύς $P = U_{\epsilon v} I_{\epsilon v}$ συνφ = 0.

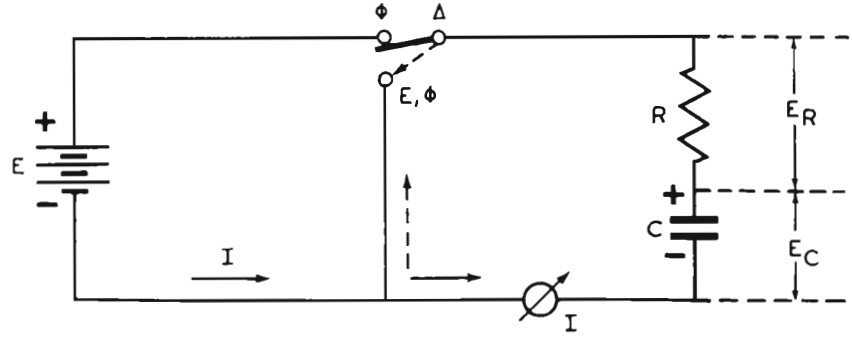
1.2 Σταθερά χρόνου.

Όταν συνδέσομε έναν πυκνωτή στους πόλους μιας πηγής συνεχούς ρεύματος, θα φορτισθεί σε ελάχιστο χρόνο (περίπου μηδέν). Αν συνδέσομε όμως σε σειρά και έναν αντιστάτη R, τότε θα φορτισθεί σε χρόνο που καθορίζεται από την τιμή της χωρητικότητας και την τιμή του αντιστάτη. Ακριβέστερα καθορίζεται από το γινόμενό τους R . C, που έχει διαστάσεις χρόνου γιατί είναι:

$$R.C = R \cdot C = \frac{V}{A} \cdot \frac{A \cdot sec}{V} = sec \qquad (1.6)$$

Το γινόμενο αυτό λέγεται ***σταθερά χρόνου.*** Η σύνδεση πυκνωτή και αντιστάτη έχει μεγάλη εφαρμογή στα ηλεκτρονικά. Στη σύζευξη των ενισχυτικών βαθμίδων, στην αυτοπόλωση των λυχνιών, στην εξομάλυνση του ανορθωμένου ρεύματος, σε κυκλώματα καθυστερήσεως της φάσεως κλπ. θά υπάρχει πυκνωτής με αντιστάτη.

Το σχήμα 1.2α είναι κύκλωμα RC όπου όταν ο διακόπτης είναι στη θέση φ(φόρτιση), ο πυκνωτής φορτίζεται από την πηγή, ενώ στη θέση εκφ. εκφορτίζεται στον αντιστάτη. Αν ο διακόπτης έλθει στη θέση φ, θα αρχίσει η φόρτιση του πυκνωτή και θα κινηθεί ένα ρεύμα I στο κύκλωμα. Στην αρχή είναι μεγάλο και ίσο με I = E/R γιατί τη στιγμή που κλείνει ο διακόπτης, το ρεύμα έχει μεγάλη μεταβολή και ο πυκνωτής συμπεριφέρεται περίπου σαν βραχυκύκλωμα. Η τάση στις άκρες του πυκνωτή είναι μηδέν ενώ στις άκρες του αντιστάτη είναι ίση με την τάση της πηγής E.



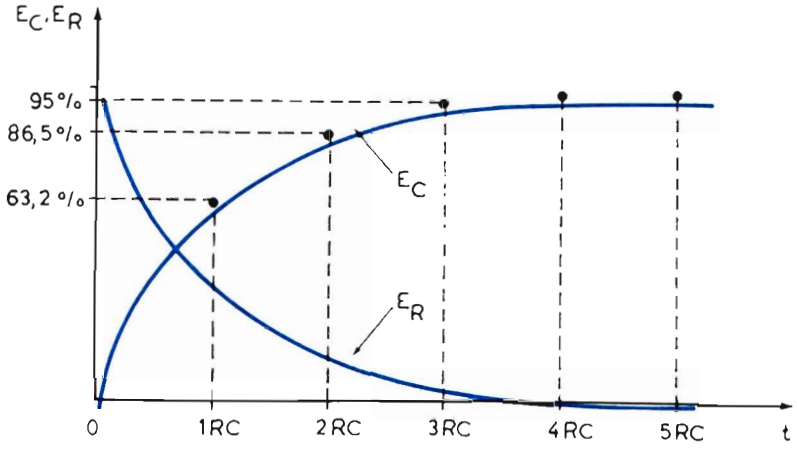
Σχ. 1.2α.
Κύκλωμα με R και C.

Στη συνέχεια το ρεύμα I μικραίνει καθώς ο πυκνωτής φορτίζεται και η τάση στις άκρες του E_c μεγαλώνει. Η τάση στις άκρες του αντιστάτη E_R μικραίνει ακολουθώντας τη μεταβολή του ρεύματος, γιατί $E_R = I.R = E - E_c$.

Η μεταβολή της τάσεως στον πυκνωτή E_c και της τάσεως στον αντιστάτη E_R φαίνεται στη γραφική παράσταση του σχήματος 1.2β και δίνεται από τις σχέσεις:

$$E_c = E_\pi \left(1 - e^{-\frac{t}{RC}}\right) \tag{1.7}$$

$$E_R = E_\pi - E_c \tag{1.8}$$



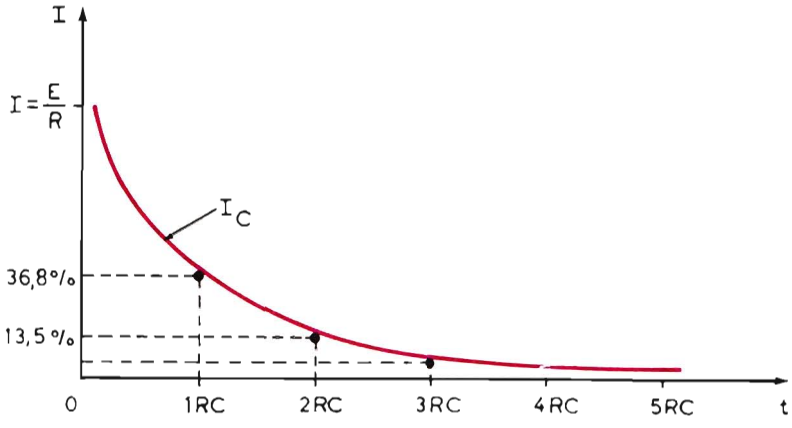
Σχ. 1.2β.
Μεταβολή της τάσεως EC και ER κατά τη φόρτιση του C.

Ο άξονας των χρόνων έχει διαιρεθεί σε γινόμενα RC και η καμπύλη είναι γενική για οποιαδήποτε τιμή R και C.

Από την καμπύλη παρατηρούμε ότι η τάση E_c αυξάνει με την πάροδο του χρόνου και σε 1RC γίνεται ίση με το 63,2% της τάσεως της πηγής. Σε 2RC γίνεται 86,5%, σε 3RC 95%, σε 4RC 98,2% και σε 5RC 99%. Η E_c φθάνει την τάση της πηγής 100% σε άπειρο χρόνο και πρακτικά σε χρόνο 4 ή 5RC. Έτσι ένας πυκνωτής 0,5 μF, αν συνδεθεί σε πηγή 300 V σε σειρά με αντιστάτη 100 kΩ, θα έχει $RC = 100 \times 10^3 \times 0{,}5 \times 10^{-6} = 0{,}05$ sec. Σε χρόνο ίσο με ένα RC, δηλαδή 0,05 sec, θα έχει στους ακροδέκτες του τάση $0{,}632 \times 300 = 189{,}6$ V. Σε πέντε RC, δηλαδή 0,25 sec, η τάση έχει γίνει 298 V και πρακτικά θα έχει πραγματοποιηθεί η φόρτιση. Στους αντίστοιχους χρόνους η E_R συνέχεια μειώνεται, για να γίνει μηδέν περίπου σε χρόνο 5RC.

Η μεταβολή του ρεύματος κατά τη φόρτιση φαίνεται στο σχήμα 1.2γ και δίνεται από τη σχέση:

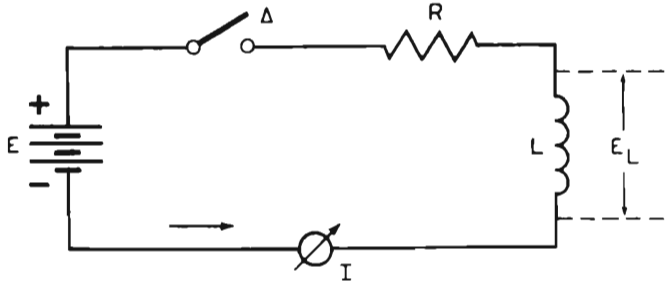
$$I_c = \frac{E_\pi}{R} \cdot e^{-\frac{t}{RC}} \tag{1.9}$$



Σχ. 1.2γ.
Μεταβολή του ρεύματος του κυκλώματος κατά τη φόρτιση ή την εκφόρτιση του C.

Αν ο διακόπτης Δ (σχ. 1.2α) έλθει στη θέση εκφόρτιση, ο πυκνωτής θα αρχίσει να εκφορτίζεται. Τα αρνητικά φορτία (ηλεκτρόνια) από τον αρνητικά φορτισμένο οπλισμό, διά του αντιστάτη, θα έλθουν στο θετικά φορτισμένο οπλισμό και ο πυκνωτής θα γίνει ουδέτερος. Το ρεύμα της εκφορτίσεως είναι αντίθετο από αυτό της φορτίσεως και το όργανο θα δείξει αντίθετα. Στην αρχή είναι μεγάλο και στη συνέχεια μικραίνει για να μηδενισθεί, ακολουθώντας τη μεταβολή της καμπύλης του σχήματος 1.2γ, δίνεται δε από την ίδια σχέση (1.9) με αρνητικό πρόσημο. Η E_c κατά την εκφόρτιση είναι μεγάλη στην αρχή και στη συνέχεια μηδενίζεται σε χρόνο ίσο με 5RC, ακολουθώντας τη μεταβολή της καμπύλης της E_R του σχήματος 1.2β. Την ίδια μεταβολή έχει και η E_R γιατί $E_R = E_C$.

Αντίθετη ακριβώς συμπεριφορά έχομε αν, αντί για πυκνωτή, τοποθετήσομε ένα πηνίο αυτεπαγωγής L σε σειρά με έναν αντιστάτη R, σε πηγή συνεχούς ρεύματος με τάση E (σχ. 1.2δ). Με το κλείσιμο του διακόπτη το ρεύμα τείνει να λάβει την τιμή που καθορίζεται από το νόμο του Ohm. Είναι επομένως μεταβαλλόμενο και με μεγάλη ταχύτητα. Τότε αντιδρά η αυτεπαγωγή του πηνίου σύμφωνα με το νόμο του Lenz και δεν επιτρέπει την κίνησή του. Στη συνέχεια η πηγή υπερνικά την αντίδραση και το ρεύμα αρχίζει να αυξάνει για να φθάσει την κανονική του τιμή I = E/R. Η μεταβολή του ρεύματος και ο χρόνος της αποκαταστάσεως καθορίζονται



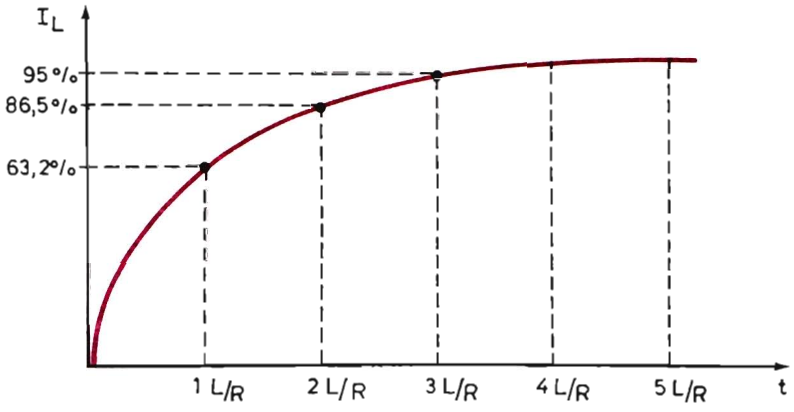
Σχ. 1.2δ.
Κύκλωμα με R και L.

από το λόγο L/R που λέγεται ***σταθερά χρόνου*** και έχει διαστάσεις χρόνου.

$$\frac{L}{R} = \frac{V.sec/A}{V/A} = sec \qquad (1.10)$$

Η μεταβολή του ρεύματος στο πηνίο, σε συνάρτηση με το χρόνο σε L/R, φαίνεται στη γραφική παράσταση του σχήματος 1.2ε και η τιμή του δίνεται από τη σχέση:

$$I = \frac{E}{R}\left(1 - e^{-\frac{R}{L}t}\right) \qquad (1.11)$$



Σχ. 1.2ε.
Μεταβολή του ρεύματος στο πηνίο στη σύνδεση.

Από την καμπύλη φαίνεται ότι το ρεύμα στην αρχή είναι μηδέν και σε χρόνο 4 ή 5 L/R παίρνει την κανονική του τιμή. Το ρεύμα μεταβάλλεται όπως η τάση E_c στις άκρες του πυκνωτή (σχ. 1.2β). Η τάση E_L στις άκρες του πηνίου με το κλείσιμο του διακόπτη είναι ίση με την τάση της πηγής, γιατί δεν διέρχεται ρεύμα, η δε τάση E_R είναι μηδέν. Στη συνέχεια η E_L μικραίνει και η E_R αυξάνει, για να φθάσουν τις κανονικές τους τιμές σε χρόνο 4-5 L/R, όπως στο σχήμα 1.2β (η καμπύλη της E_c αντιστοιχεί στη μεταβολή της E_R και η καμπύλη της E_R στη μεταβολή της E_L).

Στην παραπάνω ανάλυση φαίνεται η αντίθετη συμπεριφορά του πηνίου με τον πυκνωτή. Με το κλείσιμο δηλαδή του διακόπτη, το I_c είναι μέγιστο, ενώ το I_L ***είναι μηδέν.*** Η E_c είναι μηδέν ενώ η E_L είναι μέγιστη και ίση με την τάση της πηγής.

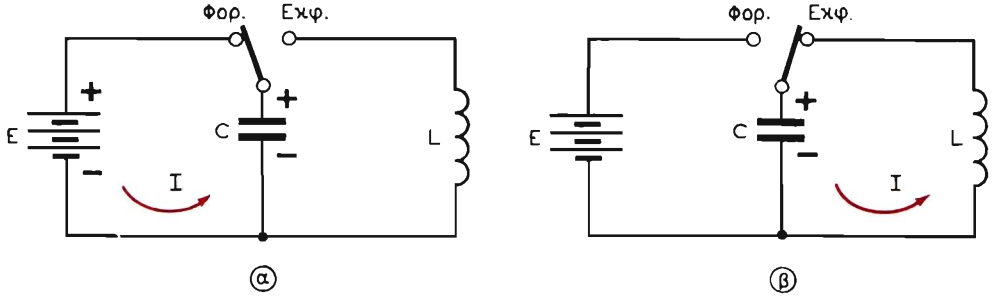
Με το άνοιγμα του διακόπτη, το ρεύμα, από την κανονική του τιμή τείνει να μηδενισθεί. Είναι πάλι μεταβαλλόμενο και θα έχομε πάλι δράση της αυτεπαγωγής με εμφάνιση ΗΕΔ στις άκρες του πηνίου που τείνει να καθυστερήσει το μηδενισμό. Θα εμφανισθεί ένα επίρρευμα διακοπής, που, αν δεν υπάρχει τρόπος να καταναλωθεί, εκδηλώνεται σαν σπινθήρας στις επαφές του διακόπτη. Στη συνέχεια το ρεύμα θα μηδενισθεί σε χρόνο 4-5 L/R, ακολουθώντας την καμπύλη του σχήματος 1.2γ. (Τις κυματομορφές μπορούμε να δούμε, με κατάλληλη σύνδεση, σε παλμογράφο).

Το ρεύμα διακοπής δίνεται από τη σχέση:

$$I = Ie^{-\frac{R}{L}t} \qquad (1.12)$$

1.3 Ελεύθερη ταλάντωση.

Στην προηγούμενη παράγραφο είδαμε τη φόρτιση και την εκφόρτιση του πυκνωτή με έναν αντιστάτη. Το αποτέλεσμα είναι τελείως διαφορετικό, όταν ένας φορτισμένος πυκνωτής εκφορτισθεί σε ένα πηνίο. Στο κύκλωμα του σχήματος 1.3α (α) ο διακόπτης είναι στη θέση φόρτιση και ο πυκνωτής φορτίζεται. Η ηλεκτρική ενέργεια στους οπλισμούς του, υπό μορφή ηλεκτρικού πεδίου, είναι $W_c = 1/2\ CV^2$ Joule. Όταν ο διακόπτης έλθει στη θέση εκφόρτιση [σχ. 1.3α (β)], ο πυκνωτής τείνει να εκφορτισθεί στη μικρή αντίσταση R_L του πηνίου.



α β

Σχ. 1.3α.
Κύκλωμα με L και C.

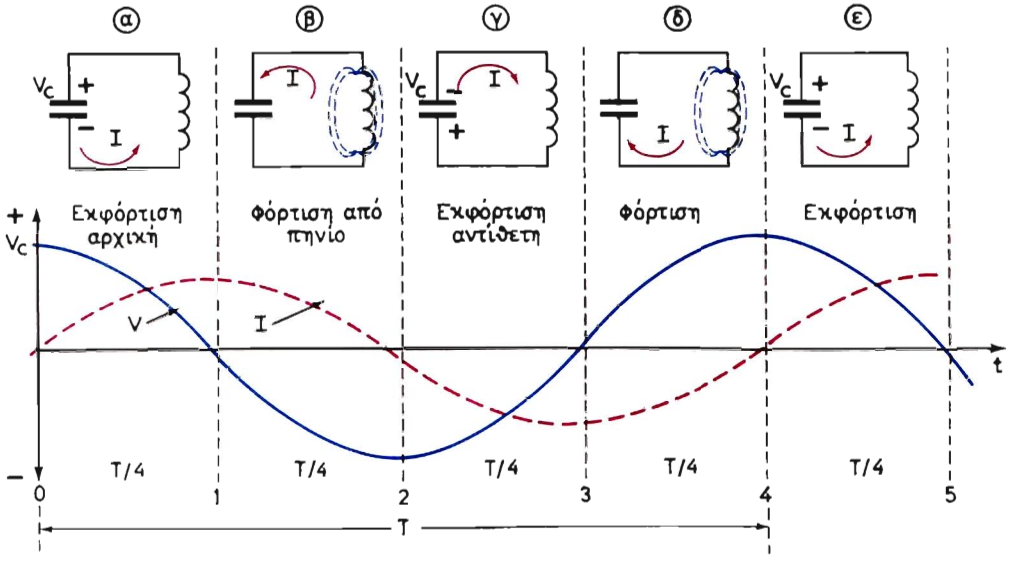
Το ρεύμα της εκφορτίσεως είναι μεταβαλλόμενο και, περνώντας από το πηνίο, θα δημιουργήσει μεταβαλλόμενη μαγνητική ροή. Σύμφωνα με το νόμο του Lenz, θα αναπτυχθεί στις άκρες του μια ΑΗΕΔ εξ αυτεπαγωγής, η οποία αντιτίθεται στην αύξηση του ρεύματος. Έτσι η εκφόρτιση του πυκνωτή δεν θα γίνει στιγμιαία αλλά σε κάποιο χρόνο t.

Καθώς ο πυκνωτής εκφορτίζεται, η τάση του V_c μειώνεται και το ρεύμα του πηνίου αυξάνει, με αντίστοιχη αύξηση της εντάσεως του μαγνητικού πεδίου. Όταν η V_c μηδενισθεί, το ρεύμα στο πηνίο είναι μέγιστο και όλη η ενέργεια του πυκνωτή έχει μετατραπεί σε μαγνητικό πεδίο μέσα στο πηνίο. $W_L = 1/2\ LI^2$ [σχ. 1.3β (α)].

Στη συνέχεια, αφού η τάση που δημιούργησε το ρεύμα, η V_c, παύει να υπάρχει, το ρεύμα αρχίζει να μειώνεται, κινούμενο με την αρχική φορά. Με τη μείωση του ρεύματος, μειώνεται και η μαγνητική ροή, που τείνει να συνεχίσει την κίνηση του ρεύματος (ως αδράνεια) και να συγκεντρώσει τα ηλεκτρόνια στον άλλο οπλισμό του πυκνωτή. Έτσι ο οπλισμός, που αρχικά είχε θετικό φορτίο, φορτίζεται τώρα αρνητικά και ο αρνητικά φορτισμένος φορτίζεται θετικά. Ο πυκνωτής βρίσκεται πια φορτισμένος με μια τάση V_c αντίθετη και ίση περίπου με την αρχική [σχ. 1.3β(β)].

Η ενέργεια του μαγνητικού πεδίου μετατρέπεται πάλι σε ενέργεια ηλεκτρικού πεδίου στον πυκνωτή. Όταν μηδενισθεί η δράση του μαγνητικού πεδίου, ο πυκνωτής αρχίζει να εκφορτίζεται στο πηνίο και να κινεί τώρα ένα ρεύμα αντίθετο με το αρχικό [σχ. 1.3β (γ)]. Το μαγνητικό πεδίο που σχηματίζεται στο πηνίο, έχει αντίθετη πολικότητα με την αρχική. Μεταφέρεται πάλι η ενέργεια από τον πυκνωτή στο πηνίο και τα φαινόμενα επαναλαμβάνονται με την αντίθετη πολικότητα [σχ. 1.3β(δ και ε)].

Οι διαδοχικές φορτίσεις και εκφορτίσεις του πυκνωτή με το πηνίο, δημιουργούν



Σχ. 1.38.
Περιοδική φόρτιση και εκφόρτιση του πυκνωτή με το πηνίο.

τις ηλεκτρικές ελεύθερες κυμάνσεις ή ταλαντώσεις και το κύκλωμα με L και C λέγεται ***κυμαινόμενο κύκλωμα.*** Η μεταβολή της τάσεως και του ρεύματος είναι ίδια με το εναλλασσόμενο ημιτονικό ρεύμα και παρατηρούνται τα ίδια μεγέθη.

Οι εναλλαγές φορτίσεως και εκφορτίσεως του πυκνωτή, γίνονται σε καθορισμένο χρόνο και ο χρόνος ενός πλήρους κύκλου εναλλαγής ονομάζεται ***περίοδος των ταλαντώσεων*** T_0. Η περίοδος καθορίζεται από την τιμή της αυτεπαγωγής L και της χωρητικότητας C και δίνεται από τη σχέση του Tomson $T_0 = 2\pi\sqrt{LC}$ σε δευτερόλεπτα όταν το L είναι σε Henry και ο C σε Farad.

Η συχνότητα που επαναλαμβάνονται τα ίδια φαινόμενα καθορίζεται πάλι από την τιμή του L και του C και λέγεται ***ιδιοσυχνότητα του κυμαινόμενου κυκλώματος*** f_0 .Η f_0 δίνεται από την παρακάτω σχέση σε κύκλους ανά δευτερόλεπτο, όταν το L είναι σε Henry και ο C σε Farad.

$$f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} = \frac{1}{T_0} \text{ c/sec} \qquad (1.13)$$

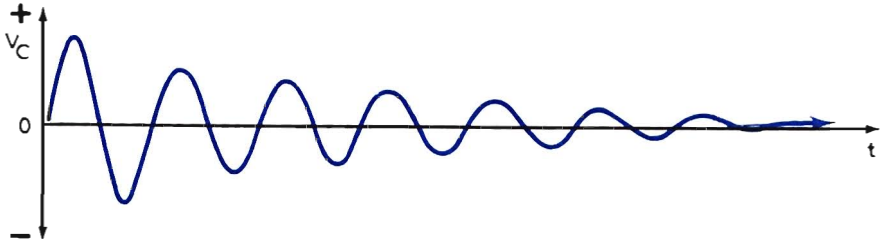
Ένα κυμαινόμενο κύκλωμα με C = 0,5 μF και L = 0,5 Henry έχει χρόνο περιόδου

$$T_0 = 2\pi\sqrt{LC} = 2\times3,14\sqrt{0,5\times0,5\times10^{-6}} = 0,00314 \text{ sec} = 3,14 \text{ m sec}$$

και ιδιοσυχνότητα

$$f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} = \frac{1}{2\times3,14\sqrt{0,5\times0,5\times10^{-6}}} = 318,4 \text{ c/sec}$$

Στην παραπάνω ανάλυση είδαμε ότι η ενέργεια του πυκνωτή μεταφέρεται στο



Σχ. 1.3γ.
Αποσβενόμενη ταλάντωση.

πηνίο και από το πηνίο στον πυκνωτή. Με αυτή τη μεταφορά από το ένα στοιχείο στο άλλο, χάνεται ένα μέρος της ενέργειας, το οποίο μετατρέπεται σε θερμότητα στην αντίσταση του σύρματος του πηνίου και στο διηλεκτρικό του πυκνωτή. Έτσι η τάση V_c ελαττώνεται συνεχώς και, μετά από ορισμένο αριθμό κυμάνσεων, μηδενίζεται και οι κυμάνσεις σταματούν (σχ. 1.3γ). Οι ταλαντώσεις αυτές ονομάζονται ***αποσβενόμενες*** ή ***φθίνουσες.*** Η περίοδος όμως και η συχνότητα δεν μεταβάλλονται, αλλά παραμένουν σταθερές μέχρι το τέλος.

Ο αριθμός των ταλαντώσεων που θα γίνουν ή το πόσο γρήγορα θα σταματήσουν, καθορίζονται από ένα συντελεστή α που λέγεται ***συντελεστής αποσβέσεως*** και δίνεται από το λόγο της ενέργειας που χάνεται προς την ενέργεια που αποθηκεύεται στο πηνίο:

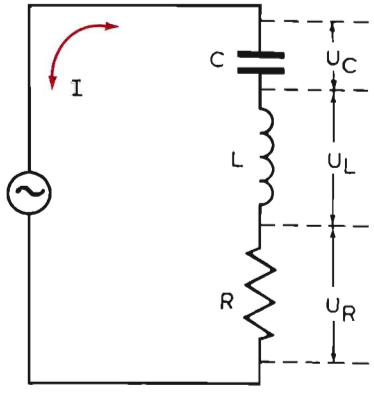
$$\alpha = \frac{W_R}{W_L}$$

Από το λόγο φαίνεται ότι ένα πηνίο με μικρές απώλειες, άρα με μεγάλο Q, έχει μικρό συντελεστή αποσβέσεως και οι ταλαντώσεις δεν σταματούν γρήγορα.

Αν με τη βοήθεια κατάλληλου κυκλώματος μπορούμε να αναπληρώνομε τις απώλειες του κυμαινόμενου κυκλώματος, τότε οι ταλαντώσεις γίνονται ***συντηρούμενες*** ή ***αμείωτου πλάτους*** όπως λέγονται. Τα κυκλώματα αυτά λέγονται ***ταλαντωτές*** και μελετώνται στο αντίστοιχο κεφάλαιο. Αν συνδέσομε μια πηγή εναλλασσόμενου ρεύματος στο κυμαινόμενο κύκλωμα, οι φορτίσεις και οι εκφορτίσεις του πυκνωτή γίνονται στο ρυθμό της εναλλαγής του ρεύματος της πηγής και λέγονται ***βεβιασμένες.*** Όταν οι εναλλαγές της πηγής συμπίπτουν με την ιδιοσυχνότητα του κυμαινόμενου κυκλώματος, έχομε συντονισμό και φαινόμενα που μελετώνται στη συνέχεια.

1.4 Πηνίο — Πυκνωτής — Αντιστάτης σε σειρά — Συντονισμός.

Το κύκλωμα του σχήματος 1.4α αποτελείται από ένα πηνίο αυτεπαγωγής L, έναν πυκνωτή χωρητικότητας C και έναν αντιστάτη R μικρής συνήθως τιμής. Ο αντιστάτης μπορεί να αντιπροσωπεύει την αντίσταση του σύρματος του πηνίου και τον ενεργό αντίσταση του κυκλώματος και είναι R ή $R_{εν}$. Η πηγή εναλλασσόμενου ρεύματος έχει σταθερή τάση, αλλά έχει τη δυνατότητα να μεταβάλλει τη συχνότητα του ρεύματος από λίγους κύκλους ως εκατοντάδες χιλιοκύκλους.



Σχ. 1.4α.
Κύκλωμα με L, C και R σε σειρά.

Για μια τυχαία συχνότητα f η τάση της πηγής E θα κινήσει στο κύκλωμα ένα ρεύμα I, η τιμή του οποίου καθορίζεται από την E και την ολική αντίσταση Z των στοιχείων $I = E/Z$. Ο πυκνωτής παρουσιάζει την αντίδραση $X_c = 1/C \cdot \omega$, το πηνίο την αντίδραση $X_L = L \cdot \omega$ και ο αντιστάτης πραγματική αντίσταση $R_{εν}$.

Η ολική σύνθετη αντίσταση του κυκλώματος είναι:

$$Z = R + j\,L\omega - \frac{j}{C\omega} = R + j\,(L\omega - \frac{1}{C\omega}) \qquad (1.14)$$

και το μέτρο της:

$$|Z| = \sqrt{R^2 + \left(L\omega - \frac{1}{C\omega}\right)^2} \qquad (1.15)$$

Το ρεύμα I του κυκλώματος εμφανίζει στις άκρες των στοιχείων τις πτώσεις τάσεως U_L, U_c και U_R. Η πτώση τάσεως U_R είναι συμφασική με το ρεύμα, ενώ οι U_L και U_c έχουν διαφορά φάσεως από το ρεύμα I.

Η U_c είναι:

$$U_c = \frac{1}{j\omega C} \cdot I \quad \rightarrow \quad \underline{|U_c} = \underline{|I} - 90° \qquad (1.16)$$

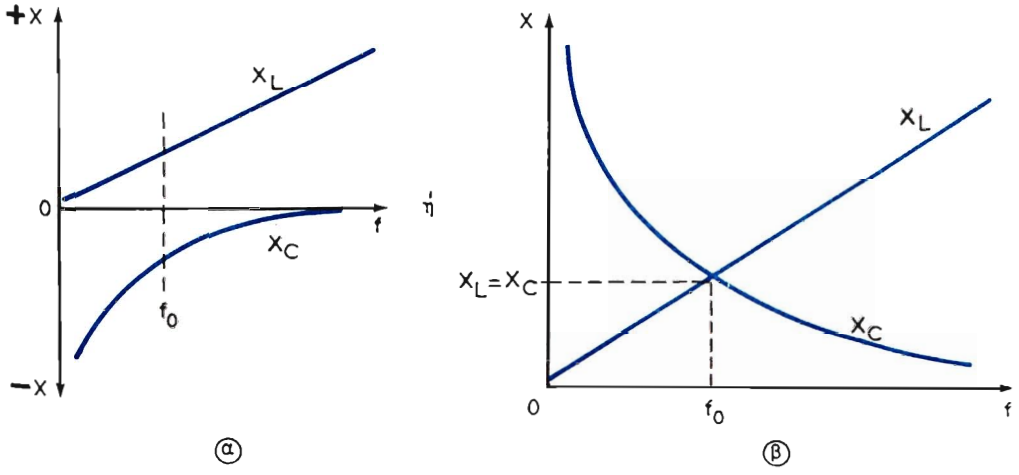
δηλαδή στον πυκνωτή η τάση U_c καθυστερεί 90° ως προς το ρεύμα I και η U_L είναι:

$$U_L = j\omega L \cdot I \quad \rightarrow \quad \underline{|U_L} = \underline{|I} + 90° \qquad (1.17)$$

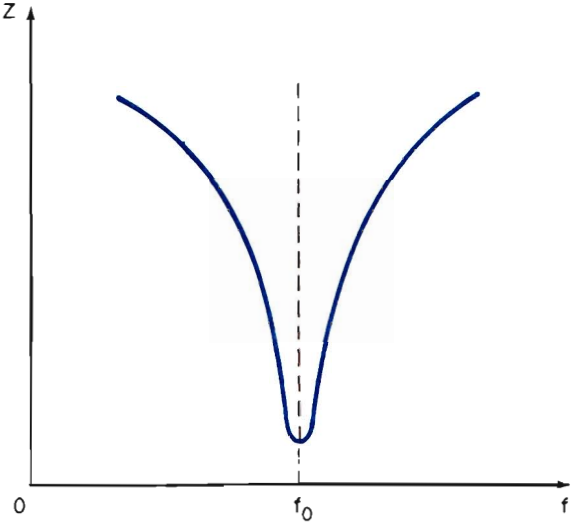
Δηλαδή στο πηνίο η τάση U_L προπορεύεται 90° ως προς το ρεύμα I. Το άθροισμα των πτώσεων τάσεων είναι:

$$U_{ολ} = \sqrt{U_R^2 + (U_L - U_c)^2} = E \text{ πηγής} \qquad (1.18)$$

Με τη μεταβολή της συχνότητας της πηγής, μεταβάλλεται η αντίδραση του πυκνωτή και του πηνίου. Σε μια χαμηλή συχνότητα, ο πυκνωτής παρουσιάζει μεγάλη αντίδραση ενώ το πηνίο μικρή. Καθώς η συχνότητα αυξάνει, η X_c ελαττώνεται ενώ η X_L αυξάνει [σχ. 1.4β (α και β)].



Σχ. 1.4β.
Μεταβολή των αντιδράσεων του πυκνωτή και του πηνίου με τη συχνότητα.



Σχ. 1.4γ.
Μεταβολή της ολικής αντιδράσεως με τη συχνότητα.

Η ολική σύνθετη αντίσταση Z μεταβάλλεται όπως στο σχήμα 1.4γ. Στις χαμηλές συχνότητες είναι μεγάλη και εξαρτάται περισσότερο από την X_c. Γι' αυτό η συμπεριφορά της είναι χωρητική και το ρεύμα του κυκλώματος προπορεύεται από την τάση. Στις υψηλές συχνότητες η Z γίνεται πάλι μεγάλη και, επειδή εξαρτάται από την X_L περισσότερο, η συμπεριφορά της είναι επαγωγική και το ρεύμα του κυκλώματος καθυστερεί από την τάση. Σε μια ενδιάμεση συχνότητα f_0 η ολική Z γίνεται ελάχιστη, ίση με την $R_{εν}$ και έχει ωμική συμπεριφορά. Είναι φανερό ότι στην f_0 οι δύο αντιδράσεις X_L και X_c είναι ίσες, όπως φαίνεται και στο σχήμα 1.4β(β), σημείο τομής των δύο αντιδράσεων, και θα ισχύει:

$$X_L = X_C \quad \text{ή} \quad L\omega_0 = \frac{1}{C\omega_0} \quad \text{και} \quad \omega_0^2 = \frac{1}{L.C} \tag{1.19}$$

$$\text{ή} \quad \omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}} \quad \text{ή} \quad f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$$

Η συχνότητα αυτή είναι η ιδιοσυχνότητα του κυμαινόμενου κυκλώματος, όπως αναφέρθηκε στην παράγραφο 1.3 και ονομάζεται ***συχνότητα συντονισμού.***

Σ' αυτή τη συχνότητα συμβαίνουν βασικά φαινόμενα και συγκεκριμένα:

α) Η σύνθετη αντίσταση του κυκλώματος γίνεται:

$$Z_0 = \sqrt{R^2 + \left(L\omega - \frac{1}{C\omega}\right)^2} = R$$

γιατί

$$L\omega = \frac{1}{C\omega} \quad \text{και} \quad L\omega - \frac{1}{C\omega} = 0$$

δηλαδή γίνεται ελάχιστη (ίση με R) και ωμική. Η μία αντίδραση X_L εξουδετερώνει την άλλη X_C χωρίς να παύσουν να υπάρχουν. Το κύκλωμα παρουσιάζει καθαρά ωμική συμπεριφορά και η τάση είναι συμφασική με το ρεύμα, γιατί:

$$\epsilon\varphi\,\varphi = \frac{X_L - X_C}{R} = \frac{0}{R} = 0 \quad \text{και} \quad \varphi = 0 \tag{1.20}$$

β) Το ρεύμα του κυκλώματος γίνεται μέγιστο, επειδή η αντίστασή του γίνεται ελάχιστη και είναι:

$$I_0 = \frac{E}{R_{\epsilon\nu}} \tag{1.21}$$

γ) Το μέγιστο αυτό ρεύμα προκαλεί μια μεγάλη πτώση τάσεως στις άκρες του πηνίου (X_L), που είναι:

$$U_L = j\omega L \,.\, I_0 = j\omega L \frac{E}{R_{\epsilon\nu}} = jQE \quad \text{με μέτρο} \, |U_L| = QE \tag{1.22}$$

Στο συντονισμό δηλαδή παρατηρείται μια τάση στις άκρες του πηνίου, που είναι Q φορές μεγαλύτερη από την τάση της πηγής. Εμφανίζεται μια υπέρταση και το φαινόμενο λέγεται ***φαινόμενο υπερτάσεως.*** Αυτή η τάση προπορεύεται 90° από την τάση της πηγής, γιατί:

$$\underline{|U_L} = \underline{|E} + 90° \tag{1.23}$$

Το ίδιο φαινόμενο παρατηρείται και στις άκρες του πυκνωτή, όπου προκαλείται μια υπέρταση:

$$U_C = -\frac{j}{\omega_0 C} \,.\, I_0 = -\frac{j}{\omega_0 C} \,.\, \frac{E}{R_{\epsilon\nu}} = -jQE \quad \text{με μέτρο} \, |U_C| = QE \tag{1.24}$$

Η U_C καθυστερεί 90° από την τάση της πηγής, γιατί:

$$\underline{|U_C} = \underline{|E} - 90° \tag{1.25}$$

Οι δύο αυτές υπερτάσεις είναι ίσες και αντίθετες και η μια ισορροπεί την άλλη, με αποτέλεσμα στις άκρες του L και του C μαζί να έχομε τάση μηδέν. Τελικά το άθροισμα των πτώσεων τάσεων στο κύκλωμα είναι:

$$U_{o\lambda} = \sqrt{U_R^2 + (U_L - U_C)^2} = U_R \qquad (1.26)$$

Τη μεταβολή του ρεύματος σε συνάρτηση με τη συχνότητα, μπορούμε να παραστήσομε γραφικά. Θέτοντας στον άξονα των x τη συχνότητα και στον άξονα των y τις τιμές του ρεύματος, χαράζομε την καμπύλη συντονισμού του κυμαινόμενου κυκλώματος.

Ας επιχειρήσομε να μελετήσομε τη συμπεριφορά ενός δεδομένου κυμαινόμενου κυκλώματος και να χαράξομε την καμπύλη συντονισμού του.

Αν το κύκλωμα στο σχήμα 1.4α έχει L = 2535 μH, C = 1000 pF, $R_{\epsilon v} = 16\Omega$ και τάση πηγής 1 V, τότε η συχνότητα συντονισμού του f_0 είναι:

$$f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} = \frac{1}{2\times 3{,}14\sqrt{2535\times 10^{-6}\times 1000\times 10^{-12}}} = 100\,000 \text{ c/s}$$

και

$$Q = \frac{L\omega}{R_{\epsilon v}} = \frac{2535\times 10^{-6}\times 2\times 3{,}14\times 100\,000}{16} = 100$$

Σε μια χαμηλή συχνότητα, π.χ. 10 kc/s, η Z του κυκλώματος είναι:

$$Z = \sqrt{R^2 + \left(L\omega - \frac{1}{C\omega}\right)^2} = 15\,930\ \Omega$$

με χωρητική συμπεριφορά, γιατί υπερτερεί η X_C και το ρεύμα προπορεύεται από την τάση της πηγής σε γωνία:

$$\epsilon\varphi\varphi = \frac{X_L - X_C}{R_{\epsilon v}} = \frac{159 - 15\,927}{15} = -985 \quad \text{και} \quad \varphi \cong 90^\circ$$

$$I = \frac{E}{Z} = \frac{1}{985} \cong 1 \text{ mA} \quad \text{με προπορεία } 90^\circ \text{ περίπου}$$

Σε μια υψηλή συχνότητα, π.χ. 1 Mc/s, η Z είναι:

$$Z = \sqrt{R^2 + \left(L\omega - \frac{1}{C\omega}\right)^2} = 15\,930\ \Omega$$

με επαγωγική συμπεριφορά, γιατί υπερτερεί η X_L και το ρεύμα καθυστερεί από την τάση της πηγής σε γωνία:

$$\epsilon\varphi\varphi = \frac{X_L - X_C}{R_{\epsilon v}} = \frac{15\,927 - 159}{15} = 985 \quad \text{και} \quad \varphi \cong -90^\circ$$

$$I = \frac{E}{Z} = \frac{1}{985} \cong 1 \text{ mA} \quad \text{με καθυστέρηση } 90^\circ \text{ περίπου}$$

Αυτά συμβαίνουν σε δύο συχνότητες οι οποίες είναι μακριά από τη συχνότητα συντονισμού του κυκλώματος.

Ας μελετήσομε τώρα τη μεταβολή της Z και του I για συχνότητες πολύ κοντά στην f_0 και ας χαράξομε την καμπύλη συντονισμού. Δίνοντας στην f τιμές από 90 kc/s ως 110 kc/s, υπολογίζομε τις αντίστοιχες τιμές του Z και από αυτές τις αντίστοιχες τιμές του I, όπως φαίνεται στο σχήμα 1.4δ(α). Από τον πίνακα φαίνεται η μεταβολή της Z και το ελάχιστο της τιμής της στην f_0 (100 kc/s). Οι τιμές αυτές αντιστοιχούν σε μια καμπύλη, όπως του σχήματος 1.4γ.

Με τις τιμές του I χαράζομε την καμπύλη συντονισμού του κυκλώματος [σχ. 1.4δ(β)]. Παρατηρούμε ότι το ρεύμα γίνεται μέγιστο μόνο στη συχνότητα συντονισμού f_0 και σε περιορισμένο αριθμό συχνοτήτων πολύ κοντά στην f_0, ενώ για τις άλλες συχνότητες είναι πολύ μικρό. Αυτό δείχνει μια σπουδαία ικανότητα του κυμαινόμενου κυκλώματος που σημαίνει ότι, αν το τροφοδοτήσομε με ένα πλήθος συχνοτήτων, διεγείρεται και παρουσιάζει μέγιστο ρεύματος μόνο σε μία, την f_0. Την ικανότητα αυτή ονομάζομε ***επιλογή.***

Στις τηλεπικοινωνίες, από ένα πλήθος συχνοτήτων που διεγείρουν την κεραία του δέκτη, πρέπει να επιλέξομε μία, την επιθυμητή, για να έλθομε σε επαφή με τον αντίστοιχο πομπό. Για το σκοπό αυτό εκμεταλλευόμαστε την ικανότητα του συντονιζόμενου κυκλώματος και, με ένα μεταβλητό πυκνωτή ή μεταβλητό πηνίο, έχομε τη δυνατότητα να μεταβάλλομε την f_0 του κυμαινόμενου κυκλώματος και ο δέκτης να συντονίζει και να επιλέγει κάθε φορά το σήμα του πομιού που μας ενδιαφέρει.

Είναι φανερό ότι, για να είναι καλύτερη η επιλογή και να ξεχωρίζει καλύτερα η f_0, θα πρέπει η καμπύλη να είναι όσο το δυνατό οξύτερη. Η οξύτητα εξαρτάται από την ενεργό αντίσταση του κυκλώματος, γιατί όσο πιο μικρή είναι τόσο το I γίνεται μεγαλύτερο. Για την ακρίβεια η οξύτητα εξαρτάται από το συντελεστή ποιότητας Q του πηνίου και γενικά του κυμαινόμενου κυκλώματος, που χαρακτηρίζει την ικανότητα επιλογής από το:

$$\Delta f = \frac{f_0}{Q}$$

όπου Δf είναι μία ζώνη συχνοτήτων πολύ κοντά στη συχνότητα συντονισμού. Το Δf καθορίζεται μεταξύ δύο συχνοτήτων f_1 μικρότερης από την f_0 και f_2 μεγαλύτερης από την f_0.

Στις δύο αυτές συχνότητες το ρεύμα του κυμαινόμενου κυκλώματος γίνεται:

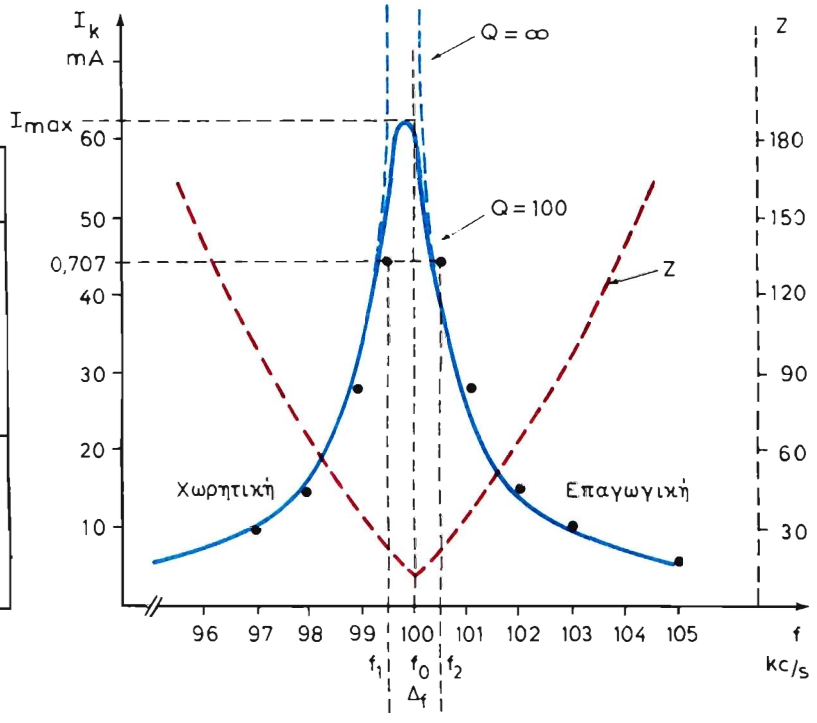
$$I_\kappa = \sqrt{\frac{I_0^2}{2}} = 0{,}707\ I_0$$

Στο σχήμα 1.4δ(β) π.χ. το I_0 είναι 62,5 mA και το 0,707 αυτού είναι 44,2 mA. Φέρομε ευθεία από το 44,2, παράλληλη προς τον άξονα των συχνοτήτων, η οποία τέμνει την καμπύλη σε δύο σημεία M και M΄. Φέροντας τώρα καθέτους από τα σημεία τομής, βρίσκομε τις συχνότητες f_1 και f_2. Η διαφορά τους μας δίνει το εύρος των διερχομένων συχνοτήτων, που μπορεί να έχουν το ίδιο περίπου αποτέλεσμα με την f_0.

$$\Delta f = f_2 - f_1 = 100\,500 - 99\,500 = 1000 \text{ c/s}$$

ή

f σε kc/s	Z σε Ω	I σε mA
90	338	2,96
95	164	6,1
97	98,3	10,17
98	66	15,15
99	36	28
99,5	22,6	44
100	16	62,5
100,5	22,6	44
101	36	28
102	66	15,15
103	98,3	10,17
105	164	6,1
110	338	2,96



Σχ. 1.46.
Καμπύλη συντονισμού (ρεύματος) κυκλώματος σειράς.

$$\Delta f = \frac{f_0}{Q} = \frac{100\,000}{100} = 1000 \text{ c/s}$$

Από τη γραφική κατασκευή βρίσκομε το Q του κυκλώματος, αφού:

$$Q = \frac{f_0}{\Delta f} = \frac{f_0}{f_2 - f_1}$$

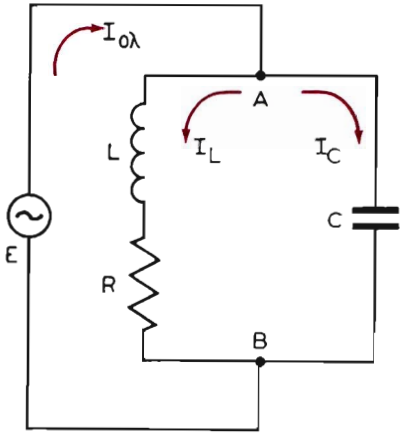
Αν θέλομε καλύτερη επιλογή και οξύτερη καμπύλη με μικρό εύρος διερχομένων συχνοτήτων, πρέπει να μειώσομε τις απώλειες του κυμαινόμενου κυκλώματος για να αυξηθεί το Q. Αν στο παράδειγμα, το $R_{εν}$ γίνει 13,27 Ω το Q γίνεται 120 και το Δf:

$$\Delta f = \frac{f_0}{Q} = \frac{100\,000}{120} = 833 \text{ c/s}$$

Επίδραση επίσης στη μορφή της καμπύλης και στο Δf έχει και ο λόγος L/C, ο οποίος, όταν αυξάνει (για την ίδια f_0), με αύξηση του L ή μείωση του C, η καμπύλη γίνεται οξύτερη, με αποτέλεσμα το Δf να μικραίνει. Όταν ο λόγος μειώνεται, με μείωση του L ή αύξηση του C, το Δf αυξάνει και η επιλεκτικότητα μικραίνει.

1.5 Παράλληλος συντονισμός.

Μια άλλη μορφή συντονισμού με μεγάλο ενδιαφέρον είναι ο συντονισμός των στοιχείων L,C και R σε παράλληλη σύνδεση (σχ. 1.5α). Ο αντιστάτης R συνδέεται σε σειρά με το πηνίο L γιατί αντιπροσωπεύει πάλι την ωμική του αντίσταση και το σύνολο των απωλειών στο κυμαινόμενο κύκλωμα. Τα φαινόμενα στη σύνδεση αυτή είναι αντίθετα με αυτά στο συντονισμό σειράς, γι' αυτό και ο παράλληλος συντονισμός λέγεται και ***αντισυντονισμός.***



Σχ. 1.5α.
Κύκλωμα παράλληλου συντονισμού.

Για μια τυχαία συχνότητα f της πηγής, η ολική αντίσταση ή αντίδραση του κυκλώματος θα είναι:

$$Z_{o\lambda} = \frac{Z_L \cdot Z_c}{Z_L + Z_c} \qquad (1.27)$$

όπου $Z_L = R + jL\omega$

και $Z_c = -\frac{j}{C\omega}$

οπότε έχομε: $$Z = \frac{(R + jL\omega)\cdot(-\frac{j}{C\omega})}{R + j(L\omega - \frac{1}{C\omega})} \qquad (1.28)$$

Αν θεωρήσομε ότι το R είναι πολύ μικρό σε σχέση με το X_L, τότε το μέτρο της σύνθετης αντιστάσεως γίνεται:

$$|Z_{o\lambda}| = \frac{(L/C)}{\sqrt{R^2 + (L\omega - \frac{1}{C\omega})^2}} \qquad (1.29)$$

όπου ο παρονομαστής είναι η σύνθετη αντίσταση στο συντονισμό σειράς.

Το ρεύμα του κυκλώματος $I_{ολ}$ διακλαδίζεται στους δύο κλάδους του L και του C και γίνεται:

$$I_L = \frac{E}{X_L} \qquad \text{και} \qquad I_c = \frac{E}{X_c} \tag{1.30}$$

Τα δύο ρεύματα βρίσκονται σε αντίφαση μεταξύ τους, γιατί το I_L στο πηνίο καθυστερεί από την τάση της πηγής E, ενώ το I_c στον πυκνωτή προπορεύεται από αυτή.

Με τη μεταβολή της συχνότητας της πηγής μεταβάλλεται και η αντίδραση των στοιχείων L και C. Σε μια χαμηλή συχνότητα το πηνίο παρουσιάζει μικρή αντίδραση, ενώ ο πυκνωτής μεγάλη. Το μεγαλύτερο ρεύμα περνά από τον κλάδο του πηνίου έχοντας καθυστέρηση από την τάση της πηγής. Έτσι η ολική αντίδραση είναι μικρή με επαγωγική συμπεριφορά και το ολικό ρεύμα είναι μεγάλο με καθυστέρηση.

Σε μια μεγαλύτερη συχνότητα η αντίδραση του πηνίου γίνεται μεγάλη, ενώ του πυκνωτή μικρή. Το μεγαλύτερο ρεύμα περνά από τον κλάδο του πυκνωτή έχοντας προπορεία από την τάση της πηγής. Έτσι η ολική αντίδραση είναι μικρή, με χωρητική συμπεριφορά, και το ολικό ρεύμα του κυκλώματος είναι μεγάλο με προπορεία.

Στη συχνότητα συντονισμού f_0 η ολική αντίδραση γίνεται μέγιστη με ωμική συμπεριφορά. Βλέπομε ότι συμπεριφέρεται και μεταβάλλεται αντίθετα με την αντίδραση του συντονισμού σειράς (σχ. 1.4γ).

Στην f_0 έχομε πάλι ισότητα των δύο αντιδράσεων και συντονισμό:

$$X_L = X_c$$

και ισχύει πάλι:

$$f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \tag{1.31}$$

Τα βασικά φαινόμενα είναι:

α) Η σύνθετη αντίσταση του κυκλώματος στις άκρες A και B του κυκλώματος (σχ. 1.5α) γίνεται:

$$Z_0 = Z_{AB} = \frac{L/C}{\sqrt{R^2 + \left(L\omega - \frac{1}{C\omega}\right)^2}} = \frac{L/C}{R} = \frac{L}{CR} \tag{1.32}$$

επειδή ο παρονομαστής στο συντονισμό γίνεται ίσος με R.

Αν πολλαπλασιάσομε αριθμητή και παρονομαστή του τελευταίου κλάσματος με ω_0, έχομε:

$$Z_0 = \frac{L}{CR} = \frac{L\omega_0}{RC\omega_0} = \frac{Q}{C\omega_0} = QL\omega_0 \tag{1.33}$$

επειδή $\dfrac{L\omega_0}{R} = Q$ και $L\omega_0 = \dfrac{1}{C\omega_0}$

Στη σχέση (1.33) παρατηρούμε ότι η ολική αντίδραση Z_{AB} του κυκλώματος γίνεται μέγιστη και ίση με Q φορές την $L\omega_0$ ή Q φορές την $1/C\omega_0$. Το αποτέλεσμα αυτό ονομάζεται ***φαινόμενο της υπεραντιστάσεως στον παράλληλο συντονισμό.*** Η υπεραντίσταση έχει ωμική συμπεριφορά, επειδή η X_L εξισορροπεί την X_C, ο παρονομαστής $\sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2}$ γίνεται ωμικός και ίσος με R και στο κύκλωμα υπάρχουν μόνο οι πραγματικές απώλειες.

β) Το ρεύμα του κυκλώματος $I_{o\lambda}$ γίνεται ελάχιστο, εφόσον η αντίσταση γίνεται μέγιστη και βρίσκεται σε φάση με την τάση της πηγής:

$$I_{o\lambda} = \frac{E}{Z_0} = \frac{E}{Z_{AB}} = \frac{ECR}{L} = \frac{E}{QL\omega_0} \qquad (1.34)$$

γ) Τα ρεύματα στους κλάδους του πηνίου και του πυκνωτή είναι:

$$I_L = \frac{E}{L\omega_0}$$

και

$$I_C = \frac{E}{1/C\omega_0} = EC\omega_0$$

γιατί η τάση E της πηγής είναι ίδια και για τους δύο κλάδους.

Επειδή όμως:

$$Z_{AB} = L\omega_0 Q \quad \text{και} \quad L\omega_0 = \frac{Z_{AB}}{Q}$$

έχομε

$$I_L = \frac{E}{L\omega_0} = \frac{E}{Z_{AB}} \cdot Q = I_{o\lambda} \cdot Q \qquad (1.35)$$

Δηλαδή στο συντονισμό το ρεύμα του πηνίου I_L γίνεται μέγιστο και ίσο με Q φορές το ολικό ρεύμα που δίνει η πηγή. Το αποτέλεσμα αυτό ονομάζεται ***φαινόμενο της υπερεντάσεως*** και είναι αντίστοιχο του φαινομένου της υπερτάσεως στο συντονισμό σειράς. Το ίδιο φαινόμενο παρατηρείται και στον κλάδο του πυκνωτή, όπου το I_C γίνεται Q φορές το ολικό ρεύμα του κυκλώματος:

$$I_C = QI_{o\lambda}$$

Τα δύο αυτά ρεύματα είναι αντίθετα και περίπου ίσα, γιατί το I_L είναι λίγο μικρότερο από το I_C, επειδή υπάρχει και η R σε σειρά με το L. Στους κόμβους A και B εξισορροπούνται και μένει να δρα μόνο το ρεύμα απωλειών του κυκλώματος που είναι η διαφορά:

$$I_C - I_L = I_R$$

Για την υπερένταση μπορεί να δοθεί και μια φυσική εξήγηση. Ο πυκνωτής και το πηνίο βρίσκονται σε σύνδεση όπως στο σχήμα 1.3β και ο πυκνωτής φορτίζεται και εκφορτίζεται με το πηνίο, στην ιδιοσυχνότητά τους. Το ρεύμα σ' αυτή την εσωτερική λειτουργία είναι μέγιστο και οι ταλαντώσεις συντηρούνται από την εξωτερική πηγή E που έχει την ίδια συχνότητα f_0. Η πηγή E (σχ. 1.5α) προσφέρει ένα πολύ

μικρό ρεύμα I_R, το οποίο αναπληρώνει τις απώλειες του κυμαινόμενου κυκλώματος και οι ταλαντώσεις γίνονται συντηρούμενες.

Στον παράλληλο συντονισμό ενδιαφέρον παρουσιάζει η μεταβολή της ολικής αντιστάσεως $Z_{o\lambda}$ του κυκλώματος, την οποία μπορούμε να παραστήσομε γραφικά θέτοντας στον άξονα των x τη συχνότητα f και στον άξονα των y τη $Z_{o\lambda}$.

Ας επιχειρήσομε πάλι να μελετήσομε τη συμπεριφορά ενός δεδομένου παράλληλου κυκλώματος, όπως αυτό του σχήματος 1.5α και με τιμές L = 2535 μH, C = 1000 pF, $R_{\epsilon v} = 16\ \Omega$ και τάση πηγής 1 V. Η συχνότητα συντονισμού είναι:

$$f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} = 100\,000\ c/s \quad \text{και το} \quad Q = \frac{L\omega_0}{R_{\epsilon v}} = 100$$

Σε μια χαμηλή συχνότητα, π.χ. 10 kc/s, η $Z_{o\lambda}$ του κυκλώματος είναι:

$$Z_{o\lambda} = \frac{Z_L \cdot Z_c}{Z_L + Z_c} \quad \text{ή} \quad |Z_{o\lambda}| = \frac{L/C}{\sqrt{R^2 + \left(L\omega - \frac{1}{C\omega}\right)^2}} = 159\ \Omega \qquad (1.36)$$

με επαγωγική συμπεριφορά, γιατί υπερτερεί η X_L.

Το ολικό ρεύμα του κυκλώματος είναι:

$$I_{o\lambda} = \frac{E}{|Z_{o\lambda}|} = \frac{1}{159} = 6{,}3\ mA$$

με καθυστέρηση 90° περίπου.

Σε μια υψηλή συχνότητα, π.χ. 1 Mc/s, η $Z_{o\lambda}$ γίνεται:

$$Z_{o\lambda} = \frac{Z_L \cdot Z_c}{Z_L + Z_c} \quad \text{ή} \quad |Z_{o\lambda}| = \frac{L/C}{\sqrt{R^2 + \left(L\omega - \frac{1}{C\omega}\right)^2}} = 159\ \Omega \qquad (1.37)$$

με χωρητική συμπεριφορά γιατί υπερτερεί η X_C.

Το ολικό ρεύμα του κυκλώματος είναι:

$$I_{o\lambda} = \frac{E}{Z_{o\lambda}} = \frac{1}{159} = 6{,}3\ mA$$

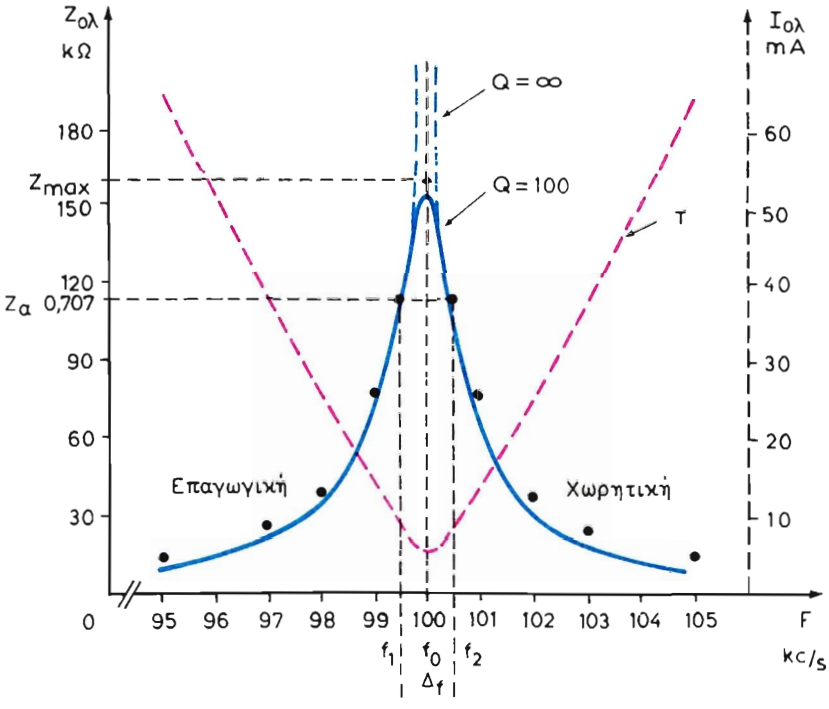
με προπορεία 90° περίπου.

Ας παρατηρήσομε πάλι τη μεταβολή της $Z_{o\lambda}$ και του $I_{o\lambda}$ σε μια περιοχή συχνοτήτων κοντά στην f_0 και ας χαράξομε την καμπύλη του $Z_{o\lambda}$ σε συνάρτηση με την f. Δίνοντας στην f τιμές από 90 kc/s ως 110 kc/s, υπολογίζομε τις αντίστοιχες τιμές του $Z_{o\lambda}$ και από αυτές του $I_{o\lambda}$, όπως φαίνεται στο σχήμα 1.5β(α).

Με τις τιμές της $Z_{o\lambda}$ χαράζομε την καμπύλη συντονισμού του κυκλώματος του σχήματος 1.5β(β). Παρατηρούμε ότι έχει την ίδια μορφή με την καμπύλη του σχήματος 1.4δ(β), μόνο που αντιστοιχεί σε τιμές της $Z_{o\lambda}$. Η $Z_{o\lambda}$ γίνεται μέγιστη μόνο στη συχνότητα f_0 (όπου ισχύει και $Z_{o\lambda} = L\omega \cdot Q = 1590 \times 100 = 159\,000$) καθώς και σε ένα μικρό αριθμό συχνοτήτων, πολύ κοντά σ' αυτή. Για τις άλλες συχνότητες η $Z_{o\lambda}$ γίνεται πολύ μικρή, αυτές δε οι συχνότητες διαρρέουν.

Την ιδιότητα της υπεραντιστάσεως του κυκλώματος, το οποίο λειτουργεί ως

f σε kc/s	$Z_{o\lambda}$ σε Ohm	$I_{o\lambda}$ σεmA
90	7.504	133
95	15.442	64,7
97	25.775	38,7
98	38.385	26
99	70.827	14,1
99,5	112.042	8,9
100	155.000	6,2
100,5	112.042	8,9
101	70.827	14,1
102	38.385	26
103	25.775	38,7
105	15.442	64,7
110	7.504	133



Σχ. 1.5β.
Καμπύλη συντονισμού (αντιδράσεως) παράλληλου κυκλώματος.

κύκλωμα φραγμού, εκμεταλλευόμαστε ξανά για τη δυνατότητα επιλεκτικότητας που μας παρέχει, οπότε μας ενδιαφέρει πάλι η οξύτητα της καμπύλης. Και αυτή επίσης καθορίζεται από το Q του κυμαινόμενου κυκλώματος, γιατί από αυτό εξαρτάται το εύρος των διερχομένων συχνοτήτων Δf.

$$\Delta f = f_2 - f_1 = \frac{f_0}{Q} \qquad (1.38)$$

Στις f_2 και f_1 η τιμή της Z γίνεται ίση με 0,707 της Z_0 ή Z_{max}. Έτσι για το παράδειγμά μας $Z_0 = 159\,000\ \Omega$ και στις f_2 και f_1 γίνεται $Z_a = Z_0.0{,}707 = 112\,413\ \Omega$. Βρίσκομε πάλι ότι $f_1 = 99\,500$ c/s, $f_2 = 100\,500$ c/s και $\Delta f = 1000$ c/s.

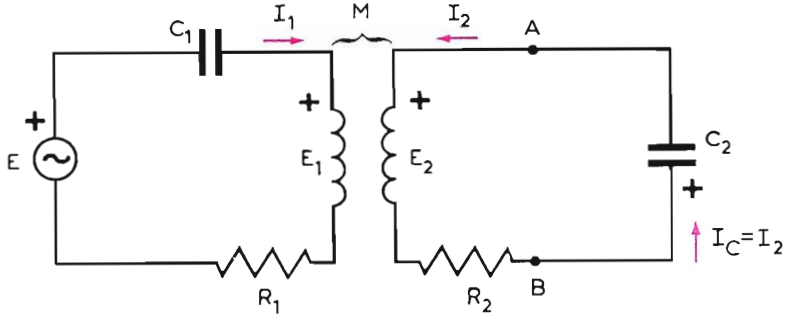
Η μείωση των απωλειών στο κύκλωμα και η αύξηση του Q, αποτέλεσμα έχει να γίνεται η καμπύλη οξύτερη και να αυξάνει η επιλεκτικότητα. Αν όμως θέλομε συντονισμένο κύκλωμα με μεγάλο Δf, προσθέτομε έναν αντιστάτη αντίστοιχης τιμής, παράλληλα στο κυμαινόμενο κύκλωμα, με αποτέλεσμα να μειώνεται το Q και να αυξάνει το Δf.

Οι ιδιότητες των παραλλήλων συντονιζομένων κυκλωμάτων έχουν μεγαλύτερο ενδιαφέρον από ότι τα κυκλώματα σειράς, επειδή χρησιμοποιούνται περισσότερο στους πομπούς και στους δέκτες. Τα συντονιζόμενα κυκλώματα θα ξανασυναντήσομε και θα μελετήσομε στους ενισχυτές ραδιοσυχνοτήτων στο τέταρτο, πέμπτο και έβδομο κεφάλαιο.

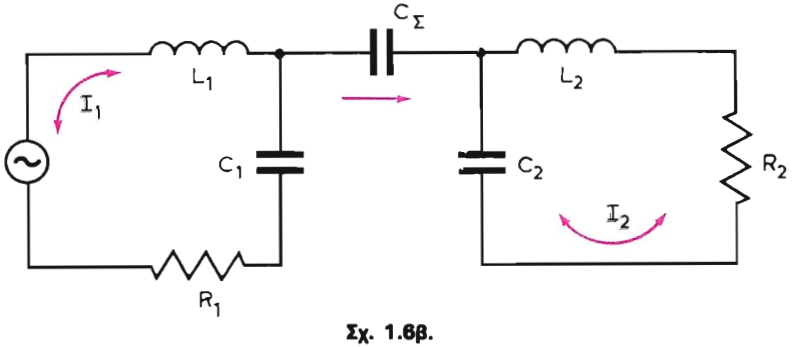
1.6 Κυκλώματα σε σύζευξη.

Τα συντονισμένα κυκλώματα μπορεί να χρησιμοποιούνται μόνα τους στις βαθμίδες ραδιοσυχνότητας ή να βρίσκονται σε σύζευξη με άλλα συντονισμένα ή ασυντόνιστα κυκλώματα. Τότε η ηλεκτρική ενέργεια εναλλασσόμενου ρεύματος μεταφέρεται από το ένα κύκλωμα στο άλλο. Η σύζευξη μπορεί να είναι ***μαγνητική*** ή ***ηλεκτρική.***

Στη μαγνητική ή επαγωγική σύζευξη, τα δύο κυκλώματα πρέπει να βρίσκονται το ένα πολύ κοντά στο άλλο, ώστε η μαγνητική ροή του πηνίου του ενός, να επιδρά στο πηνίο του άλλου και να του προκαλεί τάση εξ επαγωγής. Λέμε τότε ότι τα κυκλώματα βρίσκονται σε ***αμοιβαία επαγωγή*** (σχ. 1.6α).



Σχ. 1.6α.
Συντονισμένα κυκλώματα με επαγωγική σύζευξη.



Σχ. 1.6β.
Συντονισμένα κυκλώματα με χωρητική σύζευξη.

Στην ηλεκτρική σύζευξη μπορεί τα κυκλώματα να είναι το ένα κοντά στο άλλο, αλλά να μην έχουν αμοιβαία επαγωγή ή να βρίσκονται το ένα μακριά από το άλλο και η ηλεκτρική ενέργεια να μεταφέρεται με έναν πυκνωτή (σχ. 1.6β).

Στη συνέχεια θα μελετήσομε τα φαινόμενα της επαγωγικής συζεύξεως γιατί είναι η μέθοδος που χρησιμοποιείται περισσότερο. Θα δεχθούμε επίσης ότι και τα δύο κυκλώματα συντονίζουν στην ίδια συχνότητα f_0 και ότι μπορεί να μεταβάλλεται η μεταξύ τους απόσταση και από αυτή ο συντελεστής αμοιβαίας επαγωγής M ή ο συντελεστής συζεύξεως κ.

Το κύκλωμα που τροφοδοτείται από την πηγή λέγεται ***πρωτεύον,*** ενώ το άλλο

που διεγείρεται από αυτό λέγεται ***δευτερεύον*** (σχ. 1.6α).

Η πηγή του πρωτεύοντος κυκλώματος κινεί σ' αυτό ένα εναλλασσόμενο ρεύμα I_1 το οποίο περνώντας από το πηνίο L_1, δημιουργεί σ' αυτό μια εναλλασσόμενη ροή Φ_1. Ένα μέρος από τη ροή αυτή περνά από το πηνίο L_2 του δευτερεύοντος κυκλώματος και προκαλεί σ' αυτό μια τάση εξ επαγωγής που είναι:

$$E_2 = jM\omega I_1$$

(με πόλωση όπως στο σχήμα 1.6α).

Το ρεύμα του δευτερεύοντος I_2, δημιουργεί μία τάση στο πρωτεύον (λόγω της συζεύξεως) που είναι:

$$E_1 = jM\omega I_2$$

(με πόλωση όπως στο σχήμα 1.6α).

Γράφοντας την εξίσωση βρόχων για το πρωτεύον και δευτερεύον κύκλωμα σύμφωνα με το δεύτερο νόμο του Κίρχωφ, έχομε:

$$E_1 = j\omega L_1 I_1 + j\omega M I_2 \qquad \text{ή} \qquad E_1 = Z_1 I_1 + j\omega M I_2 \tag{1.39}$$

$$O = j\omega L_2 I_2 + j\omega M I_1 + \frac{1}{j\omega C} I_2 \tag{1.40}$$

ή

$$-j\omega M I_1 = Z_2 I_2 \tag{1.41}$$

όπου

$$Z_2 = j\omega L_2 - j\frac{1}{\omega C} \tag{1.42}$$

και, αντικαθιστώντας την (1.41) στην (1.39), έχομε:

$$E_1 = Z_1 I_1 + j\omega M \frac{(-j\omega M)}{Z_2} I_1 \tag{1.43}$$

Και επειδή

$$j\,(-j) = 1$$

έχομε τελικά

$$\frac{E_1}{I_1} = Z_1 + \frac{(\omega M)^2}{Z_2} \tag{1.44}$$

Ο όρος $M^2\omega^2/Z_2$ είναι μια αντίσταση που προέρχεται από το δευτερεύον κύκλωμα, λόγω της συζεύξεως και προστίθεται στην αντίσταση Z_1 του πρωτεύοντος. Η αντίσταση αυτή λέγεται ***σύνθετη αντίσταση συζεύξεως*** Z_σ. Για τον ίδιο λόγο και στην αντίσταση του δευτερεύοντος Z_2 προστίθεται και μια αντίσταση $M^2\omega^2/Z_1$, η οποία εισάγει το πρωτεύον στο δευτερεύον.

Η τιμή της Z_σ εξαρτάται από το συντελεστή αμοιβαίας επαγωγής M ή από το κ. Το M ή το κ καθορίζονται από την απόσταση που έχουν μεταξύ τους τα δύο πηνία. Το M κυμαίνεται από λίγα μH ως λίγα mH, ενώ το κ από λίγα χιλιοστά ως λίγα δέκατα (0,002-0,2).

Τη συμπεριφορά των κυκλωμάτων μπορούμε να μελετήσομε για τρεις βασικές περιπτώσεις συζεύξεως, τη ***χαλαρή,*** την ***κρίσιμη*** και την ***υπερκρίσιμη*** ή ***έντονη σύζευξη.***

Στη χαλαρή σύζευξη, η απόσταση των πηνίων είναι σχετικά μεγάλη (κ=0,001 - 0,005) και έχομε μόνο επίδραση των στοιχείων του πρωτεύοντος στο δευτε-

ρεύον, δηλαδή μόνο της ροής Φ_1 στο L_2, ενώ η ροή Φ_2 του L_2 δεν φθάνει και δεν επιδρά στο L_1. Ο όρος $Z_\sigma = M^2\omega^2/Z_2$ είναι μηδέν και στο πρωτεύον δρα μόνο η Z_1. Έτσι το ρεύμα στο πρωτεύον είναι μέγιστο, ενώ στο δευτερεύον θα έχομε μια μικρή ΗΕΔ και ένα ασήμαντο ρεύμα I_2.

Αν πλησιάσομε περισσότερο τα πηνία, αρχίζει η επίδραση του δευτερεύοντος στο πρωτεύον. Η αντίσταση του πρωτεύοντος αρχίζει να αυξάνει και το ρεύμα να μειώνεται. Το ρεύμα του δευτερεύοντος I_2 αυξάνει καθώς πλησιάζομε τα πηνία και, σε μία απόσταση κρίσιμη, η σύζευξη γίνεται κρίσιμη: $\kappa = \kappa_c$. Το ρεύμα I_2 έχει τότε τη μέγιστη δυνατή τιμή του, ενώ στο πρωτεύον έχει υποβιβασθεί αρκετά. Αν τα δύο κυκλώματα είναι συντονισμένα στη συχνότητα συντονισμού f_0, η σύνθετη αντίσταση Z γίνεται ωμική R και, στην κρίσιμη σύζευξη, η αντίσταση του δευτερεύοντος, που έχει ωμική συμπεριφορά, γίνεται ίση με την αντίσταση που εισάγει το πρωτεύον στο δευτερεύον:

$$R_2 = \frac{M^2\,\omega^2}{R_1}$$

Η τιμή του συντελεστή της κρίσιμης συζεύξεως κ_c δίνεται από τη σχέση:

$$\kappa_c = \frac{1}{\sqrt{Q_1 \cdot Q_2}}$$

όπου Q_1 και Q_2 οι συντελεστές ποιότητας των δύο κυκλωμάτων. Αν π.χ. έχομε δύο κυκλώματα που συντονίζονται στην ίδια συχνότητα και έχουν $Q_1 = Q_2 = 100$, τότε το κ_c είναι 0,01.

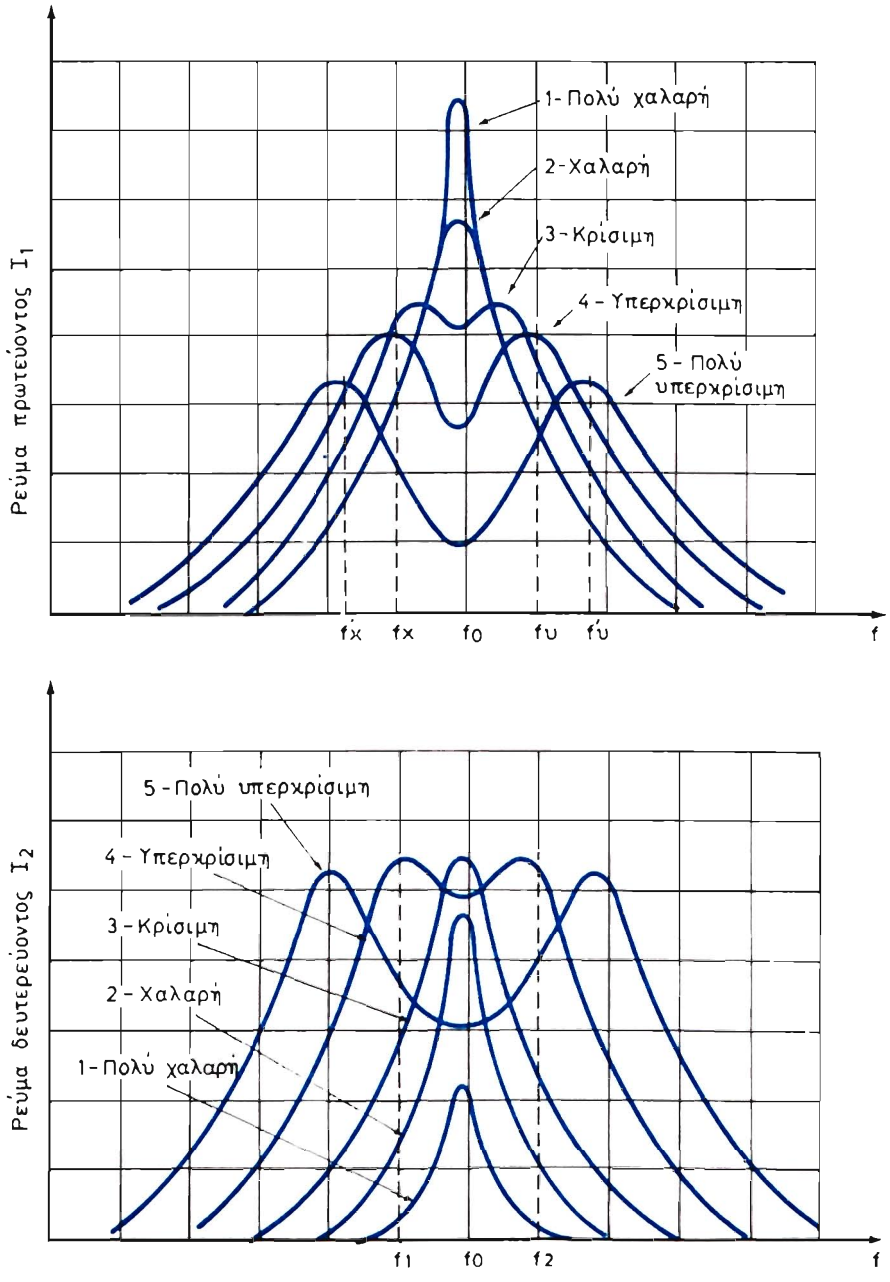
Αν πλησιάσομε περισσότερο τα πηνία, φθάνομε στην ***υπερκρίσιμη*** ή ***έντονη σύζευξη.*** Η αλληλεπίδραση των κυκλωμάτων είναι τόσο έντονη, ώστε αρχίζει και το ρεύμα του δευτερεύοντος να μειώνεται. Όσο πλησιάζομε τα πηνία τόσο τα ρεύματα πρωτεύοντος μειώνονται, τείνοντας να μηδενισθούν, πάντα στη συχνότητα συντονισμού.

Χαράζοντας τις καμπύλες συντονισμού των δύο κυκλωμάτων και τροφοδοτώντας το πρωτεύον με σταθερή τάση και συχνότητες κοντά στην f_0 για διάφορες τιμές του συντελεστή συζεύξεως κ, μπορούμε να δούμε τη συμπεριφορά των δύο κυκλωμάτων στις άλλες συχνότητες δεξιά και αριστερά της f_0. Στο σχήμα 1.6γ φαίνεται η μεταβολή του ρεύματος I_1 στο πρωτεύον και του I_2 στο δευτερεύον.

Στις καμπύλες πρωτεύοντος και δευτερεύοντος παρατηρούμε ότι, από την κρίσιμη σύζευξη και πέρα, εμφανίζονται δύο μέγιστα ρεύματος δεξιά και αριστερά από την f_0, σαν να εμφανίζονται δύο νέες συχνότητες συντονισμού, μια χαμηλότερη από την f_0, η f_χ, και μια υψηλότερη, η f_υ.

Αυτό οφείλεται στην επίδραση των στοιχείων του δετερεύοντος στο πρωτεύον και αντίστροφα. Η αντίσταση Z_2 που εισάγεται κατά το συντονισμό από το δευτερεύον, έχει ωμική συμπεριφορά ($Z_2 = R_2$) και μειώνει το ρεύμα του πρωτεύοντος. Στις χαμηλότερες και στις υψηλότερες από την f_0 συχνότητες είναι σύνθετη, γιατί περιέχει και την αντίδραση X_2 ($Z_2^2 = R_2^2 + X_2^2$).

Σε μια χαμηλότερη συχνότητα f_χ, η X_2 έχει επαγωγική συμπεριφορά. Η ωμική αντίσταση R_2 προστίθεται σε σειρά με την R_1, ενώ η X_2 με την επαγωγική της συμπεριφορά προστίθεται σε σειρά με ωL_1. Έτσι η L_1 αυξάνει καθώς προστίθεται σε σειρά η αυτεπαγωγή από τη σύζευξη L_σ. Η αύξηση όμως της αυτεπαγωγής



Σχ. 1.6γ.
Καμπύλες συντονισμού κυκλωμάτων σε σύζευξη.

αποτέλεσμα έχει να συντονίζει τώρα το κυμαινόμενο κύκλωμα σε μια χαμηλότερη συχνότητα f_x.

$$f_x = \frac{1}{2\pi \sqrt{(L_1 + L_\sigma) \cdot C}} \qquad (1.45)$$

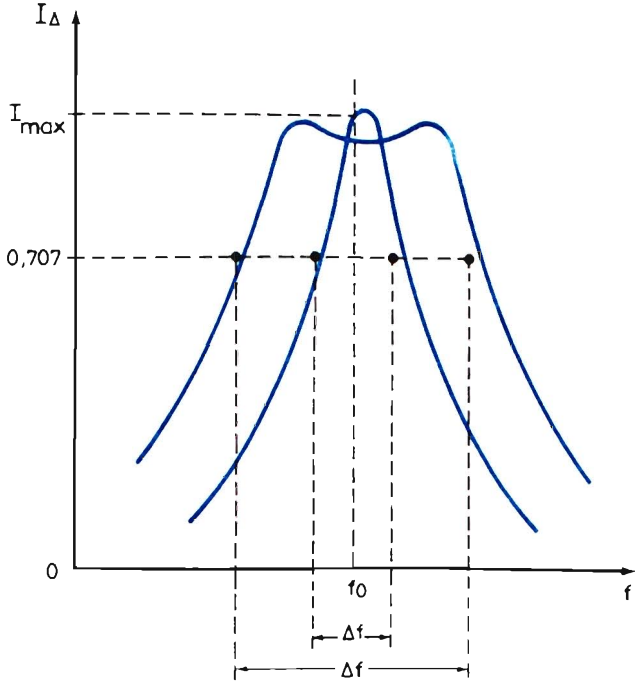
Σε μια υψηλότερη συχνότητα $f_υ$, η X_2 έχει χωρητική συμπεριφορά και η χωρητικότητα $C_σ$ από τη σύζευξη, προστίθεται σε σειρά με την C_1. Το $C_{oλ}$ γίνεται μικρότερο του C_1 (πρόσθεση σε σειρά χωρητικοτήτων), με αποτέλεσμα η συχνότητα συντονισμού $f_υ$ να είναι μεγαλύτερη από την f_0.

$$f_υ = \frac{1}{2\pi\sqrt{L \cdot (C_1 + C_σ)}} \quad \left(C_{oλ} = \frac{C_1 \cdot C_σ}{C_1 + C_σ}\right) \qquad (1.46)$$

Αντίστοιχη συμπεριφορά έχομε και στο δευτερεύον, με την επίδραση των στοιχείων του πρωτεύοντος στο δευτερεύον.

Όσο η σύζευξη γίνεται εντονότερη, οι δύο συχνότητες f_x και $f_υ$ απομακρύνονται συμμετρικά από την f_0, με σύγχρονη μείωση του I_1 σ' αυτές (σχ. 1.6γ, ρεύμα πρωτεύοντος). Στο δευτερεύον απομακρύνονται πάλι συμμετρικά οι f_x και $f_υ$, αλλά το I_2 πρακτικά παραμένει σταθερό, έχοντας την ίδια τιμή που είχε στην f_0.

Η επίδραση αυτή του συντελεστή συζεύξεως κ, στη μορφή της καμπύλης του δευτερεύοντος έχει ιδιαίτερη σημασία. Με τη σύζευξη μπορούμε να ρυθμίσομε το εύρος των διερχομένων συχνοτήτων Δf. Παρατηρώντας την τέταρτη καμπύλη δευτερεύοντος του σχήματος 1.6γ, βλέπομε ότι ένας μεγάλος αριθμός συχνοτήτων, από f_1 ως f_2, προκαλεί πρακτικά τα ίδια αποτελέσματα που θα προκαλέσει και η f_0, δηλαδή το ίδιο ρεύμα, πράγμα που δεν μπορούμε να πετύχομε με ένα απλό συντονισμένο κύκλωμα.



Σχ. 1.6δ.
Εύρος συχνοτήτων σε απλό συντονισμένο κύκλωμα και σε σύζευξη

Όπως θα δούμε σε επόμενα κεφάλαια, στη ραδιοτηλεφωνία πρέπει να επιλέγεται η συχνότητα εκπομπής f_0 και ένας αριθμός συχνοτήτων, πάνω και κάτω από αυτή, οι οποίες περιέχουν την ομιλία και λέγονται ***πλευρικές συχνότητες.*** Η διέλευση αυτού του φάσματος επιτυγχάνεται μόνο με κυκλώματα σε σύζευξη. Στους δέκτες, τα κυκλώματα αυτά, εκτός από την είσοδο, βρίσκονται και στους ενισχυτές ενδιάμεσης συχνότητας, όπου παίρνουν την ονομασία ***φίλτρα ενδιάμεσης συχνότητας*** ή ***μετασχηματιστές ενδιάμεσης συχνότητας.***

Στο σχήμα 1.6δ φαίνονται οι καμπύλες συντονισμού στην κρίσιμη και στην υπερκρίσιμη σύζευξη. Παίρνοντας το 0,707 του μέγιστου, βρίσκομε το Δf και για τις δύο περιπτώσεις. Παρατηρούμε ότι το Δf στην υπερκρίσιμη είναι μεγαλύτερο. Επομένως, με την κατάλληλη τιμή του κ μπορούμε να ρυθμίσομε τις επιδόσεις των κυκλωμάτων επιλογής στους πομπούς και στους δέκτες τηλεφωνίας.

1.7 Παθητικά φίλτρα συχνοτήτων.

Με τον όρο ηλεκτρικά φίλτρα συχνοτήτων καθορίζομε ειδικά κυκλώματα που αποτελούνται από πυκνωτές και πηνία και έχουν σκοπό το διαχωρισμό εναλλασσομένων ρευμάτων ορισμένων συχνοτήτων. Ανάλογα με τα αποτελέσματά τους τα χωρίζομε σε:

- Φίλτρα διελεύσεως χαμηλών συχνοτήτων.
- Φίλτρα διελεύσεως υψηλών συχνοτήτων.
- Φίλτρα διελεύσεως ζώνης συχνοτήτων και
- φίλτρα αποκοπής ζώνης συχνοτήτων.

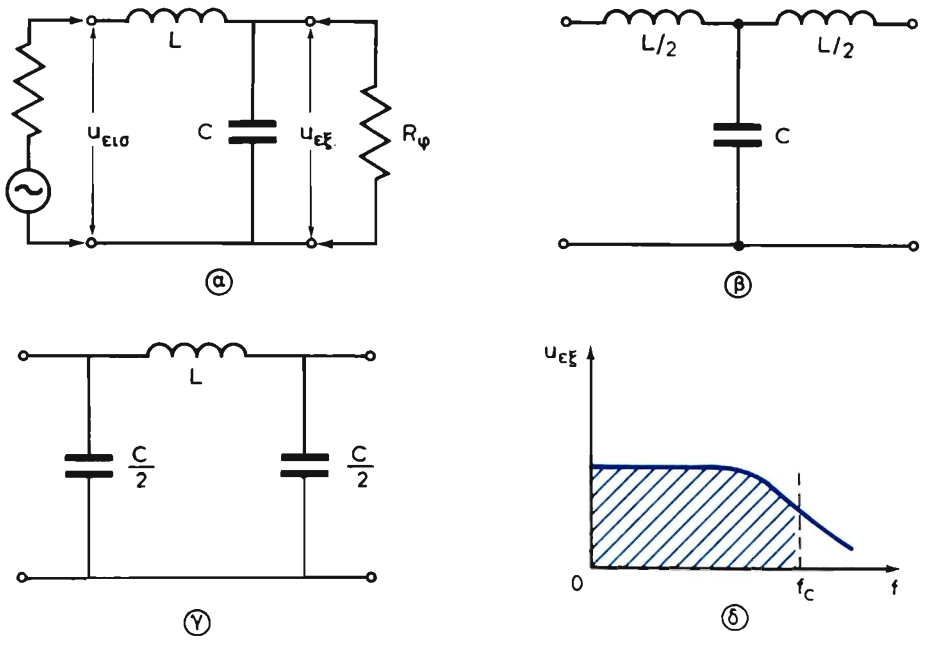
Τα φίλτρα είναι τετράπολα, με δύο ακροδέκτες εισόδου και δύο ακροδέκτες εξόδου. Στην είσοδο συνδέονται ρεύματα πλήθους συχνοτήτων που περιέχουν και τις συχνότητες που μας ενδιαφέρουν, ενώ στην έξοδο εμφανίζονται μόνο οι συχνότητες που επιτρέπει το φίλτρο.

Από τον τρόπο κατασκευής τους διακρίνονται σε φίλτρα τύπου L, τύπου Τ και τύπου Π. Μπορούμε ακόμα να τα χωρίσομε σε απλά, σύνθετα και παράγωγα. Στη συνέχεια θα περιγραφεί η λειτουργία των απλών φίλτρων, χωρίς μαθηματική ανάλυση.

α) Φίλτρα διελεύσεως χαμηλών συχνοτήτων.

Στο σχήμα 1.7α φαίνονται κατασκευαστικά οι μορφές φίλτρων τύπου L (α), τύπου Τ (β) και τύπου Π (γ). Και τα τρία στοιχεία αποτελούνται από κλάδους σειράς και παράλληλους. Οι κλάδοι σειράς είναι πηνία, ενώ οι παράλληλοι είναι πυκνωτές.

Στις χαμηλές συχνότητες το πηνίο παρουσιάζει πολύ μικρή αντίδραση, ενώ ο πυκνωτής πολύ μεγάλη. Έτσι τα ρεύματα χαμηλών συχνοτήτων διέρχονται εύκολα και εμφανίζονται στους ακροδέκτες εξόδου χωρίς πτώση της τάσεως. Το αντίθετο ακριβώς συμβαίνει στις υψηλές συχνότητες, όπου το πηνίο παρουσιάζει πολύ μεγάλη αντίδραση και δεν αφήνει το ρεύμα υψηλής συχνότητας να περάσει, ενώ συγχρόνως ο πυκνωτής, παρουσιάζοντας πολύ μικρή αντίδραση, τις βραχυκυκλώνει. Οι τιμές των L και C καθορίζουν τη συχνότητα αποκοπής f_c, από την οποία αρχίζει η αποκοπή. Στο σχήμα 1.7α(δ) φαίνεται η καμπύλη της τάσεως εξόδου, σε συνάρτηση με τη συχνότητα, η οποία, μετά την f_c, όπου έχομε τα 0,707 της μέγιστης τιμής, αρχίζει να μηδενίζεται.



Σχ. 1.7α.
Φίλτρα διελεύσεως Χ.Σ.

β) Φίλτρα διελεύσεως υψηλών συχνοτήτων.

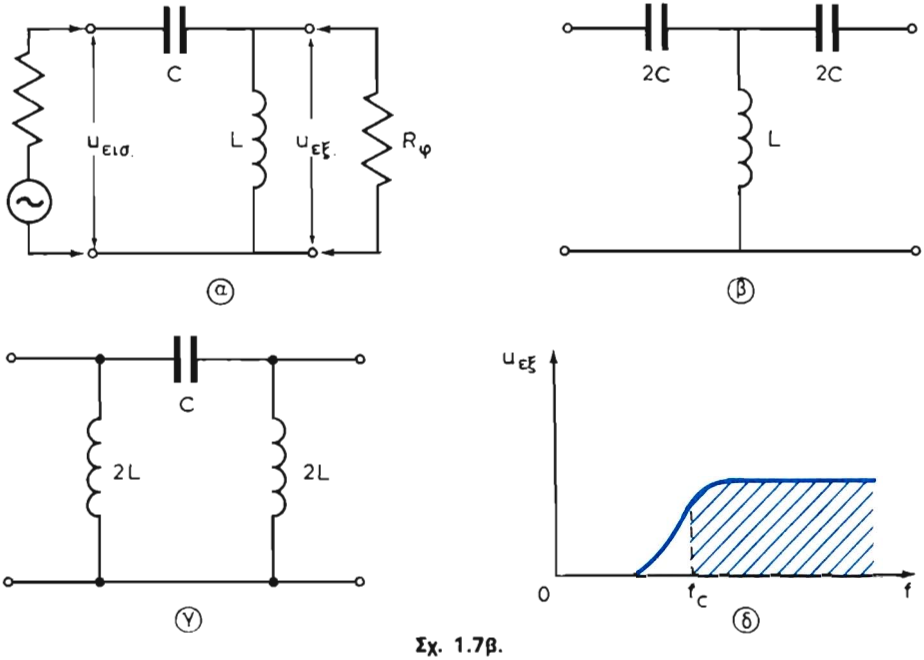
Τα φίλτρα αυτά είναι αντίθετα με τα προηγούμενα, όπως επίσης και η λειτουργία τους. Οι κλάδοι σειράς είναι πυκνωτές, ενώ οι παράλληλοι είναι πηνία, όπως φαίνεται και στο σχήμα 1.7β(α, β και γ).

Στις χαμηλές συχνότητες ο πυκνωτής παρουσιάζει μεγάλη αντίδραση, ενώ το πηνίο μικρή. Έτσι τα ρεύματα χαμηλών συχνοτήτων συναντούν μεγάλη αντίδραση στον κλάδο σειράς και δεν μπορούν να περάσουν και να εμφανισθούν στην έξοδο. Από το άλλο μέρος το πηνίο, σαν παράλληλος κλάδος, τις βραχυκυκλώνει και δεν εμφανίζονται πάλι στην έξοδο. Το αντίθετο ακριβώς συμβαίνει στις υψηλές συχνότητες, όπου ο πυκνωτής παρουσιάζει μικρή αντίδραση και το πηνίο μεγάλη. Έτσι, οι υψηλές συχνότητες εμφανίζονται στην έξοδο χωρίς μεγάλη πτώση της τάσεως. Οι τιμές των L και C καθορίζουν τη συχνότητα f_c, από την οποία αρχίζει η διέλευση των συχνοτήτων. Στο σχήμα 1.7β(δ) φαίνεται η μεταβολή της τάσεως εξόδου σε συνάρτηση με τη συχνότητα. Οι χαμηλές συχνότητες από 0 ως f_c δεν διέρχονται.

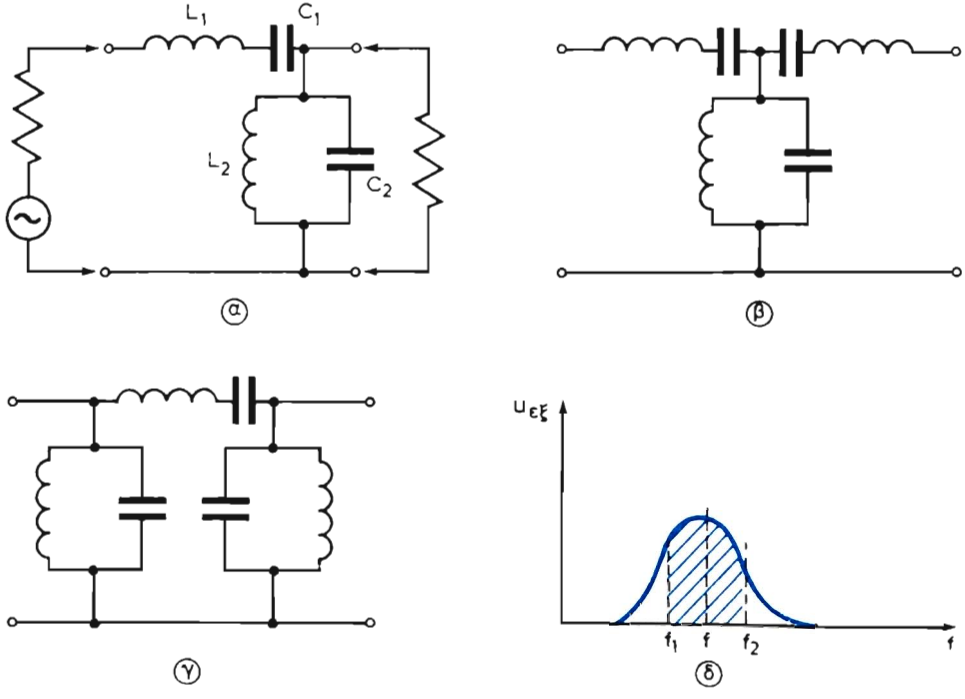
γ) Φίλτρα διελεύσεως ζώνης συχνοτήτων.

Στα φίλτρα αυτά οι κλάδοι σειράς είναι κυκλώματα συντονισμού σειράς, ενώ οι παράλληλοι κλάδοι είναι κυκλώματα παράλληλου συντονισμού, όπως φαίνεται στα κυκλώματα α,β και γ του σχήματος 1.7γ. Οι παράλληλοι κλάδοι και οι σειράς συντονίζουν στην ίδια ή περίπου στην ίδια συχνότητα f_0.

Στις χαμηλές συχνότητες, ο κλάδος σειράς L_1 C_1 παρουσιάζει μεγάλη αντίδραση και δεν επιτρέπει στα ρεύματα χαμηλής συχνότητας να περάσουν. Από το άλλο μέ-



Σχ. 1.7β.
Φίλτρα διελεύσεως Υ.Σ.

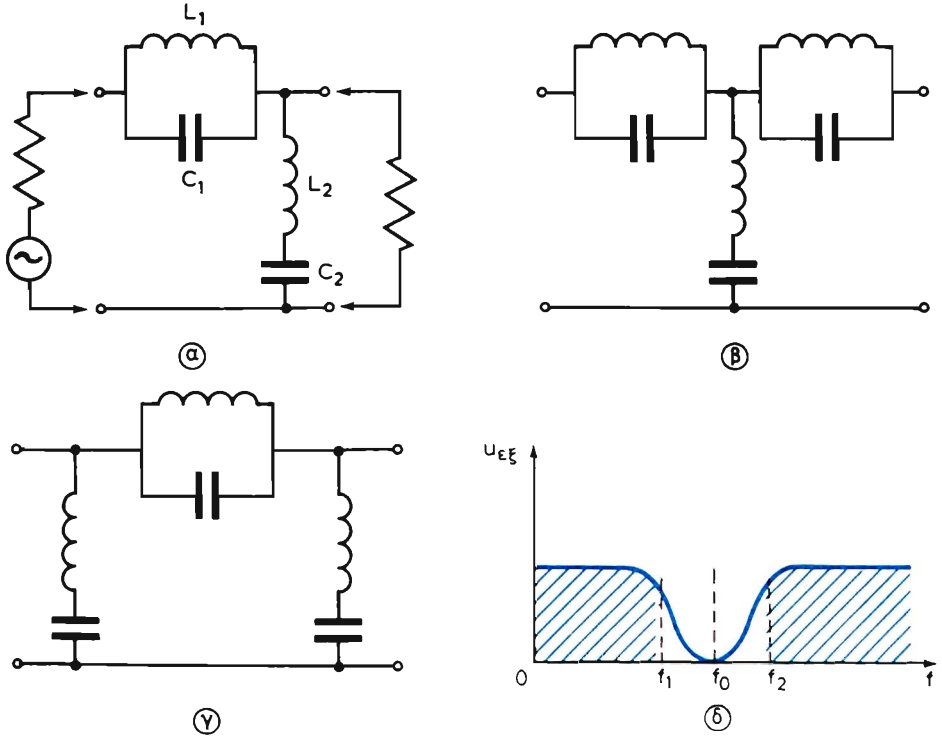


Σχ. 1.7γ.
Φίλτρα διελεύσεως ζωνης συχνοτήτων.

ρος ο παράλληλος κλάδος L_2C_2 παρουσιάζει μικρή αντίδραση και βραχυκυκλώνει τα ρεύματα αυτά. Την ίδια συμπεριφορά έχουν οι κλάδοι και στις υψηλές συχνότητες, με αποτέλεσμα να μην εμφανίζονται και αυτές στην έξοδο. Στη συχνότητα συντονισμού των δύο κλάδων f_0, ο κλάδος σειράς L_1C_1 παρουσιάζει ελάχιστη αντίσταση, ενώ ο παράλληλος L_2C_2 μέγιστη. Έτσι, μια περιοχή συχνοτήτων f_1 ως f_2 πολύ κοντά στην f_0, περνά και εμφανίζεται στην έξοδο, ενώ οι χαμηλότερες και οι υψηλότερες συχνότητες αποκόπτονται και δεν εμφανίζονται σ' αυτή [σχ. 1.7γ(δ)].

δ) Φίλτρα αποκοπής ζώνης συχνοτήτων.

Τα φίλτρα αυτά είναι αντίθετα με τα φίλτρα διελεύσεως ζώνης και στην κατασκευή και στη συμπεριφορά. Οι κλάδοι σειράς είναι παράλληλου συντονισμού και οι παράλληλοι κλάδοι είναι συντονισμού σειράς, όπως φαίνεται στα κυκλώματα α,β και γ του σχήματος 1.7δ. Οι παράλληλοι κλάδοι και οι σειράς συντονίζουν στην ίδια ή περίπου στην ίδια συχνότητα f_0.



Σχ. 1.7δ.
Φίλτρα αποκοπής ζώνης συχνοτήτων.

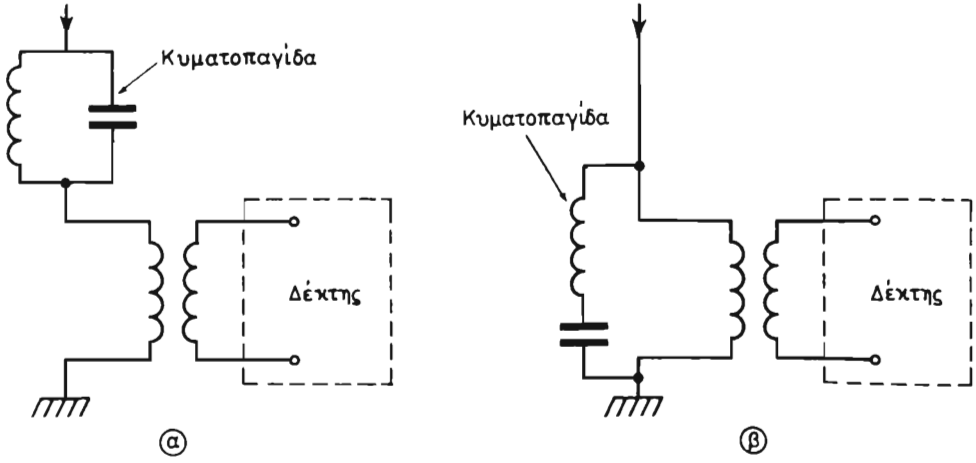
Στις χαμηλές συχνότητες ο κλάδος σειράς L_1C_1 παρουσιάζει μικρή αντίδραση και επιτρέπει στα ρεύματα χαμηλών συχνοτήτων να περνούν χωρίς μεγάλη πτώση της τάσεως. Από το άλλο μέρος ο παράλληλος κλάδος L_2C_2 παρουσιάζει μεγάλη αντίδραση και δεν τα βραχυκυκλώνει. Την ίδια συμπεριφορά έχουν οι κλάδοι και στις υψηλές συχνότητες, με αποτέλεσμα να περνούν και αυτές. Στη συχνότητα συντονισμού f_0 των δύο κλάδων, ο κλάδος σειράς παρουσιάζει υπεραντίσταση,

ενώ ο παράλληλος παρουσιάζει πολύ μικρή αντίσταση. Έτσι, μια περιοχή συχνοτήτων πολύ κοντά στην f_0, έχοντας πολύ μεγάλη πτώση της τάσεως δεν περνά, ενώ περνούν οι χαμηλότερες και οι υψηλότερες συχνότητες [σχ. 1.7δ(δ)].

Εκτός από τα ηλεκτρικά φίλτρα που έχουν περιγραφεί, υπάρχουν τα κρυσταλλικά, τα μηχανικά και τα ηλεκτρονικά φίλτρα, τα οποία περιγράφονται σε άλλα κεφάλαια. Τα συντονισμένα κυκλώματα σε σύζευξη, της προηγούμενης παραγράφου, και περισσότερο οι μετασχηματιστές ενδιάμεσης συχνότητας αποτελούν φίλτρα διελεύσεως ζώνης συχνοτήτων.

Κυματοπαγίδες.

Οι κυματοπαγίδες είναι συντονισμένα κυκλώματα σειράς ή παράλληλα που χρησιμοποιούνται στην είσοδο των δεκτών ή στην είσοδο ενισχυτικών βαθμίδων, για να παρεμποδίσουν να περάσει ή να ενισχυθεί μια ανεπιθύμητη συχνότητα. Στο σχήμα 1.7ε(α) η κυματοπαγίδα είναι παράλληλο κύκλωμα, συντονισμένο στην ανεπιθύμητη συχνότητα. Σ' αυτή τη συχνότητα θα παρουσιάζει υπεραντίσταση και δεν θα της επιτρέπει να περάσει. Στο σχήμα 1.7ε(β) η κυματοπαγίδα είναι συντονισμού σειράς και τοποθετείται παράλληλα στην είσοδο του δέκτη. Στη συχνότητα συντονισμού της, που είναι η ανεπιθύμητη συχνότητα, παρουσιάζει ελάχιστη αντίσταση, με αποτέλεσμα αυτή να περνά από το συντονισμένο κύκλωμα στη γη και να μην εισέρχεται στο δέκτη.



Σχ. 1.7ε.
Κυματοπαγίδες.

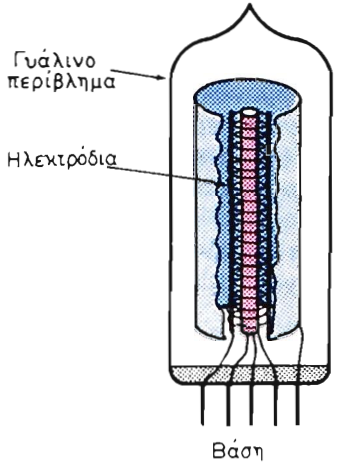
ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΔΕΥΤΕΡΟ

ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΕΣ ΛΥΧΝΙΕΣ

2.1 Γενικά.

Οι ηλεκτρονικές λυχνίες (electron tubes) και οι κρυσταλλολυχνίες (transistors), που θα γνωρίσομε σε άλλο κεφάλαιο, είναι τα βασικά εξαρτήματα των ηλεκτρονικών κυκλωμάτων. Η παρουσία των λυχνιών σε μια συσκευή, τη χαρακτηρίζει ως ηλεκτρονική και τη διαχωρίζει από τις ηλεκτρικές συσκευές.

Η λυχνία είναι διάταξη που περιλαμβάνει έναν αριθμό ηλεκτροδίων και περιβάλλεται αεροστεγώς από γυάλινο ή μεταλλικό περίβλημα (σχ. 2.1). Στο εσωτερικό μπορεί να έχει το μέγιστο δυνατό κενό, οπότε ονομάζεται ***λυχνία κενού*** (vacuum tube) ή να έχει ευγενές αέριο σε μικρή ποσότητα και πίεση, οπότε λέγεται ***λυχνία αερίου*** (gas tube).



Σχ. 2.1.
Μορφή μικρής λυχνίας λήψεως.

Τα εσωτερικά της ηλεκτρόδια καταλήγουν εξωτερικά σε ακροδέκτες (ποδαράκια), στη βάση συνήθως της λυχνίας, για να συνδεθούν, με τις αντίστοιχες υποδοχές στα αντίστοιχα μέρη του κυκλώματος.

Κύριο χαρακτηριστικό της λυχνίας είναι η αγωγιμότητα που παρουσιάζεται μέσα στο κενό μεταξύ των ηλεκτροδίων της. Στις λυχνίες αερίου η αγωγιμότητα αυτή

αυξάνει με τη βοήθεια του αερίου που βρίσκεται σε κατάσταση ιονισμού. Για να πραγματοποιηθεί η αγωγιμότητα μέσα στη λυχνία, πρέπει να γίνει εξαγωγή των ηλεκτρονίων από την επιφάνεια ενός κατάλληλου για το σκοπό αυτό μεταλλικού αγωγού, που λέγεται ***κάθοδος.*** Στη συνέχεια θα γνωρίσομε πώς γίνεται η έξοδος των ηλεκτρονίων.

2.2 Εκπομπή ηλεκτρονίων από τα μέταλλα.

Είναι γνωστό ότι στα μέταλλα υπάρχει ένας μεγάλος αριθμός ελευθέρων ηλεκτρονίων, τα οποία βρίσκονται σε μια συνεχή και ακατάστατη κίνηση, που οφείλεται στη θερμοκρασία του μετάλλου. Αυτή δίνει την απαραίτητη ενέργεια για την κίνηση. Η ταχύτητα της κινήσεως κυμαίνεται από λίγα μέτρα το δευτερόλεπτο, όταν το μέταλλο είναι κρύο, ως εκατοντάδες χιλιόμετρα το δευτερόλεπτο, όταν το μέταλλο είναι ζεστό. Στο βολφράμιο π.χ., στη θερμοκρασία των 2000° Κελσίου περίπου, η μέση ταχύτητα είναι 260 km/sec και την έχουν τα 80% των ελευθέρων ηλεκτρονίων, ενώ ένα πολύ μικρό ποσοστό 0,05% έχει ταχύτητα μεγαλύτερη από 1260 km/sec.

Τα ηλεκτρόνια, με την ταχύτητα και την κινητική ενέργεια που έχουν, μπορούν να κινηθούν αντίθετα από την κίνηση που τους επιβάλλει η τάση μιας εξωτερικής πηγής. Επίσης, με την κινητική τους ενέργεια, μπορούν να εξέλθουν από την επιφάνεια του μετάλλου, αν ξεπεράσουν τις ελκτικές δυνάμεις των μορίων. Η ενέργεια που απαιτείται για την έξοδο των ηλεκτρονίων από την επιφάνεια του μετάλλου ονομάζεται ***έργο εξόδου του ηλεκτρονίου.*** Το έργο εξόδου έχει διαφορετική τιμή για κάθε μέταλλο και για το βολφράμιο είναι ίσο με το ποσό της κινητικής ενέργειας του ηλεκτρονίου που κινείται με ταχύτητα $U_0 = 1260$ km/sec.

Σε μια χαμηλή θερμοκρασία η κινητική ενέργεια είναι μικρότερη από το έργο εξόδου. Αν όμως το μέταλλο θερμανθεί (με τη διέλευση ισχυρού ρεύματος) η ενέργεια του ηλεκτρονίου ξεπερνά το έργο εξόδου και παρατηρείται ***θερμιονική εκπομπή ηλεκτρονίων.*** Για την έξοδο μεγάλου αριθμού ηλεκτρονίων και τη δημιουργία αρκετού ρεύματος, απαιτείται αύξηση της κινητικής ενέργειας με αύξηση της θερμοκρασίας.

Το ολικό ρεύμα που μπορεί να δώσει η επιφάνεια ενός θερμαινόμενου μετάλλου σε αμπέρ, δίνεται από τη σχέση Richardson-Dushman.

$$I = AST^2 e^{-\frac{T_0}{T}}$$

όπου: A = παγκόσμια σταθερά εξαρτώμενη από τη φύση του μετάλλου
A[A/(k²cm²)]
S = ολική επιφάνεια του μετάλλου που εκπέμπει (σε cm²)
T = απόλυτη θερμοκρασία του μετάλλου
T_0 = απόλυτη θερμοκρασία που αντιστοιχεί στο έργο εξόδου
e = 2,718 η βάση των νεπέρειων λογαρίθμων.

Από τη σχέση αυτή παρατηρούμε ότι για μικρή μεταβολή της θερμοκρασίας T έχομε μεγάλη μεταβολή του ρεύματος.

Επομένως μια απλή μέθοδος εξαγωγής ηλεκτρονίων είναι η ***θερμιονική εκπομπή*** που επιτυγχάνεται με τη θέρμανση, σε μεγάλη θερμοκρασία, των μετάλλων.

Αυτή η μέθοδος χρησιμοποιείται σε όλες τις ενισχύτριες και ανορθώτριες λυχνίες.

Μια άλλη μέθοδος εκπομπής ηλεκτρονίων είναι ***διά φωτισμού.*** Μια κατάλληλη φωτοευπαθής επιφάνεια μέσα στη λυχνία φωτίζεται με μια δέσμη από φως. Τα φωτόνια διεγείρουν τα ηλεκτρόνια της επιφάνειας και τους προσδίδουν ενέργεια που ξεπερνά το έργο εξόδου τους, με αποτέλεσμα να βγαίνουν από την επιφάνεια του μετάλλου. Η ποσότητα των εξερχομένων ηλεκτρονίων εξαρτάται από την ένταση της φωτεινής δέσμης και από το χρώμα της. Η ένταση του ρεύματος που δίνει είναι πολύ μικρή. Αυτή η μέθοδος χρησιμοποιείται στις φωτολυχνίες (phototubes) και τα φωτοστοιχεία (photocells).

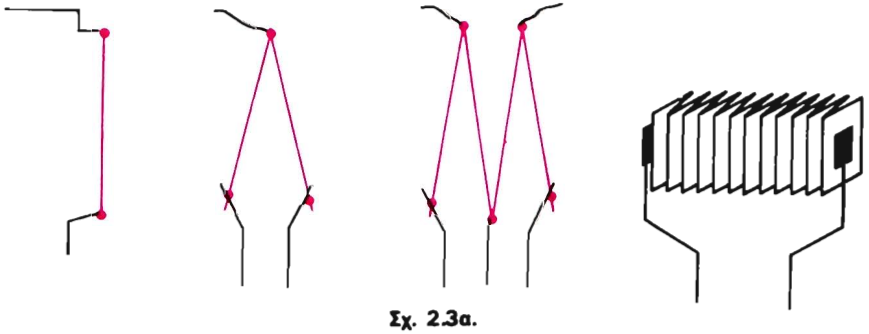
Άλλη μέθοδος εκπομπής ηλεκτρονίων είναι με ***βομβαρδισμό κατάλληλης επιφάνειας με δέσμη ηλεκτρονίων.*** Η δέσμη των ηλεκτρονίων αποκτά κινητική ενέργεια μέσα σε ηλεκτρικό πεδίο και, καθώς πέφτει στην επιφάνεια του μετάλλου, δίνει στα ηλεκτρόνιά του ενέργεια μεγαλύτερη από το έργο εξόδου, με αποτέλεσμα αυτά να εξέρχονται από το μέταλλο. Τα ηλεκτρόνια της δέσμης λέγονται ***πρωτογενή,*** ενώ τα ηλεκτρόνια που βγαίνουν ***δευτερογενή.*** Τα δευτερογενή ηλεκτρόνια είναι πολύ περισσότερα από τα πρωτογενή. Η μέθοδος αυτή χρησιμοποιείται στους πολλαπλασιαστές ηλεκτρονίων.

Το ίδιο αποτέλεσμα έχομε αν βομβαρδίσομε την επιφάνεια με θετικά ιόντα που έχουν αντίστοιχη κινητική ενέργεια. Η μέθοδος αυτή χρησιμοποιείται στις λυχνίες αερίου ψυχρής καθόδου.

2.3 Είδη θερμαινομένων καθόδων.

Το ηλεκτρόδιο που χρησιμοποιείται μέσα στις λυχνίες για να δίνει τα ηλεκτρόνια είναι η κάθοδος. Έχομε καθόδους ***θερμαινόμενες*** και ***μη θερμαινόμενες*** (ψυχρές). Η θέρμανση των καθόδων γίνεται με ηλεκτρικό ρεύμα και μπορεί να γίνει με άμεσο τρόπο ή έμμεσο. Έχομε έτσι τις καθόδους άμεσης θερμάνσεως και τις καθόδους έμμεσης θερμάνσεως.

Οι κάθοδοι άμεσης θερμάνσεως κατασκευάζονται από σύρμα βολφραμίου αντίστοιχου πάχους με την ισχύ της καθόδου και έχουν διάφορες μορφές όπως φαίνεται στο σχήμα 2.3α. Η προτίμηση του βολφραμίου οφείλεται στο ότι είναι μέταλλο με μεγάλη μηχανική αντοχή, μεγάλη ειδική αντίσταση (5,6 Ω mm²/m) και μεγάλη θερμοκρασία τήξεως (3400°C).



Σχ. 2.3α.
Κάθοδοι άμεσης θερμάνσεως.

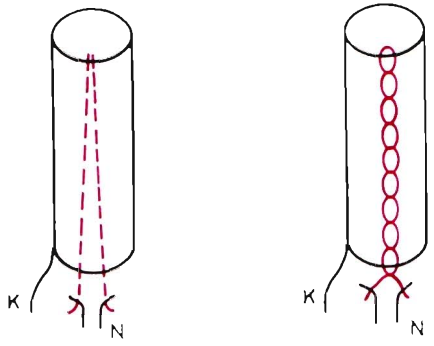
Το βολφράμιο θεωρείται πηγή μικρής παροχής ηλεκτρονίων και απαιτεί μεγάλη ηλεκτρική ισχύ για τη θέρμανσή του. Για να αποδώσει ένα αρκετό ρεύμα, πρέπει

να θερμανθεί στους 2600°C περίπου. Επειδή έχει μεγάλη μηχανική αντοχή, χρησιμοποιείται σε καθόδους λυχνιών μεγάλης ισχύος των πομπών με τάση ανόδου - καθόδου μεγαλύτερη από 10 kV. Στις λυχνίες αυτές λόγω της πολύ υψηλής τάσεως παρατηρείται ισχυρός βομβαρδισμός της καθόδου από θετικά ιόντα, πράγμα που θα προκαλούσε την καταστροφή τους αν ήταν από άλλο υλικό. Έχουν λοιπόν καθόδους βολφραμίου με θερμοκρασία λειτουργίας 2600°C περίπου.

Ακόμη καλύτερα αποτελέσματα έχουν οι ***κάθοδοι θοριομένου βολφραμίου.*** Αυτές κατασκευάζονται από σύρμα βολφραμίου και η επιφάνειά τους, ύστερα από ειδική επεξεργασία, καλύπτεται με ένα πολύ λεπτό στρώμα, σχεδόν μονοατομικό, από θόριο. Στη θερμοκρασία των 1800°C, η κάθοδος αυτή δίνει το ίδιο ρεύμα που δίνει η κάθοδος καθαρού βολφραμίου στους 2600°C, οπότε υπάρχει οικονομία ηλεκτρικής ισχύος για τη θέρμανση της καθόδου. Αυτές οι κάθοδοι χρησιμοποιούνται σε λυχνίες μέσης ισχύος που έχουν τάση ανόδου - καθόδου μικρότερη από 10 kV, γιατί σε μεγάλες τάσεις το στρώμα θορίου καταστρέφεται με το βομβαρδισμό των θετικών ιόντων.

Πολύ καλύτερα αποτελέσματα έχουν οι ***κάθοδοι οξειδίων.*** Κατασκευάζονται από μίγμα νικελίου, κοβαλτίου, σιδήρου και τιτανίου ή και άλλων μετάλλων και έχουν επίστρωση από λεπτό στρώμα οξειδίων στροντίου και βαρίου. Στη θερμοκρασία 1000°C αποδίδουν ρεύμα εικοσαπλάσιο περίπου από το ρεύμα που δίνει η κάθοδος βολφραμίου. Δεν έχουν σταθερή εκπομπή ηλεκτρονίων και έχουν μικρή μηχανική αντοχή, γι' αυτό και χρησιμοποιούνται σε λυχνίες μικρής ισχύος και κυρίως λυχνίες δεκτών.

Η κάθοδος έμμεσης θερμάνσεως είναι σωληνίσκος από νικέλιο συνήθως ή από μίγματα μετάλλων, που εξωτερικά έχει επίστρωση οξειδίων στροντίου και βαρίου. Στο εσωτερικό υπάρχει σύρμα από βολφράμιο με εξωτερική μόνωση από πυρίμαχο μονωτικό υλικό, για να μην έρχεται σε ηλεκτρική επαφή με το εσωτερικό του σωληνίσκου (σχ. 2.3β). Με τη διέλευση του ρεύματος, το σύρμα θερμαίνεται και κοκκινίζει, με αποτέλεσμα να θερμαίνει και να κοκκινίζει το σωληνίσκο έμμεσα στη θερμοκρασία των 1000°-1200°C. Η απόδοση αυτής της καθόδου είναι εικοσαπλάσια από την κάθοδο βολφραμίου, αλλά επειδή έχει μικρή μηχανική αντοχή, χρησιμοποιείται σε λυχνίες μικρής ισχύος με τάση ανόδου-καθόδου μικρότερη από 1 kV.

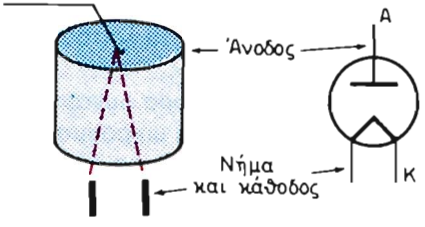


Σχ. 2.3β.
Κάθοδοι έμμεσης θερμάνσεως.

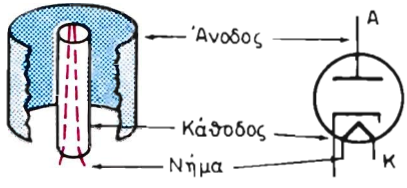
Η κάθοδος έμμεσης θερμάνσεως έχει το πλεονέκτημα να μην έχει ηλεκτρική επαφή με τον αντιστάτη που τη θερμαίνει και λέγεται ***νήμα θερμάνσεως.*** Έτσι μπορεί το ρεύμα που θα χρησιμοποιηθεί για τη θέρμανση να είναι εναλλασσόμενο. Στις καθόδους άμεσης θερμάνσεως, το εναλλασσόμενο ρεύμα δημιουργεί προβλήματα κατά τη λειτουργία της λυχνίας ως ενισχύτριας και γι' αυτό χρησιμοποιείται κυρίως συνεχές ρεύμα ή εναλλασσόμενο με κατάλληλη σύνδεση. Στις ανορθώτριες λυχνίες δεν υπάρχει τέτοιο πρόβλημα και γι' αυτό τροφοδοτούνται με εναλλασσόμενο ρεύμα σε απλή σύνδεση.

2.4 Δίοδη λυχνία κενού.

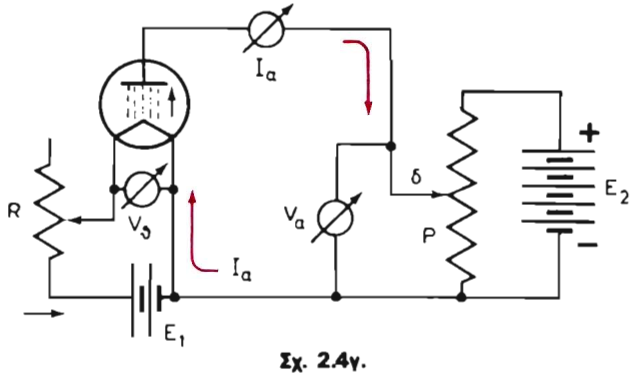
Η απλούστερη λυχνία είναι η διοδική ή δίοδη, που έχει δύο ηλεκτρόδια, την άνοδο και την κάθοδο. Η κάθοδος εκπέμπει τα ηλεκτρόνια και η άνοδος τα συλλέγει, δημιουργώντας έτσι την αγωγιμότητα. Η άνοδος περιβάλλει συνήθως την κάθοδο, για να αξιοποιείται όλη η επιφάνειά της. Η κατασκευή και το μέγεθος καθορίζονται από τις επιδόσεις της λυχνίας. Στο σχήμα 2.4α φαίνεται το εσωτερικό και ο συμβολισμός μιας δίοδης άμεσης θερμάνσεως και στο σχήμα 2.4β μιας δίοδης έμμεσης θερμάνσεως.



Σχ. 2.4α.
Δίοδη άμεσης θερμάνσεως.



Σχ. 2.4β.
Δίοδη έμμεσης θερμάνσεως.



Σχ. 2.4γ.
Κύκλωμα δίοδης για τη λήψη μετρήσεων V_a και I_a.

Με το κύκλωμα του σχήματος 2.4γ μπορούμε να μελετήσομε τη συμπεριφορά της λυχνίας, όταν εφαρμοσθούν εξωτερικά δυναμικά. Υπάρχουν δύο πηγές και δύο ανεξάρτητα κυκλώματα, το ένα από τα οποία είναι για τη θέρμανση της καθόδου και το άλλο για το ρεύμα ανόδου-καθόδου.

Με το ροοστάτη R ρυθμίζεται το ρεύμα και η τάση για τη θέρμανση, από την

πηγή E_1. Με το ποτενσιόμετρο P ρυθμίζεται το δυναμικό ανόδου-καθόδου από 0 ως E_2 με το + στην άνοδο. Το βολτόμετρο V_Θ μετρά την τάση της θερμάνσεως, το V_a μετρά την τάση ανόδου-καθόδου και το αμπερόμετρο μετρά το ρεύμα ανόδου που είναι και ρεύμα καθόδου και ρεύμα του κυκλώματος ανόδου-καθόδου από την πηγή E_2.

Με το ροοστάτη R ρυθμίζομε την τάση του νήματος στην κανονική τιμή (6,3 V). Μεταβάλλοντας τη θέση του δρομέα του ποτενσιομέτρου P, παίρνομε διαδοχικά τις τιμές της τάσεως ανόδου 0-1-2-3-4... κλπ. βολτ και ταυτόχρονα τις αντίστοιχες τιμές του ρεύματος ανόδου (ενδείξεις των οργάνων V_a και I_a). Από τα ζευγάρια των τιμών V_a - I_a σχεδιάζομε τη γραφική παράσταση του σχήματος 2.4δ που είναι η στατική χαρακτηριστική καμπύλη λειτουργίας της δίοδης λυχνίας κενού. Παρατηρούμε ότι η μεταβολή του ρεύματος δεν είναι γραμμική αλλά παραβολική. Η τιμή του ρεύματος σε συνάρτηση με την τάση ανόδου δίνεται από τη σχέση του Langmuir:

$$I_a = K \cdot V_a^{3/2}$$

όπου: K είναι συντελεστής που εξαρτάται από τη γεωμετρική κατασκευή της λυχνίας (διαστάσεις και απόσταση ανόδου - καθόδου).

Στην καμπύλη μπορούμε να παρατηρήσομε τα χαρακτηριστικά της μέρη, δηλαδή την αρχή και τα τμήματα ΑΒ, ΒΓ και ΓΔ, στα οποία αναλύομε τη λειτουργία της λυχνίας.

Όταν η τάση ανόδου είναι μηδέν, δηλαδή δεν υπάρχει διαφορά δυναμικού μεταξύ ανόδου-καθόδου, παρατηρείται ένα πολύ μικρό ρεύμα (λίγα μικροαμπέρ). Αυτό το ρεύμα οφείλεται στο ότι μερικά ηλεκτρόνια με μεγάλη κινητική ενέργεια, βγαίνοντας από την επιφάνεια της καθόδου, συνεχίζουν το δρόμο τους, περνούν τον κενό χώρο και φθάνουν στην άνοδο. Από εκεί, περνώντας από το αμπερόμετρο και τους αγωγούς, φθάνουν πάλι στην κάθοδο, όπου έλκονται από τα θετικά φορτισμένα άτομα του μετάλλου και κλείνουν το κύκλωμα.

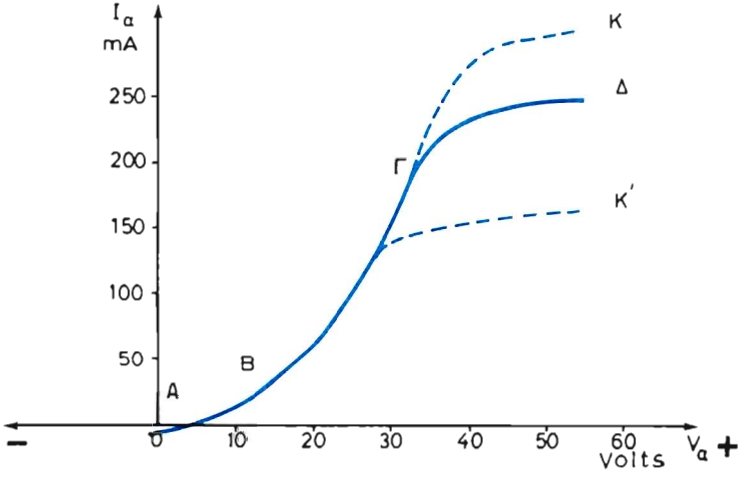
Ο μεγαλύτερος όμως αριθμός των ηλεκτρονίων που εξέρχονται παραμένουν πολύ κοντά στη θερμή επιφάνεια της καθόδου, γιατί δεσμεύονται από τους πυρήνες των ατόμων του μετάλλου (θετικά φορτία). Έτσι πολύ κοντά στην επιφάνεια σχηματίζεται ένα νέφος από ηλεκτρόνια που σχηματίζουν ένα χώρο αρνητικών φορτίων.

Στο τμήμα ΑΒ η άνοδος αρχίζει να παίρνει θετικό δυναμικό αλλά η αύξηση του ρεύματος ανόδου είναι πολύ μικρή καθώς η άνοδος γίνεται θετικότερη. Αυτό συμβαίνει γιατί η τάση ανόδου είναι μικρή και η ελκτική της δύναμη είναι επίσης μικρή. Το νέφος των ηλεκτρονίων παραμένει πυκνό και τα ηλεκτρόνια που βγαίνουν από την επιφάνεια συναντούν δύο δυσκολίες. Η μία είναι η έλξη των θετικών φορτίων των πυρήνων τους και η άλλη η απωστική που εξασκείται από τα ηλεκτρόνια του νέφους που βγήκαν γρηγορότερα. Έτσι η άνοδος αποσπά ένα μικρό αριθμό ηλεκτρονίων και το ρεύμα ανόδου είναι λίγα μιλιαμπέρ, με αποτέλεσμα η κλίση της καμπύλης να είναι μικρή.

Στο τμήμα ΒΓ η κλίση γίνεται μεγαλύτερη και, καθώς η τάση ανόδου αυξάνει, εξασκεί μεγαλύτερη έλξη στα ηλεκτρόνια του νέφους με αποτέλεσμα να τα αραιώνει και να γεμίζει το χώρο ανόδου-καθόδου. Τα ηλεκτρόνια, βγαίνοντας από την κάθοδο, κινούνται χωρίς δυσκολία προς την άνοδο και το ρεύμα αυξάνει πολύ με μικρή αύξηση της τάσεως.

Από το σημείο Γ και πέρα παρατηρείται μικρή κλίση στην καμπύλη. Με μεγάλη αύξηση της τάσεως το ρεύμα αυξάνει ελάχιστα. Λέμε τώρα ότι η λυχνία έφθασε στον κόρο. Όσο και αν αυξηθεί η τάση ανόδου το ρεύμα δεν αυξάνει, γιατί η κάθοδος δεν μπορεί να δώσει περισσότερο ρεύμα από αυτό που καθορίζουν οι διαστάσεις της και η θερμοκρασία. Η τιμή του ρεύματος τώρα καθορίζεται απο τη σχέση του Richardson.

Αν αυξηθεί η θερμοκρασία της καθόδου με αύξηση της τάσεως του νήματος θα αυξηθεί η παροχή ηλεκτρονίων και η καμπύλη θα πάρει τη μορφή της Κ του σχήματος 2.4δ. Η λυχνία τώρα κινδυνεύει να καταστραφεί από την υπερθέρμανση της καθόδου.



Σχ. 2.4δ.
Καμπύλη της δίοδης.

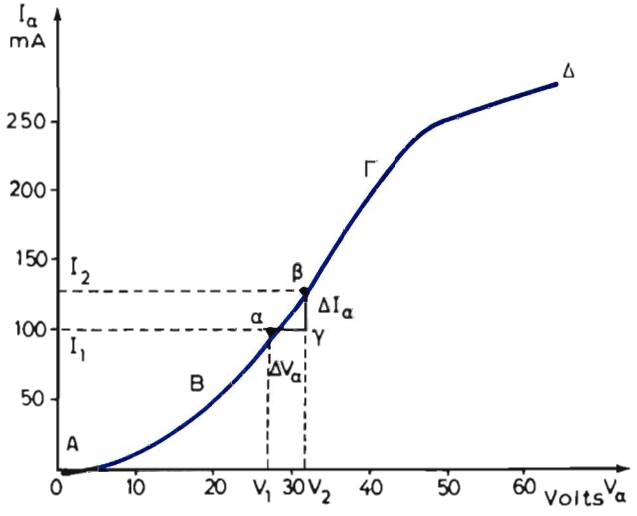
Αν μειωθεί η τάση του νήματος, η θερμοκρασία της καθόδου θα μειωθεί, θα μειωθεί η παροχή ηλεκτρονίων και η καμπύλη θα πάρει τη μορφή της Κ΄ του σχήματος 2.4δ. Η λυχνία τώρα υπολειτουργεί και δεν παρέχει το κανονικό ρεύμα. Η λυχνία πρέπει να λειτουργεί με την κανονική της τάση, που καθορίζεται από τον κατασκευαστή της, για να έχει την καλύτερη απόδοση.

Η λυχνία με την τάση που εφαρμόζεται μεταξύ ανόδου-καθόδου και με το ρεύμα που περνά από αυτήν, παρουσιάζει μια αντίσταση R. Η αντίσταση αυτή είναι εσωτερική και η τιμή της εξαρτάται από την τάση ανόδου, από τις διαστάσεις καθόδου-ανόδου και από τη θερμοκρασία καθόδου. Η τιμή της υπολογίζεται με το νόμο του Ohm για κάθε ζευγάρι τιμών V_a και I_a στο συνεχές ρεύμα και γι΄ αυτό λέγεται στατική εσωτερική αντίσταση της λυχνίας.

Αντί της στατικής αντιστάσεως χρησιμοποιείται η δυναμική αντίσταση ρ, που παρουσιάζεται όταν η λυχνία λειτουργεί με εναλλασσόμενο ρεύμα. Η τιμή της καθορίζεται από το λόγο της μεταβολής της τάσεως ανόδου ΔV_a προς την αντίστοιχη μεταβολή του ρεύματος ανόδου ΔI_a για σταθερή τάση θερμάνσεως

$$\rho = \frac{\Delta V_a}{\Delta I_a} \qquad \text{για } V_\Theta = \text{σταθερό}$$

Για να υπολογίσομε την ρ της λυχνίας σε ένα τμήμα αβ της χαρακτηριστικής (σχ.



Σχ. 2.4ε.
Για τον υπολογισμό της Ρ.

2.4ε), φέρνομε από τα σημεία α και β καθέτους στους άξονες V_a και I_a. Βρίσκονται έτσι δύο ζευγάρια σημείων V_1 - I_1 και V_2 - I_2. Από τις τιμές αυτών έχομε:

$$\rho = \frac{\Delta V_a}{\Delta I_a} = \frac{V_2 - V_1}{I_2 - I_1} = \frac{32 - 27}{(130 - 100)\ 10^{-3}} = \frac{5}{30 \times 10^{-3}} = 166\ \Omega$$

Η ρ μεταβάλλεται σε συνάρτηση με την V_a. Στο τμήμα ΑΒ είναι μεγάλη, στο ΒΓ μικρή και στο ΓΔ πάλι μεγάλη.

Στο ίδιο τμήμα αβ της καμπύλης, μπορούμε να υπολογίσομε και την αγωγιμότητα G της λυχνίας από το αντίστροφο της αντιστάσεως, δηλαδή το λόγο της μεταβολής του ρεύματος ανόδου προς τη μεταβολή της αντίστοιχης τάσεως ανόδου

$$G = \frac{\Delta I_a}{\Delta V_a} = \frac{I_2 - I_1}{V_2 - V_1} = \frac{30 \times 10^{-3}}{5} = 6\ \text{mmhos}$$

Η αγωγιμότητα G λέγεται και ***κλίση S της καμπύλης*** στο τμήμα που υπολογίζεται, γιατί ο λόγος ΔI_a προς ΔV_a είναι η εφαπτόμενη της γωνίας που σχηματίζει η καμπύλη προς τον άξονα V_a.

$$\text{κλίση } S = \frac{\Delta I_a}{\Delta V_a} = \frac{\gamma\beta}{\alpha\gamma} = \epsilon\varphi\varphi$$

Στην παραπάνω ανάλυση είδαμε τη συμπεριφορά της λυχνίας όταν η άνοδος έχει μικρό ή μεγάλο θετικό δυναμικό. Αν αντιστρέψομε την πολικότητα της πηγής E_2 του σχήματος 2.4γ και μετακινήσομε το δρομέα, η άνοδος θα παίρνει αρνητικό δυναμικό και η κάθοδος θετικό. Η κάθοδος καθώς θερμαίνεται παράγει ηλεκτρόνια, αλλά τώρα απωθούνται από την αρνητική άνοδο και κανένα δε φθάνει σ' αυτήν. Έτσι το ρεύμα της λυχνίας είναι μηδέν και η αντίσταση που παρουσιάζει άπειρη. Η

λυχνία συμπεριφέρεται τώρα ως ανοικτός διακόπτης.

Αν αυξήσομε πολύ το αρνητικό δυναμικό της ανόδου και ξεπεράσομε μια τάση που λέγεται ***μέγιστη ανάστροφη τάση,*** τότε υπάρχει κίνδυνος να δημιουργηθεί σπινθήρας μέσα στη λυχνία μεταξύ ανόδου-καθόδου, ο οποίος μπορεί να την καταστρέψει. Η τιμή της μέγιστης ανάστροφης τάσεως εξαρτάται από την απόσταση ανόδου-καθόδου και δίνεται από τον κατασκευαστή.

Μεταξύ ανόδου-καθόδου σχηματίζεται μια χωρητικότητα $C_{ΑΚ}$, η τιμή της οποίας εξαρτάται από την επιφάνεια και την απόσταση ανόδου-καθόδου. Όταν η λυχνία προορίζεται για φώραση υψηλής συχνότητας, η χωρητικότητα αυτή καθορίζει τη μεγαλύτερη συχνότητα λειτουργίας.

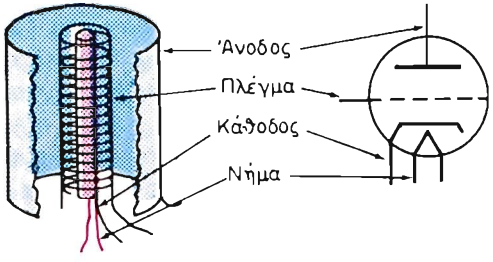
Με τη μονομερή της αγωγιμότητα, η δίοδη λυχνία μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την ανόρθωση εναλλασσόμενου ρεύματος, δηλαδή τη μετατροπή του σε συνεχές, λειτουργία που θα μελετήσομε στο επόμενο κεφάλαιο.

Οι διαστάσεις και η μορφή της λυχνίας καθορίζεται από τη μέγιστη τάση και την ισχύ που μπορεί να ανορθώσει. Αν η δίοδη χρησιμοποιείται για ανόρθωση ρευμάτων χαμηλής συχνότητας μεγάλης ισχύος, λέγεται ***ανορθώτρια.*** Αν χρησιμοποιείται για ανόρθωση ρευμάτων υψηλής συχνότητας μικρής ισχύος, λέγεται ***φωράτρια.*** Η φωράτρια έχει πολύ μικρές διαστάσεις, ενώ η ανορθώτρια πολύ μεγαλύτερες.

2.5 Τρίοδη λυχνία.

Η τρίοδη ή τριοδική λυχνία αποτελείται από τρία ηλεκτρόδια, την κάθοδο, την άνοδο και το πλέγμα ή εσχάρα (cathode-anode-grid). Το νήμα θερμάνσεως δεν υπολογίζεται στην αρίθμηση. Το πλέγμα βρίσκεται μεταξύ ανόδου και καθόδου και αποτελείται συνήθως από λεπτό σύρμα νικελίου, σε μορφή ελατηρίου. Στηρίζεται σε δύο στυλίσκους και περιβάλλει ολόκληρη την κάθοδο. Στο σχήμα 2.5α φαίνεται το εσωτερικό και ο συμβολισμός μιας τρίοδης έμμεσης θερμάνσεως. Η τρίοδη λυχνία μπορεί να είναι και άμεσης θερμάνσεως. Η απόσταση του πλέγματος από την κάθοδο και την άνοδο και η πυκνότητά του (βήμα ελικώσεως) καθορίζουν τα χαρακτηριστικά της λυχνίας. Επειδή το πλέγμα βρίσκεται πολύ κοντά στην κάθοδο, παίζει σπουδαίο ρυθμιστικό ρόλο στο ρεύμα ανόδου και γι' αυτό λέγεται ***ρυθμιστικό*** ή ***οδηγό πλέγμα.*** Αυτό ρυθμίζει την κίνηση και την ποσότητα των ηλεκτρονίων που φθάνουν στην άνοδο. Η άνοδος με το θετικό δυναμικό της έλκει τα ηλεκτρόνια της καθόδου, τα οποία, περνώντας από τα διάκενα του πλέγματος φθάνουν σ' αυτή.

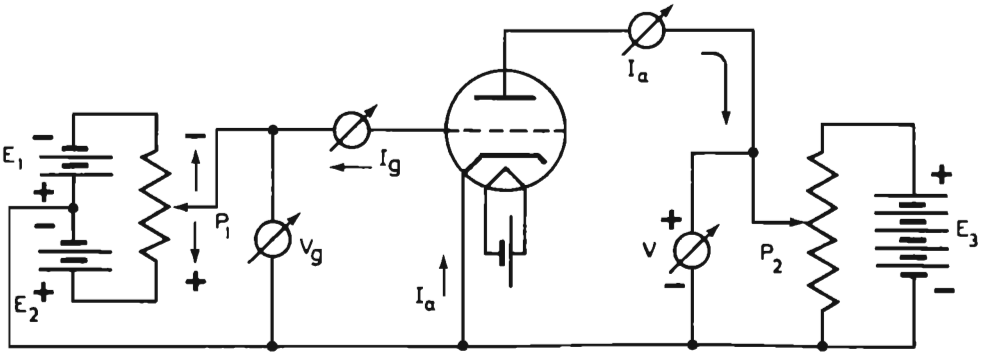
Αν δώσομε μικρό θετικό δυναμικό στο πλέγμα (ως προς την κάθοδο), θα εξα-



Σχ. 2.5α.
Τρίοδη λυχνία.

σκήσει και αυτό ελκτικές δυνάμεις, με αποτέλεσμα να αυξηθεί το ρεύμα ανόδου-καθόδου. Επειδή όμως το πλέγμα έχει θετικό δυναμικό, θα τραβήξει και αυτό ένα αριθμό ηλεκτρονίων, τα οποία σχηματίζουν το ρεύμα πλέγματος I_g. Όταν το δυναμικό του πλέγματος γίνει αρνητικό, δεν έλκει ηλεκτρόνια αλλά εξασκεί συγχρόνως απωστικές δυνάμεις στα ηλεκτρόνια που κινούνται προς την άνοδο, με αποτέλεσμα το ρεύμα ανόδου να μικραίνει. Αν το πλέγμα γίνει πολύ αρνητικό, ως προς την κάθοδο, μπορεί οι απωστικές του δυνάμεις να εξουδετερώσουν τις ελκτικές δυνάμεις της θετικής ανόδου και το ρεύμα ανόδου να μηδενισθεί. Η αρνητική τάση του πλέγματος, για την οποία το ρεύμα ανόδου γίνεται μηδέν, λέγεται τάση αποκοπής. Η συνεχής τάση που εφαρμόζεται στο οδηγό πλέγμα λέγεται ***πόλωση.***

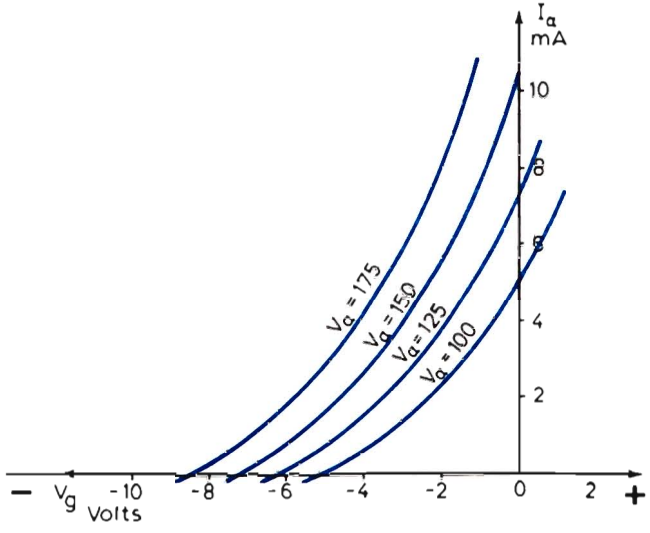
Τη ρυθμιστική συμβολή του πλέγματος μπορούμε να αντιληφθούμε καλύτερα χαράζοντας τις στατικές καμπύλες του πλέγματος και τις στατικές καμπύλες της ανόδου. Για το σκοπό αυτό εξυπηρετεί το κύκλωμα του σχήματος 2.5β. Με την ποτενσιομετρική διάταξη του πλέγματος μπορούμε να ρυθμίσομε αρνητικό ή θετικό δυναμικό στο πλέγμα. Αν ο δρομέας του P_1 είναι στη μέση, το δυναμικό του πλέγματος είναι μηδέν. Αν κινηθεί προς τα πάνω, το πλέγμα παίρνει αρνητικά δυναμικά, ενώ αν κινηθεί προς τα κάτω παίρνει θετικά.



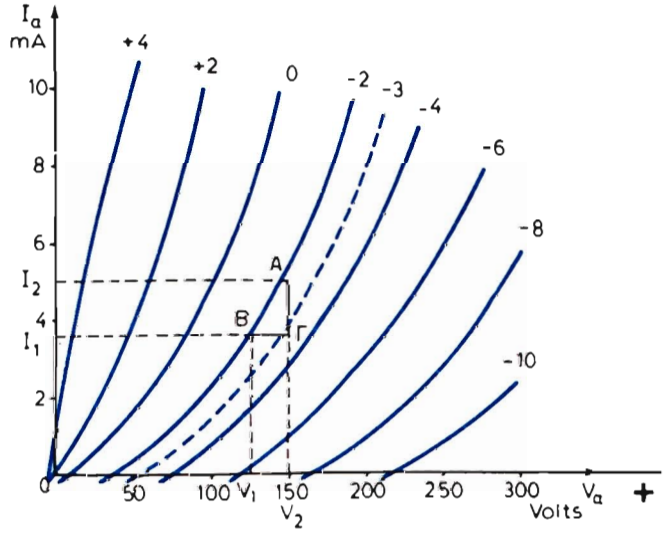
Σχ. 2.5β.
Κύκλωμα για τη χάραξη των καμπυλών.

Οι στατικές καμπύλες του πλέγματος χαράζονται με τον παρακάτω τρόπο. Με το P_2 **ρυθμίζομε** τάση ανόδου π.χ. 100 V και την κρατάμε σταθερή. Με το P_1 **μεταβάλλομε την** τάση του πλέγματος από + 4 ως − 10 και παίρνομε τις αντίστοιχες τιμές του I_a. Με τα ζευγάρια των τιμών V_g και I_a, που δείχνουν τα αντίστοιχα όργανα, χαράζομε την πρώτη καμπύλη που αντιστοιχεί σε τάση ανόδου π.χ. 100 V (σχ. 2.5γ). Στη συνέχεια ρυθμίζομε την τάση ανόδου στα 125 V. Μεταβάλλομε πάλι την τάση του πλέγματος, παίρνομε και τις αντίστοιχες ενδείξεις του I_a και χαράζομε τη δεύτερη καμπύλη για $V_a = 125$ V. Την ίδια εργασία επαναλαμβάνομε για τάσεις ανόδου 150 V, 175 V κλπ.

Με αντίστοιχο τρόπο χαράζομε τις στατικές καμπύλες ανόδου του σχήματος 2.5δ. Με το P_1 ρυθμίζομε τάση οδηγού πλέγματος π.χ. + 4 V. Με το P_2 μεταβάλλομε την τάση ανόδου από 0 έως ότου το I_a γίνει περίπου 10 mA και παίρνομε και τις αντίστοιχες τιμές του I_a. Από τα ζευγάρια των τιμών V_a και I_a, που δείχνουν τα αντίστοιχα όργανα, χαράζομε την πρώτη καμπύλη που αντιστοιχεί σε τάση πλέγματος + 4 V. Στη συνέχεια ρυθμίζομε τάση πλέγματος + 2 V και επαναλαμβάνομε



Σχ. 2.5γ.
Καμπύλες πλέγματος.



Σχ. 2.5δ.
Καμπύλες ανόδου.

την εργασία. Χαράζομε έτσι όλο το σμήνος καμπυλών της ανόδου V_a/I_a. Από τις καμπύλες φαίνεται ο έντονος ρυθμιστικός ρόλος του πλέγματος στο ρεύμα ανόδου. Στις καμπύλες ανόδου του σχήματος 2.5δ π.χ. παρατηρούμε ότι για τάση πλέγματος −2 V και τάση ανόδου 150 V, το ρεύμα ανόδου είναι 5 mA. Με την ίδια τάση ανόδου, αν το πλέγμα γίνει −4 V, δηλαδή αρνητικότερο, το ρεύμα ανόδου γίνεται 2,6 mA, που είναι το μισό περίπου. Για να ξαναγίνει το I_a 5 mA με τα −4 V στο πλέγμα, η τάση ανόδου πρέπει να γίνει 190 V περίπου. Δηλαδή με μεταβολή της τάσεως στο πλέγμα κατά 2 V, έχομε το ίδιο αποτέλεσμα που θα είχαμε με μεταβολή της τάσεως στην άνοδο κατά 40 V. Από το παράδειγμα αυτό φαίνεται ο

ισχυρότερος ρόλος του πλέγματος έναντι της ανόδου και αυτό γιατί το πλέγμα βρίσκεται πιο κοντά στην κάθοδο.

Την ίδια παρατήρηση μπορούμε να κάνομε και στις καμπύλες του πλέγματος γιατί από αυτές μπορούμε να μεταφερθούμε στις καμπύλες ανόδου.

Οι τριοδικές λυχνίες και γενικά οι λυχνίες με τρία και περισσότερα ηλεκτρόδια χαρακτηρίζονται από τρεις κυρίως συντελεστές, που είναι ***ο συντελεστής ενισχύσεως μ, η διαγωγιμότητα G_m ή S*** και ***η εσωτερική αντίσταση ρ.***

Ο συντελεστής ενισχύσεως μ δείχνει κατά πόσο η μεταβολή της τάσεως του πλέγματος επιδρά στο ανοδικό ρεύμα, σε σύγκριση με τη μεταβολή της τάσεως ανόδου. Στο παραπάνω παράδειγμα είδαμε ότι μια μεταβολή της τάσεως ανόδου κατά 40 V, έχει το ίδιο αποτέλεσμα με τη μεταβολή της τάσεως πλέγματος κατά 2 V. Ο λόγος αυτών των δύο μεταβολών για σταθερό ρεύμα ανόδου δίνει το συντελεστή ενισχύσεως μ.

$$\mu = \frac{\Delta V_a}{\Delta V_g} \Bigg|_{I_a = \text{σταθερό}}$$

και για το παράδειγμα: $\mu = \frac{\Delta V_a}{\Delta V_g} = \frac{40}{2} = 20$ για $I_a = 5$ mA

Το μ εξαρτάται από το πόσο πυκνό είναι το πλέγμα, δηλαδή από το αν έχει μικρά ή μεγάλα διάκενα και από την απόσταση που έχει από την κάθοδο. Ένα πυκνό πλέγμα, με μικρά διάκενα, πολύ κοντά στην κάθοδο, έχει μεγάλο μ, ενώ το πλέγμα με μεγάλα διάκενα έχει μικρό μ. Η τιμή στις διάφορες τριοδικές λυχνίες κυμαίνεται από 10 ως 100.

Η διαγωγιμότητα G_m ή κλίση S της λυχνίας, δείχνει την ικανότητα του πλέγματος να μεταβάλλει πολύ ή λίγο το ρεύμα ανόδου, όταν η τάση ανόδου παραμένει σταθερή. Δείχνει δηλαδή πόσο μεταβάλλεται το ρεύμα ανόδου, όταν η τάση πλέγματος μεταβληθεί κατά 1 V, για σταθερή τάση ανόδου. Στις καμπύλες ανόδου του σχήματος 2.5δ για τάση ανόδου 150 V, αν μεταβληθεί η τάση πλέγματος από −2 σε −3 V, το ρεύμα ανόδου μεταβάλλεται από 5 mA σε 3,6 mA, δηλαδή κατά 1,4 mA. Ο λόγος των δύο μεταβολών, ρεύματος ανόδου και τάσεως πλέγματος δίνει τη διαγωγιμότητα G_m της λυχνίας, που μετράται σε μικρομώς (μmhos) ή mA ανά Volt (mA/V).

$$G_m = \frac{\Delta I_a}{\Delta V_g} \Bigg|_{V_a = \text{σταθερό}}$$

και για το παράδειγμα: $G_m = \frac{1{,}4 \text{ mA}}{1 \text{ V}} = 1{,}4$ mA/V ή 1400 μmhos για $V_a = 150$V

Το G_m εξαρτάται από την επιφάνεια της καθόδου, από το πόσο πυκνό είναι το πλέγμα και από την απόσταση που έχει από την κάθοδο. Μια λυχνία με μεγάλη κάθοδο και μεγάλο αριθμό εκπεμπομένων ηλεκτρονίων και με πυκνό πλέγμα, παρουσιάζει μεγάλη διαγωγιμότητα. Στις διάφορες λυχνίες η διαγωγιμότητα κυμαίνεται από 1 ως 20 mA/V.

Η εσωτερική αντίσταση ρ της λυχνίας είναι η αντίσταση που παρουσιάζει κατά τη λειτουργία της μεταξύ ανόδου και καθόδου. Η ρ είναι δυναμική αντίσταση και

καθορίζεται από το λόγο μιας μεταβολής της τάσεως ανόδου V_a προς την αντίστοιχη μεταβολή του ρεύματος ανόδου I_a για μια σταθερή τάση πλέγματος V_g. Στις καμπύλες ανόδου για τάση πλέγματος − 2 V, αν μεταβληθεί η τάση ανόδου από 150 V σε 128 V, δηλαδή 22 V, το ρεύμα ανόδου μεταβάλλεται από 5 mA σε 3,6 mA, δηλαδή 1,4 mA. Ο λόγος των δύο μεταβολών δίνει τη δυναμική αντίσταση ρ.

$$\rho = \frac{\Delta V_a}{\Delta I_a}\Bigg|_{V_g = \text{σταθερό}}$$

και για το παράδειγμα: $\rho = \frac{22\ V}{1{,}4\ mA} = 15700\ \Omega$ για $V_g = -2\ V$

Η ρ εξαρτάται από την πυκνότητα του πλέγματος και από την απόσταση ανόδου-καθόδου. Το πυκνό πλέγμα και η μεγάλη απόσταση ανόδου-καθόδου δημιουργούν μεγάλη εσωτερική αντίσταση. Στις διάφορες τριοδικές λυχνίες η ρ κυμαίνεται από 3 kΩ ως 100 kΩ.

Οι τρεις συντελεστές της λυχνίας συνδέονται μεταξύ τους με τη σχέση:

$$\mu = \rho \cdot G_m$$

Μπορούν να υπολογισθούν και γραφικά από τις καμπύλες του πλέγματος ή τις καμπύλες της ανόδου. Ένα μικρό τμήμα σε μια από τις καμπύλες ανόδου του σχήματος 2.5δ, π.χ. στην καμπύλη για $V_g = -2$ V, το τμήμα ΑΒ, καθορίζει τη μεταβολή της τάσεως ανόδου και του ρεύματος ανόδου στις πλευρές ΒΓ και ΑΓ. Έτσι, από αυτό το τριγωνάκι μπορούμε να υπολογίσομε τους συντελεστές της λυχνίας.

$$\mu = \frac{\Delta V_a}{\Delta V_g} = \frac{V_2 - V_1}{V_{g_3} - V_{g_2}} = \frac{150 - 128}{3 - 2} = \frac{22}{1} = 22 \text{ (για } I_a = 3{,}8 \text{ mA)}$$

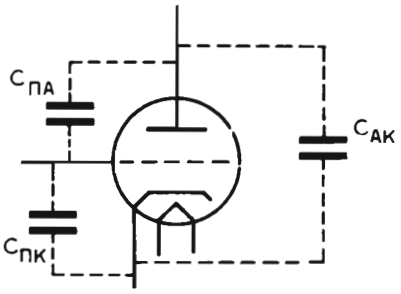
$$G_m \text{ ή } S = \frac{\Delta I_a}{\Delta V_g} = \frac{I_2 - I_1}{V_{g_3} - V_{g_2}} = \frac{5 - 3{,}6}{3 - 2} = \frac{1{,}4}{1} = 1{,}4 \text{ mA/V (για } V_a = 150 \text{ V)}$$

$$\rho = \frac{\Delta V_a}{\Delta I_a} = \frac{V_2 - V_1}{I_2 - I_1} = \frac{150 - 128}{(5 - 3{,}6)\ 10^{-3}} = \frac{22}{(1{,}4)\ 10^{-3}} = 15700\ \Omega \text{ (για } V_g = -2V)$$

Μεταξύ των ηλεκτροδίων της λυχνίας σχηματίζονται οι ενδοχωρητικότητες ανόδου-καθόδου C_{AK}, ανόδου-πλέγματος $C_{\Pi A}$ και καθόδου-πλέγματος $C_{\Pi K}$ (σχ. 2.5ε). Από τις τρεις ενδοχωρητικότητες η $C_{\Pi A}$ δημιουργεί προβλήματα κατά τη λειτουργία της λυχνίας ως ενισχύτριας υψηλών κυρίως συχνοτήτων. Κατά Barkhausen οι χωρητικότητες $C_{\Pi K}$ και C_{AK} καθορίζουν το μ της λυχνίας:

$$\mu = \frac{C_{\Pi K}}{C_{AK}}$$

Οι συντελεστές της κάθε λυχνίας, οι ενδοχωρητικότητες, η πόλωση, η τάση τροφοδοσίας, η αντίσταση φόρτου, η μέγιστη ανοδική απώλεια, η ωφέλιμη ισχύς



Σχ. 2.5ε.
Ενδοχωρητικότητες τρίοδης.

κλπ. χαρακτηριστικά, δίνονται από τον κατασκευαστή της στα ειδικά βιβλία λυχνιών.

Ένα βασικό μέγεθος για την καλή λειτουργία της λυχνίας είναι η πόλωση. Δηλαδή το σταθερό αρνητικό δυναμικό που δίνομε στο οδηγό πλέγμα ως προς την κάθοδο. Η πόλωση, σε συνδυασμό με το δυναμικό ανόδου, καθορίζει τον αριθμό των ηλεκτρονίων που θα κινηθούν προς την άνοδο. Όσο πιο αρνητικό γίνεται το πλέγμα τόσο το ρεύμα γίνεται μικρότερο, ενώ όσο πιο θετική γίνεται η άνοδος τόσο το ρεύμα αυξάνει.

Η επίδραση του αρνητικού δυναμικού πλέγματος εξαρτάται από την πυκνότητα του πλέγματος. Ένα πυκνό πλέγμα με μικρό αρνητικό δυναμικό περιορίζει πολύ την κίνηση των ηλεκτρονίων και, με −4 V π.χ., μπορεί να διακόψει το ανοδικό ρεύμα, ενώ ένα αραιό πλέγμα έχει μικρότερη επίδραση και χρειάζεται −20 V π.χ. για να μηδενίσει το ανοδικό ρεύμα. Το αρνητικό δυναμικό του πλέγματος που διακόπτει το ρεύμα ανόδου, όπως αναφέρθηκε, λέγεται ***δυναμικό αποκοπής.***

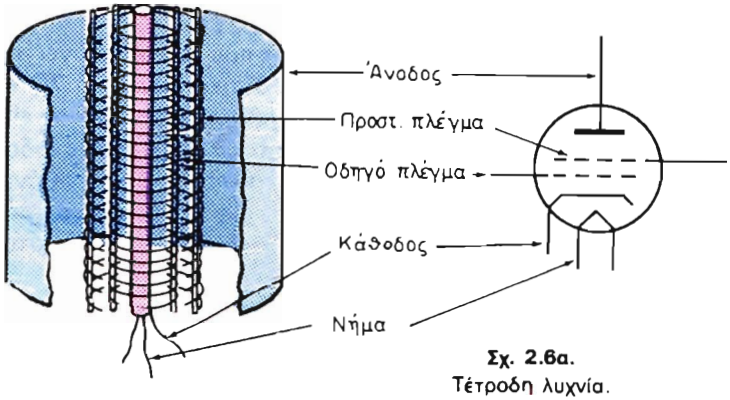
Στις καμπύλες του σχήματος 2.5γ, δυναμικό αποκοπής για τάση ανόδου 100 V είναι τα −5,4 V. Για τάση ανόδου 125 V είναι τα − 6,5 V, ενώ για τάση ανόδου 150 V είναι τα −7,4 V κ.ο.κ.

2.6 Τέτροδη λυχνία.

Η τέτροδη ή τετραοδική λυχνία αποτελείται από τέσσερα ηλεκτρόδια, την κάθοδο, την άνοδο, το πρώτο πλέγμα (G_1) που λέγεται ***οδηγό*** και το δεύτερο πλέγμα (G_2) που λέγεται ***προστατευτικό*** (screen grid).

Το προστατευτικό πλέγμα βρίσκεται μεταξύ ανόδου και οδηγού πλέγματος. Έχει και αυτό μορφή ελατηρίου από λεπτό σύρμα νικελίου, περιβάλλει το οδηγό και είναι πιο αραιό από αυτό. Τροφοδοτείται με θετικό δυναμικό, μικρότερο από το δυναμικό ανόδου και έχει σκοπό να μειώσει την ενδοχωρητικότητα ανόδου - οδηγού πλέγματος, να επιταχύνει τα ηλεκτρόνια που κινούνται προς την άνοδο και να αυξήσει το συντελεστή ενισχύσεως μ. Στο σχήμα 2.6α φαίνεται το εσωτερικό και ο συμβολισμός μιας τέτροδης λυχνίας. Ονομάζεται προστατευτικό γιατί προστατεύει και θωρακίζει την κάθοδο και το οδηγό πλέγμα από την επίδραση της ανόδου. Η άνοδος με το θετικό δυναμικό της δεν εξασκεί απευθείας έλξη στο νέφος ηλεκτρονίων της καθόδου, γιατί το πεδίο της εξουδετερώνεται από το πεδίο του προστατευτικού πλέγματος. Έτσι το ρεύμα ανόδου δεν εξαρτάται άμεσα από το δυναμικό της ανόδου αλλά από το αρνητικό δυναμικό του οδηγού πλέγματος και το θετικό του προστατευτικού.

Με ένα ανάλογο κύκλωμα που χρησιμοποιήσαμε για την τρίοδο (σχ. 2.5β), μπορούμε να πάρομε μετρήσεις για να χαράξομε τις καμπύλες οδηγού πλέγματος και τις καμπύλες ανόδου της τέτροδης. Για το σκοπό αυτό δίνομε ένα σταθερό θετικό



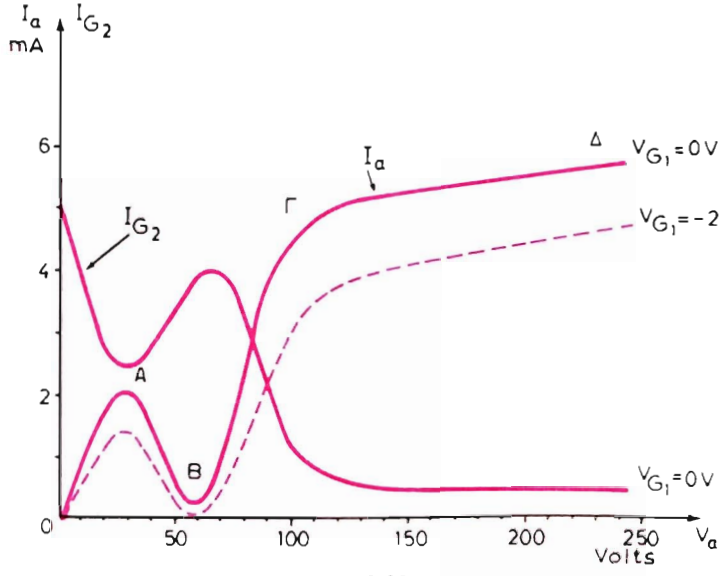
Σχ. 2.6α.
Τέτροδη λυχνία.

δυναμικό, π.χ. 70 V, στο προστατευτικό πλέγμα και μεταβάλλομε την τάση του οδηγού και την τάση ανόδου, όπως στην παράγραφο 2.5.

Οι καμπύλες πλέγματος έχουν την ίδια μορφή με τις καμπύλες του σχήματος 2.5γ, ενώ οι καμπύλες ανόδου έχουν τη μορφή του σχήματος 2.6β. Παρατηρούμε ότι όλες οι καμπύλες του ρεύματος ανόδου, για διάφορες τιμές τάσεως οδηγού πλέγματος, αρχίζουν από την αρχή των αξόνων.

Το ρεύμα ανόδου αυξάνει απότομα με μικρή αύξηση της τάσεως ανόδου, γιατί τα ηλεκτρόνια έλκονται από το μεγάλο δυναμικό του προστατευτικού πλέγματος. Ενώ η τάση ανόδου αυξάνει, το ρεύμα φθάνοντας σε κάποια τιμή αρχίζει να μικραίνει. Σ' αυτό το τμήμα λέμε ότι η καμπύλη κάνει βύθιση. Όταν φθάσει σε ένα ελάχιστο, αρχίζει πάλι να αυξάνει με την αύξηση της τάσεως, για να φθάσει σε ένα μέγιστο και να παραμείνει σχεδόν σταθερό καθώς η τάση αυξάνει. Την αντίθετη συμπεριφορά έχει το ρεύμα προστατευτικού πλέγματος.

Μπορούμε να χωρίσομε την καμπύλη του ρεύματος ανόδου σε τέσσερα χαρα-



Σχ. 2.6β.
Καμπύλες ανόδου τέτροδης.

κτηριστικά μέρη, τα ΟΑ, ΑΒ, ΒΓ και ΓΔ.

Όταν η V_a είναι μηδέν, όλα τα ηλεκτρόνια που ελευθερώνει η κάθοδος πηγαίνουν στο προστατευτικό πλέγμα, γιατί έχει θετικό δυναμικό 70 V. Έτσι το ρεύμα προστατευτικού πλέγματος είναι μεγάλο, ενώ το ρεύμα ανόδου είναι μηδέν, όπως φαίνεται και στις καμπύλες. Στο τμήμα ΟΑ το δυναμικό της ανόδου αυξάνει σιγά-σιγά, με αποτέλεσμα η άνοδος να έλκει ηλεκτρόνια, τα οποία φθάνουν σ' αυτή περνώντας από τα κενά του προστατευτικού πλέγματος. Το ρεύμα προστατευτικού πλέγματος μειώνεται και το ρεύμα ανόδου αυξάνει μέχρι ένα μέγιστο Α για τάση ανόδου περίπου 30 V.

Από τα 30 V και πάνω το ρεύμα ανόδου αρχίζει να μικραίνει, ενώ αρχίζει η κατάδυση της καμπύλης. Τα ηλεκτρόνια της καθόδου έλκονται από την τάση του προστατευτικού πλέγματος και φθάνοντας στην περιοχή του, έλκονται από το δυναμικό της ανόδου, με αποτέλεσμα να αυξάνει η ταχύτητά τους και η κινητική τους ενέργεια. Κτυπώντας με δύναμη στην επιφάνεια της ανόδου, κάνουν να αναπηδούν δευτερογενή ηλεκτρόνια, τα οποία, καθώς βρίσκονται στο χώρο μεταξύ ανόδου-προστατευτικού πλέγματος, έλκονται από το μεγαλύτερο δυναμικό του προστατευτικού πλέγματος και πηγαίνουν σ' αυτό. Έτσι η άνοδος αντί να παίρνει ηλεκτρόνια τα χάνει.

Σ' αυτή την περιοχή ΑΒ το ρεύμα της ανόδου μειώνεται και το ρεύμα προστατευτικού πλέγματος αυξάνει. Αν υπολογίσομε τη δυναμική αντίσταση, σ' αυτή την περιοχή βγαίνει αρνητική και γι' αυτό λέγεται και ***συνθήκη αρνητικής αντιστάσεως.*** Η άνοδος συμπεριφέρεται ως πηγή που προσφέρει ενέργεια, γι' αυτό και η συνθήκη αυτή εφαρμόζεται στους ταλαντωτές αρνητικής αντιστάσεως.

Από το ελάχιστο Β, που αντιστοιχεί σε τάση 50-60 V, τα δευτερογενή ηλεκτρόνια επιστρέφουν πάλι στην άνοδο γιατί έχει αυξηθεί το δυναμικό της και ασκεί μεγαλύτερη έλξη. Το ρεύμα ανόδου ακολουθεί κανονικά την αύξηση της τάσεως μέχρι την περιοχή Γ, από την οποία αρχίζει ο κόρος. Από το Γ μέχρι το Δ, για μεγάλη αύξηση της τάσεως, το ρεύμα αυξάνει ελάχιστα για μια μέγιστη τιμή. Η τιμή του μέγιστου ρεύματος, για κάθε καμπύλη, καθορίζεται από το αρνητικό δυναμικό του οδηγού πλέγματος. Για κάθε τάση ανόδου ισχύει:

$$I_K = I_a + I_{G_2}$$

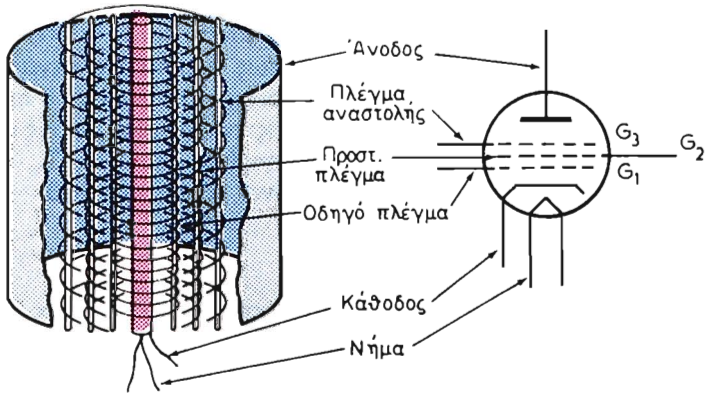
Η περιοχή κανονικής λειτουργίας της λυχνίας είναι η ΓΔ, όπου η τάση ανόδου είναι μεγαλύτερη από του προστατευτικού πλέγματος και αποφεύγεται το μειονέκτημα της δευτερογενούς εκπομπής και της καταδύσεως, που προκαλεί ανωμαλία στη λειτουργία της λυχνίας ως ενισχύτριας. Σ' αυτή την περιοχή υπολογίζονται και οι συντελεστές της λυχνίας, όπου το μ και το ρ βγαίνουν πολύ μεγαλύτερα από την τρίοδη.

Οι τέτροδες χρησιμοποιούνται σήμερα ως ενισχύτριες ισχύος υψηλών συχνοτήτων με τάση ανόδου π.χ. 2 kV και τάση προστατευτικού πλέγματος 300-500 V, για να αποκλείεται η περίπτωση δευτερογενούς εκπομπής.

2.7 Πέντοδη λυχνία.

Η πέντοδη ή πενταοδική λυχνία έχει πέντε ηλεκτρόδια. Μεταξύ του προστατευτικού πλέγματος και της ανόδου παρεμβάλλεται το τρίτο πλέγμα (G_3) που λέγεται ***πλέγμα αναστολής*** ή ***ανασταλτικό πλέγμα*** (suppressor grid), γιατί αναστέλλει τη δευτερογενή εκπομπή. Είναι πιο αραιό από το προστατευτικό πλέγμα και συνδέε-

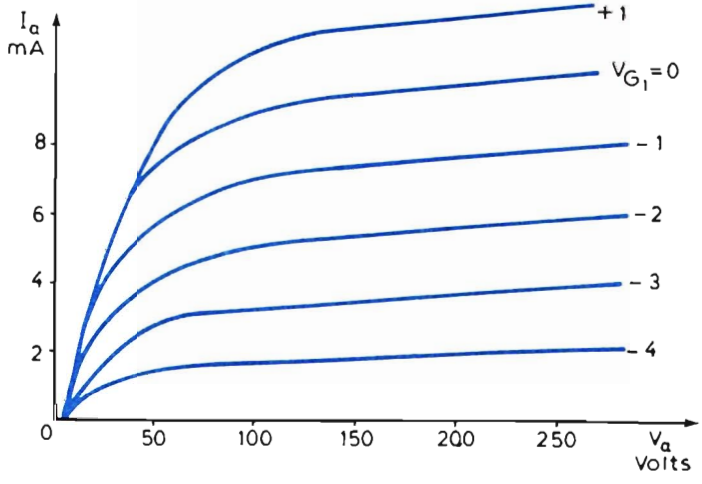
ται εσωτερικά ή εξωτερικά με την κάθοδο, παίρνοντας το δυναμικό της που είναι μηδέν. Σε μερικές συνδέσεις μπορεί να συνδεθεί εξωτερικά σε μικρό αρνητικό δυναμικό. Στο σχήμα 2.7α φαίνεται το εσωτερικό και ο συμβολισμός μιας πέντοδης.



Σχ. 2.7α.
Πέντοδη λυχνία.

Με το πλέγμα αυτό και το σχεδόν αρνητικό δυναμικό του, εξουδετερώνεται η δευτερογενής εκπομπή από την άνοδο και το μειονέκτημα της καταδύσεως στις καμπύλες. Καθώς τα ηλεκτρόνια προσπερνούν το προστατευτικό πλέγμα με μεγάλη ταχύτητα για να φθάσουν στην άνοδο, ενώ πλησιάζουν το πλέγμα αναστολής, περιορίζουν την ταχύτητά τους από την επίδραση του αρνητικού του δυναμικού και κτυπούν στην άνοδο με μικρότερη ταχύτητα. Έτσι τα δευτερογενή ηλεκτρόνια που εκπέμπονται είναι πολύ λιγότερα, αλλά και αυτά τα λίγα, αντί να κινηθούν προς το προστατευτικό πλέγμα, υποχρεώνονται από το αρνητικό δυναμικό του πλέγματος αναστολής να επιστρέψουν στην άνοδο, αφού έλκονται και από το θετικό δυναμικό της.

Οι καμπύλες ανόδου έχουν τη μορφή του σχήματος 2.7β για διάφορες τάσεις στο οδηγό πλέγμα G_1. Όλες οι καμπύλες αρχίζουν από την αρχή των αξόνων και, για πολύ μικρά δυναμικά ανόδου, το ρεύμα παίρνει τη μέγιστη τιμή του και παρα-



Σχ. 2.7β.
Καμπύλες ανόδου πέντοδης.

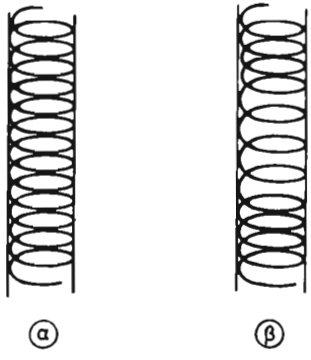
μένει σχεδόν σ' αυτήν, όσο και αν αυξηθεί η τάση ανόδου. Από εδώ φαίνεται ότι η τιμή του ρεύματος ανόδου εξαρτάται άμεσα από την τάση του οδηγού πλέγματος και από τη θετική τάση του προστατευτικού πλέγματος.

Η λυχνία στις κανονικές συνθήκες λειτουργίας της εργάζεται στο ευθύγραμμο τμήμα των καμπυλών. Σ' αυτό το τμήμα υπολογίζονται και οι συντελεστές της λυχνίας μ, ρ και G_m . Για λυχνίες ενισχύτριες τάσεως το ρ παίρνει μεγάλες τιμές, από 500 kΩ μέχρι 2 ΜΩ περίπου, ενώ το G_m κυμαίνεται από 2 μέχρι 8 mA/V. Έτσι το μ μπορεί να φθάσει σε πολύ μεγάλες τιμές. Στις ενισχύτριες μικρής ισχύος (μέχρι 15 W) το ρ κυμαίνεται από 8 μέχρι 70 kΩ περίπου, ενώ το G_m από 2 μέχρι 15 mA/V περίπου, με αποτέλεσμα το μ να είναι πάνω από 200.

2.8 Πέντοδη μεταβλητού μ.

Στους δέκτες ραδιοκυμάτων και σε άλλες ηλεκτρονικές συσκευές υπάρχει ανάγκη να ρυθμίζεται αυτόματα η ενισχυτικότητα ορισμένων βαθμίδων, δηλαδή να είναι η ενίσχυση πότε μεγάλη και πότε μικρή. Επειδή η ενίσχυση εξαρτάται από το μ της λυχνίας, πρέπει αυτό να μεταβάλλεται με εξωτερική επίδραση. Έτσι κατασκευάσθηκε η πέντοδος μεταβλητού μ.

Ο συντελεστής ενισχύσεως μ εξαρτάται από την πυκνότητα του οδηγού πλέγματος και από την απόσταση από την κάθοδο. Στις λυχνίες σταθερού μ, το οδηγό πλέγμα έχει σταθερό βήμα ελικώσεως [σχ. 2.8α(α)]. Στις λυχνίες μεταβλητού μ όμως το βήμα δεν είναι σταθερό, αλλά είναι στις άκρες πυκνό και στη μέση γίνεται αραιό [σχ. 2.8α(β)]. Μπορούμε να πούμε ότι στις άκρες το μ είναι 100 και στη μέση είναι 20, με ανάλογες τιμές στις ενδιάμεσες περιοχές.

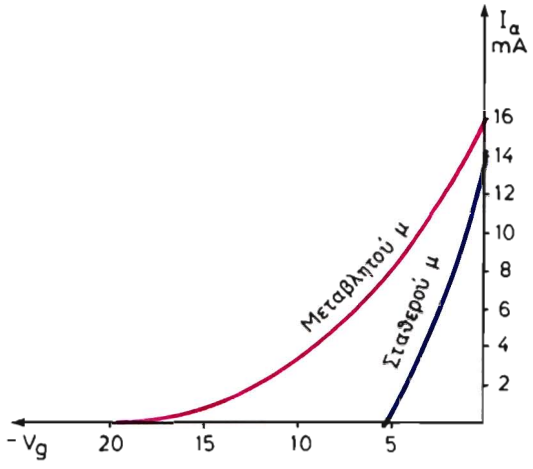


Σχ. 2.8α.
Οδηγό πλέγμα λυχνίας σταθερού (α) και μεταβλητού (β) μ.

Αν το πλέγμα συνδεθεί σε μια ρυθμιζόμενη αρνητική τάση, μπορεί, με τη μεταβολή της τάσεως, να μεταβάλλεται το μ. Σε ένα χαμηλό αρνητικό δυναμικό θα λειτουργεί ολόκληρο το πλέγμα, οπότε το μ θα έχει μια μέση τιμή, π.χ. 60. Όσο το δυναμικό θα γίνεται αρνητικότερο, θα αποκόπτεται το τμήμα με την πυκνή ελίκωση και το μεγάλο μ, με αποτέλεσμα να μικραίνει η μέση τιμή του και να γίνεται π.χ. 50, 40, 30 κλπ. Έτσι, όσο πιο αρνητικό γίνεται το πλέγμα τόσο μικραίνει και το μ και από αυτό και η ενισχυτικότητα της λυχνίας.

Το ρεύμα της λυχνίας δεν αποκόπτεται για μικρά αρνητικά δυναμικά, αλλά διατηρείται έστω και σε μικρή τιμή, για πολύ αρνητικό δυναμικό. Έτσι η χαρακτηρι-

στική πλέγματος δεν έχει απότομη κλίση, όπως στη λυχνία σταθερού μ, αλλά μεταβαλλόμενη, που φθάνει μέχρι −20 V όπως φαίνεται στο σχήμα 2.8β.



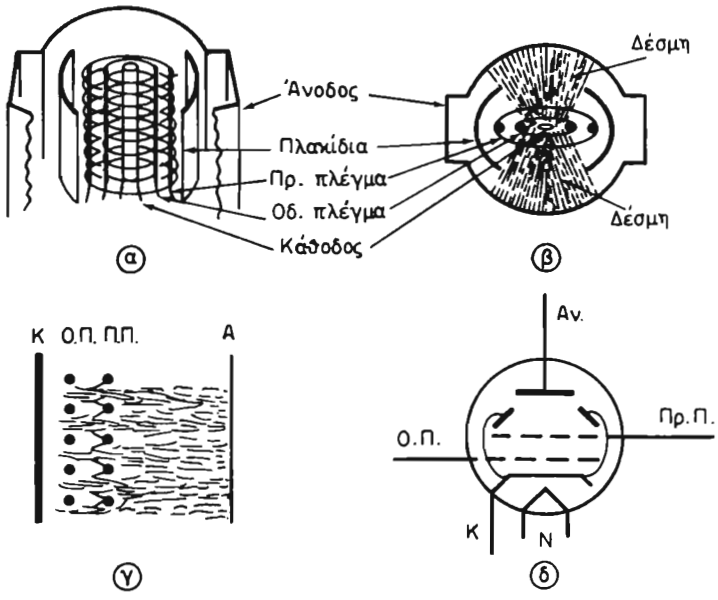
Σχ. 2.8β.
Καμπύλες πλέγματος λυχνίας σταθερού και μεταβλητού μ.

2.9 Τέτροδη ισχύος δέσμη.

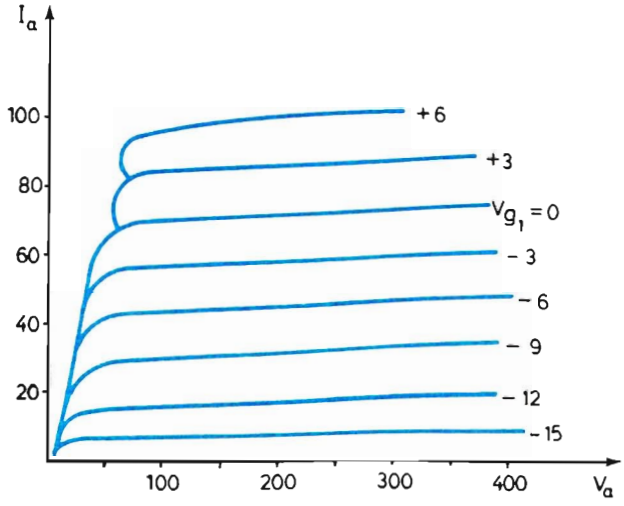
Η τέτροδη ισχύος δέσμη , (beam power tetrode) είναι μια τέτροδη ειδικής κατασκευής για να μην παρουσιάζει το φαινόμενο της δευτερογενούς εκπομπής και να λειτουργεί ως πέντοδη. Η κάθοδος και τα πλέγματα συνήθως δεν είναι κυλινδρικά, αλλά έχουν ελλειψοειδή τομή. Το οδηγό και το προστατευτικό πλέγμα έχουν το ίδιο βήμα ελικώσεως. Τα συρματάκια δηλαδή των δύο πλεγμάτων βρίσκονται το ένα πίσω από το άλλο, για να διευκολύνεται η κίνηση των ηλεκτρονίων. Η απόσταση ανόδου προστατευτικού πλέγματος είναι σχετικά μεγάλη, για να περιορίζεται η ταχύτητα των ηλεκτρονίων. Μεταξύ ανόδου - προστατευτικού πλέγματος στις κορυφές της ελλείψεως των πλεγμάτων, υπάρχουν δύο πλακίδια, που συνδέονται εσωτερικά με την κάθοδο. Αυτά, καθώς απωθούν τα ηλεκτρόνια, τα υποχρεώνουν να κινηθούν σε δύο δέσμες, από τα πλατιά μέρη της καθόδου προς τις δύο ελεύθερες εσωτερικές επιφάνειες της ανόδου. Στο σχήμα 2.9α(α) φαίνεται το εσωτερικό της λυχνίας, στο 2.9α(β) η διάταξη των ηλεκτροδίων από το πάνω μέρος και οι δέσμες των ηλεκτρονίων, στο 2.9α(γ) τα σύρματα των πλεγμάτων, η απόσταση της ανόδου και οι τροχιές των ηλεκτρονίων και στο 2.9α(δ) ο συμβολισμός της λυχνίας.

Καθώς τα ηλεκτρόνια κινούνται σε δύο δέσμες προς την άνοδο, παρουσιάζουν μεγάλη πυκνότητα. Έτσι στο χώρο μεταξύ προστατευτικού πλέγματος και ανόδου εμφανίζεται ένας χώρος αρνητικών φορτίων. Τα ηλεκτρόνια, φθάνοντας σ' αυτό το χώρο, ανακόπτουν την ταχύτητά τους και κτυπούν με μικρότερη ταχύτητα στην άνοδο. Έτσι αναπηδούν ελάχιστα δευτερογενή ηλεκτρόνια, αλλά και αυτά δεν μπορούν να κινηθούν προς το προστατευτικό πλέγμα, επειδή η απόσταση είναι μεγάλη και υπάρχει το αρνητικό πεδίο που σχηματίζεται από τα κινούμενα προς την άνοδο ηλεκτρόνια.

Επειδή δεν υπάρχει το πλέγμα αναστολής, τα ηλεκτρόνια κινούνται πιο ελεύθε-



Σχ. 2.9α.
Λυχνία δέσμης.
α) Τομή. β) Κάτοψη. γ) Θέση ηλεκτροδίων και τροχιές ηλεκτρονίων. δ) Συμβολισμός.



Σχ. 2.9β.
Καμπύλες ανόδου λυχνίας δέσμης.

ρα, με αποτέλεσμα η λυχνία να παρουσιάζει μεγαλύτερη αγωγιμότητα από την πέντοδη και να συμπεριφέρεται ως μια ιδεώδης πέντοδη. Η πλήρης αγωγιμότητα παρουσιάζεται για πολύ μικρό δυναμικό ανόδου και το ρεύμα ανόδου φθάνει στη

μέγιστη τιμή του σ' αυτό το δυναμικό. Οι καμπύλες έχουν τη μορφή του σχήματος 2.9β και είναι περίπου ίδιες με της πέντοδης, μόνο που παρουσιάζουν πιο απότομη κλίση σχηματίζοντας σχεδόν ορθή γωνία.

Οι λυχνίες δέσμης είναι ισχύος και υπάρχουν σε όλους σχεδόν τους δέκτες και τους ενισχυτές ακουστικών συχνοτήτων, στις βαθμίδες εξόδου. Χρησιμοποιούνται επίσης στους πομπούς μικρής σχετικά ισχύος, μεσαίων και βραχέων κυμάτων, ως προενισχύτριες ή ενισχύτριες ισχύος.

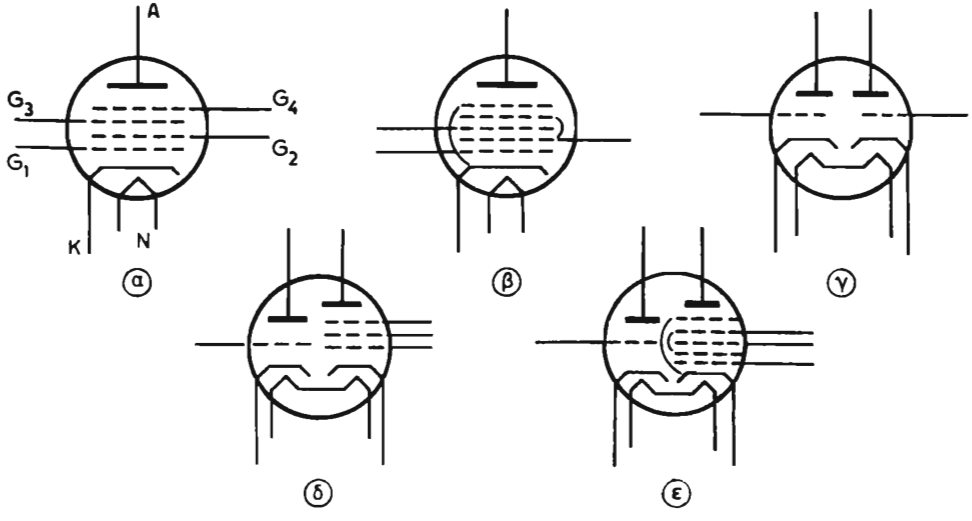
2.10 Λυχνίες πολλών ηλεκτροδίων — Σύνθετες — Ειδικές.

Υπάρχουν λυχνίες με περισσότερα από πέντε ηλεκτρόδια, όπως είναι η έξοδη και η έπτοδη. Η έξοδη ή εξαοδική έχει τέσσερα πλέγματα [σχ. 2.10(α)]. Το πρώτο και τρίτο πλέγμα χρησιμοποιούνται ως οδηγά πλέγματα και παίρνουν αρνητικό δυναμικό, ενώ το δεύτερο και τέταρτο ως προστατευτικά και παίρνουν θετικό δυναμικό.

Η έπτοδη ή επταοδική έχει πέντε πλέγματα [σχ. 2.10(β]. Το πρώτο και τρίτο είναι τα οδηγά και παίρνουν αρνητικό δυναμικό. Το δεύτερο και τέταρτο είναι συνήθως ενωμένα μεταξύ τους, είναι προστατευτικά πλέγματα και παίρνουν θετικό δυναμικό. Το πέμπτο είναι ανασταλτικό και, στις περισσότερες λυχνίες, συνδέεται εσωτερικά με την κάθοδο. Αυτές οι λυχνίες χρησιμοποιούνται ως μίκτριες και μεταλλάκτριες, όπως θα γνωρίσομε στο έβδομο κεφάλαιο.

Οι σύνθετες λυχνίες είναι λυχνίες που έχουν, στο ίδιο γυάλινο περίβλημα, δύο και τρεις ανεξάρτητες διατάξεις. Έχομε έτσι τις διπλοδίοδες, τις διπλοτρίοδες [σχ. 2.10(γ)], τις τρίοδες-πέντοδες [σχ. 2.10(δ)], τις τρίοδες-έπτοδες [σχ. 2.10(ε)] κλπ. Με τη σύνθετη κατασκευή επιτυγχάνεται οικονομία χώρου στις ηλεκτρονικές συσκευές και μειώνεται το κόστος κατασκευής.

Υπάρχουν λυχνίες ενδείξεως συντονισμού, με μια πράσινη φθορίζουσα επιφά-



Σχ. 2.10.
Λυχνίες πολλών ηλεκτροδίων και σύνθετες.

νεια που μεταβάλλει διαστάσεις ή σχήμα, σύμφωνα με την αρνητική τάση του οδηγού πλέγματος. Χρησιμοποιούνται περισσότερο στους δέκτες ραδιοκυμάτων για να δείχνουν τον ακριβή συντονισμό.

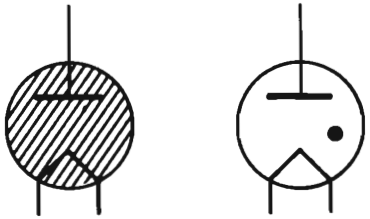
Υπάρχουν επίσης διάφοροι τύποι καθοδικών λυχνιών, που χρησιμοποιούνται στα ραντάρ, στους παλμογράφους, στην τηλεόραση κλπ.

Έχομε και ειδικές λυχνίες για πολύ υψηλές συχνότητες, όπως είναι οι ***βαλανοειδείς*** και οι λυχνίες ***φάρος***, οι λυχνίες ***κλύστρον, μάγνετρον*** και οι λυχνίες ***οδεύοντος κύματος*** (travelling wave tubes).

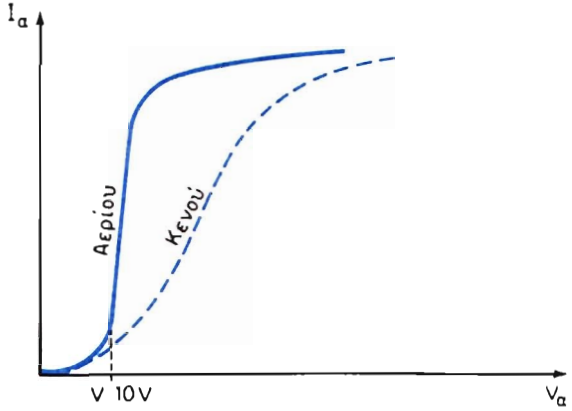
2.11 Λυχνίες αερίου.

Όπως αναφέρθηκε στην αρχή του κεφαλαίου, εκτός από τις λυχνίες κενού υπάρχουν και οι λυχνίες αερίου. Αυτές περιέχουν ευγενή αέρια σε μικρή ποσότητα και πίεση. Έχομε δίοδες και τρίοδες θερμής καθόδου και διόδες ψυχρής καθόδου.

Η δίοδη θερμής καθόδου είναι όπως και η δίοδη κενού, μόνο που περιέχει το αέριο. Έχουν μεγαλύτερο όγκο, γιατί μπορούν να δώσουν πολύ μεγάλο ρεύμα. Το αέριο που χρησιμοποιείται σ' αυτές είναι συνήθως το ξένον και οι ατμοί υδραργύρου. Οι ατμοί υδραργύρου δημιουργούνται από μια σταγόνα υδραργύρου που υπάρχει μέσα στη λυχνία, η οποία εξατμίζεται μόλις η λυχνία θερμανθεί. Συμβολίζονται όπως και οι λυχνίες κενού, μόνο που έχουν γραμμοσκίαση ή μια τελεία (σχ. 2.11α) και είναι συνήθως άμεσης θερμάνσεως.



Σχ. 2.11α.
Δίοδη αερίου.



Σχ. 2.11β.
Καμπύλη διόδου αερίου.

Η χαρακτηριστική καμπύλη της διόδης αερίου φαίνεται στο σχήμα 2.11β σε σύγκριση με εκείνη της λυχνίας κενού. Σε μια κρίσιμη τάση ανόδου, που λέγεται ***τάση ιονισμού,*** αυξάνει απότομα η αγωγιμότητα της λυχνίας και το ρεύμα της. Από

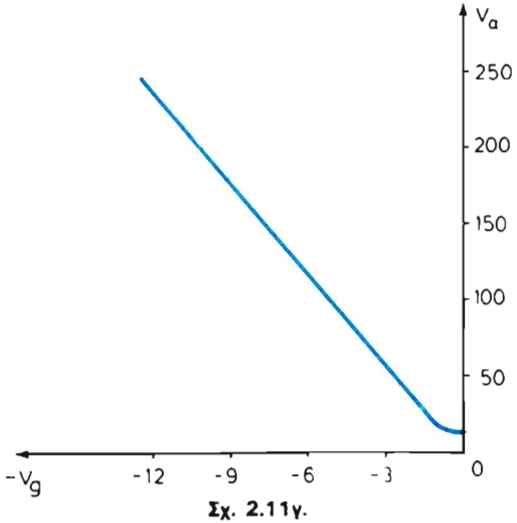
αυτή την τάση και πάνω, τα ηλεκτρόνια που φεύγουν από την κάθοδο αποκτούν μεγάλη σχετικά κινητική ενέργεια. Στη διαδρομή τους προς την άνοδο συγκρούονται με τα άτομα του αερίου, με αποτέλεσμα να δημιουργούνται ελεύθερα ηλεκτρόνια και θετικά ιόντα. Τα ηλεκτρόνια πηγαίνουν προς την άνοδο, αυξάνοντας το ανοδικό ρεύμα. Τα θετικά ιόντα πηγαίνουν προς την κάθοδο. Εκεί ενώνονται με τα ηλεκτρόνια του νέφους, με αποτέλεσμα να εξουδετερώνεται ο χώρος αρνητικών φορτίων και να δημιουργείται μεγάλη έξοδος ηλεκτρονίων.

Η δυναμική αντίσταση των λυχνιών αυτών είναι πολύ μικρή και γι' αυτό μπορούν να δώσουν ισχυρά ρεύματα. Η κάθοδος πρέπει να θερμαίνεται καλά πριν εφαρμοσθεί η τάση ανόδου, γιατί, αν δεν θερμανθεί, δεν σχηματίζεται το νέφος των ηλεκτρονίων και τα θετικά ιόντα κτυπούν με δύναμη την κάθοδο και την καταστρέφουν αφαιρώντας την επίστρωση των οξειδίων.

Αυτές οι λυχνίες χρησιμοποιούνται στα τροφοδοτικά των πομπών, όπου απαιτείται μεγάλη τάση και μεγάλο ρεύμα.

Η τρίοδη αερίου είναι η λυχνία ***θύρατρον***. Μεταξύ ανόδου και καθόδου βρίσκεται το πλέγμα, το οποίο μόνο στις μικρής ισχύος λυχνίες μοιάζει με το γνωστό πλέγμα. Στις λυχνίες μεγάλης ισχύος, η άνοδος και η κάθοδος είναι δύο δίσκοι και μεταξύ τους βρίσκεται το πλέγμα, το οποίο είναι δίσκος με μια μικρή τρύπα. Το πλέγμα δεν παίζει ρυθμιστικό ρόλο για την ποσότητα των ηλεκτρονίων αλλά ρυθμίζει με το αρνητικό του δυναμικό τη λειτουργία της λυχνίας. Όσο αρνητικότερο γίνεται το πλέγμα, που ονομάζεται ***θύρα,*** τόσο θετικότερη πρέπει να γίνει η άνοδος για να ιονίσει το αέριο και να λειτουργήσει η λυχνία. Όταν ιονίσει το αέριο, τα θετικά ιόντα περιβάλλουν το πλέγμα και εξουδετερώνουν τη δράση του. Έτσι, όσο αρνητικό και να γίνει δεν διακόπτεται η λειτουργία της λυχνίας. Για να διακοπεί πρέπει να μηδενισθεί η τάση ανόδου. Η καμπύλη του σχήματος 2.11γ λέγεται ***καμπύλη ελέγχου της θύρατρον*** και έχει τα ζεύγη τιμών τάσεως πλέγματος και τάσεως ανόδου, για τα οποία ιονίζει το αέριο και λειτουργεί η λυχνία.

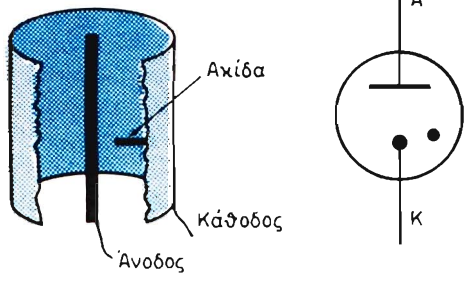
Οι λυχνίες θύρατρον χρησιμοποιούνται σε ανορθωτικές διατάξεις ρυθμιζόμενης ισχύος, για παραγωγή πριονωτών τάσεων, σε μηχανήματα που διαθέτουν αυτοματισμό κλπ.



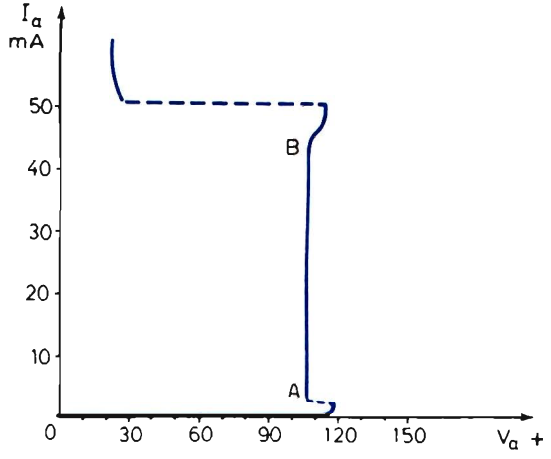
Σχ. 2.11γ.
Καμπύλη ελέγχου της «θύρατρον».

Οι λυχνίες ψυχρής καθόδου είναι δίοδες διαφορετικής κατασκευής που δεν έχουν θερμαινόμενη κάθοδο. Η έξοδος των ηλεκτρονίων πραγματοποιείται με βομβαρδισμό της καθόδου με θετικά ιόντα, τα οποία παίρνουν αρκετή κινητική ενέργεια.

Η άνοδος στις λυχνίες αυτές είναι ένας μεταλλικός στυλίσκος στη μέση της λυχνίας, ο οποίος περιβάλλεται από την κάθοδο. Η κάθοδος στην εσωτερική της επιφάνεια φέρει ειδική επίστρωση για να διευκολύνεται η έξοδος των ηλεκτρονίων. Φέρει επίσης και μία ακίδα για να διευκολύνεται το «ξεκίνημα» ή η «αφή» (το άναμμα) της λυχνίας. Το «ξεκίνημα» της λυχνίας πραγματοποιείται με τον ιονισμό του αερίου, που συνοδεύεται και από τη φωτοβολία του. Η φωτοβολία οφείλεται στη διέγερση του αερίου, κατά τη σύγκρουση των ηλεκτρονίων με τα άτομα του αερίου και την απόδοση φωτονίων. Το χρώμα της φωτοβολίας εξαρτάται από το αέριο που περιέχει η λυχνία. Τα αέρια που χρησιμοποιούνται συνήθως είναι νέον, ήλιον, αργόν κλπ. ή και μίγματά τους. Στο σχήμα 2.11δ φαίνεται το εσωτερικό και ο συμβολισμός της λυχνίας.



Σχ. 2.11δ.
Δίοδη ψυχρής καθόδου.



Σχ. 2.11ε.
Καμπύλη της δίοδης ψυχρής καθόδου.

Η μεταβολή του ρεύματος ανόδου σε συνάρτηση με τη μεταβολή της τάσεως ανόδου φαίνεται στο σχήμα 2.11ε. Για μεταβολή της τάσεως από 0 ως 120 V π.χ. το ρεύμα είναι μηδέν ή σχεδόν μηδέν, γιατί με αυτή την τάση και την απόσταση ανόδου-καθόδου τα ηλεκτρόνια δεν μπορούν με το σχηματιζόμενο πεδίο να αποσπασθούν από την κάθοδο.

Μόλις ξεπεράσομε μια κρίσιμη τάση, που λέγεται ***τάση αφής*** ή ***ιονισμού,*** λίγα ηλεκτρόνια ξεκινάνε από την ακίδα και με μεγάλη ταχύτητα πηγαίνουν στην άνοδο. Στο δρόμο τους προς την άνοδο συγκρούονται με τα άτομα του αερίου και αποσπούν ηλεκτρόνια που κινούνται και αυτά προς την άνοδο. Τα θετικά όμως ιόντα πηγαίνουν προς την κάθοδο, την βομβαρδίζουν ισχυρά και προκαλούν έξοδο ηλεκτρονίων. Το ρεύμα αυξάνει απότομα και γίνεται μια μικρή πτώση της τάσεως μεταξύ ανόδου και καθόδου. Η τιμή της τάσεως ανόδου τώρα λέγεται ***τάση λειτουργίας*** και είναι π.χ. 105 V.

Ελάχιστη αύξηση της τάσεως ανόδου θα έχει ως αποτέλεσμα την απότομη αύξηση του ρεύματος [σχ. 2.11ε(Α-Β)]. Αν ξεπεράσομε μια επιτρεπόμενη τάση και το μέγιστο ρεύμα, η λυχνία καταστρέφεται. Για προστασία της λυχνίας τοποθετείται πάντοτε στο κύκλωμα ανόδου και μια προστατευτική αντίσταση. Την ιδιορρυθμία αυτών των λυχνιών να παρουσιάζουν μεγάλη μεταβολή ρεύματος για ελάχιστη μεταβολή της τάσεως, εκμεταλλευόμαστε σε διατάξεις για σταθεροποίηση συνεχών τάσεων. Γι' αυτό και οι λυχνίες αυτές λέγονται και ***σταθεροποιήτριες τάσεως*** (voltage regulators) VR. Η τάση λειτουργίας είναι καθορισμένη και τυποποιημένη σε 75 V, 105 V και 150 V και καθορισμένο είναι επίσης και το μέγιστο ρεύμα της λυχνίας, π.χ. $I_{max} = 30$ mA.

Στον πίνακα 2.11.1 δίνονται μερικές λυχνίες που χρησιμοποιούνται σήμερα σε

ΠΙΝΑΚΑΣ 2.1.1.
Λυχνίες που χρησιμοποιούνται στους δέκτες και στους πομπούς

	Τύπος λυχνίας	Είδος και χρήση	Τάση και ρεύμα θερμαν.	Τάση πολώσεως V_{g1}	Τάση και ρεύμα ανόδου	Τάση και ρεύμα προστ. πλέγματος	Διαγωγιμότητα G_m ή S	μ και P	Ωφέλιμη ισχύς εξόδου	Επιτρεπόμενη ανοδική απώλεια	Αντίσταση φόρτου	Βάση λυχνίας
ΛΥΧΝΙΕΣ ΔΕΚΤΩΝ	EZ 90 ή 6 x 4	Διπλοδίοδη ανορθώτρια	6,3 V 0,6 A	–	2 x 325 V 70 mA	–	–	–	–	–	–	
	EC 90 ή 6 C 4	Τρίοδη ενισχύτρια τάσεως Υ.Σ.	6,3 V 0,15 A	–8,5 V	250 V 10,5 mA	–	2,2 MA/V	17 7,7 kΩ	–	–	100 kΩ	
	EL 84 ή 6 BQ 5	Πέντοδη ισχύος Χ.Σ.	6,3 V 0,76 A	–7,3 V	250 V 48 mA	250 V 5,5 mA	11,3 mA/V	430 38 kΩ	W_o = 6W	W_a = 12W	5,2 kΩ	
	EF 85 ή 6 BY 7	Πέντοδη τάσεως Υ.Σ	6,3 V 0,3 A	–1,8	250 V 10 mA	100 V 2,5 mA	6 mA/V	3600 600 kΩ	–	–	200 kΩ	
ΛΥΧΝΙΕΣ ΠΟΜΠΩΝ	DCG 1-250	Απλή δίοδη ανορθώτρια ατμ. υδραργ.	4 V 2,5 A	–	1430 V 750 mA	–	–	–	1 kW	–	–	
	TB 2,5/300	Τρίοδη ισχύος Υ.Σ. (μέχρι 75MC)	6,3 V 5,4 A	Τάξη C –80 V	2,5 kV 200 mA	–	–	–	W_o = 400 W	–	–	
	QB 2/250 ή 813	Πέντοδη BEAM ισχύος Υ.Σ. (μέχρι 30 MC)	10 V 5 A	Τάξη C –80 V	2 kV 180 mA	400 V	–	–	W_o = 275W	W_a = 100W	–	
	QB3/300 ή 4-125 A	Τέτροδη ισχύος Υ.Σ. (μέχρι 75 MC)	5 V 6,5 A	Τάξη C – 100 V	3 kV 167 mA	350 V	–	–	W_o = 375W	W_a = 125 W	–	
	QB 3,5/750 ή 4-250 A	Τέτροδη ισχύος Υ.Σ. (μέχρι 75 MC)	5 V 14,1	Τάξη C –100 V	4 kV 312 mA	500 V	–	–	W_o = 1 kW	W_a = 250 W	–	

πολλούς δέκτες και πολλούς πομπούς. Επίσης φαίνονται ο τύπος και τα χαρακτηριστικά της κάθε λυχνίας, όπως τα δίνει ο κατασκευαστής και αναφέρονται στα βιβλία λυχνίων Vade Megum.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΤΡΙΤΟ

ΑΝΟΡΘΩΣΗ – ΕΞΟΜΑΛΥΝΣΗ – ΤΡΟΦΟΔΟΤΙΚΑ

3.1 Γενικά.

Ανόρθωση είναι η μετατροπή ενός εναλλασσόμενου ρεύματος σε συνεχές, ή περίπου συνεχές και γενικά σε ρεύμα μιας κατευθύνσεως. Είναι απαραίτητη στις ηλεκτρονικές συσκευές που τροφοδοτούνται από το εναλλασσόμενο ρεύμα του δικτύου, γιατί οι ενισχύτριες λυχνίες και τα τρανζίστορς χρειάζονται συνεχές ρεύμα για τη λειτουργία τους. Για την ανόρθωση, η οποία πραγματοποιείται επίσης και για άλλες ανάγκες, όπως η φόρτιση συσσωρευτών, η λειτουργία ηλεκτρονόμων, κινητήρων συνεχούς κλπ. χρησιμοποιούμε τους ***ανορθωτές.***

Ο ανορθωτής είναι διάταξη που επιτρέπει τη διέλευση του ρεύματος κατά τη μία φορά παρουσιάζοντας ελάχιστη αντίσταση, ενώ κατά την άλλη, αντίθετη φορά, δεν επιτρέπει τη διέλευση, παρουσιάζοντας μεγάλη η άπειρη αντίσταση. Τέτοιες διατάξεις είναι οι δίοδες λυχνίες, οι μεταλλικοί ανορθωτές και μηχανικά συστήματα.

Η ανόρθωση μπορεί να είναι ***απλή,*** οπότε πραγματοποιείται με έναν ανορθωτή και μονοφασικό ρεύμα, ή ***πλήρης,*** οπότε γίνεται με δύο ανορθωτές και μονοφασικό ρεύμα, το οποίο μετασχηματίζεται σε διφασικό. Η πλήρης ανόρθωση πραγματοποιείται και με τέσσερις ανορθωτές και μονοφασικό ρεύμα. Για μεγάλης ισχύος ηλεκτρονικές συσκευές η ανόρθωση γίνεται με τρεις ή έξι ανορθωτές και τριφασικό ρεύμα.

Με βάση τους ανορθωτές κατασκευάζονται τα ανορθωτικά συστήματα που αποτελούνται από το μετασχηματιστή που θα δώσει την κατάλληλη τάση και την απαιτούμενη ισχύ, από τον ανορθωτή, που θα μετατρέψει το εναλλασσόμενο ρεύμα σε παλμόρρευμα μιας κατευθύνσεως και από το φίλτρο εξομαλύνσεως, που θα μεταβάλλει το παλμόρρευμα σε περίπου συνεχές ρεύμα.

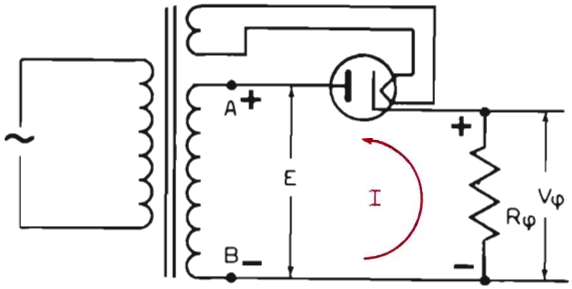
Τα ανορθωτικά μπορεί να είναι:

- Μικρής ισχύος 10-200 W περίπου, που χρησιμοποιούνται στους δέκτες ραδιοκυμάτων και σε μικρής ισχύος ηλεκτρονικές συσκευές, τηλεοράσεις κλπ.
- Μέσης ισχύος 200-5000 W περίπου, που χρησιμοποιούνται σε συσκευές και πομπούς μέσης ισχύος.
- Μεγάλης ισχύος, που χρησιμοποιούνται σε μεγάλης ισχύος συσκευές και πομπούς άνω των 5 kW.
- Για πολύ μεγάλες ισχείς οι ανορθωτές μπορεί να είναι θύρατρον, θυρίστορ, Ignitron και τόξου υδραργύρου.

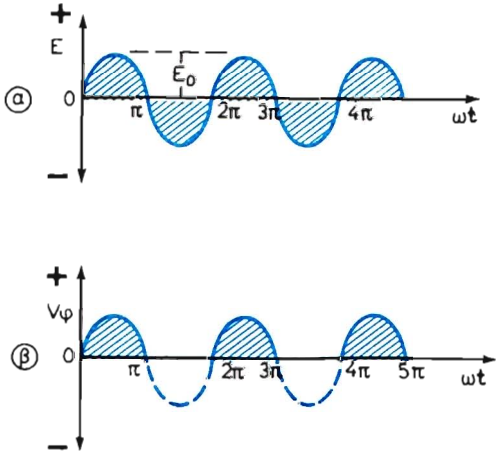
Στη συνέχεια θα περιγραφούν τα ανορθωτικά μικρής και μέσης σχετικά ισχύος.

3.2 Απλή ανόρθωση.

Ένα βασικό κύκλωμα απλής ανορθώσεως είναι αυτό του σχήματος 3.2α. Ο μετασχηματιστής, με το λόγο των σπειρών, καθορίζει την τάση που πρέπει να ανορθωθεί, παίρνοντας ισχύ από το δίκτυο. Από τον ίδιο μετασχηματιστή παίρνομε και μια μικρή τάση για τη θέρμανση της λυχνίας. Η λυχνία είναι έμμεσης θερμάνσεως, αλλά μπορεί να είναι και άμεσης, χωρίς διαφορές στη λειτουργία. Στο δευτερεύον του μετασχηματιστή συνδέεται η ανορθώτρια δίοδη λυχνία και το φορτίο που θα καταναλώσει το συνεχές ρεύμα. Το φορτίο συνήθως αντιπροσωπεύεται από έναν αντιστάτη R_Φ και στην πραγματικότητα αποτελεί το σύνολο των λυχνιών και των εξαρτημάτων της ηλεκτρονικής συσκευής που θα τροφοδοτηθούν με το συνεχές ρεύμα. Η τάση στο δευτερεύον του μετασχηματιστή, στις άκρες Α και Β, είναι εναλλασσόμενη της μορφής του σχήματος 3.2β(α) και η στιγμιαία της τιμή είναι $e = E_0$ ημωt, η μέγιστη είναι E_0 και η ενεργός $E = E_0/\sqrt{2}$.



Σχ. 3.2α.
Κύκλωμα απλής ανορθώσεως.



Σχ. 3.2β.
Κυματομορφές εισόδου και εξόδου.

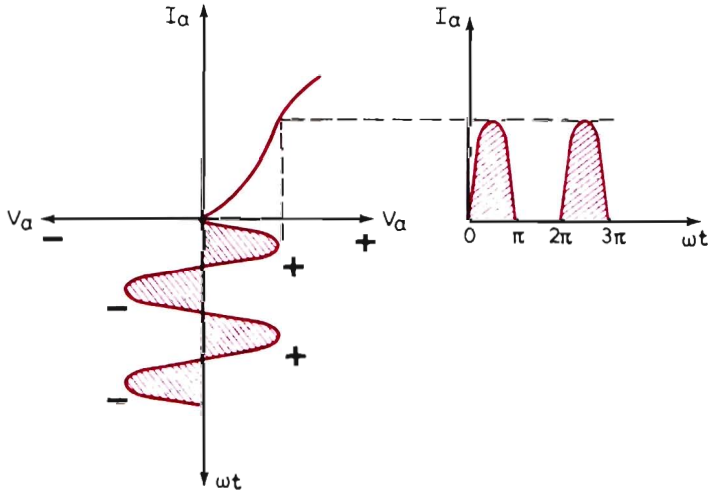
Στη θετική ημιπερίοδο του ρεύματος, όταν δηλαδή το Α είναι θετικό και το Β αρνητικό (σχ. 3.2α) η λυχνία βρίσκεται σε αγωγιμότητα, γιατί η άνοδος είναι θετική. Τότε κυκλοφορεί στο κύκλωμα και μέσα στη λυχνία, από την κάθοδο στην άνο-

δο, ένα ρεύμα I που ακολουθεί τη μεταβολή της τάσεως Ε και έχει την ίδια περίπου μορφή με αυτήν [σχ. 3.2β(β) από 0 μέχρι π)]. Στις άκρες του φορτίου R_Φ δημιουργείται μια τάση V με συν (+) επάνω και μείον (—) κάτω, η οποία έχει την ίδια μορφή της θετικής ημιπεριόδου.

Στην αρνητική ημιπερίοδο, όταν το Α γίνεται αρνητικό και το Β θετικό, η λυχνία δεν άγει. Η αντίστασή της γίνεται άπειρη και το ρεύμα του κυκλώματος μηδέν, σε όλη την αρνητική ημιπερίοδο[σχ. 3.2β(β), από π μέχρι 2π]. Στις άκρες του φορτίου R_Φ δεν παρουσιάζεται τάση, γιατί η λυχνία είναι διακόπτης ανοικτός. Στη θετική ημιπερίοδο η λυχνία άγει και παρουσιάζεται πάλι ρεύμα στο κύκλωμα και τάση στο φορτίο [σχ. 3.2β(β) από 2π μέχρι 3π]. Στην αρνητική ημιπερίοδο το ρεύμα αποκόπτεται κ.ο.κ.

Με τη μονομερή αγωγιμότητα της δίοδης λυχνίας το εναλλασσόμενο ρεύμα μετατρέπεται σε παλμόρρευμα μιας κατευθύνσεως του σχήματος 3.2β(β). Την ίδια μορφή έχει και η τάση στις άκρες του φορτίου, αποτελείται δηλαδή από θετικές ημιπεριόδους.

Η λειτουργία της λυχνίας φαίνεται και στη γραφική παράσταση του σχήματος 3.2γ, που παριστάνει την καμπύλη ρεύματος ανόδου-τάσεως ανόδου της δίοδης λυχνίας. Η εναλλασσόμενη τάση ανόδου εφαρμόζεται στο μήκος του άξονα V_a και το ρεύμα ανόδου εμφανίζεται μόνο στις θετικές ημιπεριόδους, ενώ στις αρνητικές αποκόπτεται.



Σχ. 3.2γ.
Γραφική παράσταση λειτουργίας ανορθώτριας.

Στις αγώγιμες ημιπεριόδους, δημιουργείται μεταξύ ανόδου-καθόδου μια πτώση τάσεως που είναι:

$$V_\Lambda = \rho \cdot I$$

όπου: ρ η αντίσταση της λυχνίας και
I το ρεύμα του κυκλώματος.

Στις άκρες του φορτίου R_Φ έχομε μια τάση που είναι:

$$V_\Phi = R_\Phi \cdot I$$

Σύμφωνα με το 2ο νόμο του Κίρχωφ έχομε:

$$E = V_\Lambda + V_\Phi = (\rho \cdot I) + (R_\Phi \cdot I) = I\,(\rho + R_\Phi) \qquad (3.1)$$

Η V_Λ είναι συνήθως της τάξεως των 10-30 V, για την οποία η λυχνία βρίσκεται σε πλήρη αγωγιμότητα, όπως φαίνεται και από την καμπύλη του σχήματος 2.4δ, ενώ η V_Φ είναι πολύ μεγαλύτερη.

Αν η μέγιστη τιμή της εναλλασσόμενης τάσεως E_0 είναι 300 V, το αντίστοιχο ρεύμα $I = 0{,}1$ A, η $\rho = 200\ \Omega$ και $R_\Phi = 2800\ \Omega$, τότε έχομε:

$$V_\Lambda = \rho \cdot I = 20\,V \qquad \text{και} \qquad V_\Phi = R_\Phi \cdot I = 280\,V \text{ (μέγιστη τιμή)}$$

Στις αρνητικές ημιπεριόδους το ρεύμα είναι μηδέν, η V_Φ είναι μηδέν επειδή δεν διέρχεται ρεύμα και όλη η τάση του δευτερεύοντος είναι στις άκρες της λυχνίας, μεταξύ ανόδου-καθόδου, με το μείον στην άνοδο και το συν στην κάθοδο. Η τάση αυτή φθάνει την E_0 και λέγεται ***μέγιστη ανάστροφη τάση.***

Στο παλμόρρευμα που κυκλοφορεί στο κύκλωμα και στο φορτίο καθώς και στην τάση στις άκρες του φορτίου έχομε τις παρακάτω τιμές:

Η μέγιστη τιμή του παλμορρεύματος είναι:

$$I_0 = \frac{E_0}{\rho + R_\Phi}$$

Η στιγμιαία του είναι: $\quad i = \dfrac{E_0}{\rho + R_\Phi}\,\eta\mu\omega t = I_0 \eta\mu\omega t$

στις αγώγιμες ημιπεριόδους (0 ως π, 2π ως 3π κλπ.) ενώ στις μη αγώγιμες είναι μηδέν (π ως 2π, 3π ως 4π κλπ.) όπως φαίνεται στο σχήμα 3.2δ(α). Αντίστοιχες τιμές έχομε και στην τάση στις άκρες του φορτίου, όπου $V_\Phi = I \cdot R_\Phi$.

Αν υποθέσομε ότι κάνομε μια «ισοπέδωση» αυτών των παλμών του ρεύματος, παίρνομε τη μέση τιμή του παλμορρεύματος $I_{συνεχές}$ [σχ. 3.2δ(α)] που είναι το $^1/_3$ περίπου της μέγιστης τιμής και την τιμή αυτή θα δείξει ένα αμπερόμετρο συνεχούς ρεύματος που θα τοποθετηθεί στο κύκλωμα. Η τιμή του $I_{συν}$ δίνεται με την ολοκλήρωση των παλμών, με την παρακάτω σχέση:

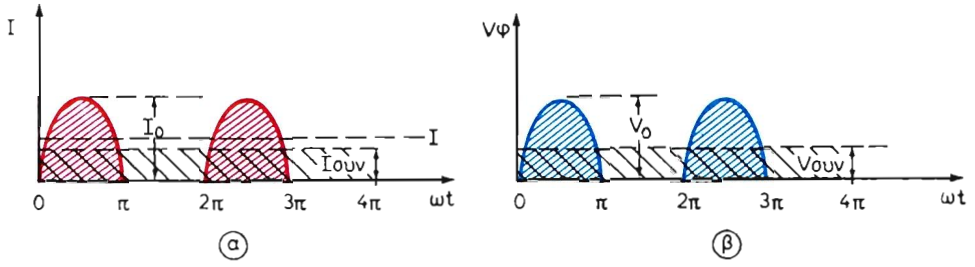
$$I_{συν} = \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} I_0\,\eta\mu(\omega t)\,d(\omega t) = \frac{1}{2\pi} \int_0^{\pi} I_0\,\eta\mu(\omega t)\,d(\omega t) +$$

$$+ \frac{1}{2\pi} \int_\pi^{2\pi} 0\,d(\omega t) = \frac{I_0}{\pi} \cong 0{,}32\ I_0 \qquad (3.2)$$

Με αντίστοιχη ολοκλήρωση εξάγεται και η μέση τιμή της ανορθωμένης τάσεως $V_{συνεχές}$ [σχ. 3.2δ(β)], που είναι:

$$V_{συν.} = R_\Phi \cdot I_{συν} = R_\Phi \cdot I_0/\pi = \frac{V_0}{\pi\,(1 + \rho/R_\Phi)} \cong \frac{V_0}{\pi} \quad \text{αν } \rho << R_\Phi \qquad (3.3)$$

Δηλαδή η μέση τιμή της συνεχούς τάσεως είναι το $^1/_3$ της V_0 και είναι η ένδειξη



Σχ. 3.2δ.
Τα διάφορα μεγέθη του ανορθωμένου ρεύματος.

που θα έχει ένα βολτόμετρο συνεχούς τάσεως στις άκρες της R_ϕ.

Η ενεργός τιμή του παλμορρεύματος $I_{\epsilon\nu}$ ή I_{RMS} ή I είναι η ισοδύναμη τιμή ενός συνεχούς ρεύματος I, που θα προκαλούσε σε έναν ωμικό αντιστάτη την ίδια θερμική ισχύ RI^2 που προκαλεί και το παλμόρρευμα. Η ενεργός τιμή του είναι το μισό της μέγιστης τιμής:

$$I = \frac{1}{2} I_0$$

και δίνεται από τη σχέση:

$$I = \left[\frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} i^2 \, d(\omega t) \right]^{1/2} =$$

$$= \left[\frac{1}{2\pi} \int_0^{\pi} I_0^2 \, \eta\mu^2(\omega t) \, d(\omega t) \right]^{1/2} = \frac{1}{2} I_0 \qquad (3.4)$$

Η ενεργός τιμή της ανορθωμένης τάσεως είναι:

$$V = R_\phi \cdot I = R_\phi \frac{I_0}{2} = \frac{V_0}{2(1 + \rho/R_\phi)}$$

και αν $\rho << R_\phi$ τότε $V = \frac{V_0}{2}$ (3.5)

Η ισχύς του παλμορρεύματος $P_{\sigma\upsilon\nu}$ είναι η ένδειξη που θα έδειχνε ένα βαττόμετρο συνεχούς, τοποθετημένο μεταξύ της ανορθωτικής διατάξεως και του φορτίου και δίνεται από τη σχέση:

$$P_{\sigma\upsilon\nu} = I^2_{\sigma\upsilon\nu} \cdot R_\phi = \left(\frac{I_0}{\pi} \right)^2 \cdot R_\phi = \left(\frac{V_0}{\pi(\rho + R_\phi)} \right)^2 \cdot R_\phi \qquad (3.6)$$

Η ισχύς που δίνει το δευτερεύον του μετασχηματιστή στον ανορθωτή και το φορτίο είναι:

$$P_{\epsilon\iota\sigma} = I^2 (\rho + R_\phi) \qquad (3.7)$$

Ο βαθμός αποδόσεως του συστήματος είναι ο λόγος της ωφέλιμης ανορθωμένης ισχύος προς την προσφερόμενη εναλλασσόμενη ισχύ, στα 100 δε είναι:

$$n = \frac{P_{συν}}{P_{εισ}} \cdot 100 = \frac{I^2_{συν} \cdot R_Φ}{I^2 (ρ + R_Φ)} \cdot 100 = \frac{I^2_{συν} \cdot 100}{I^2 (1 + ρ/R_Φ)} = \frac{40,6}{1 + ρ/R_Φ} \quad (3.8)$$

και αν $R_Φ >> ρ$, τότε ο βαθμός αποδόσεως είναι 40,6%.

Από τις παραπάνω τιμές παρατηρούμε ότι η συνεχής τάση και το ρεύμα έχουν μειωμένη τιμή που φθάνει το $^1/_3$ της μέγιστης, αλλά και η απόδοση της ανορθώσεως είναι περιορισμένη.

Ένα άλλο χαρακτηριστικό μέγεθος που ενδιαφέρει κατά την ανόρθωση είναι η ***κυμάτωση.*** Η κυμάτωση είναι οι μεταβολές ή οι αυξομειώσεις που έχει μια ανορθωμένη τάση ή ρεύμα. Ονομάζομε ***συντελεστή κυματώσεως γ*** το λόγο της εναλλασσόμενης συνιστώσας του ρεύματος προς τη συνεχή συνιστώσα του ρεύματος, ο οποίος δίνεται από τη σχέση:

$$γ = \frac{I_{εναλ}}{I_{συν}} = \frac{\sqrt{I^2 - I^2_{συν}}}{I_{συν}} = \sqrt{\left(\frac{I}{I_{συν}}\right)^2 - 1} =$$

$$= \sqrt{\left(\frac{I_0/2}{I_0/π}\right)^2 - 1} = \sqrt{\left(\frac{π}{2}\right)^2 - 1} = 1,21 \quad (3.9)$$

στα 100 δε είναι 121%, δηλαδή πολύ μεγάλη στην απλή ανόρθωση. Η συχνότητα της κυματώσεως είναι ίση με τη συχνότητα του προς ανόρθωση εναλλασσόμενου ρεύματος.

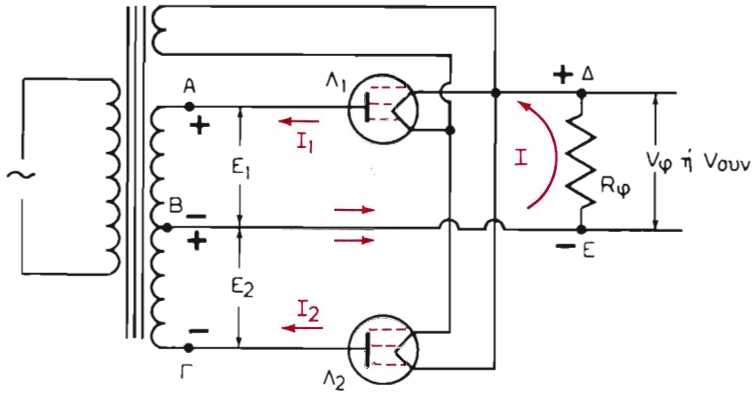
3.3 Διπλή ανόρθωση.

Στην προηγούμενη παράγραφο είδαμε ότι η μέση τιμή της ανορθωμένης τάσεως και ανορθωμένου ρεύματος είναι μικρή, όπως μικρή είναι και η απόδοση, ενώ η κυμάτωση είναι απαράδεκτα μεγάλη. Μπορούμε να βελτιώσομε αυτά τα μεγέθη, αν εφαρμόσομε τη διπλή ανόρθωση η ***πλήρη ανόρθωση*** όπως λέγεται.

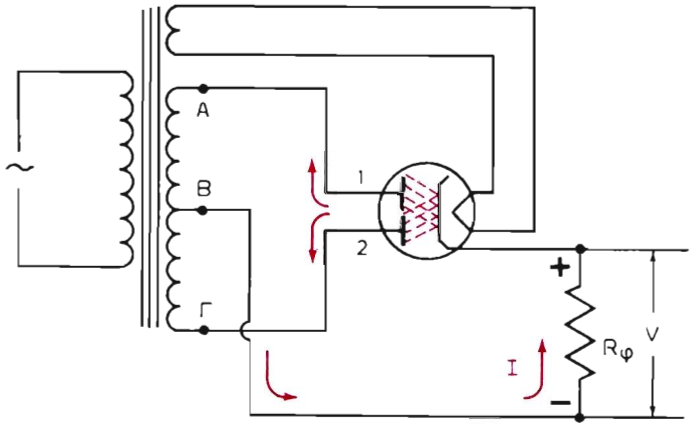
Το σχήμα 3.3α είναι ένα κύκλωμα διπλής ανορθώσεως με δύο λυχνίες άμεσης θερμάνσεως. Τα δύο νήματα, που είναι συγχρόνως και κάθοδοι, συνδέονται μεταξύ τους και τροφοδοτούνται με την ίδια τάση θερμάνσεως από το μετασχηματιστή και στη συνέχεια συνδέονται στην επάνω άκρη του φορτίου $R_Φ$.

Το δευτερεύον του μετασχηματιστή που θα δώσει την προς ανόρθωση τάση είναι ένα τύλιγμα με μεσαία λήψη. Σχηματίζονται έτσι δύο τάσεις E_1 και E_2 ίσες μεταξύ τους ($E_1 = E_2$), η τιμή των οποίων καθορίζεται από το λόγο μετασχηματισμού και την επιθυμητή συνεχή τάση, π.χ. $E_{01} = E_{02} = 300$ V. Η μέγιστη τάση στις άκρες Α και Γ είναι $E_{01} + E_{02} = 600$ V. Οι άκρες όμως Α και Γ, σε σχέση με τη μεσαία λήψη Β, έχουν διαφορά φάσεως 180°, γιατί, όταν το Α είναι θετικό το Γ είναι αρνητικό και αντίστροφα. Σχηματίζονται έτσι δύο κυκλώματα με κοινό φορτίο $R_Φ$. Στο ένα κύκλωμα υπάρχει το επάνω μισό τύλιγμα με τη λυχνία $Λ_1$ και το $R_Φ$ και στο άλλο το κάτω μισό τύλιγμα με τη λυχνία $Λ_2$ και το ίδιο $R_Φ$.

Οι άνοδοι των δύο λυχνιών τροφοδοτούνται με εναλλασσόμενο ρεύμα σε δια-



Σχ. 3.3α.
Διπλή ανόρθωση με δύο λυχνίες.

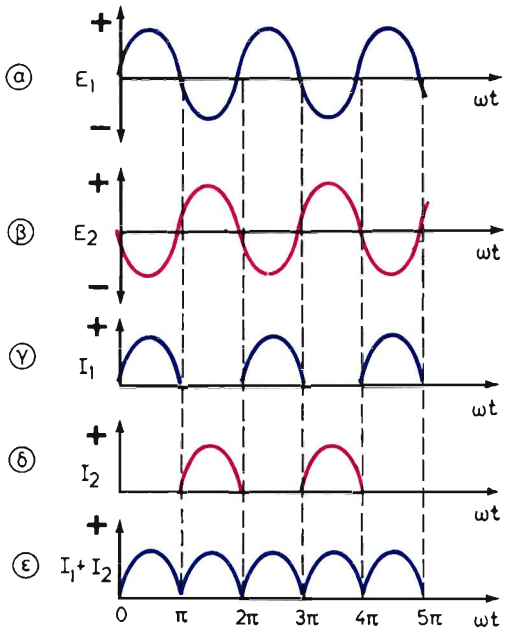


Σχ. 3.3β.
Διπλή ανόρθωση με διπλοδίοδη.

φορά φάσεως 180° (διφασικό) που έχει τη μορφή του σχήματος 3.3γ(α) και (β). Έτσι, όταν η άνοδος της μιας λυχνίας έχει θετικό δυναμικό, η άνοδος της άλλης έχει αρνητικό.

Στη μια ημιπερίοδο, όταν η πολικότητα είναι όπως στο σχήμα 3.3α, η λυχνία Λ_1 παίρνει θετικό δυναμικό στην άνοδο και βρίσκεται σε αγωγιμότητα, ενώ η Λ_2 παίρνει αρνητικό και βρίσκεται σε αποκοπή. Ένα ρεύμα κινείται από την κάθοδο της Λ_1 στην άνοδό της, προς το Α. Από εκεί, μέσα από το μισό τύλιγμα, κινείται προς το Β, στο Ε και, μέσα από το φορτίο, στο Δ και στην κάθοδο της Λ_1, κλείνοντας έτσι κύκλωμα.

Στην άλλη ημιπερίοδο η πολικότητα στο δευτερεύον αλλάζει. Το Α γίνεται αρνητικό και το Γ θετικό. Η Λ_1 παίρνει αρνητικό στην άνοδο και αποκόπτεται, ενώ η Λ_2 παίρνει θετικό και άγει. Ένα ρεύμα κινείται από την κάθοδο της Λ_2 στην άνοδό της, προς το Γ. Από εκεί, μέσα από το κάτω μισό τύλιγμα κινείται προς το Β, στο Ε και, μέσα από το φορτίο, στο Δ και στην κάθοδο της Λ_2 κλείνοντας κύκλωμα.



Σχ. 3.3γ.
Κυματομορφές εισόδου και εξόδου.

Με την αλλαγή της πολικότητας αλλάζει πάλι η αγωγιμότητα των λυχνιών και η Λ_1 δίνει ένα παλμόρρευμα της μορφής (γ) του σχήματος 3.3γ, ενώ η Λ_2 δίνει παλμόρρευμα της μορφής (δ). Τα δύο αυτά παλμορρεύματα περνούν από το ίδιο φορτίο R_Φ και έτσι η τελική μορφή του παλμορρεύματος είναι του σχήματος 3.3γ(ε), που είναι το άθροισμά τους.

Στις άκρες του φορτίου δημιουργείται μια τάση V_Φ που έχει την ίδια μορφή με το παλμόρρευμα και η τιμή της είναι $V_\Phi = R_\Phi \cdot I$, ενώ στην κάθε λυχνία, κατά την αγωγιμότητα, δημιουργείται μια πτώση τάσεως $V_\Lambda = I \cdot \rho$ όπως και στην απλή ανόρθωση.

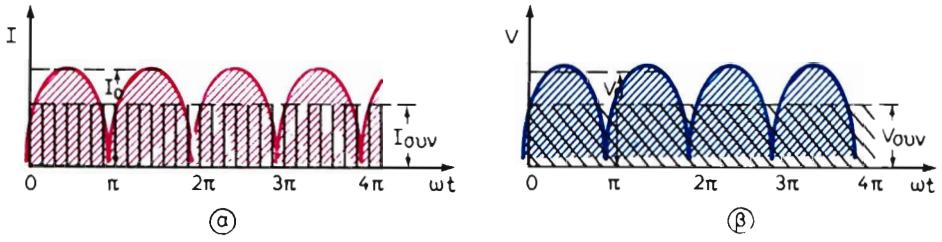
Η μορφή του παλμορρεύματος της διπλής ανορθώσεως είναι πολύ καλύτερη από αυτήν της απλής, γιατί υπάρχει μικρότερο κενό μεταξύ των παλμών. Έτσι η μέση τιμή του παλμορρεύματος που θα προέλθει από την «ισοπέδωση» των παλμών [σχήμα 3.3δ(α)], την οποία μπορούμε να μετρήσομε με ένα αμπερόμετρο συνεχούς σε σειρά με το φορτίο, θα είναι:

$$I_{συν} = \frac{2\, I_0}{\pi} = 0{,}64\, I_0 \qquad (3.10)$$

δηλαδή διπλάσιο από αυτό της απλής ανορθώσεως.

Η μέση τιμή της τάσεως στο φορτίο $V_{συν}$ θα είναι:

$$V_{συν} = \frac{2V_0}{\pi} = 0{,}64\, V_0 \qquad (3.11)$$



Σχ. 3.36.
Τα διάφορα μεγέθη στην πλήρη ανόρθωση.

δηλαδή διπλάσια από αυτήν της απλής ανορθώσεως. Αν π.χ. έχομε στο σχήμα 3.3α $E_{01} = E_{02} = 300$ V, η μέγιστη τιμή του ρεύματος I_0 είναι 0,1 Α και το $R_Φ = 2800\ Ω$, τότε η μέγιστη τιμή του παλμού της ανορθωμένης τάσεως V_0 θα είναι 280 V και η μέση τιμή αυτής της τάσεως είναι 180 V. Αυτή την ένδειξη θα δώσει ένα βολτόμετρο συνεχούς τάσεως που θα τοποθετηθεί παράλληλα στο φορτίο $R_Φ$.

Η ενεργός τιμή του παλμορρεύματος είναι μεγαλύτερη από αυτή της απλής ανορθώσεως και ίση με

$$I = \frac{I_0}{\sqrt{2}}$$

όπως και ενεργός τιμή της τάσεως

$$V = \frac{V_0}{\sqrt{2}}$$

Για το παραπάνω παράδειγμα η ενεργός τιμή της ανορθωμένης τάσεως θα είναι 200 V.

Η ισχύς του παλμορρεύματος είναι:

$$P_{συν} = I^2_{συν} \cdot R_Φ = \left(\frac{2\,I_0}{π}\right)^2 \cdot R_Φ \qquad (3.12)$$

και είναι τετραπλάσια από αυτή της απλής ανορθώσεως.

Η ισχύς που δίνει το δευτερεύον του μετασχηματιστή στους δύο ανορθωτές και το φορτίο είναι:

$$P_{εισ} = I^2 (R_Φ + ρ) \qquad (3.13)$$

Ο βαθμός αποδόσεως της διατάξεως στα 100 είναι:

$$η = \frac{P_{συν}}{P_{εισ}} = \frac{I^2_{συν} \cdot R_Φ}{I^2 (R_Φ + ρ)} = \frac{81{,}2}{1 + ρ/R_Φ}\ \% \qquad (3.14)$$

Η απόδοση δηλαδή είναι διπλάσια στη διπλή ανόρθωση, όπως και η κυμάτωση είναι επίσης πολύ βελτιωμένη, αφού ο συντελεστής της γ γίνεται:

$$γ = \frac{\sqrt{I^2 - I^2_{συν}}}{I_{συν}} = \sqrt{\left(\frac{I}{I_{συν}}\right)^2 - 1} =$$

$$\sqrt{\left(\frac{I_0/\sqrt{2}}{2\,I_0/\pi}\right)^2 - 1} = \sqrt{\left(\frac{\pi}{2\sqrt{2}}\right)^2 - 1} = 0{,}48 \text{ ή } 48\,\% \qquad (3.15)$$

Η συχνότητα της κυματώσεως είναι διπλάσια από τη συχνότητα του προς ανόρθωση εναλλασσόμενου ρεύματος, πράγμα που εξυπηρετεί πιο πολύ στην εξομάλυνση.

Από την παραπάνω ανάλυση είδαμε ότι η διπλή ανόρθωση πλεονεκτεί σε σύγκριση με την απλή. Απαιτεί όμως δύο ανορθώτριες λυχνίες και μετασχηματιστή με διπλό τύλιγμα στο δευτερεύον. Η απλή ανόρθωση χρησιμοποιείται για μικρές ισχείς όπως στα ραδιόφωνα, τηλεοράσεις, δυναμικό πολώσεως κλπ. Στη διπλή ανόρθωση, για τάσεις μεγαλύτερες από 800 V, χρησιμοποιούνται δύο λυχνίες αντίστοιχης τάσεως όπως στο κύκλωμα του σχήματος 3.3α, ενώ για τάσεις μικρότερες από 800 V μπορεί να χρησιμοποιηθούν διπλοδίοδες λυχνίες, όπως φαίνεται και στο σχήμα 3.3δ. Η λειτουργία του κυκλώματος αυτού είναι ίδια με αυτή του κυκλώματος του σχήματος 3.3α.

Πρέπει να σημειωθεί ότι η μέγιστη ανάστροφη τάση μεταξύ ανόδου και καθόδου, για κάθε λυχνία, είναι διπλάσια, γιατί, όταν η άνοδος της Λ_2 είναι αρνητική, στην κάθοδό της από την Λ_1, που είναι αγώγιμη, εφαρμόζεται το θετικό του Α που είναι $E_{01} + E_{02}$, δηλαδή 600 V για το παράδειγμα (σχ. 3.3α).

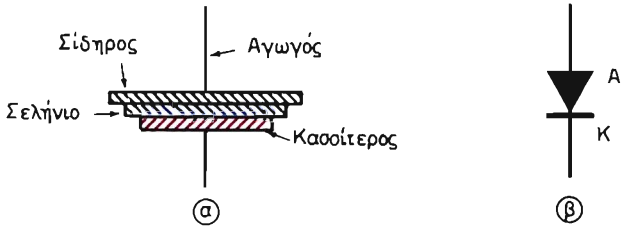
Από την κάθοδο της ανορθώτριας παίρνομε πάντα το συν (+) που εφαρμόζεται στο φορτίο, ενώ το μείον (—) το παίρνομε από την άλλη άκρη του μετασχηματιστή στην απλή ανόρθωση, ή από τη μεσαία λήψη, στη διπλή. Μπορεί η κάθοδος να είναι θετική για το φορτίο, αλλά η άνοδος είναι πάντοτε θετικότερη από την κάθοδο στην αγώγιμη ημιπερίοδο. Για το παράδειγμά μας η άνοδος θα είναι 20 V θετικότερη από την κάθοδο (η άνοδος + 300 V και η κάθοδος +280 V ως προς το κοινό μείον) για μέγιστες τιμές.

3.4 Ανόρθωση με γέφυρα ανορθωτών.

Ένα άλλο κύκλωμα που πραγματοποιεί πλήρη ή διπλή ανόρθωση είναι το ***κύκλωμα γέφυρας ανορθωτών.*** Η γέφυρα αποτελείται συνήθως από μεταλλικούς ανορθωτές και σπάνια από δίοδες λυχνίες. Οι μεταλλικοί ανορθωτές είναι διατάξεις που παρουσιάζουν μονομερή αγωγιμότητα όπως και οι λυχνίες. Αποτελούνται από δύο διαφορετικούς μεταλλικούς δίσκους ή ημιαγωγούς σε επαφή μεταξύ τους. Έχομε έτσι τους ανορθωτές χαλκού-οξειδίου του χαλκού, τους ανορθωτές σιδήρου-σεληνίου ή νικελίου-σεληνίου και τους πιο σύγχρονους ανορθωτές πυριτίου, τους οποίους θα μελετήσομε στο δέκατο κεφάλαιο. Οι ανορθωτές χαλκού-οξειδίου του χαλκού δεν χρησιμοποιούνται σήμερα ως ανορθωτές, γιατί είναι ασύμφοροι, ενώ οι ανορθωτές σεληνίου χρησιμοποιούνται σε πολλές συσκευές.

Ο ανορθωτής σεληνίου αποτελείται από ένα δίσκο σιδήρου, πάχους συνήθως 0,5 mm και διαμέτρου που εξαρτάται από την ένταση του ρεύματος. Για να μην οξειδώνεται μπορεί να είναι επινικελωμένος. Στη μία επιφάνεια γίνεται λεπτή επίστρωση από σελήνιο και πάνω από το σελήνιο, για να λειτουργεί όλη η επιφάνεια, τοποθετείται ένα στρώμα κασσίτερου, όπως φαίνεται στο σχήμα 3.4α(α). Στο (β) μέρος του σχήματος δίνεται ο συμβολισμός του.

Όταν το ρεύμα κινείται από το σίδηρο προς το σελήνιο συναντά πολύ μεγάλη



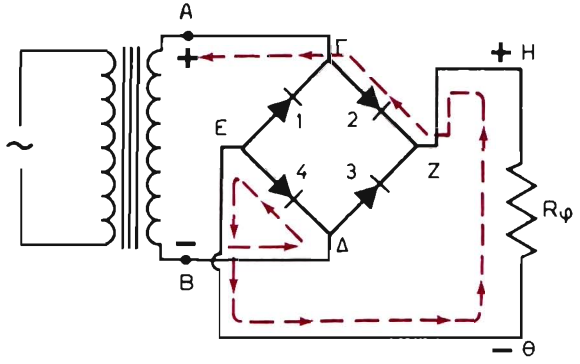
Σχ. 3.4α.

αντίσταση, 4000-5000 φορές μεγαλύτερη από αυτή που συναντά όταν κινείται από το σελήνιο προς το σίδηρο. Η επαφή δηλαδή παρουσιάζει μονομερή αγωγιμότητα, όπως και η δίοδη λυχνία, και μπορούμε να πούμε ότι το σελήνιο λειτουργεί ως κάθοδος και ο σίδηρος ως άνοδος.

Η μέγιστη τάση που μπορεί να ανορθώσει ένα τέτοιο στοιχείο είναι 23 V περίπου και η ένταση ρεύματος καθορίζεται από την επιφάνεια του στοιχείου, που είναι 100 mA ανά cm^2. Για ανόρθωση μεγαλύτερης τάσεως, χρησιμοποιούνται πολλά στοιχεία συνδεσμολογημένα σε σειρά. Για τάση 300 V π.χ. θα χρησιμοποιηθούν 12 απλά στοιχεία σε κατάλληλη σύνδεση σειράς.

Η γέφυρα αποτελείται από τέσσερις ανορθωτές σε σύνδεση όπως στο σχήμα 3.4β. Ο μετασχηματιστής στο δευτερεύον έχει ένα απλό τύλιγμα με την καθορισμένη για ανόρθωση τάση. Κατά τη λειτουργία του κυκλώματος οι ανορθωτές βρίσκονται σε αγωγιμότητα κατά ζεύγη.

Στη μια ημιπερίοδο, όταν η πολικότητα στο δευτερεύον είναι όπως στο σχήμα 3.4β, με θετικό το Α και αρνητικό το Β, το ρεύμα θα κινηθεί από το Β προς το Α. Από το Β φθάνει στον κόμβο Δ. Προς το Ζ δεν μπορεί να κινηθεί, γιατί ο ανορθωτής 3 παίρνει αρνητικό στην άνοδο και παρουσιάζει πολύ μεγάλη αντίσταση. Αντίθετα, ο ανορθωτής 4 παίρνει αρνητικό στην κάθοδο και άγει. Έτσι το ρεύμα κινείται προς το Ε. Προς το Γ δεν μπορεί να κινηθεί, γιατί ο ανορθωτής 1 παίρνει αρνητικό στην άνοδο και παρουσιάζει μεγάλη αντίσταση. Κινείται λοιπόν προς το Θ, περνά μέσα από το φορτίο R_Φ, φθάνει στο Η και από τον ανορθωτή 2, που είναι σε αγωγιμότητα γιατί παίρνει αρνητικό στην κάθοδο, φθάνει στα Γ και Α κλείνοντας κύκλωμα.

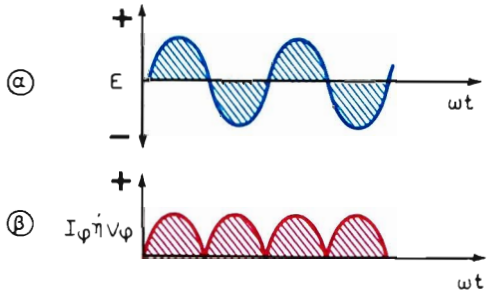


Σχ. 3.4β.
Διπλή ανόρθωση με γέφυρα ανορθωτών.

Στην άλλη ημιπερίοδο, η πολικότητα αλλάζει και το Α γίνεται αρνητικό. Από το Α το ρεύμα περνά τον ανορθωτή 1 που παίρνει αρνητικό στην κάθοδο και φθάνει στο Ε. Ο ανορθωτής 4 παρουσιάζει μεγάλη αντίσταση, γιατί παίρνει αρνητικό στην άνοδο και δεν επιτρέπει τη δίοδο του ρεύματος. Το ρεύμα τότε θα κινηθεί από το Ε στο Θ, μέσα από το φορτίο στο Η, από τον ανορθωτή 3 στο Δ και από εκεί στο Β κλείνοντας κύκλωμα.

Παρατηρούμε ότι και στις δύο ημιπεριόδους από το φορτίο περνά ρεύμα της ίδιας κατευθύνσεως δημιουργώντας παλμόρρευμα της μορφής (β) του σχήματος 3.4γ. Στις άκρες του φορτίου έχομε τάση της ίδιας μορφής με θετικό το Η και αρνητικό το Θ. Η κυματομορφή είναι της διπλής ανορθώσεως και για τις τιμές της μέσης τιμής, μέγιστης και ενεργού, ισχύουν τα ίδια περίπου της προηγούμενης παραγράφου.

Οι γέφυρες ανορθωτών χρησιμοποιούνται για ανόρθωση μικρών τάσεων και δεν ξεπερνούν τα 500 V περίπου, ενώ η ένταση ρεύματος φθάνει τις πολλές δεκάδες αμπέρ.



Σχ. 3.4γ.
Κυματομορφές εισόδου και εξόδου.

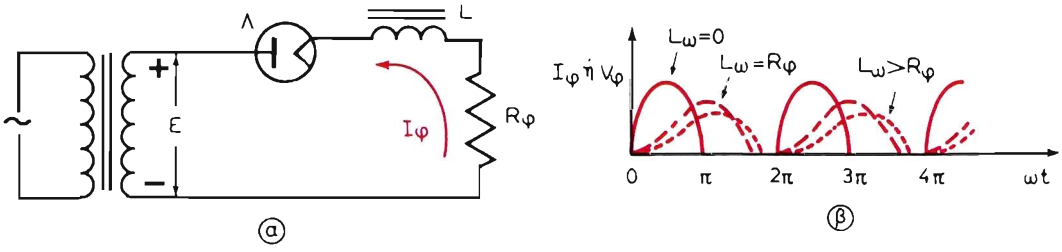
3.5 Φίλτρα εξομαλύνσεως.

Το παλμόρρευμα που προέρχεται από την ανόρθωση έχει μεγάλη κυμάτωση και είναι ακατάλληλο για να χρησιμοποιηθεί στους ενισχυτές, όπου απαιτείται τέλειο συνεχές ρεύμα. Έτσι, το παλμόρρευμα πρέπει να γίνει όσο το δυνατό πιο τέλειο συνεχές και για το σκοπό αυτό χρησιμοποιούνται τα ***φίλτρα εξομαλύνσεως.***

Τα φίλτρα αποτελούνται από πηνία μεγάλης αυτεπαγωγής, 5-30 Henry περίπου, και πυκνωτές μεγάλης χωρητικότητας, συνήθως 4-50 μF. Για να παρουσιάζουν μεγάλη αυτεπαγωγή και μικρή ωμική αντίσταση τα πηνία κατασκευάζονται με σιδηροπυρήνα, όπως οι μετασχηματιστές, και λέγονται ***στραγγαλιστικά πηνία*** (chokes). Οι πυκνωτές, για τάσεις μικρότερες από 500 V, είναι συνήθως ηλεκτρολυτικοί για να έχουν μεγάλη χωρητικότητα σε μικρό όγκο. Για μεγαλύτερες τάσεις οι πυκνωτές είναι χάρτου και ελαίου ή άλλου διηλεκτρικού μεγάλης αντοχής.

α) Φίλτρο με πηνίο.

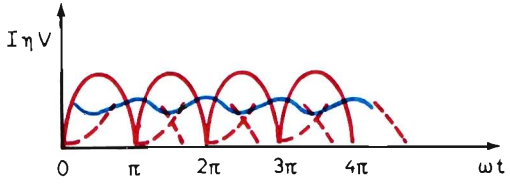
Στο σχήμα 3.5α(α) φαίνεται το κύκλωμα απλής ανορθώσεως στο οποίο έχει προστεθεί ένα πηνίο ως φίλτρο εξομαλύνσεως. Με την επίδραση της αυτεπαγωγής το ρεύμα παρατείνεται πέρα από το π (180°) και η κυματομορφή μεταβάλλεται όπως στο σχήμα 3.5α(β), με αποτέλεσμα η κυμάτωση να ελαττώνεται. Όσο η επα-



Σχ. 3.5α.
Φίλτρο με πηνίο και η επίδρασή του στο παλμόρρευμα.

γωγική αντίδραση Lω αυξάνει με την αύξηση του L, τόσο ο συντελεστής κυματώσεως «γ» μικραίνει, αλλά μικραίνει επίσης και η μέση τιμή της ανορθωμένης τάσεως και ρεύματος.

Καλύτερα αποτελέσματα με την επίδραση της αυτεπαγωγής έχομε στη διπλή ανόρθωση, όπου το παλμόρρευμα δεν μηδενίζεται, γιατί, όταν έρχεται ο επόμενος παλμός από τη δεύτερη άνοδο, υπάρχει ακόμα ρεύμα από τον προηγούμενο παλμό από την πρώτη άνοδο (σχ. 3.5β). Έτσι το παλμόρρευμα μοιάζει περισσότερο με συνεχές.



Σχ. 3.5β.
Επίδραση του πηνίου στη διπλή ανόρθωση.

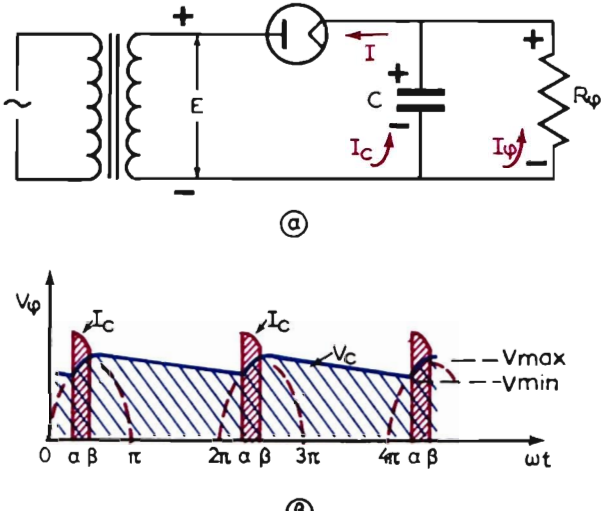
β) Φίλτρο με πυκνωτή.

Αντί του πηνίου που τοποθετείται σε σειρά με το φορτίο μπορούμε να χρησιμοποιήσομε πυκνωτή παράλληλα στο φορτίο, όπως στο σχήμα 3.5γ(α). Με την επίδραση της χωρητικότητας το παλμόρρευμα θα αλλάξει μορφή.

Στη θετική ημιπερίοδο, οπότε η λυχνία άγει, ο πυκνωτής φορτίζεται με την πολικότητα του σχήματος σε τάση $V_\Phi = E - I_\rho$. Η σταθερά φορτίσεως RC είναι μικρή, γιατί η αντίσταση ρ της λυχνίας είναι μικρή. Έτσι, αν ρ = 200 Ω και C = 20 μF, το RC είναι 4 msec (χιλιοστά του δευτερόλεπτου) και για πλήρη φόρτιση απαιτείται χρόνος 5RC, δηλαδή 20 msec. Αν η συχνότητα του εναλλασσόμενου ρεύματος είναι 50 c/s τότε ο χρόνος μιας περιόδου είναι:

$$T = \frac{1}{F} = 20 \text{ msec}$$

και ο χρόνος της ημιπεριόδου (0 ως π) είναι 10 msec. Ο πυκνωτής επομένως δεν φορτίζεται πλήρως στην πρώτη θετική ημιπερίοδο, αλλά στη δεύτερη και τρίτη και σε μερικές ημιπεριόδους ο πυκνωτής θεωρείται φορτισμένος.



Σχ. 3.5γ.
Φίλτρο με πυκνωτή και η επίδρασή του στο παλμόρρευμα.

Στις αρνητικές ημιπεριόδους η λυχνία αποκόπτεται και δεν δίνει ρεύμα στο φορτίο. Ο πυκνωτής όμως είναι φορτισμένος και είναι παράλληλα με το φορτίο. Επομένως θα δώσει φορτία σ' αυτό και θα εκφορτισθεί. Το RC της εκφορτίσεως θα είναι τώρα μεγαλύτερο από αυτό της φορτίσεως, γιατί η R_Φ, στο παράδειγμά μας, έχει τιμή 2800 Ω. Έτσι το RC είναι 56 msec και για την πλήρη εκφόρτιση του πυκνωτή απαιτείται χρόνος 5 RC, δηλαδή 0,28 sec, χρόνος που αντιστοιχεί σε 14 περιόδους του εναλλασσόμενου ρεύματος.

Στο χρόνο της μη αγώγιμης ημιπεριόδου ο πυκνωτής θα εκφορτισθεί ελάχιστα και σε ποσό που δίνεται από τις σχέσεις της παραγράφου 1.2. Στη συνέχεια, ο επόμενος παλμός θα τον ξαναφορτίσει κ.ο.κ.

Με αυτό τον τρόπο δεν διακόπτεται η ροή του ρεύματος μέσα από το φορτίο R_Φ και η τάση στις άκρες του έχει τη μορφή του σχήματος 3.5γ(β). Είναι δηλαδή μια τάση που μοιάζει περισσότερο με συνεχή, αλλά έχει ακόμα κυμάτωση που καθορίζεται από τη μέση τιμή της μέγιστης και ελάχιστης τάσεως στο φορτίο.

Η λυχνία κατά τις αγώγιμες ημιπεριόδους δίνει στενούς παλμούς μεγάλου ρεύματος που απορροφούνται από το φορτίο και τον πυκνωτή, για να αναπληρώσουν τα ηλεκτρικά του φορτία που έδωσε κατά την εκφόρτιση. Έτσι η λυχνία λειτουργεί όταν η τάση ανόδου της γίνει μεγαλύτερη από την τάση που θα έχει ο πυκνωτής και σε χρόνο πολύ μικρότερο της ημιπεριόδου, όπως φαίνεται και στο σχήμα 3.5γ(β) (διάρκεια από α ως β), δίνοντας ρεύμα $I = I_\Phi + I_C$.

Μπορούμε να πούμε ότι ο πυκνωτής λειτουργεί σαν μια δεξαμενή που γεμίζει κατά διαστήματα και αδειάζει με μια συνεχή περίπου ροή.

Όσο μεγαλύτερος γίνεται ο πυκνωτής τόσο καλύτερη εξομάλυνση επιτυγχάνεται και η κυμάτωση μειώνεται. Οι παλμοί του ρεύματος όμως στη λυχνία γίνονται στενότεροι και μεγαλύτεροι και αναγκάζουν τη λυχνία να λειτουργεί στον κόρο. Για προστασία της λυχνίας, ο κατασκευαστής δίνει και μια μέγιστη χωρητικότητα πυκνωτή, που δεν επιτρέπεται να την ξεπερνάμε.

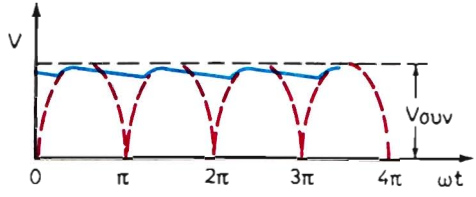
Στη διπλή ανόρθωση τα αποτελέσματα είναι πολύ καλύτερα με αύξηση της μέσης τιμής του συνεχούς ρεύματος και τάσεως και με μείωση της κυματώσεως σε ποσοστό που καθορίζεται από τη σχέση:

$$\gamma \cong \frac{1}{7\,FC\,R_{\Phi}} \cdot 100\% \qquad (3.16)$$

όπου F η συχνότητα των παλμών.

Επειδή ο πυκνωτής εκφορτίζεται λιγότερο κατά το νεκρό χρόνο, οι παλμοί του ρεύματος της λυχνίας γίνονται στενότεροι. Η μορφή της τάσεως V στις άκρες του φορτίου φαίνεται στο σχήμα 3.5δ, όπου η μέση τιμή της τάσεως $V_{συν}$ είναι η μέση τιμή της μέγιστης και ελάχιστης τιμής στις άκρες του φορτίου (και του πυκνωτή).

Για το παράδειγμά μας, αν η συχνότητα των παλμών F = 100 (2 × 50), η C = 20 μF και R_{Φ} = 2800 Ω, τότε η κυμάτωση έχει συντελεστή γ = 2% και για τα 300 V που είναι η μέγιστη τιμή, η κυμάτωση θα είναι 6 V (σχετικά μεγάλη).



Σχ. 3.5δ.
Επίδραση του πυκνωτή στο παλμόρρευμα διπλής ανορθώσεως.

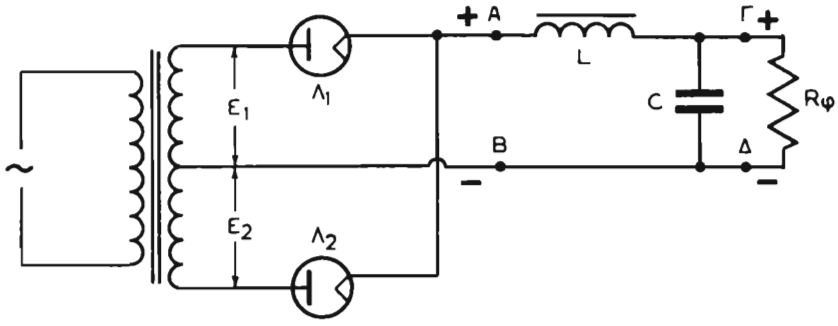
Σε όλη την παραπάνω ανάλυση είδαμε την επίδραση του πηνίου και του πυκνωτή στην εξομάλυνση του παλμορρεύματος. Για μια καλή εξομάλυνση με πηνίο σειράς απαιτείται μεγάλο L, που τελικά μειώνει τη μέση τιμή της συνεχούς τάσεως και του ρεύματος. Από το άλλο μέρος, ένας μεγάλης τιμής πυκνωτής βοηθεί στην καλή εξομάλυνση, αλλά θέτει σε κίνδυνο τη λυχνία με τους οξείς παλμούς ρεύματος. Με κατάλληλη ωστόσο σύνδεση των δύο αυτών στοιχείων, του L και C, τα οποία έχουν αντίθετη συμπεριφορά, μπορούμε να συγκροτήσομε φίλτρα για καλύτερα αποτελέσματα.

Τα φίλτρα διακρίνονται σε ***αυτεπαγωγικής εισόδου***, αν στην είσοδό τους υπάρχει το πηνίο και σε ***χωρητικής εισόδου,*** αν στην είσοδό τους έχουν πυκνωτή.

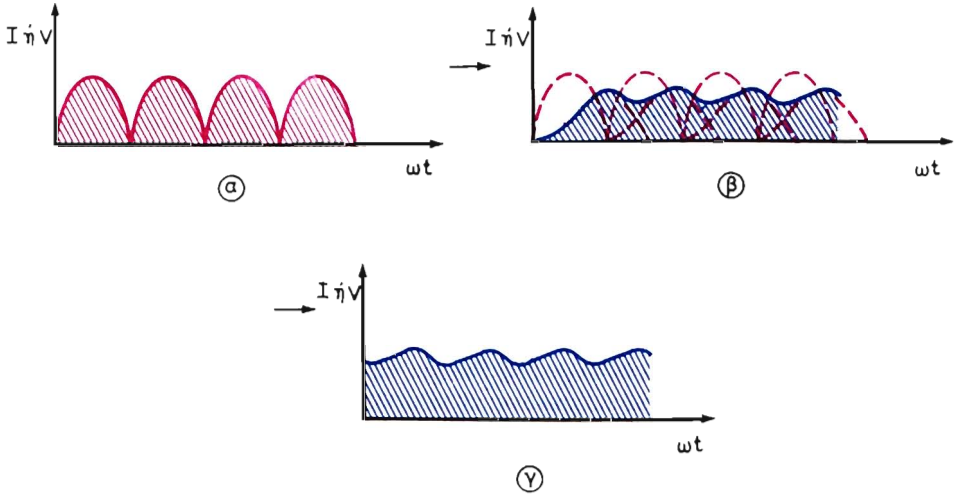
γ) Φίλτρο τύπου L.

Στο σχήμα 3.5ε έχομε κύκλωμα διπλής ανορθώσεως και φίλτρο τύπου «L» αυτεπαγωγικής εισόδου. Τα φίλτρα του τύπου αυτού χρησιμοποιούνται σε ανορθώτριες αερίου και γενικά σε τροφοδοτικά μέσης και μεγάλης ισχύος των πομπών, γιατί το πηνίο περιορίζει τους οξείς παλμούς ρεύματος που δημιουργούν οι πυκνωτές κατά τη φόρτισή τους.

Τα σημεία Α και Β είναι η έξοδος του ανορθωτικού και η είσοδος του φίλτρου εξομαλύνσεως, ενώ τα σημεία Γ και Δ είναι η έξοδος του φίλτρου και η είσοδος του φορτίου. Στην είσοδο του φίλτρου το ρεύμα (και η τάση) έχουν τη γνωστή μορφή του σχήματος 3.5στ(α). Με την επίδραση του πηνίου η κυματομορφή μεταβάλλεται [σχ. 3.5στ(β)] και το ρεύμα γίνεται πιο ομαλό, με μικρότερη κυμάτωση. Επίσης, η αυτεπαγωγή του πηνίου αντιδρά στα μεγάλα ρεύματα φορτίσεως του



Σχ. 3.5ε.
Φίλτρο τύπου L αυτεπαγωγικής εισόδου.



Σχ. 3.5στ.
Επίδραση του φίλτρου στο παλμόρρευμα.

πυκνωτή και έτσι οι παλμοί καθίστανται λιγότερο οξείς.

Το ρεύμα της μορφής (β) θα φορτίσει τον πυκνωτή στη μέγιστη τιμή αυτής της μεταβαλλόμενης τάσεως και η εκφόρτιση στο φορτίο θα δημιουργήσει μια μικρή κυμάτωση, η οποία για ρεύμα 50 c/s δίνεται από τη σχέση:

$$\gamma = \frac{1,2}{LC} \cdot 100\% \qquad (3.17)$$

όπου το L σε Henry και το C σε μF.

Αν π.χ. το L = 20 H και το C = 20 μF, τότε ο συντελεστής κυματώσεως είναι 0,3%, δηλαδή σχετικά μικρός.

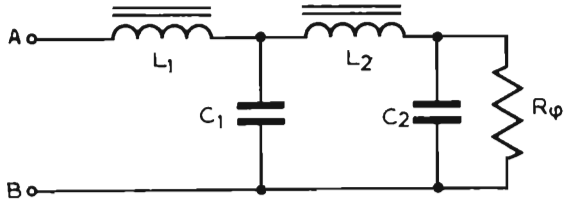
Η συνεχής τάση στις άκρες του φορτίου φθάνει το 0,6 περίπου της μέγιστης τιμής της προς ανόρθωση εναλλασσόμενης τάσεως E_0 και δίνεται από τη σχέση:

$$V_{συν} = \frac{2\,E_0 \cdot R_\Phi}{\pi\,(R_L + R_\Phi)} \qquad (3.18)$$

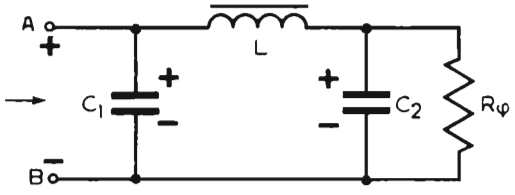
όπου R_Φ η αντίσταση του φορτίου και R_L η ωμική αντίσταση του πηνίου.

Για το παράδειγμά μας, αν η τάση του δευτερεύοντος του μετασχηματιστή (σχ. 3.5ε) είναι 2 × 300 V (μέγιστη τιμή) ή 2 × 212 V (ενεργός τιμή), η R_Φ είναι 2800 Ω και η R_L 200 Ω, τότε η συνεχής τάση στο φορτίο είναι περίπου 177 V με κυμάτωση 0,53 V, που είναι σχετικά μικρή.

Αν η κυμάτωση θεωρείται μεγάλη και δημιουργεί προβλήματα στον ενισχυτή, δηλαδή δημιουργεί βόμβο, τότε μπορεί να μειωθεί, αν προστεθεί ακόμη ένα φίλτρο τύπου L σε σειρά με το αρχικό, όπως φαίνεται στο σχήμα 3.5ζ.



Σχ. 3.5ζ.
Διπλό φίλτρο.



Σχ. 3.5η.
Φίλτρο τύπου Π χωρητικής εισόδου.

δ) Φίλτρο τύπου Π.

Μια άλλη μορφή φίλτρου που χρησιμοποιείται σε μικρής ισχύος τροφοδοτικά και κυρίως στα τροφοδοτικά των δεκτών και των ραδιοφώνων, είναι το φίλτρο τύπου Π χωρητικής εισόδου του σχήματος 3.5η. Ονομάζεται χωρητικής εισόδου, γιατί στην είσοδο του φίλτρου υπάρχει πυκνωτής (C_1). Η λειτουργία του φίλτρου αυτού είναι διαφορετική από του προηγούμενου τύπου L.

Ο πυκνωτής C_1 θα φορτίζεται στις αγώγιμες ημιπεριόδους σε μια μέγιστη τάση $V_1 = E_0 - I_\Phi \cdot \rho$ και όταν η τάση της πηγής (του μετασχηματιστή μέσω της λυχνίας) γίνεται μεγαλύτερη από την τάση του πυκνωτή. Το ρεύμα της φορτίσεως θα είναι σε οξείς παλμούς.

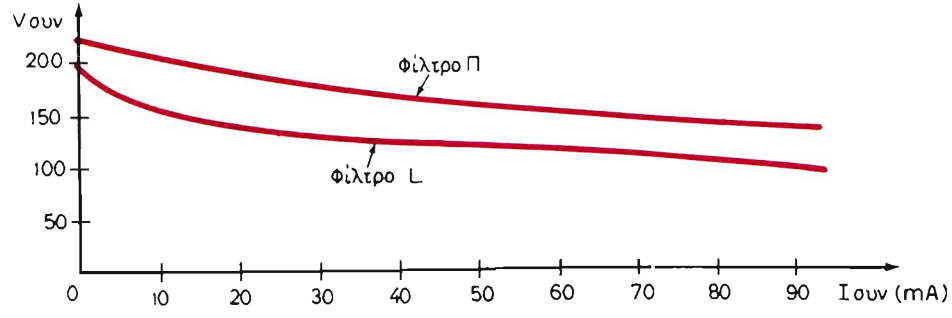
Στη συνέχεια, στους νεκρούς χρόνους (μεταξύ των ημιπεριόδων) ο πυκνωτής C_1 θα εκφορτίζεται μέσω του πηνίου L προς τον πυκνωτή C_2 και το φορτίο R_Φ. Το πηνίο αντιδρά στις μεταβολές του ρεύματος με αποτέλεσμα οι παλμοί φορτίσεως του C_2 να γίνονται μεγάλης διάρκειας και ο C_2 να φορτίζεται με σχεδόν συνεχές ρεύμα. Με τη σειρά του ο C_2 εκφορτίζεται στο φορτίο R_Φ, τροφοδοτώντας το με μια τάση που έχει ελάχιστη κυμάτωση.

Αυτό το φίλτρο δίνει κατά 30-40% μεγαλύτερη τάση από ό,τι το φίλτρο επαγωγικής εισόδου. Αυτή η τάση εξαρτάται από την τιμή του C_1 και αυξάνει με την αύξηση του C_1 πλησιάζοντας τη μέγιστη τιμή της Ε, αν το ρεύμα του φορτίου γίνει ελάχιστο. Δεν επιτρέπεται όμως να ξεπερνάμε τη μέγιστη επιτρεπόμενη χωρητικότητα της λυχνίας.

Αν και το φίλτρο Π δίνει μεγαλύτερη τάση από το L και πολύ μικρότερη κυμάτωση, δεν χρησιμοποιείται σε ανορθωτικά μεγάλης ισχύος, γιατί εμφανίζει τα μειονεκτήματα του πυκνωτή με τους οξείς παλμούς φορτίσεως.

Υπάρχουν φίλτρα τύπου Π, στα οποία το πηνίο L έχει αντικατασταθεί από έναν ωμικό αντιστάτη για μείωση του κόστους. Αυτό το φίλτρο έχει μικρότερη απόδοση, γιατί ο αντιστάτης προκαλεί πτώση τάσεως και στο συνεχές ρεύμα του φορτίου. Χρησιμοποιείται σε ορισμένα ραδιόφωνα και συσκευές μικρής ισχύος.

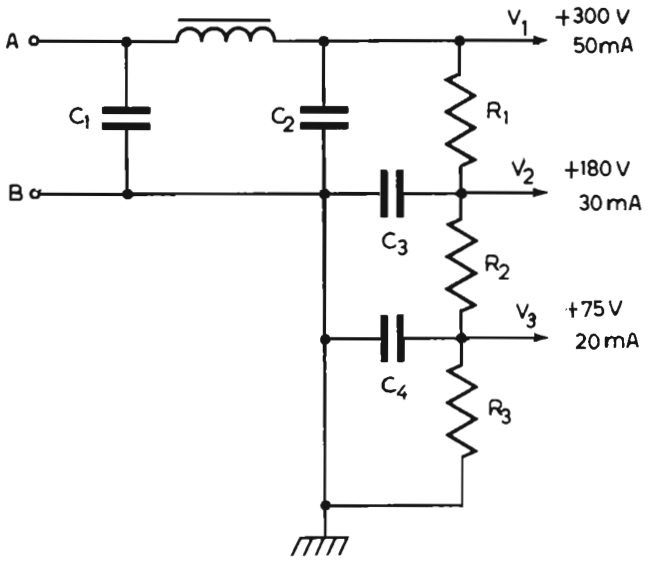
Στο σχήμα 3.5θ φαίνεται η μεταβολή της συνεχούς τάσεως $V_{συν}$ στις άκρες του φορτίου, για την αντίστοιχη μεταβολή του ρεύματος του φορτίου, για φίλτρο L επαγωγικής εισόδου και φίλτρο Π χωρητικής εισόδου. Το κύκλωμα της ανορθώσεως είναι όπως του σχήματος 3.3β με διπλοδίοδη λυχνία (6 Χ 4) με πυκνωτές $C_1 = C_2 = 16$ μF και πηνίο αυτεπαγωγής L = 18 Η και $R_L = 200$ Ω. Η τάση του δευτερεύοντος του μετασχηματιστή είναι 2 × 160 V (ενεργός τιμή). Από τις καμπύλες φαίνεται ότι το φίλτρο χωρητικής εισόδου παρέχει μεγαλύτερη τάση.



Σχ. 3.5θ.
Μεταβολή της τάσεως στο φορτίο για μεταβολή της εντάσεως.

Σε πολλά φίλτρα, παράλληλα με τον πυκνωτή, στην έξοδο του φίλτρου, τοποθετείται ένας αντιστάτης μεγάλης τιμής (100 - 200 kΩ) που λειτουργεί ως μικρό φορτίο. Αν για μια οποιαδήποτε αιτία διακοπεί το κυρίως φορτίο $R_φ$, τότε ο αντιστάτης αυτός λειτουργεί ως φορτίο και εκφορτίζει και τους πυκνωτές. Έτσι, στον έλεγχο για την αποκατάσταση της βλάβης, οι πυκνωτές εκφορτίζονται και δεν υπάρχει κίνδυνος ηλεκτροπληξίας. Ο αντιστάτης αυτός λέγεται ***αντιστάτης εκφορτίσεως*** (bleeder).

Στην έξοδο του φίλτρου παίρνομε μία καθορισμένη τάση. Σε πολλές ηλεκτρονικές συσκευές απαιτούνται τάσεις με διάφορες τιμές. Σ' αυτή την περίπτωση μπορεί να χρησιμοποιηθεί στην έξοδο του φίλτρου ένας διαιρέτης τάσεως κατάλληλα υπολογισμένος με τα ρεύματα των φορτίων και τις αντίστοιχες τάσεις V_1, V_2 και V_3 (σχ. 3.5ι). Οι πυκνωτές C_3 και C_4 παίζουν ρόλο πυκνωτή φίλτρου και αποζεύξεως. Οι αντιστάτες R_1, R_2 και R_3 αποτελούν το διαιρέτη τάσεως. Το σημείο της γης σ'



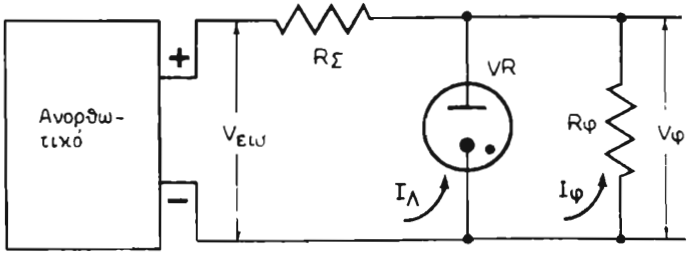
Σχ. 3.5ι.
Φίλτρο και διαιρέτης τάσεως.

αυτό, καθώς και σε πολλά άλλα κυκλώματα, αντιπροσωπεύει το κοινό σημείο, το «σασί» της ηλεκτρονικής συσκευής.

3.6 Σταθεροποίηση τάσεως.

Η συνεχής τάση στην έξοδο του φίλτρου μεταβάλλεται με τη μεταβολή της τάσεως του δικτύου. Σε πολλές ηλεκτρονικές βαθμίδες, για την καλή τους λειτουργία, απαιτείται σταθερή συνεχής τάση. Στις περιπτώσεις αυτές χρησιμοποιούνται τα κυκλώματα σταθεροποιήσεως τάσεως, τα οποία, για μικρά σχετικά ρεύματα, χρησιμοποιούν λυχνία ψυχρής καθόδου.

Στην παράγραφο 2.11 είχαμε δει τη λειτουργία και την καμπύλη τάσεως ανόδου - ρεύματος ανόδου (σχ. 2.11ε) της λυχνίας ψυχρής καθόδου. Στο σχήμα 3.6α φαίνεται το κύκλωμα μιας απλής σταθεροποιήσεως τάσεως με τέτοια λυχνία VR (voltage regulator). Στην έξοδο του φίλτρου εξομαλύνσεως συνδέεται η λυχνία VR σε σειρά με έναν αντιστάτη R_Σ κατάλληλης τιμής και ισχύος και παράλληλα με την



Σχ. 3.6α.
Σταθεροποίηση με VR.

VR συνδέεται το φορτίο R_ϕ. Η τιμή της R_Σ δίνεται από τη σχέση:

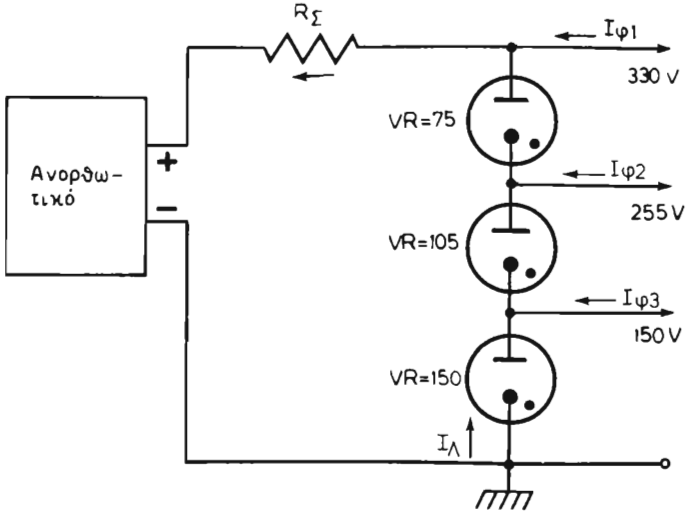
$$R_\Sigma = \frac{V_{\epsilon\iota\sigma} - V_{\lambda\upsilon\chi\nu.}}{I_{\Lambda\ \epsilon\lambda\acute{\alpha}\chi\iota\sigma\tau o} + I_{\phi\ \mu\acute{\epsilon}\gamma\iota\sigma\tau o}}$$

Για να μπορεί να λειτουργήσει το κύκλωμα, το ανορθωτικό πρέπει να δίνει μεγαλύτερη τάση από τη σταθεροποιημένη τάση εξόδου, π.χ. για σταθεροποιημένη τάση 150 V, πρέπει να δίνει περίπου 200 V (συνεχές). Η λυχνία μπορεί να είναι η VR-150 ή η 0A2, η τάση λειτουργίας της οποίας είναι 150 V και το ρεύμα 30 mA.

Η τιμή του R_Σ υπολογίζεται έτσι, ώστε να πραγματοποιεί μία πτώση τάσεως με το διερχόμενο ρεύμα της λυχνίας I_Λ και του φορτίου I_ϕ. Για το παράδειγμά μας, αν το ρεύμα του φορτίου είναι 30 mA και το μισό ρεύμα της λυχνίας 15 mA, τότε το ολικό ρεύμα θα είναι 45 mA. Ο αντιστάτης, για να πραγματοποιήσει πτώση τάσεως 50 V, πρέπει να είναι 1100 Ω (περίπου), ισχύος 2,5-4 Watt.

Με κανονική τάση, ο αντιστάτης πραγματοποιεί πτώση τάσεως 50 V και στο φορτίο έχομε 150 V. Αν αυξηθεί η τάση του δικτύου, θα αυξηθεί και η συνεχής τάση και έστω ότι γίνεται 205 V. Θα πρέπει να αυξηθεί και στις άκρες της λυχνίας, αλλά από την καμπύλη του σχήματος 2.11ε φαίνεται ότι, ελάχιστη αύξηση της τάσεως ανόδου, έχει ως αποτέλεσμα τη μεγάλη αύξηση του ρεύματος της λυχνίας. Όταν αυξηθεί το ρεύμα της λυχνίας I_Λ αυξάνει η πτώση τάσεως στον R_Σ και γίνεται 55 V (όταν το I_Λ γίνει 20 mA). Έτσι, η τάση στη λυχνία και στο φορτίο παραμένει πρακτικά σταθερή 150 V.

Όταν μειωθεί η τάση του δικτύου, θα μειωθεί και η συνεχής τάση και έστω ότι γίνεται 195 V. Θα πρέπει τότε να μειωθεί και στις άκρες της λυχνίας. Όταν όμως μειώνεται το ρεύμα της λυχνίας, μειώνεται συγχρόνως και η πτώση τάσεως στον R_Σ και γίνεται 45 V, με αποτέλεσμα η τάση στη λυχνία και στο φορτίο να είναι 150 V, δηλαδή σταθερή.



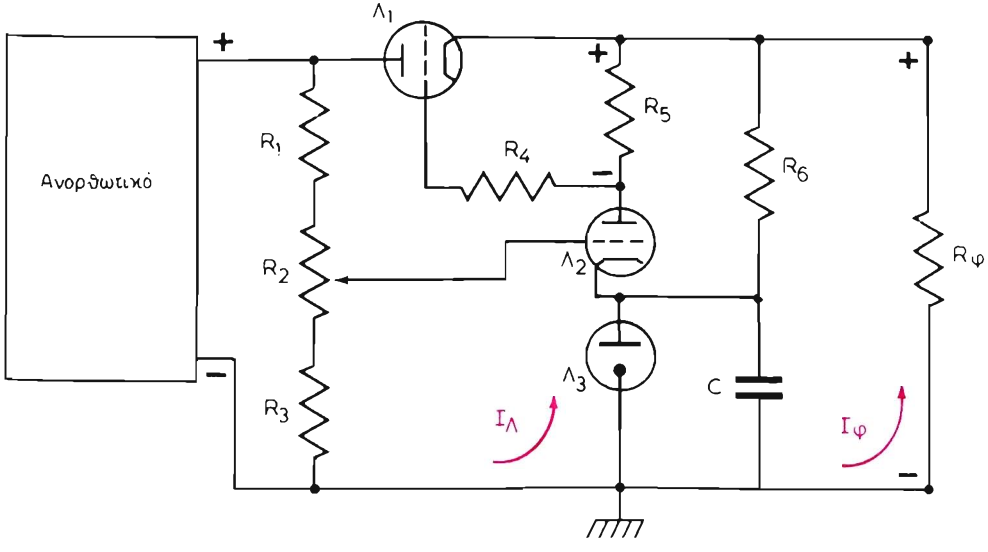
Σχ. 3.6β.
Σταθεροποίηση μεγάλης τάσεως και διαφόρων τάσεων.

Για σταθεροποίηση μεγαλύτερης τάσεως χρησιμοποιούνται δύο και περισσότερες λυχνίες, αντίστοιχης τάσεως, σε σύνδεση σειράς. Για σταθεροποίηση 300 V π.χ. χρησιμοποιούνται δύο λυχνίες VR-150 ή 0A2 σε σύνδεση σειράς. Με τη σύνδεση σειράς μπορούμε να πάρομε σταθεροποιημένες τάσεις διαφόρων τιμών, όπως φαίνεται και στο κύκλωμα του σχήματος 3.6β. Η λειτουργία του κυκλώματος είναι ίδια με αυτήν της μιας λυχνίας. Με τη σταθεροποίηση περιορίζεται και η ελάχιστη κυμάτωση που θα υπάρχει στην τάση στο φορτίο.

3.7 Ηλεκτρονική σταθεροποίηση τάσεως.

Με την προηγούμενη μέθοδο σταθεροποιήσεως η τάση καθορίζεται από τη λυχνία VR και δεν μπορεί να ρυθμίζεται πάνω ή κάτω από αυτήν. Το ρεύμα του φορτίου είναι περιορισμένο και δεν μπορεί να γίνει πολύ μεγάλο. Οι περιορισμοί αυτοί μπορούν να ξεπερασθούν με την ηλεκτρονική σταθεροποίηση τάσεως, με την οποία επιτυγχάνεται και καλύτερη σταθεροποίηση. Στο σχήμα 3.7 φαίνεται ένα τέτοιο απλό κύκλωμα.

Η λυχνία Λ_1 είναι ισχύος, παίζει το ρόλο μεταβλητού αντιστάτη, είναι σε σειρά στο ρεύμα του φορτίου I_Φ και θα δημιουργήσει την απαραίτητη πτώση τάσεως. Η λυχνία Λ_2 είναι ενισχύτρια τάσεως και ρυθμίζει την αντίσταση (ή την αγωγιμότητα) της Λ_1. Η Λ_3 είναι λυχνία ψυχρής καθόδου (VR), η οποία καθορίζει μία σταθερή τάση αναφοράς στην κάθοδο της Λ_2, απαραίτητη για τη λειτουργία της διατάξεως. Οι αντιστάτες R_1, R_2 και R_3 αποτελούν διαιρέτη τάσεως, ο οποίος καθορίζει την πόλωση της Λ_2. Κάθε μεταβολή του δρομέα του R_2 προκαλεί μεταβολή της πολώσεως της Λ_2 και στη σταθεροποιημένη τάση εξόδου. Ο R_4 είναι αντιστάτης πλέγματος της Λ_1 και ο R_5 αντιστάτης ανόδου της Λ_2. Ο R_6 υποβοηθεί στο ρεύμα της Λ_3, το μεγαλύτερο μέρος της οποίας περνά από τις Λ_2 και Λ_1. Παρακάτω περιγράφεται η λειτουργία του κυκλώματος.



Σχ. 3.7.
Ηλεκτρονική σταθεροποίηση τάσεως.

Η Λ_3 π.χ. είναι η VR-75 και καθορίζει τάση καθόδου στην Λ_2 + 75 V ως προς το κοινό μείον. Με το R_2 ρυθμίζομε τάση πλέγματος +70 V προς το κοινό. Το πλέγμα επομένως είναι 5 V αρνητικότερο από την κάθοδο και 5 V είναι η πόλωση της λυχνίας. Το ρεύμα της λυχνίας περνά από τον R_5 και την Λ_1 φθάνοντας στο θετικό του ανορθωτικού. Περνώντας από την R_5 δημιουργεί μία πτώση τάσεως με πολικότητα όπως στο σχήμα (+ επάνω και — κάτω). Αυτή η τάση είναι η πόλωση της Λ_1, με το συν στην κάθοδο και το μείον στο πλέγμα, η οποία εφαρμόζεται με τον αντιστάτη R_4.

Όσο μεγαλύτερη γίνεται αυτή η πτώση τάσεως στην R_5 τόσο μεγαλύτερη γίνεται η πόλωση της λυχνίας Λ_1, με αποτέλεσμα να μειώνεται η αγωγιμότητά της και να αυξάνει η αντίστασή της. Η αύξηση ή η μείωση της αντιστάσεως της Λ_1 αυξάνει η μειώνει την πτώση τάσεως στις άκρες της, με αντίστοιχη επίδραση στην τάση στο φορτίο R_Φ. Η μεταβολές αυτές γίνονται με την αλλαγή της θέσεως του δρομέα του R_2.

Αν η τάση εξόδου του ανορθωτικού είναι 300 V και η σταθεροποιημένη τάση στο φορτίο 230 V, τότε η Λ_1 σαν αντιστάτης πρέπει να πραγματοποιήσει πτώση τάσεως 70 V. Η τάση στο φορτίο και η πτώση τάσεως στην Λ_1 ρυθμίζεται με τον R_2 ο οποίος ρυθμίζει την πόλωση της Λ_2 και αυτή με τη σειρά της την αντίσταση της Λ_1.

Αν αυξηθεί η τάση του δικτύου, θα αυξηθεί και η συνεχής τάση στην έξοδο του ανορθωτικού και έστω ότι γίνεται π.χ. 310 V. Θα αυξηθεί επομένως και στο διαιρέτη τάσεως R_1, R_2, R_3 και το πλέγμα της Λ_2 θα γίνει θετικότερο. Θα αυξηθεί το ρεύμα της Λ_2 και από αυτό η πτώση τάσεως στον R_5. Με την αύξηση της πτώσεως τάσεως αυξάνει η πόλωση της Λ_1 και το πλέγμα της γίνεται αρνητικότερο, με αποτέλεσμα να αυξηθεί η αντίστασή της. Έτσι, η πτώση τάσεως σ' αυτήν αυξάνει και από 70 V γίνεται 80, με αποτέλεσμα η τάση στο φορτίο να είναι πάλι 230 V, δηλαδή σταθερή.

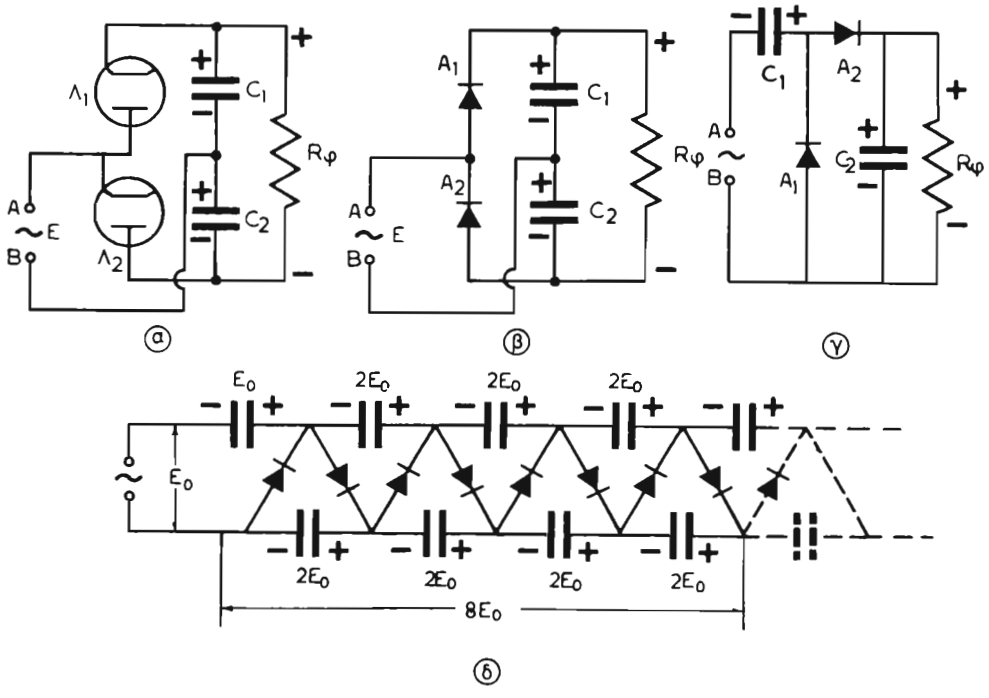
Αντίθετα, αν η τάση του δικτύου μειωθεί, θα μειωθεί και η συνεχής τάση, το πλέγμα της Λ_2 θα γίνει λιγότερο θετικό και θα μειωθεί η αγωγιμότητά της. Θα μειωθεί η πτώση τάσεως στην R_5 και από αυτήν η πόλωση της Λ_1, με αποτέλεσμα η αντίστασή της να μειωθεί, η πτώση τάσεως στην Λ_1 να μειωθεί επίσης και έτσι η τάση στο φορτίο να παραμείνει πάλι 230 V, δηλαδή σταθερή.

Και με την ηλεκτρονική σταθεροποίηση περιορίζεται η κυμάτωση που θα υπάρχει στο συνεχές ρεύμα. Σε άλλη μορφή κυκλώματος, ο διαιρέτης τάσεως R_1, R_2, R_3 μπορεί να είναι στην έξοδο του σταθεροποιητή, δηλαδή παράλληλα στο φορτίο. Η λειτουργία του παραμένει ίδια. Ο πυκνωτής C τοποθετείται για να περιορίζει το θόρυβο που μπορεί να προκαλέσει η VR στον ενισχυτή κατά τη λειτουργία της.

3.8 Διπλασιασμός — Πολλαπλασιασμός τάσεως.

Σε πολλές ηλεκτρικές συσκευές, όπως RADAR, τηλεοράσεις, παλμογράφους κλπ. χρησιμοποιούνται κυκλώματα διπλασιασμού ή πολλαπλασιασμού της τάσεως. Ένα κύκλωμα που πραγματοποιεί ανόρθωση και συγχρόνως διπλασιασμό τάσεως είναι αυτό του σχήματος 3.8(α), το οποίο έχει δύο ανορθώτριες λυχνίες και δύο πυκνωτές μεγάλης τιμής.

Στη μια ημιπερίοδο, όταν το Α είναι θετικό και το Β αρνητικό, η Λ_1 έχει θετικό



Σχ. 3.8.
Κυκλώματα πολλαπλασιασμού τάσεως.

στην άνοδο και είναι σε αγωγιμότητα, ενώ η Λ_2 έχει θετικό στην κάθοδο και είναι σε αποκοπή. Έτσι ο πυκνωτής C_1 φορτίζεται με την πολικότητα του σχήματος, γιατί παίρνει το μείον από την πηγή Ε.Ρ. και το συν μέσω της λυχνίας Λ_1. Η τάση με την οποία μπορεί να φορτισθεί ο C_1, είναι ίση με τη μέγιστη τιμή της εναλλασσόμενης τάσεως, όταν η αντίσταση του φορτίου έχει πολύ μεγάλη τιμή.

Στην άλλη ημιπερίοδο, όταν το Α γίνει αρνητικό και το Β θετικό, η Λ_1 βρίσκεται σε αποκοπή, γιατί παίρνει αρνητικό στην άνοδο, ενώ η Λ_2 είναι σε αγωγιμότητα, γιατί παίρνει αρνητικό στην κάθοδο. Έτσι ο C_2 φορτίζεται τώρα με την πολικότητα του σχήματος, γιατί παίρνει το συν από την πηγή και το μείον μέσω της Λ_2, από την οποία περνά ρεύμα. Η τάση και του C_2 θα είναι ίση με την τάση του C_1.

Επειδή οι δύο πυκνωτές συνδέονται σε σειρά και είναι φορτισμένοι με την πολικότητα του σχήματος, η τάση στις άκρες τους θα προστίθεται και τότε θα έχομε $E_{o\lambda} = E_{c_1} + E_{c_2}$. Αν η πηγή Ε.Ρ. είναι 220 V (ενεργός τιμή), η τάση εξόδου θα είναι περίπου 450-500 V. Αν η R_Φ έχει πολύ μεγάλη τιμή, τότε η τάση εξόδου μπορεί να γίνει $2\,E_0$ ή $2\sqrt{2}\,E$, δηλαδή να φθάσει τά 620 V (όπου Ε = ενεργός τιμή).

Το κύκλωμα του σχήματος 3.8(β) είναι ίδιο με το (α) μόνο που οι λυχνίες έχουν αντικατασταθεί με ανορθωτές (συνήθως ανορθωτές πυριτίου) και η λειτουργία του επίσης είναι ίδια με του κυκλώματος (α). Το κύκλωμα του σχήματος 3.8(γ) είναι παραλλαγή του (β) και η λειτουργία του διαφέρει.

Στη μια ημιπερίοδο, όταν το Α είναι αρνητικό και το Β θετικό, ο ανορθωτής A_1 είναι σε αγωγιμότητα και ο C_1 φορτίζεται στην τάση Ε της πηγής Ε.Ρ., με την πολι-

κότητα του κυκλώματος του (γ). Στην άλλη ημιπερίοδο το Α γίνεται θετικό και το Β αρνητικό. Ο ανορθωτής A_1 είναι σε αποκοπή, γιατί παίρνει μείον στην άνοδο. Ο πυκνωτής C_1 είναι φορτισμένος και η τάση του προστίθεται σε σειρά με την πηγή που έχει + στο Α. Αυτές οι δύο τάσεις φορτίζουν τον C_2 μέσω του ανορθωτή A_2, που είναι σε αγωγιμότητα, στη διπλάσια τάση από την τάση της πηγής. Έτσι γίνεται πάλι διπλασιασμός της τάσεως του Ε.Ρ. στις άκρες του φορτίου. Ο C_1 φορτίζεται σε τάση Ε, ενώ ο C_2 σε τάση 2Ε, και, αν η αντίσταση του φορτίου είναι πολύ μεγάλη, τότε $E_{C_2} = 2\sqrt{2}E$.

Το κύκλωμα του σχήματος 3.8(δ) είναι το κύκλωμα καταρράκτη που μπορεί να δώσει πολύ μεγάλες τάσεις. Η ένταση ρεύματος που μπορεί να δώσει είναι λίγα μικροαμπέρ. Η λειτουργία του στηρίζεται στις διαδοχικές φορτίσεις και εκφορτίσεις των πυκνωτών δια των ανορθωτών και μπορούμε να συνδέσομε μεγάλο αριθμό στοιχείων (πυκνωτών και ανορθωτών). Στο κύκλωμα φαίνονται τα σημεία εφαρμογής της εναλλασσόμενης τάσεως και τα σημεία που παίρνομε τη συνεχή μεγάλη τάση.

3.9 Μεταλλάκτες συνεχούς ρεύματος.

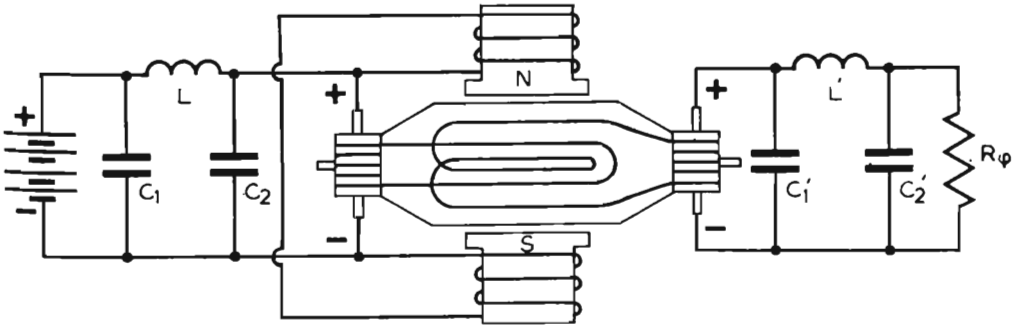
Οι ***μεταλλάκτες*** (converters) είναι διατάξεις που μετασχηματίζουν το συνεχές ρεύμα. Έχομε μεταλλάκτες που μετατρέπουν συνεχές ρεύμα χαμηλής τάσεως σε συνεχές υψηλής τάσεως, π.χ. την ισχύ της μπαταρίας των 12 V σε αντίστοιχη ισχύ τάσεως 500 V ή και περισσότερο. Επίσης, άλλης μορφής μεταλλάκτες μετατρέπουν το συνεχές σε εναλλασσόμενο ρεύμα και χρησιμοποιούνται σε συσκευές, πομπούς, δέκτες κλπ., που πρέπει να τροφοδοτηθούν από μπαταρίες, όπως είναι οι φορητοί πομποί και δέκτες ή οι ανάγκης (emergency). Υπάρχουν οι ***στρεφόμενοι,*** οι ***δονούμενοι*** και οι ***ηλεκτρονικοί μεταλλάκτες.***

Ο στρεφόμενος μεταλλάκτης αποτελεί διάταξη που είναι συγχρόνως κινητήρας και γεννήτρια. Μέσα στις αυλακώσεις του επαγώγιμου υπάρχει το τύλιγμα του κινητήρα με σχετικά μικρό αριθμό σπειρών και πάνω από αυτό, σε ηλεκτρική μόνωση, υπάρχει το τύλιγμα της γεννήτριας με μεγάλο αριθμό σπειρών και λεπτότερο σύρμα. Ο επαγωγέας τροφοδοτείται παράλληλα από τη μπαταρία. Στις δύο κατά μήκος άκρες του επαγώγιμου υπάρχουν οι συλλέκτες με τομείς, ο ένας για την είσοδο του ρεύματος διεγέρσεως και ο άλλος για την έξοδο της μεγάλης τάσεως (υψηλής τάσεως, Υ.Τ.).

Στο σχήμα 3.9α φαίνεται το κύκλωμα ενός στρεφόμενου μεταλλάκτη. Στο αριστερό μέρος φαίνεται το κύκλωμα του κινητήρα που τροφοδοτείται από μια μπαταρία μέσω ενός φίλτρου, για τον περιορισμό των παρασίτων που δημιουργεί ο συλλέκτης και οι ψήκτρες. Η διέγερση του επαγώγιμου τροφοδοτείται παράλληλα με τη διέγερση του επαγωγέα.

Στο δεξιό μέρος του επαγώγιμου είναι η έξοδος της Υ.Τ. η οποία, μέσω ενός φίλτρου εξομαλύνσεως, τροφοδοτεί το φορτίο. Το μαγνητικό πεδίο που δημιουργεί ο επαγωγέας αξιοποιείται συγχρόνως και από τον κινητήρα και από τη γεννήτρια.

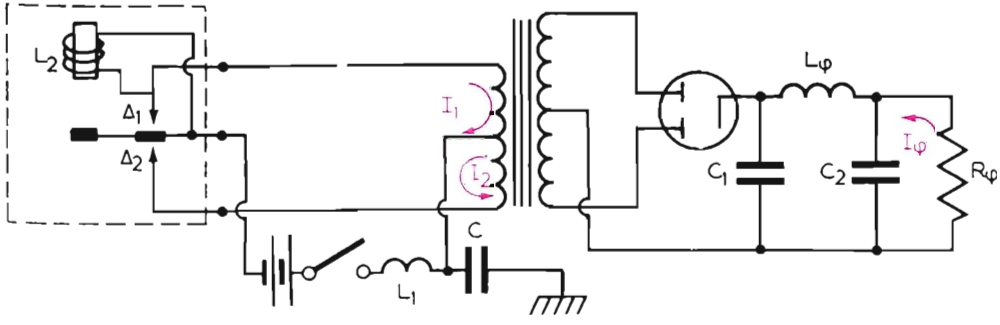
Στην παραπάνω διάταξη μπορεί να υπάρχουν στο επαγώγιμο τρία ανεξάρτητα τυλίγματα, ένα για την κίνηση και δύο για την έξοδο, με δύο ανεξάρτητους συλλέκτες στην έξοδο. Έτσι, μπορεί στην έξοδο να έχομε μια τάση 150 V, μια δεύτερη ανεξάρτητη 350 V και συγχρόνως το άθροισμά τους 500 V. Οι τάσεις αυτές χρησι-



Σχ. 3.9α.
Στρεφόμενος μεταλλάκτης.

μοποιούνται στις διάφορες βαθμίδες του πομπού ή του δέκτη που τροφοδοτεί ο μεταλλάκτης.

Μια άλλη διάταξη μετατροπής είναι ο μηχανικός δονητής (vibrator), που μετατρέπει το συνεχές ρεύμα σε διακοπτόμενο ή διακοπτόμενο εναλλασσόμενο. Στη συνέχεια με ένα μετασχηματιστή παίρνει την κατάλληλη τάση, ανορθώνεται, εξομαλύνεται και τροφοδοτεί το φορτίο. Ένα πλήρες κύκλωμα μεταλλάκτη με δονητή φαίνεται στο σχήμα 3.9β. Ο επαφές Δ_1 και Δ_2 είναι από σκληρό μέταλλο, για να αντέχουν στους σπινθήρες και το μεγάλο ρεύμα του πρωτεύοντος.



Σχ. 3.9β.
Κύκλωμα μεταλλάκτη με ασύγχρονο δονητή και ανορθώτρια.

Η λειτουργία του στηρίζεται στο άνοιγμα και κλείσιμο των επαφών Δ_1 και Δ_2, η λειτουργία των οποίων εξασφαλίζεται με τον ηλεκτρομαγνήτη L_2 και με τον οπλισμό που υπάρχει στο κινούμενο έλασμα. Το πρωτεύον διαρρέεται από διακοπτόμενο ρεύμα που εναλλάσσει πολικότητα με τη βοήθεια των επαφών. Στο δευτερεύον αναπτύσσεται η επιθυμητή τάση καί στη συνέχεια ανορθώνεται και εξομαλύνεται.

Οι μεταλλάκτες που χρησιμοποιούνται σε σύγχρονες κατασκευές είναι ηλεκτρονικοί και στη θέση των διακοπτών έχουν τρανζίστορς. Αυτούς τους μεταλλάκτες θα τους μελετήσομε στο δέκατο κεφάλαιο.

3.10 Τροφοδοτικά ισχύος.

Σε πομπούς άνω των 500 W και γενικά σε ηλεκτρονικές συσκευές αντίστοιχης ισχύος, χρησιμοποιούνται τα τροφοδοτικά μέσης ισχύος. Ο μετασχηματιστής τροφοδοτήσεως είναι πιο ογκώδης, για να δώσει την απαραίτητη ισχύ. Η προς ανόρθωση τάση είναι της τάξεως των 2-5 kV περίπου με ένταση ρεύματος άνω των 200 mA.

Σ' αυτές τις ισχείς οι ανορθωτές είναι δίοδες λυχνίες αερίου, συνήθως ατμών υδραργύρου ή ξένου. Στις σύγχρονες κατασκευές χρησιμοποιούνται ανορθωτές πυριτίου αντίστοιχης τάσεως και ισχύος. Οι λυχνίες δεν είναι διπλοδίοδες αλλά χωριστές δίοδες, όπως και οι ανορθωτές πυριτίου.

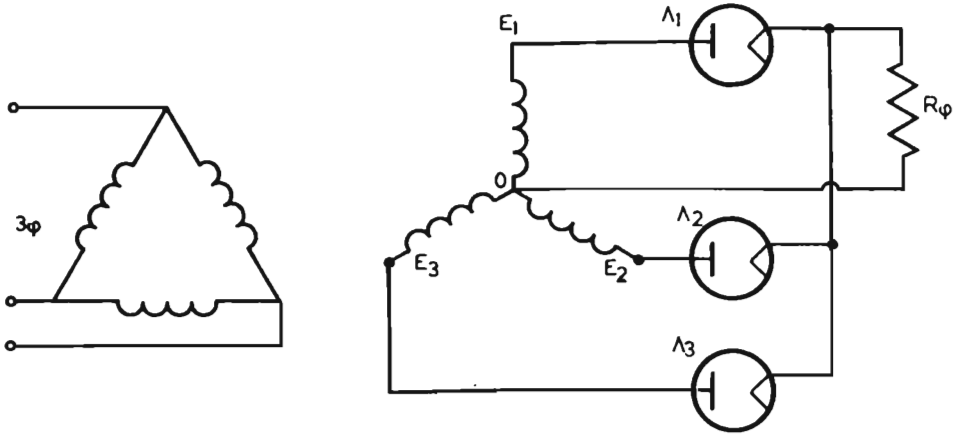
Οι λυχνίες αερίου παρουσιάζουν την απότομη αγωγιμότητα με τον ιονισμό του αερίου σε μια τάση περίπου 10 V, με αποτέλεσμα η εσωτερική τους αντίσταση να είναι μέχρι τον ιονισμό πολύ μεγάλη (500-1000 Ω) και μετά να γίνεται πολύ μικρή (10-20 Ω περίπου). Για το λόγο αυτό ανήκουν στη δεύτερη κατηγορία ανορθωτών.

Η λειτουργία της απλής και της διπλής ανορθώσεως είναι περίπου ίδια με αυτή των λυχνιών κενού, μόνο που η εσωτερική αντίσταση ρ είναι πολύ μικρή. Έτσι οι λυχνίες αερίου παρουσιάζουν καλύτερη απόδοση από τις λυχνίες κενού στις μεγάλες ισχείς.

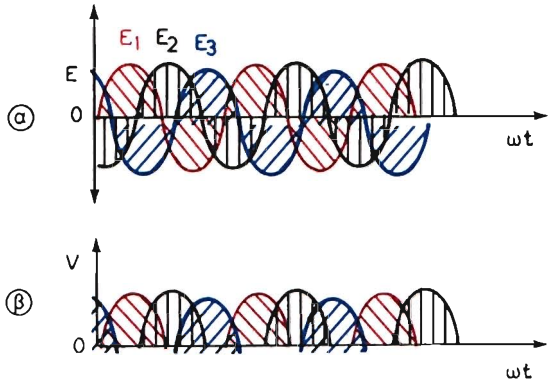
Τα φίλτρα εξομαλύνσεως είναι πάντοτε τύπου L αυτεπαγωγικής εισόδου και οι πυκνωτές είναι χάρτου ή ελαίου, με τιμή 4-8 μF συνήθως. Για καλύτερη εξομάλυνση χρησιμοποιούνται περισσότερα φίλτρα L σε σύνδεση σειράς, όπως στο σχήμα 3.5ζ (παράγρ. 3.5).

Στα ανορθωτικά με λυχνίες αερίου, για να μη καταστρέφονται οι κάθοδοι, προηγείται η τροφοδότηση της τάσεως των νημάτων, για να θερμανθούν οι λυχνίες και μετά από 0,5 ως 2 λεπτά, με ειδικό ηλεκτρονόμο καθυστερήσεως (time delay relay), πραγματοποιείται η τροφοδότηση των ανόδων με την υψηλή τάση.

Σε ανορθωτικά μεγάλης σχετικά ισχύος που προορίζονται για πομπούς μεγάλης ισχύος και τροφοδοτούνται από τριφασικό ρεύμα δικτύου, μπορεί να εφαρμοσθεί



Σχ. 3.10α.
Τριφασική απλή ανόρθωση.



Σχ. 3.10β.
Κυματομορφές εισόδου και εξόδου.

τριφασική ή πολυφασική ανόρθωση η οποία τροφοδοτείται από μετασχηματιστή τρίγωνο-αστέρα (σχ. 3.10α). Στο σχήμα 3.10β φαίνεται στο (α) το τριφασικό ρεύμα και στο (β) το ανορθωμένο παλμόρρευμα.

Η μέση τιμή του παλμορρεύματος είναι μεγαλύτερη από αυτή της διπλής ανορθώσεως και φθάνει: $I_{συν} \cong 0,83\ I_0$, η μεση τιμή της τάσεως γίνεται $V_{συν} \cong 0,83\ V_0$. Η κυμάτωση περιορίζεται πολύ και ο βαθμός αποδόσεως αυξάνει. Τά φίλτρα είναι τύπου L αυτεπαγωγική εισόδου με καλύτερη απόδοση, γιατί η συχνότητα του παλμορρεύματος είναι τριπλάσια από αυτή της απλής ανορθώσεως.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΤΕΤΑΡΤΟ

ΕΝΙΣΧΥΣΗ – ΕΝΙΣΧΥΤΕΣ

4.1 Γενικά.

Στις ηλεκτρονικές συσκευές τον κύριο ρόλο παίζει η ενίσχυση. Με την ενίσχυση, μια μικρή τάση ή ισχύς γίνεται πολύ μεγαλύτερη. Αυτό επιτυγχάνεται με κατάλληλα κυκλώματα που λέγονται ενισχυτές. Στους ενισχυτές το βασικό στοιχείο είναι η λυχνία ή η κρυσταλλολυχνία (tranzistor), η οποία με την κατάλληλη σύνδεση αντιστατών, πυκνωτών και πηνίων, συνθέτει την ενισχυτική βαθμίδα. Στη σύγχρονη τεχνολογία οι διάφορες βαθμίδες κατασκευάζονται σε μικροκυκλώματα, τα ***ολοκληρωμένα κυκλώματα.***

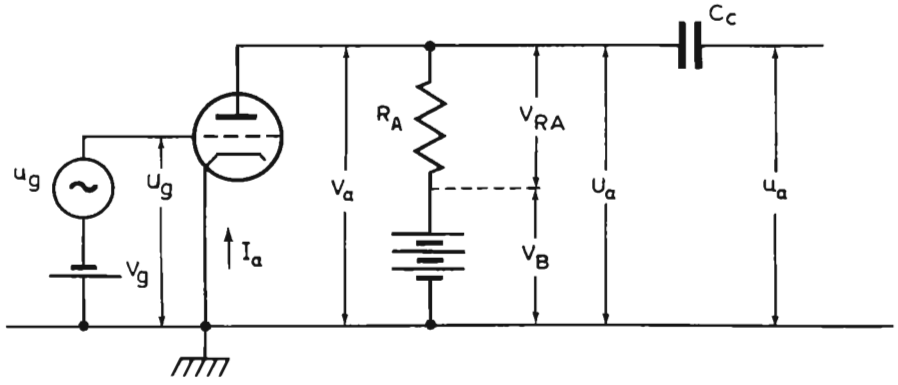
Η μικρή τάση ή ισχύς που εφαρμόζεται στην είσοδο του ενισχυτή λέγεται ***σήμα εισόδου*** ή ***διέγερση του ενισχυτή.*** Αυτή μπορεί να είναι η τάση που δίνει ένα μικρόφωνο ή η κεφαλή ενός πικ-απ ή μια κεραία ραδιοφώνου. Η μεγαλύτερη τάση ή ισχύς που παίρνομε από την έξοδο του ενισχυτή λέγεται ***τάση*** η ***ισχύς εξόδου του ενισχυτή.*** Κατά τη λειτουργία του, ο ενισχυτής μετατρέπει ένα μέρος από την ισχύ της πηγής συνεχούς τάσεως τροφοδοτήσεως, στην ενισχυμένη τάση ή ισχύ εξόδου.

Παρακάτω θα μελετηθούν οι διάφοροι τύποι των ενισχυτών με λυχνίες, ενώ οι ενισχυτές με κρυσταλλολυχνίες θα μελετηθούν στο δέκατο κεφάλαιο.

4.2 Γραφική ανάλυση της ενισχύσεως.

Για να προχωρήσομε στην ανάλυση της ενισχύσεως, καλό είναι να καθορίσομε τα διάφορα μεγέθη που θα χρησιμοποιούμε και αντιστοιχούν στο σχήμα 4.2α, όπου:

V_B η τάση τροφοδοσίας ανόδου, από πηγή συνεχούς τάσεως,
$V_a = V_B - V_{RA}$ η συνεχής τάση ανόδου σε ηρεμία,
U_a η συνεχής μεταβαλλόμενη τάση ανόδου στη λειτουργία (Σ.Ρ. + Ε.Ρ.),
u_a η ενισχυμένη τάση εξόδου, εναλλασσόμενη τάση,
I_o το συνεχές ρεύμα ανόδου σε ηρεμία,
I το συνεχές - μεταβαλλόμενο ρεύμα ανόδου στη λειτουργία (Σ.Ρ. + Ε.Ρ.),
i_a η εναλλασσόμενη συνιστώσα του ρεύματος ανόδου στη λειτουργία,
V_g η πόλωση της λυχνίας, συνεχής τάση,
U_g η συνεχής-μεταβαλλόμενη τάση πλέγματος - καθόδου στη λειτουργία,
u_g το σήμα εισόδου, εναλλασσόμενη τάση,
R_A η αντίσταση φόρτου.



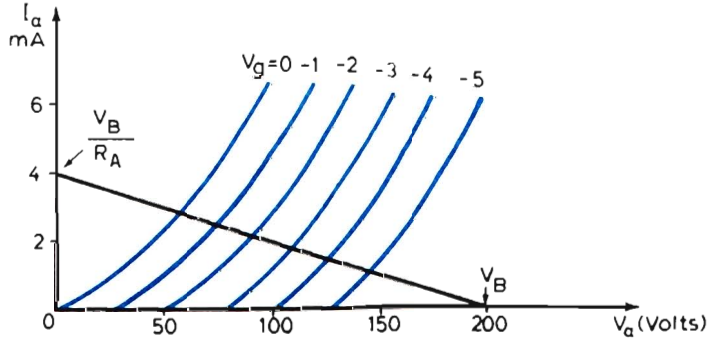
Σχ. 4.2α.
Κύκλωμα για την αρχή της ενισχύσεως.

Η πόλωση, η τάση τροφοδοσίας ανόδου και η αντίσταση φόρτου, καθορίζονται συνήθως από τον κατασκευαστή της λυχνίας και εκλέγονται έτσι ώστε η λειτουργία της λυχνίας να είναι η άριστη, με τη μεγαλύτερη δυνατή ενίσχυση, την ελάχιστη παραμόρφωση και τη μικρότερη απώλεια ισχύος.

Για τη γραφική ανάλυση της ενισχύσεως πρέπει να χαραχθεί η ευθεία φόρτου στις στατικές χαρακτηριστικές ανόδου V_a/I_a της λυχνίας που έχει αντιστοιχία με τη δυναμική χαρακτηριστική στις καμπύλες πλέγματος V_g/I_a. Η ευθεία φόρτου εκφράζει τη σχέση που υπάρχει μεταξύ τάσεως ανόδου και ρεύματος ανόδου για μια συγκεκριμένη αντίσταση φόρτου R_A. Επάνω σ' αυτή την ευθεία αναπτύσσεται γραφικά το σήμα εισόδου και δίνει το αντίστοιχο ρεύμα ανόδου και τάση ανόδου.

Για τη χάραξη της ευθείας φόρτου στις χαρακτηριστικές ανόδου V_a/I_a (σχ. 4.2β) ορίζεται πρώτα η τιμή της R_A και στη συνέχεια κάνομε δύο παραδοχές: α) για πλήρη αγωγιμότητα και β) για πλήρη αποκοπή της λυχνίας. Δεχόμαστε ότι η λυχνία έχει τόσο θετικό δυναμικό στο πλέγμα, ώστε η εσωτερική της αντίσταση να είναι περίπου μηδέν. Τότε η τάση ανόδου-καθόδου είναι περίπου μηδέν και το ρεύμα ανόδου μέγιστο και ίσο με V_B/R_A και αν $R_A = 50\ k\Omega$, τότε το I_a είναι:

$$I_a = \frac{V_B}{R_A} = \frac{200\ V}{50\ k\Omega} = 4\ mA$$



Σχ. 4.2β.
Η ευθεία φόρτου στις καμπύλες ανόδου.

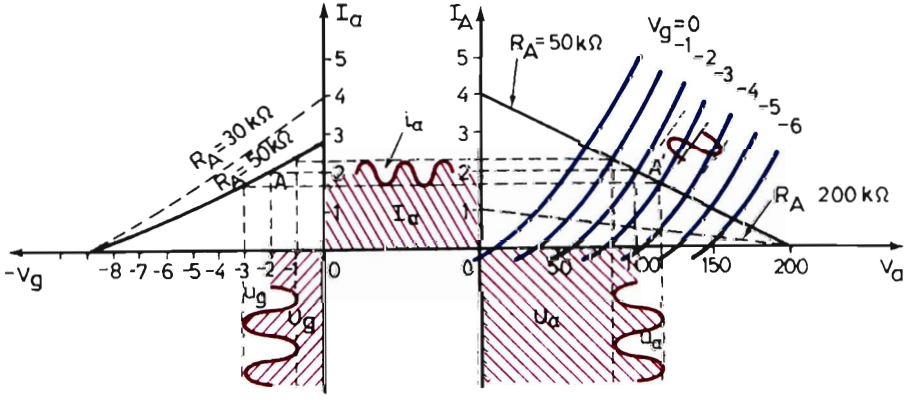
Δηλαδή για τάση ανόδου μηδέν βολτ και ρεύμα ανόδου 4 mA βρίσκεται το ένα σημείο στον άξονα του I_a. Στη δεύτερη παραδοχή το πλέγμα έχει τόσο αρνητικό δυναμικό ώστε η λυχνία βρίσκεται σε αποκοπή. Το I_a είναι τότε μηδέν και η τάση ανόδου V_a ίση με την τάση της πηγής $V_a = V_B = 200$ V, γιατί στην R_A δεν πραγματοποιείται πτώση τάσεως. Βρίσκεται έτσι το δεύτερο σημείο, που θα είναι στον άξονα του V_a για $V_a = 200$ V και $I_a = 0$ (σχ. 4.2β). Αν ενώσομε τα δύο σημεία, έχομε την ευθεία φόρτου που αντιστοιχεί σε μία καθορισμένη τιμή της R_A ίσης με 50 kΩ.

Στη συνέχεια, ορίζεται το σημείο λειτουργίας του ενισχυτή που είναι το σημείο τομής της ευθείας φόρτου και της καμπύλης της αντίστοιχης πολώσεως πλέγματος, ίσης με − 2 V (σημείο Α΄ στις χαρακτηριστικές ανόδου) (σχ. 4.2γ) ή το σημείο τομής της δυναμικής χαρακτηριστικής για 50 kΩ και της αντίστοιχης τάσεως πλέγματος −2 V στις χαρακτηριστικές πλέγματος (σημείο Α). Το σημείο λειτουργίας καθορίζει την τάση ανόδου $V_a = 100$ V και το αντίστοιχο ρεύμα ανόδου της λυχνίας $I_0 = 2$ mA που λέγεται ***ρεύμα ηρεμίας.*** Αυτό το ρεύμα είναι σταθερό, όταν στην είσοδο της λυχνίας δεν υπάρχει σήμα.

Αν υποθέσομε ότι σε σειρά με την πηγή πολώσεως πλέγματος −2 V υπάρχει και μία μικρή πηγή εναλλασσόμενου ρεύματος 1 V (μέγιστη τιμή), τότε η τάση πλέγματος θα μεταβάλλεται από −1 V ως −3 V, προς την κάθοδο, γιατί θα είναι:

θετική ημιπερίοδος (+1) + (−2) = −1 V

αρνητική ημιπερίοδος (−1) + (−2) = −3 V



Σχ. 4.2γ.
Γραφική κατασκευή για την εξήγηση της ενισχύσεως.

Στη δυναμική χαρακτηριστική του σχήματος 4.2γ παρατηρούμε ότι, για τη μεταβολή αυτή στο πλέγμα, το ρεύμα ανόδου μεταβάλλεται από 1,7 ως 2,3 mA, δηλαδή μικρότερο και μεγαλύτερο από το ρεύμα ηρεμίας. Μεταφέροντας τη μεταβολή του ρεύματος στις αντίστοιχες καμπύλες ανόδου και στην κλίση της ευθείας φόρτου παρατηρούμε και αντίστοιχη μεταβολή της τάσεως ανόδου από 85 ως 115 V. Αυτό συμβαίνει, γιατί όταν μεταβάλλεται το ρεύμα I_a μεταβάλλεται και η πτώση τάσεως στην R_A. Όταν το ρεύμα αυξάνει, αυξάνει και η πτώση τάσεως με αποτέλεσμα η τάση ανόδου V_a να γίνεται μικρότερη. Όταν, αντίθετα, το ρεύμα μειώνεται, μειώνεται και η πτώση τάσεως και η τάση ανόδου γίνεται μεγαλύτερη, γιατί

$$V_a = V_B - I_a \cdot R_A$$

Η μεταβολή αυτή φαίνεται καλύτερα στον παρακάτω πίνακα.

α) για $V_g = -2$ V → το $I_a = 2$ mA → η $I_a R_A = 100$ V και η $V_A = +100$ V

β) για $V_g + u_g = -2 + 1 = -1$ V → το $I_a = 2{,}3$ mA → η $I_a R_A = 115$ V και η $V_a = +85$ V

γ) για $V_g - u_g = -2 - 1 = -3$ V → το $I_a = 1{,}7$ mA → η $I_a R_A = 85$ V και η $V_a = +115$ V

Παρατηρούμε ότι, για μεταβολή της τάσεως του πλέγματος από −1 ως −3 V, δηλαδή 2 V μεταβολή, η τάση ανόδου μεταβάλλεται από + 115 V ως +85 V, δηλαδή μεταβολή 30 V. Αυτή είναι η ***ενίσχυση.*** Η μικρή μεταβολή της τάσεως εισόδου γίνεται μεγάλη μεταβολή της τάσεως στην έξοδο.

Παρατηρούμε ακόμη ότι, όταν το πλέγμα από −2 V γίνεται −3, δηλαδή αρνητικότερο, η άνοδος από +100 V γίνεται +115, δηλαδή θετικότερη. Επίσης, όταν το πλέγμα από −2 V γίνεται −1, δηλαδή λιγότερο αρνητικό (θετικότερο), η άνοδος από +100 V γίνεται +85, δηλαδή λιγότερο θετική (αρνητικότερη). Είναι δηλαδή φανερό ότι υπάρχει διαφορά φάσεως 180° μεταξύ της μεταβολής στην τάση πλέγματος και της μεταβολής στην τάση ανόδου. Το ρεύμα όμως της λυχνίας I_a είναι συμφασικό με τις μεταβολές της τάσεως πλέγματος, γιατί με την αύξηση προς τα θετικά, της τάσεως πλέγματος, το ρεύμα της λυχνίας αυξάνει.

Στην παραπάνω ανάλυση μπορεί να δοθεί και μία φυσική εξήγηση. Η λυχνία με την πόλωση −2 V παρουσιάζει μία αντίσταση ρ περίπου 50 kΩ, η οποία είναι σε σειρά με την R_A στην πηγή V_B (σχ. 4.2α) και καθορίζουν το I_0. Όταν το πλέγμα γίνεται αρνητικότερο, η αντίσταση της λυχνίας γίνεται μεγαλύτερη (67,5 kΩ) (ενώ η R_A είναι σταθερή), με αποτέλεσμα το ρεύμα I_0 ή I_a να γίνεται μικρότερο. Η πτώση τάσεως στην R_A μικραίνει και η τάση ανόδου V_a μεγαλώνει. Αντίθετα τώρα, όταν το πλέγμα γίνει θετικότερο η αντίσταση της λυχνίας γίνεται μικρότερη (37 kΩ). Το I_a αυξάνει, αυξάνει η πτώση τάσεως στην R_A και η τάση ανόδου V_a μικραίνει. Δηλαδή όλη η εργασία της ενισχύσεως στηρίζεται στη μεταβολή της εσωτερικής αντιστάσεως της λυχνίας, της μεταβολής του ανοδικού ρεύματος και της μεταβολής στην πτώση τάσεως στην R_A, με την επίδραση της τάσεως του πλέγματος. Αν δεν υπήρχε η R_A θα γινόταν μεταβολή του I_a αλλά δεν θα είχαμε μεταβολή στην τάση ανόδου V_a. Η R_A δηλαδή παίζει βασικό ρόλο στην ενίσχυση.

Η ενίσχυση Α που πραγματοποιεί μία ενισχυτική βαθμίδα δίνεται από το λόγο της μεταβαλλόμενης τάσεως εξόδου U_A προς τη μεταβαλλόμενη τάση εισόδου U_g ή από το λόγο των εναλλασσομένων τάσεων εξόδου και εισόδου και εξαρτάται από τα στοιχεία του ενισχυτή, όπως θα δούμε στη συνέχεια. Η ενίσχυση Α λέγεται και ***απολαβή του ενισχυτή*** και είναι:

$$\text{Απολαβή ή ενίσχυση } A = \frac{u_a}{u_g} \qquad (4.1)$$

Έτσι, ένα σήμα εισόδου u_g στην έξοδο του ενισχυτή γίνεται $A \cdot u_g = u_a$ και, αν π.χ. το σήμα εισόδου είναι 3 mV και η ενίσχυση που πραγματοποιεί ο ενισχυτής $A = 50$, τότε η τάση εξόδου του είναι 50×3 mV $= 150$ mV.

Πριν προχωρήσομε στην εξήγηση της λειτουργίας των διαφόρων τύπων ενισχυτών, καλό είναι να αναφέρομε μερικά στοιχεία που ενδιαφέρουν την ενίσχυση και τους ενισχυτές.

4.3 Ισοδύναμο κύκλωμα του ενισχυτή.

Στο δεύτερο κεφάλαιο, εξετάζοντες τις λυχνίες, είχαμε δει ότι το ρεύμα ανόδου I_a μιας τρίοδης λυχνίας είναι συνάρτηση της τάσεως ανόδου και της τάσεως πλέγματος:

$$I_a = \Sigma (V_a , V_g)$$

και δίνεται από τη σχέση του Langmuir

$$I_a = K \left(V_g + \frac{V_a}{\mu} \right)^{3/2} \tag{4.2}$$

Οι μεταβολές του ρεύματος γύρω από το σημείο λειτουργίας, για μεταβολές της τάσεως πλέγματος και τάσεως ανόδου, δίνονται από τη σχέση η οποία, μετά από μερικούς μετασχηματισμούς, γίνεται:

$$\Delta I_a = G_m . \Delta U_g + \frac{1}{\rho} \Delta U_a \tag{4.3}$$

και, επειδή οι μεταβολές γίνονται γύρω από τις τιμές ηρεμίας, έχομε:

$$\begin{aligned} \Delta I_a &= I_a - I_o = i_a \\ \Delta U_g &= U_g - V_g = u_g \\ \Delta U_a &= U_a - V_B = u_a \end{aligned} \tag{4.4}$$

Αντικαθιστώντας στην εξίσωση (4.3), έχομε:

$$i_a = G_m u_g + \frac{1}{\rho} u_a \tag{4.5}$$

και, επειδή $G_m . \rho = \mu$ η (4.5) μετασχηματίζεται τελικά στην:

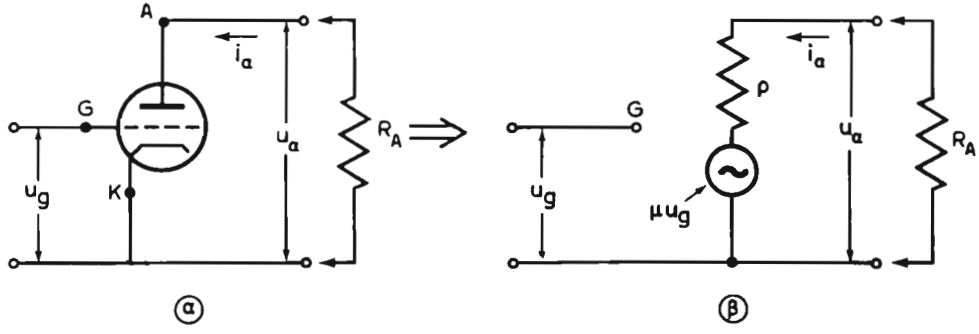
$$u_a = - \mu u_g + i_a . \rho \tag{4.6}$$

Η εξίσωση (4.6) δείχνει ότι η ενισχυμένη τάση εξόδου u_a περιέχει δύο βασικά στοιχεία. Το ένα είναι μία ΗΕΔ μ φορές μεγαλύτερη από το σήμα εισόδου και το άλλο η διαφορά δυναμικού που δημιουργείται στις άκρες της αντιστάσεως ρ της λυχνίας, με το διερχόμενο ρεύμα i_a.

Αυτή η εξίσωση μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να σχεδιάσομε ένα ισοδύναμο κύκλωμα του ενισχυτή, στο οποίο η λυχνία έχει αντικατασταθεί με πηγή σταθερής τάσεως $\mu . u_g$ και με την αντίσταση ρ σε σειρά (σχ. 4.3α). Η λυχνία αντιπροσωπεύεται με την εσωτερική της αντίσταση ρ και το συντελεστή ενισχύσεως μ.

Αν στο ισοδύναμο κύκλωμα προσθέσομε και την αντίσταση φόρτου R_A, έχομε:

$$A = \frac{u_a}{u_g} = \frac{R_A . i_a}{u_g} \tag{4.7}$$



Σχ. 4.3α.
Ισοδύναμο κύκλωμα ενισχυτή κατά Theyenin.

Αλλά, επειδή

$$i_a = \frac{-\mu u_g}{\rho + R_A} \quad [\sigma\chi.\ 4.3\alpha(\beta)] \tag{4.8}$$

έχομε τελικά

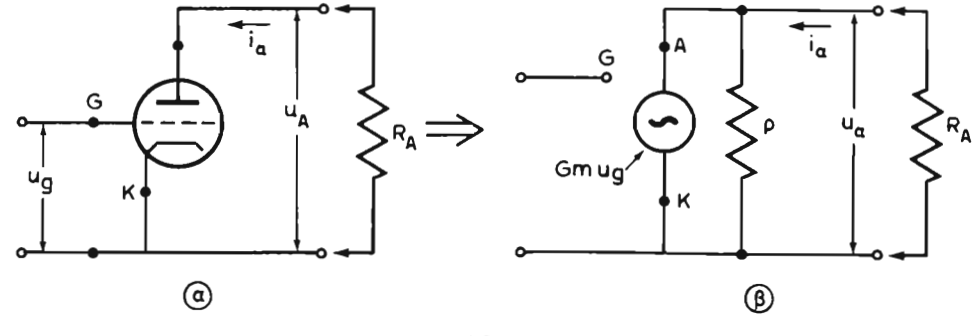
$$A = \frac{-\mu R_A}{\rho + R_A} \tag{4.9}$$

Δηλαδή η ενίσχυση A εξαρτάται από την αντίσταση φόρτου R_A και από τους συντελεστές της λυχνίας μ και ρ.

Το ισοδύναμο κύκλωμα του σχήματος 4.3α (β) λέγεται ***ισοδύναμο κατά Thevenin*** κύκλωμα του ενισχυτή με πηγή σταθερής τάσεως $\mu.u_g$.

Από την εξίσωση (4.5) μπορεί να εξαχθεί το ***ισοδύναμο κατά Norton*** κύκλωμα του ενισχυτή, όπου το κύκλωμα εξόδου αντικαθίσταται από πηγή σταθερού ρεύματος $G_m \cdot u_g$, η οποία παράλληλα έχει και την εσωτερική αντίσταση ρ της λυχνίας (σχ. 4.3β). Έτσι, η λυχνία αντιπροσωπεύεται από την εσωτερική της αντίσταση ρ και από το συντελεστή διαγωγιμότητας G_m.

Τα παραπάνω δύο ισοδύναμα κυκλώματα αξιοποιούνται στις αναλύσεις λειτουργίας και στους υπολογισμούς των ενισχυτικών βαθμίδων στις διάφορες συχνότητες λειτουργίας τους, σύμφωνα με τους γνωστούς νόμους της ηλεκτροτεχνίας.



Σχ. 4.3β.
Ισοδύναμο κύκλωμα ενισχυτή κατά Norton.

4.3 Ισοδύναμο κύκλωμα του ενισχυτή.

Στο δεύτερο κεφάλαιο, εξετάζοντες τις λυχνίες, είχαμε δει ότι το ρεύμα ανόδου I_a μιας τρίοδης λυχνίας είναι συνάρτηση της τάσεως ανόδου και της τάσεως πλέγματος:

$$I_a = \Sigma (V_a , V_g)$$

και δίνεται από τη σχέση του Langmuir

$$I_a = K \left(V_g + \frac{V_a}{\mu} \right)^{3/2} \tag{4.2}$$

Οι μεταβολές του ρεύματος γύρω από το σημείο λειτουργίας, για μεταβολές της τάσεως πλέγματος και τάσεως ανόδου, δίνονται από τη σχέση η οποία, μετά από μερικούς μετασχηματισμούς, γίνεται:

$$\Delta I_a = G_m \cdot \Delta U_g + \frac{1}{\rho} \Delta U_a \tag{4.3}$$

και, επειδή οι μεταβολές γίνονται γύρω από τις τιμές ηρεμίας, έχομε:

$$\begin{aligned} \Delta I_a &= I_a - I_o = i_a \\ \Delta U_g &= U_g - V_g = u_g \\ \Delta U_a &= U_a - V_B = u_a \end{aligned} \tag{4.4}$$

Αντικαθιστώντας στην εξίσωση (4.3), έχομε:

$$i_a = G_m u_g + \frac{1}{\rho} u_a \tag{4.5}$$

και, επειδή $G_m \cdot \rho = \mu$ η (4.5) μετασχηματίζεται τελικά στην:

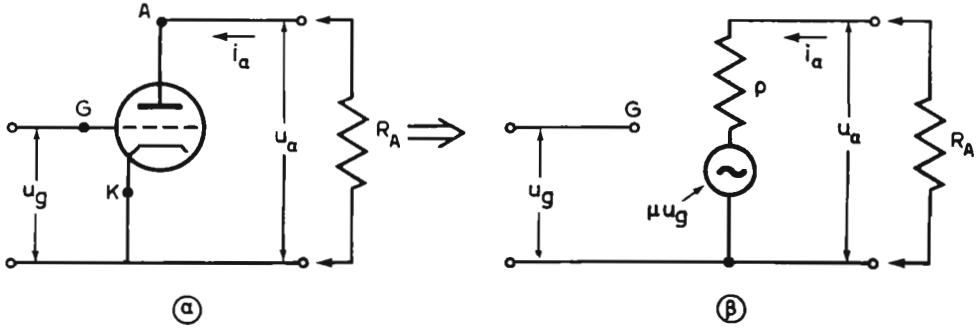
$$u_a = - \mu u_g + i_a \cdot \rho \tag{4.6}$$

Η εξίσωση (4.6) δείχνει ότι η ενισχυμένη τάση εξόδου u_a περιέχει δύο βασικά στοιχεία. Το ένα είναι μία ΗΕΔ μ φορές μεγαλύτερη από το σήμα εισόδου και το άλλο η διαφορά δυναμικού που δημιουργείται στις άκρες της αντιστάσεως ρ της λυχνίας, με το διερχόμενο ρεύμα i_a.

Αυτή η εξίσωση μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να σχεδιάσομε ένα ισοδύναμο κύκλωμα του ενισχυτή, στο οποίο η λυχνία έχει αντικατασταθεί με πηγή σταθερής τάσεως $\mu . u_g$ και με την αντίσταση ρ σε σειρά (σχ. 4.3α). Η λυχνία αντιπροσωπεύεται με την εσωτερική της αντίσταση ρ και το συντελεστή ενισχύσεως μ.

Αν στο ισοδύναμο κύκλωμα προσθέσομε και την αντίσταση φόρτου R_A, έχομε:

$$A = \frac{u_a}{u_g} = \frac{R_A \cdot i_a}{u_g} \tag{4.7}$$



Σχ. 4.3α.
Ισοδύναμο κύκλωμα ενισχυτή κατά Theyenin.

Αλλά, επειδή

$$i_a = \frac{-\mu u_g}{\rho + R_A} \quad [\sigma\chi.\ 4.3\alpha(\beta)] \tag{4.8}$$

έχομε τελικά

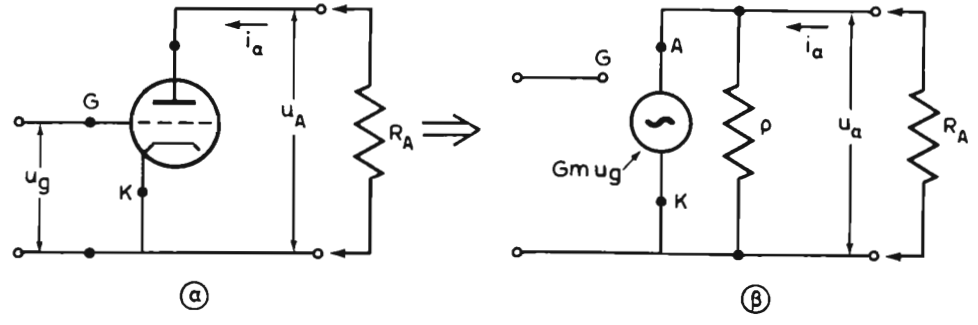
$$A = \frac{-\mu R_A}{\rho + R_A} \tag{4.9}$$

Δηλαδή η ενίσχυση A εξαρτάται από την αντίσταση φόρτου R_A και από τους συντελεστές της λυχνίας μ και ρ.

Το ισοδύναμο κύκλωμα του σχήματος 4.3α (β) λέγεται ***ισοδύναμο κατά Thevenin*** κύκλωμα του ενισχυτή με πηγή σταθερής τάσεως $\mu.u_g$.

Από την εξίσωση (4.5) μπορεί να εξαχθεί το ***ισοδύναμο κατά Norton*** κύκλωμα του ενισχυτή, όπου το κύκλωμα εξόδου αντικαθίσταται από πηγή σταθερού ρεύματος $G_m \cdot u_g$, η οποία παράλληλα έχει και την εσωτερική αντίσταση ρ της λυχνίας (σχ. 4.3β). Έτσι, η λυχνία αντιπροσωπεύεται από την εσωτερική της αντίσταση ρ και από το συντελεστή διαγωγιμότητας G_m.

Τα παραπάνω δύο ισοδύναμα κυκλώματα αξιοποιούνται στις αναλύσεις λειτουργίας και στους υπολογισμούς των ενισχυτικών βαθμίδων στις διάφορες συχνότητες λειτουργίας τους, σύμφωνα με τους γνωστούς νόμους της ηλεκτροτεχνίας.



Σχ. 4.3β.
Ισοδύναμο κύκλωμα ενισχυτή κατά Norton.

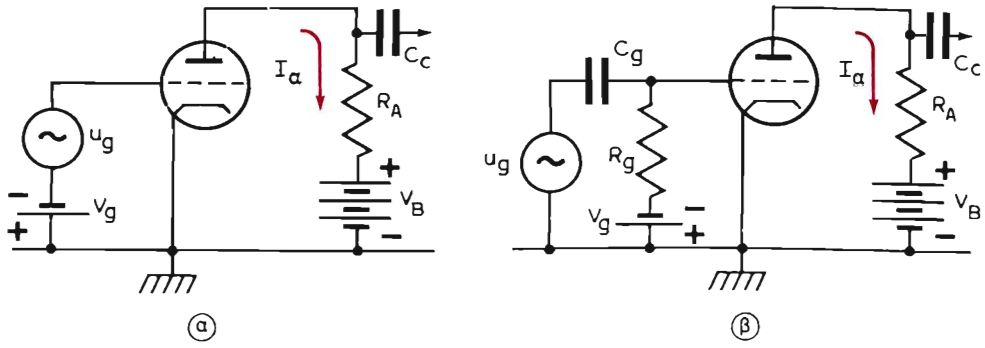
4.4 Πόλωση και αυτοπόλωση στους ενισχυτές.

Πόλωση είναι η συνεχής διαφορά δυναμικού που υπάρχει μεταξύ οδηγού πλέγματος και καθόδου στις ενισχύτριες λυχνίες, συνήθως με μείον στο πλέγμα και συν στην κάθοδο. Με την πόλωση καθορίζεται το σημείο λειτουργίας του ενισχυτή, η ελάχιστη δυνατή παραμόρφωση με τη μέγιστη ενίσχυση και οι ελάχιστες απώλειες με τη μεγαλύτερη δυνατή απόδοση.

Η πόλωση μπορεί να εφαρμοσθεί με τους παρακάτω τρόπους:

α) Πόλωση με πηγή συνεχούς.

Στο σχήμα 4.4α (α) μια ανεξάρτητη πηγή, από την πηγή ανόδου, με τάση ίση με την απαιτούμενη τάση πολώσεως V_g, πολύ μικρής ισχύος, μπαίνει σε σειρά με την πηγή του σήματος u_g. Στο σχήμα 4.4α (β) η πηγή V_g ξεχωρίζει από την u_g, με τον πυκνωτή C_g. Το σήμα εισόδου περνώντας τον πυκνωτή, επειδή είναι εναλλασσόμενο, διεγείρει το πλέγμα χωρίς να επηρεάζεται από το συνεχές δυναμικό της V_g, γιατί το συνεχές διακόπτεται από τον πυκνωτή. Η πηγή της πολώσεως μέσω του R_g δίνει στο πλέγμα το απαιτούμενο αρνητικό δυναμικό ως προς το κοινό και την κάθοδο. Στον R_g δεν δημιουργείται πτώση τάσεως, αφού δεν περνά από αυτόν ρεύμα, επειδή το πλέγμα, ως αρνητικό, δεν έλκει ηλεκτρόνια. Έτσι, με ένα βολτόμετρο συνεχούς θα μετρήσομε τη διαφορά δυναμικού που υπάρχει μεταξύ πλέγματος και καθόδου με μείον στο πλέγμα και συν στην κάθοδο.

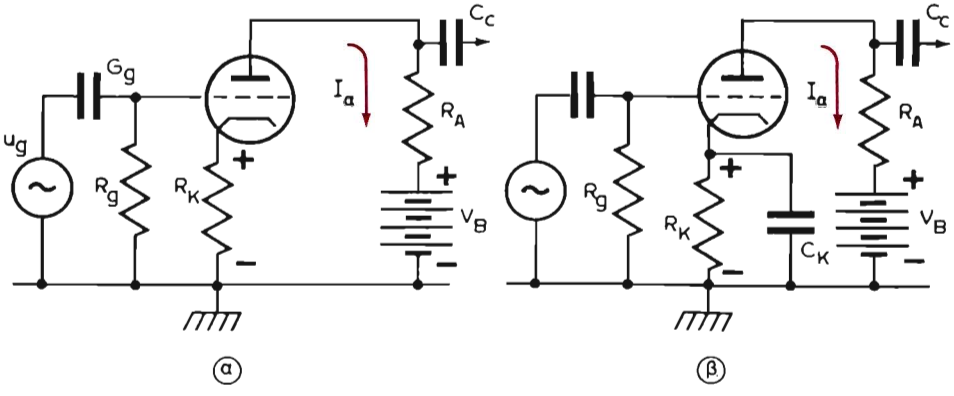


Σχ. 4.4α.
Πόλωση πλέγματος με πηγή DC.

β) Αυτοπόλωση από την κάθοδο.

Με αυτή τη μέθοδο, εκμεταλλευόμαστε το ρεύμα της λυχνίας $I_α$ για να δημιουργήσομε την πόλωση. Τοποθετώντας έναν αντιστάτη κατάλληλης τιμής μεταξύ καθόδου και κοινού, δημιουργούμε μία πτώση τάσεως που είναι ίση με το δυναμικό της πολώσεως. Στο σχήμα 4.4β (α) τοποθετείται ο R_K μεταξύ κοινού και καθόδου. Το ρεύμα της λυχνίας ξεκινά από το μείον της πηγής V_B, περνά από το κοινό (σασί), φθάνει στην κάτω άκρη του αντιστάτη R_K, από αυτόν στην κάθοδο, από εκεί στην άνοδο και από την R_A φθάνει στο συν της V_B.

Στις άκρες του R_K δημιουργείται μια πτώση τάσεως $V = I_α \cdot R_K$, με το συν στην άνω άκρη και το μείον στην κάτω, όπως στο σχήμα. Επειδή ο R_g συνδέεται στο κοινό είναι σαν να συνδέεται στην αρνητική άκρη του R_K δίνοντας έτσι μείον στο



Σχ. 4.4β.
Αυτοπόλωση της λυχνίας με αντιστάτη καθόδου.

πλέγμα, ενώ το συν είναι στην κάθοδο. Με αυτό τον τρόπο σχηματίζεται μία διαφορά δυναμικού μεταξύ πλέγματος και καθόδου, την οποία μπορούμε να μετρήσομε με ένα βολτόμετρο συνεχούς. Αυτή η διαφορά δυναμικού είναι η πόλωση της λυχνίας.

Αν η πόλωση πρέπει να είναι π.χ. 5 V και το ρεύμα ηρεμίας της λυχνίας είναι $I_o = 1$ mA, τότε υπολογίζομε την τιμή του R_K από το νόμο του Ohm:

$$R_K = \frac{V_g}{I_o} = \frac{5\ V}{1\ mA} = 5\ k\Omega$$

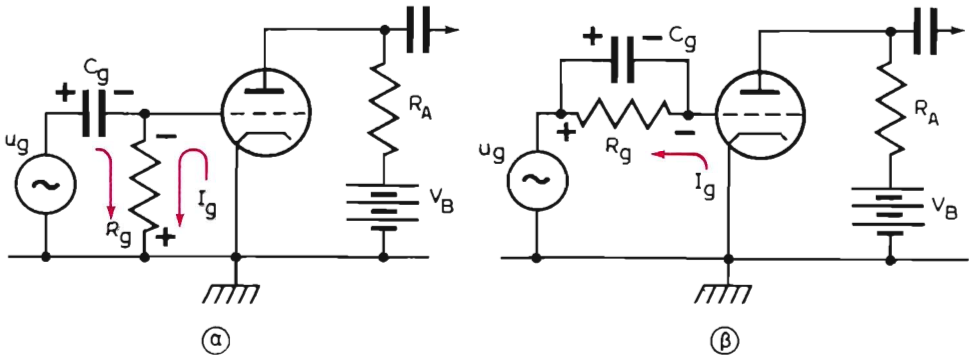
Υπενθυμίζεται πάλι ότι στον R_g δεν συμβαίνει πτώση τάσεως, γιατί δεν διαρρέεται από ρεύμα, σ' αυτή την περίπτωση, επειδή το πλέγμα είναι αρνητικό.

Με την εφαρμογή της u_g, το ρεύμα της λυχνίας I_a αρχίζει να αυξομειώνεται στο ρυθμό της, με αποτέλεσμα να αυξομειώνεται η πτώση τάσεως στις άκρες του R_K και από αυτήν και η πόλωση της λυχνίας. Η πόλωση όμως πρέπει να παραμένει σταθερή. Για το σκοπό αυτό τοποθετείται ένας πυκνωτής C_K κατάλληλης τιμής παράλληλα στον R_K [σχ. 4.4β (β)]. Η τιμή του C_K είναι τέτοια, ώστε η X_c να είναι το 1/10 μέχρι 1/5 του R_K, για να δημιουργείται μια μεγάλη σταθερά χρόνου. Έτσι ο πυκνωτής θα παραμένει πρακτικά φορτισμένος σταθερά, σε μια μέση τιμή της τάσεως $V_g = R_K \cdot I_a$, απορροφώντας ή δίνοντας φορτία στις αυξομειώσεις της. Η X_c υπολογίζεται για τη χαμηλότερη από τις συχνότητες που θα ενισχύσει ο ενισχυτής και είναι:

$$X_c = \frac{1}{C\omega_x} = \frac{R_K}{10}$$

γ) Αυτοπόλωση από το πλέγμα.

Με τη μέθοδο αυτή εκμεταλλευόμαστε το σήμα εισόδου u_g, για να δημιουργήσομε την πόλωση. Στο κύκλωμα του σχήματος 4.4γ (α) δεν υπάρχει πηγή πολώσεως στο πλέγμα αλλά ούτε και αντιστάτης στην κάθοδο. Έτσι, όταν δεν υπάρχει σήμα εισόδου, η πόλωση της λυχνίας είναι μηδέν.



Σχ. 4.4γ.
Αυτοπόλωση της λυχνίας με αντιστάτη στο πλέγμα.

Με την εφαρμογή της u_g στις θετικές της ημιπεριόδους, το πλέγμα γίνεται θετικό προς την κάθοδο και έλκει ηλεκτρόνια. Τα ηλεκτρόνια κινούνται από την κάθοδο στο πλέγμα και, επειδή δεν μπορούν να περάσουν από το C_g, περνούν από τον αντιστάτη R_g προς το κοινό και επιστρέφουν στην κάθοδο, κλείνοντας κύκλωμα όπως στο σχήμα 4.4γ(α).

Περνώντας από τον R_g δημιουργούν πτώση τάσεως με μείον επάνω και συν κάτω, όπως στο σχήμα 4.4γ(α). Το μείον εφαρμόζεται στο πλέγμα και το συν στην κάθοδο και το κοινό. Έτσι δημιουργείται η απαιτούμενη πόλωση της λυχνίας $V_g = I_g \cdot R_g$. Σ' αυτή την τάση φορτίζεται και ο C_g με την πολικότητα του σχήματος. Στις αρνητικές ημιπεριόδους εκφορτίζεται από τον R_g και δημιουργεί πάλι την ίδια πολικότητα στο πλέγμα. Έτσι στον R_g υπάρχει μία πτώση τάσεως, που είναι η πόλωση της λυχνίας. Για να λειτουργήσει η αυτοπόλωση, η τάση του σήματος πρέπει να είναι μεγαλύτερη από την απαιτούμενη πόλωση.

Το ίδιο αποτέλεσμα έχομε και στο κύκλωμα του σχήματος 4.4γ (β), όπου ο αντιστάτης R_g προσγειώνεται μέσω της μικρής αντιστάσεως της εναλλασσόμενης πηγής u_g. Η λειτουργία και η δημιουργία της αυτοπολώσεως είναι ίδια με την προηγούμενη.

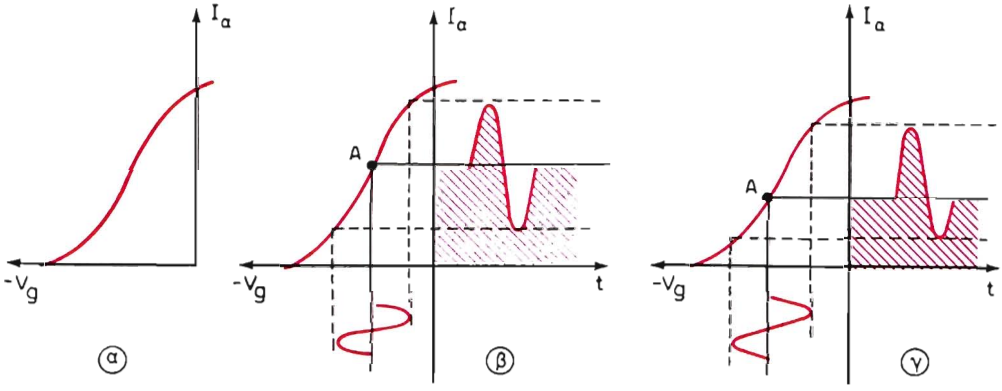
Η μέθοδος της αυτοπολώσεως από το πλέγμα χρησιμοποιείται στους ενισχυτές υψηλών συχνοτήτων και στους ταλαντωτές.

4.5 Γραμμική λειτουργία του ενισχυτή.

Η κυματομορφή της τάσεως εξόδου, ενός ενισχυτή, πρέπει να είναι ίδια με την κυματομορφή του σήματος εισόδου. Ο ενισχυτής δηλαδή πρέπει να ενισχύει το σήμα εισόδου, χωρίς να του αλλάζει τη μορφή, χωρίς δηλαδή να το παραμορφώνει. Τότε λέμε ότι η ενίσχυση είναι ***γραμμική.*** Σε αντίθετη περίπτωση λέγεται ***μη γραμμική.***

Υπεύθυνη για τη μία ή την άλλη περίπτωση είναι η δυναμική χαρακτηριστική της λυχνίας και το αντίστοιχο σημείο λειτουργίας. Στο σχήμα 4.2γ η δυναμική χαρακτηριστική σχεδιάσθηκε ευθύγραμμη για περισσότερη απλότητα. Στην πραγματικότητα είναι ευθύγραμμη στη μέση, ενώ στις άκρες είναι καμπύλη, όπως φαίνεται στο σχήμα 4.5 (α).

Αν η πόλωση είναι τόση ώστε να αντιστοιχεί στη μέση του ευθύγραμμου τμή-



Σχ. 4.5.
Γραφική κατασκευή για την εξήγηση της γραμμικής λειτουργίας.

ματος της χαρακτηριστικής, τότε και το σημείο λειτουργίας βρίσκεται στη μέση του ευθύγραμμου τμήματος.

Στο σχήμα 4.5 (β) παρατηρούμε ότι η μεταβολή του ρεύματος ανόδου είναι συμφασική με το σήμα εισόδου και έχει την ίδια μορφή με αυτό. Η ενίσχυση είναι γραμμική.

Στο σχήμα 4.5 (γ) η πόλωση είναι αρνητικότερη και το σημείο λειτουργίας δεν είναι στη μέση του ευθύγραμμου τμήματος, αλλά πιο χαμηλά. Έτσι, η αρνητική ημιπερίοδος του σήματος εισόδου αντιστοιχεί σε καμπύλο τμήμα, με αποτέλεσμα η μορφή του ρεύματος να μην είναι συμμετρική, αλλά η θετική ημιπερίοδος να είναι μεγαλύτερη από την αρνητική. Το σήμα εξόδου είναι παραμορφωμένο και η ενίσχυση είναι μη γραμμική.

Για να έχομε γραμμική ενίσχυση, το σημείο λειτουργίας πρέπει να είναι στη μέση του ευθύγραμμου τμήματος και το σήμα εισόδου να μην είναι πολύ μεγάλο, ώστε οι κορυφές του να μη φθάνουν τα καμπύλα τμήματα της χαρακτηριστικής.

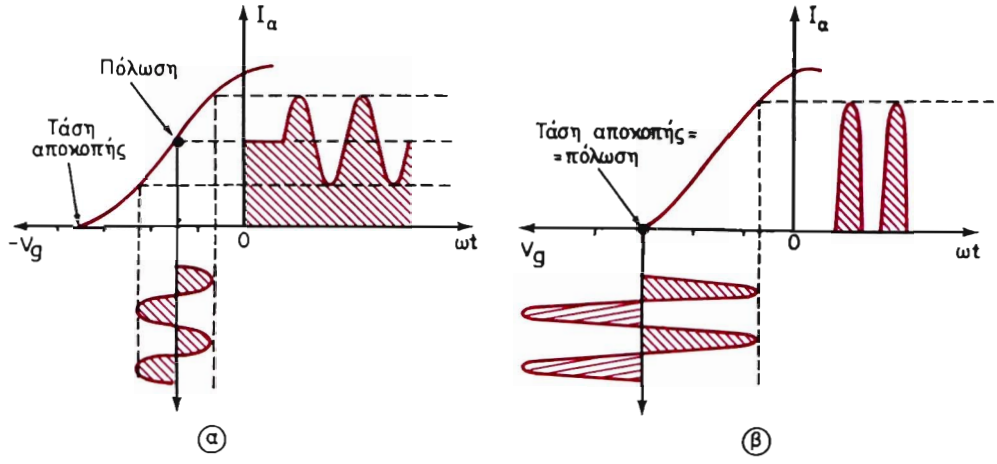
4.6 Τάξεις λειτουργίας των ενισχυτών.

Με βάση την απόδοση των ενισχυτών, που είναι ο λόγος της ωφέλιμης ισχύος στην έξοδο του ενισχυτή προς την ισχύ που προσφέρει η πηγή V_B στον ενισχυτή, η λειτουργία τους χωρίζεται σε τρεις βασικές κατηγορίες, που λέγονται ***τάξεις λειτουργίας*** και είναι η τάξη Α, ή τάξη Β και η τάξη C ή Γ. Η τάξη λειτουργίας καθορίζεται από την εφαρμοζόμενη πόλωση, που παίζει βασικό ρόλο στην όλη λειτουργία του ενισχυτή.

Τάξη Α.

Στην τάξη Α η πόλωση είναι μεταξύ του μηδενός και της τάσεως αποκοπής της λυχνίας, στη μέση περίπου, και αντιστοιχεί στο ευθύγραμμο τμήμα της δυναμικής χαρακτηριστικής πλέγματος [σχ. 4.6α (α)].

Όταν δεν υπάρχει το σήμα διεγέρσεως u_g, από τη λυχνία διέρχεται το ρεύμα ηρεμίας I_0. Αν εφαρμοσθεί το σήμα, η λυχνία λειτουργεί και στις δύο ημιπεριόδους



Σχ. 4.6α.
Τάξεις λειτουργίας Α και Β.

του όπως φαίνεται και στο σχήμα 4.6α(α). Το σήμα δεν είναι πολύ μεγάλο, για να μη φθάνουν οι κορυφές του στα καμπυλόγραμμα τμήματα της χαρακτηριστικής και να παραμορφώνεται.

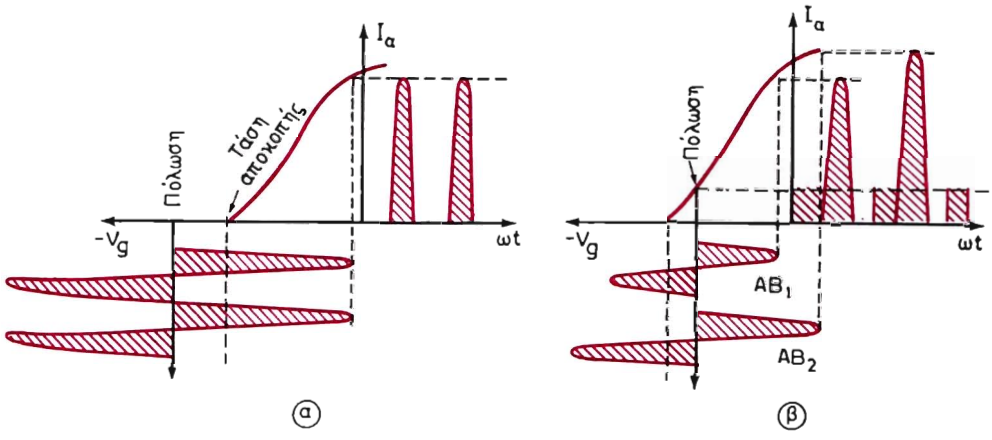
Με αυτές τις συνθήκες, ο ενισχυτής παρουσιάζει ελάχιστη παραμόρφωση στο σήμα εξόδου, αλλά ο βαθμός αποδόσεως είναι πολύ μικρός και φθάνει το 25 - 30%. Η τάξη Α χρησιμοποιείται στους ενισχυτές ακουστικών συχνοτήτων στους οποίους μας ενδιαφέρει περισσότερο να έχουν πολύ μικρή παραμόρφωση, ενώ η απόδοση έρχεται σε δεύτερη θέση. Στα ραδιόφωνα και στους δέκτες με μία λυχνία στην έξοδο, έχομε λειτουργία σε τάξη Α. Σ' αυτή την τάξη εφαρμόζεται αυτοπόλωση καθόδου.

Τάξη Β.

Στην τάξη Β η πόλωση είναι ίση με την τάση αποκοπής της λυχνίας ή περίπου ίση με αυτήν, όπως φαίνεται στο σχήμα 4.6α (β). Όταν δεν υπάρχει σήμα διεγέρσεως, η λυχνία είναι σε αποκοπή και το ρεύμα ηρεμίας είναι μηδέν ή περίπου μηδέν. Με την εφαρμογή του σήματος, η λυχνία λειτουργεί μόνο στις θετικές ημιπεριόδους του σήματος, όταν το πλέγμα γίνεται λιγότερο αρνητικό και υπάρχει ρεύμα ανόδου. Στις αρνητικές ημιπεριόδους το πλέγμα γίνεται αρνητικότερο από την τάση αποκοπής, με αποτέλεσμα το ρεύμα ανόδου να είναι μηδέν και η αρνητική ημιπερίοδος του σήματος να μην εμφανίζεται στην έξοδο. Το ενισχυμένο σήμα εξόδου μοιάζει τώρα με το παλμόρρευμα της απλής ανορθώσεως.

Με αυτές τις συνθήκες η παραμόρφωση είναι πολύ μεγάλη και απαράδεκτη. Η απόδοση όμως φθάνει περίπου 65%, δηλαδή είναι σχετικά μεγάλη. Για να μειώσομε την παραμόρφωση, η τάξη Β εφαρμόζεται σε συμμετρικά κυκλώματα, με δύο λυχνίες, που θα γνωρίσομε σε επόμενη παράγραφο.

Η τάξη Β εφαρμόζεται στην τελική βαθμίδα των ενισχυτών Α.Σ. σε ενισχυτές μέσης και μεγάλης ισχύος. Η πόλωση είναι με ανεξάρτητη πηγή, γιατί δεν μπορεί να εφαρμοσθεί αυτοπόλωση καθόδου, επειδή το ρεύμα ηρεμίας είναι μηδέν.



Σχ. 4.6β.
Τάξεις λειτουργίας C και AB.

Τάξη C.

Στην τάξη C ή Γ η πόλωση είναι αρνητικότερη από την τάση αποκοπής [σχ. 4.6β (α)]. Αν π.χ. το δυναμικό αποκοπής είναι −20 V, η πόλωση μπορεί να είναι −25 ή −30 V. Όταν δεν υπάρχει σήμα διεγέρσεως, η λυχνία είναι σε αποκοπή και το ρεύμα ηρεμίας είναι μηδέν. Με την εφαρμογή του σήματος διεγέρσεως, η λυχνία λειτουργεί μόνο σε τμήμα της θετικής ημιπεριόδου, με την προϋπόθεση ότι το σήμα είναι σχετικά μεγάλο και καλύπτει την πόλωση της λυχνίας, όπως φαίνεται και στο σχήμα 4.6β (α). Η λυχνία άγει σε χρόνο μικρότερο της ημιπεριόδου και το ρεύμα ανόδου αποτελείται από τμήματα των θετικών ημιπεριόδων, ενώ στο υπόλοιπο θετικό και στις αρνητικές ημιπεριόδους είναι μηδέν.

Η παραμόρφωση τώρα είναι πάρα πολύ μεγάλη, αλλά ο βαθμός αποδόσεως φθάνει το 85% περίπου, δηλαδή είναι πολύ καλός.

Η τάξη C δεν χρησιμοποιείται στους ενισχυτές ακουστικών συχνοτήτων, αλλά αποκλειστικά στους ενισχυτές υψηλών συχνοτήτων, όπου η παραμόρφωση εξουδετερώνεται με τα συντονισμένα κυκλώματα, στα οποία το σήμα εξόδου ξαναγίνεται ημιτονικό. Εδώ εφαρμόζεται πόλωση από ανεξάρτητη πηγή και αυτοπόλωση πλέγματος.

Τάξη AB.

Σ' αυτή την τάξη η πόλωση είναι μεταξύ της τάσεως αποκοπής και της τάσεως που αντιστοιχεί σε τάξη Α [σχ. 4.6β (β)]. Όταν δεν εφαρμόζεται το σήμα διεγέρσεως, η λυχνία βρίσκεται σε μια μικρή αγωγιμότητα και το ρεύμα ηρεμίας δεν είναι μηδέν, αλλά έχει μία μικρή τιμή. Με την εφαρμογή του σήματος, η λυχνία λειτουργεί στις θετικές ημιπεριόδους και σε τμήμα των αρνητικών, όπως φαίνεται στο σχήμα 4.6β(β), ενώ στο υπόλοιπο των αρνητικών είναι σε αποκοπή.

Αν η μέγιστη τιμή της θετικής ημιπεριόδου είναι μικρότερη από την τάση της πολώσεως, το πλέγμα δεν γίνεται θετικό και λέμε ότι η λυχνία εργάζεται σε τάξη AB1. Όταν η μέγιστη τιμή της θετικής ημιπεριόδου είναι μεγαλύτερη από την τάση της πολώσεως, τότε το πλέγμα γίνεται θετικό για χρόνο που αντιστοιχεί στις κορυφές των θετικών ημιπεριόδων και λέμε ότι η λυχνία εργάζεται σε τάξη AB2, έχον-

τας μεγαλύτερη απόδοση. Στην τάξη AB έχομε μικρότερες παραμορφώσεις από ό-,τι στη B, αλλά η απόδοση είναι μικρότερη από 60%. Χρησιμοποιείται στους ενισχυτές Α.Σ. σε συμμετρικό κύκλωμα, για περιορισμό της παραμορφώσεως. Σ' αυτή την τάξη μπορούμε να εφαρμόσομε αυτοπόλωση καθόδου γιατί υπάρχει ρεύμα ηρεμίας.

4.7 Είδη ενισχυτών.

Οι ενισχυτές χωρίζονται στις παρακάτω βασικές κατηγορίες:

α) Ενισχυτές χαμηλών ή ***ακουστικών συχνοτήτων (Α.Σ.)*** (audio amplifiers), που προορίζονται για την ενίσχυση των ακουστικών συχνοτήτων περιοχής 20 — 20 000 c/s. Είναι η απλούστερη μορφή ενισχυτών, με κύριο γνώρισμα τους αντιστάτες και τους πυκνωτές στο κύκλωμά τους. Σ' αυτούς η R_A είναι ένας απλός ωμικός αντιστάτης.

β) Ενισχυτές υψηλών συχνοτήτων (Υ.Σ.) ή ***ραδιοσυχνοτήτων*** (radio frequency amplifiers), που προορίζονται για την ενίσχυση υψηλών συχνοτήτων άνω των 100 kc/s σε περιοχές μικρού σχετικά εύρους συχνοτήτων. Κύριο γνώρισμά τους είναι τα πηνία και τα συντονισμένα κυκλώματα LC στην είσοδο και έξοδό τους. Σ' αυτούς η R_A είναι πηνίο ή συντονισμένο κύκλωμα.

γ) Ενισχυτές ευρείας περιοχής ή ***ορατοσυχνότητας*** (video amplifiers), που ενισχύουν μία μεγάλη σχετικά περιοχή συχνοτήτων, από μερικούς κύκλους ως μερικούς μεγάκυκλους (10 c/s μέχρ 4 Mc/s). Κύριο γνώρισμά τους είναι ότι η R_A είναι σύνολο πηνίων, πυκνωτών και αντιστατών. Συνήθως συστήματα και συσκευές που έχουν καθοδικούς σωλήνες διαθέτουν και ενισχυτές video, όπως τηλεόραση, RADAR, παλμογράφος κλπ. Χρησιμοποιούνται επίσης σε πολλά συστήματα που δεν διαθέτουν οθόνη.

δ) Ενισχυτές συνεχούς τάσεως ή ***ρεύματος*** (D.C. amplifiers), που ενισχύουν μία μικρή μεταβολή συνεχούς τάσεως ή ρεύματος. Χρησιμοποιούνται στα ηλεκτρονικά πολύμετρα, σε αυτοματισμούς και σε συγκροτήματα HI-FI, στερεοφωνικά κλπ.

Οι παραπάνω κατηγορίες των ενισχυτών υποδιαιρούνται στους ενισχυτές τάσεως και στους ενισχυτές ισχύος. Υπάρχουν και οι ενισχυτές ρεύματος που λειτουργούν ως ενισχυτές ισχύος. Για κάθε είδος ενισχυτή χρησιμοποιείται και η αντίστοιχη λυχνία ή κρυσταλλολυχνία. Η λυχνία τάσεως έχει άνοδο και κάθοδο με μικρές σχετικά διαστάσεις, γιατί λειτουργεί με σχετικά μικρό ρεύμα ανόδου. Η κρυσταλλολυχνία τάσεως έχει επίσης μικρές διαστάσεις. Η ενισχύτρια λυχνία ισχύος ή ρεύματος έχει άνοδο και κάθοδο μεγάλης επιφάνειας, γιατί εργάζεται με μεγάλο ρεύμα ανόδου, ενώ η αντίστοιχη κρυσταλλολυχνία έχει μεγάλο μέγεθος και προσθήκη κατάλληλου συστήματος ψύξεως.

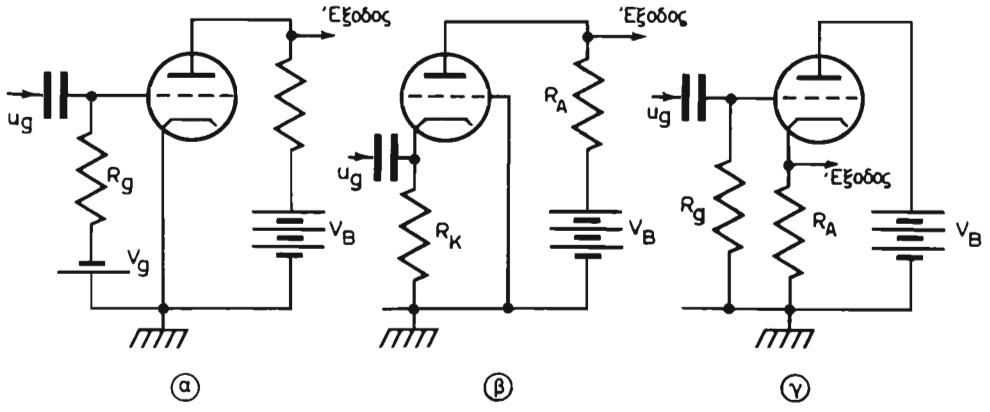
Αναφέρονται τέλος οι ***βασικές συνδέσεις των ενισχυτών,*** που είναι:

α) Ο κοινής ή γειωμένης καθόδου [σχ. 4.7(α)].

β) Ο κοινού ή γειωμένου πλέγματος [σχ. 4.7(β)] και

γ) ο κοινής ή γειωμένης ανόδου ή, όπως είναι γνωστός, ενισχυτής καθόδου [σχ. 4.7(γ)].

Ο ενισχυτής κοινής καθόδου χρησιμοποιείται κατά 90% περίπου, ενώ οι άλλοι χρησιμοποιούνται σε ειδικές περιπτώσεις που αναφέρονται σε άλλες παραγράφους του βιβλίου.



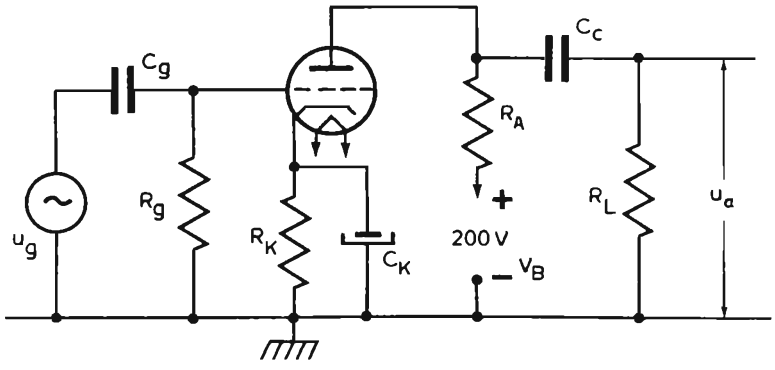
Σχ. 4.7.
Βασικές συνδέσεις των ενισχυτών.

4.8 Ενισχυτής τάσεως Α.Σ.

Οι ενισχυτές τάσεως σκοπό έχουν να ενισχύσουν τα μικρά σήματα του μικροφώνου ή της κεραίας δέκτη, με μία ή περισσότερες βαθμίδες, και στη συνέχεια να τα οδηγήσουν στον ενισχυτή ισχύος για την απαραίτητη ισχύ.

Ο ενισχυτής τάσεως ακουστικών συχνοτήτων (Α.Σ.) προορίζεται να ενισχύσει μία μεγάλη περιοχή συχνοτήτων, από 20 c/s ως 20 kc/s, που λέγονται ***ακουστικές συχνότητες.*** Η ομιλία καλύπτει την περιοχή από 300 ως 3000 c/s περίπου, ενώ η μουσική από 10 c/s ως 18 kc/s περίπου. Για τη μεγάλη αυτή περιοχή χρησιμοποιούνται οι ενισχυτές με αντιστάτες, γιατί εξασφαλίζουν ομοιόμορφη ενίσχυση σε όλη την περιοχή. Ως αντίσταση φόρτου έχουν έναν ωμικό αντιστάτη που δεν μεταβάλλεται η τιμή του με τη μεταβολή της συχνότητας (όπως συμβαίνει με ένα πηνίο ή έναν πυκνωτή). Έτσι η ενίσχυση θα είναι πρακτικά ίδια σε όλες τις συχνότητες.

Στο σχήμα 4.8α φαίνεται το κύκλωμα ενός ενισχυτή Α.Σ. με τρίοδη λυχνία, με αντιστάτες και πυκνωτές (R και C). Στον ενισχυτή εφαρμόζεται αυτοπόλωση από την κάθοδο που πραγματοποιείται με τον R_K και τον C_K. Στους ενισχυτές Α.Σ. ο C_K είναι ηλεκτρολυτικός, επειδή απαιτείται πυκνωτής μεγάλης χωρητικότητας (π.χ. 25μF) σε μικρό όγκο και για μικρή τάση. Ο R_g είναι ο αντιστάτης εισόδου της λυχνίας και χρειάζεται για να αναπτύσσεται το σήμα εισόδου, να φεύγουν τα φορτία του πλέγματος προς το κοινό και να εφαρμόζεται από αυτόν η πόλωση της λυχνίας. Ο C_g είναι για να εμποδίζει το συνεχές, δηλαδή την πόλωση και τα φορτία του πλέγματος να κινηθούν προς την πηγή u_g ενώ το σήμα της πηγής διέρχεται προς το πλέγμα. Ο R_A είναι ωμικό στοιχείο και είναι η αντίσταση φόρτου της λυχνίας, στην οποία θα αναπτυχθεί το ενισχυμένο σήμα εξόδου. Ο C_c είναι πυκνωτής συζεύξεως, ο οποίος θα μεταφέρει το ενισχυμένο σήμα u_a της Α.Σ., δηλαδή την εναλλασσόμενη συνιστώσα, στην επόμενη βαθμίδα ενισχύσεως. Ο C_c αποκόπτει το συνεχές δυναμικό της ανόδου και δεν το αφήνει να περάσει στην επόμενη βαθμίδα (στο πλέγμα της επόμενης λυχνίας). Η R_L αντιπροσωπεύει την αντίσταση εισόδου της επόμενης βαθμίδας, που είναι και το φορτίο του ενισχυτή. Η R_A με την R_L και τον C_c είναι η ολική αντίσταση φόρτου. Στους υπολογισμούς



Σχ. 4.8α.
Κύκλωμα απλού ενισχυτή τάσεως Α.Σ. με R και C.

λαμβάνεται με προσέγγιση μόνο η R_A.

Η λειτουργία του ενισχυτή είναι όπως περιγράφηκε στην παράγραφο 4.2. Το σήμα διεγέρσεως θα αυξομειώνει την τάση του οδηγού πλέγματος, με αποτέλεσμα την αυξομείωση της αγωγιμότητας της λυχνίας και, εξαιτίας αυτής, και την αυξομείωση του ρεύματος. Η αυξομείωση του ρεύματος της λυχνίας που περνά από την R_A θα προκαλέσει μία μεταβαλλόμενη πτώση τάσεως στις άκρες της η οποία αποτελεί το σήμα εξόδου u_a. Η ενίσχυση που πραγματοποιεί η βαθμίδα είναι:

$$A \cong \frac{-\mu R_A}{\rho + R_A}$$

και το σήμα εξόδου u_a είναι: $u_a = A \cdot u_g$

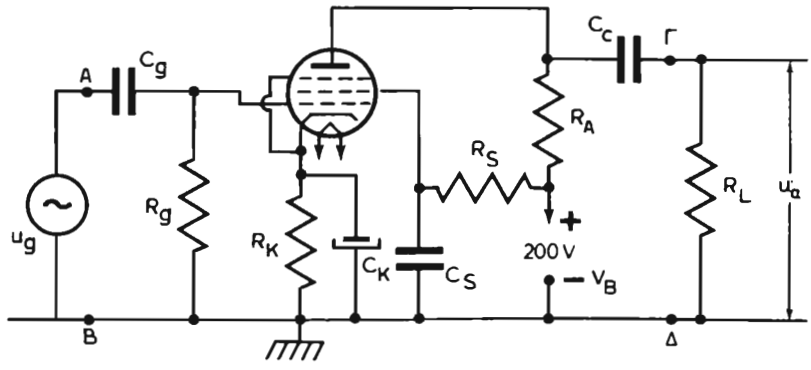
Από την προηγούμενη σχέση φαίνεται ότι το βασικό ρόλο παίζει το μ της λυχνίας και η R_A. Το μείον (—) σημαίνει τη διαφορά φάσεως 180° σήματος εξόδου-εισόδου.

Στην περίπτωση όπου $\rho = R_A$, η ενίσχυση γίνεται ίση με το μισό του συντελεστή ενισχύσεως μ και, αν $R_A >> \rho$, τότε η ενίσχυση γίνεται περίπου ίση με το μ. Σε καμιά περίπτωση η ενίσχυση A δεν γίνεται μεγαλύτερη από το συντελεστή ενισχύσεως μ της λυχνίας. Αν η R_A γίνει πολύ μεγάλη, τότε γίνεται μεγάλη πτώση τάσεως σ' αυτήν, με αποτέλεσμα η τάση ανόδου να γίνεται πολύ μικρή και η λυχνία να υπολειτουργεί. Επίσης, με την πολύ μεγάλη R_A αυξάνει η παραμόρφωση, γιατί η λειτουργία γίνεται στα καμπύλα τμήματα των χαρακτηριστικών, όπως φαίνεται και από το σχήμα 4.2γ.

Στο σχήμα 4.8β φαίνεται το κύκλωμα μιας πέντοδης ενισχύτριας τάσεως ακουστικών συχνοτήτων. Εδώ, τα επί πλέον στοιχεία, σε σύγκριση με το κύκλωμα του σχήματος 4.8α, είναι ο αντιστάτης R_S και ο πυκνωτής C_S.

Ο R_S καθορίζει την τάση του προστατευτικού πλέγματος, που πρέπει να είναι η μισή περίπου από την τάση ανόδου, παίρνοντας ισχύ από την V_B. Η τιμή του καθορίζεται από τη σχέση:

$$R_S = \frac{V_R}{I_S}$$



Σχ. 4.8β.
Κύκλωμα ενισχυτή τάσεως Α.Σ. με πέντοδη λυχνία.

δηλαδή από την πτώση τάσεως που πρέπει να πραγματοποιήσει προς το ρεύμα προστατευτικού πλέγματος ($V_R = V_B - V_S$).

Ο C_S έχει τον ίδιο προορισμό με τον C_K. Το θετικό δυναμικό του προστατευτικού πλέγματος σκοπό έχει να επιταχύνει την κίνηση των ηλεκτρονίων αυξάνοντας την αγωγιμότητα της λυχνίας και πρέπει να είναι σταθερό. Κατά τη λειτουργία όμως της λυχνίας, το ρεύμα της μεταβάλλεται. Θα μεταβάλλεται επομένως και το ρεύμα ανόδου και το ρεύμα προστατευτικού πλέγματος I_{g_2} ή I_S. Θα μεταβάλλεται έτσι και η V_S στο ρυθμό της Α.Σ. Η V_S όμως πρέπει να είναι σταθερή. Με την τοποθέτηση του C_S η τάση παραμένει σταθερή, γιατί το $R_S C_S$ παρουσιάζει μεγάλη σταθερά χρόνου και ο πυκνωτής παραμένει πρακτικά φορτισμένος σε μία μέση τιμή, βοηθώντας τη διαρροή της εναλλασσόμενης συνιστώσας προς το κοινό (σασί). Η τιμή του C_S είναι τέτοια ώστε στη χαμηλότερη συχνότητα, να παρουσιάζει αντίσταση ίση με $^1/_{10}$ του R_S.

$$X_c = \frac{1}{C\omega_x} = \frac{R_S}{10}$$

Οι πέντοδες λυχνίες επιτυγχάνουν πολύ μεγαλύτερη ενίσχυση από ό,τι οι τρίοδες και χρησιμοποιούνται ως προενισχύτριες σε ευαίσθητα μικρόφωνα, έχουν όμως μεγαλύτερο θόρυβο και πολύ μεγαλύτερη αντίσταση εξόδου από τις τρίοδες. Η ενίσχυση σε μία πέντοδη δίνεται από τη σχέση:

$$A \cong G_m \cdot R_0 \qquad (4.10)$$

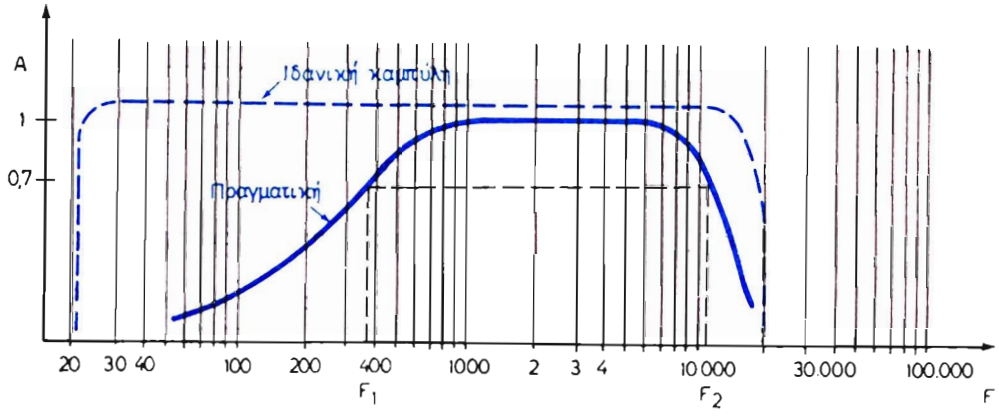
όπου R_0 είναι οι αντιστάσεις ρ, R_A και R_L παράλληλα.

Αντίσταση εισόδου σε έναν ενισχυτή, είναι η ενεργός αντίσταση που εμφανίζεται μεταξύ πλέγματος και κοινού, σε σειρά με τον πυκνωτή C_g (σημεία Α και Β στο σχήμα 4.8β). Η αντίσταση εισόδου στον ενισχυτή σε τάξη Α είναι περίπου ίση με την R_g, που είναι της τάξεως του 1 ΜΩ και τη βλέπομε προς τα δεξιά στο σχήμα.

Αντίσταση εξόδου του ενισχυτή είναι η ενεργός αντίσταση που εμφανίζεται μεταξύ ανόδου και κοινού μετά τον πυκνωτή C_c (σημεία Γ και Δ στο σχήμα 4.8β). Η αντίσταση εξόδου σε ενισχυτή τάξεως Α είναι περίπου ίση με την αντίσταση ρ της λυχνίας στις τρίοδες, ενώ στις πέντοδες είναι πολύ μεγαλύτερη.

4.9 Καμπύλη αποκρίσεως του ενισχυτή.

Ο ενισχυτής Α.Σ., όπως αναφέρθηκε, πρέπει να πετύχει την ίδια ενίσχυση σε όλες τις συχνότητες του φάσματος των Α.Σ. από 20 c/s ως 18 000 c/s. Δηλαδή όσο ενισχύει τους 100 ή τους 1000 c/s, πρέπει να ενισχύει και όλες τις άλλες συχνότητες. Αυτή η ικανότητα του ενισχυτή προς ενίσχυση απεικονίζεται με μία καμπύλη που λέγεται ***καμπύλη αποκρίσεως*** και φαίνεται στο σχήμα 4.9α.



Σχ. 4.9α.
Καμπύλη αποκρίσεως ενισχυτή Α.Σ.

Για να χαράξομε αυτή την καμπύλη, τροφοδοτούμε την είσοδο με σταθερή τάση και συχνότητες από 20 ως 20 000 c/s και μετράμε την τάση εξόδου. Από το λόγο της τάσεως εξόδου προς την τάση εισόδου, για κάθε συχνότητα, βρίσκομε την αντίστοιχη ενίσχυση Α. Από τις τιμές αυτές χαράζομε την καμπύλη του σχήματος 4.9α. Ο άξονας των συχνοτήτων χωρίζεται λογαριθμικά, για να απεικονίζεται η ενίσχυση τόσο στις χαμηλές όσο και στις υψηλές συχνότητες και να χωρέσει όλο το φάσμα των συχνοτήτων.

Η ενίσχυση Α έπρεπε να είναι η ίδια για όλες τις συχνότητες και η καμπύλη να είναι μία ευθεία παράλληλη στον άξονα των συχνοτήτων, όπως φαίνεται στο σχήμα 4.9α, με τη διακοπτόμενη γραμμή. Στην πραγματικότητα η καμπύλη είναι ευθεία από τους 800 c ως τους 7000 c/s, ενώ στις χαμηλότερες και υψηλότερες συχνότητες παρουσιάζει πτώση με αντίστοιχη πτώση της ενισχύσεως, όπως φαίνεται στο σχήμα με τη συνεχή γραμμή.

Στις χαμηλές συχνότητες η πτώση οφείλεται στη μεγάλη αντίδραση X_c που παρουσιάζουν οι πυκνωτές C_g και C_c στη διέλευση του σήματος, γιατί είναι σε σειρά (σχ. 4.8α). Στις υψηλές συχνότητες της περιοχής η πτώση οφείλεται στη δράση των παρασιτικών χωρητικοτήτων καλωδιώσεων και των λυχνιών, που είναι παράλληλα στην είσοδο και στην έξοδο του σήματος. Στις υψηλές συχνότητες, η αντίδραση X_c της παρασιτικής παράλληλης χωρητικότητας γίνεται μικρή και διαρρέει τις υψηλές συχνότητες προς το κοινό. Με διάφορες βελτιώσεις στο κύκλωμα, επιτυγχάνεται και η βελτίωση της καμπύλης και της επιδόσεως του ενισχυτή.

Η περιοχή που ενισχύεται καθορίζεται από τις συχνότητες F_1, χαμηλή, και F_2, υψηλή, για τις οποίες η ενίσχυση μειώνεται στο 0,7 του μέγιστου που γίνεται σε μία ενδιάμεση συχνότητα (π.χ. στους 1000 c/s).

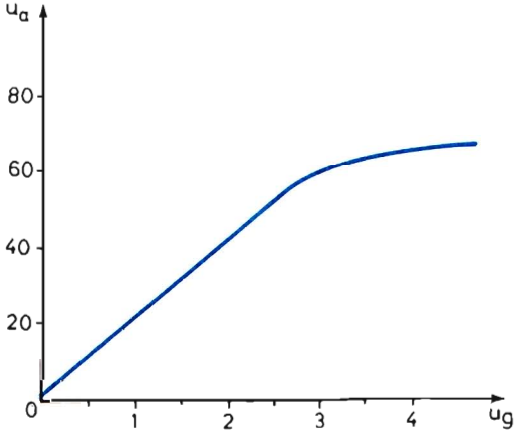
Καμπύλη γραμμικότητας.

Ο κάθε ενισχυτής έχει την ικανότητα να ενισχύει μέχρι μια ορισμένη μέγιστη τάση εισόδου και στη συνέχεια να φθάνει στον κόρο. Αυτή η ικανότητα φαίνεται από την καμπύλη του σχήματος 4.9β. Στον οριζόντιο άξονα τοποθετούνται οι τάσεις του σήματος εισόδου και στον κάθετο οι τάσεις του σήματος εξόδου.

Για τη χάραξη της καμπύλης αυτής, καθορίζεται μια ορισμένη συχνότητα (π.χ. 1000 c/s) και στη συνέχεια μεταταβάλλεται η τάση εισόδου από μηδέν μέχρι μία μέγιστη τιμή (για την οποία ο ενισχυτής φθάνει στον κόρο) και λαμβάνονται οι αντίστοιχες τιμές της τάσεως εξόδου. Από τα ζεύγη τιμών σχεδιάζεται η καμπύλη.

Αν π.χ. ο ενισχυτής του σχήματος 4.8α πραγματοποιεί ενίσχυση 40 (A = 40), για μια τάση εισόδου 20 mV θα έχει τάση εξόδου 0,8 V, για τάση εισόδου 0,5 V θα έχει τάση εξόδου 20 V, αλλά για τάση εισόδου 7 V δεν μπορεί να έχει τάση εξόδου 280 V, γιατί αυτή θα είναι μεγαλύτερη από την τάση τροφοδοσίας V_B.

Στην καμπύλη του σχήματος 4.9β παρατηρούμε ότι, μετά τα 3 V εισόδου, η έξοδος παραμένει σταθερή, γιατί ο ενισχυτής έφθασε στον κόρο, περιοριζόμενος από την αντίσταση φόρτου και την τάση τροφοδοσίας V_B. Στις αρνητικές ημιπεριόδους το σήμα εισόδου ξεπερνά το δυναμικό αποκοπής και στις θετικές κάνει το πλέγμα θετικό, οδηγώντας τη λυχνία στον κόρο, με αποτέλεσμα τώρα το σήμα εξόδου να είναι πολύ παραμορφωμένο (βλέπε και παράγραφο 4.5).



Σχ. 4.9β.
Καμπύλη γραμμικότητας.

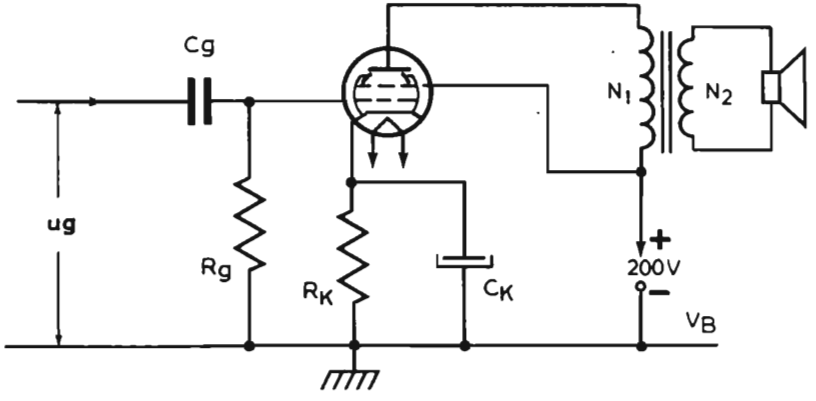
4.10 Ενισχυτής ισχύος Α.Σ.

Το σήμα εξόδου ενός ενισχυτή τάσεως έχει πολύ μικρή ισχύ, περίπου 1 mW. Ο ενισχυτής του σχήματος 4.8α ή 4.8β π.χ. μπορεί να έχει αντίσταση φορτίου 200 kΩ και σήμα εξόδου 8 V. Η ισχύς του σήματος αυτού θα είναι: $P = V^2/R$, δηλαδή $P = 8^2/200\ k\Omega = 320\ \mu W$. Αυτή η ισχύς είναι πολύ μικρή για να κάνει το με-

γάφωνο ενός δέκτη ραδιοκυμάτων να λειτουργήσει. Για να δώσομε ισχύ στο σήμα, χρησιμοποιούμε τους ενισχυτές ισχύος.

Ο ενισχυτής ισχύος Α.Σ. είναι μία άλλη μορφή ενισχυτή, χαρακτηριστικό γνώρισμα του οποίου είναι ότι έχει μετασχηματιστή στη θέση της R_A. Έτσι η αντίσταση φόρτου είναι σύνθετη και αναφέρεται ως Z_A. Η λυχνία που χρησιμοποιείται είναι τέτροδη κατευθυνόμενης δέσμης ισχύος ή πέντοδη ισχύος.

Ο ενισχυτής ισχύος βρίσκεται στο τέλος μιας σειράς ενισχυτών τάσεως και είναι στην έξοδο των δεκτών ραδιοκυμάτων, για να δώσει την απαιτούμενη ισχύ στο σήμα εξόδου που θα οδηγηθεί στο μεγάφωνο ή τα ακουστικά. Αυτά, για να λειτουργήσουν, απαιτούν ισχύ 0,5 ως 5 Watt συνήθως. Στο σχήμα 4.10α φαίνεται το κύκλωμα ενός απλού ενισχυτή ισχύος Α.Σ. με λυχνία δέσμης.



Σχ. 4.10α.
Κύκλωμα απλού ενισχυτή ισχύος Α.Σ.

Ο ενισχυτής εργάζεται σε τάξη Α και έχει αυτοπόλωση από την κάθοδο. Η αντίσταση φόρτου είναι το μεγάφωνο με το μετασχηματιστή. Το κυρίως φορτίο είναι το μεγάφωνο και ο μετασχηματιστής προσαρμόζει την αντίσταση του μεγαφώνου σε αντίσταση φόρτου του ενισχυτή.

Τα μεγάφωνα έχουν σύνθετη αντίσταση 3 ως 8 Ω συνήθως, ανάλογα με τον τύπο. Η άριστη αντίσταση φόρτου μιας λυχνίας ισχύος είναι συνήθως 2 ως 10 kΩ. Έτσι, ένα μεγάφωνο δεν μπορεί να συνδεθεί απ' ευθείας ως αντίσταση φόρτου της λυχνίας για να λειτουργήσει.

Αυτή τη διαφορά των αντιστάσεων μπορούμε να προσαρμόσομε με το μετασχηματιστή εξόδου. Ο μετασχηματιστής θα προσαρμόσει τη μικρή αντίσταση του μεγαφώνου με τη μεγάλη της λυχνίας, με το λόγο μετασχηματισμού των σπειρών πρωτεύοντος και δευτερεύοντος n, γιατί είναι:

$$n = \frac{N_1}{N_2} = \frac{U_1}{U_2} = \frac{I_2}{I_1} = \sqrt{\frac{Z_1}{Z_2}} \qquad \text{ή} \qquad n^2 = \frac{Z_1}{Z_2} \tag{4.11}$$

Από την παραπάνω σχέση φαίνεται ότι ο λόγος της σύνθετης αντιστάσεως πρωτεύοντος Z_1, προς τη σύνθετη αντίσταση δευτερεύοντος Z_2 είναι ίσος με το τετράγωνο του λόγου μετασχηματισμού. Έτσι, η μικρή αντίσταση δευτερεύοντος μεταφέρεται στο πρωτεύον, παλλαπλασιαζόμενη με το n^2.

Αν π.χ. η αντίσταση του μεγαφώνου είναι $Z_2 = 4\ \Omega$ και η άριστη αντίσταση φόρτου της λυχνίας $Z_A = Z_1 = 4\ k\Omega$, τότε είναι:

$$n^2 = \frac{Z_1}{Z_2} = \frac{4000}{4} = 1000 \qquad \text{και} \qquad n = 32$$

Πρέπει επομένως να κατασκευασθεί μετασχηματιστής με τον κατάλληλο αριθμό σπειρών πρωτεύοντος και δευτερεύοντος. Η επιλογή του μετασχηματιστή γίνεται με βάση την ωφέλιμη ισχύ εξόδου. Από την ισχύ καθορίζεται το μέγεθος του πυρήνα, υπολογίζεται ο αριθμός σπειρών πρωτεύοντος N_1 που θα παρουσιάζει την κατάλληλη σύνθετη αντίσταση Z_1 και στη συνέχεια υπολογίζεται ο αριθμός σπειρών δευτερεύοντος.

Με αυτό το λόγο σπειρών ο μετασχηματιστής θα προσαρμόσει τις δύο αντιστάσεις. Η μεγάλη τάση u_A που θα δημιουργηθεί στο πρωτεύον, θα μετατραπεί στην κατάλληλη μικρή τάση στο δευτερεύον u_μ και η μικρή ένταση ρεύματος στο πρωτεύον θα γίνει μεγάλη στο δευτερεύον, για να λειτουργήσει το μεγάφωνο. Ένα μεγάφωνο μέσης ισχύος, λόγω της μικρής του αντιστάσεως, χρειάζεται μικρή τάση (1 ως 5 V περίπου) και μεγάλη ένταση (0,5 ως 2 A περίπου) για να λειτουργήσει.

Η ενίσχυση που πραγματοποιεί ένας ενισχυτής ισχύος είναι πολύ μεγάλη. Αν υποθέσομε π.χ. ότι η τάση εισόδου του ενισχυτή του σχήματος 4.10α, που προέρχεται από τις προηγούμενες βαθμίδες, είναι 8 V και η αντίσταση εισόδου του 500 kΩ, τότε η ισχύς εισόδου είναι:

$$P_{\epsilon\iota\sigma} = \frac{u_g^2}{R_{\epsilon\iota\sigma}} = \frac{8^2}{500\ k\Omega} = 128\ \mu W \qquad (4.12)$$

Η ωφέλιμη ισχύς στο μεγάφωνο είναι 5 W. Τότε η ενίσχυση ισχύος είναι:

$$A_{\iota\sigma\chi} = \frac{P_{\epsilon\xi}}{P_{\epsilon\iota\sigma}} = \frac{5}{128 \times 10^{-6}} = 39\,000 \qquad (4.13)$$

Παρατηρούμε ότι η ενίσχυση ή η απολαβή του ενισχυτή ισχύος είναι πολύ μεγάλη και συνήθως κυμαίνεται στις 50 000.

Ένα άλλο βασικό μέγεθος που ενδιαφέρει στους ενισχυτές ισχύος είναι ο βαθμός αποδόσεως, δηλαδή ο λόγος της ωφέλιμης ισχύος εξόδου προς την ισχύ που προσφέρει η πηγή συνεχούς ρεύματος V_B προς τον ενισχυτή. Η ισχύς που δίνει η V_B είναι $P_{\sigma\upsilon\nu} = V_\alpha \cdot I_\alpha$. Η ωφέλιμη ισχύς στο μεγάφωνο είναι περίπου ίση με την ισχύ στο πρωτεύον του μετασχηματιστή:

$$P_{\omega\phi} = P_{\epsilon\xi} = \frac{u_{\xi\xi}^2}{Z_{\mu\epsilon\gamma}} \qquad (4.14)$$

και ο βαθμός αποδόσεως είναι:

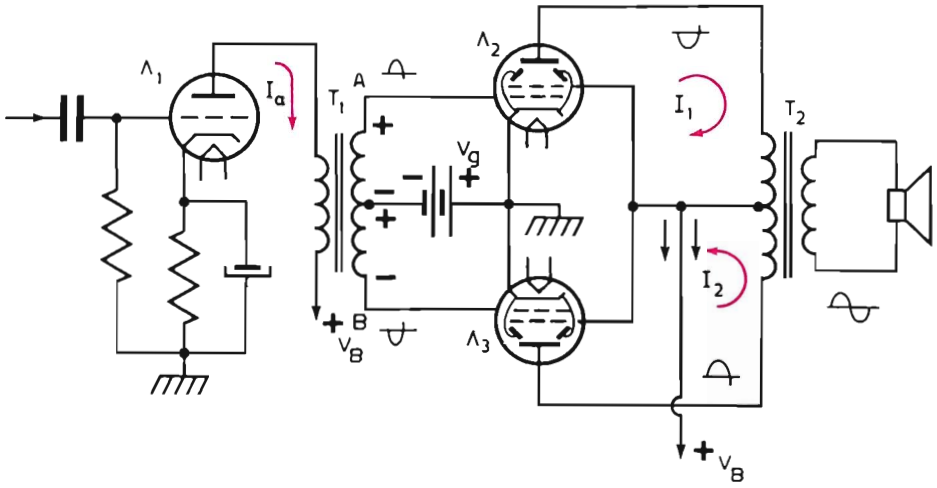
$$n = \frac{P_{\omega\phi}}{P_{\sigma\upsilon\nu}} \cdot 100\ \% \qquad (4.15)$$

Η πηγή συνεχούς δίνει στον ενισχυτή την παραπάνω ολική ισχύ $P_{\sigma\upsilon\nu}$ από την

οποία ένα μέρος μετατρέπεται σε ωφέλιμη ισχύ στο μεγάφωνο και ένα μέρος χάνεται σαν θερμότητα στην άνοδο της λυχνίας, γι' αυτό και λέγεται ***ανοδική απώλεια*** στη λυχνία. Αυτή η απώλεια έχει ως αποτέλεσμα να υπερθερμαίνεται η άνοδος και πολλές φορές να κοκκινίζει. Για να μη κινδυνεύει να καταστραφεί η λυχνία δεν επιτρέπεται η ανοδική απώλεια να ξεπερνά τη μέγιστη επιτρεπόμενη που δίνει ο κατασκευαστής της.

Ο ενισχυτής ισχύος με μία λυχνία, για να έχει μικρές παραμορφώσεις, εργάζεται σε τάξη Α. Η απόδοση στην τάξη Α είναι 25-30%, δηλαδή πολύ μικρή. Για να έχομε π.χ. ωφέλιμη ισχύ στο μεγάφωνο 5 W, το τροφοδοτικό πρέπει να δώσει ισχύ 20 W περίπου. Σε έναν ενισχυτή μικρής ισχύος αυτό μπορεί να θεωρηθεί αμελητέο, αλλά για μία μεγαλύτερη ισχύ πρέπει να υπολογίζεται.

Στις μεγάλες ισχείς, για να βελτιώσομε την απόδοση, καταφεύγομε στη λειτουργία σε τάξη Β ή ΑΒ. Επειδή όμως οι τάξεις αυτές παρουσιάζουν πολύ μεγάλη παραμόρφωση, χρησιμοποιούμε τα ***συμμετρικά κυκλώματα*** (push-pull). Ένα τέτοιο συμμετρικό κύκλωμα, με δύο τέτροδες δέσμης, φαίνεται στο σχήμα 4.10β.



Σχ. 4.10β.
Κύκλωμα συμμετρικού ενισχυτή ισχύος Α.Σ.

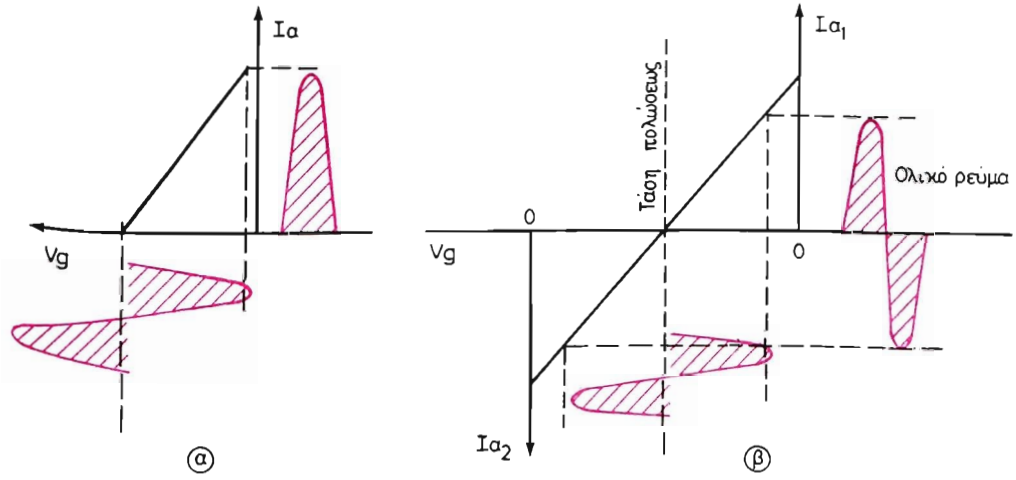
Οι δύο λυχνίες του push-pull $Λ_2$ και $Λ_3$ είναι πολωμένες σε τάξη Β με την πηγή V_g, το θετικό της οποίας συνδέεται στις καθόδους και στο κοινό, ενώ το αρνητικό, μέσω του τυλίγματος του μετασχηματιστή T_1, εφαρμόζεται στα οδηγά πλέγματα των λυχνιών. Με αυτή την πόλωση οι λυχνίες είναι σε αποκοπή και το ρεύμα ηρεμίας τους είναι μηδέν.

Η λυχνία $Λ_1$ είναι μία ενισχύτρια τάσεως με μετασχηματιστή για ανοδικό φορτίο. Ο μετασχηματιστής αυτός λέγεται ***αναστροφής φάσεως*** γιατί οι δύο τάσεις του δευτερεύοντος έχουν διαφορά φάσεως 180°. Όταν το Α είναι θετικό, το Β είναι αρνητικό (όπως και στη διπλή ανόρθωση).

Με την εφαρμογή του σήματος εισόδου, έστω ότι η $Λ_1$ παίρνει θετικό στο πλέγμα της και η $Λ_2$ παίρνει αρνητικό (όπως στο σχήμα 10.4β). Η $Λ_1$ έρχεται σε αγωγι-

μότητα, ενώ η Λ_2 παραμένει σε αποκοπή. Από την Λ_1 θα κινηθεί ένα ρεύμα I_1, από το άνω μισό του πρωτεύοντος του T_2, το οποίο θα δημιουργήσει σ' αυτόν μία ροή Φ και μία αντίστοιχη θετική ημιπερίοδο στο δευτερεύον, που θα οδηγηθεί στο μεγάφωνο. Στην άλλη ημιπερίοδο το Α θα γίνει αρνητικό και το Β θετικό. Η Λ_2 θα έλθει σε αγωγιμότητα και η Λ_1 σε αποκοπή. Θα κινηθεί ένα ρεύμα I_2 από το άλλο μισό του πρωτεύοντος του T_2, αντίθετο με το I_1, το οποίο θα δημιουργήσει μία αντίθετη ροή Φ' στο μετασχηματιστή και μία αντίστοιχη αρνητική ημιπερίοδο στο δευτερεύον, που θα οδηγηθεί στο μεγάφωνο. Έτσι στο δευτερεύον θα σχηματίζεται ένα πλήρες εναλλασσόμενο σήμα, το μισό του οποίου προέρχεται από τη μία λυχνία και το άλλο του μισό από την άλλη.

Στο σχήμα 4.10γ φαίνεται η γραφική απεικόνιση της λειτουργίας του push-pull. Στο σχήμα 4.10γ(α) φαίνεται η δυναμική χαρακτηριστική μιας λυχνίας και στο σχήμα 4.10γ(β) οι δύο δυναμικές με το κοινό σημείο εφαρμογής της πολώσεως σε τάξη Β. Η μία χαρακτηριστική είναι ανεστραμμένη και έχουν τον ίδιο άξονα των V_g. Με την εφαρμογή του σήματος u_g, στη μία ημιπερίοδο (τη θετική) θα λειτουργήσει η Λ_1 και θα κινηθεί το ρεύμα I_{a_1}, ενώ την ίδια χρονική στιγμή το I_{a_2} είναι μηδέν. Στην άλλη ημιπερίοδο (την αρνητική) θα λειτουργήσει η Λ_2 και θα κινηθεί το ρεύμα I_{a_2}, ενώ το I_{a_1} θα είναι μηδέν. Η πρόσθεση των δύο ρευμάτων των ημιπεριόδων, δίνει την κανονική ολική μορφή του τελικού ρεύματος που θα κινηθεί στο μετασχηματιστή και θα δημιουργήσει την τελική τάση εξόδου.



Σχ. 4.10γ.
Γραφική κατασκευή για τη λειτουργία του push-pull.

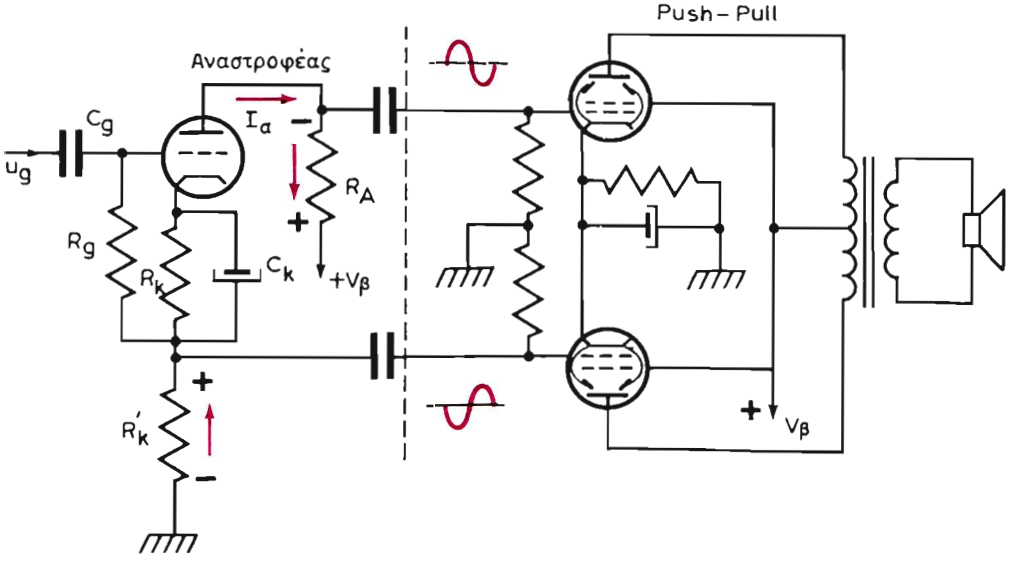
Με το συμμετρικό κύκλωμα, ο βαθμός αποδόσεως φθάνει το 60-65% (θεωρητικά 78%) και η παραμόρφωση παραμένει πολύ μικρή. Η μέγιστη ισχύς εξόδου του συστήματος είναι πολύ μεγαλύτερη από ότι το άθροισμα του μέγιστου των δύο λυχνιών. Αν π.χ. η μέγιστη ισχύς της κάθε λυχνίας είναι 6 W, στο push-pull μπορεί να φθάσει τα 25-30 W. Για την καλύτερη απόδοση και τις ελάχιστες παραμορφώσεις, οι δύο λυχνίες πρέπει να έχουν ακριβώς τα ίδια χαρακτηριστικά και κυρίως το ίδιο I_a. Όταν καταστρέφεται η μία λυχνία του push-pull, πρέπει να γίνεται

αντικατάσταση και των δύο λυχνιών.

Για μικρές ισχείς, μέχρι 100 W, οι λυχνίες εργάζοναι συνήθως σε τάξη AB_1 ή AB_2 και χρησιμοποιούν αυτοπόλωση από την κάθοδο, ενώ για μεγαλύτερες, η πόλωση είναι σε τάξη B και χρησιμοποιείται χωριστή τάση από το τροφοδοτικό, για την πόλωση.

Σε πολλές κατασκευές, αντί του μετασχηματιστή αναστροφής φάσεως T_1 του σχήματος 4.10β χρησιμοποιείται αναστροφέας φάσεως με λυχνία. Αυτός ο αναστροφέας πλεονεκτεί σε σχέση με το μετασχηματιστή τόσο στην παραμόρφωση και την απόκριση συχνοτήτων, όσο και στο κόστος κατασκευής. Ένα τέτοιο κύκλωμα φαίνεται στο σχήμα 4.10δ. Οι δύο αντιστάτες R_A και R'_K είναι της ίδιας τιμής, π.χ. 47 kΩ, και, επειδή διαρρέονται από το ίδιο ρεύμα I_a της λυχνίας Λ_1, δημιουργούν στις άκρες τους την ίδια πτώση τάσεως u_a, αλλά με διαφορά φάσεως 180° μεταξύ τους. Αυτό συμβαίνει γιατί, όταν το πλέγμα γίνεται θετικότερο, αυξάνει το I_a, καθώς και η πτώση τάσεως στις R_A και R'_K, με αποτέλεσμα η άνω άκρη της R'_K να γίνεται θετικότερη ενώ η άνω άκρη της R_A αρνητικότερη (λιγότερο θετική). Έτσι, το push-pull τροφοδοτείται με ίσα σήματα, που έχουν όμως διαφορά φάσεως 180°.

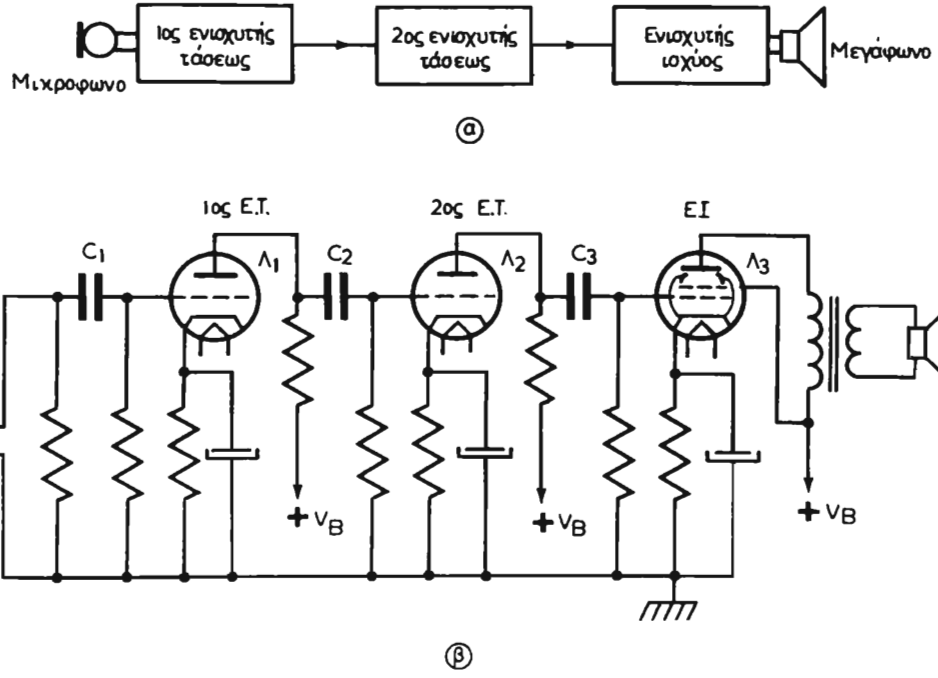
Εκτός από τον αναστροφέα του σχήματος 4.10δ υπάρχουν και άλλα κυκλώματα με λυχνίες με τα ίδια αποτελέσματα.



Σχ. 4.10δ.
Κύκλωμα αναστροφέα φάσεως και συμμετρικού κυκλώματος.

4.11 Μέθοδοι συζεύξεως των ενισχυτών.

Ένας πλήρης ενισχυτής μικροφώνου ή ένας δέκτης και γενικά μια πλήρης ηλεκτρονική συσκευή, αποτελείται από έναν αριθμό ενισχυτικών βαθμίδων που συνδέονται μεταξύ τους. Έτσι το σήμα από τη μια βαθμίδα μεταφέρεται στην άλλη αφού ενισχυθεί και λέμε ότι οι βαθμίδες βρίσκονται σε σύζευξη.



Σχ. 4.11
Πλήρης ενισχυτής μικροφώνου με τρεις λυχνίες.

Στο σχήμα 4.11(α) φαίνεται το βασικό διάγραμμα (block diagram) ενός μικροφωνικού ενισχυτή, στο οποίο οι βαθμίδες σχεδιάζονται σαν τετράγωνα που συνδέονται μεταξύ τους. Στο σχήμα 4.11(β) φαίνεται το λεπτομερές διάγραμμα του ίδιου ενισχυτή. Από τα δύο διαγράμματα λείπει η βαθμίδα τροφοδοσίας.

Η σύζευξη των βαθμίδων γίνεται με διάφορους τρόπους στα διάφορα είδη των ενισχυτών. Στους ενισχυτές ακουστικών συχνοτήτων και πολλές φορές και στους ενισχυτές υψηλών συχνοτήτων, η σύζευξη γίνεται με τη βοήθεια πυκνωτή. Στο σχήμα 4.11 (β) το σήμα του μικροφώνου μέσω του C_1 οδηγείται στο πλέγμα του πρώτου ενισχυτή, όπου ενισχύεται. Από την έξοδο του πρώτου ενισχυτή οδηγείται στην είσοδο του δεύτερου ενισχυτή μέσω του πυκνωτή συζεύξεως C_2. Από τον C_2 περνά μόνο η εναλλασσόμενη συνιστώσα στο πλέγμα της $Λ_2$, ενώ το συνεχές αποκόπτεται.

Θα μπορούσε η σύζευξη να γίνει απ' ευθείας με έναν αγωγό, αλλά τότε στο πλέγμα θα πήγαινε και το συνεχές δυναμικό (100 V θετικά), με αποτέλεσμα να καταστραφεί η $Λ_2$. Η απ' ευθείας σύνδεση γίνεται με κατάλληλο τρόπο στους ενισχυτές συνεχούς. Αν βραχυκυκλώσει ο πυκνωτής συζεύξεως θέτει σε κίνδυνο την επόμενη βαθμίδα, γιατί πηγαίνει το θετικό δυναμικό στο πλέγμα.

Από τη δεύτερη βαθμίδα το σήμα οδηγείται στο πλέγμα του ενισχυτή ισχύος μέσω του πυκνωτή C_3, που είναι για τον ίδιο σκοπό όπως και ο C_2. Στη βαθμίδα ισχύος η σύζευξη με το μεγάφωνο γίνεται με το μετασχηματιστή εξόδου.

Μια άλλη μέθοδος συζεύξεως με μετασχηματιστή εφαρμόζεται στο κύκλωμα

του σχήματος 4.10β. Το σήμα, από τον ενισχυτή τάσεως μεταφέρεται στους ενισχυτές ισχύος μέσω του μετασχηματιστή T_1. Με το μετασχηματιστή, στα πλέγματα των λυχνιών περνά μόνο η εναλλασσόμενη συνιστώσα, ενώ το συνεχές θετικό δυναμικό υπάρχει μόνο στο πρωτεύον.

Άλλη μέθοδος συζεύξεως είναι η επαγωγική που εφαρμόζεται στους ενισχυτές υψηλών συχνοτήτων. Εκεί η εναλλασσόμενη συνιστώσα μεταφέρεται από το ένα πηνίο, που βρίσκεται στην άνοδο της μιας λυχνίας, στο πηνίο που βρίσκεται στο πλέγμα της επόμενης βαθμίδας, όπως θα δούμε σε άλλη παράγραφο των ενισχυτών υψηλών συχνοτήτων.

4.12 Απολαβή των ενισχυτών.

Η ενισχυτική ικανότητα ενός ενισχυτή ή η ενίσχυση Α καθορίζεται από το λόγο της τάσεως εξόδου u_a προς την τάση εισόδου u_g. Γιά τον ενισχυτή ισχύος, η ενισχυτική ικανότητα καθορίζεται από το λόγο των ισχύων εξόδου και εισόδου. Η ενισχυτική ικανότητα λέγεται και κέρδος ή απολαβή.

Για τη μέτρηση της απολαβής ενός ενισχυτή χρησιμοποιείται και η μονάδα Decibel. Το decibel είναι το $^1/_{10}$ της βασικής μονάδας Bel. Αυτή η μονάδα χρησιμοποιείται για μέτρηση απολαβής ισχύων και είναι πάντοτε αποτέλεσμα συγκρίσεως ισχύων. Μια ισχύς θεωρείται ως βάση για να μετρήσομε μια άλλη. Το αποτέλεσμα της συγκρίσεως αυτής εξάγεται από το λογάριθμο του λόγου των δύο ισχύων, πολλαπλασιασμένο με το 10. Γενικά είναι:

$$\text{Adb} = 10 \log \frac{P_2}{P_1} \quad \text{και για ενισχυτή} \qquad \text{Adb} = 10 \log \frac{P_{\epsilon\xi}}{P_{\epsilon\iota\sigma}} \qquad (4.16)$$

Αν π.χ. σε έναν ενισχυτή ισχύος η ισχύς εισόδου είναι 100 μW και η ισχύς εξόδου 10 W, τότε η ενίσχυση σε decibel είναι:

$$\text{Adb} = 10 \log \frac{P_{\epsilon\xi}}{P_{\epsilon\iota\sigma}} = 10 \log \frac{10}{100 \times 10^{-6}} = 50 \text{ db}$$

Τη μονάδα db μπορούμε να χρησιμοποιήσομε και στην ενίσχυση τάσεως, παίρνοντας το λόγο της τάσεως εξόδου προς την τάση εισόδου, με την προϋπόθεση ότι οι αντιστάσεις εισόδου και εξόδου είναι ίσες. Τότε ισχύει η σχέση:

$$\text{Adb} = 10 \log \frac{U_{\epsilon\xi}^2/R}{U_{\epsilon\iota\sigma}^2/R} = 10 \log \frac{U_{\epsilon\xi}^2}{U_{\epsilon\iota\sigma}^2} = 20 \log \frac{U_{\epsilon\xi}}{U_{\epsilon\iota\sigma}}$$

και γενικά

$$\text{Adb} = 20 \log \frac{U_2}{U_1} \qquad (4.17)$$

Η ολική ενίσχυση που πραγματοποιεί μια ηλεκτρονική συσκευή, είναι το γινόμενο των επι μέρους ενισχύσεων των βαθμίδων. Δηλαδή έχομε:

$$A_{o\lambda} = A_1 \cdot A_2 \cdot A_3 \ldots A_v$$

Στην περίπτωση του σχήματος 4.11α, αν η πρώτη βαθμίδα πραγματοποιεί ενίσχυση $A_1 = 40$ και η δεύτερη $A_2 = 35$, τότε η ολική τους ενίσχυση θα είναι

$A_1 \cdot A_2 = 40 \times 35 = 1400$. Η ολική ενίσχυση ισχύος θα είναι ο λόγος της ισχύος εξόδου προς την ισχύ εισόδου (μικροφώνου). Αν η απολαβή κάθε βαθμίδας υπολογίζεται σε db, τότε η ολική απολαβή είναι το άθροισμα των επί μέρους απολαβών των βαθμίδων:

$$A_{o\lambda}\ (db) = A_1(db) + A_2\ (db) + A_3\ (db) + ... + A_v\ (db) \qquad (4.18)$$

Αν ένας ενισχυτής έχει ολική απολαβή π.χ. 60 db, τότε η ολική του ενίσχυση $A_{o\lambda} = 1\ 000\ 000$.

Όταν η ισχύς εξόδου είναι μικρότερη από την ισχύ εισόδου, η απολαβή είναι αρνητική και λέμε ότι έχομε ***απόσβεση.*** Αυτό συμβαίνει στα παθητικά φίλτρα, στα τηλεφωνικά καλώδια, στα ομοαξονικά καλώδια κλπ., όπου η απολαβή είναι αρνητική, πχ. −15 db. Όταν η ενίσχυση είναι ίση με τη μονάδα, η απολαβή είναι 0 db, γιατί ο λογάριθμος της μονάδας είναι το μηδέν.

Για τις μετρήσεις στα τηλεφωνικά καλώδια χρησιμοποιείται η μονάδα dbm (DBM), στην οποία ως βάση για μηδέν db χρησιμοποιείται ισχύς ενός μιλιβάτ (1mW) σε αντίσταση 600 Ω. Την ίδια μονάδα χρησιμοποιούν και τα πολύμετρα που έχουν κλίμακα decibel.

$$Adbm = 10\ \log\frac{P}{1mW} \qquad (4.19)$$

4.13 Παραμόρφωση στους ενισχυτές.

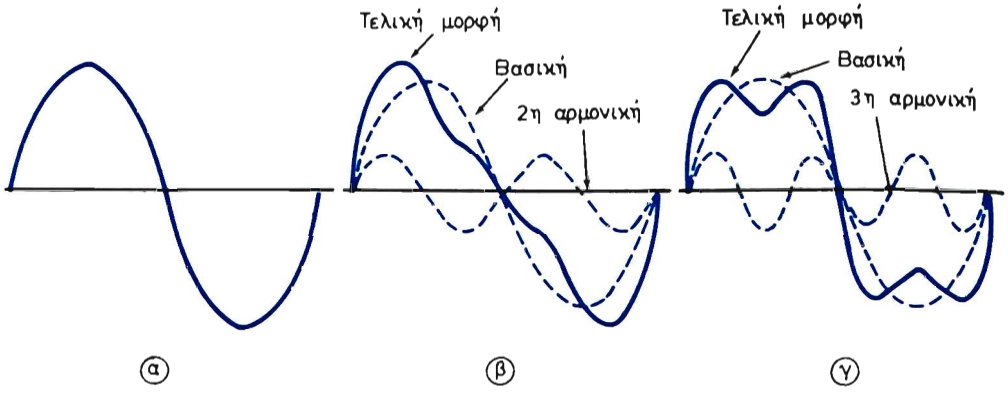
Πολλές φορές το σήμα εξόδου ενός ενισχυτή δεν έχει την ίδια μορφή με το σήμα εισόδου και λέμε τότε ότι το σήμα εξόδου είναι παραμορφωμένο. Με την παραμόρφωση αλλάζει η κυματομορφή του σήματος και η χροιά του ήχου, μέχρι του σημείου, σε πολύ μεγάλη παραμόρφωση, να μη γίνεται καταληπτός.

Το σήμα εξόδου σε έναν ενισχυτή, πρέπει να έχει τα χαρακτηριστικά του σήματος εισόδου, δηλαδή τον ***τόνο*** και τη ***χροιά.*** Ο τόνος καθορίζεται από τη βασική ή θεμελιώδη συχνότητα και η χροιά από το πλήθος των ***αρμονικών*** του. Οι αρμονικές είναι ακέραια πολλαπλάσια της βασικής συχνότητας και μπορεί να είναι περιττής και άρτιας τάξεως ή μόνο άρτιας ή μόνο περιττής. Οι αρμονικές μιας βασικής συχνότητας, π.χ. 1000 c/s, είναι: η δεύτερη 2000 c/s, η τρίτη 3000 c/s, η τέταρτη 4000, η πέμπτη 5000 κ.ο.κ.

Ενα σήμα μπορεί να είναι καθαρό ημιτονικό, όπως στο σχήμα 4.13α(α), ή να περιέχει τη βασική και ένα αριθμό αρμονικών. Στο σχήμα 4.13α(β) φαίνεται η τελική κυματομορφή ενός σήματος που αποτελείται από τη βασική και τη δεύτερη αρμονική της, με τάση ίση με 0,3 της βασικής. Στο σχήμα 4.13α(γ) υπάρχει η βασική και η τρίτη αρμονική της, με τάση ίση με 0,3 της βασικής. Οι κυματομορφές σχεδιάσθηκαν για μια τυχαία φάση και τυχαία τιμή στις αρμονικές.

Η παραμόρφωση που προκαλεί ένας ενισχυτής μπορεί να οφείλεται στην ακατάλληλη πόλωση ή στα ακατάλληλα δυναμικά ανόδου και προστατευτικού πλέγματος. Μπορεί επίσης να οφείλεται στο πολύ μεγάλο σήμα εισόδου, στις χωρητικότητες που υπάρχουν στον ενισχυτή ή ακόμη και στις αυτεπαγωγές (αν υπάρχουν).

Οι παραμορφώσεις διακρίνονται σε τρεις βασικές κατηγορίες, την παραμόρφωση πλάτους, την παραμόρφωση συχνότητας και την παραμόρφωση φάσεως.

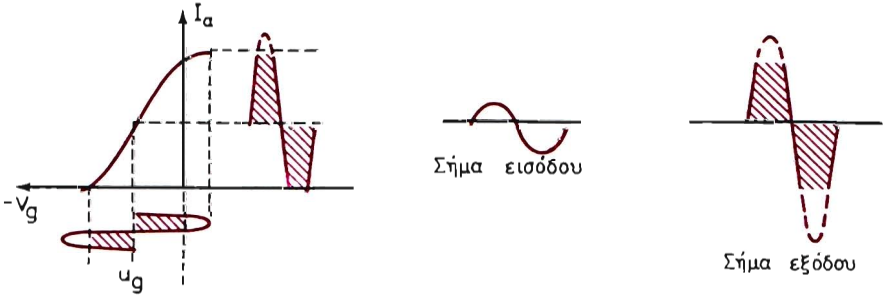


Σχ. 4.13α.
Διάφορα σήματα της ίδιας συχνότητας με ή χωρίς αρμονικές.

α) Παραμόρφωση πλάτους.

Η παραμόρφωση πλάτους, που λέγεται και ***μη γραμμική παραμόρφωση*** (non-linear distortion), εμφανίζεται όταν ο ενισχυτής εργάζεται στα μη ευθύγραμμα τμήματα της δυναμικής χαρακτηριστικής. Στην παράγραφο 4.5 είχε αναφερθεί η γραμμική και μη γραμμική ενίσχυση και η αιτία που προκαλεί τη μη γραμμική ενίσχυση, δηλαδή όταν η πόλωση είναι τέτοια ώστε η λυχνία να μη λειτουργεί στο ευθύγραμμο τμήμα. Στην περίπτωση αυτή, η μια ημιπερίοδος του σήματος εξόδου είναι μεγαλύτερη από την άλλη [σχ. 4.5(γ)].

Παραμόρφωση πλάτους συμβαίνει και όταν το σήμα εισόδου είναι μεγαλύτερο από το επιτρεπόμενο, με αποτέλεσμα να ψαλιδίζονται οι κορυφές του, όπως φαίνεται και στο σχήμα 4.13β. Το σήμα εξόδου έχει παραμόρφωση πλάτους, επειδή δεν αποδίδεται όλο το πλάτος της κυματομορφής. Η ψαλίδιση της αρνητικής κορυφής γίνεται γιατί η λυχνία (λόγω μεγάλου σήματος) οδηγείται στην αποκοπή, ενώ η θετική κορυφή μπορεί να ψαλιδίζεται επειδή το πλέγμα γίνεται θετικό και η λυχνία μπορεί να λειτουργεί στον κόρο.



Σχ. 4.13β.
Παραμόφωση πλάτους.

β) Παραμόρφωση συχνότητας.

Η παραμόρφωση συχνότητας (frequency distortion) εμφανίζεται όταν ο ενισχυ-

τής δεν έχει τη δυνατότητα να ενισχύσει ομοιόμορφα όλες τις συχνότητες. Στην παράγραφο 4.6 είδαμε αυτή την αδυναμία του ενισχυτή, που οφείλεται στις χωρητικότητές του. Στην καμπύλη αποκρίσεως του σχήματος 4.9α φαίνεται η αδυναμία του ενισχυτή να ενισχύσει τις χαμηλές συχνότητες κάτω από 400 c/s και τις υψηλές πάνω από 12 000 c/s. Έτσι, ένα σήμα που αποτελείται από τη βασική συχνότητα και τις αρμονικές της, μπορεί στην έξοδο του ενισχυτή να είναι παραμορφωμένο, επειδή οι υψηλότερες αρμονικές του θα ενισχυθούν λιγότερο από τη βασική. Αν το σήμα εισόδου στον ενισχυτή έχει τη μορφή του σχήματος 4.13α(γ), στην έξοδο θα έχει άλλη μορφή, αν η τρίτη αρμονική ενισχυθεί, λιγότερο από τη βασική και δεν έχει το 0,3 V αυτής.

γ) Παραμόρφωση φάσεως.

Η παραμόρφωση φάσεως (phase-shift distortion) εμφανίζεται σε ένα σήμα με αρμονικές. Σε ένα καθαρό ημιτονικό σήμα εξόδου, θα υπάρχει διαφορά φάσεως 180° ως προς το σήμα εισόδου, που οφείλεται στον ενισχυτή (παράγρ. 4.2). Όταν όμως το σήμα εισόδου είναι σύνθετο από τη βασική και τις αρμονικές του, τότε θα προκληθεί μια πρόσθετη μετατόπιση φάσεως στις υψηλότερες αρμονικές, που θα οφείλεται στον πυκνωτή συζεύξεως. Η αντίδραση X_C του πυκνωτή αυτού μεταβάλλεται με τη συχνότητα και, επειδή είναι σε σειρά με αντίσταση εισόδου της επόμενης λυχνίας, δημιουργεί άλλη φάση στις χαμηλές και άλλη φάση στις υψηλές, γιατί εφφ $= X_C / R$ και το X_C μεταβάλλεται με τη συχνότητα.

Αν το σήμα εισόδου έχει τη μορφή του σχήματος 4.13α(β) ή (γ), η κυματομορφή θα αλλάξει στην έξοδο αν μεταβληθεί η φάση της αρμονικής της.

Η παραμόρφωση φάσεως γίνεται περισσότερο αισθητή στους ενισχυτές video που υπάρχουν στους παλμογράφους, RADAR, τηλεοράσεις κλπ. όπου δημιουργεί προβλήματα στην εικόνα.

Γενικά μπορούμε να πούμε ότι η παραμόρφωση οφείλεται στη μεταβολή των αρμονικών ενός σήματος. Στην έξοδο των ενισχυτών μπορεί να εμφανίζονται αρμονικές που δεν υπήρχαν στην είσοδο ή να χάνονται άλλες που υπήρχαν και σε άλλες να δημιουργείται μετάθεση φάσεως, με αποτέλεσμα τη δημιουργία μιας νέας κυματομορφής που δεν μοιάζει με την κυματομορφή εισόδου. Με τις κατάλληλες βελτιώσεις και την προσεκτική κατασκευή των ενισχυτών, η παραμόρφωση μπορεί να μειωθεί στο ελάχιστο.

Η παραμόρφωση σε έναν ενισχυτή υπολογίζεται από τις τιμές της εναλλασσόμενης συνιστώσας του ρεύματος ανόδου στη βασική i_{a_1}, και στις αρμονικές της i_{a_2}, i_{a_3}, i_{a_4} κλπ. και είναι:

$$\text{συντελεστής παραμορφώσεως } K = \sqrt{\frac{i_{a_2}^2 + i_{a_3}^2 + \dots}{i_{a_1}^2}} \; 100\,\% \qquad (4.20)$$

Η παραμόρφωση μετρείται στην έξοδο των ενισχυτών με ειδικό όργανο, το ***παραμορφωσίμετρο*** (distortion meter) σε ποσοστό επι τοις εκατό.

4.14 Θόρυβος στους ενισχυτές.

Συνήθως στην έξοδο των μικροφωνικών ενισχυτών και των δεκτών ακούγεται ένας χαρακτηριστικός βόμβος ή θόρυβος χωρίς στην είσοδο του ενισχυτή να

υπάρχει σήμα. Αυτός ο θόρυβος δημιουργείται στα ηλεκτρονικά κυκλώματα από διάφορες αιτίες.

Μια αιτία θορύβου είναι το εναλλασσόμενο ρεύμα που τροφοδοτεί το νήμα για τη θέρμανση της καθόδου και επιδρά στην ενισχύτρια λυχνία. Η κυμάτωση επίσης που μπορεί να έχει το ανορθωμένο ρεύμα που τροφοδοτεί τις ανόδους δημιουργεί βόμβο στην έξοδο. Ο μετασχηματιστής τροφοδοσίας εξάλλου, με το μαγνητικό του πεδίο μπορεί να προκαλέσει θόρυβο σε μια ενισχύτρια λυχνία που θα βρίσκεται κοντά του. Η κίνηση των ελευθέρων ηλεκτρονίων μέσα στους αγωγούς και στα ηλεκτρόδια της λυχνίας, προκαλεί θόρυβο, ο οποίος αυξάνει με την αύξηση της θερμοκρασίας. Οι αντιστάτες γραφίτη που χρησιμοποιούνται στους ενισχυτές προκαλούν θόρυβο, λόγω κακής επαφής των κόκκων του γραφίτη μεταξύ τους, ο οποίος επίσης αυξάνει με την αύξηση της θερμοκρασίας. Θόρυβος δημιουργείται επίσης με την κίνηση των ηλεκτρονίων από την κάθοδο στην άνοδο, καθώς αυτά περνούν ανάμεσα από τα διάκενα των πλεγμάτων. Η ακανόνιστη βολή των ηλεκτρονίων στην επιφάνεια της ανόδου, όπως και η δευτερογενής εκπομπή τους, προκαλούν θόρυβο. Οι λυχνίες με πολλά πλέγματα δημιουργούν μεγαλύτερο θόρυβο από τις τρίοδες. Θόρυβο προκαλούν η κακή επαφή των ηλεκτροδίων της λυχνίας, καθώς και οι ψυχρές κολλήσεις. Η διαρροή που δημιουργείται σε έναν πυκνωτή ή μεταξύ δύο σημείων με διαφορά δυναμικού, προκαλεί επίσης θόρυβο. Ακόμα, η κακή επαφή των ακροδεκτών των πυκνωτών και των αντιστατών είναι αιτία θορύβου.

Στην έξοδο ενός ενισχυτή, ο θόρυβος που δημιουργείται σ' αυτήν έχει τιμή που κυμαίνεται από δεκάδες μικροβόλτ ως λίγα μιλιβόλτ. Αυτός ενισχύεται από τις επόμενες βαθμίδες, προσθέτουν και οι άλλες βαθμίδες το δικό τους θόρυβο και έτσι στο μεγάφωνο φθάνει αυξημένος.

Όταν είναι γνωστή η τάση του θορύβου στην έξοδο του ενισχυτή και η ενίσχυση Α που πραγματοποιεί ο ενισχυτής, μπορεί να υπολογισθεί η ισοδύναμη τάση εισόδου στον ενισχυτή, που αντιστοιχεί στο θόρυβο. Αν η τάση του θορύβου στην έξοδο είναι π.χ. 240 μV και η ενίσχυση που πραγματοποιεί ο ενισχυτής Α = 40, τότε η ισοδύναμη τάση εισόδου του θορύβου θά είναι $u_{εισ} = u_{εξ}/A = 6$ μV. Αν αυτή η τάση των 6 μV εφαρμοζόταν στην είσοδο του ενισχυτή, στην έξοδο θα είχαμε 240 μV.

Όταν εφαρμόσομε στην είσοδο του ενισχυτή το κανονικό σήμα που μπορεί να έχει τάση 6 μV, στην έξοδο θα υπάρχει το σήμα εξόδου και ο θόρυβος στην ίδια στάθμη. Έτσι στο μεγάφωνο θα ακούγεται το σήμα και ο θόρυβος με την ίδια ένταση.

Για να μπορεί το σήμα να ακούγεται και να έχει ευκρίνεια, πρέπει να είναι πολύ μεγαλύτερο από το θόρυβο. Έχει καθορισθεί ότι για καλή ευκρίνεια, το σήμα πρέπει να είναι δεκαπλάσιο από το θόρυβο. Πρέπει δηλαδή ο λόγος σήματος προς θόρυβο να είναι μεγαλύτερος του δέκα προς ένα (10/1). Στο παραπάνω παράδειγμα το σήμα εισόδου δεν πρέπει να είναι μικρότερο από 60 μV.

Ο θόρυβος των ενισχυτών καθορίζει την ελάχιστη τάση εισόδου που μπορεί να ενισχύσει ένας ενισχυτής ή μια ηλεκτρονική συσκευή, π.χ. ένας δέκτης ραδιοκυμάτων ή ένας μικροφωνικός ενισχυτής. Με αυτή την αιτία καθορίζεται η ελάχιστη τάση εισόδου.

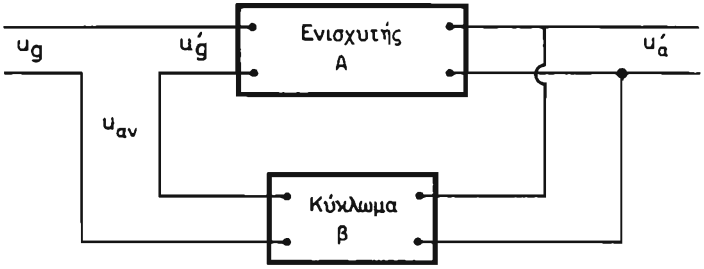
4.15 Ανάδραση στους ενισχυτές.

Όταν ένα μικρό ποσοστό από το σήμα εξόδου $u_α$ ενός ενισχυτή επιστρέφει στην είσοδό του, λέμε ότι στον ενισχυτή εφαρμόζεται ***ανάδραση*** η ***ανασύζευξη.*** Η ανάδραση μπορεί να δημιουργείται από τις καλωδιώσεις του ενισχυτή, χωρίς να τη θέλομε, οπότε λέγεται ***παρασιτική,*** ή να πραγματοποιείται με τη θέλησή μας, με ειδικά κυκλώματα, τα ***κυκλώματα αναδράσεως.***

Στο σχήμα 4.15α φαίνεται το μεγάλο παραλληλόγραμμο που αντιπροσωπεύει έναν ενισχυτή τάσεως που πραγματοποιεί ενίσχυση Α. Το μικρό παραλληλόγραμμο αντιπροσωπεύει το κύκλωμα που εκτελεί την ανάδραση β. Το κύκλωμα αναδράσεως μπορεί να είναι ένας μικρός μετασχηματιστής ή ένα δικτύωμα με αντιστάτες ή με αντιστάτες και πυκνωτές. Με αυτό το κύκλωμα ρυθμίζεται η τάση αναδράσεως που είναι:

$$u_{αν} = β \cdot u_α$$

όπου β το ποσοστό αναδράσεως.



Σχ. 4.15α.
Η αρμογή αναδράσεως σε ενισχυτή.

Η ανάδραση διακρίνεται σε δύο κατηγορίες, τη ***θετική*** και την ***αρνητική.*** Θετική ανάδραση έχομε όταν το σήμα που επιστρέφει είναι συμφασικό με το σήμα εισόδου, οπότε προστίθεται σ' αυτό και γίνεται:

$$u'_g = u_g + u_{αν}$$

Αρνητική ανάδραση έχομε όταν το σήμα που επιστρέφει έχει διαφορά φάσεως 180° από το σήμα εισόδου, οπότε αφαιρείται από αυτό και γίνεται:

$$u'_g = u_g - u_{αν}$$

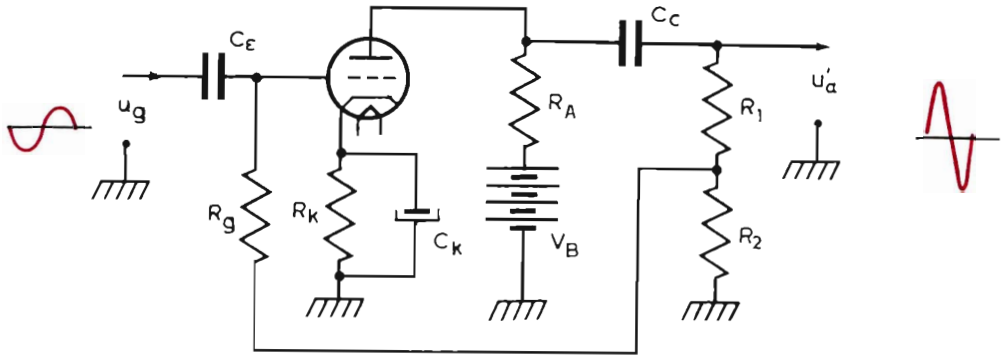
Με τη θετική ανάδραση το σήμα εισόδου u'_g αυξάνει συνέχεια, με αποτέλεσμα να αυξάνει το σήμα εξόδου και η ενίσχυση να γίνεται πολύ μεγάλη. Ο ενισχυτής, μπορεί σ' αυτή την περίπτωση, να μετατραπεί σε ταλαντωτή, δηλαδή, σε μία διάταξη που χωρίς σήμα εισόδου έχει μεγάλο σήμα εξόδου. Οι ταλαντωτές εξετάζονται στο επόμενο κεφάλαιο.

Με την αρνητική ανάδραση το σήμα εισόδου μειώνεται συνέχεια, με αποτέλεσμα να μειώνεται το σήμα εξόδου και να μικραίνει η ενίσχυση.

Η ανάδραση χωρίζεται επίσης σε ανάδραση ***τάσεως,*** ανάδραση ***ρεύματος*** και ***μικτή*** ανάδραση. Στη συνέχεια αναφέρεται η επίδραση και τα αποτελέσματα της αρνητικής αναδράσεως τάσεως και ρεύματος.

Μία απλή μέθοδος εφαρμογής αρνητικής αναδράσεως τάσεως φαίνεται στο κύκλωμα του σχήματος 4.15β. Το σήμα εξόδου u_a εφαρμόζεται στους αντιστάτες R_1 και R_2, που μπορεί να είναι ο αντιστάτης εισόδου της επόμενης βαθμίδας. Η u'_a έχει διαφορά φάσεως 180° από την u_g, λόγω της ενισχύσεως. Από το λόγο των αντιστάσεων των R_1 και R_2 καθορίζεται η τάση που θα επιστρέψει στην είσοδο. Αν π.χ. $R_1 = 500\ k\Omega$ και $R_2 = 5\ k\Omega$, τότε έχομε ποσοστό αναδράσεως:

$$\beta = \frac{R_2}{R_1 + R_2} = \frac{5}{505} = 0{,}01$$



Σχ. 4.15β.
Κύκλωμα ενισχυτή τάσεως Α.Σ. στον οποίο εφαρμόζεται αρνητική ανάδραση τάσεως.

Αν το σήμα εισόδου u_g είναι 0,5 V και η ενίσχυση Α που πραγματοποιεί ο ενισχυτής 30, τότε το σήμα εξόδου χωρίς ανάδραση είναι:

$$u_a = A \cdot u_g = 30 \times 0{,}5 = 15\ V$$

Με την ανάδραση επιστρέφει στην είσοδο ένα σήμα αναδράσεως u_{av}, που είναι:

$$u_{av} = \beta \cdot u_a = 0{,}01 \times 15 = 0{,}15\ V \qquad \text{με διαφορά φάσεως } 180°$$

Αυτό αφαιρείται από την u_g και στο πλέγμα εφαρμόζεται η τελική u'_g που θα είναι $u'_g = u_g - u_{av} = 0{,}5 - 0{,}15 = 0{,}35\ V$. Με τη μείωση όμως της u_g θα μειωθεί και η u_a και η u_{av}. Τελικά, μετά από μερικές αυξομειώσεις των σημάτων, η τάση εξόδου θα σταθεροποιθεί στην u'_a και η ενίσχυση που πραγματοποιεί ο ενισχυτής θα γίνει Α', θα είναι δηλαδή μικρότερη του Α, γιατί έχομε:

$$u'_g = u_g - u_{av} \qquad \text{ή} \qquad u'_g = u_g - \beta u_a$$

Η τάση εξόδου χωρίς ανάδραση είναι:
$u_a = Au_g$ και με ανάδραση $u'_a = Au'_g = A(u_g - \beta u_a)$

και $u'_a = Au_g - A\beta u_a$ ή $u'_a + A\beta u_a = Au_g$

και $u'_α (1 + Aβ) = Au_g$ ή $u'_α \frac{Au_g}{1 + Aβ}$

και τελικά: $$\frac{u'_α}{u_g} = A' = \frac{A}{1 + Aβ} \quad (4.21)$$

Στη θετική ανάδραση, το σήμα που επιστρέφει από την έξοδο στην είσοδο είναι συμφασικό με αυτό, οπότε προστίθεται και γίνεται $u'_g = u_g + u_{αν}$ με αποτέλεσμα η τελική ενίσχυση να είναι:

$$A' = \frac{A}{1 - Aβ} \quad (4.22)$$

Αυτή η σχέση είναι και ο γενικός τύπος της αναδράσεως, γιατί το γινόμενο Αβ καθορίζει με την τιμή του την ανάδραση, επειδή είναι μιγαδικό της μορφής $A + jβ$. Με τη θετική ανάδραση θα ασχοληθούμε στο επόμενο κεφάλαιο.

Με την εφαρμογή της αρνητικής αναδράσεως, η ενίσχυση μειώνεται. Για το παραπάνω παράδειγμα, η αρχική ενίσχυση $A = 30$, γίνεται $A' = 23$. Αυτό είναι το μειονέκτημα της αρνητικής αναδράσεως, πέρα από το οποίο όμως παρουσιάζει πολλά πλεονεκτήματα και γι' αυτό εφαρμόζεται στους ενισχυτές ακουστικών συχνοτήτων. Τα πλεονεκτήματα αυτά είναι:

α) Βελτίωση στην καμπύλη αποκρίσεως του ενισχυτή, γιατί, καθώς μειώνεται η ενίσχυση στη μέση περιοχή των συχνοτήτων, αυξάνει το φάσμα των ενισχυομένων συχνοτήτων προς τις χαμηλότερες και τις υψηλότερες συχνότητες της περιοχής.

β) Η παραμόρφωση που δημιουργείται στον ενισχυτή από τη δεύτερη και τρίτη αρμονική μειώνεται στο ελάχιστο, καθώς οι ίδιες αρμονικές επιστρέφουν από την έξοδο στην είσοδο με διαφορά φάσεως 180°, οπότε μειώνονται.

γ) Ο θόρυβος που παράγεται στον ενισχυτή μειώνεται στο ελάχιστο, καθώς ένα μέρος του επιστρέφει στην είσοδο ως σήμα εισόδου με διαφορά φάσεως 180°, με αποτέλεσμα να τον εξουδετερώνει.

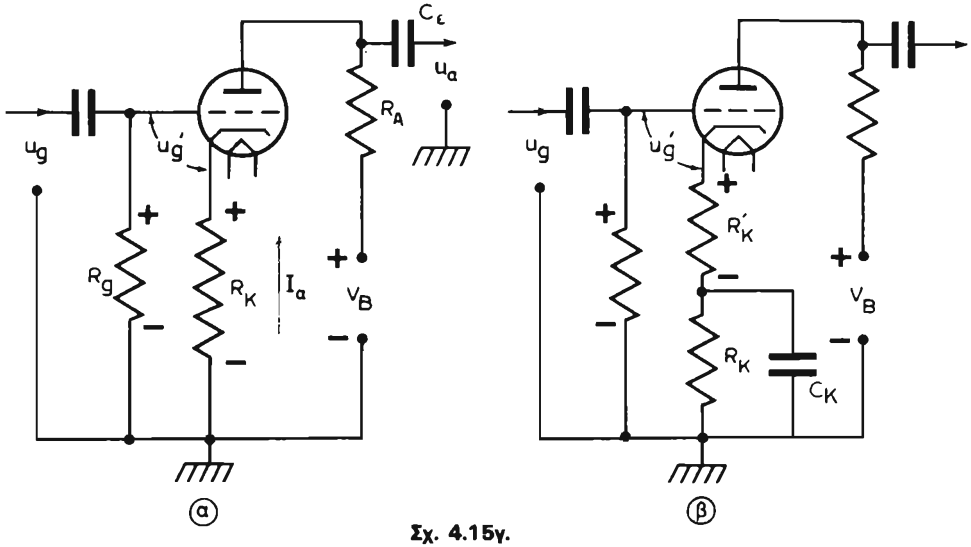
δ) Η σύνθετη αντίσταση εισόδου του ενισχυτή γίνεται μεγαλύτερη από την αρχική καθώς πολλαπλασιάζεται με τον παράγοντα $(1 + Aβ)$, με αποτέλεσμα την καλύτερη προσαρμογή του ενισχυτή σε σήματα εισόδου υψηλής αντιστάσεως.

Η σύνθετη αντίσταση εξόδου καθώς διαιρείται με τον παράγοντα $(1 + Aβ)$ γίνεται μικρότερη από την αρχική με αποτέλεσμα να αναγκάζει τον ενισχυτή να προσαρμόζεται καλύτερα σε φορτία χαμηλής αντιστάσεως και να συμπεριφέρεται ως πηγή με σταθερή τάση, η οποία δεν μεταβάλλεται με το φορτίο.

Με την αρνητική ανάδραση ο ενισχυτής βελτιώνεται κατά πολύ. Με θυσία της ενισχύσεως έχομε αύξηση του πλάτους της καμπύλης αποκρίσεως και σταθερότητα στην ενίσχυση για κάθε συχνότητα. Στις πολύ χαμηλές και τις πολύ υψηλές συχνότητες της περιοχής η ενίσχυση μειώνεται στο μηδέν περίπου και, με την επίδραση των χωρητικοτήτων ή αυτεπαγωγών, μπορεί να δημιουργηθεί μία πρόσθετη διαφορά φάσεως επί πλέον της φάσεως των 180°. Σ' αυτές τις συχνότητες, ο ενισχυτής παρουσιάζει αστάθεια στη λειτουργία του, από αρνητική δε η ανάδραση είναι δυνατό να γίνει θετική και ο ενισχυτής να μετατραπεί σε ταλαντωτή.

Η σταθερότητα ή αστάθεια του ενισχυτή καθορίζεται από το γινόμενο Αβ, το οποίο, όταν πλησιάζει τη μονάδα, με αύξηση της γωνίας φάσεως, προκαλεί την αστάθεια του ενισχυτή. Για τη σταθερότητα των ενισχυτών υπάρχουν διάφορα κριτήρια, όπως η συνθήκη Barkhausen, το διάγραμμα Bode και ο γραφικός έλεγχος, με βάση το κριτήριο Nyquist που αναφέρεται στο επόμενο κεφάλαιο.

Όταν η τάση ανασυζεύξεως u_{av} είναι ανάλογη προς το ανοδικό ρεύμα, τότε έχομε την ανάδραση ρεύματος. Στο κύκλωμα του σχήματος 4.15γ(α) η εναλλασσόμενη τάση που αναπτύσσεται στον R_K είναι ανάλογη με την εναλλασσόμενη συνιστώσα του ανοδικού ρεύματος. Αυτή η τάση συνδέεται σε σειρά με την u_g μεταξύ πλέγματος και καθόδου και, επειδή είναι αντίθετη με την u_g αφαιρείται από αυτήν με αποτέλεσμα τη μείωση της ενισχύσεως και βελτίωση στη λειτουργία του ενισχυτή. Έτσι, η αφαίρεση του πυκνωτή καθόδου αποτέλεσμα έχει την εφαρμογή αρνητικής αναδράσεως ρεύματος. Στο σχήμα 4.15γ(β) ο R_K χωρίζεται σε δύο τμήματα και εφαρμόζεται μικρότερη ανάδραση.



Σχ. 4.15γ.
Κύκλωμα ενισχυτή με αρνητική ανάδραση ρεύματος.

Η ανάδραση μπορεί να είναι και μικτή, δηλαδή τάσεως και ρεύματος. Η αρνητική ανάδραση μπορεί να εφαρμοσθεί σε ένα κύκλωμα, αν συνδεθεί η άνοδος με το πλέγμα μέσω πυκνωτή και αντιστάτη κατάλληλης τιμής. Ανάδραση μπορεί να εφαρμόζεται για τη βελτίωση σε ορισμένες συχνότητες ή για λειτουργία ρυθμιστή τόνου φωνής. Η ανάδραση μπορεί να εφαρμοσθεί και σε ενισχυτές με πέντοδες λυχνίες, με τα ίδια αποτελέσματα.

Ανάδραση μπορεί να εφαρμοσθεί και μεταξύ περισσοτέρων βαθμίδων της συσκευής. Για να μη πραγματοποιείται παρασιτική ανάδραση μεταξύ των βαθμίδων (αρνητική η θετική), χρησιμοποιούνται κυκλώματα αποζεύξεως με πυκνωτές μεγάλης χωρητικότητας, κυρίως στο τροφοδοτικό, που δίνει την τάση ανόδων (V_B).

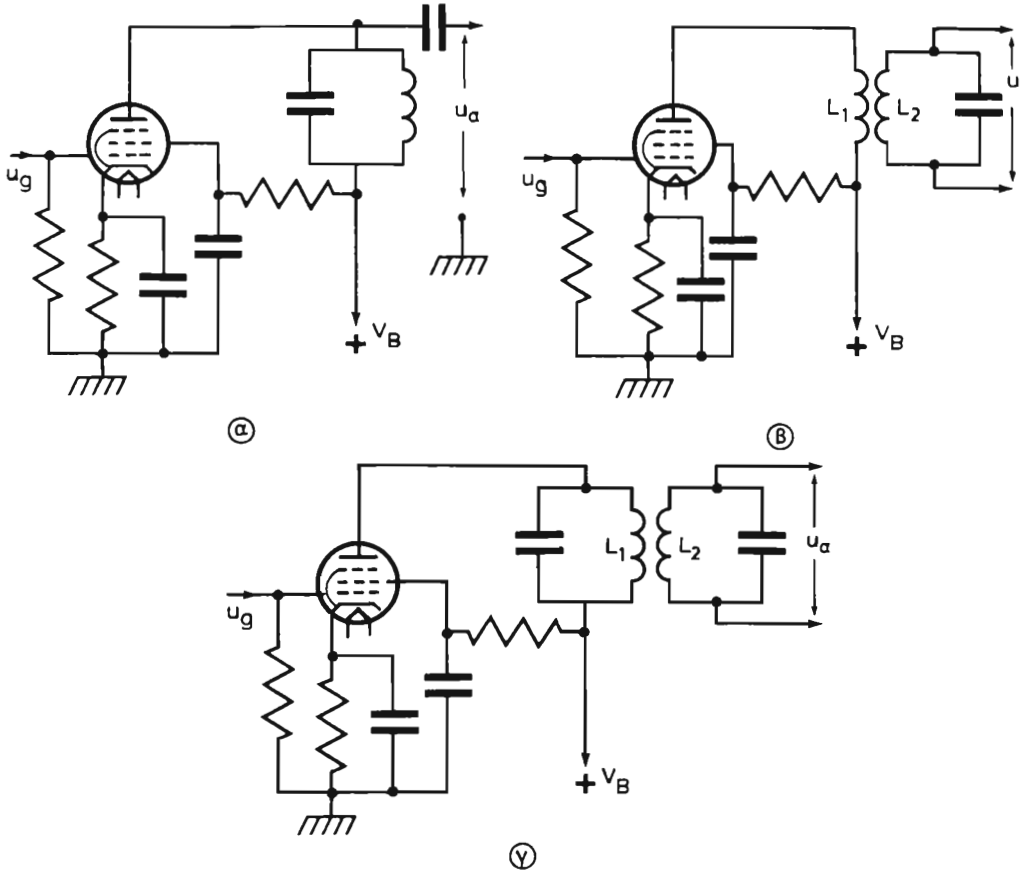
4.16 Ενισχυτές υψηλών συχνοτήτων.

Οι ενισχυτές υψηλών συχνοτήτων (Υ.Σ.) σκοπό έχουν να ενισχύσουν σήματα

συχνοτήτων πάνω από 100 χιλιόκυκλους και συγκεκριμένα μία στενή περιοχή που καθορίζεται από τα στοιχεία του ενισχυτή. Χαρακτηριστικό γνώρισμα αυτών των ενισχυτών είναι τα συντονισμένα κυκλώματα στην είσοδο και στην έξοδό τους. Έτσι η αντίσταση φόρτου δεν είναι ωμική αλλά σύνθετη Z_A, σχηματιζόμενη από ένα παράλληλο συντονισμένο κύκλωμα ή από ένα πηνίο.

Στους ενισχυτές Υ.Σ. χρησιμοποιούνται τρίοδες και πέντοδες λυχνίες. Στις τρίοδες η ενίσχυση περιορίζεται στις πολύ υψηλές συχνότητες, με τη δράση των ενδοχωρητικοτήτων της λυχνίας. Γι' αυτό οι τρίοδες λειτουργούν σε κυκλώματα με εξουδετέρωση ή σε σύνδεση κοινού πλέγματος, τα οποία αναφέρονται στην παράγραφο 4.19. Καλύτερα αποτελέσματα έχομε με τις πέντοδες που επιτυγχάνουν μεγαλύτερη ενίσχυση και έχουν πολύ μικρή ενδοχωρητικότητα ανόδου-οδηγού πλέγματος.

Στο σχήμα 4.16α φαίνονται τρία βασικά κυκλώματα ενισχυτών Υ.Σ.



Σχ. 4.16α.
Κυκλώματα ενισχυτών υψηλών συχνοτήτων.

Στο (α) κύκλωμα το ανοδικό φορτίο είναι ένα παράλληλο συντονιζόμενο κύκλωμα, τα στοιχεία L και C του οποίου καθορίζουν την προς ενίσχυση συχνότητα F_0. Στην παράγραφο 1.5 είχαμε δει τη συμπεριφορά του παράλληλου κυκλώματος.

Η αντίστασή του γίνεται μέγιστη στη συχνότητα συντονισμού και ίση με $Z_A = L\omega_0 \cdot Q$. Έτσι ο ενισχυτής θα παρουσιάζει τη μέγιστη ενίσχυση στη συχνότητα συντονισμού F_0, γιατί εκεί θα έχει τη μεγαλύτερη αντίσταση φόρτου, ενώ στις άλλες συχνότητες η Z_A θα γίνεται μικρή και θα μειώνει και την ενίσχυση, γιατί η ενίσχυση στην πέντοδη λυχνία είναι κατά προσέγγιση:

$$A \cong G_m \cdot Z_A \cong G_m \cdot L\omega_0 \cdot Q \qquad (4.23)$$

Η καμπύλη αποκρίσεως του ενισχυτή είναι αυτή του σχήματος 4.16β(α) και μοιάζει με την καμπύλη συντονισμού (του Z) του παράλληλου κυκλώματος. Το εύρος των ενισχυομένων συχνοτήτων καθορίζεται από το Q του κυκλώματος, το οποίο τώρα είναι μειωμένο, λόγω της συζεύξεως με την επόμενη βαθμίδα.

Η λυχνία χρησιμοποιεί αυτοπόλωση από την κάθοδο και στο προστατευτικό πλέγμα έχει τον αντιστάτη που ρυθμίζει ώστε η τάση προστατευτικού πλέγματος να είναι περίπου η μισή από την τάση ανόδου και τον πυκνωτή αποζεύξεως, για να διαρρέουν οι εναλλασσόμενες συνιστώσες του προστατευτικού πλέγματος.

Στο σχήμα 4.16α(β) φαίνεται μία άλλη μορφή ενισχυτή Υ.Σ. Στο ανοδικό κύκλωμα έχει ένα πηνίο L_1 που βρίσκεται σε σύζευξη με το πηνίο του κυμαινόμενου κυκλώματος L_2C και μαζί αποτελούν το ανοδικό φορτίο Z_A του ενισχυτή. Η ενίσχυση δίνεται τώρα από τη σχέση:

$$A = G_m \cdot M\omega_0 \cdot Q \qquad (4.24)$$

όπου M είναι ο συντελεστής αμοιβαίας επαγωγής και Q ο συντελεστής ποιότητας του κυμαινόμενου κυκλώματος, υποβιβασμένος λόγω της συζεύξεως και της αντιστάσεως εισόδου της επόμενης βαθμίδας.

Η ενίσχυση A και το φάσμα των ενισχυομένων συχνοτήτων καθορίζεται από το συντελεστή αμοιβαίας επαγωγής, που εξαρτάται από την απόσταση των πηνίων L_1 και L_2. Η καμπύλη αποκρίσεως του ενισχυτή είναι όπως του σχήματος 4.16β(α) και μπορεί να έχει οξύτερο συντονισμό (μικρότερο ΔF).

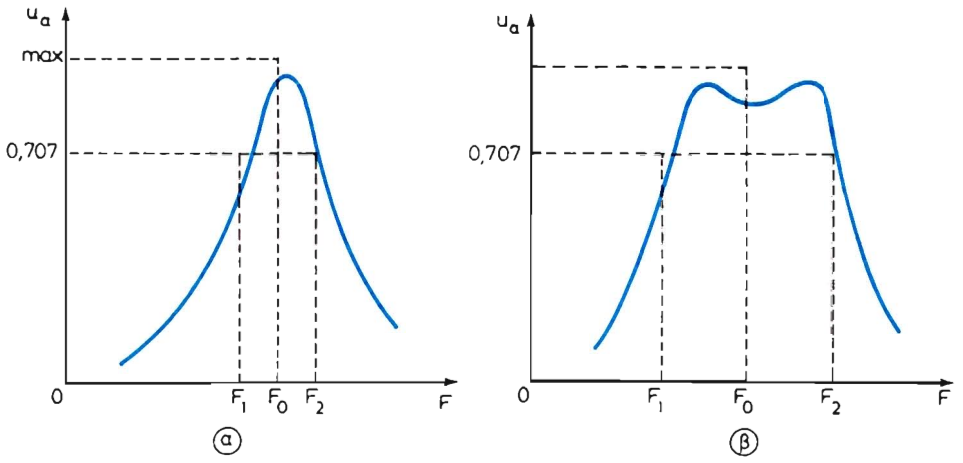
Μία άλλη μορφή ενισχυτή είναι αυτή του σχήματος 4.16α(γ), η οποία έχει δύο συντονισμένα κυκλώματα σε σύζευξη. Το ένα κύκλωμα είναι στην άνοδο του ενισχυτή και το άλλο συνδέεται στο πλέγμα της επόμενης λυχνίας ή στο φορτίο. Αυτή η μορφή ενισχυτή χρησιμοποιείται στις βαθμίδες ενισχύσεως ενδιάμεσης συχνότητας των δεκτών με λυχνίες και των ραδιοφώνων, στις οποίες το φάσμα των ενισχυομένων συχνοτήτων είναι μεγάλο.

Στην παράγραφο 1.6 είχαμε δει τη συμπεριφορά των κυκλωμάτων αυτών. Η σύζευξη εδώ μπορεί να είναι κρίσιμη η λίγο υπερκρίσιμη, ανάλογα με το απαιτούμενο ΔF. Η ενίσχυση επίσης καθορίζεται από το συντελεστή συζεύξεως K και για την κρίσιμη σύζευξη είναι:

$$A = 0{,}5 \cdot G_m \sqrt{QL_1\omega_0 \cdot QL_2\omega_0} \qquad (4.25)$$

Παρατηρούμε ότι η ενίσχυση γίνεται η μισή από αυτήν που έχομε με ένα συντονισμένο κύκλωμα, στην πρώτη περίπτωση. Μπορούμε όμως να θυσιάσομε την ενίσχυση για να κερδίσομε το μεγάλο ΔF.

Οι παραπάνω ενισχυτές είναι τάσεως με αντίστοιχες λυχνίες ενισχύτριες τάσεως, που μπορεί να είναι και πέντοδες μεταβλητού μ. Τα ίδια κυκλώματα με μι-



Σχ. 4.16β.
Καμπύλες αποκρίσεως ενισχυτών Υ.Σ.

κρές παραλλαγές μπορεί να έχομε και στους ενισχυτές ισχύος Υ.Σ. Στην περίπτωση αυτή χρησιμοποιούνται λυχνίες πέντοδες ή τέτροδες αντίστοιχης ισχύος.

Οι ενισχυτές ισχύος Υ.Σ. εργάζονται σε τάξη Β ή C για βελτίωση της αποδόσεως. Με την επίδραση του συντονισμένου κυκλώματος ανόδου, το παραμορφωμένο σήμα εξόδου βελτιώνεται, με αποτέλεσμα να μην εμφανίζεται και να μην επιδρά η παραμόρφωση στο ενισχυμένο σήμα εξόδου. Τα κυκλώματα ενισχύσεως ισχύος Υ.Σ. θα συναντήσομε επίσης στο έκτο κεφάλαιο.

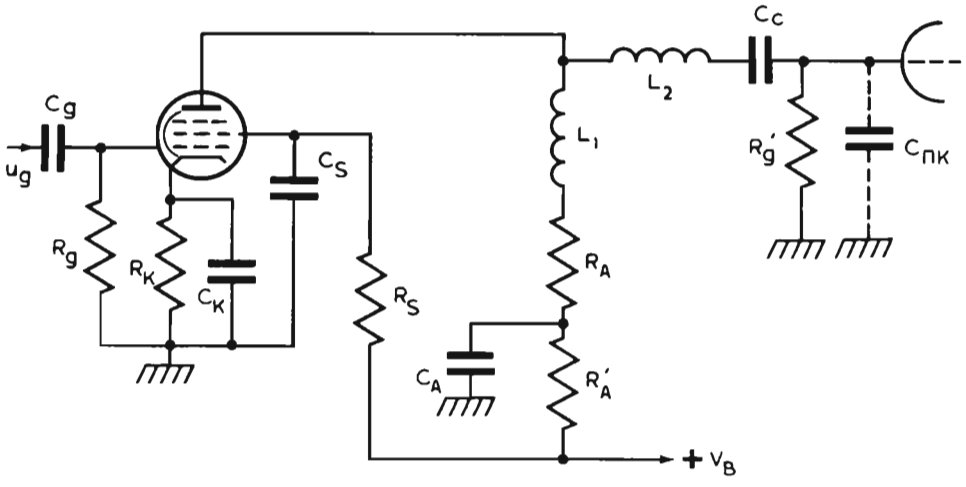
4.17 Ενισχυτής ευρείας περιοχής.

Ο ***ενισχυτής ευρείας περιοχής*** (video amplifier), χρησιμοποιείται σε πολλά συστήματα αλλά και σε συσκευές που έχουν οθόνη, όπως στο RADAR, στην τηλεόραση, στους παλμογράφους κλπ. Αυτές οι συσκευές εργάζονται κυρίως με παλμούς ρευμάτων μικρής και μεγάλης διάρκειας. Οι παλμοί αποτελούνται από εναλλασσόμενα ρεύματα μεγάλου φάσματος, από πολύ χαμηλές συχνότητες 10 περίπου κύκλων ως 5 περίπου μεγακύκλων. Έτσι, οι ενισχυτές που θα χρησιμοποιηθούν πρέπει να έχουν την ικανότητα να ενισχύσουν αυτό το μεγάλο φάσμα συχνοτήτων.

Οι ενισχυτές αυτοί είναι της μορφής ενισχυτών ακουστικών συχνοτήτων με R και C, στους οποίους επέρχονται ορισμένες βελτιώσεις. Ένας τέτοιος ενισχυτής φαίνεται στο σχήμα 4.17. Το κύριο ανοδικό φορτίο του ενισχυτή είναι ο αντιστάτης R_A.

Ο αντιστάτης R'_A τοποθετείται για να αυξάνει την R_A στις πολύ χαμηλές συχνότητες και να αυξάνει η ενίσχυση. Στις υψηλότερες συχνότητες η R'_A εξουδετερώνεται από τον παράλληλό της πυκνωτή C_A, ο οποίος παρουσιάζει πολύ μικρή αντίσταση.

Στις υψηλές συχνότητες αυξάνει η R_A, γιατί αυξάνει η επαγωγική αντίδραση του L_1 που είναι σε σειρά με την R_A και έτσι αυξάνει και η ενίσχυση. Σε ακόμη υψηλότερες συχνότητες, προς τους 4 μεγάκυκλους, το L_2 συντονίζει σε σειρά με



Σχ. 4.17.
Κύκλωμα ενισχυτή video.

την παρασιτική χωρητικότητα $C_{ΠK}$ της επόμενης λυχνίας και παρουσιάζεται μία υπέρταση στις άκρες της αυξάνοντας έτσι το σήμα εξόδου. Στις ενδιάμεσες συχνότητες ο ενισχυτής εργάζεται με την R_A μόνο. Οι λυχνίες που χρησιμοποιούνται είναι συνήθως πέντοδες με μεγάλη διαγωγιμότητα (G_m).

4.18 Ενισχυτής καθόδου.

Ο ***ενισχυτής καθόδου*** (cathode follower) είναι ενισχυτής με κοινή ή γειωμένη την άνοδο, όπως φαίνεται και στο σχήμα 4.18. Το σήμα εισόδου εφαρμόζεται μεταξύ πλέγματος και κοινού, ενώ η τάση εξόδου εμφανίζεται στην αντίσταση καθόδου που υπάρχει για την πόλωση και είναι συγχρόνως και αντίσταση φόρτου της λυχνίας. Η άνοδος, επειδή σ' αυτήν δεν υπάρχει αντίσταση φόρτου, συνδέεται απ' ευθείας στο θετικό σημείο της V_B. Έτσι, παίρνει το θετικό δυναμικό και, για την εναλλασσόμενη συνιστώσα, είναι γειωμένη μέσω της εσωτερικής αντιστάσεως της πηγής και του πυκνωτή μεγάλης χωρητικότητας C_A.

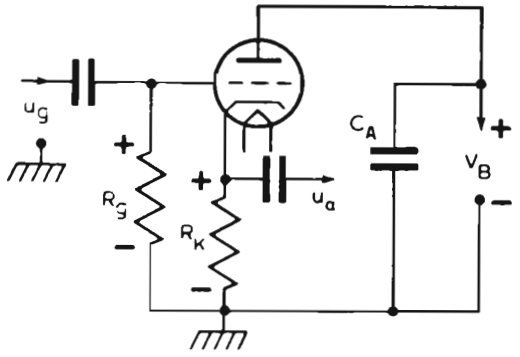
Σ' αυτό τον ενισχυτή εφαρμόζεται αρνητική ανάδραση ρεύματος 100%, όπως φαίνεται και από την πολικότητα των σημάτων πλέγματος κοινού και κοινού καθόδου, τα οποία συνδέονται σε σειρά μεταξύ πλέγματος-καθόδου. Η ενίσχυση γίνεται πολύ μικρή και είναι ίση με:

$$A' = \frac{A}{1 + A}$$

δηλαδή είναι μικρότερη από τη μονάδα. Ο συντελεστής ενισχύσεως μ και η εσωτερική αντίσταση ρ της λυχνίας γίνονται πολύ μικρότερα και είναι:

$$\mu' = \frac{\mu}{\mu + 1} \qquad (4.26)$$

$$\rho' = \frac{\rho}{\mu + 1} \qquad (4.27)$$



Σχ. 4.18.
Ενισχυτής καθόδου.

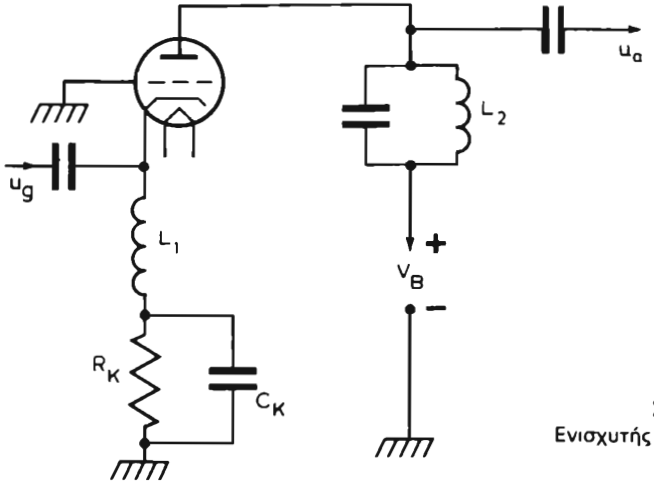
Έτσι δεν μπορούμε να πούμε ότι ο ενισχυτής αυτός πραγματοποιεί ενίσχυση τάσεως, αφού η τάση εξόδου θα είναι μικρότερη από την τάση εισόδου. Επειδή όμως μικραίνει η εσωτερική αντίσταση, θα μικραίνει πολύ και η αντίσταση εξόδου του ενισχυτή και ο ενισχυτής θα συμπεριφέρεται ως πηγή με μικρή αντίσταση, δηλαδή ως ενισχυτής ισχύος. Η αντίσταση εισόδου θα είναι πολύ μεγάλη και θα καθορίζεται περίπου από την τιμή της R_g.

Το σήμα εξόδου είναι συμφασικό με το σήμα εισόδου. Επειδή παρουσιάζει μεγάλη αντίσταση εισόδου και πολύ μικρή εξόδου, χρησιμοποιείται πολλές φορές ως μετασχηματιστής προσαρμογής μεταξύ δύο βαθμίδων, όπως στην περίπτωση ταλαντωτή και ενισχυτή ισχύος ή στην περίπτωση συνδέσεως ενισχυτή μεγάλης αντιστάσεως εξόδου με ενισχυτή μικρής αντιστάσεως εισόδου.

4.19 Ενισχυτής κοινού πλέγματος.

Σε έναν ενισχυτή Υ.Σ. με τρίοδη λυχνία σε σύνδεση κοινής καθόδου, η ενδοχωρητικότητα ανόδου πλέγματος ($C_{ΠΑ}$) παρουσιάζει μικρή αντίδραση, με αποτέλεσμα το σήμα εξόδου από την άνοδο να επιστρέφει στο πλέγμα δημιουργώντας αστάθεια στον ενισχυτή. Έτσι η ενίσχυση περιορίζεται στις πολύ υψηλές συχνότητες.

Στο σχήμα 4.19 φαίνεται το κύκλωμα μιας τρίοδης λυχνίας ενισχύτριας Υ.Σ. σε



Σχ. 4.19.
Ενισχυτής κοινού πλέγματος.

σύνδεση κοινού ή γειωμένου πλέγματος. Το πλέγμα γειώνεται για να εξουδετερώνεται η δράση της ενδοχωρητικότητας και από αυτήν η ανάδραση. Έτσι ο ενισχυτής, με την κατάλληλη τρίοδη λυχνία, μπορεί να ενισχύσει σήματα συχνότητας πάνω από 500 μεγάκυκλους.

Το σήμα εισόδου εφαρμόζεται μεταξύ καθόδου κοινού και επειδή το πλέγμα είναι γειωμένο, εφαρμόζεται μεταξύ καθόδου πλέγματος. Το σήμα εξόδου αναπτύσσεται στο συντονισμένο κύκλωμα ανόδου που είναι και η αντίσταση φόρτου του ενισχυτή. Ο R_K και ο C_K δημιουργούν την πόλωση της λυχνίας, ενώ το L_1 αντιπροσωπεύει την αντίσταση εισόδου της.

Η αντίσταση εισόδου είναι πολύ μικρή ενώ η αντίσταση εξόδου είναι πολύ μεγάλη, δηλαδή έχει αντίθετη συμπεριφορά από τον ενισχυτή καθόδου. Το σήμα εξόδου και εδώ είναι συμφασικό με το σήμα εισόδου. Η ενίσχυση είναι λίγο μεγαλύτερη από αυτή της κοινής καθόδου και είναι:

$$A = \frac{(\mu + 1) Z_A}{\rho + Z_A} \tag{4.28}$$

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΠΕΜΠΤΟ

ΤΑΛΑΝΤΩΤΕΣ

5.1 Γενικά.

Στο προηγούμενο κεφάλαιο είδαμε ότι, αν εφαρμόσομε μεγάλη θετική ανάδραση σε ένα ενισχυτή, η ενίσχυση γίνεται πολύ μεγάλη, ο ενισχυτής παρουσιάζει αστάθεια και, κάτω από ορισμένες συνθήκες, μετατρέπεται σε ταλαντωτή. Μετατρέπεται σε μία διάταξη που χωρίς σήμα στην είσοδο εμφανίζει στην έξοδό του εναλλασσόμενο ρεύμα, μετατρέποντας ένα μέρος από την ενέργεια της πηγής τροφοδοσίας συνεχούς ρεύματος V_B σε εναλλασσόμενο ρεύμα στην έξοδο. Με άλλα λόγια δηλαδή είναι μία ηλεκτρονική γεννήτρια εναλλασσόμενου ρεύματος.

Ο ταλαντωτής χρησιμοποιείται σε πολλές ηλεκτρονικές συσκευές και αποτελεί τη βασική και απαραίτητη βαθμίδα κάθε πομπού και κάθε υπερετερόδυνου δέκτη. Τά κύρια μέρη ενός ταλαντωτή είναι η ***λυχνία ή*** η ***κρυσταλλολυχνία*** και το ***στοιχείο ταλαντώσεων,*** που μπορεί να είναι παράλληλο συντονιζόμενο κύκλωμα με L και C, κύκλωμα με R και C ή κρύσταλλος χαλαζία.

Η συχνότητα των ταλαντώσεων μπορεί να είναι από λίγους κύκλους μέχρι εκατοντάδες μεγακύκλων, καθορίζεται δε από τις τιμές του στοιχείου ταλαντώσεων.

5.2 Συνθήκη ταλαντώσεων.

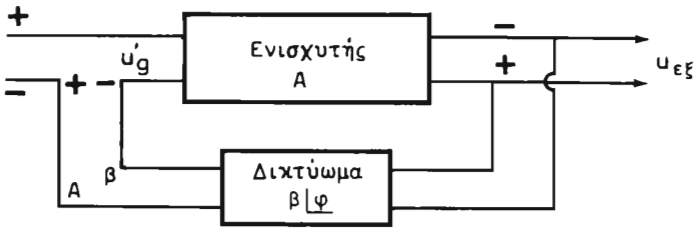
Όλοι σχεδόν οι ταλαντωτές είναι ενισχυτές, στους οποίους εφαρμόζεται κατάλληλη ανάδραση. Η ανάδραση πρέπει πρώτο να είναι θετική, δηλαδή το σήμα που θα επιστρέφει από την έξοδο στην είσοδο να είναι συμφασικό και δεύτερο, το ποσοστό της αναδράσεως να είναι τόσο, ώστε να εξασφαλίζει τη συντήρηση των ταλαντώσεων.

Όπως είναι γνωστό, ο ενισχυτής κοινής καθόδου δημιουργεί κατά τη λειτουργία του διαφορά φάσεως 180° στο σήμα εξόδου από το σήμα εισόδου. Το παθητικό δικτύωμα αναδράσεως με την κατάλληλη κατασκευή του πρέπει να δημιουργεί διαφορά φάσεως 180°. Η ολική δημιουργούμενη διαφορά φάσεως εξόδου-εισόδου θα είναι 180° + 180° = 360° ή 0°. Έτσι η ανάδραση θα είναι θετική.

Η ολική απολαβή A′ σε ένα ενισχυτή με ανάδραση δίνεται από τη γενική σχέση:

$$A' = \frac{A}{1 - A\beta} \qquad (5.1)$$

όπου: A η ενίσχυση χωρίς ανάδραση και β το ποσοστό αναδράσεως που πραγματοποιείται με το παθητικό δικτύωμα (σχ. 5.2α). Στη θετική ανάδραση, το 1 − Aβ είναι μικρότερο της μονάδας και το A′ γίνεται πολύ μεγαλύτερο από το A. Η καμπύλη



Σχ. 5.2α.
Ενισχυτής με ανάδραση.

αποκρίσεως του ενισχυτή στενεύει με αύξηση της επιλεκτικότητας και, σε μία ορισμένη συχνότητα που καθορίζεται από τα στοιχεία του LC ή RC, η ευαισθησία του γίνεται πολύ μεγάλη. Αν στη συχνότητα αυτή έχομε την ισότητα $A\beta = 1 + j0$, η ενίσχυση A΄ γίνεται άπειρη και ο ενισχυτής γίνεται ταλαντωτής.

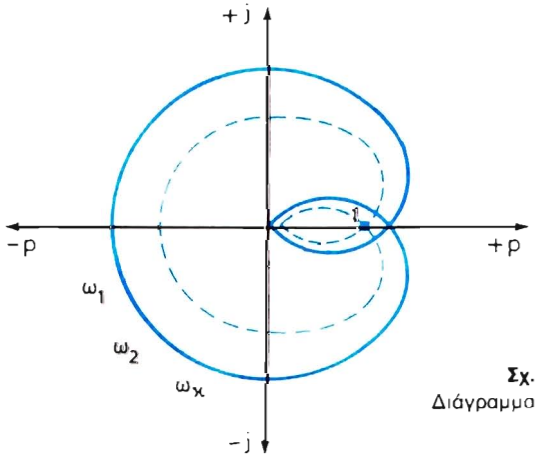
Η τάση εξόδου του $u_α$ είναι ανεξάρτητη από οποιοδήποτε εξωτερικό σήμα εισόδου u_g. Μία τυχαία μεταβολή ρεύματος ή ένας θόρυβος που δημιουργείται στο κύκλωμα του ενισχυτή και αντιστοιχεί στη συχνότητα $ω_0$, θέτει σε λειτουργία τον ταλαντωτή.

Το απαραίτητο ποσοστό αναδράσεως για τη λειτουργία του ταλαντωτή καθορίζει η συνθήκη Barkhausen:

$$A\,(j\omega)\,.\,\beta\,(j\omega) = 1 \qquad (5.2)$$

με την οποία ο παράγοντας αναδράσεως Αβ, στην ορισμένη συχνότητα, γίνεται ίσος με τη μονάδα. Αν το Αβ γίνει μικρότερο της μονάδας, οι ταλαντώσεις φθίνουν και σταματούν.

Ο έλεγχος της σταθερότητας του ενισχυτή και η μετατροπή του σε ταλαντωτή μπορεί να επιτευχθεί και με γραφική απεικόνιση, με βάση το κριτήριο του Nyquist. Ο παράγοντας αναδράσεως Αβ είναι μιγαδικός αριθμός που μεταβάλλεται με τη συχνότητα, και για κάθε συχνότητα έχομε μέτρο και όρισμα της Α. Μεταβάλλοντας τη συχνότητα ω στον ενισχυτή με ανάδραση, χαράζομε την καμπύλη του σχήματος 5.2β που είναι ο γεωμετρικός τόπος των σημείων της γενικής εξισώσεως:



Σχ. 5.2β.
Διάγραμμα του Nyquist.

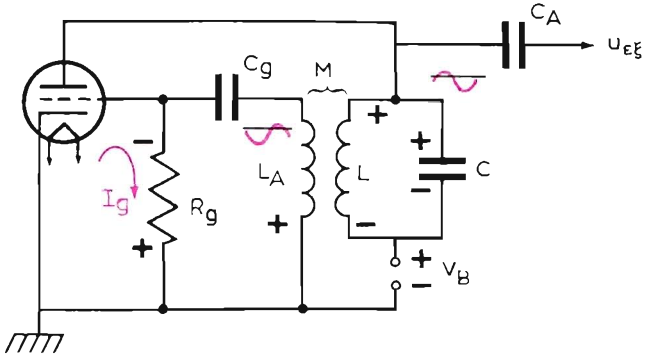
$$W(j\omega) = A(j\omega) \cdot \beta(j\omega)$$

που είναι το διάγραμμα Nyquist και περικλείει το μιγαδικό επίπεδο W.

Αν η καμπύλη περνά από το σημείο 1 + jo, ο ενισχυτής παρουσιάζει αστάθεια και τείνει να αυτοταλαντωθεί. Αν η καμπύλη περιβάλλει το σημείο 1 + jo, τότε ο ενισχυτής μετατρέπεται σε ταλαντωτή με σταθερό πλάτος ταλαντώσεων χωρίς εξωτερική διέγερση. Όταν η καμπύλη δεν περιβάλλει το σημείο 1 + jo, τότε ο ενισχυτής παρουσιάζει σταθερότητα στην ενίσχυση και δεν ταλαντεύεται.

5.3 Λειτουργία του ταλαντωτή.

Το σχήμα 5.3 είναι το κύκλωμα ενός ταλαντωτή με L και C με συντονισμένη την άνοδο. Μοιάζει με ενισχυτή Υ.Σ. με τρίοδη λυχνία και με παράλληλο συντονισμένο κύκλωμα για ανοδικό φορτίο. Στο πλέγμα δεν εφαρμόζεται καμία εξωτερική διέγερση, αλλά το πηνίο πλέγματος L_A είναι σε σύζευξη με το πηνίο L του ανοδικού κυκλώματος. Τα πηνία έχουν αντίθετη περιέλιξη μεταξύ τους, με αποτέλεσμα ο συντελεστής αμοιβαίας επαγωγής M να είναι αρνητικός. Με αυτό τον τρόπο η τάση που θα αναπτυχθεί από το L στο L_A θα έχει διαφορά φάσεως 180°. Επειδή η σύνδεση είναι ενισχυτή κοινής καθόδου, το σήμα ανόδου με το σήμα πλέγματος θα έχουν διαφορά φάσεως 180°, οπότε το σήμα που θα επιστρέψει από την άνοδο στο πλέγμα θα έχει διαφορά φάσεως 180° + 180° = 360°, ή 0°, δηλαδή θα είναι συμφασικό. Επομένως με το −M επιτυγχάνεται η πρώτη συνθήκη του ταλαντωτή, η θετική ανάδραση.



Σχ. 5.3.
Ταλαντωτής συντονισμένης ανόδου.

Η απόσταση των πηνίων L και L_A και ο αριθμός σπειρών του L_A καθορίζουν την τιμή του M, από το οποίο θα πετύχομε το αντίστοιχο β για τη συνθήκη Barkhausen, γιατί το β εξαρτάται από την επίδραση του L στο L_A. Αν u_g η τάση στις άκρες του L_A και u_a η τάση στις άκρες του L, έχομε:

$$u_a = \frac{d}{dt}(i_L e^{j\omega t}) = j\omega L i_L \qquad (5.3)$$

και

$$u_g = -M\frac{d}{dt}(i_L e^{j\omega t}) = -j\omega M i_L \qquad (5.4)$$

από τις οποίες έχομε: $$\beta = \frac{u_g}{u_a} = -\frac{M}{L} \qquad (5.5)$$

Η συχνότητα λειτουργίας του ταλαντωτή και της τάσεως εξόδου του καθορίζεται με μεγάλη προσέγγιση από τα στοιχεία L και C του συντονισμένου κυκλώματος ανόδου και είναι:

$$\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}} \quad \text{ή} \quad F_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{L \cdot C}} \qquad (5.6)$$

Για τον υπολογισμό της F_0 πρέπει να λαμβάνεται υπόψη και η επίδραση της ενδοχωρητικότητας της λυχνίας, της χωρητικότητας καλωδιώσεων και των λοιπών στοιχείων της βαθμίδας.

Λειτουργία του ταλαντωτή. Ο ταλαντωτής αρχίζει να εργάζεται αμέσως, με την εφαρμογή της τάσεως ανόδου V_B. Το ρεύμα ανόδου που περνά από το πηνίο L, από τη μηδενική του τιμή πάει να φθάσει την κανονική του τιμή I_0 σε ελάχιστο χρόνο. Είναι επομένως μεταβαλλόμενο με μεγάλη ταχύτητα καί λόγω της αυτεπαγωγής του L θα δημιουργήσει μία τάση στις άκρες του E_L, η οποία θα φορτίσει και τον παράλληλο πυκνωτή C. Στη συνέχεια, το ρεύμα ανόδου θα φθάσει την κανονική του τιμή και θα πάψει να μεταβάλλεται. Θα πάψει έτσι να δημιουργείται τάση λόγω αυτεπαγωγής στις άκρες του πηνίου. Ο πυκνωτής C όμως βρίσκεται φορτισμένος και θα εκφορτισθεί στο παράλληλο πηνίο L, αρχίζοντας ταλαντώσεις στο κυμαινόμενο κύκλωμα ανόδου, όπως είδαμε στην παράγραφο 1.3.

Το L βρίσκεται σε σύζευξη με το L_A και θα δημιουργήσει σ' αυτό μία τάση λόγω επαγωγής, που θα έχει την ίδια συχνότητα με αυτή των ταλαντώσεων. Η τάση αυτή είναι το σήμα διεγέρσεως της λυχνίας, το οποίο θα ενισχυθεί από αυτή και θα εμφανισθεί στις άκρες του ανοδικού φορτίου, που είναι το κυμαινόμενο κύκλωμα LC. Το ανοδικό σήμα εξόδου u_a είναι συμφασικό με την ελεύθερη κύμανση του συντονισμένου κυκλώματος, όπως φαίνεται και από τις πολικότητες στις άκρες των πηνίων.

Αν δεν υπήρχε η λυχνία, οι ταλαντώσεις του κυμαινόμενου κυκλώματος LC θα ήταν αποσβενόμενες και θα σταματούσαν. Η λυχνία όμως συντηρεί τις ταλαντώσεις αναπληρώνοντας τις απώλειες του κυμαινόμενου κυκλώματος και τις καθιστά σταθερού πλάτους. Μπορούμε να πούμε επομένως ότι το κυμαινόμενο κύκλωμα LC καθορίζει και παράγει τις ταλαντώσεις και η λυχνία τις συντηρεί.

Η συντήρηση των ταλαντώσεων επιτυγχάνεται με τη θετική ανάδραση που πραγματοποιείται. Έστω ότι η πολικότητα της E_L στο L είναι η σημειούμενη στο σχήμα 5.3 με συν (+) επάνω και μείον (—) κάτω. Με την αντίθετη περιέλιξη των πηνίων, η τάση που θα αναπτυχθεί στο L_A θα έχει (—) επάνω και (+) κάτω. Θα έχουν δηλαδή διαφορά φάσεως 180°. Η λυχνία με τη λειτουργία της θα δημιουργήσει άλλες 180° διαφορά φάσεως, με αποτέλεσμα το σήμα που επιστρέφει να έχει φάση 360° ή 0°, δηλαδή να είναι συμφασικό.

5.4 Αυτοπόλωση στον ταλαντωτή.

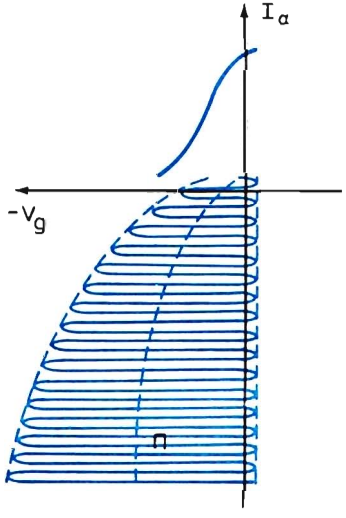
Στο κύκλωμα του σχήματος 5.3 φαίνεται ότι δεν υπάρχει αυτοπόλωση από την κάθοδο ή από εξωτερική πηγή. Κατά τη λειτουργία της βαθμίδας θα δημιουργηθεί αυτοπόλωση πλέγματος. Με την έναρξη της λειτουργίας η πόλωση είναι μηδέν και η διαγωγιμότητα μεγάλη, πράγμα που αποτελεί απαραίτητη προϋπόθεση για την έ-

ναρξη της λειτουργίας του ταλαντωτή.

Με τη δημιουργία της ελεύθερης ταλαντώσεως στο ανοδικό συντονισμένο κύκλωμα LC, επάγεται στο πηνίο του πλέγματος L_A ένα μέρος από αυτό το παραγόμενο εναλλασσόμενο ρεύμα, το οποίο γίνεται σήμα εισόδου της λυχνίας u_g. Στην αρχή το σήμα αυτό είναι μικρό και με τη θετική ανάδραση γίνεται μεγάλο. Έτσι, η ελεύθερη ταλάντωση του LC από μειούμενη που θα ήταν, με την επίδραση της λυχνίας και τη θετική ανάδραση, γίνεται αυξανόμενη.

Στις θετικές ημιπεριόδους του σήματος εισόδου, το πλέγμα γίνεται θετικό. Ένα ρεύμα από την κάθοδο θα κινηθεί προς το πλέγμα και από αυτό προς το κοινό μέσα από τον R_g, δημιουργώντας μείον (—) επάνω και συν (+) κάτω,δηλαδή την αυτοπόλωση της λυχνίας, όπως αναφέρθηκε στην παράγραφο 4.4 (αυτοπόλωση πλέγματος με τον R_c και C_g).

Στην αρχή της λειτουργίας, το σήμα εισόδου είναι μικρό και επομένως και η πόλωση μικρή. Με τη λειτουργία, το σήμα εισόδου αυξάνει και με αυτό και η πόλωση, όπως φαίνεται στο σχήμα 5.4 (η διακοπτόμενη γραμμή Π αντιστοιχεί στην τιμή της πολώσεως). Έτσι η πόλωση, από μηδέν γίνεται τάξεως Α, τάξεως Β και καταλήγει συνήθως σε τάξη C, όπου θα σταθεροποιηθεί σε μία τιμή που εξαρτάται από την τιμή του R_g και από την αμοιβαία επαγωγή των πηνίων Μ.



Σχ. 5.4.
Μεταβολή της πολώσεως.

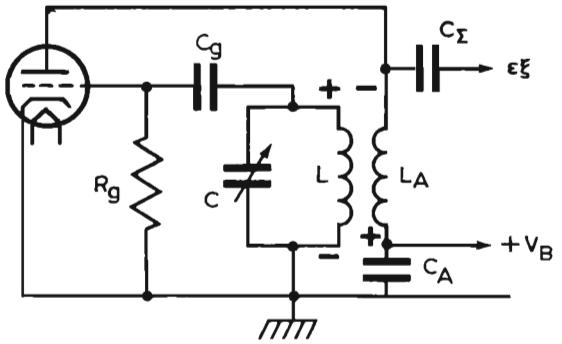
Στους ταλαντωτές δεν εφαρμόζομε αυτοπόλωση από την κάθοδο ή εξωτερική πόλωση σε τάξη Α ή Β ή C, γιατί τότε είναι αδύνατη η έναρξη των ταλαντώσεων, λόγω μικρού ανοδικού ρεύματος και μικρής διαγωγιμότητας. Χαρακτηριστικό της λειτουργίας των ταλαντωτών LC είναι το ότι εργάζονται με θετικό δυναμικό στο πλέγμα, στις θετικές ημιπεριόδους του σήματος εισόδου, για τη δημιουργία της αυτοπολώσεως. Επομένως το αρνητικό δυναμικό στο πλέγμα της λυχνίας ή η ροή ρεύματος μέσα από τον R_g, είναι ένδειξη ότι ο ταλαντωτής λειτουργεί.

5.5 Κυκλώματα ταλαντωτών με L και C.

Το κύκλωμα του σχήματος 5.3 είναι γνωστό ως ***κύκλωμα ταλαντωτή συντονισμένης ανόδου*** (Tuned plate oscillator). Υπάρχει μεγάλη ποικιλία κυκλωμάτων στη συνέχεια δε θα αναφερθούν μερικά βασικά από αυτά.

α) Ταλαντωτής συντονισμένου πλέγματος (Tuned grid os.) ή ταλαντωτής του Armstrong.

Μοιάζει με τον προηγούμενο, με τη διαφορά ότι το συντονισμένο κύκλωμα βρίσκεται στο πλέγμα, όπως φαίνεται στο σχήμα 5.5α. Η έναρξη των ταλαντώσεων γίνεται με την κίνηση του ρεύματος ανόδου μέσα από το L_A, που επάγει τάση στο L και φορτίζει τον C. Όταν το ρεύμα ανόδου παύσει να μεταβάλλεται, παύει να δημιουργείται τάση στο L και ο πυκνωτής C εκφορτίζεται στο L, αρχίζοντας τις ταλαντώσεις. Η αυτοπόλωση σχηματίζεται και εδώ με τον R_g και C_g. Για να μπορούμε να αλλάζομε τη συχνότητα ταλαντώσεων ο C είναι μεταβλητός.



Σχ. 5.5α.
Ταλαντωτής συντονισμένου πλέγματος.

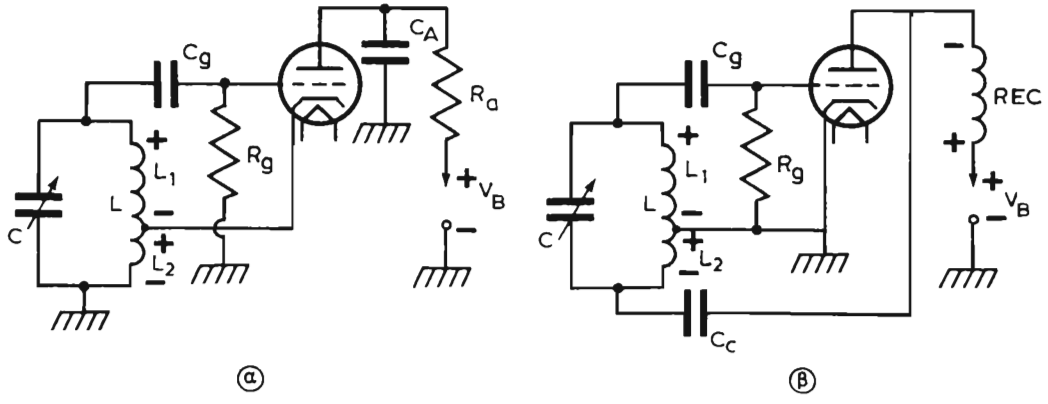
β) Ταλαντωτής Hartley.

Χαρακτηριστικό γνώρισμα του ταλαντωτή αυτού είναι η λήψη που υπάρχει στο πηνίο ταλαντώσεων. Εδώ δεν υπάρχει πρωτεύον και δευτερεύον τύλιγμα, αλλά το ίδιο πηνίο λειτουργεί ως αυτομετασχηματιστής. Έχομε τον ταλαντωτή σειράς, που φαίνεται στο σχήμα 5.5β(α) και τον παράλληλο [σχ. 5.5β(β)].

Το κύκλωμα (α) λέγεται ***σειράς,*** γιατί το ανοδικό ρεύμα της λυχνίας I_a περνά μέσα από το πηνίο L_2 που είναι έτσι σε σειρά με την κάθοδο, ενώ στο (β) το πηνίο είναι παράλληλα στη λυχνία μέσω του πυκνωτή C_c.

Το κύκλωμα (α) λειτουργεί ως ενισχυτής γειωμένης (κοινής ανόδου) γιατί η άνοδος γειώνεται με τον C_A, για την εναλλασσόμενη συνιστώσα. Η έναρξη των ταλαντώσεων γίνεται καθώς το ανοδικό ρεύμα περνά μέσα από το L_2 και είναι μεταβαλλόμενο. Αναπτύσσεται στο L τάση εξ επαγωγής που φορτίζει το C. Στη συνέχεια το ρεύμα, όταν λάβει την κανονική του τιμή, παύει να μεταβάλλεται, παύει να αναπτύσσεται τάση στο L και ο C εκφορτίζεται στο L, αρχίζοντας τις ταλαντώσεις. Η συντήρηση των ταλαντώσεων γίνεται με τη θετική ανάδραση που δημιουργείται στο L_1 και L_2 και στη λυχνία.

Το κύκλωμα (β) λειτουργεί ως ενισχυτής κοινής καθόδου. Το πηνίο RFC είναι ανοδικό φορτίο της λυχνίας και λέγεται ***στραγγαλιστικό πηνίο υψηλής συχνότητας.*** Λειτουργεί ως μεγάλη αντίσταση ανόδου Z_A στη συχνότητα λειτουργίας του ταλαντωτή. Η έναρξη των ταλαντώσεων γίνεται με τη μεταβολή του ανοδικού ρεύματος, η οποία δημιουργεί στις άκρες του RFC μια διαφορά δυναμικού, όπως στο σχήμα. Με τον πυκνωτή C_c αυτή η πολικότητα εφαρμόζεται στις άκρες του L_2,

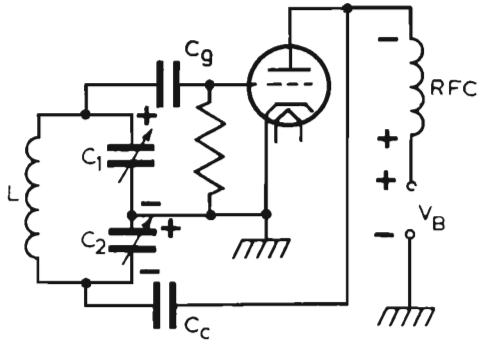


Σχ. 5.5β.
Ταλαντωτής Hartley σειράς (α) και παράλληλος (β).

οπως στο σχήμα, αυτό δε δημιουργεί με τη σειρά του εξ επαγωγής τάση στις άκρες των L με την πολικότητα του σχήματος. Αυτή η τάση φορτίζει τον C και, όταν παύσει η μεταβολή του ανοδικού ρεύματος, ο C εκφορτίζεται στο L αρχίζοντας τις ταλαντώσεις. Η συντήρηση των ταλαντώσεων επιτυγχάνεται με τη θετική ανάδραση που δημιουργείται στα L_1 και L_2 και στη λυχνία.

γ) Ταλαντωτής Colpitts.

Ο ταλαντωτής αυτός μοιάζει με τον παράλληλο Hartley μόνο που, αντί να έχει λήψη στο πηνίο του ταλαντευόμενου κυκλώματος, έχει λήψη στον πυκνωτή. Έτσι ο πυκνωτής C του κυκλώματος LC αποτελείται από δύο πυκνωτές C_1 και C_2 σε σειρά, όπως φαίνεται στο σχήμα 5.5γ.



Σχ. 5.5γ.
Ταλαντωτής Colpitts.

Η έναρξη και η συντήρηση των ταλαντώσεων γίνεται όπως και στον παράλληλο Hartley περίπου, γιατί το σήμα αναδράσεως επιστρέφει από την άνοδο στο κυμαινόμενο κύκλωμα με τον C_c. Εκεί αντιστρέφεται η πολικότητά του στις άκρες των δύο πυκνωτών όπως φαίνεται στο σχήμα και γίνεται θετική ανάδραση.

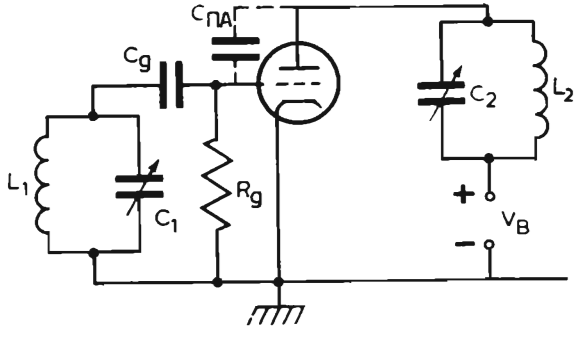
Ο ταλαντωτής αυτός χρησιμοποιείται για πολύ υψηλές συχνότητες, όπου γίνεται

χρήση των ενδοχωρητικοτήτων καθόδου-πλέγματος στη θέση του C_1 και καθόδου ανόδου στη θέση του C_2. Έτσι, τοποθετείται μόνο το πηνίο L, το οποίο συντονίζει με τις ενδοχωρητικότητες.

δ) Ταλαντωτής συντονισμένης ανόδου-συντονισμένου πλέγματος (Tuned Plate-Tuned Grid, T.P.T.G.).

Ένας τέτοιος ταλαντωτής φαίνεται στο σχήμα 5.5δ. Στην άνοδο και στο πλέγμα έχει συντονισμένα κυκλώματα τα οποία συντονίζουν στην ίδια περίπου συχνότητα. Τα δύο κυκλώματα δεν βρίσκονται σε σύζευξη μεταξύ τους και η ανάδραση γίνεται με την ενδοχωρητικότητα ανόδου πλέγματος.

Για να γίνει θετική η ανάδραση, πρέπει το ανοδικό κύκλωμα να συντονίζει σε υψηλότερη συχνότητα από αυτή που συντονίζει το κυμαινόμενο κύκλωμα πλέγματος. Έτσι, το ανοδικό κύκλωμα παρουσιάζει επαγωγική συμπεριφορά με προπορεία της τάσεως, η οποία με την ανακύκλωση γίνεται συμφασική με το σήμα εισόδου. Η παραγόμενη συχνότητα καθορίζεται από το συντονισμένο κύκλωμα πλέγματος L_1C_1.



Σχ. 5.5δ.
Ταλαντωτής T.P.T.G.

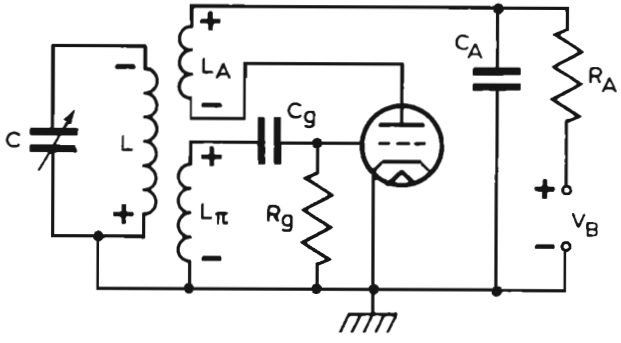
ε) Ταλαντωτής Meissner.

Στο σχήμα 5.5ε φαίνεται το κύκλωμα του ταλαντωτή αυτού. Η συχνότητα των ταλαντώσεων καθορίζεται από το κυμαινόμενο κύκλωμα L και C, το οποίο βρίσκεται σε επαγωγική σύζευξη με το πηνίο πλέγματος L_π και το πηνίο ανόδου L_A.

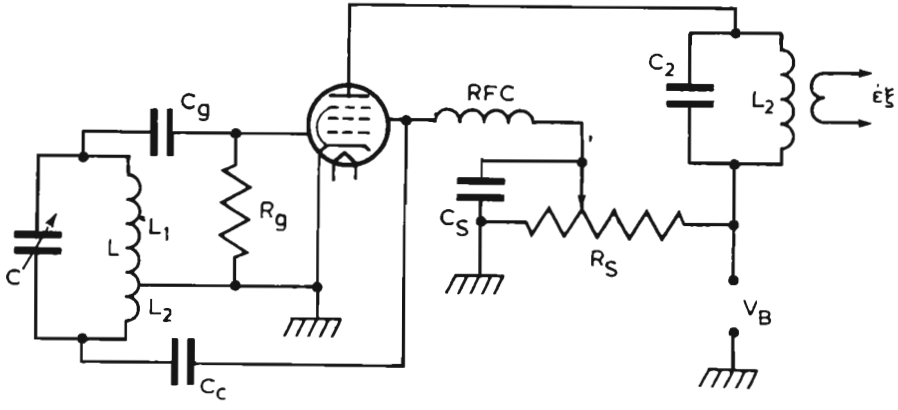
Η έναρξη των ταλαντώσεων γίνεται με τη μεταβολή του ανοδικού ρεύματος στο L_A, που επάγει τάση στο L και δημιουργεί την έναρξη των ταλαντώσεων στο κυμαινόμενο κύκλωμα L και C. Η θετική ανάδραση γίνεται με το κυμαινόμενο κύκλωμα που μεταφέρει το σήμα αναδράσεως από το πηνίο ανόδου L_A στο πηνίο πλέγματος L_π, όπως φαίνεται και με την πολικότητα που σημειώνεται. Ο R_A και C_A είναι κύκλωμα αποζεύξεως της ανόδου με την πηγή V_B στην εναλλασσόμενη συνιστώσα.

στ) Ταλαντωτής ηλεκτρονικής συζεύξεως (Electron-Coupled Oscillator) (E.C.O.)

Ο ταλαντωτής αυτός συγκροτείται με πέντοδη λυχνία όπως φαίνεται στο σχήμα 5.5στ. Το τμήμα κάθοδος-οδηγό πλέγμα-προστατευτικό πλέγμα αποτελούν κύκλωμα τρίοδης ταλαντώτριας Hartley παράλληλο. Το προστατευτικό πλέγμα παίζει



Σχ. 5.5ε.
Ταλαντωτής Meissner.



Σχ. 5.5στ.
Ταλαντωτής E.C.O.

το ρόλο της ανόδου και το κύκλωμα λειτουργεί όπως ο αντίστοιχος ταλαντωτής [σχ. 5.5β(β)]. Στη συνέχεια, το υπόλοιπο τμήμα της πέντοδης πραγματοποιεί ενίσχυση του σήματος των ταλαντώσεων, γιατί αυτό επιδρά στο οδηγό πλέγμα που είναι και οδηγό πλέγμα της πέντοδης. Το ανοδικό φορτίο είναι συντονισμένο κύκλωμα παράλληλο και ο ταλαντωτής λειτουργεί και ως ενισχυτής υψηλής συχνότητας.

Ο μεταβλητός αντιστάτης R_s στο προστατευτικό πλέγμα καθορίζει μία τέτοια τάση, ώστε η συχνότητα των ταλαντώσεων να μη μεταβάλλεται με την τυχαία μεταβολή της V_B. Ο C_s είναι πυκνωτής αποζεύξεως του προστατευτικού πλέγματος.

Η πέντοδη λυχνία μπορεί να είναι και ισχύος, με αποτέλεσμα το σήμα εξόδου να έχει και την ανάλογη ισχύ. Το προστατευτικό πλέγμα και το πλέγμα αναστολής θωρακίζουν και προστατεύουν το οδηγό πλέγμα και από αυτό το ταλαντευόμενο κύκλωμα LC, από τις μεταβολές του ανοδικού φορτίου.

Το ανοδικό φορτίο μπορεί να είναι συντονισμένο σε αρμονική της παραγόμενης συχνότητας και έτσι το σήμα εξόδου είναι δυνατό να έχει μεγαλύτερη συχνότητα από αυτή του LC πλέγματος.

Στους παραπάνω ταλαντωτές το σήμα εξόδου μπορεί να λαμβάνεται με σύζευξη πυκνωτή από την άνοδο ή το οδηγό πλέγμα της λυχνίας. Μπορεί επίσης να λαμβάνεται με πηνίο κατάλληλης αυτεπαγωγής, το οποίο βρίσκεται σε σύζευξη με το ταλαντευόμενο κύκλωμα. Σε όλες τις περιπτώσεις η σύζευξη γίνεται πολύ χαλαρή, για να μην επιδρούν τα στοιχεία της επόμενης βαθμίδας στον ταλαντωτή και να του μεταβάλλουν τη συχνότητα των παραγομένων ταλαντώσεων.

5.6 Σταθερότητα της συχνότητας των ταλαντωτών.

Το σπουδαιότερο χαρακτηριστικό στη λειτουργία των ταλαντωτών είναι η σταθερότητα της συχνότητας των παραγομένων ταλαντώσεων. Η σταθερότητα αυτή επηρεάζεται από διάφορες αιτίες, με αποτέλεσμα τη μικρή μεταβολή της συχνότητας των ταλαντώσεων, η οποία τελικό αποτέλεσμα έχει τη διακοπή της επικοινωνίας μεταξύ πομπού και δέκτη.

Μία αιτία αλλαγής της συχνότητας είναι η μεταβολή της τάσεως που τροφοδοτεί την άνοδο του ταλαντωτή. Με τη μεταβολή αυτή μεταβάλλονται τα στοιχεία της λυχνίας, που είναι παράλληλα στο κυμαινόμενο κύκλωμα, με αποτέλεσμα την αλλαγή συχνότητας. Το μειονέκτημα αυτό αποφεύγεται με τη χρησιμοποίηση σταθεροποιημένης τάσεως V_B. Στον ταλαντωτή ηλεκτρονικής συζεύξεως αποφεύγεται, με την εκλογή της κατάλληλης τάσεως στο προστατευτικό πλέγμα.

Άλλη αιτία αλλαγής της συχνότητας των ταλαντώσεων είναι οι μηχανικές δονήσεις της συσκευής, οι οποίες επιδρούν στο πηνίο και το μεταβλητό πυκνωτή. Η αλλαγή της θέσεώς τους έχει ως αποτέλεσμα την αλλαγή της συχνότητας. Αυτό γίνεται συνήθως στους πομπούς και δέκτες που βρίσκονται σε οχήματα και πλοία. Για τη μείωση της επιδράσεως αυτής χρησιμοποιούνται συστήματα αποσβέσεως των κραδασμών με λάστιχα και ελατήρια και καλή στερέωση των εξαρτημάτων.

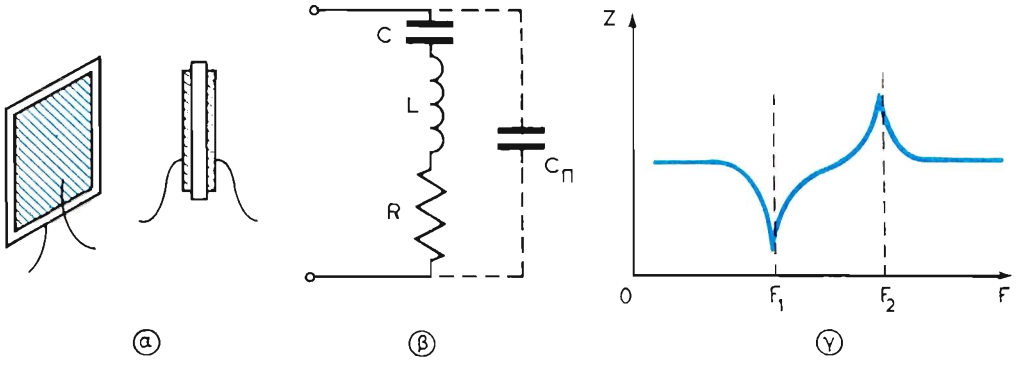
Μία άλλη αιτία αλλαγής της συχνότητας των ταλαντώσεων είναι η μεταβολή της θερμοκρασίας, η οποία επιδρά στο φυσικό μέγεθος των L και C. Με την αύξηση της θερμοκρασίας προκαλείται διαστολή στα μέταλλα και κυρίως στο πηνίο και τον πυκνωτή, με αποτέλεσμα τη μεταβολή του φυσικού μεγέθους. Για τη μείωση της επιδράσεως αυτής χρησιμοποιούνται υλικά από ειδικά κράματα που δεν μεταβάλουν τις διαστάσεις τους με τη μεταβολή της θερμοκρασίας. Επίσης μπορεί ολόκληρος ο ταλαντωτής να τοποθετηθεί μέσα σε κλειστό κουτί-φούρνο, το οποίο κρατά σταθερή θερμοκρασία, με θερμοστάτη και ηλεκτρική πηγή για τη θέρμανση. Με αυτή τη μέθοδο αποφεύγεται επίσης και η μεταβολή της συχνότητας από την επίδραση της υγρασίας.

Τέλος, μία σοβαρή αιτία μεταβολής της συχνότητας των ταλαντώσεων είναι αυτή που προέρχεται από την επίδραση των ενισχυτικών βαθμίδων, οι οποίες βρίσκονται σε σύζευξη με τον ταλαντωτή. Με τη σύζευξη, τα στοιχεία του ενισχυτή επιδρούν στον ταλαντωτή, με αποτέλεσμα να του μεταβάλλουν τα στοιχεία. Κάθε μεταβολή στη λειτουργία του ενισχυτή έχει επίδραση στον ταλαντωτή. Για τη μείωση αυτής της επιδράσεως, φροντίζομε, ώστε η σύζευξη να είναι πολύ χαλαρή και να χρησιμοποιούνται βαθμίδες απομονώτριες μεταξύ ταλαντωτή και ενισχυτών.

Για την καλή λειτουργία των ταλαντωτών, πρέπει να χρησιμοποιούνται κυκλώματα LC πολύ καλής κατασκευής, ώστε να παρουσιάζουν όσο το δυνατό μεγαλύτερο συντελεστή ποιότητας Q. Μπορεί ακόμη να χρησιμοποιηθεί κατάλληλο ηλε-

κτρονικό κύκλωμα για τη διόρθωση της παραγόμενης συχνότητας.

Οι ταλαντωτές με L και C παρουσιάζουν τα παραπάνω μειονεκτήματα, έχουν όμως το πλεονέκτημα της μεταβολής της συχνότητας των ταλαντώσεων, με τη μεταβολή του C ή του L. Έτσι, με ένα κύκλωμα L και C μπορούμε να καλύψομε μια μεγάλη περιοχή συχνοτήτων λειτουργίας ενός πομπού ή ενός δέκτη.



Σχ. 5.7α.
Κρύσταλλος χαλαζία και καμπύλη αντιστάσεως.

5.7 Κρυσταλλικοί Ταλαντωτές.

Μεγάλη σταθερότητα στη συχνότητα μπορούμε να πετύχουμε με τους κρυσταλλικούς ταλαντωτές, οι οποίοι, στη θέση του κυμαινόμενου κυκλώματος L και C, έχουν ένα κρύσταλλο χαλαζία.

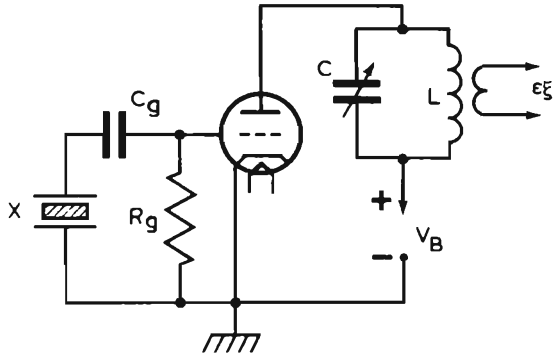
Η λειτουργία τους στηρίζεται στο πιεζοηλεκτρικό φαινόμενο, δηλαδή στην ιδιότητα ορισμένων υλικών όπως ο χαλαζίας, ο τουρμαλίνης και κεραμεικά υλικά (τιτανικό βάριο) να παρουσιάζουν ηλεκτρικά φορτία στις επιφάνειές τους, όταν τους εφαρμόσομε μηχανική πίεση και επίσης, αν εφαρμόσομε τάση στις επιφανειές τους, να αλλάζουν διαστάσεις.

Ο κρύσταλλος χαλαζία που χρησιμοποιείται στους ταλαντωτές, είναι ένα μικρό πλακίδιο (σαν θαμπό τζάμι) με διαστάσεις 15×15 περίπου χιλιοστών του μέτρου και πάχος αντίστοιχο της συχνότητας. Στις δύο μεγάλες επιφάνειες εφάπτονται δύο μεταλλικές επιφάνειες, όπως φαίνονται στο σχήμα 5.7α(α), οι οποίες αποτελούν τους οπλισμούς του κρυστάλλου. Ο κρύσταλλος με τους οπλισμούς του βρίσκεται μέσα σε ειδική θήκη κλεισμένη αεροστεγώς, η οποία έχει δύο ακροδέκτες (ποδαράκια) για την τοποθέτηση και σύνδεση σε αντίστοιχη υποδοχή.

Όταν εφαρμοσθεί εναλλασσόμενη τάση στους ακροδέκτες του (πλακίδια), ο κρύσταλλος εκτελεί μηχανικές δονήσεις αντίστοιχης συχνότητας. Το μέγιστο πλάτος των δονήσεων παρατηρείται σε μία ορισμένη συχνότητα που λέγεται ***ιδιοσυχνότητα του κρυστάλλου*** και καθορίζεται από το πάχος του d, σε χιλιοστά του μέτρου και δίνεται από τη σχέση:

$$F_0 = \frac{2,8}{d} \quad \text{σε Mc/s}$$

Με τις μηχανικές δονήσεις παράγεται μία αντίστοιχη τάση που έχει ως αποτέλε-



Σχ. 5.7β.
Ταλαντωτής κρυστάλλου T.P.T.G.

σμα να συμπεριφέρεται ο κρύσταλλος ως κυμαινόμενο κύκλωμα με R, L και C σε σειρά [σχ 5.7α(β)]. Επειδή όμως έχει τις μεταλλικές πλάκες στις δύο πλευρές του, που παρουσιάζουν μία χωρητικότητα $C_π$, τελικά συμπεριφέρεται ως κύκλωμα παράλληλου συντονισμού.

Αν το τροφοδοτήσομε με εναλλασσόμενο ρεύμα μεταβαλλόμενης συχνότητας, θα παρατηρήσουμε τη μεταβολή της αντιστάσεώς του, όπως στο σχήμα 5.7α(γ). Η συχνότητα F_1 αντιστοιχεί στο συντονισμό σειράς, όπου η αντίσταση γίνεται ελάχιστη. Η συχνότητα F_2 αντιστοιχεί στον παράλληλο συντονισμό με την επίδραση των πλακιδίων, όπου η αντίσταση Z γίνεται μέγιστη. Το Q που παρουσιάζει ο κρύσταλλος είναι της τάξεως των 2000, που σημαίνει πολύ οξύ συντονισμό και καθορισμένη σταθερή συχνότητα.

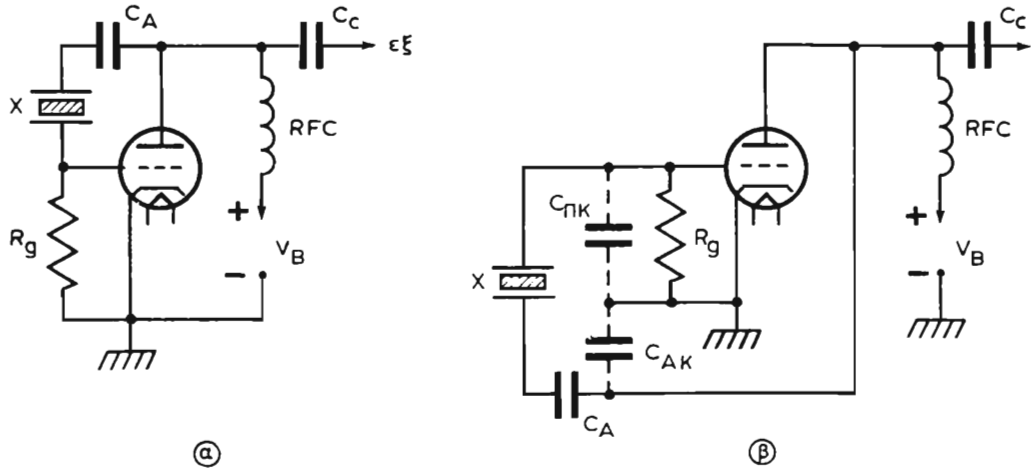
Επάνω στη θήκη κάθε κρυστάλλου αναγράφεται η συχνότητα λειτουργίας του που είναι η F_2, δηλαδή η συχνότητα παράλληλου συντονισμού του.

Στο σχήμα 5.7β φαίνεται το κύκλωμα ενός ταλαντωτή με κρύσταλλο. Μοιάζει με το κύκλωμα του ταλαντωτή T.P.T.G. του σχήματος 5.5δ, μόνο που το κυμαινόμενο κύκλωμα πλέγματος έχει αντικατασταθεί από τον κρύσταλλο. Η λειτουργία του κυκλώματος είναι ίδια με του ταλαντωτή T.P.T.G.

Στο σχήμα 5.7γ(α) φαίνεται το κύκλωμα ενός άλλου ταλαντωτή, του ταλαντωτή Pierce. Σ' αυτόν, ο κρύσταλλος συνδέεται μεταξύ ανόδου και πλέγματος σε σειρά με τον πυκνωτή $C_Δ$, ο οποίος αποκόπτει το συνεχές δυναμικό της ανόδου, για να μην καταστρέψει τον κρύσταλλο.

Ο ταλαντωτής αυτός πλεονεκτεί σε σύγκριση με τον προηγούμενο του σχήματος 5.7β στο ότι δεν απαιτεί συντονισμένο κύκλωμα στην άνοδο. Έτσι λειτουργεί με άριστη απόδοση σε ένα μεγάλο αριθμό συχνοτήτων μιας περιοχής, η μεταβολή των οποίων γίνεται με την αλλαγή του κρυστάλλου. Η αλλαγή των κρυστάλλων μπορεί να γίνεται και με διακόπτη περιστροφικό πολλών επαφών σε κάθε έπαφη του οποίου αντιστοιχεί και ένας κρύσταλλος.

Ο ταλαντωτής Pierce στην πραγματικότητα είναι ένας ταλαντωτής Colpitts όπως αυτός του σχήματος 5.5γ. Οι δύο πυκνωτές C_1 και C_2 που χρειάζονται για τη λειτουργία του κυκλώματος είναι οι ενδοχωρητικότητες πλέγματος-ανόδου και ανόδου-καθόδου όπως φαίνεται και στο σχήμα 5.7γ(β) που είναι ισοδύναμο με το 5.7γ(α).



Σχ. 5.7γ.
Ταλαντωτής κρυστάλλου Pierce.

Οι κρυσταλλικοί ταλαντωτές χαρακτηρίζονται από τη μεγάλη σταθερότητα της συχνότητας των ταλαντώσεων. Η συχνότητα καθορίζεται, όπως αναφέρθηκε από το πάχος του κρυστάλλου. Επειδή οι διαστάσεις του κρυστάλλου μπορεί να μεταβάλονται με τη μεταβολή της θερμοκρασίας, θα παρατηρείται μεταβολή και στη συχνότητα. Για μεγαλύτερη σταθερότητα, και εδώ ο ταλαντωτής με τα κρύσταλλα τοποθετείται μέσα σε κλειστό μεταλλικό κουτί-φούρνο (Crystal Oven), το οποίο έχει σταθερή θερμοκρασία 65°-70° C και λειτουργεί με θερμοστάτη.

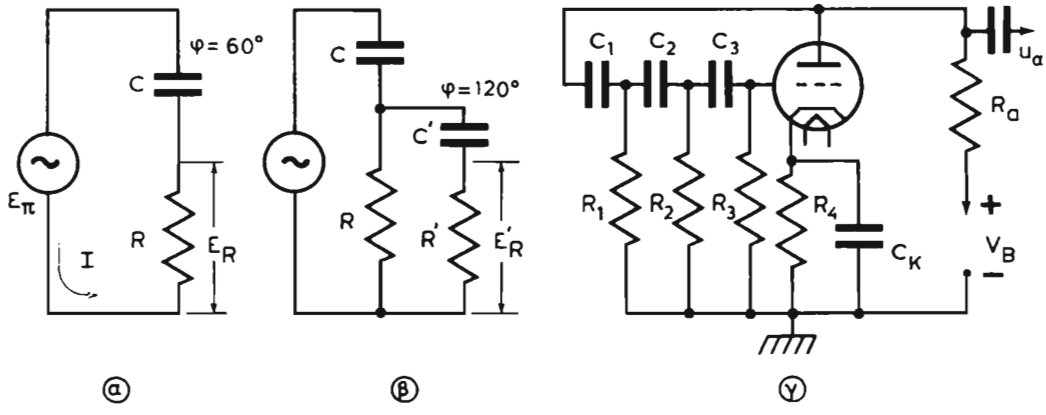
5.8 Ταλαντωτές με R και C.

Μία άλλη μορφή ταλαντωτών είναι αυτοί που στη θέση του κυμαινόμενου κυκλώματος L και C χρησιμοποιούν αντιστάτες και πυκνωτές, δηλαδή R και C. Και αυτοί οι ταλαντωτές παράγουν ημιτονικό σήμα και χρησιμοποιούνται για την παραγωγή ακουστικών συχνοτήτων, κυρίως στους πομπούς, με διαμόρφωση για τη λειτουργία A2.

Ένας ταλαντωτής με R και C ή ***μεταθέσεως φάσεως*** όπως λέγεται (Phase-Shift Oscillator), φαίνεται στο σχήμα 5.8α. Η λειτουργία του στηρίζεται στη διαφορά φάσεως που δημιουργείται σε ένα κύκλωμα με R και C. Στο κύκλωμα (α), το ρεύμα του κυκλώματος προπορεύεται από την τάση της πηγής κατά μία γωνία φ που καθορίζεται από τη σχέση εφφ = X_C/R. Έτσι η τάση στις άκρες του R η E_R είναι συμφασική με το ρεύμα του κυκλώματος και επομένως η E_R προπορεύεται από την τάση της πηγής.

Για κάποιες τιμές του R και του C η εφφ μπορεί να γίνει $\sqrt{3}$, δηλαδή η φ να γίνει 60°. Αν χρησιμοποιηθούν τρία ίδια κυκλώματα RC σε σειρά, η ολική διαφορά φάσεως της τάσεως της πηγής και της τάσεως στον τελευταίο R θα είναι 180°.

Αν χρησιμοποιήσομε ένα τέτοιο κύκλωμα από την έξοδο ενός ενισχυτή στην είσοδό του, εφαρμόζομε θετική ανάδραση, γιατί 180° που κάνει η λυχνία και 180° το δικτύωμα έχομε ολική διαφορά 360° ή 0°, δηλαδή το σήμα επιστρέφει συμφασικό.



Σχ. 5.8α.
Ταλαντωτής μεταθέσεως φάσεως.

Η έναρξη των ταλαντώσεων γίνεται με τη μεταβολή του ανοδικού ρεύματος που δημιουργεί στην αντίσταση φόρτου P_A μία πτώση τάσεως, όπως στο σχήμα. Η μεταβολή αυτή επιστρέφει στο πλέγμα της λυχνίας με αλλαγή πολικότητας και εμφανίζεται στην άνοδο συμφασική. Η μετατόπιση (ολίσθηση) φάσεως σε 180° θα γίνει μόνο στη συχνότητα που καθορίζουν οι τιμές R και C του δικτυώματος. Για τις άλλες συχνότητες, η μετατόπιση θα είναι μικρότερη ή μεγαλύτερη από 180° και δεν θα πραγματοποιείται θετική ανάδραση. Η συχνότητα των ταλαντώσεων δίνεται από τη σχέση:

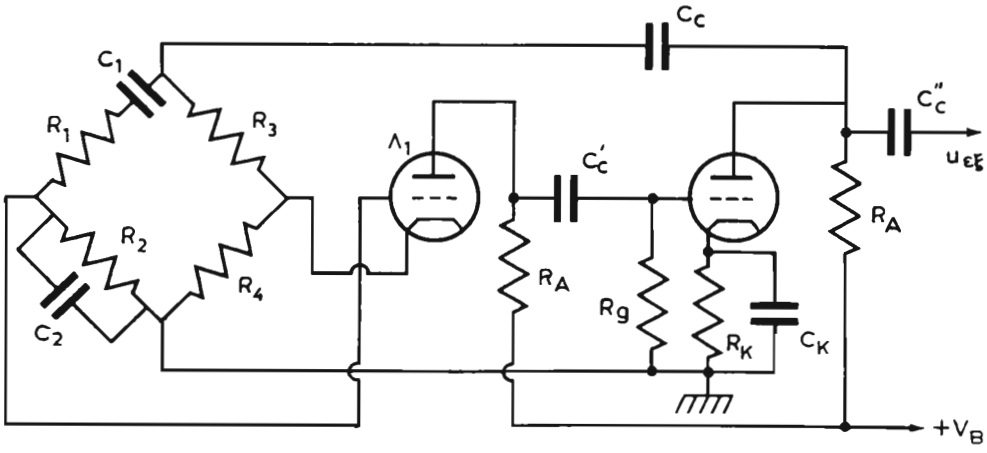
$$F_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{6}RC} \qquad (5.7)$$

Πρέπει να σημειωθεί ότι το δικτύωμα μετατοπίσεως φάσεως πραγματοποιεί και μείωση του σήματος ή ***απόσβεση,*** όπως λέγεται, ίση με 29. Ο λόγος δηλαδή της τάσεως εισόδου στο δικτύωμα προς την τάση εξόδου από αυτό είναι ίσος με 29. Έτσι, για να λειτουργήσει ο ταλαντωτής, πρέπει η λυχνία να πραγματοποιήσει ενίσχυση Α μεγαλύτερη από 29. Για το λόγο αυτό χρησιμοποιούνται λυχνίες με μεγάλο συντελεστή ενισχύσεως μ ή χρησιμοποιούνται πέντοδες λυχνίες.

Άλλη μορφή ταλαντωτή RC είναι ο ταλαντωτής με γέφυρα του Wien (Wien-Bridge Oscillator), που φαίνεται στο σχήμα 5.8β. Αποτελείται από δύο ενισχυτικές βαθμίδες με τρίοδες λυχνίες (συνήθως μία διπλοτρίοδη λυχνία) που βρίσκονται σε σύζευξη μεταξύ τους με ένα ειδικό κύκλωμα γέφυρας, το οποίο στον ένα κλάδο έχει τον R_1 και C_1 σε σειρά ενώ στον άλλο κλάδο το R_2 και C_2 είναι παράλληλα. Συνήθως υπάρχει η ισότητα $R_1 = R_2$ και $C_1 = C_2$.

Από την έξοδο της δεύτερης λυχνίας επιστρέφει ένα μέρος του σήματος στην είσοδο της πρώτης λυχνίας, με τον πυκνωτή C_c. Η κάθε λυχνία δημιουργεί διαφορά φάσεως 180° στο σήμα και έτσι το σήμα που επιστρέφει από την έξοδο της $Λ_2$ στην είσοδο της $Λ_1$ έχει φάση 180° + 180° = 360° ή 0°, δηλαδή είναι συμφασικό. Έτσι, μεταξύ των δύο λυχνιών εφαρμόζεται θετική ανάδραση.

Τα κυκλώματα R_1 C_1 και R_2C_2 δημιουργούν ίσες και αντίθετες μεταθέσεις της φάσεως σε μία ορισμένη συχνότητα F_0, με αποτέλεσμα να αλληλοεξουδετερώνονται. Στο πλέγμα της $Λ_1$ θα εμφανίζεται μόνο η F_0 με φάση 360°, ενώ για τις άλλες



Σχ. 5.8β.
Ταλαντωτής RC γέφυρας Wien.

συχνότητες θα παρουσιάζεται μεγαλύτερη ή μικρότερη διαφορά φάσεως.

Για τη γέφυρα ισχύει:

$$\frac{R_3}{R_4} = \frac{R_1}{R_2} + \frac{C_2}{C_1} \quad \text{και} \quad \omega_0^2 = \frac{1}{R_1 R_2 C_1 C_2} \quad \text{ή} \quad F_0 = \frac{1}{2\pi RC} \qquad (5.8)$$

όταν $R_1 = R_2 = R$ και $C_1 = C_2 = C$.

Από τον R_4 εφαρμόζεται μικρή αρνητική ανάδραση, η οποία κρατά σταθερό το πλάτος των ταλαντώσεων. Ο αντιστάτης R_4 συνήθως είναι ένα μικρό λαμπάκι φωτισμού τάσεως 6 ή 12v. Ο R_3 μπορεί να είναι μεταβλητή αντίσταση για τη ρύθμιση της καλής λειτουργίας του ταλαντωτή.

Οι πυκνωτές C_1 και C_2 μπορεί να είναι ομοαξονικοί μεταβλητοί πυκνωτές με τους οποίους μεταβάλλεται η συχνότητα των ταλαντώσεων. Το ίδιο μπορεί να συμβεί και με τη μεταβολή των R_1 και R_2.

Εκτός από όλα τα είδη των ταλαντωτών που αναφέρθηκαν, υπάρχει ακόμα ένας μεγάλος αριθμός που χρησιμοποιούνται σε διάφορες ηλεκτρονικές συσκευές και σε πομπους ή δέκτες πολύ υψηλών συχνοτήτων και στην περιοχή των μικροκυμάτων, όπως π.χ. ο ταλαντωτής Audion που χρησιμοποιεί τμήμα γραμμής δύο αγωγών με κατανεμημένα L και C, ο ταλαντωτής με λυχνία φάρο με τμήμα ομοαξονικής γραμμής, και ο ταλαντωτής με λυχνία Klystron, ενώ στους υπερσύγχρονους δέκτες και πομπούς χρησιμοποιούνται τα συστήματα Synthesizers κ.α. τα οποία θα γνωρίσομε στο δέκατο κεφάλαιο. Υπάρχουν επίσης ταλαντωτές μη ημιτονικών σημάτων τους οποίους θα συναντήσομε στο κεφάλαιο 13.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΕΚΤΟ

ΠΟΜΠΟΙ ΣΗΜΑΤΩΝ CW ΚΑΙ AM

6.1 Γενικά.

Όπως αναφέρθηκε στην εισαγωγή του βιβλίου, η ασύρματη επικοινωνία επιτυγχάνεται με τη βοήθεια των ραδιοκύματων, τα οποία εκπέμπονται από την κεραία του πομπού, για να φθάσουν στην κεραία του δέκτη. Οι πληροφορίες που θέλομε να στείλομε, κωδικοποιούνται κατάλληλα επάνω σε εναλλασσόμενο ρεύμα υψηλής συχνότητας, το οποίο με τη σειρά του μετασχηματίζεται σε ηλεκτρομαγνητικό πεδίο, δηλαδή σε ραδιοκύματα, στην κεραία του πομπού και από εκεί εκπέμπεται προς το δέκτη ή τους δέκτες.

Έτσι μπορούμε να πούμε ότι ο πομπός είναι η ηλεκτρονική συσκευή που έχει προορισμό να παράγει το ρεύμα υψηλής συχνότητας, να το κωδικοποιεί με τις πληροφορίες που πρέπει να σταλούν και να το εκπέμπει από την κεραία του.

Ανάλογα με τη μέθοδο κωδικοποιήσεως και τη μορφή που παίρνουν τα ραδιοκύματα, οι πομποί κατατάσσονται σε δύο βασικές κατηγορίες:

α) Στους ***πομπούς συντηρουμένων κυμάτων ή σταθερού πλάτους CW*** (Continuous Waves).

β) Στους ***πομπούς διαμορφωμένων κυμάτων MW*** (Modulated Waves).

Στην πρώτη κατηγορία ανήκει η ραδιοτηλεγραφία ενώ στη δεύτερη η ραδιοτηλεφωνία, ραδιοφωνία, τηλεόραση κλπ. Οι πομποί ραδιοτηλεγραφίας είναι απλούστεροι στην κατασκευή, ενώ οι με διαμόφωση είναι πιο σύνθετοι γιατί περιέχουν επίσης και το διαμορφωτή.

Ανάλογα με την ισχύ που εκπέμπουν, οι πομποί διακρίνονται σε ***χαμηλής, μέσης*** και ***μεγάλης ισχύος,*** ενώ ανάλογα με τη συχνότητα εκπομπής διακρίνονται σε πομπούς ***μεσαίων, υψηλών*** και ***πολύ υψηλών συχνοτήτων.***

Ο κάθε πομπός ραδιοτηλεγραφίας ή ραδιοτηλεφωνίας αποτελείται από έναν άριθμό βαθμίδων, μεταξύ των οποίων τη βασική θέση κατέχει ο ταλαντωτής. Αυτός παράγει το ρεύμα υψηλής συχνότητας και οι επόμενες βαθμίδες το ενισχύουν μέχρι να φθάσει στη κεραία. Παρακάτω θα γνωρίσομε τις διάφορες βαθμίδες των πομπών.

6.2 Πομποί συντηρουμένων κυμάτων.

Το ρεύμα υψηλής συχνότητας που παράγει ο ταλαντωτής μπορεί να είναι της μορφής του σχήματος 6.2α(α), ενώ το ρεύμα υψηλής συχνότητας που θα φθάσει στην κεραία για εκπομπή, θα έχει τη μορφή του σχήματος 6.2α(β). Θα είναι δηλαδή κωδικοποιημένο στο ρυθμό του μορσικού αλφαβήτου. Αυτή η μορφή αντιστοι-

ΙΔΡΥΜΑ ΕΥΓΕΝΙΔΟΥ 1956



Σχ. 6.2α.
Μορφή κύματος CW.

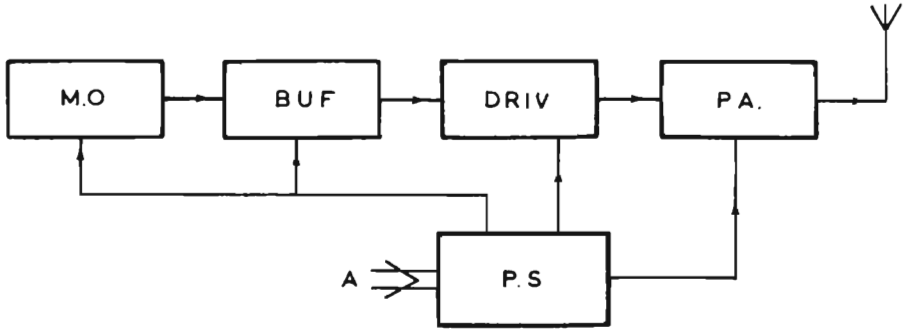
χεί σε διακοπή και σε λειτουργία του ρεύματος υψηλής συχνότητας και αντιστοιχεί σε χρόνους τελείας, παύλας, τελείας, τελείας. Η κυματομορφή αυτή είναι εκπομπής μορφής A1.

Η εξίσωση του σήματος υψηλής συχνότητας, με σταθερή συχνότητα, φάση και τάση (πλάτος) είναι:

$$e = E \, \text{συν}(\omega t) \qquad (6.1)$$

όπου e η στιγμιαία τιμή της τάσεως και E η μέγιστη τιμή της.

Ένας απλός πομπός CW αποτελείται από τον κύριο ταλαντωτή (Master Oscillator), ο οποίος ακολουθείται συνήθως από μία απομονώτρια βαθμίδα (Buffer). Στη συνέχεια υπάρχει η οδηγήτρια βαθμίδα (Driver) και στο τέλος η ενισχύτρια ισχύος (Power Amplifier). Όλες αυτές οι βαθμίδες τροφοδοτούνται από το τροφοδοτικό (Power Supply) με τάση για τη θέρμανση των καθόδων και με συνεχή υψηλή τάση για τις ανόδους. Στο σχήμα 6.2β φαίνεται το βασικό διάγραμμα με τετραγωνίδια ενός πομπού CW με τέσσερις βαθμίδες.



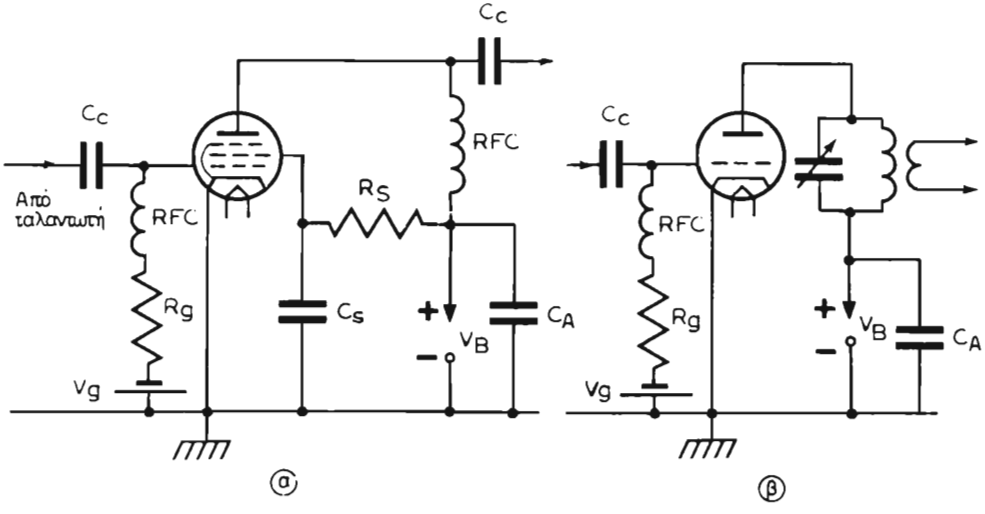
Σχ. 6.2β.
Διάγραμμα με τετράγωνα πομπού CW.

Η πρώτη βαθμίδα (M.O.) που είναι ο κύριος ταλαντωτής, μπορεί να έχει μία μορφή από αυτές που αναφέρθηκαν στο προηγούμενο κεφάλαιο, δηλαδή μπορεί να είναι με L και C ή κρυσταλλικός. Ο ταλαντωτής παράγει το σήμα (τάση) υψηλής συχνότητας που θα εκπέμψει ο πομπός. Αυτό το σήμα έχει τη μορφή του σχήματος 6.2α(α). Επειδή όμως έχει μικρή τάση και ισχύ, πρεπει να ενισχυθεί πριν να φθάσει στην κεραία. Έτσι, μετά τον ταλαντωτή υπάρχει η πρώτη ενισχυτική βαθμίδα που είναι και απομονώτρια.

Αυτή η δεύτερη βαθμίδα σκοπό έχει να ενισχύσει το σήμα του ταλαντωτή αλλά και να τον απομονώσει και να τον προστατέψει από την επίδραση των ενισχυτών

ισχύος. Όπως αναφέρθηκε στο προηγούμενο κεφάλαιο, μία αιτία μεταβολής της συχνότητας των ταλαντωτών είναι η επίδραση των επόμενων βαθμίδων. Για την αποφυγή της επιδράσεως αυτής τοποθετείται η απομονώτρια. Αυτή μπορεί να είναι τρίοδη ή πέντοδη λυχνία, ενισχύτρια τάσεως η ενισχύτρια μικρής ισχύος που εργάζεται σε τάξη Α ή Β. Βρίσκεται σε πολύ χαλαρή σύζευξη με τον ταλαντωτή και παρουσιάζει μεγάλη αντίσταση εισόδου.

Το κύκλωμα μπορεί να έχει μία από τις μορφές του σχήματος 4.16α ή μία από τις μορφές του σχήματος 6.2γ. Το (α) είναι με πέντοδη λυχνία χωρίς συντονισμένο κύκλωμα στην είσοδο και στην έξοδό του, ενώ το (β) είναι με τρίοδη λυχνία με συντονισμένο το ανοδικό φορτίο.



Σχ. 6.2γ.
Ενισχυτής Υ.Σ. απομονωτές.

Η λειτουργία των ενισχυτών είναι ίδια με αυτή που αναφέρθηκε ήδη στο τέταρτο κεφάλαιο. Ο πυκνωτής C_A είναι πυκνωτής αποζεύξεως και τοποθετείται εκεί για να γειώνει την Υ.Σ., ώστε να μην πηγαίνει προς το τροφοδοτικό Υ.Τ. και δημιουργήσει ανάδραση. Επίσης, η κάτω άκρη του πηνίου RFC. και η κάτω άκρη του κυμαινόμενου κυκλώματος ανόδου γειώνονται, για την εναλλασσόμενη συνιστώσα, με τον πυκνωτή C_A.

Το πηνίο RFC στο πλέγμα (είσοδο) των ενισχυτών είναι για να μη διαφεύγει το σήμα Υ.Σ. προς τη γη, ενώ η συνεχής τάση της πολώσεως από την V_g, να εφαρμόζεται στο πλέγμα. Ο R_g είναι απαραίτητος και τοποθετείται εκεί για να δημιουργήσει μία πρόσθετη πόλωση, στην περίπτωση που το σήμα εισόδου γίνει πολύ μεγάλο και η λυχνία λειτουργήσει με θετικά δυναμικά (περίπτωση αυτοπολώσεως από το πλέγμα). Από την έξοδο της απομονώτριας, το σήμα ενισχυμένο οδηγείται στο πλέγμα της οδηγήτριας βαθμίδας.

Η οδηγήτρια βαθμίδα μπορεί να είναι τρίοδη ή τέτροδη ή πέντοδη ισχύος, η οποία εργάζεται σε τάξη Β ή C και σκοπό έχει να ενισχύσει σε τάση και ισχύ το σήμα που θα δώσει η απομονώτρια. Η ισχύς που δίνει συνήθως η οδηγήτρια είναι το $^1/_{10}$ περίπου της ισχύος που δίνει η τελική ενισχύτρια ισχύος. Αν δηλαδή η τελική

ενισχύτρια δίνει 200 W για την κεραία, η οδηγήτρια πρέπει να δίνει 20 W περίπου. Αυτό επιβάλλεται, επειδή η τελική ενισχύτρια ισχύος εργάζεται σε τάξη C με πολύ μεγάλο σήμα εισόδου, το οποίο θα καταστήσει θετικό το πλέγμα για τη μέγιστη απόδοσή της.

Το κύκλωμα της βαθμίδας μπορεί να είναι με συντονισμένο ή ασυντόνιστο ανοδικό φορτίο, όπως και οι ενισχυτές του σχήματος 6.2γ. Η πόλωση, επειδή είναι σε τάξη B ή C, πραγματοποιείται με χωριστή πηγή πολώσεως, από το τροφοδοτικό, ενώ υπάρχει και η αντίσταση πλέγματος, για την πρόσθετη πόλωση σε περίπτωση υπερδιεγερσεως της βαθμίδας. Οι παραπάνω βαθμίδες μπορεί επίσης να πραγματοποιήσουν και πολλαπλασιασμό συχνότητας, όπως αναφέρεται στην παράγραφο 6.5.

Η τελική βαθμίδα του πομπού είναι η ισχύος, που συνήθως είναι τέτροδη η πέντοδη και σκοπό έχει να δώσει στο σήμα την τελική απαιτούμενη ισχύ εκπομπής. Εργάζεται πάντοτε σε τάξη C και έχει μεγάλη τάση διεγέρσεως στο πλέγμα της, για να μπορεί να δώσει τη μέγιστη δυνατή ισχύ με τον άριστο βαθμό αποδόσεως. Η απόδοση μπορεί να φθάσει πρακτικά και μέχρι 80%.

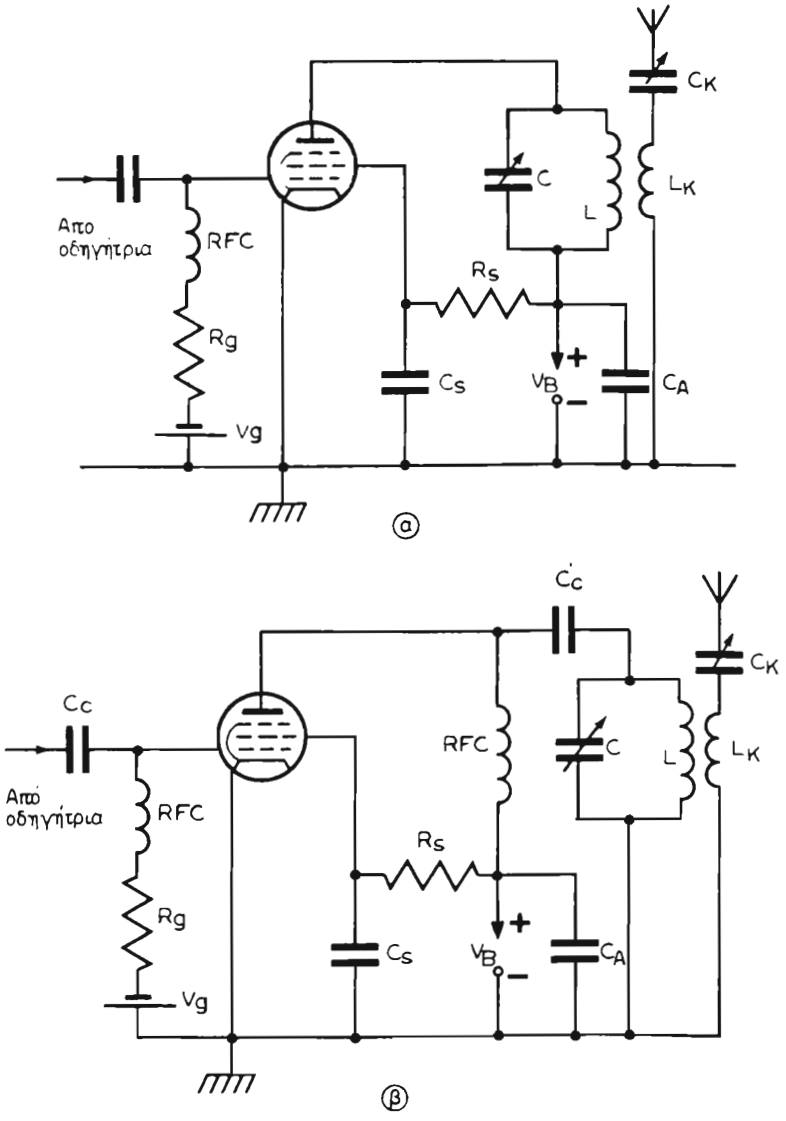
Η βαθμίδα ισχύος μπορεί να αποτελείται από μία λυχνία αντίστοιχης ισχύος ή και, για αύξηση της ισχύος, από δύο λυχνίες σε συμμετρική διάταξη (push-pull) ή σε παράλληλη σύνδεση.

Στο σχήμα 6.2δ φαίνονται τα κυκλώματα δύο ενισχυτών ισχύος. Το (α) έχει στο πλέγμα πηνίο RFC, αντιστάτη R_g (για την πρόσθετη αυτοπόλωση) και πηγή V_g για την πόλωση σε τάξη C. Στην άνοδο έχει παράλληλο συντονισμένο κύκλωμα, το οποίο με το μεταβλητό C συντονίζει στη συχνότητα εκπομπής. Το L του κυμαινόμενου κυκλώματος βρισκεται σε σύζευξη με το πηνίο της κεραίας $L_κ$. Ο αριθμός σπειρών του $L_κ$ και ο βαθμός συζεύξεως είναι τέτοιος, ώστε να γίνεται προσαρμογή της αντιστάσεως που παρουσιάζει η κεραία με την άριστη αντίσταση φόρτου της λυχνίας. Έτσι θα μεταφέρεται όλη η ωφέλιμη ενέργεια υψηλής συχνότητας από την ενισχύτρια λυχνία στην κεραία. Όπως θα γνωρίσομε στο ενδέκατο κεφάλαιο, η κάθε κεραία παρουσιάζει μία αντίσταση, η οποία απορροφά την ενέργεια Υ.Σ. που πρέπει να προσαρμοσθεί στον ενισχυτή ισχύος.

Το κύκλωμα (α) παρουσιάζει το μειονέκτημα, που είναι συγχρόνως και επικίνδυνο, ότι στο πηνίο ανόδου L και στον πυκνωτή C υπάρχει η υψηλή τάση τροφοδοσίας ανόδου. Η τάση αυτή για λυχνίες ισχύος 100 έως 1000 περίπου W είναι της τάξεως των 1000 ως 3000 V. Έτσι υπάρχει θέμα και δυσκολία για τη μόνωση του L και του C.

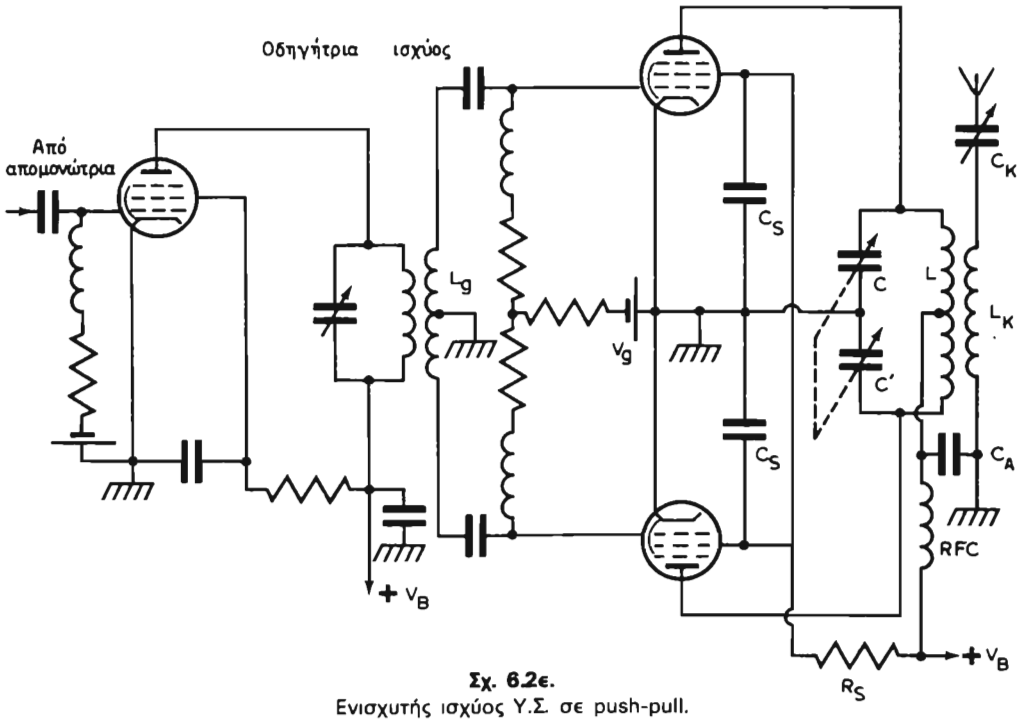
Στο κύκλωμα (β) το συντονισμένο κύκλωμα ανόδου συνδέεται στην άνοδο με τον πυκνωτή C_c'. Έτσι δεν παίρνει υψηλή τάση, γιατί αποκόπτεται από το C_c' ενώ η εναλλασσόμενη συνιστώσα, περνώντας από τον C_c', ενεργεί στο συντονισμένο κύκλωμα που είναι το κύκλωμα ανόδου. Με αυτό τον τρόπο, η κάτω άκρη του L και του C μπορεί να γειωθεί κανονικά. Η υψηλή τάση περνά από το πηνίο RFC και φθάνει στην άνοδο, γιατί το πηνίο παρουσιάζει ελάχιστη αντίσταση στο συνεχές ρεύμα (της συνεχούς συνιστώσας). Αντίθετα, η εναλλασσόμενη συνιστώσα της ανόδου, συναντά μεγάλη αντίσταση, δεν πηγαίνει προς το τροφοδοτικό και τον C_c', αλλά οδηγείται προς το συντονισμένο κύκλωμα και από εκεί στην κεραία.

Στο σχήμα 6.2ε φαίνεται το κύκλωμα ενός ενισχυτή ισχύος σε συμμετρική διάταξη. Στην εισοδο οι λυχνίες ισχύος τροφοδοτούνται με σήματα ίδιας τάσεως, αλλά με διαφορά φάσεως 180° μεταξύ τους, η οποία δημιουργείται με τη μεσαία λήψη



Σχ. 6.2δ.
Ενισχυτής ισχύος Υ.Σ.

του πηνίου L_g. Το κύκλωμα παρουσιάζει τα πλεονεκτήματα του push-pull αλλά απαιτεί προσεκτικό συντονισμό του κυκλώματος ανόδων και λυχνίες με την ίδια διαγωγιμότητα. Οι δύο πυκνωτές για το συντονισμό των ανόδων είναι ομοαξονικοί, δηλαδή έχουν τον ίδιο άξονα ρυθμίσεως.



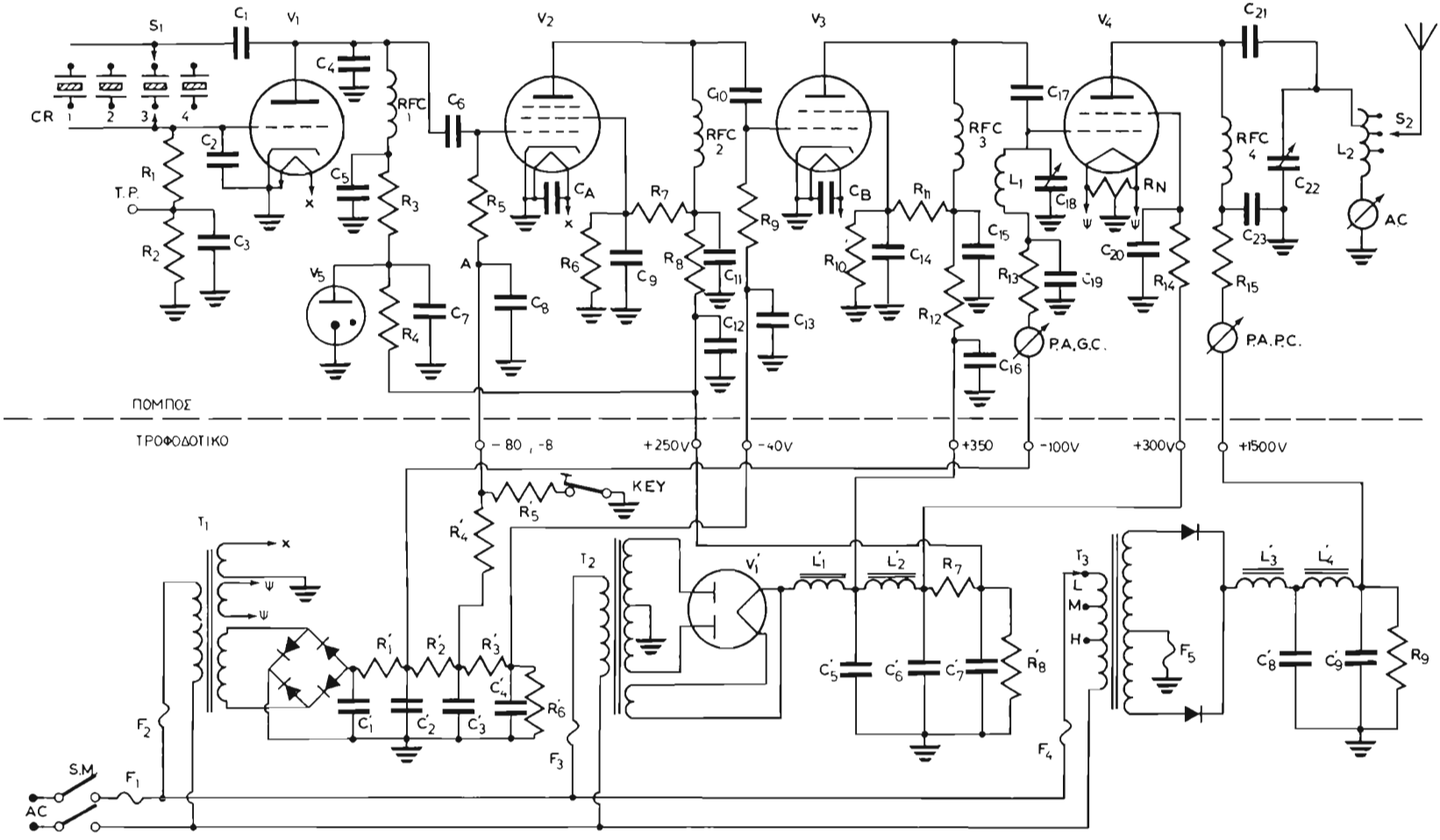
Σχ. 6.2ε.
Ενισχυτής ισχύος Υ.Σ. σε push-pull.

6.3 Διάγραμμα και λειτουργία πομπού CW.

Στο σχήμα 6.3α φαίνεται το πλήρες διάγραμμα ενός πομπού συντηρουμένων κυμάτων (CW) τεσσάρων βαθμίδων, με το τροφοδοτικό του. Στο σχήμα 6.2β δίνεται το βασικό διάγραμμα με τετράγωνα του ίδιου πομπού. Η ισχύς εξόδου του είναι περίπου 200 W, με λυχνία εξόδου την 4-65A.

Η πρώτη βαθμίδα με την τρίοδη λυχνία V_1 είναι ένας κρυσταλλικός ταλαντωτής τύπου Pierce ο οποίος με ένα διπλό διακόπτη S_1 έχει τη δυνατότητα να αλλάζει κρύσταλλα και έτσι και τη συχνότητα λειτουργίας του, που είναι γύρω στους 500 kc/s. Η λειτουργία του ταλαντωτή μας είναι γνωστή από το κεφάλαιο 5. Ο C_2 (50 pF περίπου) αυξάνει την ενδοχωρητικότητα πλέγματος-καθόδου, ενώ ο C_4 (100 pF περίπου) αυξάνει την ενδοχωρητικότητα ανόδου-καθόδου. Το σημείο T.P. (test point) είναι για να ελέγχεται η λειτουργία του ταλαντωτή. Όταν εργάζεται ο ταλαντωτής σ' αυτό το σημείο υπάρχει αρνητικό δυναμικό. Αν δέν έχομε αρνητικό δυναμικό, αυτό σημαίνει ότι ο ταλαντωτής δεν εργάζεται. Η τάση ανόδου του ταλαντωτή είναι σταθεροποιημένη με τη λυχνία ψυχρής καθόδου V5 (OA2) και τον αντιστάτη R_4. Οι πυκνωτές C_5 και C_7 είναι αποζεύξεως, δηλαδή γειώνουν την Υ.Σ., για να μην πάει στο τροφοδοτικό. Το παραγόμενο σήμα Υ.Σ. μεταφέρεται στη δεύτερη βαθμίδα με τον πυκνωτή συζεύξεως C_6.

Η δεύτερη βαθμίδα με τη λυχνία V_2 είναι η απομονώτρια, η οποία έχει στην άνοδο ασυντόνιστο ανοδικό φορτίο. Το ανοδικό της φορτίο είναι το RFC2. Ο R_6 με τον R_7 αποτελούν ένα διαιρέτη τάσεως, που θα καθορίσει την τάση του προστατευτικού πλέγματος. Ο R_8, ο C_{11} και ο C_{12} είναι κύκλωμα αποζεύξεως της Υ.Σ. Η πόλωση, σε τάξη A ή B, δημιουργείται στο τροφοδοτικό και εφαρμόζεται στο πλέγμα από τόν R_5. Ο C_8 είναι πυκνωτής αποζεύξεως Υ.Σ. πλέγματος. Το σήμα, αφού ενι-



Σχ. 6.3α.

Κύκλωμα πομπού CW και τροφοδοτικού.

σχυθεί από αυτή τη βαθμίδα, μεταφέρεται στην επόμενη τρίτη βαθμίδα με τον πυκνωτή συζεύξεως C_{10}.

Η τρίτη βαθμίδα με τη λυχνία V_3 είναι η οδηγήτρια βαθμίδα. Το ανοδικό της φορτίο αποτελείται από το πηνίο RFC3 και από το συντονισμένο κύκλωμα L_1C_{18}, το οποίο υπάρχει στο πλέγμα της λυχνίας εξόδου. Το πηνίο RFC3 και το συντονισμένο κύκλωμα L_1C_{18} βρίσκονται σε σύζευξη με τον C_{17}. Έτσι, η άνοδος της V_3 μπορεί να συντονίζει με το μεταβλητό πυκνωτή C_{18} και το πηνίο L_1. Ο R_{10} και ο R_{11} αποτελούν διαιρέτη τάσεως, ο οποίος καθορίζει την τάση του προστατευτικού πλέγματος. Ο R_{12} ο C_{15} και ο C_{16} είναι το κύκλωμα αποζεύξεως Υ.Σ. ανόδου και προστατευτικού πλέγματος. Η πόλωση τάξεως C δημιουργείται στο τροφοδοτικό και εφαρμόζεται στο πλέγμα από τον R_9. Ο C_{13} ειναι για την απόζευξη της Υ.Σ. του πλέγματος. Το σήμα εξόδου από την οδηγήτρια, με ισχύ περίπου 20 W, οδηγείται στο πλέγμα της λυχνίας ισχύος V_4 από τον C_{17}, αφού αναπτυχθεί στο συντονισμένο κύκλωμα L_1C_{18}.

Η τέταρτη βαθμίδα με την V_4 είναι η τελική βαθμίδα για την ενίσχυση του σήματος σε ισχύ. Εργάζεται σε τάξη C, με απόδοση 80% περίπου. Η πόλωση δημιουργείται στο τροφοδοτικό και εφαρμόζεται στο πλέγμα από τον αντιστάτη R_{13}, ο οποίος δημιουργεί την πρόσθετη πόλωση, περνώντας από το πηνίο L_1. Το όργανο (αμπερόμετρο) P.A.G.C. είναι για την ένδειξη του συντονισμού του L_1 και C_{18}. Ο R_{14} έχει μικρή τιμή και μαζί με τον C_{20} πραγματοποιούν απόζευξη Υ.Σ. του προστατευτικού πλέγματος. Το ανοδικό φορτίο της λυχνίας είναι το συντονισμένο κύκλωμα C_{22} και L_2, που συνδέεται στην άνοδο για την εναλλασσόμενη συνιστώσα με τον C_{21}. Η υψηλή τάση εφαρμόζεται στην άνοδο από τον R_{15} και το πηνίο Υ.Σ. RFC4. Ο R_{15} και ο C_{23} είναι για απόζευξη Υ.Σ. ανόδου. Για απόζευξη Υ.Σ. από τα νήματα είναι και οι πυκνωτές C_A, C_B.

Το όργανο P.A.P.C. είναι για την ένδειξη συντονισμού του κυκλώματος ανόδου C_{22} και L_2. Ο συντονισμός και η προσαρμογή της κεραίας γίνεται με το διακόπτη S_2, που επιλέγει τμήμα του πηνίου L_2. Το όργανο A.C. είναι για την ένδειξη συντονισμού της κεραίας.

Το τροφοδοτικό θα δημιουργήσει τις κατάλληλες τάσεις για τις βαθμίδες του πομπού, παίρνοντας ενέργεια από το δίκτυο ή από τη γεννήτρια εναλλασσόμενου ρεύματος του πλοίου.

Ο διακόπτης (ΚΕΥ) είναι το μορσικό χειριστήριο που θα κωδικοποιήσει το ρεύμα υψηλής συχνότητας και το κύμα που θα εκπέμψει η κεραία. Όταν ο διακόπτης είναι ανοικτός (όταν δεν πατάμε το χειριστήριο), ο πομπός δεν εκπέμπει.

Όλες οι λυχνίες έχουν υψηλές τάσεις στις ανόδους και στα προστατευτικά τους πλέγματα. Ο ταλαντωτής εργάζεται και παράγει τη συχνότητα του αντίστοιχου κρυστάλλου. Το παραγόμενο σήμα μεταφέρεται στη V_2, αλλά αυτή δεν λειτουργεί, επειδή παίρνει μεγάλη πόλωση, περίπου −80 V στο οδηγό πλέγμα της και βρίσκεται σε αποκοπή. Σε αποκοπή είναι και οι λυχνίες V_3 και V_4, επειδή είναι πολωμένες σε τάξη C και χωρίς διέγερση δεν εργάζονται.

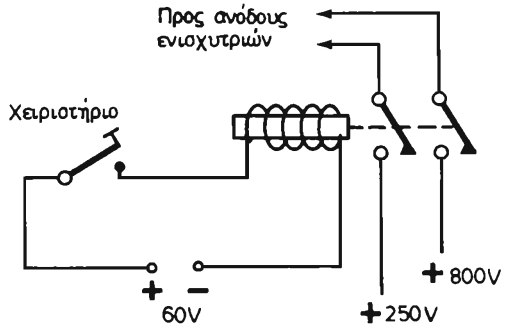
Όταν πατήσομε το χειριστήριο, κλείνουν οι επαφές και το σημείο Α σχεδόν γειώνεται με τον αντιστάτη R_5. Έτσι η τάση, από −80 V, γίνεται −8 στο πλέγμα της λυχνίας και η V_2 λειτουργεί και ενισχύει το σήμα του ταλαντωτή. Το ενισχυμένο σήμα φέρνει σε λειτουργία την V_3, από την έξοδο της οποίας διεγείρεται η V_4 που λειτουργεί κανονικά και ο πομπός εκπέμπει.

Έτσι η λειτουργία ή η διακοπή του πομπού εξαρτάται από τη θέση του χειριστη-

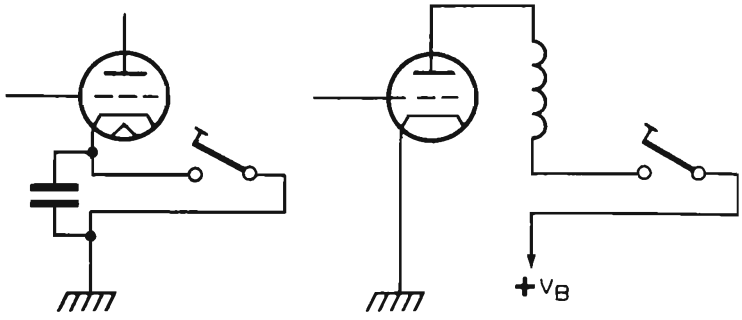
ρίου. Με τη λειτουργία του χειριστηρίου στο ρυθμό του μορσικού αλφάβητου, καθορίζεται η λειτουργία των τριών βαθμίδων του πομπού (των V_2, V_3 και V_4) και το σήμα που εκπέμπει ο πομπός παίρνει τη μορφή του σχήματος 6.2α(β).

Υπάρχουν και άλλοι τρόποι για τη λειτουργία του πομπού στο μορσικό κώδικα. Το ίδιο αποτέλεσμα θα έχομε, αν διακόπτομε με ηλεκτρονόμο τις υψηλές τάσεις των ανόδων ή των προστατευτικών πλεγμάτων των λυχνιών. Η χρήση ηλεκτρονόμου σ' αυτή την περίπτωση είναι απαραίτητη, για να μην έρχεται υψηλή τάση στο χειριστήριο (σχ. 6.3β). Σε μικρής ισχύος πομπούς μπορούμε να διακόπτομε τη λειτουργία του ταλαντωτή, διακόπτοντας τη σύνδεση της καθόδου με το κοινό ή διακόπτοντας την τάση ανόδου, όπως φαίνεται στο σχήμα 6.3γ.

Πολλές φορές, παράλληλα στις επαφές του χειριστηρίου, συνδέεται ένας πυκνωτής της τάξεως των 1000 pF σε σειρά με έναν αντιστάτη, που σκοπό έχει τον περιορισμό των σπινθήρων που δημιουργούνται στο άνοιγμα και κλείσιμο των επαφών.



Σχ. 6.3β.
Κύκλωμα ηλεκτρονόμου.



Σχ. 6.3γ.
Χειριστήριο σε λυχνία.

6.4 Συντονισμός του πομπού.

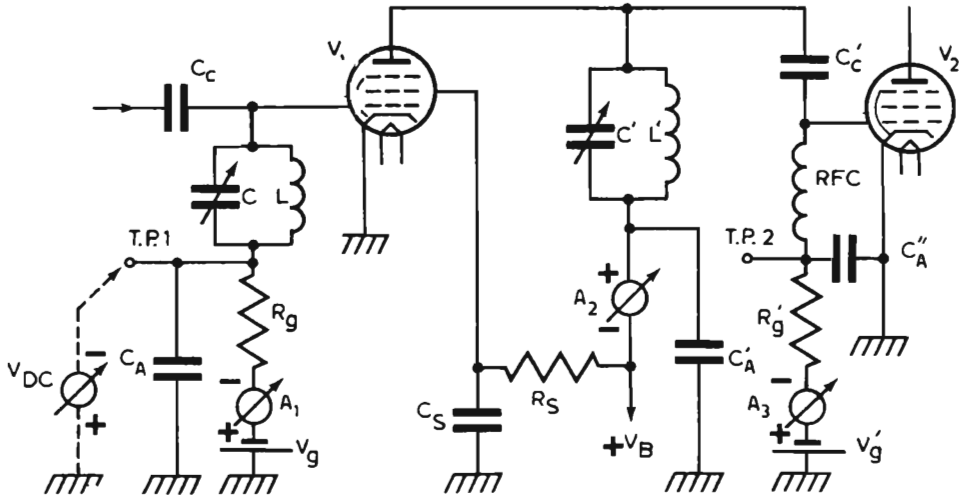
Οι πομποί είναι κατασκευασμένοι για να λειτουργούν σε πολλές συχνότητες, τόσο στα μεσαία κύματα όσο και τα βραχέα. Κάθε φορά που πρέπει να αλλάξει η συχνότητα εκπομπής, πρέπει να γίνει και η αντίστοιχη αλλαγή στα συντονισμένα κυκλώματα του πομπού.

Αν ο ταλαντωτής παράγει π.χ. 2,3 Mc, πρέπει τα συντονιζόμενα κυκλώματα των

ενισχυτριών, από τον απομονωτή μέχρι τον ενίσχυτή ισχύος και την κεραία να συντονισθούν στους 2,3 Mc, εφόσον δεν γίνεται πολλαπλασιασμός συχνότητας. Σε πολλούς σύγχρονους πομπούς, για να περιορισθεί η ανάγκη του συντονισμού, χρησιμοποιούν σε πολλές βαθμίδες μη συντονιζόμενα κυκλώματα ή χρησιμοποιούν προσυντονισμένα κυκλώματα, τα οποία αλλάζουν ομοαξονικά με το διακόπτη αλλαγής των κρυστάλλων.

Ο συντονισμός του κυμαινόμενου κυκλώματος επιτυγχάνεται συνήθως με τη μεταβολή της χωρητικότητας του μεταβλητού πυκνωτή. Άλλα συντονιζόμενα κυκλώματα είναι στην άνοδο του ενισχυτή και άλλα στο οδηγό πλέγμα ή μπορεί να είναι κοινά στην άνοδο της μιας λυχνίας και στο οδηγό πλέγμα της επόμενης. Σε σειρά με το συντονιζόμενο παράλληλο κύκλωμα, τοποθετείται ένα μιλιαμπερόμετρο συνεχούς ρεύματος (στο οποίο πραγματοποιείται απόζευξη Υ.Σ.) για την ένδειξη του συντονισμού.

Στο σχήμα 6.4 δίνεται το κύκλωμα μιας ενισχύτριας Υ.Σ. που έχει συντονιζόμενα κυκλώματα στην είσοδο και στην έξοδο. Το μιλιαμπερόμετρο A_1 δείχνει το ρεύμα πλέγματος, όταν το πλέγμα εργάζεται με θετικά δυναμικά στις θετικές ημιπεριόδους του σήματος εισόδου. Όσο το σήμα εισόδου γίνεται μεγαλύτερο τόσο και το ρεύμα πλέγματος αυξάνει, με αποτέλεσμα να αυξάνει η ένδειξη του οργάνου.



Σχ. 6.4.
Ενισχυτής Υ.Σ. με τα όργανα ενδείξεως συντονισμού.
Τα όργανα είναι μιλιαμπερόμετρα συνεχούς ρεύματος.

Το σήμα εισόδου γίνεται μέγιστο στην είσοδο της V_1 όταν το κύκλωμα εισόδου συντονισθεί στην υπό ενίσχυση συχνότητα, γιατί τότε παρουσιάζει τη μέγιστη αντίσταση και στη μέγιστη αντίσταση αναπτύσσεται το μεγαλύτερο σήμα (τάση). Έτσι, για το συντονισμό μεταβάλλομε τον C και παρατηρούμε το μιλιαμπερόμετρο A_1. Στη μέγιστη δυνατή ένδειξη του οργάνου έχομε συντονισμό του κυμαινόμενου κυκλώματος πλέγματος. Το μείον του μιλιαμπερομέτρου συνδέεται προς το μέρος του πλέγματος, γιατί το ρεύμα κινείται από το πλέγμα προς τη V_g και το κοινό. Αντί του μιλιαμπερομέτρου μπορούμε να χρησιμοποιήσομε ευαίσθητο βολτόμετρο στη

θέση Τ.Ρ.1 (με την πολικότητα του σχήματος), το οποίο θα δείξει μέγιστη ένδειξη στο συντονισμό, γιατί θα δημιουργηθεί πτώση τάσεως στον R_g, με την αύξηση του I_g, η οποία θα προστεθεί στη V_g. Ο C_A είναι πυκνωτής αποζεύξεως Υ.Σ., για να μην επιδρά στα όργανα.

Στο συντονισμό του κυκλώματος ανόδου πρέπει να έχομε την ελάχιστη ένδειξη στο μιλιαμπερόμετρο ανόδου A_2. Το ρεύμα ανόδου αποτελείται από δύο συνιστώσες, τη συνεχή I_a και την εναλλασσόμενη i_a. Η συνεχής συνιστώσα είναι περίπου σταθερή, ενώ η εναλλασσόμενη καθορίζεται από την τιμή της αντιστάσεως φόρτου Z_A της λυχνίας. Όταν αυξάνει η Z_A, το ρεύμα μικραίνει. Όταν το ανοδικό κυμαινόμενο κύκλωμα συντονισθεί στην υπό ενίσχυση συχνότητα F_0 θα παρουσιάσει τη μέγιστη αντίσταση (παράλληλος συντονισμός). Το i_a θα γίνει ελάχιστο και επομένως το ολικό ρεύμα ανόδου θα γίνει μικρότερο. Έτσι, μεταβάλλοντας το C΄ παρατηρούμε το A_2 για ελάχιστη ένδειξη. Η μικρότερη ένδειξη αντιστοιχεί στο συντονισμό του ανοδικού κυκλώματος.

Στην ελάχιστη ένδειξη του A_2 αντιστοιχεί μέγιστη ένδειξη στο A_3 στο πλέγμα της επόμενης λυχνίας. Αυτό συμβαίνει γιατί στο συντονισμό του ανοδικού κυκλώματος η ενίσχυση της βαθμίδας γίνεται μέγιστη, επειδή μέγιστη γίνεται και η Z_A (παράγρ. 4.16). Έτσι στο πλέγμα της επόμενης βαθμίδας οδηγείται το μέγιστο σήμα (τάση) και το πλέγμα γίνεται θετικότερο (στις θετικές ημιπεριόδους), με αποτέλεσμα να αυξάνει το I_g και η ένδειξη του A_3.

Στο σχήμα 6.3α ο συντονισμός του κυκλώματος L_1 και C_{18} γίνεται με τη μέγιστη ένδειξη στο όργανο P.A.G.C., το οποίο δείχνει το ρεύμα πλέγματος της λυχνίας ισχύος (power amplifier crid current). Ο συντονισμός του ανοδικού κυκλώματος L_2 και C_{22} γίνεται με την ελάχιστη ένδειξη στο όργανο P.A.P.C., το οποίο δείχνει το ρεύμα ανόδου (plate) της λυχνίας ισχύος. Η ένδειξη του συντονισμού της κεραίας γίνεται με τη μέγιστη ένδειξη του αμπερομέτρου κεραίας (antenna), γιατί τότε προσαρμόζει η κεραία με το συντονισμένο κύκλωμα και απορροφά τη μέγιστη ισχύ. Η μέγιστη ένδειξη του A.C. ως αποτέλεσμα θα έχει τη μεγαλύτερη ένδειξη του P.A.P.C., γιατί φορτίζεται το ανοδικό συντονισμένο κύκλωμα και μειώνεται το Q.

Το όργανο A.C. είναι αμπερόμετρο θερμοσταυρού για να μπορεί να δείχνει την ένταση ρεύματος Υ.Σ. Μπορεί να χρησιμοποιηθεί και όργανο συνεχούς ρεύματος, το οποίο θα έχει κατάλληλο κύκλωμα με ανορθωτές υψηλής συχνότητας. Όταν γίνεται ο συντονισμός των βαθμίδων, ο πομπός λειτουργεί στην ελάχιστη ισχύ του, δηλαδή με τη μικρότερη τάση ανόδου στις τελικές λυχνίες για να μή δημιουργούνται μεγάλα ρεύματα κατά τους αποσυντονισμούς (θέση LOW στο μετασχηματιστή T_3 του σχήματος 6.3α).

6.5 Πολλαπλασιαστές συχνότητας.

Στους πομπούς βραχέων και υπερβραχέων κυμάτων, η συχνότητα του κύματος που εκπέμπεται από την κεραία μπορεί να είναι πολλαπλάσια από αυτήν που παράγει συνήθως ο κρυσταλλικός ταλαντωτής. Αυτό συμβαίνει γιατί είναι δυνατό με μικρό αριθμό κρυστάλλων να εξυπηρετηθεί μεγάλη περιοχή συχνοτήτων. Με ένα κρύσταλλο συχνότητας 2,2 Mc, ο πομπός μπορεί να εκπέμψει 2,2 Mc, 4,4 Mc, 6,6 Mc, 8,8 Mc κλπ., δηλαδή να λειτουργήσει σε ακέραια πολλαπλάσια της βασικής συχνότητας του κρυστάλλου.

Στην παράγραφο 4.13 αναφέρθηκε ότι ένα παραμορφωμένο σήμα αποτελείται

από μια βασική συχνότητα και από ένα πλήθος αρμονικών συχνοτήτων που είναι ακέραια πολλαπλάσια της βασικής συχνότητας.

Όταν ένας ενισχυτής εργάζεται σε τάξη Β ή C, το σήμα εξόδου του είναι ισχυρά παραμορφωμένο, περιέχει δε τη βασική συχνότητα και ένα πλήθος αρμονικών. Ο ενισχυτής του σχήματος 6.4 μπορεί να εργάζεται σε τάξη Β ή C. Αν το σήμα εισόδου είναι 2 Mc, στην άνοδο (έξοδο) θα εμφανισθούν οι 2 Mc, οι 4 Mc, οι 6 Mc κλπ. Επειδή το ανοδικό κύκλωμα συντονίζει στους 2 Mc, ενισχύεται και εμφανίζεται μόνο αυτή η συχνότητα ενώ οι άλλες δεν ενισχύονται και απορρίπτονται.

Αν όμως το ανοδικό κύκλωμα συντονισθεί στους 4 Mc με κατάλληλη τιμή του C ή του L, τότε θα εμφανισθεί και θα ενισχυθεί αυτή η συχνότητα, που είναι η δεύτερη αρμονική των 2 Mc, γιατί σ' αυτήν παρουσιάζεται η μέγιστη Z_A λόγω συντονισμού. Οι άλλες συχνότητες, δηλαδή πρώτη, τρίτη, τέταρτη κλπ. αρμονικές δεν θα ενισχυθούν και απορρίπτονται. Έτσι, ενώ στην είσοδο του ενισχυτή έχομε 2 Mc, στην έξοδο έχομε 4 Mc.

Μπορεί το ανοδικό κύκλωμα L και C να συντονισθεί στην τρίτη αρμονική, δηλαδή στους 6 Mc. Τότε στο ανοδικό κύκλωμα θα εμφανισθούν οι 6 Mc, ενώ οι άλλες αρμονικές απορρίπτονται.

Μπορούμε δηλαδή με έναν ενισχυτή να πετύχομε και πολλαπλασιασμό της βασικής συχνότητας, αρκεί να παραμορφώσομε το σήμα εισόδου και να βάλομε στην άνοδο ένα συντονισμένο κύκλωμα που να συντονίζει στην αρμονική που θέλομε.

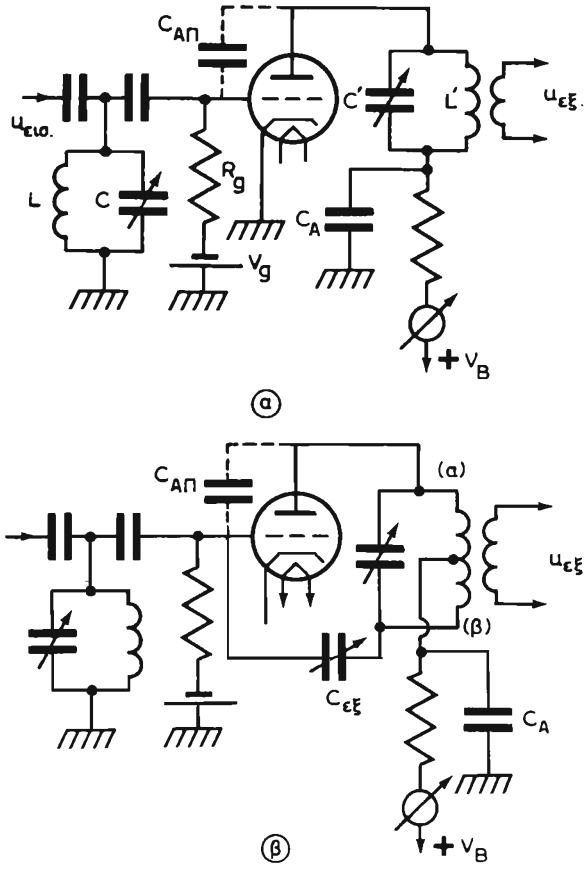
Η τάση εξόδου ή η ισχύς εξόδου του ενισχυτή-πολλαπλασιαστή μικραίνει καθώς παίρνομε μεγαλύτερης τάξεως αρμονικές. Αν π.χ. η ισχύς εξόδου στη βασική είναι 10 W, στη δεύτερη αρμονική θα είναι περίπου 6,5 W, στην τρίτη περίπου 4 W, στην τέταρτη περίπου 2,8 W, στην πέμπτη περίπου 2,2 W κ.ο.κ. Έτσι, για να μη μειώνεται πολύ το σήμα εξόδου και για να μην υπάρχει κίνδυνος να εμφανισθεί και ενισχυθεί καμιά παρασιτική συχνότητα, πραγματοποιείται μόνο διπλασιασμός ή τριπλασιασμός της βασικής συχνότητας. Για μεγαλύτερης τάξεως αρμονική, μπορούμε να χρησιμοποιήσομε περισσότερες πολλαπλασιάστριες, π.χ. μια διπλασιάστρια και μια τριπλασιάστρια ή δύο διπλασιάστριες κλπ.

Στους σύγχρονους πομπούς, με την αλλαγή της περιοχής των συχνοτήτων γίνεται και η αλλαγή των κρυστάλλων (αν απαιτείται). Συγχρόνως γίνεται επίσης η αλλαγή των πηνίων των συντονιζομένων κυκλωμάτων στις ανόδους ή των προσυντονισμένων κυκλωμάτων. Ο χειρισμός του πομπού καθίσταται έτσι όσο γίνεται απλούστερος.

6.6 Εξουδετέρωση στους ενισχυτές Υ.Σ.

Ένας ενισχυτής υψηλής συχνότητας με τρίοδη λυχνία, μπορεί να μετατραπεί σε ταλαντωτή κατά το συντονισμό του ανοδικού του κυκλώματος. Αυτό οφείλεται στην ενδοχωρητικότητα ανόδου πλέγματος, η οποία για τις χαμηλές συχνότητες έχει μικρή επίδραση, ενώ στις υψηλές δημιουργεί προβλήματα.

Στο σχήμα 6.6(α) φαίνεται το κύκλωμα ενός ενισχυτή υψηλής συχνότητας με τρίοδη λυχνία. Στην είσοδο υπάρχει το συντονιζόμενο κύκλωμα L και C που συντονίζει στην υπό ενίσχυση συχνότητα F_0. Στην άνοδο υπάρχει το επίσης συντονιζόμενο κύκλωμα C΄ και L΄, το οποίο πρέπει να συντονισθεί στην ίδια συχνότητα F_0 με την ένδειξη του αμπερομέτρου ανόδου.



Σχ. 6.6.
Ενισχυτής Υ.Σ. με εξουδετέρωση.

Ο ενισχυτής αυτός μοιάζει με τον ταλαντωτή T.P.T.G. του σχήματος 5.5δ, όπου η έναρξη των ταλαντώσεων συμβαίνει όταν το ανοδικό κύκλωμα συντονίζει σε υψηλότερη συχνότητα, παρουσιάζοντας επαγωγική συμπεριφορά. Τότε ένα μέρος του σήματος εξόδου από την άνοδο επιστρέφει στο πλέγμα από την ενδοχωρητικότητα $C_{A\Pi}$ και πραγματοποιείται συντήρηση των ταλαντώσεων. Το ίδιο είναι δυνατό τώρα να συμβεί και στον ενισχυτή του σχήματος 6.6(α), ο οποίος από ενισχυτής μπορεί να μετατραπεί σε ταλαντωτή, με συχνότητα διαφορετική από αυτήν που έπρεπε να ενισχύσει. Έτσι ο πομπός θα εκπέμπει διαφορετική συχνότητα από αυτή που πρέπει.

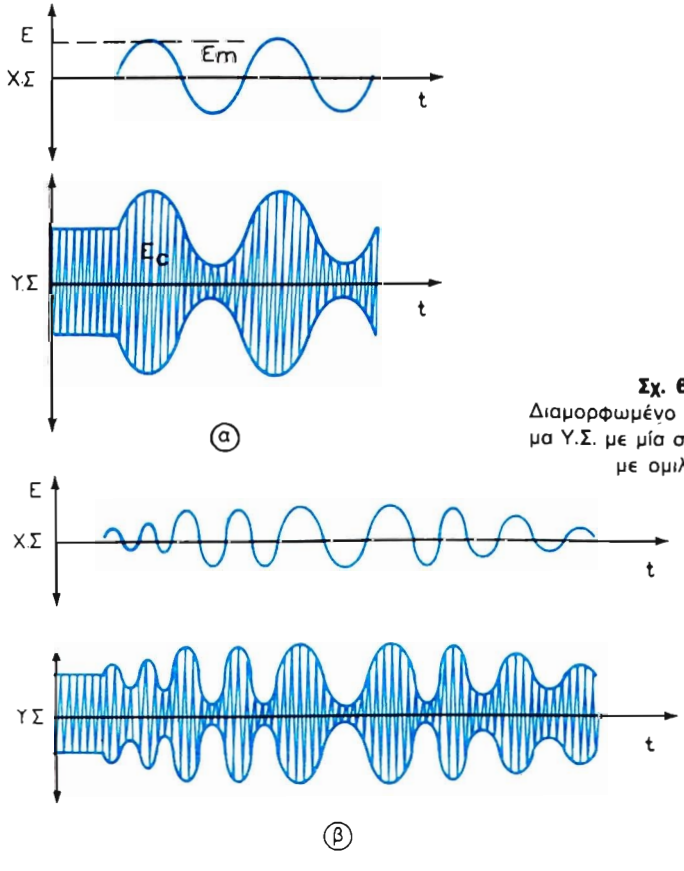
Για να αποφύγομε αυτό το μειονέκτημα, το κύκλωμα του (α) βελτιώνεται στο κύκλωμα του (β). Το πηνίο του συντονιζόμενου κυκλώματος ανόδου έχει μεσαία λήψη με την οποία τροφοδοτείται από τη V_B. Έτσι οι άκρες του (α) και (β) έχουν σήμα με διαφορά φάσεως 180° ως προς τη λήψη. Από τον $C_{A\Pi}$ φθάνει ένα σήμα στο πλέγμα, αλλά ίσο και αντίθετο φθάνει και από τον $C_{\epsilon\xi}$ (εξουδετερώσεως), με αποτέλεσμα τα δύο σήματα να αλληλοεξουδετερώνονται και ο ενισχυτής να μη μετατρέπεται σε ταλαντωτή. Για το σκοπό αυτό πρέπει ο $C_{\epsilon\xi}$ να ρυθμισθεί έτσι, ώστε να έχει την ίδια χωρητικότητα με τον $C_{A\Pi}$.

Η εξουδετέρωση δεν εφαρμόζεται στις πέντοδες και τέτροδες λυχνίες, γιατί η ενδοχωρητικότητα $C_{ΑΠ}$ είναι πολύ μικρή και η δράση της εξουδετερώνεται με το προστατευτικό πλέγμα και το πλέγμα αναστολής. Επίσης δεν εφαρμόζεται εξουδετέρωση, όταν η τρίοδη ενισχύτρια πραγματοποιεί και πολλασιασμό συχνότητας. Τότε το ανοδικό κύκλωμα συντονίζει στη δεύτερη ή τρίτη αρμονική και δεν υπάρχει περίπτωση ταλαντώσεων.

Επειδή η εξουδετέρωση πρέπει να επιτυγχάνεται με μεταβολή του $C_{εξ}$ σε κάθε αλλαγή της συχνότητας λειτουργίας του πομπού, αποφεύγεται η χρήση τριόδων λυχνιών και χρησιμοποιούνται περισσότερο οι τέτροδες και οι πέντοδες λυχνίες. Στους πομπούς λίαν υψηλών συχνοτήτων όπου χρησιμοποιούνται τρίοδες λυχνίες, γίνεται σύνδεση ενισχυτή γειωμένου πλέγματος.

6.7 Πομποί διαμορφωμένων κυμάτων (κατά πλάτος).

Στους ραδιοτηλεφωνικούς και ραδιοφωνικούς πομπούς εφαρμόζεται άλλη μέθοδος κωδικοποιήσεως των πληροφοριών. Εδώ η φωνή και γενικά οι χαμηλές (ακουστικές) συχνότητες επιδρούν στο πλάτος της υψηλής συχνότητας αλλάζοντας τη μορφή του κύματος. Στο σχήμα 6.7(α) φαίνεται η επίδραση μιας σταθερής χαμηλής συχνότητας, στο πλάτος της Υ.Σ., ενώ στο (β) φαίνεται η επίδραση μιας σύνθετης χαμηλής συχνότητας (ομιλία, μουσική) στο πλάτος της Υ.Σ.



Σχ. 6.7α.
Διαμορφωμένο κατά πλάτος σήμα Υ.Σ. με μία συχνότητα (α) και με ομιλία (β).

Το διαμορφωμένο ρεύμα Υ.Σ. αποτελείται από το κυρίως σήμα Υ.Σ. που ονομάζεται ***φέρον σήμα*** (κύμα) (carrier), στο οποίο επιδρά το σήμα ακουστικής συχνότητας, που ονομάζεται ***διαμορφούν σήμα*** (modulating). Η εξίσωση του φέροντος χωρίς διαμόρφωση είναι:

$$e_c = E_c \, \text{συν} \, \omega_c t \tag{6.2}$$

και η εξίσωση του διαμορφούντος:

$$e_m = E_m \, \text{συν} \, \omega_m t \tag{6.3}$$

Η συχνότητα του φέροντος σήματος E_c είναι μεγαλύτερη από τη συχνότητα του διαμορφούντος σήματος E_m.

Η εξίσωση του διαμορφωμένου σήματος του σχήματος 6.7α (α) εξαρτάται από τη δράση των δύο συχνοτήτων και είναι:

$$e = (E_c + E_m \, \text{συν} \, \omega_m t) \, \text{συν} \, \omega_c t \tag{6.4}$$

Ο παράγοντας $E_c + E_m \, \text{συν} \, \omega_m t$ εκφράζει το βάθος της μεταβολής του πλάτους του φέροντος, με την επίδραση του διαμορφούντος.

Ο λόγος της τάσεως του διαμορφούντος προς την τάση του φέροντος καθορίζει το συντελεστή διαμορφώσεως m, που εκφράζεται συνήθως στα %.

$$m = \frac{E_m}{E_c} \tag{6.5}$$

Η εξίσωση (6.4) μετασχηματίζεται στην:

$$e = E_c \left[1 + \frac{E_m}{E_c} \, \text{συν} \, \omega_m t \right] \text{συν} \omega_c t \tag{6.6}$$

και επειδή $\frac{E_m}{E_c} = m$, έχομε $e = E_c \, [1 + m \text{συν} \omega_m t] \, \text{συν} \, \omega_c t$ (6.7)

ή $e = E_c \, [\, \text{συν} \omega_c t + m(\text{συν} \, \omega_m t \, . \, \text{συν} \, \omega_c t) \,]$ (6.8)

Αν θέσομε όπου $\text{συν} \omega_m t = \text{συν} \alpha$ και $\text{συν} \omega_c t = \text{συν} \beta$, έχομε τις τριγωνομετρικές ταυτότητες:

$$(\alpha) \quad \text{συν} \alpha \, . \, \text{συν} \beta = -\text{ημ} \alpha \, . \, \text{ημ} \beta + \text{συν} \, (\alpha - \beta) \tag{6.9}$$

και $$(\beta) \quad \text{συν} \, (\alpha + \beta) = \text{συν} \alpha \, . \, \text{συν} \beta - \text{ημ} \alpha \, . \, \text{ημ} \beta \tag{6.10}$$

Αν αντικαταστήσομε στην (6.9) το $-\text{ημ} \alpha \, \text{ημ} \beta$ με το ίσον του από την (6.10), έχομε:

$$\text{συν} \alpha \, . \, \text{συν} \beta = \text{συν}(\alpha + \beta) - \text{συν} \alpha \, . \, \text{συν} \beta + \text{συν} \, (\alpha - \beta) \tag{6.11}$$

ή $$2 \, \text{συν} \alpha \, . \, \text{συν} \beta = \text{συν}(\alpha + \beta) + \text{συν}(\alpha - \beta) \tag{6.12}$$

Και τελικά:

$$\text{συν} \alpha \, . \, \text{συν} \beta = \frac{1}{2} \, \text{συν}(\alpha + \beta) + \frac{1}{2} \, \text{συν} \, (\alpha - \beta) \tag{6.13}$$

Αντικαθιστώντας το α και το β με τα ίσα τους, έχομε την τελική εξίσωση του διαμορφωμένου σήματος:

$$e = E_c \left[\text{συν}\omega_c t + \frac{m}{2} \text{συν}\,(\omega_c+\omega_m)t + \frac{m}{2}\text{συν}(\omega_c - \omega_m)t \right] \qquad (6.14)$$

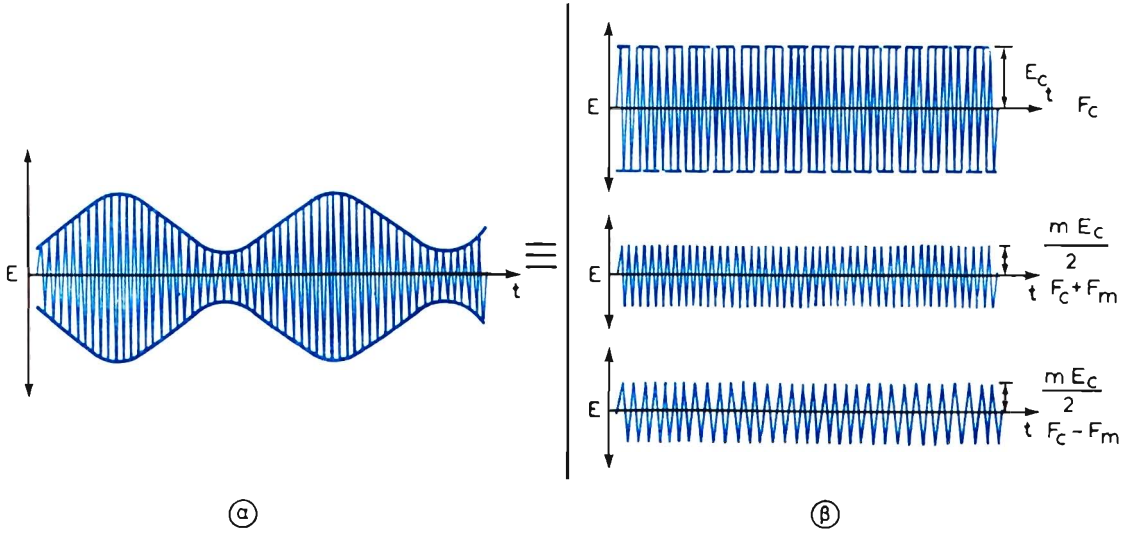
ή
$$e = E_c\text{συν}\omega_c t + \frac{mE_c}{2}\text{συν}(\omega_c+\omega_m)t + \frac{mE_c}{2}\text{συν}(\omega_c - \omega_m)t \qquad (6.15)$$

Από την παραπάνω ανάλυση, φθάνοντας στην τελική εξίσωση (6.15) παρατηρούμε ότι το διαμορφωμένο κύμα είναι σαν να αποτελείται από τρεις βασικές συχνότητες που είναι:

α) Η συχνότητα του φέροντος σήματος ω_c ή F_c με σταθερό πλάτος E_c.

β)Μία δεύτερη συχνότητα που είναι το άθροισμα φέροντος και διαμορφούντος $(\omega_c+\omega_m)$ ή (F_c+F_m), με πλάτος $mE_c/2$ και

γ) μία τρίτη συχνότητα που είναι η διαφορά του φέροντος και του διαμορφούντος $(\omega_c-\omega_m)$ ή (F_c-F_m), με πλάτος $mE_c/2$, όπως φαίνεται στο σχήμα 6.7β.

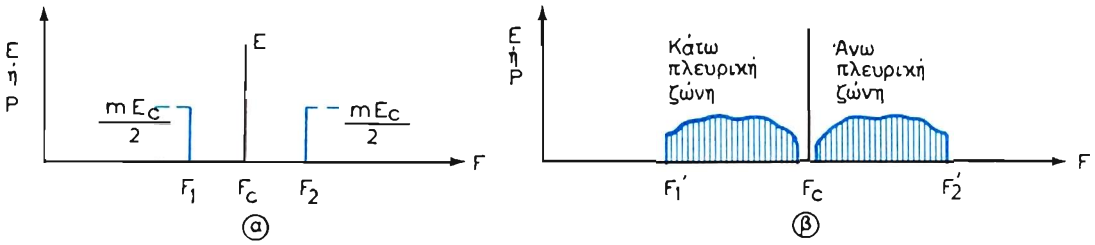


Σχ. 6.7β.
Διαμορφωμένο σήμα Υ.Σ. και οι ισοδύναμες Υ.Σ. που το συνθέτουν.

Στο σχήμα αυτό, αν προσθέσομε γραφικά τις τρεις συχνότητες του (β), θα μας δώσουν την κυματομορφή (α).

Η F_c, όπως αναφέρθηκε ονομάζεται ***φέρον σήμα*** (ή κύμα) ενώ οι άλλες δύο συχνότητες ονομάζονται ***πλευρικές.*** Η $F_1 = F_c - F_m$ ονομάζεται ***κάτω πλευρική,*** γιατί είναι μικρότερη από τη φέρουσα. Η $F_2 = F_c + F_m$ ονομάζεται ***άνω πλευρική συχνότητα,*** γιατί είναι μεγαλύτερη από την F_c. Αν έχομε μια υψηλή συχνότητα, π.χ. 500 kc/s, που διαμορφώνεται με μια χαμηλή συχνότητα 800 c/s, τότε θα έχομε αντίστοιχα $F_c = 500$ kc/s (φέρον σήμα), $F_1 = 500000$ c/s $-$ 800 c/s $= 499{,}2$ kc/s κάτω πλευρική συχνότητα και $F_2 = 500000$ c/s + 800 c/s $= 500{,}8$ kc/s (άνω πλευρική συχνότητα).

Τονίζεται εδώ ότι η άνω και η κάτω πλευρικές συχνότητες είναι ραδιοσυχνότη-



Σχ. 6.7γ.
Πλευρικές συχνότητες διαμορφωμένου σήματος.

τες που βρίσκονται αριστερά και δεξιά της F_c, όπως φαίνεται στο σχήμα 6.7γ (α).

Οταν η Υ.Σ. διαμορφώνεται με μία ορισμένη χαμηλή συχνότητα, εμφανίζονται δύο πλευρικές συχνότητες. Αν όμως η Χ.Σ. δεν είναι ορισμένη, αλλά είναι η ομιλία ή η μουσική, τότε έχομε ένα φάσμα χαμηλών συχνοτήτων, οι οποίες είναι για την ομιλία από 300 ως 3000 c/s περίπου. Ετσι τώρα δεν εμφανίζονται δύο πλευρικές συχνότητες, αλλά ένα φάσμα συχνοτήτων, οι οποίες δημιουργούν την κάτω και την άνω πλευρική ζώνη συχνοτήτων, όπως φαίνεται στο σχήμα 6.7γ(β). Στο σχήμα δεν έχουν όλες οι πλευρικές το ίδιο ύψος, γιατί έχουν διαφορετική ενίσχυση από τον ενισχυτή των χαμηλών συχνοτήτων και από το διαμορφωτή.

Η κάτω πλευρική ζώνη είναι από την F_1' μέχρι την F_c (φέρον σήμα). Η F_1' είναι η διαφορά της υψηλότερης ακουστικής συχνότητας της περιοχής, δηλαδή 3000 c/s (για το παράδειγμά μας) από την F_c. Από την F_1' μέχρι την F_c θα είναι η διαφορά των συχνοτήτων 3000 μέχρι 300 c/s από την F_c, ενώ η F_2' θα είναι το άθροισμα της υψηλότερης συχνότητας της περιοχής (3000 c/s) με την F_c και η περιοχή από την F_c μέχρι την F_2' το άθροισμα των συχνοτήτων 300 μέχρι 3000 c/s, με την F_c.

Το ολικό φάσμα που θα καλύπτουν οι δύο πλευρικές είναι το άθροισμά τους. Αν έχομε π.χ. μια υψηλή συχνότητα 600 kc/s που διαμορφώνεται με ομιλία (τηλεφωνία), στην εκπομπή θα εκπέμπονται οι 600 kc/s με τις δύο πλευρικές που θα καλύπτουν περιοχή 6 kc/s, δηλαδή από 597 kc/s μέχρι 603 kc/s. Για τους πομπούς που εκπέμπουν μουσική, το φάσμα αυτό είναι μεγαλύτερο.

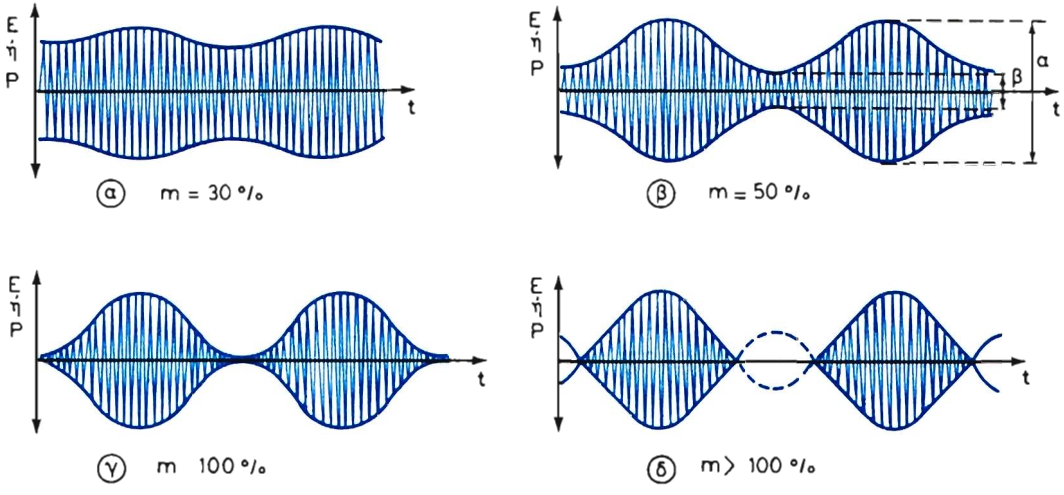
Στη διαμόρφωση, βασικής σημασίας είναι επίσης και το βάθος διαμορφώσεως, το οποίο καθορίζεται από το διαμορφωτή με το συντελεστή διαμορφώσεως m. Το m είναι ο λόγος της τάσεως ή της ισχύος της ακουστικής συχνότητας προς την τάση ή την ισχύ της υψηλής συχνότητας. Στο σχήμα 6.7δ φαίνονται τέσσερις κυματομορφές διαμορφωμένου σήματος με διάφορα ποσοστά διαμορφώσεως.

Το βάθος ή ο βαθμός διαμορφώσεως καθορίζεται από το πλάτος της χαμηλής συχνότητας. Οταν το πλάτος είναι πολύ μεγάλο και ξεπερνά το 100%, έχομε την υπερδιαμόρφωση [σχ. 6.7δ(ε)], η οποία προκαλεί παραμόρφωση στη λήψη του σήματος. Οταν η διαμόρφωση είναι μικρότερη απο 30%, στό δέκτη έχομε ισχυρό φύσημα και θόρυβο. Η καλύτερη λήψη είναι αυτή που επιτυγχάνομε όταν η διαμόρφωση είναι 40 μέχρι 90%.

Στην κυματομορφή που μπορούμε να δούμε σε ένα παλμογράφο, το ποσοστό διαμόρφώσεως βρίσκεται από το λόγο του μέγιστου και του ελάχιστου πλάτους της κυματομορφής. Το μέγιστο είναι το α και το ελάχιστο το β [σχ. 6.7δ(β)], τα οποία μπορούμε να μετρήσομε σε εκατοστά ή χιλιοστά στην κυματομορφή. Το ποσοστό διαμορφώσεως δίνεται από τη σχέση:

$$m = \frac{\alpha - \beta}{\alpha + \beta} \cdot 100\,\% \qquad (6.16)$$

Στο διαμορφωμένο σήμα έχομε τα δύο χαρακτηριστικά της χαμηλής συχνότητας (π.χ. της ομιλίας), τα οποία είναι η ένταση και η χροιά (συχνότητα). Η ένταση επιδρά στο βάθος διαμορφώσεως, δηλαδή δυνατή φωνή μεγάλη διαμόρφωση και σιγανή φωνή μικρή διαμόρφωση. Η συχνότητα της φωνής επιδρά στην ταχύτητα μεταβολής της αυξομειώσεως του πλάτους. Μια υψηλή νότα, π.χ. 3000 c/s, θα αυξομειώνει το πλάτος της Υ.Σ. 3000 φορές το δευτερόλεπτο, ενώ μια χαμηλή νότα, π.χ. 200 c/s, θα το αυξομειώνει 200 φορές το δευτερόλεπτο.



Σχ. 6.7δ.
Κυματομορφές με διάφορα ποσοστά διαμορφώσεως.

6.8 Ισχύς διαμορφωμένου σήματος.

Η ισχύς τού διαμορφωμένου σήματος είναι μεγαλύτερη από του αδιαμόρφωτου, αφού σ' αυτό προστίθεται η ισχύς της χαμηλής συχνότητας που δίνει ο διαμορφωτής. Η ισχύς που προστίθεται εξαρτάται από το συντελεστή διαμορφώσεως m και εμφανίζεται ως ισχύς των πλευρικών συχνοτήτων. Η ολική ισχύς που θα εκπέμψει ο πομπός θα είναι:

$$P_{ολ} = P_c + P_m \qquad (6.17)$$

Η P_c είναι η ισχύς του φέροντος σήματος χωρίς διαμόρφωση, που θα εκπέμψει ο πομπός από την κεραία του. Η τιμή της καθορίζεται από τον τελικό ενισχυτή ισχύος του πομπού. Η P_m είναι η ισχύς των πλευρικών που περιέχουν τις πληροφορίες και η τιμή της καθορίζεται από την ισχύ του διαμορφωτή, η οποία πρέπει να είναι αντίστοιχη με την τελική ισχύ του πομπού. Η ισχύς των δύο πλευρικών συχνοτήτων ή ζωνών, καθορίζεται από τη σχέση:

$$P_m = P_c \frac{m^2}{2} \qquad (6.18)$$

και η ισχύς κάθε πλευρικής είναι:

$$P_{m_1} = P_{m_2} = P_C \frac{m^2}{4} \tag{6.19}$$

η δε τελική ισχύς του διαμορφωμένου σήματος (ή κύματος) είναι:

$$P_{o\lambda} = P_C + P_m = P_C + P_C \frac{m^2}{2} = P_C \left(1 + \frac{m^2}{2}\right) \tag{6.20}$$

Από την παραπάνω σχέση παρατηρούμε ότι, αν το ποσοστό διαμορφώσεως είναι 100%, τότε το m = 1 και η ισχύς των πλευρικών γίνεται ίση με το 0,5 της ισχύος του φέροντος ($P_m = 0,5\ P_C$). Αν π.χ. έχομε έναν πομπό αδιαμόρφωτου κύματος ισχύος 200 W, όταν του εφαρμόσομε διαμόρφωση 100%, η ολική ισχύς του διαμορφωμένου κύματος θα είναι 300 W. Αν το ποσοστό διαμορφώσεως είναι 50%, τότε η ολική ισχύς του διαμορφωμένου κύματος θα είναι 225 W, δηλαδή λίγο μεγαλύτερη από την ισχύ του αδιαμόρφωτου κύματος. Για την καλύτερη μετάδοση των πληροφοριών το ποσοστό διαμορφώσεως πρέπει να είναι μεγαλύτερο του 50% και μέχρι το πολύ 100%.

6.9 Τρόποι διαμορφώσεως πλάτους. Διαμορφωτές.

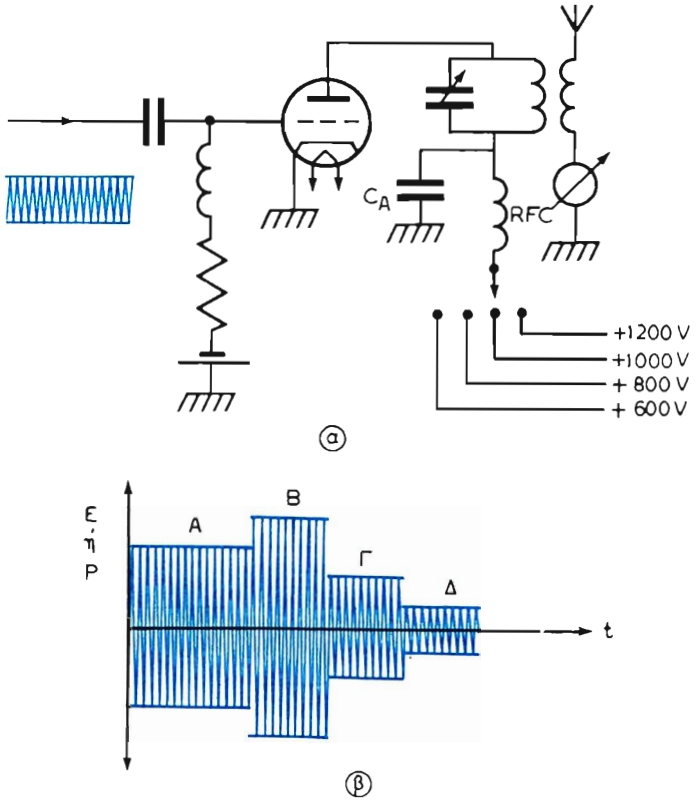
Η διαμόρφωση πλάτους πραγματοποιείται στην τελική βαθμίδα του πομπού, ώστε να μπορέσει να επιτευχθεί διαμόρφωση μέχρι 100%. Η διαμόρφωση πραγματοποιείται με την επίδραση της ακουστικής συχνότητας στα διάφορα ηλεκτρόδια της τελικής ενισχύτριας ισχύος. Εχομε έτσι τη διαμόρφωση από την άνοδο, από το οδηγό πλέγμα, από το προστατευτικό πλέγμα και από άνοδο και προστατευτικό.

α) Διαμόρφωση από την άνοδο.

Αυτός ο τρόπος διαμορφώσεως στηρίζεται στην αρχή της μεταβολής της ανοδικής τάσεως της ενισχύτριας ισχύος Υ.Σ. και στη λόγω αυτής μεταβολή του πλάτους του σήματος εξόδου. Η τάση ή η ισχύς του σήματος εξόδου σε έναν ενισχυτή, εκτός από το σήμα εισόδου και τους συντελεστές της λυχνίας, καθορίζεται και από την τάση τροφοδοσίας V_B. Οταν αυτή μειώνεται, μειώνεται και το σήμα εξόδου, γιατί μειώνεται η ικανότητα ενισχύσεως της λυχνίας ή, όπως λέμε, μεταβάλλεται το σημείο λειτουργίας της λυχνίας, δηλαδή τα δυναμικά χαρακτηριστικά της.

Αν π.χ. έχομε τον ενισχυτή ισχύος Υ.Σ. του σχήματος 6.9α(α) και τροφοδοτείται με τάση ανόδου 1000 V, το πλάτος του σήματος εξόδου θα είναι Α [σχ. 6.9α(β)]. Αν η τάση ανόδου γίνει 1200 V, το πλάτος του σήματος θα αυξηθεί και θα γίνει το Β. Αν μειωθεί η τάση ανόδου και γίνει 800 V, το πλάτος του σήματος θα μειωθεί και θα γίνει το Γ, για 600 V θα γίνει το Δ κ.ο.κ.

Με το παράδειγμα φάνηκε η μεταβολή του πλάτους του σήματος εξόδου με τη μεταβολή της τάσεως ανόδου. Αν αυτή η μεταβολή της τάσεως ανόδου γίνει στο ρυθμό μιας χαμηλής συχνότητας, τότε η αυξομείωση του πλάτους θα γίνεται σ' αυτό το ρυθμό. Αυτό μπορεί να επιτευχθεί εύκολα, αν σε σειρά με την τάση ανόδου συνδέσομε το δευτερεύον ενός μετασχηματιστή ακουστικών συχνοτήτων. Το ρεύμα ανόδου της λυχνίας ισχύος Υ.Σ. θα περνά από το δευτερεύον τύλιγμα του μετασχηματιστή. Στο σχήμα 6.9β έχομε το κύκλωμα ενός ενισχυτή Υ.Σ., το οποίο διαμορφώνεται από την άνοδο.

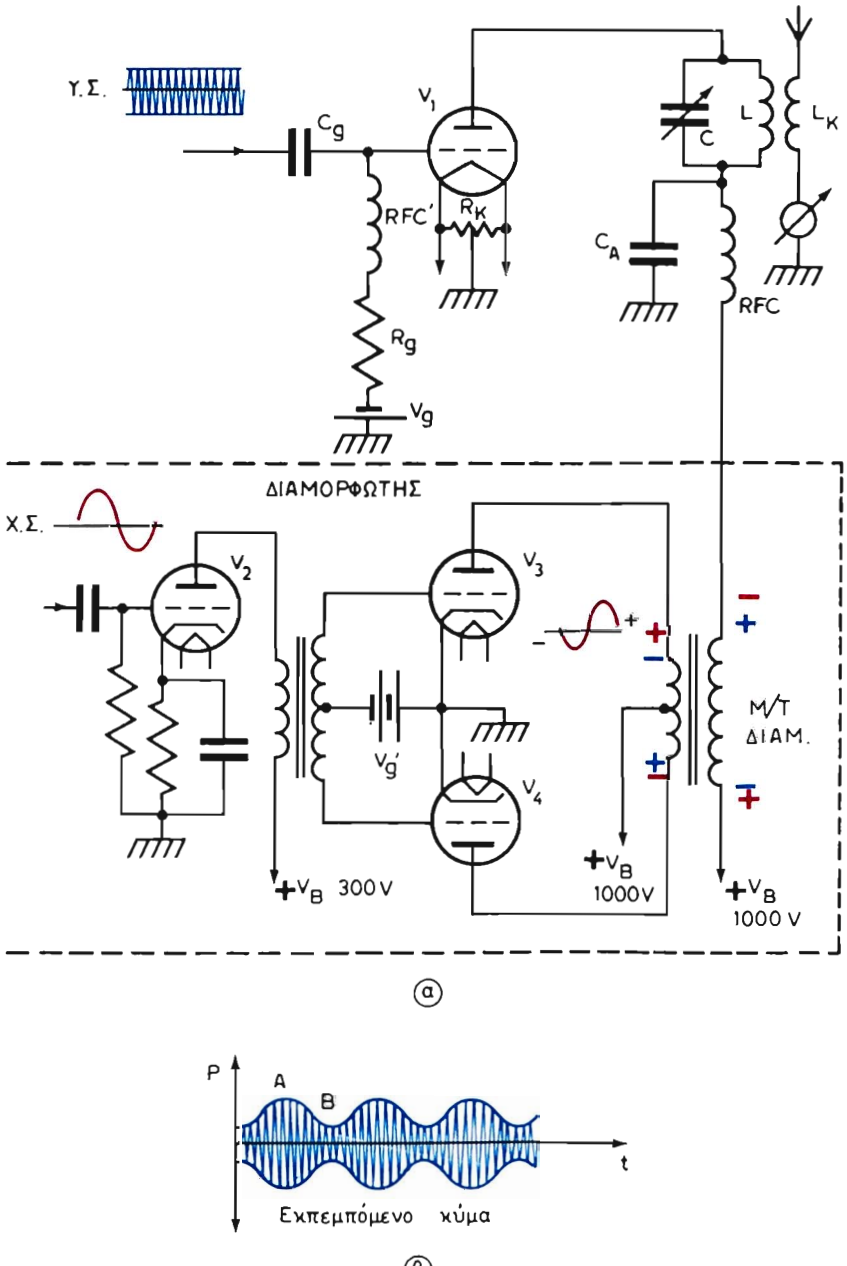


Σχ. 6.9α.
Ενισχυτής Υ.Σ. και σήμα εξόδου μεταβαλλόμενου πλάτους.

Στην άνοδο της λυχνίας ισχύος Υ.Σ. V_1 εφαρμόζεται τάση 1000 V η οποία περνά από το δευτερεύον του μετασχηματιστή διαμορφώσεως. Στην είσοδο του διαμορφωτή εφαρμόζεται το σήμα ακουστικής συχνότητας, το οποίο ενισχύεται από την V_2 και εφαρμόζεται στον ενισχυτή ισχύος που είναι συμμετρικός. Επιτυγχάνεται έτσι μεγάλη ενίσχυση ισχύος των ακουστικών συχνοτήτων. Αν υποθέσομε ότι στο πρωτεύον εμφανίζεται πολικότητα με μείον πάνω και συν κάτω, στο δευτερεύον θα εμφανισθεί αντίθετα, δηλαδή με συν πάνω και μείον κάτω.

Έστω ότι αυτή η τάση στο δευτερεύον είναι 500 V. Με την πολικότητα που έχει, προστίθεται στα 1000 V και έτσι η μέγιστη τάση ανόδου της V_1 γίνεται 1500 V, με αποτέλεσμα το σήμα εξόδου Υ.Σ. να παίρνει τη μέγιστη τιμή του Α.

Στην άλλη ημιπερίοδο του σήματος Α.Σ. θα εμφανισθεί στο δευτερεύον μείον επάνω και συν κάτω με μέγιστη τιμή 500 V. Αυτή η πολικότητα είναι αντίθετη τώρα και η τάση αφαιρείται από τα 1000 V. Η ελάχιστη τάση ανόδου της V_1 γίνεται 500 V, με αποτέλεσμα το σήμα εξόδου Υ.Σ. να παίρνει την ελάχιστη τιμή του Β. Στις ενδιάμεσες τιμές του σήματος Α.Σ. η τάση ανόδου της V_1 θα μεταβάλλεται από 500 ως 1500 V, με αποτέλεσμα το κύμα εξόδου να παίρνει την τελική μορφή εκπομπής [σχ. 6.9β(β)].



Σχ. 6.9β.
Διαμόρφωση από την άνοδο.

Με αυτή τη μέθοδο η διαμόρφωση είναι γραμμική, με τις λιγότερες παραμορφώσεις και το μεγαλύτερο ποσοστό διαμορφώσεως, το οποίο μπορεί να φθάσει 100%. Απαιτεί όμως διαμορφωτή μεγάλης ισχύος. Αν π.χ. η ισχύς εξόδου του πομπού σε αδιαμόρφωτο είναι 200 W και η βαθμίδα εξόδου εργάζεται σε τάξη C με

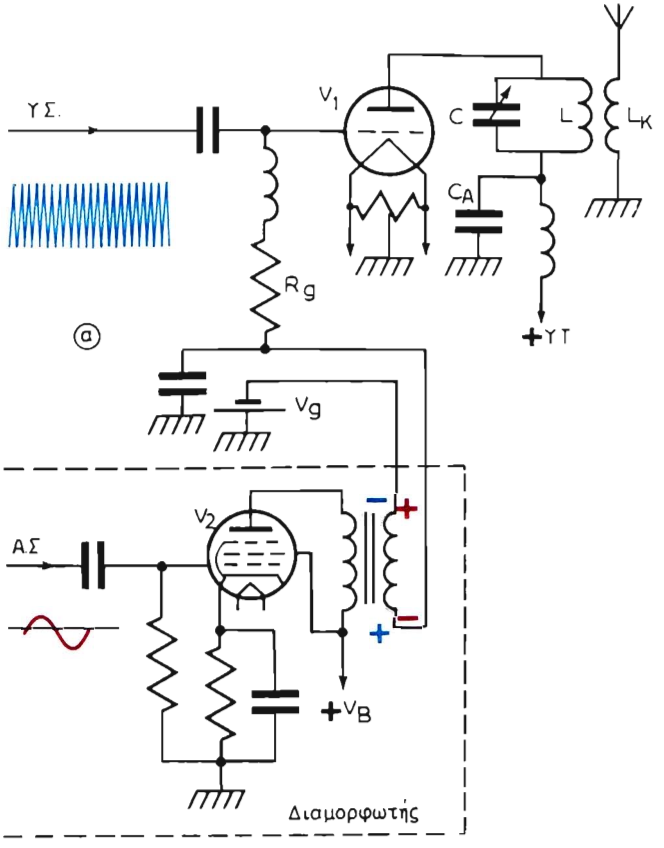
απόδοση 80%, τότε η ολική ισχύς της τελικής βαθμίδας Υ.Σ. είναι 250 W. Αυτή την ισχύ πρέπει να διαμορφώσει ο διαμορφωτής, δηλαδή την ωφέλιμη και τις απώλειες και αυτή πρέπει να είναι η ισχύς εξόδου του. Αν οι τελικές διαμορφώτριες εργάζονται σε τάξη B_1 ο βαθμός αποδόσεως θα είναι 60% περίπου και η ολική του ισχύς θα είναι 417 W (με ωφέλιμη 250 W), για διαμόρφωση 100%.

Στο παραπάνω παράδειγμα παρατηρούμε ότι ένας διαμορφωτής για διαμόρφωση από την άνοδο, για να πετύχει διαμόρφωση 100% πρέπει να έχει διπλάσια ολική ισχύ από αυτήν του ενισχυτή ισχύος Υ.Σ. Αν και η μέθοδος αυτή απαιτεί μεγάλης ισχύος διαμορφωτή, χρησιμοποιείται κατά 90% περίπου για τα άλλα της πλεονεκτήματα.

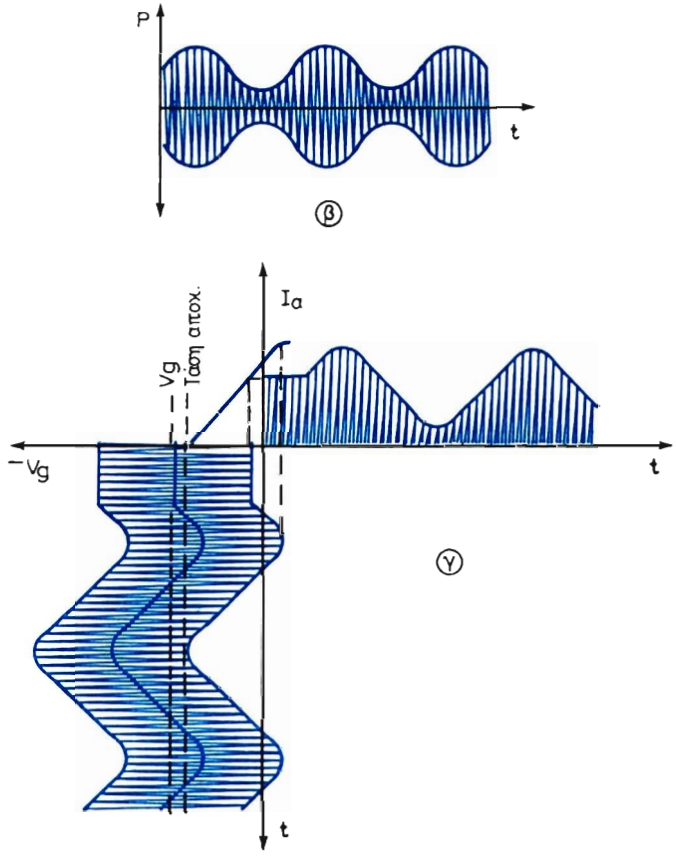
β) Διαμόρφωση από το οδηγό πλέγμα.

Αυτός ο τρόπος διαμορφώσεως στηρίζεται στη μεταβολή της τάσεως πολώσεως του πλέγματος στο ρυθμό της ακουστικής συχνότητας. Αν το σήμα εισόδου υψηλής συχνότητας είναι σταθερό αλλά μεταβάλλεται η πόλωση, τότε θα μεταβάλλεται το ρεύμα ανόδου και από αυτό η τάση και η ισχύς του σήματος εξόδου.

Στο σχήμα 6.9γ(α) φαίνεται το κύκλωμα του ενισχυτή ισχύος Υ.Σ. Μεταξύ της πηγής για την πόλωση και της αντιστάσεως πλέγματος παρεμβάλλεται το δευτερεύον του μετασχηματιστή διαμορφώσεως. Η λυχνία V_2 είναι ενισχύτρια ισχύος



Σχ. 6.9γ(α).
Διαμόρφωση από το πλέγμα.



Σχ. 6.9γ(β) (γ).
Διαμόρφωση από το πλέγμα.

ακουστικών συχνοτήτων και στο δευτερεύον του μετασχηματιστή θα αναπτύσσεται εναλλασσόμενη τάση Α.Σ. που είναι και το διαμορφούν σήμα.

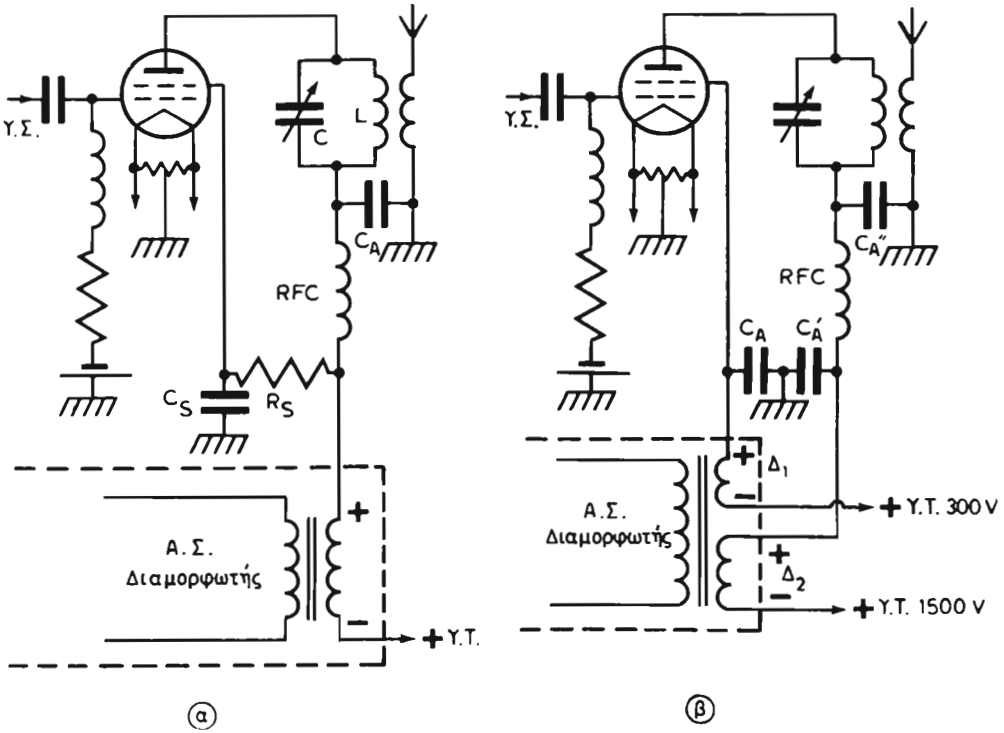
Με την επίδραση αυτής της τάσεως, η πόλωση της V_1 θα αρχίσει να αυξομειώνεται στο ρυθμό της. Έτσι, ενώ το σήμα Υ.Σ. θα έχει σταθερό πλάτος, θα μεταβάλλεται η πόλωση, με αποτέλεσμα τη μεταβολή του ανοδικού ρεύματος, όπως φαίνεται στο σχήμα 6,9γ(γ). Με τη μεταβολή του ανοδικού ρεύματος μεταβάλλεται η ισχύς του σήματος εξόδου της Υ.Σ., το οποίο παίρνει τελικά τη μορφή του σχήματος 6.9γ(β).

Αυτός ο τρόπος διαμορφώσεως απαιτεί διαμορφωτή πολύ μικρής ισχύος, αλλά το σήμα εξόδου παρουσιάζει μεγαλύτερη παραμόρφωση από ό,τι στη διαμόρφωση ανόδου. Ο βαθμός αποδόσεως της ενισχύτριας ισχύος Υ.Σ. είναι μικρότερος από όσο όταν λειτουργεί χωρίς διαμόρφωση. Η ισχύς εξόδου του διαμορφωμένου κύματος είναι μικρότερη από αυτήν που έχομε όταν γίνεται διαμόρφωση από την άνοδο. Έτσι, αυτός ο τρόπος διαμορφώσεως χρησιμοποιείται σε μικρής ισχύος πομπούς.

γ) Διαμόρφωση από άνοδο και προστατευτικό πλέγμα.

Σε πέντοδες και τέτροδες λυχνίες μπορούμε να εφαρμόσομε διαμόρφωση συγχρόνως από την άνοδο και το προστατευτικό πλέγμα. Αν μεταβάλομε μόνο την τάση ανόδου (όπως στην περίπτωση της τρίοδης), το ρεύμα ανόδου και η ισχύς εξόδου δεν μεταβάλλονται πολύ, γιατί στην αγωγιμότητα της τέτροδης ή πέντοδης σπουδαιότερη σημασία έχει η τάση του προστατευτικού πλέγματος. Αν εφαρμόσομε διαμόρφωση μόνο από το προστατευτικό πλέγμα, παρουσιάζεται παραμόρφωση στο σήμα εξόδου. Έτσι, η καλύτερη διαμόρφωση πραγματοποιείται με σύγχρονη μεταβολή της τάσεως του προστατευτικού πλέγματος και της τάσεως ανόδου.

Στο σχήμα 6.9δ(α) φαίνεται το κύκλωμα διαμορφώσεως από την άνοδο και προστατευτικό πλέγμα. Η Υ.Τ. που τροφοδοτεί την άνοδο και το προστατευτικό πλέγμα περνά από το δευτερεύον του μετασχηματιστή διαμορφώσεως. Έτσι, η τάση ανόδου και προστατευτικού πλέγματος μεταβάλλεται συγχρόνως στο ρυθμό της ακουστικής συχνότητας, με αποτέλεσμα να αυξομειώνεται η ενισχυτικότητα της λυχνίας και από αυτήν η ισχύς του σήματος εξόδου και του εκπεμπόμενου κύματος.



Σχ. 6.9δ.
Διαμόρφωση από άνοδο και προστατευτικό πλέγμα.

Όταν η πολικότητα της τάσεως στο δευτερεύον του μετασχηματιστή διαμορφώσεως είναι όπως στο σχήμα, η τάση ανόδου και προστατευτικού πλέγματος αυξάνει, με αποτέλεσμα να αυξάνει και η ισχύς του σήματος εξόδου και να παίρνει το μέγιστο πλάτος. Όταν η πολικότητα είναι αντίθετη, η τάση μειώνεται, με αποτέλεσμα να μειώνεται η ισχύς του σήματος εξόδου και να παίρνει το ελάχιστο πλάτος.

Έτσι το σήμα εξόδου και το εκπεμπόμενο κύμα θα έχει τη μορφή του σχήματος 6.9β(β).

Η ισχύς του διαμορφωτή είναι μεγάλη, όπως και στην περίπτωση της τρίοδης λυχνίας από την άνοδο. Παρουσιάζει όμως ελάχιστη παραμόρφωση με πολύ καλό βαθμό αποδόσεως και μεγαλύτερη ισχύ εξόδου, γιατί στην ισχύ του φέροντος προστίθεται και η ισχύς των πλευρικών.

Το κύκλωμα του σχήματος 6.9δ(β) χρησιμοποιείται σε πομπούς μεγάλης σχετικά ισχύος, για να μην υπάρχει η απώλεια ισχύος στον R_S του προστατευτικού πλέγματος. Αν η Υ.Τ είναι π.χ. 1500 V και η τάση προστατευτικού πλέγματος πρέπει να γίνει 300 V, τότε πρέπει να επιτευχθεί πτώση τάσεως 1200 V στον R_S, με αντίστοιχη απώλεια ισχύος. Στο σχήμα 6.9δ(β) η γραμμή προστατευτικού πλέγματος περνά από χωριστό τύλιγμα στο δευτερεύον του μετασχηματιστή διαμορφώσεως και συνδέεται σε τάση +300 V, ενώ η γραμμή ανόδου συνδέεται σε τάση +1500 V με άλλο τύλιγμα. Οι δύο τάσεις μεταβάλλονται συμφασικά με την επίδραση της Α.Σ. Με τους πυκνωτές C_A, C'_A επιτυγχάνομε την απόζευξη της Υ.Σ.

δ) Διαμορφωτής.

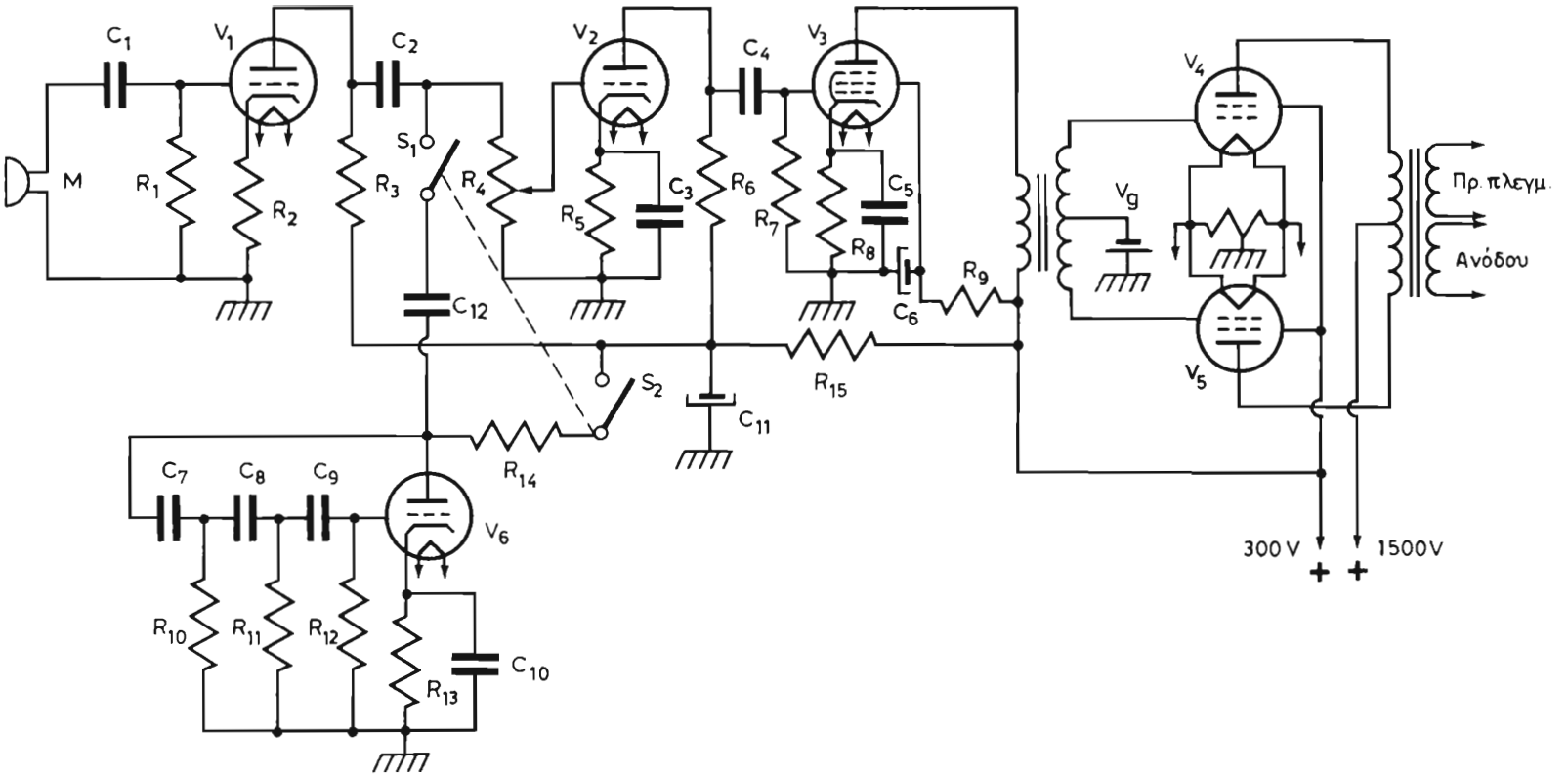
Ο διαμορφωτής είναι ένας πλήρης ενισχυτής ακουστικών συχνοτήτων, που έχει στην είσοδο το μικρόφωνο και στην έξοδο το μετασχηματιστή διαμορφώσεως (σχ. 6.9ε). Το μικρόφωνο θα μετατρέψει τις ηχητικές μεταβολές σε εναλλασσόμενο ρεύμα αντίστοιχης συχνότητας, μικρής όμως τάσεως και ισχύος, που είναι το σήμα εισόδου του ενισχυτή. Το σήμα θα ενισχυθεί από τις ενισχύτριες τάσεως, θα οδηγηθεί στον αναστροφέα φάσεως και από εκεί στον ενισχυτή ισχύος, που είναι συμμετρικός. Ο μετασχηματιστής εξόδου εδώ είναι ο μετασχηματιστής διαμορφώσεως, ο οποίος πρέπει να προσαρμόσει την αντίσταση εξόδου των λυχνιών ισχύος με την αντίσταση που παρουσιάζει το ανοδικό κύκλωμα της ενισχύτριας ισχύος Υ.Σ. Ο λόγος μετασχηματισμού είναι συνήθως 2:1 μέχρι 1:2.

Στη θέση του μετασχηματιστή, μπορεί, για οικονομία, να χρησιμοποιηθεί και αυτομετασχηματιστής ή πηνίο μεγάλης αυτεπαγωγής που ενεργεί ως στραγγαλιστικό πηνίο ακουστικών συχνοτήτων (A.F.C.).

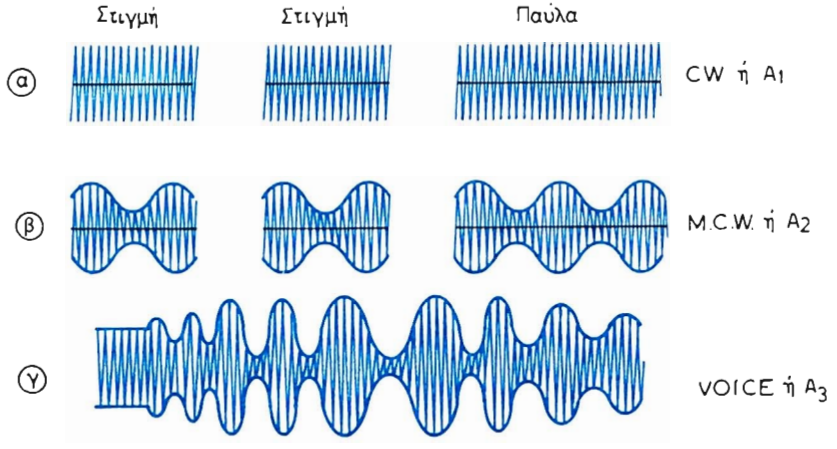
Μέσα στο διαμορφωτή υπάρχει συνήθως και ένας ταλαντωτής ακουστικών συχνοτήτων 800-1200 c/s περίπου. Ο ταλαντωτής αυτός τίθεται σε λειτουργία, όταν ο πομπός πρέπει να λειτουργήσει με διαμορφωμένο σήμα στο μορσικό κώδικα M.C.W. (εκπομπή σε μορφή Α2). Όταν κλείσουν οι διακόπτες S_1 και S_2, η λυχνία V_6, που είναι ταλαντώτρια ακουστικών συχνοτήτων, παράγει το ακουστικό σήμα σταθερής συχνότητας το οποίο ενισχύεται από τη V_2 και τις άλλες λυχνίες και διαμορφώνει το σήμα Υ.Σ. που παίρνει τη μορφή του σχήματος 6.9στ(β). Με το ποτενσιόμετρο R_4 ρυθμίζεται το σήμα εισόδου της V_2 και από αυτό το ποσοστό διαμορφώσεως. Σε πολλούς διαμορφωτές, το ποσοστό διαμορφώσεως ρυθμίζεται αυτόματα με κατάλληλο κύκλωμα.

Ένας πομπός με διαμορφωτή, μπορεί να λειτουργήσει και στις τρεις μορφές εκπομπής Α1, Α2 και Α3.

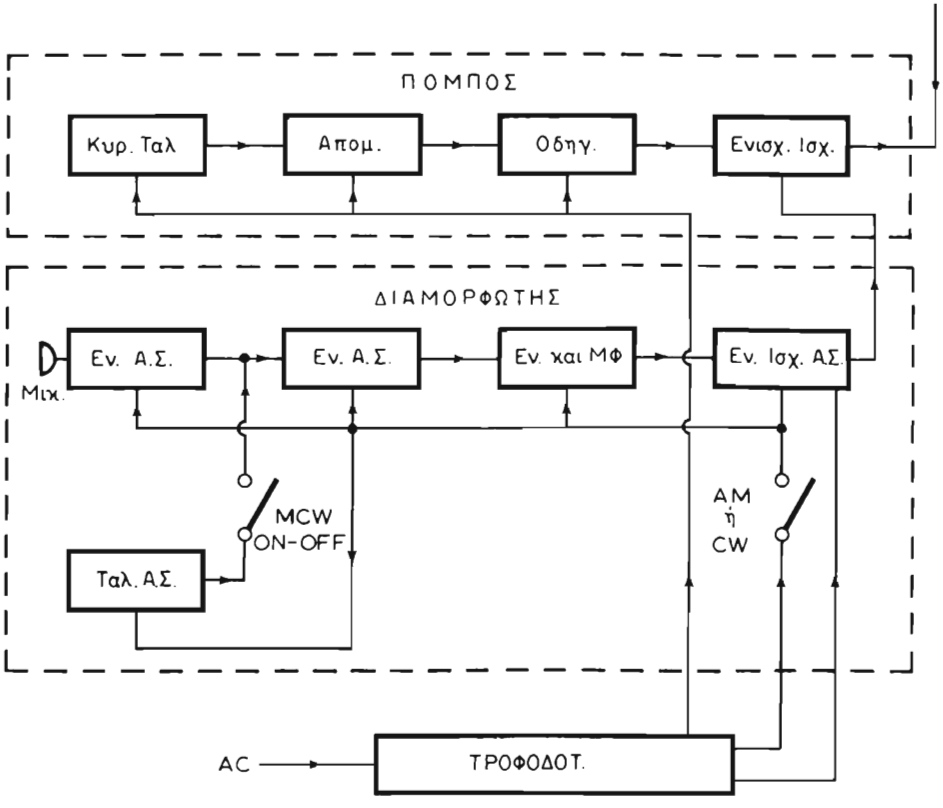
Για την πρώτη περίπτωση, ο διαμορφωτής είναι κλειστός (OFF), χωρίς τάσεις στα νήματα και στις ανόδους. Ο πομπός λειτουργεί τότε με το χειριστήριο, όπως αναφέρθηκε στην παράγραφο 6.3, το δε σήμα εξόδου έχει τη μορφή του σχήματος 6.9στ(α).



Σχ. 6.9ε.
Κύκλωμα διαμορφωτή.



Σχ. 6.9στ.
Μορφές κυμάτων.



Σχ. 6.9ζ.
Βασικό διάγραμμα πομπού CW και AM.

Στη δεύτερη περίπτωση, ο διαμορφωτής τροφοδοτείται και λειτουργεί. Οι διακόπτες S_1 και S_2 είναι κλειστοί και ο ταλαντωτής Α.Σ. λειτουργεί. Η υψηλή τάση που θα τροφοδοτήσει τη λυχνία ισχύος Υ.Σ. θα μεταβάλλεται στο ρυθμό της Α.Σ. του ταλαντωτή και όταν κλείνει το χειριστήριο, το εκπεμπόμενο κύμα θα είναι διαμορφωμένο και θα έχει τη μορφή του σχήματος 6.9στ(β).

Για την τρίτη περίπτωση οι διακόπτες S_1 και S_2 είναι ανοικτοί και ο ταλαντωτής δεν λειτουργεί. Με πίεση του διακόπτη του μικροφώνου, το οποίο ενεργεί όπως και το χειριστήριο, ο πομπός εκπέμπει και αν μιλήσομε στο μικρόφωνο, εκπέμπει διαμορφωμένο κύμα όπως του σχήματος 6.9στ(γ).

Ο πομπός συντηρουμένων κυμάτων του σχήματος 6.3α μπορεί να γίνει πομπός και διαμορφωμένων κατά πλάτος κυμάτων, αν προστεθεί σ' αυτόν ο διαμορφωτής του σχήματος 6.9ε. Έτσι, ο πομπός μπορεί να λειτουργεί και στις τρεις μορφές των κυμάτων του σχήματος 6.9στ. Το βασικό διάγραμμα του συγκροτήματος φαίνεται στο σχήμα 6.9ζ.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΕΒΔΟΜΟ

ΔΕΚΤΕΣ ΣΗΜΑΤΩΝ ΑΜ ΚΑΙ CW

7.1 Γενικά.

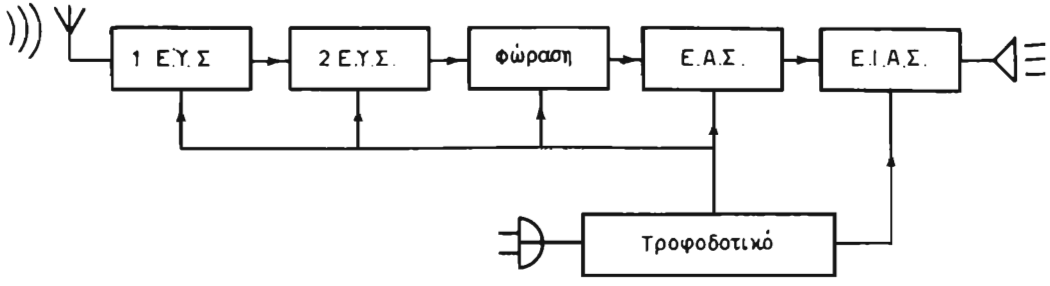
Δέκτης είναι η ηλεκτρονική συσκευή που προορισμό έχει να λάβει τα σήματα που θα στείλει ο πομπός, να τα αποκωδικοποιήσει και να τα αποδώσει με το μεγάφωνο ή τα ακουστικά. Αποτελείται από αριθμό βαθμίδων με λυχνίες ή κρυσταλλολυχνίες.

Στην είσοδο του δέκτη συνδέεται η κεραία λήψεως, η οποία διεγείρεται από τα ραδιοκύματα που στέλνει ο πομπός και τα μετατρέπει σε ηλεκτρικό ρεύμα πολύ μικρής τάσεως και ισχύος (μικροβόλτ και μικροβάττ). Ο δέκτης με τα κυκλώματα επιλογής, τα οποία είναι συντονιζόμενα κυκλώματα με L και C, θα επιλέξει το κατάλληλο σήμα από την κεραία με την αντίστοιχη συχνότητα. Θα το ενισχύσει στη συνέχεια με τους ενισχυτές Υ.Σ., θα το αποκωδικοποιήσει με το φωρατή, θα ενισχύσει με τους ενισχυτές Α.Σ. το σήμα ακουστικής συχνότητας, που θα εμφανισθεί, και θα το αποδώσει από το μεγάφωνο ή τα ακουστικά.

Ανάλογα με τη μορφή των κυμάτων που λαμβάνουν οι δέκτες διακρίνονται σε ***δέκτες σημάτων διαμορφωμένων κατά πλάτος (ΑΜ)*** και σε ***δέκτες συντηρουμένων κυμάτων (CW ή A1).*** Με κατάλληλο χειρισμό και αλλαγή κυκλωμάτων, ο ίδιος δέκτης μπορεί να λαμβάνει και τις δύο μορφές κυμάτων. Παρακάτω θα γνωρίσομε τις βαθμίδες και τη λειτουργία των δεκτών με λυχνίες.

7.2 Απλοί δέκτες.

Οι παλαιότεροι δέκτες ήταν απλοί, με ενίσχυση Υ.Σ. και φώραση και ενίσχυση Α.Σ. Οι σύγχρονοι χρησιμοποιούν τη μεταλλαγή συχνότητας. Στο σχήμα 7.2 φαίνεται το βασικό διάγραμμα ενός απλού δέκτη. Οι δύο πρώτες βαθμίδες επιλέγουν το



Σχ. 7.2.
Βασικό κύκλωμα απλού δέκτη.

αντίστοιχο σήμα με τα συντονιζόμενα κυκλώματα και το ενισχύουν. Έχουν συνήθως τη σύνδεση του σχήματος 4.16 με συντονιζόμενο κύκλωμα στην είσοδο. Με την τρίτη βαθμίδα επιτυγχάνεται η φώραση και η αποδιαμόρφωση. Το σήμα ακουστικής συχνότητας που θα εμφανισθεί θα ενισχυθεί από τους ενισχυτές Α.Σ. για να φθάσει στο μεγάφωνο.

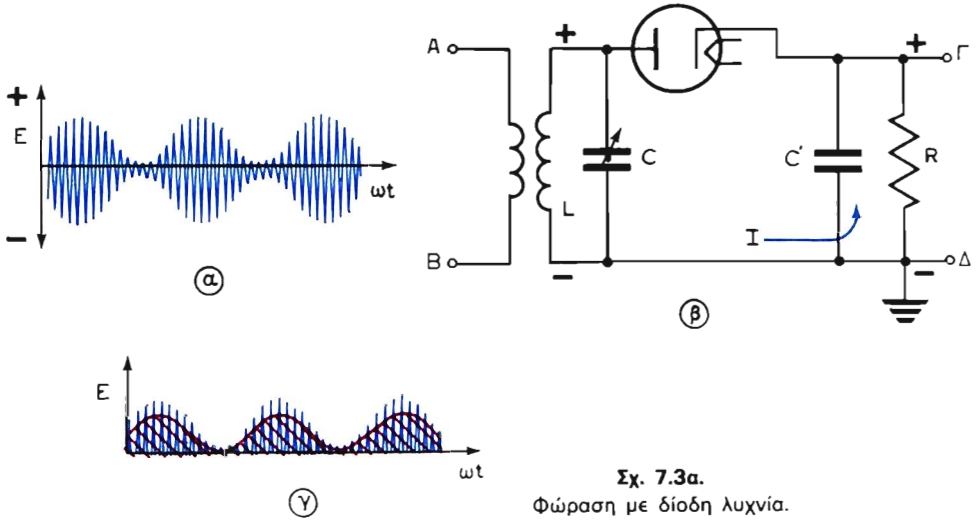
Οι δέκτες αυτοί δεν είχαν καλή επιλεκτικότητα και παρουσίαζαν το μειονέκτημα ότι έπρεπε να συντονίζονται πολλά συντονιζόμενα κυκλώματα στους ενισχυτές Υ.Σ., πράγμα που απαιτούσε λεπτές ρυθμίσεις. Το μειονέκτημα αυτό μειώθηκε στο ελάχιστο με τους υπερετερόδυνους δέκτες, τους οποίους θα γνωρίσομε σε άλλη παράγραφο.

7.3 Φώραση και φωρατές (Detectors).

Φώραση είναι η αντίθετη λειτουργία της διαμορφώσεως. Με τη διαμόρφωση πλάτους μεταβάλλεται το πλάτος της ραδιοσυχνότητας στο ρυθμό της ακουστικής συχνότητας, ενώ με τη φώραση απορρίπτεται η Υ.Σ. και αναδεικνύεται η Α.Σ. Η φώραση είναι γενικά η μετατροπή του ρεύματος υψηλής συχνότητας χαμηλής ισχύος σε συνεχές μεταβαλλόμενο ρεύμα. Πραγματοποιείται με δίοδη λυχνία ή κρυσταλλολυχνία ή και με τρίοδη λυχνία.

α) Φώραση με δίοδη λυχνία.

Η δίοδη λυχνία που χρησιμοποιείται για τη φώραση, σε σύγκριση με τη δίοδη ανορθώτρια, έχει μικρές διαστάσεις. Η απόσταση ανόδου - καθόδου είναι μικρή, για να μπορεί να λειτουργήσει και με πολύ μικρές τάσεις μεταξύ ανόδου - καθόδου. Στο σχήμα 7.3α (β) φαίνεται το κύκλωμα μιας δίοδης φωράτριας. Το σχήμα 7.3α(α) δείχνει το διαμορφωμένο σήμα εισόδου που εφαρμόζεται στα σημεία Α και Β και εμφανίζεται στο δευτερεύον συντονισμένο κύκλωμα. Στις θετικές ημιπεριόδους του σήματος Υ.Σ. η άνοδος της δίοδης γίνεται θετική, η λυχνία άγει και στο κύκλωμα κινείται ρεύμα με τη φορά του βέλους. Αυτό το ρεύμα, περνώντας από



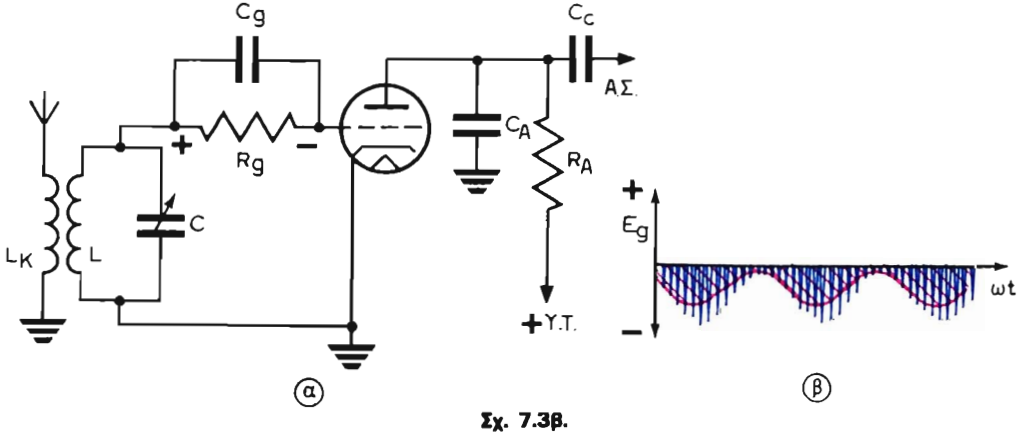
Σχ. 7.3α.
Φώραση με δίοδη λυχνία.

τον αντιστάτη R, δημιουργεί στις άκρες του μια πτώση τάσεως με μείον κάτω και συν επάνω. Η κυματομορφή αυτή είναι ίδια με τις θετικές ημιπεριόδους του σήματος Υ.Σ. εισόδου [σχ. 7.3α(γ)]. Είναι δηλαδή ένα παλμόρρευμα από θετικές ημιπεριόδους μεταβαλλόμενου πλάτους. Με τη βοήθεια του πυκνωτή C΄, το παλμόρρευμα αυτό ή τάση εξομαλύνεται και γίνεται μια συνεχής μεταβαλλόμενη τάση στο ρυθμό της Α.Σ. που διαμόρφωσε την Υ.Σ. Η μέση τιμή της είναι λίγο μικρότερη από τη μέγιστη. Η τάση αυτή είναι η ακουστική συχνότητα που η εναλλασσόμενη συνιστώσα της θα ενισχυθεί από τους ενισχυτές Α.Σ. και θα αποδοθεί από το μεγάφωνο. Η τιμή του αντιστάτη R είναι 100 kΩ, για να δημιουργείται στις άκρες του μια τάση 0,01 — 0,5 V και η τιμή του C΄ 200 — 300 pF, για να εξομαλύνει τους παλμούς της Υ.Σ. ή, όπως λέμε, να διαρρέει την Υ.Σ. προς το κοινό.

Παρατηρούμε ότι με τη φώραση επιτυγχάνεται ανόρθωση του σήματος Υ.Σ. και με τη βοήθεια του R και C΄ γίνεται ανάδειξη της ακουστικής συχνότητας, δηλαδή αποδιαμόρφωση. Αυτή η μέθοδος με δίοδη λυχνία ή κρυσταλλολυχνία χρησιμοποιείται σε όλους τους σύγχρονους δέκτες, γιατί έχει τη μικρότερη παραμόρφωση.

β) Φώραση με τρίοδη λυχνία.

Η φώραση μπορεί επίσης να γίνει και με τρίοδη λυχνία, όπως φαίνεται στο σχήμα 7.3β(α). Η λυχνία δεν έχει πόλωση, το δε σήμα εφαρμόζεται μεταξύ πλέγματος και καθόδου με τον αντιστάτη R_g και τον πυκνωτή C_g. Το σήμα εισόδου έχει τη μορφή του σχήματος 7.3α(α). Στις θετικές ημιπεριόδους του σήματος, το πλέγμα γίνεται θετικό και παίρνει ηλεκτρόνια από την κάθοδο. Το ρεύμα, περνώντας από τον αντιστάτη και το πηνίο, φθάνει στο κοινό και από εκεί στην κάθοδο. Στις άκρες του αντιστάτη δημιουργεί μια πτώση τάσεως όπως στο σχήμα 7.3β(β) που είναι το ίδιο με το παλμόρρευμα του σχήματος 7.3α(γ) και έχει την πολικότητα με μείον προς το πλέγμα. Με τη βοήθεια του πυκνωτή C_g επιτυγχάνεται η εξομάλυνση των παλμών, με αποτέλεσμα να σχηματίζεται μια αρνητική μεταβαλλόμενη τάση [σχ. 7.3β(β)].



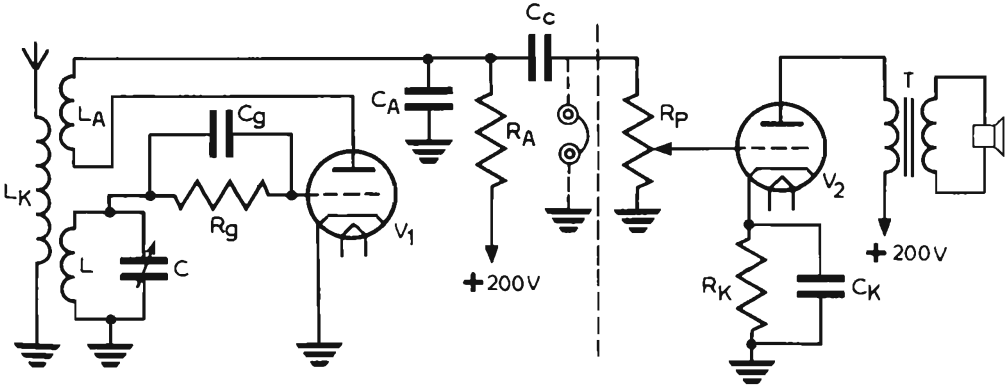
Σχ. 7.3β.
Φώραση από το πλέγμα.

Αυτή η τάση είναι τώρα και σήμα εισόδου για την τρίοδη λυχνία, η οποία λειτουργεί και σαν ενισχύτρια Α.Σ. Έτσι η τάση αυτή ακουστικής συχνότητας θα ενισχυθεί από τη λυχνία και θα εμφανισθεί στην έξοδο μεγαλύτερη. Με τη μέθοδο

λοιπόν αυτή έχομε φώραση του σήματος Υ.Σ και αποδιαμόρφωση και ενίσχυση του ακουστικού σήματος. Ο πυκνωτής C_A είναι για να διαρρέει τις Υ.Σ. και έχει τιμή 300 pF. Η μέθοδος αυτή χρησιμοποιείται σε μικρούς δέκτες με δύο λυχνίες ή με μια διπλοτρίοδη, όπου με το ένα τριοδικό επιτυγχάνεται φώραση και ενίσχυση τάσεως και με το άλλο ενίσχυση μικρής ισχύος για το μεγάφωνο ή τα ακουστικά. Αυτή η μέθοδος παρουσιάζει μεγαλύτερη παραμόρφωση από τη φώραση με δίοδη και γι' αυτό δεν χρησιμοποιείται στους υπερετερόδυνους δέκτες.

7.4 Αυτόδυνος δέκτης.

Ο δέκτης αυτός είναι με τρίοδη λυχνία, με την οποία επιτυγχάνεται επιλογή φώραση - αποδιαμόρφωση, ενίσχυση Α.Σ. και ενίσχυση Υ.Σ. Το κύκλωμα L και C (σχ. 7.4) επιλέγει το σήμα Υ.Σ. που θέλομε να ακούσομε. Το σήμα με τον πυκνωτή C_g εφαρμόζεται στο πλέγμα της λυχνίας V_1 και ενισχύεται, γιατί ανοδικό φορτίο για την Υ.Σ. είναι το πηνίο L_A. Αυτό βρίσκεται σε σύζευξη με το L και το L_K και εκτελεί θετική ανάδραση με το L για μεγαλύτερη ενίσχυση και επιλογή. Έτσι το σήμα Υ.Σ., ενισχυμένο, εφαρμόζεται στο πλέγμα της λυχνίας όπου γίνεται φώραση (από το πλέγμα). Το σήμα Α.Σ. που παρουσιάζεται ενισχύεται σε τάση από τη λυχνία, γιατί ανοδικό φορτίο για την Α.Σ. είναι η R_A, ενώ το πηνίο L_A παρουσιάζει ελάχιστη αντίσταση στην Α.Σ.



Σχ. 7.4.
Αυτόδυνος δέκτης.

Το σήμα ακουστικής συχνότητας μπορεί, με τον πυκνωτή C_c, να οδηγηθεί σε ευαίσθητα ακουστικά και να ακουστεί ή να οδηγηθεί σε μια άλλη τρίοδη λυχνία και να ενισχυθεί σε ισχύ, για να ακουστεί από μικρό μεγάφωνο. Το ποτενσιόμετρο R_p είναι για να ρυθμίζεται η ένταση της φωνής. Αντί για δύο λυχνίες, μπορούμε να έχομε μια διπλοτρίοδη, π.χ. την ECC81.

Ο μικρός αυτός δέκτης είναι για να λαμβάνει σήματα με διαμόρφωση πλάτους. Μπορεί όμως να λάβει και σήματα CW(A1), αν το πηνίο L_A πλησιάσει πολύ το L, σε σημείο όπου η θετική ανάδραση να δημιουργεί ταλαντώσεις με συχνότητα που να διαφέρει κατά 500 μέχρι 2000 κύκλους από την υπό λήψη συχνότητα, οπότε εμφανίζεται μια ακουστική συχνότητα. Αυτή τη λειτουργία θα γνωρίσομε παρακάτω, στην περιγραφή του BFO. Επειδή ο δέκτης αυτός είναι δυνατό να κάνει και ταλαντώσεις, παίρνει την ονομασία ***αυτόδυνος δέκτης.***

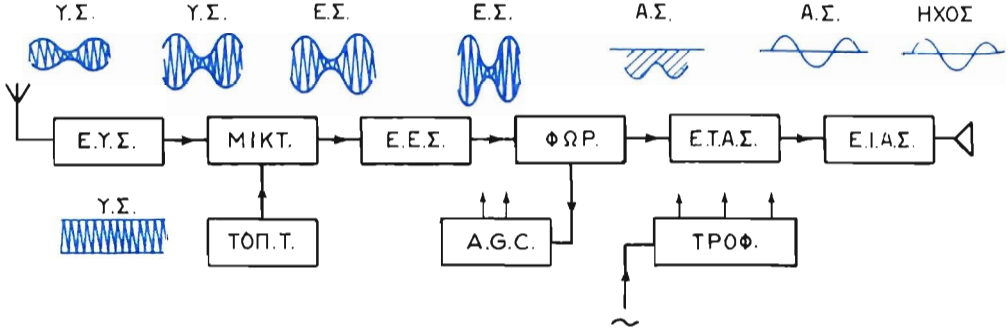
7.5 Υπερετερόδυνοι δέκτες.

Στον απλό δέκτη του σχήματος 7.2 το σήμα εισόδου που θα επιλεγεί ενισχύεται από δύο ή τρεις βαθμίδες ενισχύσεως Υ.Σ, για να λάβει την κατάλληλη τιμή τάσεως και να υποστεί φώραση. Οι βαθμίδες ενισχύσεως Υ.Σ. πρέπει να συντονίζουν όλες στην υπό λήψη συχνότητα, η οποία μπορεί να είναι στην περιοχή των μακρών ή τών μεσαίων ή τών βραχέων κυμάτων. Επειδή αυτό δημιουργεί μεγάλες δυσκολίες στην κατασκευή των συντονιζομένων κυκλωμάτων, σήμερα χρησιμοποιούνται οι υπερετερόδυνοι δέκτες, οι οποίοι πλεονεκτούν, σε σύγκριση με τους απλούς, κυρίως στην επιλογή.

Στους σύγχρονους υπερετερόδυνους δέκτες, το σήμα που επιλέγεται από την κεραία με τα συντονιζόμενα κυκλώματα, ενισχύεται από μια βαθμίδα ενισχύσεως υψηλής συχνότητας και στη συνέχεια υποβιβάζεται σε μια χαμηλότερη ραδιοσυχνότητα. Όποια συχνότητα κι αν λαμβάνει ο δέκτης στην είσοδό του, υποβιβάζεται στην ίδια χαμηλότερη συχνότητα, η οποία ονομάζεται ***ενδιάμεση συχνότητα του δέκτη*** (Ε.Σ.) (Intermediate Frequency) (I.F.). Ο υποβιβασμός της συχνότητας γίνεται στη μίκτρια βαθμίδα με τη μέθοδο της συμβολής συχνοτήτων.

Η ενδιάμεση συχνότητα είναι σταθερή και έτσι τα συντονιζόμενα κυκλώματα των ενισχυτών Ε.Σ. είναι σταθερά συντονισμένα σ' αυτήν. Με αυτό τον τρόπο επιτυγχάνεται μεγαλύτερη ενίσχυση, δεν απαιτείται μεταβολή συντονισμού και έχομε καλύτερη και σταθερή επιλεκτικότητα.

Στο σχήμα 7.5 φαίνεται το βασικό διάγραμμα ενός υπερετερόδυνου δέκτη, για λήψη σημάτων με διαμόρφωση πλάτους (Α.Μ.). Η πρώτη βαθμίδα επιλέγει και ενισχύει το σήμα υψηλής συχνότητας. Η δεύτερη βαθμίδα είναι η μίκτρια - μεταλλάκτρια, στην οποία θα γίνει μίξη και υποβιβασμός της υψηλής συχνότητας και θα εμφανισθεί η ενδιάμεση συχνοτητα. Στη μίκτρια έρχεται και το σήμα Υ.Σ. σταθερού πλάτους, που παράγεται στον τοπικό ταλαντωτή (Local Oscillator), για τη συμβολή.



Σχ. 7.5.
Βασικό διάγραμμα υπερετερόδυνου δέκτη.

Η δημιουργούμενη ενδιάμεση συχνότητα διατηρεί όλα τα χαρακτηριστικά της διαμορφώσεως που είχε το σήμα της κεραίας, το οποίο έλαβε ο δέκτης. Η Ε.Σ. θα ενισχυθεί από τον ενισχυτή ενδιάμεσης συχνότητας, που μπορεί να είναι μία ή δύο βαθμίδες, και στη συνέχεια θα οδηγηθεί στο φωρατή. Εκεί θα υποστεί φώραση και θα εμφανισθεί το σήμα ακουστικής συχνότητας. Αυτό θα ενισχυθεί από τον ενισχυτή τάσεως Α.Σ. και στη συνέχεια από τον ενισχυτή ισχύος Α.Σ., για να απο-

δοθεί από το μεγάφωνο. Στο διάγραμμα υπάρχει η βαθμίδα AGC, η οποία ρυθμίζει αυτόματα την ευαισθησία του δέκτη και την οποία θα γνωρίσομε σε άλλη παράγραφο. Η βαθμίδα τροφοδοτήσεως θα τροφοδοτήσει τις λυχνίες με τα απαιτούμενα δυναμικά. Στο επάνω μέρος του σχήματος φαίνονται οι κυματομορφές των σημάτων στην έξοδο κάθε βαθμίδας καθώς αλλάζουν μορφή.

7.6 Μίξη και μεταλλαγή συχνότητας.

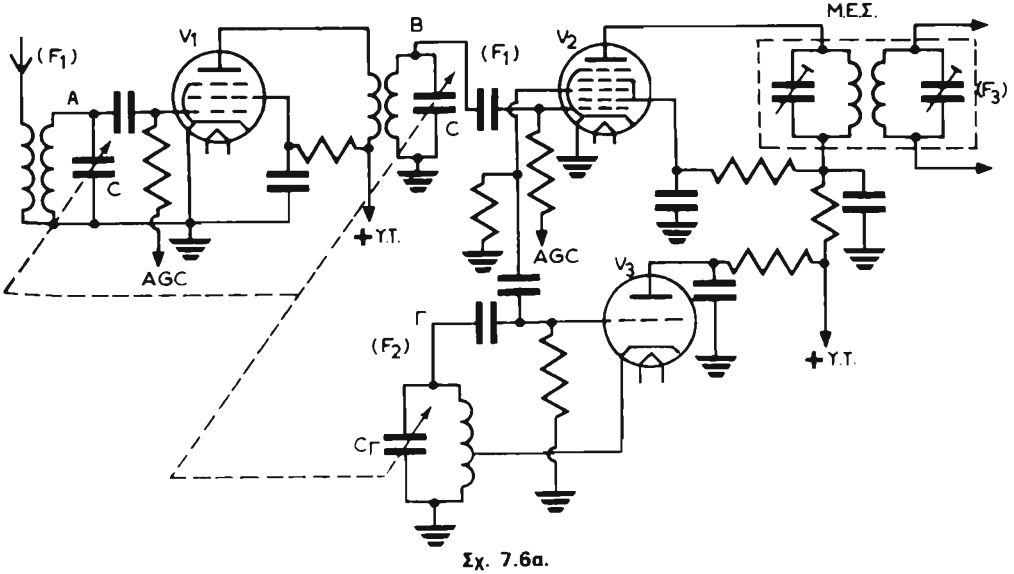
Η μεταλλαγή συχνότητας στηρίζεται στην αρχή της συμβολής δύο διαφορετικών συχνοτήτων F_1 και F_2 σταθερού π.χ. πλάτους, η οποία γίνεται με κατάλληλη διάταξη. Το αποτέλεσμα της συμβολής θα είναι μια νέα συχνότητα F_3 ίση με το μισό του αθροίσματός τους:

$$F_3 = \frac{F_1 + F_2}{2}$$

το πλάτος της οποίας θα αυξομειώνεται στο ρυθμό της διαφοράς τους. Αν π.χ. συμβάλουν δύο συχνότητες $F_1 = 1500$ kc/s και $F_2 = 1300$ kc/s, θα εμφανισθεί η F_3 ίση με 1400 kc/s και το πλάτος της θα αυξομειώνεται 200.000 φορές το δευτερόλεπτο ($F_1 - F_2 = (1500 - 1300)$kc $= 200$ kc/s). Θα εμφανισθεί δηλαδή και μια τέταρτη συχνότητα F_4, ίση με τη διαφορά των δύο προς συμβολή συχνοτήτων.

Στους υπερετερόδυνους δέκτες, η κατάλληλη διάταξη που μπορεί να κάνει τη συμβολή είναι μια λυχνία με πολλά ή λίγα ηλεκτρόδια ή ακόμα και μια κρυσταλλική φωράτρια, οι οποίες είναι μη γραμμικά στοιχεία. Στο σχήμα 7.6α χρησιμοποιείται μια έπτοδη λυχνία π.χ. η EK90 (6BE6).

Στο πρώτο πλέγμα εφαρμόζεται το ενισχυμένο σήμα της κεραίας, ενώ στο τρίτο το σήμα του τοπικού ταλαντωτή. Το ρεύμα ανόδου της λυχνίας θα καθορίζεται από την πολικότητα των δύο αυτών σημάτων, γιατί τα άλλα πλέγματα έχουν σταθερό δυναμικό. Όταν συμπίπτει η θετική ημιπερίοδος του ενός σήματος με τη θετική



Σχ. 7.6α.
Κύκλωμα ενισχύτριας Υ.Σ., μίκτριας και ταλαντώτριας.

του άλλου, το ρεύμα ανόδου θα παίρνει τη μέγιστη τιμή του, και, όταν συμπίπτει η αρνητική του ενός με την αρνητική του άλλου, την ελάχιστη. Ενδιάμεσες τιμές θα παίρνει όταν συμπίπτει η θετική του ενός με την αρνητική του άλλου και αντίθετα.

Με αυτή την επίδραση, το ρεύμα ανόδου θα αυξομειώνεται στο ρυθμό της διαφοράς των δύο συχνοτήτων και το βάθος της μεταβολής θα καθορίζεται από τις τάσεις V_1 και V_2 των δύο προς συμβολή συχνοτήτων. Στην άνοδο όμως θα εμφανισθούν και οι δύο νέες συχνότητες F_3 και F_4. Αν τώρα το ανοδικό συντονισμένο κύκλωμα συντονίζει στη διαφορά των δύο συχνοτήτων ($F_4 = F_2 - F_1$), στην έξοδο της λυχνίας θα εμφανισθεί μόνο η F_4, ενώ η F_3 θα απορριφθεί.

Με τα συντονιζόμενα κυκλώματα μπορούμε να καθορίζομε τις προς μίξη συχνότητες και το αποτέλεσμα που θα είναι η διαφορά τους. Οι μεταβλητοί πυκνωτές C_A, C_B και C_Γ έχουν την ίδια κατασκευή και είναι ομοαξονικοί. Τα πηνία των κυκλωμάτων Α και Β έχουν την ίδια κατασκευή και με τους μεταβλητούς πυκνωτές συντονίζουν, για κάθε θέση των πυκνωτών, στην ίδια συχνότητα. Το πηνίο όμως του κυκλώματος Γ του ταλαντωτή έχει λιγότερες σπείρες, για να συντονίζει σε μεγαλύτερη πάντοτε συχνότητα από εκείνη όπου συντονίζουν τα Α και Β στην αντίστοιχη θέση των πυκνωτών.

Μπορούμε να ρυθμίσομε τα συντονιζόμενα κυκλώματα έτσι ώστε η διαφορά συχνότητας συντονισμού να είναι καθορισμένη, π.χ. 455 kc/s. Έτσι, σε μια τυχαία θέση των πυκνωτών, το Α και το Β θα συντονίζουν στην υπό λήψη συχνότητα, που είναι π.χ. 1000 kc/s. Τότε ο ταλαντωτής (λόγω κατασκευής) θα παράγει 1455 kc/s και η διαφορά των δύο συχνοτήτων θα είναι $F_2 - F_1 = F_4 = 455$ kc/s.

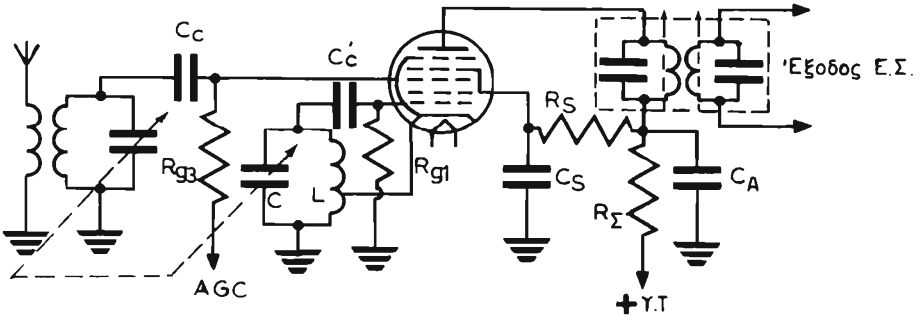
Σε άλλη θέση των πυκνωτών, τα Α και Β θα συντονίζουν σε μια άλλη υπό λήψη συχνότητα, π.χ. 1300 kc/s, ενώ ο ταλαντωτής θα παράγει 1755 kc/s και η διαφορά των δύο συχνοτήτων θα είναι πάλι 455 kc/s. Σε μια τρίτη θέση, θα συντονίζουν τα Α και Β στους 1500 kc/s και ο ταλαντωτής θα παράγει 1955 kc/s. Η διαφορά τους θα είναι πάλι 455 kc/s.

Παρατηρούμε ότι, και στις τρεις αυτές περιπτώσεις, στην έξοδο της μίκτριας εμφανίζεται η ίδια συχνότητα των 455 kc/s, η οποία λέγεται ***ενδιάμεση συχνότητα.*** Έτσι τα συντονιζόμενα κυκλώματα που θα χρησιμοποιηθούν στους επόμενους ενισχυτές ενδιάμεσης συχνότητας θα είναι σταθερά συντονισμένα σ' αυτή την ενδιάμεση συχνότητα. Η ενδιάμεση συχνότητα μπορεί να έχει τιμή που καθορίζεται από τον κατασκευαστή του δέκτη και είναι συνήθως μεταξύ των 455 και 700 kc/s.

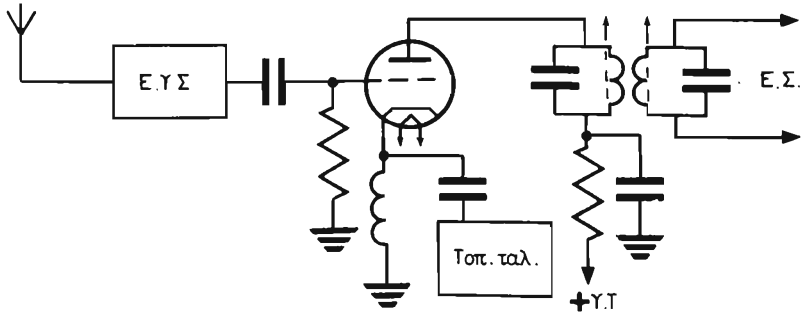
Σε πολλούς δέκτες, η ίδια λυχνία είναι δυνατό να εκτελεί ενίσχυση Υ.Σ., ταλάντωση, μίξη και μεταλλαγή της συχνότητας, οπότε λέγεται ***ταλαντώτρια - μίκτρια - μεταλλάκτρια.*** Το κύκλωμα μιας τέτοιας λυχνίας φαίνεται στο σχήμα 7.6β. Υπάρχουν και άλλα επίσης κυκλώματα με εξάοδες - τρίοδες ή έπτοδες - τρίοδες λυχνίες, τό τριοδικό τμήμα εκτελεί τις ταλαντώσεις και το επταοδικό τη μίξη.

Στο κύκλωμα του σχήματος 7.6β το τμήμα της λυχνίας κάθοδος 1ο πλέγμα και 2ο πλέγμα (προστατευτικό) λειτουργεί σαν ταλαντωτής Hartley. Έτσι στο πρώτο πλέγμα εφαρμόζεται η F_2. Στο τρίτο πλέγμα, που είναι το δεύτερο οδηγό, εφαρμόζεται το σήμα της κεραίας με συχνότητα F_1. Στην άνοδο υπάρχει το διπλό συντονισμένο κύκλωμα που συντονίζει στην F_4 ($F_2 - F_1$) (Ε.Σ.) με πηνία μεταβαλλόμενης αυτεπαγωγής με φερίτη.

Στην περιοχή των πολύ υψηλών συχνοτήτων VHF η μίξη γίνεται με τρίοδη λυχνία επειδή, λόγω ενδοχωρητικοτήτων και του χρόνου διαδρομής των ηλεκτρο-



Σχ. 7.6β.
Ταλαντώτρια — μίκτρια — μεταλλάκτρια.



Σχ. 7.6γ.
Μίκτρια με τρίοδη λυχνία.

νίων, η έπτοδη δεν εξυπηρετεί. Στην τρίοδη λυχνία, το σήμα της κεραίας μπορεί να εφαρμόζεται στο πλέγμα και το σήμα του τοπικού ταλαντωτή στην κάθοδο, όπως φαίνεται στο σχήμα 7.6γ.

7.7 Συχνότητα – Είδωλο.

Η ενδιάμεση συχνότητα που εμφανίζεται στην έξοδο του μίκτη είναι το αποτέλεσμα της διαφοράς της συχνότητας του ταλαντωτή και της υπό λήψη συχνότητας. Αν π.χ. η υπό λήψη συχνότητα F_1 είναι 1200 kc/s και η συχνότητα του τοπ. ταλαντωτή F_2 1655 kc/s η ενδιάμεση συχνότητα θα είναι 455 kc/s (F_3). Αν στην κεραία έχομε και ένα ισχυρό σήμα με συχνότητα $F_E = F_1 + (2 \times F_3)$, δηλαδή 2110 kc/s, τότε το σήμα αυτό συμβάλλει με τη συχνότητα του τοπ. ταλαντωτή και το αποτέλεσμα είναι πάλι η Ε.Σ. του δέκτη, γιατί $F_E - F_2 = F_3$, δηλαδή $2110 - 1655 = 455$ kc/s. Έτσι στο μεγάφωνο θα ακούονται και τα δύο σήματα συχνότητας F_1 και F_E. Η συχνότητα αυτή, η οποία δημιουργεί πάλι την Ε.Σ. και είναι εκτός συντονισμού του δέκτη, ονομάζεται ***συχνότητα είδωλο.*** Η συχνότητα αυτή θα είναι ίση με την υπό λήψη συχνότητα συν το διπλάσιο της ενδιάμεσης συχνότητας του δέκτη.

Γιά να αποφύγομε το δυσάρεστο αυτό φαινόμενο, πρέπει τα κυκλώματα επιλογής του δέκτη να έχουν καλή επιλεκτικότητα,ώστε να μη διέρχεται η συχνότητα είδωλο, επειδή ακριβώς αυτή βρίσκεται μακριά από τη συχνότητα συντονισμού (1200 kc/s και 2110 kc/s).

Στους δέκτες πολύ υψηλών συχνοτήτων (V.H.F.), αν η υπό λήψη συχνότητα είναι 80 Mc/s και η Ε.Σ. 455 kc, τότε η συχνότητα είδωλο θα είναι 80,950 Mc/s. που είναι πολύ κοντά στη συχνότητα συντονισμού των κυκλωμάτων επιλογής και μπορεί εύκολα να περάσει και να ακουσθεί από το μεγάφωνο. Για να την αποφύγομε, εφαρμόζομε διπλή μεταλλαγή.

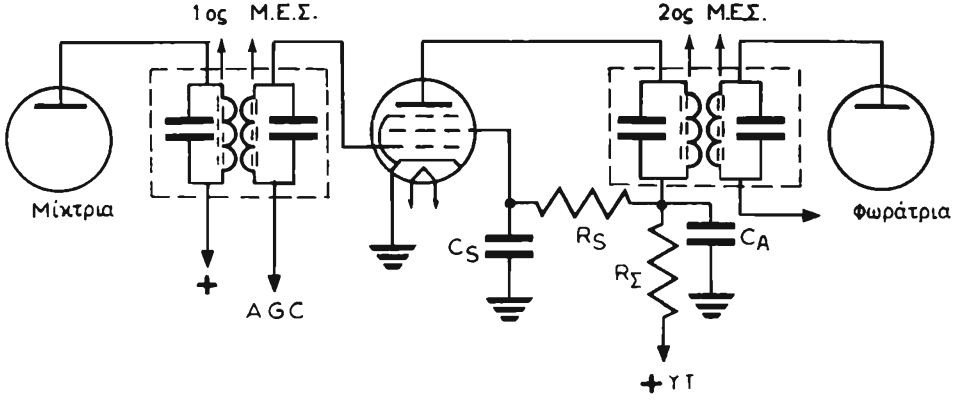
Στην πρώτη μίξη και μεταλλαγή η πρώτη ενδιάμεση συχνότητα μπορεί να είναι 20 Mc/s, οπότε η συχνότητα είδωλο απομακρύνεται, γιατί είναι:

$$80 \text{ Mc/s} + (2 \times 20 \text{ Mc/s}) = 120 \text{ MC/s}$$

και είναι δύσκολο να περάσει. Στη συνέχεια γίνεται δεύτερη μίξη και μεταλλαγή και εμφανιζεται η δεύτερη ενδιάμεση συχνότητα, η οποία μπορεί να είναι 455 kc/s ή και 2 Mc/s. Με τη διπλή μεταλλαγή η συχνότητα είδωλο απορρίπτεται τελείως.

7.8 Ενισχυτές ενδιάμεσης συχνότητας.

Ο ενισχυτής ενδιάμεσης συχνότητας (Ε.Ε.Σ.) (I.F.A.) είναι συνήθως με πέντοδη λυχνία μεταβλητού «μ» και το κύκλωμά του φαίνεται στο σχήμα 7.8. Η μορφή και τα χαρακτηριστικά του ενισχυτή αυτού αναφέρθηκαν ήδη στην παράγραφο 4.16. Στην είσοδο και στην έξοδο του ενισχυτή υπάρχουν συντονισμένα κυκλώματα σε σύζευξη, για τα οποία μιλήσαμε στην παράγραφο 1.6.



Σχ. 7.8.
Ενισχυτής ενδιάμεσης συχνότητας.

Τα συντονιζόμενα αυτά κυκλώματα ονομάζονται ***μετασχηματιστές ενδιάμεσης συχνότητας (Μ.Ε.Σ) (I.F.T.)*** ή ***φίλτρα ενδιάμεσης συχνότητας.*** Και είναι τοποθετημένα μέσα σε τετράγωνα κουτιά από αλουμίνιο. Στο κάτω μέρος έχουν τους ακροδέκτες για τη σύνδεση. Έχουν επίσης δύο ρυθμιζόμενες βίδες, για το συντονισμό των κυκλωμάτων, με μεταβολή της χωρητικότητας των πυκνωτών ή της αυτεπαγωγής των πηνίων, με μεταβολή των πυρήνων τους. Τα κυκλώματα τοποθετούνται μέσα στα κουτιά αλουμινίου, για να μην υπάρχει επίδραση μεταξύ των μετασχηματιστών (λόγω της υψηλής συχνότητας) και να μη δημιουργούνται αναδράσεις.

Η σύζευξη μεταξύ των πηνίων του κάθε μετασχηματιστή είναι τέτοια, ώστε να καθορίζει το απαιτούμενο εύρος ζώνης των ενισχυομένων συχνοτήτων που υπάρ-

χουν στην ενδιάμεση συχνότητα. Το εύρος καθορίζεται από το πλάτος των πλευρικών συχνοτήτων στη διαμόρφωση Α.Μ. και, στην περίπτωση της ραδιοφωνίας, είναι 9 kc/s.

Το πρωτεύον του 1ου Μ.Ε.Σ. συνδέεται στην άνοδο της μίκτριας και το δευτερεύον στο οδ. πλέγμα της λυχνίας Ε.Σ. Στην άνοδο της ίδιας λυχνίας συνδέεται το πρωτεύον του 2ου Μ.Ε.Σ., το δευτερεύον του οποίου μπορεί να συνδεθεί στο οδ. πλέγμα μιας δεύτερης ενισχύτριας Ε.Σ. (αν υπάρχει) ή κατ' ευθείαν στη φωράτρια.

Ο αντιστάτης R_s και ο C_s είναι για την τάση του προστ. πλέγματος, ενώ ο R_Σ και ο C_A για την απόζευξη της υψηλής συχνότητας ώστε να μη φθάνει στο τροφοδοτικό υψηλής τάσεως. Η κάτω άκρη του δευτερεύοντος του 1ου Μ.Ε.Σ. συνδέεται στο AGC, για να ρυθμίζεται αυτόματα η ενισχυτικότητα της λυχνίας, όπως θα γνωρίσομε στη συνέχεια.

7.9 Ρυθμιστικές διατάξεις δεκτών.

Οι δέκτες έχουν διατάξεις, οι οποίες, με τη ρύθμιση εξωτερικών διακοπτών ή με αυτόματο σύστημα, μπορούν να ρυθμίζουν τη λειτουργία και τις επιδόσεις τους. Οι διατάξεις αυτές είναι:

α) Διάταξη επιλογής σταθμών.

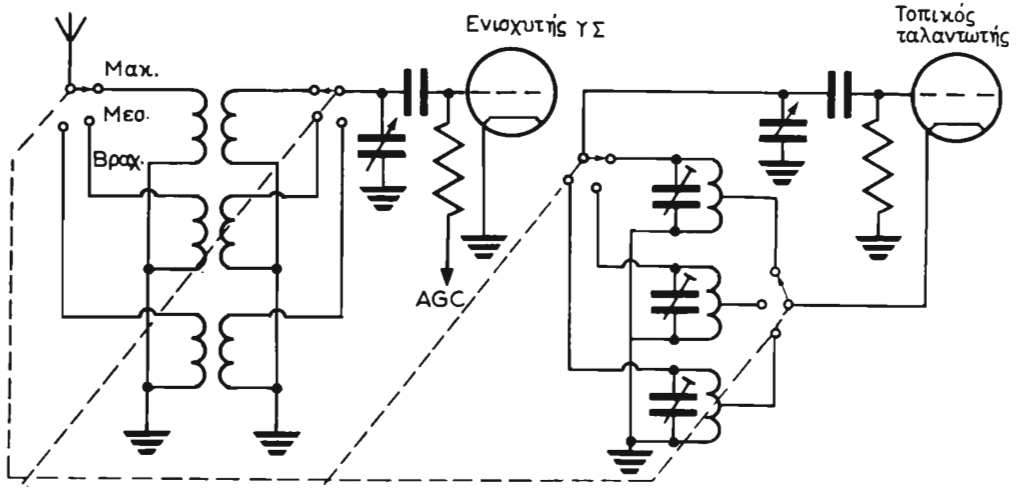
Είναι μηχανικό σύστημα, με το οποίο, περιστρέφοντας έναν εξωτερικό διακόπτη, μεταβάλλεται η χωρητικότητα των μεταβλητών πυκνωτών στην είσοδο του δέκτη και συγχρόνως μετακινείται και μια βελόνα, η οποία δείχνει τη συχνότητα που λαμβάνει ο δέκτης. Σ' αυτή τη συχνότητα συντονίζουν τα κυκλώματα επιλογής και στην αντίστοιχη συχνότητα το κύκλωμα του τοπικού ταλαντωτή.

β) Διάταξη επιλογής περιοχών.

Αυτή μπορεί να είναι με περιστρεφόμενο διακόπτη ή με ειδικό σύστημα πλήκτρων που καταλήγει σε σύστημα διακοπτών (επαφών), με τους οποίους επιτυγχάνεται αλλαγή των πηνίων των συντονιζομένων κυκλωμάτων. Οι διακόπτες αυτοί λέγονται ***διακόπτες κυμάτων*** ή ***περιοχών (Band Switch).*** Με αυτούς καθορίζομε τις περιοχές λήψεως του δέκτη, που μπορεί να είναι μακρά (150 — 425 kc/s), μεσαία (550 — 1600 kc/s), πρώτη περιοχή βραχέων (2 — 6 Mc/s), δεύτερη περιοχή βραχέων (6 — 12 Mc/s), τρίτη περιοχή βραχέων (12 — 22 Mc/s) κλπ. Για την κάθε περιοχή χρησιμοποιείται και ένα αντίστοιχο πηνίο κατάλληλης αυτεπαγωγής, ώστε, με τη μέγιστη και ελάχιστη τιμή του μεταβλητού πυκνωτή να καλύπτει την αντίστοιχη περιοχή. Μια τέτοια διάταξη με περιστροφικό διακόπτη τριών περιοχών φαίνεται στο σχήμα 7.9α.

γ) Ρυθμιστής απολαβής (ενισχυτικότητας) των βαθμίδων υψηλής συχνότητας και ενδιάμεσης συχνότητας. (Radio Frequency Gain (RFG) και Intermediate Frequency Gain (IFG) Control).

Τα σήματα που προέρχονται από ασθενείς ή μακρινούς πομπούς είναι μικρά και πρέπει να υποστούν μεγάλη ενίσχυση από το δέκτη, ενώ τα σήματα που προέρχονται από ισχυρούς ή κοντινούς σταθμούς είναι μεγάλα και πρέπει να ενισχυθούν λιγότερο.

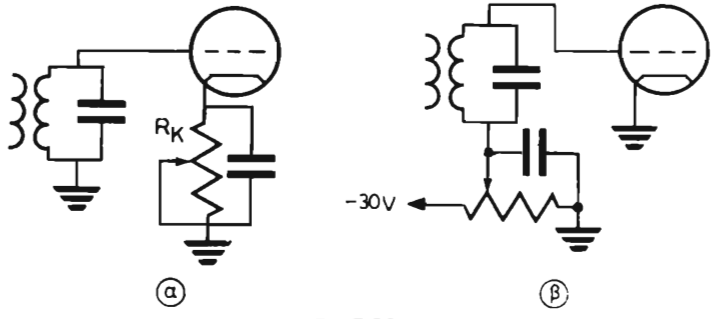


Σχ. 7.9α.
Κύκλωμα επιλογής περιοχών.

Αν π.χ. ένας ασθενής πομπός δημιουργεί στην κεραία του δέκτη σήμα τάσεως 3 μV και στο μεγάφωνο απαιτείται ισχύς 3 W με αντίστοιχη τάση 3 V, ο δέκτης πρέπει να προβεί σε ενίσχυση 10^6 (1.000.000) φορές. Αν ένας ισχυρός σταθμός δημιουργεί στην κεραία 100 μV και στο μεγάφωνο απαιτείται η ίδια ισχύς και τάση, τότε ο δέκτης πρέπει να κάνει ενίσχυση 30.000 φορές. Αν ο δέκτης κάνει την ενίσχυση 10^6 τότε οι ενισχυτές Α.Σ. θα υπερδιεγείρονται και το σήμα εξόδου θα είναι ισχυρά παραμορφωμένο.

Είναι λοιπόν ανάγκη να μεταβάλλεται η ολική απολαβή (ενισχυτικότητα) του δέκτη, σε πλατιά όρια. Η μεταβολή μπορεί να γίνει στις βαθμίδες υψηλής και ενδιάμεσης συχνότητας που χρησιμοποιούν συνήθως λυχνίες μεταβλητού «μ».

Στο σχήμα 7.9β φαίνονται δύο κυκλώματα ρυθμίσεως της απολαβής. Στο (α), με τη μεταβολή της αντιστάσεως καθόδου μεταβάλλεται η πόλωση της λυχνίας και από αυτήν ο συντελεστής ενισχύσεως «μ». Έτσι, με τη μεταβολή της R_K μεταβάλλεται η απολαβή Α της λυχνίας. Στο (β), με τη μεταβολή του δρομέα μεταβάλλεται η αρνητική τάση του πλέγματος. Όσο πιο αρνητικό γίνεται το πλέγμα τόσο το «μ» μικραίνει και από αυτό μικραίνει η ενισχυτικότητα της λυχνίας.



Σχ. 7.9β.
Ρυθμιστές απολαβής.

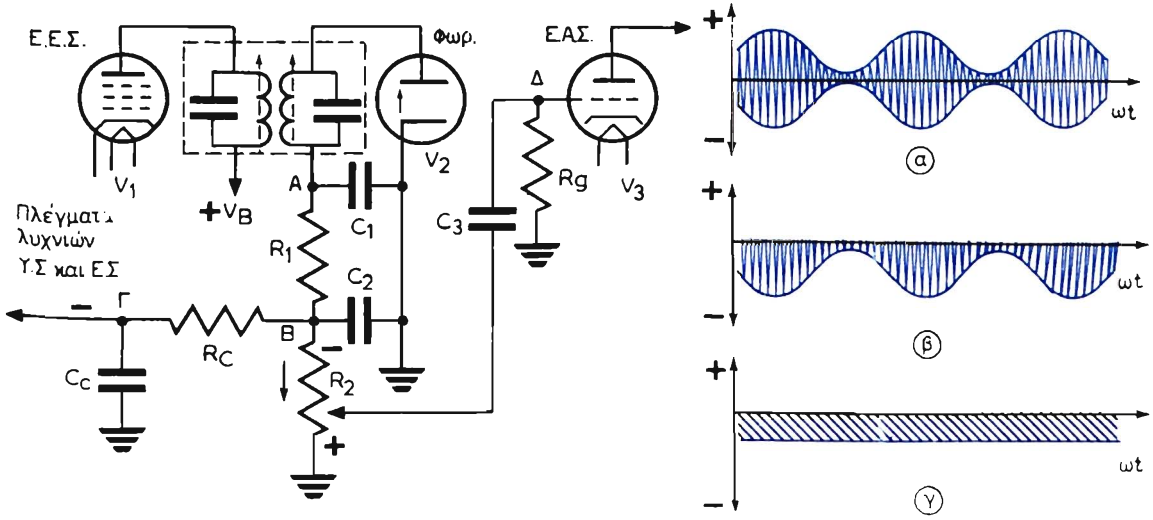
Οι μεταβλητοί αντιστάτες ρυθμίζονται με εξωτερικούς διακόπτες, οι οποίοι, αν επιδρούν στους ενισχυτές Υ.Σ., λέγονται ***R.F. Gain Control,*** ενώ, αν επιδρούν στους ενισχυτές Ε.Σ., λέγονται ***I.F. Gain Control.***

δ) Αυτόματη ρύθμιση της απολαβής (Automatic Gain Control) (AGC ή AVC).

Η διάταξη αυτή υπάρχει σε όλους τους δέκτες και ρυθμίζει αυτόματα την απολαβή των βαθμίδων Υ.Σ. και Ε.Σ., ανάλογα με την τάση του σήματος εισόδου του δέκτη. Επειδή στην είσοδο του δέκτη το σήμα μπορεί να αυξομειώνεται, για λόγους που οφείλονται στον τρόπο διαδόσεως (π.χ. διαλείψεις), αυξομειώνεται αντίστοιχα και η ένταση του μεγαφώνου, με αποτέλεσμα την κακή απόδοση. Επίσης, με το AGC προσαρμόζεται αυτόματα η ενισχυτικότητα του δέκτη όταν λαμβάνει ένα ισχυρό σήμα, από ένα κοντινό πομπό ή ένα ασθενές από μακρινό.

Στο AGC εκμεταλλευόμαστε τη συνεχή μεταβαλλόμενη τάση που εμφανίζεται στη φώραση και εξαρτάται άμεσα από την τιμή του σήματος εισόδου. Ένα ισχυρό σήμα θα παρουσιάσει μεγάλη τάση, ενώ ένα μικρό μικρή. Αν αυτό το συνεχές μεταβαλλόμενο δυναμικό, γίνει σχεδόν τέλειο συνεχές και αρνητικό, θα μπορεί να πολώσει αντίστοιχα τις βαθμίδες Υ.Σ. και Ε.Σ., ρυθμίζοντας την ενισχυτικότητά τους.

Στην παράγραφο 7.3 είδαμε πώς γίνεται η φώραση με δίοδη. Το κύκλωμα της φωράσεως του σχήματος 7.3α(β), μπορούμε να το μετασχηματίσομε στη μορφή του σχήματος 7.9γ, όπου ο αντιστάτης φωράσεως συνδέεται από το δευτερεύον του Μ.Ε.Σ. στο κοινό. Έτσι στις θετικές ημιπεριόδους του σήματος Ε.Σ. (μορφή α) η λυχνία άγει, το ρεύμα κινείται από την κάθοδο, στο πηνίο, στον αντιστάτη R_1, στον R_2 και στο κοινό. Στον R_2, που είναι η αντίσταση φόρτου της φωράσεως, δημιουργείται μια πτώση τάσεως με μείον επάνω (Β) και συν στο κοινό, η οποία έχει τη μορφή της κυματομορφής (β). Ο αντιστάτης R_1 με τους πυκνωτές C_1 και C_2 είναι φίλτρο εξομαλύνσεως Ε.Σ



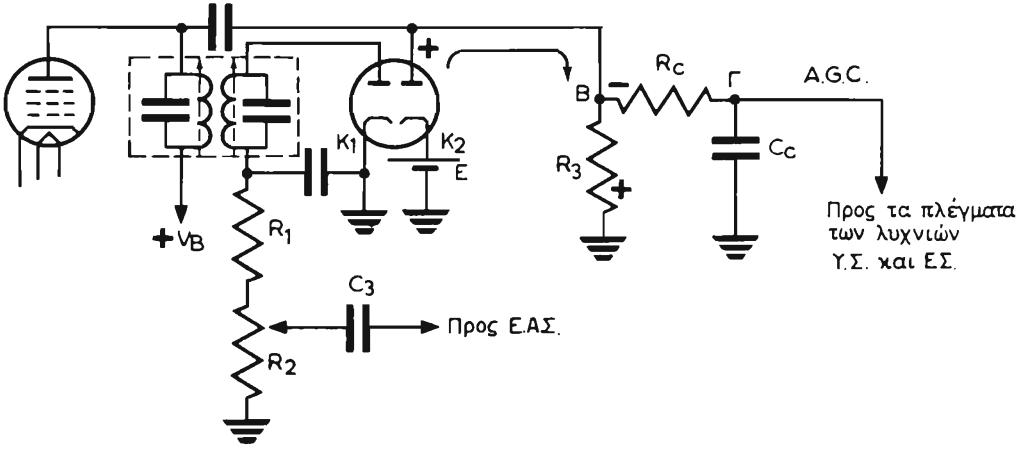
Σχ. 7.9γ.
Κύκλωμα φωράσεως και AGC και οι κυματομορφές.

Η κυματομορφή (β) που εμφανίζεται στον κόμβο Β είναι ένα αρνητικό μεταβαλλόμενο δυναμικό με μεταβολή στο ρυθμό της Α.Σ. Περνώντας από τον αντιστάτη R_c και με την επίδραση του πυκνωτή C_c γίνεται σχεδόν τέλειο συνεχές. Ο R_c έχει μεγάλη τιμή 1 — 2 ΜΩ και ο C_c επίσης μεγάλη τιμή 0,05 — 0,1 μF. Έτσι λειτουργούν σαν φίλτρο εξομαλύνσεως για την ακουστική συχνότητα στην οποία μεταβάλλεται η τάση. Η τάση στο σημείο Γ, που είναι και η έξοδος του AGC, έχει τη μορφή (γ) του σχήματος 7.9γ(γ), δηλαδή είναι σχεδόν τέλειο συνεχές.

Η τάση του AGC από το σημείο Γ του σχήματος 7.9γ οδηγείται στα οδηγά πλέγματα των λυχνιών ενισχύσεως Υ.Σ και Ε.Σ., όπως φαίνεται και στα σχήματα 7.6α, 7.6β και 7.8.

Όταν το σήμα εισόδου στο δέκτη είναι μεγάλο, η τάση του AGC είναι πολύ αρνητική και πολώνει αρνητικότερα τις λυχνίες, με αποτέλεσμα να μειώνεται η ενισχυτικότητα και από αυτήν το σήμα εξόδου για ομαλή λειτουργία του δέκτη. Για μικρότερα σήματα εισόδου η τάση του AGC είναι λιγότερο αρνητική και η ενισχυτικότητα μειώνεται λιγότερο. Η τάση του AGC μπορεί να πάρει τιμές από — 0,2 V μέχρι και — 15 V, ανάλογα με το σήμα εισόδου και την κατασκευή του δέκτη. Την τάση AGC τη μετράμε με ηλεκτρονικό βολτόμετρο.

Το AGC που αναφέρθηκε λέγεται ***απλό AGC.*** Εκτός από αυτό υπάρχει επίσης και το επιβραδυνόμενο AGC, η λειτουργία του οποίου δεν διαφέρει πολύ από αυτή που ήδη έχομε γνωρίσει. Στο απλό AGC έχομε αρνητική τάση πολώσεως και στα πολύ ασθενή σήματα, ενώ με το επιβραδυνόμενο εμφανίζεται αρνητική τάση από μια στάθμη σήματος και πάνω. Ένα τέτοιο κύκλωμα φαίνεται στο σχήμα 7.9δ, όπου χρησιμοποιείται μια διπλοδίοδη φωράτρια. Το πρώτο διοδικό τμήμα κάνει φώραση του σήματος κατά τα γνωστά και ανάδειξη της Α.Σ. Το δεύτερο διοδικό τμήμα τροφοδοτείται από το πρωτεύον του Μ.Ε.Σ. για μεγαλύτερη τάση. Στην κάθοδο της δίοδης υπάρχει θετικό δυναμικό, το οποίο μπορεί να είναι και ρυθμιζόμενο. Έτσι η δεύτερη δίοδη θα λειτουργήσει όταν η άνοδός της γίνει θετικότερη από την κάθοδο, δηλαδή όταν οι θετικές ημιπερίοδοι του σήματος Ε.Σ. είναι θετικότερες από την τάση καθόδου της. Τότε κυκλοφορεί ρεύμα από την κάθοδο K_2 στην



Σχ. 7.9δ.
Κύκλωμα φωράσεως και επιβραδυνόμενου AGC.

άνοδό της και από τον αντιστάτη R_3 στο κοινό, από εκεί δε στην κάθοδο. Στον R_3 δημιουργείται μια πτώση τάσεως με μείον πάνω και συν κάτω, η οποία έχει τη μορφή (β) του σχήματος 7.9γ. Στη συνέχεια, με τη δράση του R_c και του C_c (σχ. 7.9δ) γίνεται σχεδόν τέλειο συνεχές όπως το (γ) του σχήματος 7.9γ και οδηγείται στα οδηγά πλέγματα των ενισχυτριών Υ.Σ. και Ε.Σ.

Για ασθενή σήματα στην είσοδο του δέκτη, γίνεται φώραση, ανάδειξη της Α.Σ. και κανονική λειτουργία του δέκτη, χωρίς να έχομε τάση και δράση του AGC. Για ισχυρότερα σήματα εισόδου, η στάθμη των οποίων καθορίζεται από την τάση καθόδου Ε της K_2, θα έχομε τάση και δράση του AGC. Για σήματα π.χ. εισόδου στο δέκτη μέχρι 10 μV, δεν έχομε AGC ούτε μείωση της ενισχυτικότητας των λυχνιών Υ.Σ. και Ε.Σ., ενώ για σήματα μεγαλύτερα από 10 μV, έχομε δράση του AGC.

Με ένα διακόπτη στην πρόσοψη του δέκτη, το AGC μπορεί να γίνεται απλό (Fast) με μηδενισμό της Ε ή επιβραδυνόμενο (Slow) με δράση της Ε ή να μην έχει AGC (AGC OFF) με γείωση του σημείου Γ στα σχήματα 7.9γ και 7.9δ.

Σε πολλούς δέκτες μπορεί να υπάρχει και χωριστή βαθμίδα ενισχύσεως της Ε.Σ. για τη λειτουργία του AGC. Η βαθμίδα αυτή λέγεται ***ενισχύτρια AGC (AGC Amplifier).***

ε) Ρυθμιστής εντάσεως του ήχου (Volume Control ή Audio Frequency Gain Control).

Υπάρχει ένας διακόπτης στην πρόσοψη του δέκτη, με τον οποίο ρυθμίζομε την ένταση του ήχου στο μεγάφωνο ή στα ακουστικά. Είναι το κοινό ποτενσιόμετρο που υπάρχει σε κάθε ραδιόφωνο.

Ο ρυθμιστής αυτός είνα ποτενσιομετρική σύνδεση που βρίσκεται συνήθως στην έξοδο του φωρατή και στην είσοδο του ενισχυτή τάσεως Α.Σ. Στα σχήματα 7.9γ και 7.9δ είναι ο μεταβλητός αντιστάτης R_2. Όταν ο δρομέας είναι στην επάνω άκρη, παίρνει όλο το σήμα ακουστικής συχνότητας που βγαίνει από τη φώραση. Μέσω του πυκνωτή C_3 (που αποκόπτει το συνεχές), το σήμα (εναλλασσόμενη συνιστώσα) πηγαίνει στο πλέγμα της ενισχύτριας τάσεως Α.Σ., ενισχύεται από αυτή και από την ενισχύτρια ισχύος Α.Σ. και ακούγεται πολύ δυνατά. Στη μέση ο δρομέας παίρνει τη μισή τάση και το μεγάφωνο αποδίδει με μικρότερη ένταση. Στο κάτω μέρος ο δρομέας δεν παίρνει τάση, δεν δίνει σήμα στην είσοδο της λυχνίας και δεν έχομε ήχο.

Τονίζεται εδώ ότι με το RFG ή το IFG ρυθμίζεται η ενισχυτικότητα των λυχνιών Υ.Σ. και Ε.Σ., ενώ με το Volume Control ρυθμίζεται η τάση του σήματος εισόδου της ενισχύτριας Α.Σ.

στ) Ρυθμιστής της περιοχής των ακουστικών συχνοτήτων (Pass Band Switch ή Control).

Αυτός είναι συνήθως ένας περιστροφικός διακόπτης τριών έως πέντε θέσεων, με τον οποίο ρυθμίζεται η διερχόμενη περιοχή ακουστικών συχνοτήτων που θα ακουστούν από το μεγάφωνο. Στην πρώτη θέση μπορεί να έχει την ένδειξη wide (πλατιά) για περιοχή Α.Σ. 8 χιλιοκύκλους συνήθως, στη δεύτερη θέση την intermediate (ενδιάμεση) για περιοχή Α.Σ. συνήθως 3 χιλιοκύκλων, στην τρίτη τη narrow (στενή) για περιοχή συνήθως 1000 κύκλων, στην τέταρτη τη very narrow (πολύ στενή) για περιοχή συνήθως 100 κύκλων.

Ο διακόπτης αυτός επιδρά κυρίως στα συντονισμένα κυκλώματα των ενισχυτών

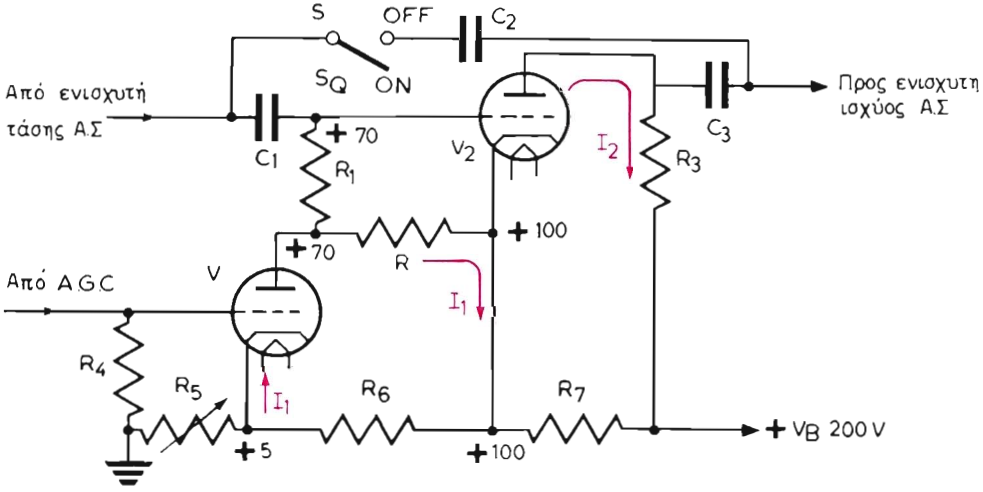
Ε.Σ και, με πηνία ή με λήψεις πηνίων, μεταβάλλει το Μ των συντονισμένων κυκλωμάτων, με αποτέλεσμα η καμπύλη του δευτερεύοντος να γίνεται φαρδιά ή στενή (παράγρ. 1.6). Έτσι στην πρώτη περίπτωση περνά η ενδιάμεση συχνότητα με ± 4 kc/s (8 kc/s), στη δεύτερη ± 1,5 kc/s (3 kc/s), στην τρίτη ± 500 c/s (1000 c/s) και στην τέταρτη με ± 50 c/s (100 c/s).

Με το ρυθμιστή αυτό είναι δυνατό να ξεχωρίσομε καλύτερα δύο σταθμούς που ακούονται μαζί, όταν δεν μπορεί να γίνει ο διαχωρισμός στην είσοδο του δέκτη με τα συντονιζόμενα κυκλώματα επιλογής. Στη θέση narrow ο δέκτης δεν έχει καλή πιστότητα, έχει όμως καλύτερη επιλεκτικότητα.

ζ) Ρυθμιστής θορύβου (Squelch).

Αυτός μπορεί να είναι ένας απλός διακόπτης με την ένδειξη Squelch ON - OFF ή να έχει και άλλες ενδιάμεσες θέσεις, π.χ. 1,2, 3, 4 με αντιστάτες ή ποτενσιόμετρο. Μπορούμε με αυτόν να εξουδετερώσομε τον ενοχλητικό θόρυβο (φύσημα) που αποδίδεται συνεχώς από το μεγάφωνο όταν δεν γίνεται λήψη σήματος. Επιδρά με ένα κατάλληλο κύκλωμα στις βαθμίδες Α.Σ. του δέκτη, το οποίο λέγεται ***κύκλωμα φιμώσεως.***

Το κύκλωμα του σχήματος 7.9ε είναι το κύκλωμα φιμώσεως που αποτελείται συνήθως από μια διπλοτρίοδη λυχνία (την V_1 και V_2). Όταν ο διακόπτης S_1 είναι στη θέση ON, το κύκλωμα λειτουργεί, ενώ στη θέση OFF ο θόρυβος περνά από το διακόπτη και τον C_2 και ακούεται από το μεγάφωνο ή τα ακουστικά.



Σχ. 7.9ε.
Κύκλωμα φιμώσεως.

Στη θέση ON, όταν στην είσοδο του δέκτη δεν υπάρχει σήμα, δεν δημιουργείται αρνητική τάση AGC και η λυχνία V_1 λειτουργεί, δηλαδή βρίσκεται σε αγωγιμότητα, γιατί η πόλωσή της είναι περίπου — 5 V, από το διαιρέτη τάσεως R_5, R_6 και R_7. Τότε δημιουργούνται περίπου τα δυναμικά που σημειώνονται στο σχήμα. Στον R_2 με τη λειτουργία της V_1 δημιουργείται μια πτώση τάσεως 30 V. Ο R_2 είναι όμως και στην κάθοδο της V_2 και στο πλέγμα της καθιστώντας έτσι την κάθοδο θετικότερη 30 V από το πλέγμα της. Το πλέγμα επομένως είναι αρνητικότερο 30 V από την κάθοδο και η V_2 είναι σε αποκοπή.

Το σήμα Α.Σ. που έρχεται από τον ενισχυτή τάσεως Α.Σ. δεν περνά από τη V_2, δεν φθάνει στον ενισχυτή ισχύος Α.Σ. και έτσι δεν έχομε ήχο (θόρυβο) στο μεγάφωνο.

Αν τώρα στην είσοδο του δέκτη έλθει το σήμα από τον πομπό, θα ενισχυθεί από τις βαθμίδες Υ.Σ., θα δημιουργηθεί η αρνητική τάση του AGC, που καθώς συνδέεται και στο πλέγμα της V_1, θα την φέρει σε αποκοπή. Δεν θα περνά ρεύμα από την V_1, δεν θα συμβαίνει πτώση τάσεως στον R_2, η V_2 δεν θα έχει την πολύ αρνητική πόλωση και θα λειτουργήσει κανονικά. Έτσι το σήμα Α.Σ. θα περάσει από αυτήν, από τον ενισχυτή ισχύος και θα ακουστεί από το μεγάφωνο.

Με το μεταβλητό αντιστάτη R_5, ο οποίος μπορεί να είναι διακόπτης πολλών θέσεων με αντιστάτες ή μεταβλητός αντιστάτης (ποτενσιόμετρο), μεταβάλλομε τη στάθμη λειτουργίας του Squelch, δηλαδή αν θα λειτουργήσει το σύστημα για σήμα εισόδου του δέκτη 5 μV ή 7 μV ή 15 μV κλπ. Με τον R_5 μεταβάλλομε την πόλωση της V_1.

Υπάρχουν και άλλα κυκλώματα φιμώσεως, όπως είναι με ανορθωτή θορύβου. Σ' αυτόν υπάρχει ένας ενισχυτής θορύβου και ένας ανορθωτής, που ρυθμίζουν τη λειτουργία του συστήματος. Ένα άλλο κύκλωμα είναι με ταλαντωτή Υ.Σ. ο οποίος λειτουργεί όταν δεν υπάρχει σήμα στην είσοδο του δέκτη και δεν έχει αρνητική τάση AGC. Το σήμα αυτό ανορθώνεται, πολώνει τη λυχνία Α.Σ. πολύ αρνητική και την αποκόπτει. Ένα άλλο κύκλωμα έχει ηλεκτρονόμο πολλών επαφών στο ανοδικό κύκλωμα της λυχνίας φιμώσεως, ο οποίος ανοίγει ή κλείνει με την πόλωση της λυχνίας, συνδέοντας έτσι ή διακόπτοντας το σήμα Α.Σ.

η) Ταλαντωτής συμβολής B.F.O. (Beat Frequency Oscillator).

Τα σήματα που κωδικοποιούνται στο μορσικό αλφάβητο (CW ή A_1) δεν έχουν διαμόρφωση πλάτους, αλλά αποτελούνται από σήμα Υ.Σ. στο ρυθμό του μορσικού αλφάβητου [σχ. 6.2α(β)], με αποτέλεσμα να παράγεται μετά τη φώραση ένα σήμα συνεχές διακοπτόμενο, το οποίο έχει σταθερό πλάτος, δηλαδή δεν περιέχει ακουστική συχνότητα.

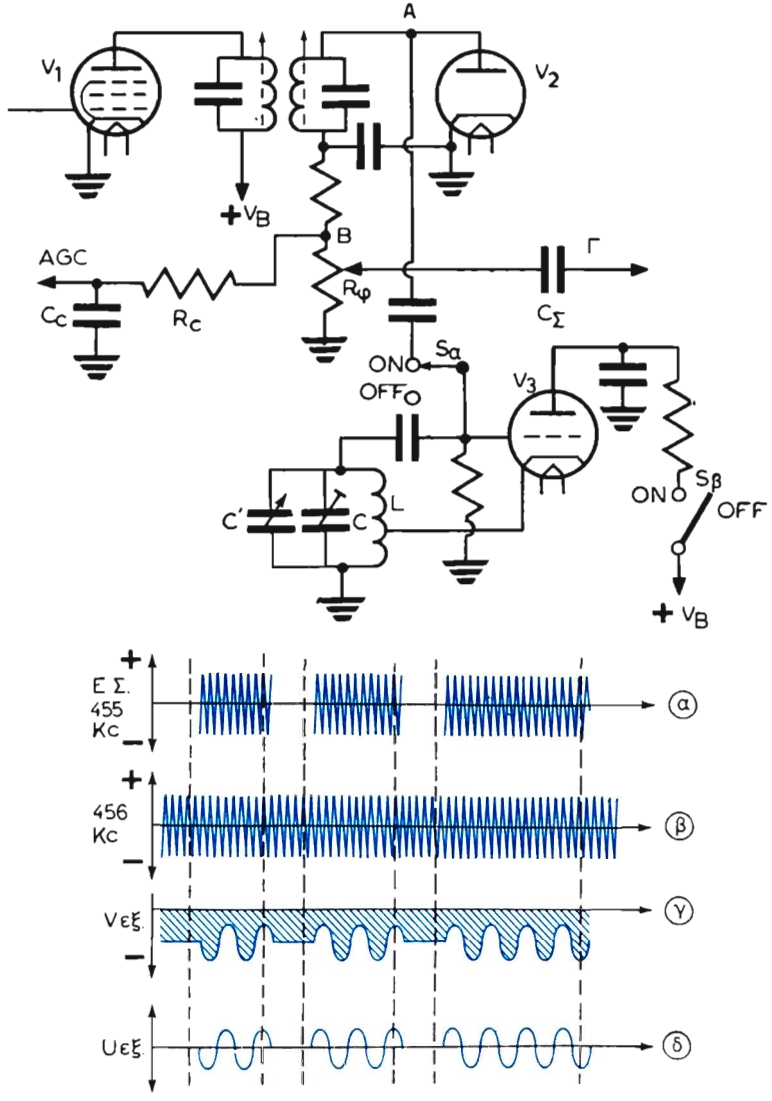
Έτσι, ως συνεχές ρεύμα, δεν είναι δυνατό να ενισχυθεί από τους ενισχυτές ακουστικών συχνοτήτων και να αποδοθεί από το μεγάφωνο ή τα ακουστικά. Θα ακούεται μόνο ένα «κλικ - κλικ».

Για να μπορέσει αυτό το σήμα να γίνει ακουστό, οι δέκτες ραδιοτηλεγραφίας έχουν έναν ακόμη τοπικό ταλαντωτή συμβολής (B.F.O). Αυτός ο ταλαντωτής παράγει υψηλή συχνότητα ίση περίπου με την τελική ενδιάμεση συχνότητα του δέκτη. Αν π.χ. η Ε.Σ. του δέκτη είναι 455 kc/s, ο ταλαντωτής παράγει 456 kc/s, δηλαδή μεγαλύτερη κατά 1 kc/s.

Για την ακρίβεια, ο ταλαντωτής έχει τη δυνατότητα, με τη βοήθεια μικρού πυκνωτή ο οποίος μεταβάλλεται με εξωτερικό διακόπτη, να μεταβάλλει τη συχνότητά του από 450 μέχρι 460 kc/s περίπου. Έτσι ο τόνος του ήχου στο μεγάφωνο μπορεί να μεταβάλλεται για να ξεχωρίσει από έναν άλλο.

Μπορεί να έχει οποιαδήποτε από τις μορφές των ταλαντωτών με L και C που γνωρίσαμε ήδη στο τέταρτο κεφάλαιο. Ο ταλαντωτής τίθεται σε λειτουργία με διακόπτη που βρίσκεται στην πρόσοψη του δέκτη, όταν ο δέκτης πρέπει να λάβει σήματα Α1.

Στο σχήμα 7.9στ φαίνεται ένα κύκλωμα B.F.O. με ταλαντωτή Hartley. Η λειτουργία του συστήματος εξασφαλίζεται με το διπλό διακόπτη Sα,β, το ένα τμήμα



Σχ. 7.9στ.
Κύκλωμα ταλαντωτή συμβολής (B.F.O) και οι κυματομορφές.

του οποίου (β) δίνει υψηλή τάση στην ταλαντώτρια V_3 και το άλλο (α) οδηγεί τις ταλαντώσεις στην άνοδο της φωράτριας V_2.

Στην άνοδο της φωράτριας φθάνει το σταθερού πλάτους σήμα Ε.Σ. 455 kc/s από τον τελευταίο ενισχυτή Ε.Σ (α) και το επίσης σταθερού πλάτους σήμα 456 kc/s από τον ταλαντωτή (β). Τα δύο σήματα θα υποστούν φώραση και μίξη και το αποτέλεσμα στη συμβολή θα είναι ένα νέο σήμα με συχνότητα τη διαφορά των δύο υψηλών συχνοτήτων, δηλαδή 456 kc − 455 kc = 1 kc, η οποία είναι ακουστική συχνότητα. Η κυματομορφή (γ) είναι το σήμα που εμφανίζεται στον αντιστάτη φωράσεως. Όταν δεν υπάρχει το σήμα Ε.Σ. (νεκρός χρόνος), είναι μια συνεχής αρ-

νητική τάση που προέρχεται από το σήμα του ταλαντωτή, ενώ, όταν υπάρχει το σήμα Ε.Σ., είναι αρνητική τάση μεταβαλλόμενη στη συχνότητα των 1000 c/s. Από τον πυκνωτή $C_Σ$ περνά η εναλλασσόμενη συνιστώσα (δ) που οδηγείται στους ενισχυτές ακουστικών συχνοτήτων και στο μεγάφωνο. Έτσι το αδιαμόρφωτο σήμα (A1) μετατρέπεται σε ακουστικό σήμα στη βαθμίδα της φωράσεως.

Με το μικρό πυκνωτή C΄ του ταλαντωτή, ρυθμίζεται η συχνότητα των ταλαντώσεων από 455,2 kc/s μέχρι 457 kc/s π.χ. και έτσι ο τόνος του ήχου μπορεί να μεταβάλλεται από 200 μέχρι 2000 c/s. Με τον τρόπο αυτό μπορεί να ξεχωρίζει δύο διαφορετικά σήματα που θα είχαν τον ίδιο τόνο.

Όταν ο δέκτης λαμβάνει σήματα MCW (A2) ή Voice (A3), ο ταλαντωτής δεν πρέπει να λειτουργεί, γιατί θα παράγεται τότε ένα πρόσθετο ενοχλητικό σφύριγμα στο μεγάφωνο.

7.10 Διάγραμμα και λειτουργία υπερετερόδυνου δέκτη.

Στο σχήμα 7.10 φαίνεται το διάγραμμα ενός υπερετερόδυνου δέκτη για λήψη σημάτων Α.Μ. και CW (A1, A2 και A3) για δύο περιοχές κυμάτων, μεσαία και βραχέα.

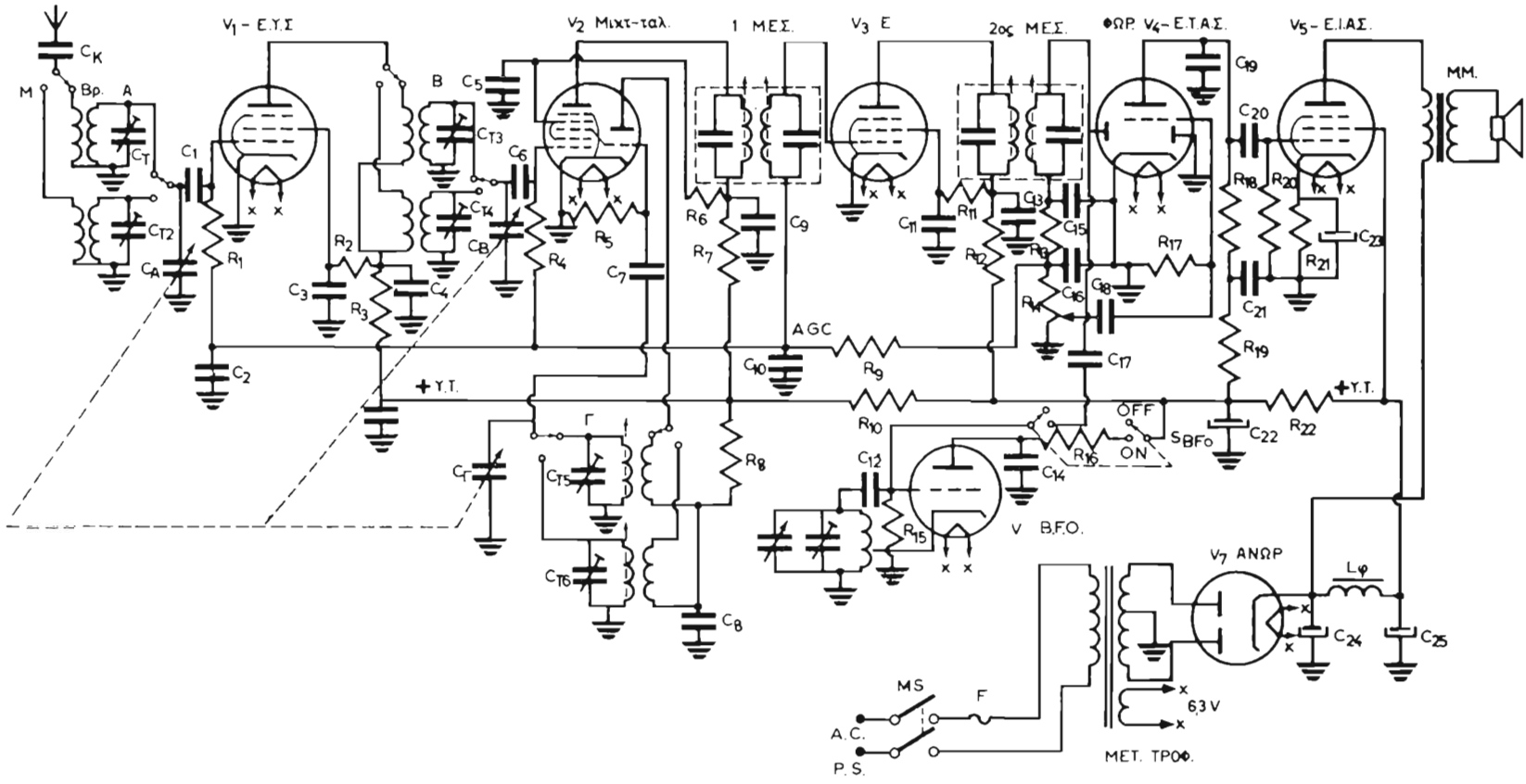
Στο αριστερό άνω μέρος του διαγράμματος είναι η είσοδος του δέκτη. Το σήμα από την κεραία, μέσα από τον C_K, οδηγείται στο διακόπτη κυμάτων που επιλέγει την περιοχή μεσαίων ή βραχέων κυμάτων. Ο διακόπτης είναι στη θέση βραχέα. Το συγκρότημα των πηνίων (Α) είναι για την επιλογή μαζί με το μεταβλητό πυκνωτή C_A και οι πυκνωτές C_T (τρίμερ) για τη διόρθωση του συντονισμού στην ευθυγράμμιση του δέκτη.

Μετά την επιλογή του, το σήμα θα ενισχυθεί από την V_1, η οποία είναι ενισχύτρια Υ.Σ. με ασυντόνιστο πρωτεύον και συντονισμένο δευτερεύον στην άνοδο. Ο συντονισμός του δευτερεύοντος γίνεται με το μεταβλητό πυκνωτή C_B, που είναι ομοαξονικός με τους C_A και $C_Γ$. Με το συγκρότημα των πηνίων (Β) ξαναγίνεται επιλογή του σήματος που λαμβάνει ο δέκτης. Η λυχνία δέχεται πόλωση από το AGC μέσα από τον R_1. Οι R_2 και C_3 είναι για τη θετική τάση του προστατευτικού πλέγματος ενώ οι R_3 και C_4 για απόζευξη της Υ.Σ. προς την Υ.Τ.

Η λυχνία V_2 είναι μίκτρια - μεταλλάκτρια - ταλαντώτρια. Το τριοδικό της τμήμα παράγει ταλαντώσεις με το συγκρότημα των πηνίων (Γ) και το μεταβλητό πυκνωτή $C_Γ$. Η παραγόμενη ταλάντωση είναι μεγαλύτερη κατά την ενδιάμεση συχνότητα του δέκτη (παράγρ. 7.6). Το επταοδικό της τμήμα θα προβεί σε μίξη των δύο σημάτων και ανάδειξη της ενδιάμεσης συχνότητας, η οποία επιλέγεται με τον 1ο μετασχηματιστή ενδιάμεσης συχνότητας (Μ.Ε.Σ). Το επταοδικό τμήμα δέχεται πόλωση στο οδηγό του πλέγμα από το AGC. Οι R_5 και C_7 είναι για την αυτοπόλωση του ταλαντωτή, ο οποίος είναι τύπου Armstrong, ενώ οι C_6 και R_6 για την τάση των προστατευτικού πλεγμάτων και οι R_7 και C_8 είναι για την απόζευξη Υ.Σ.

Η λυχνία V_3 είναι για την ενίσχυση της ενδιάμεσης συχνότητας. Είναι λυχνία μεταβλητών «μ», όπως και η V_1. Δέχεται πόλωση από το AGC μέσα από το πηνίο του δευτερεύοντος του 1ου Μ.Ε.Σ. Το ανοδικό της κύκλωμα είναι ο 2ος Μ.Ε.Σ. Οι R_{11} και C_{11} είναι για την τάση του προστατευτικού πλέγματος και οι R_{12} και C_{13} για την απόζευξη Υ.Σ.

Η V_4 είναι διπλή λυχνία, διπλοδίοδη φωράτρια και τρίοδη ενισχύτρια Α.Σ. Οι δύο άνοδοι της φωράτριας μπορεί να χρησιμοποιηθούν και για AGC επιβραδυνόμενο.



Σχ. 7.10.
Κύκλωμα υπερετερόδυνου δείκτη με BFO.

Η ενδιάμεση συχνότητα από το δευτερεύον του 2ου Μ.Ε.Σ. οδηγείται στην άνοδο της φωράτριας όπου γίνεται η φώραση. Η τάση εξόδου της φωράτριας αναπτύσσεται στον R_{14}, που είναι συγχρόνως και το ποτενσιόμετρο για τη ρύθμιση της εντάσεως της φωνής. Εδώ δημιουργείται και η τάση του AGC με τον R_9 και C_{10} [παράγρ. 7.9 (δ)], που πολώνει τις λυχνίες V_1, V_2 και V_3. Οι R_{13}, C_{15} και C_{16} είναι φίλτρο εξομαλύνσεως του φωραθέντος σήματος. Το τριοδικό τμήμα της V_4 ενισχύει το σήμα Α.Σ., το οποίο, περνώντας από τον C_{18}, διεγείρει το πλέγμα τής λυχνίας. Ο C_{19} είναι μικρής τιμής και διαρρέει την Ε.Σ., η οποία μπορεί να εμφανισθεί στην άνοδο. Ο R_{18} είναι αντίσταση φόρτου και ο R_{19} με τον C_{21} είναι για βελτίωση της ενισχύσεως στις χαμηλές συχνότητες της περιοχής Α.Σ. Ο C_{20} είναι πυκνωτής συζεύξεως με την V_5. Αποκόπτει το συνεχές της ανόδου της V_4, για να μη πάει στο πλέγμα της V_5, ενώ η εναλλασσόμενη συνιστώσα περνά και διεγείρει τη V_5.

Η V_5 είναι πέντοδη ενισχύτρια ισχύος Α.Σ. Στην άνοδο έχει το μετασχηματιστή εξόδου, ο οποίος προσαρμόζει την αντίσταση του μεγαφώνου με την αντίσταση φόρτου της λυχνίας. Η λυχνία έχει αυτοπόλωση από την κάθοδο με τους R_{21} και C_{23}. Ο R_{20} είναι αντιστάτης πλέγματος.

Η V_6 είναι ο ταλαντωτής συμβολής για τη λήψη σημάτων Α1. Η λειτουργία του αναφέρθηκε ήδη στην προηγούμενη παράγραφο [7.9(η)]. Ο ταλαντωτής είναι τύπου Hartley σειράς και τίθεται σε λειτουργία όταν κλείσει ο διακόπτης S_{BFO}.

Η λυχνία V_7 είναι μια διπλοδίοδη ανορθώτρια υψηλής τάσεως. Ο μετασχηματιστής τροφοδοσίας δίνει την τάση στις δύο ανόδους και γίνεται διπλή ανόρθωση. Οι C_{24}, L_Φ και C_{25} είναι το φίλτρο εξομαλύνσεως τύπου Π, χωρητικής εισόδου με L και C. Πρόσθετο φίλτρο με R και C είναι ο R_{22} με τον C_{22}. Με την υψηλή τάση τροφοδοτούνται οι άνοδοι και τα προστατευτικά πλέγματα των λυχνιών. Με την τάση θερμάνσεως τροφοδοτούνται τα νήματα όλων των λυχνιών. Το πρωτεύον του μετασχηματιστή συνδέεται στην πηγή εναλλασσόμενου ρεύματος μέσα από τον κεντρικό διακόπτη ON-OFF (M.S.) και την ασφάλεια F (FUSE).

Οι λυχνίες που μπορεί να χρησιμοποιηθούν είναι: V_1 η EF89, V_2 η ECH81, V_3 η EF89, V_4 η EBC81, V_5 η EL84, V_6 η EC92 και V_7 η EZ80.

Το παραπάνω λεπτομερειακό διάγραμμα του δέκτη έχει ως βασικό διάγραμμα με τετράγωνα, το διάγραμμα του σχήματος 7.5, αν προστεθεί σ' αυτό ένα τετράγωνο του B.F.O. Οι κυματορφές στις βαθμίδες του δέκτη έχουν την ίδια μορφή με εκείνες του σχήματος 7.5.

7.11 Συντονισμός του δέκτη.

Με το συντονισμό του δέκτη, που λέγεται και ***ευθυγράμμιση,*** γίνεται ρύθμιση των συντονιζομένων κυκλωμάτων του, ώστε η ένδειξη της βελόνας του πίνακα των συχνοτήτων και σταθμών να ανταποκρίνεται προς τη συχνότητα που λαμβάνει. Αν θέλομε π.χ. να κάνομε λήψη της συχνότητας 2,35 Mc, πρέπει, γυρνώντας το διακόπτη επιλογής σταθμών, να λάβομε αυτό το σήμα στην ένδειξη του πίνακα 2,35 Mc. Αν η λήψη γίνεται στη θέση 2,48 Mc, τότε λέμε ότι ο δέκτης δεν είναι ευθυγραμμισμένος.

Η ευθυγράμμιση του δέκτη γίνεται στο εργοστάσιο κατασκευής. Με την πάροδο όμως του χρόνου και τη μεταβολή της τιμής των εξαρτημάτων δεν εξακολουθεί να υφίσταται ευθυγράμμιση και η λήψη των σταθμών πραγματοποιείται σε άλλη θέση του πίνακα των συχνοτήτων.

Η ευθυγράμμιση του δέκτη πρέπει να γίνει από έμπειρο ηλεκτρονικό και με ειδικά ηλεκτρονικά όργανα, όπως γεννήτρια υψηλών συχνοτήτων μεγάλης ακρίβειας, παλμογράφο, ηλεκτρονικό πολύμετρο και γεννήτρια Α.Σ.

Η ευθυγράμμιση γίνεται με μια ορισμένη σειρά. Πρώτα ο συντονισμός των μετασχηματιστών Ε.Σ., αρχίζοντας από τον τελευταίο προς τον πρώτο. Ο συντονισμός πραγματοποιείται, αφού δοθεί με τη γεννήτρια Υ.Σ. η ακριβής Ε.Σ. του δέκτη στη μίκτρια λυχνία, στο οδηγό της πλέγμα. Η ρύθμιση γίνεται για μέγιστη έξοδο στο μεγάφωνο και το κατάλληλο εύρος των διερχομένων συχνοτήτων.

Στη συνέχεια ρυθμίζονται τα πηνία και τα τρίμερ του τοπικού ταλαντωτή για την ακριβή αντιστοιχία συχνότητας και ενδείξεως στον πίνακα συχνοτήτων. Η ρύθμιση γίνεται αφού συνδεθεί στην είσοδο του δέκτη η γεννήτρια Υ.Σ. και ρυθμιστούν δέκτης και γεννήτρια στην ίδια περιοχή συχνοτήτων και μετά στην ίδια συχνότητα. Για μέγιστη έξοδο στο μεγάφωνο και καλή επιλεκτικότητα, ρυθμίζονται τα τρίμερ του συγκροτήματος των πηνίων Α και Β. Ο παλμογράφος χρησιμοποιείται για να ελέγχονται οι κυματομορφές και η παραμόρφωσή τους, ενώ το ηλεκτρονικό πολύμετρο βοηθεί στο συντονισμό, μετρώντας την τάση του AGC ή την τάση εξόδου στο μεγάφωνο.

7.12 Βασικά χαρακτηριστικά των δεκτών.

Ο κάθε δέκτης έχει και ορισμένα χαρακτηριστικά, που είναι: η ευαισθησία (Sensitivity), η επιλογή (Selectivity), η πιστότητα (Fidelity), η ισχύς τροφοδοσίας, η τάση τροφοδοσίας και η ισχύς εξόδου (μεγαφώνου). Από αυτά, τα τρία πρώτα είναι τα βασικότερα.

α) Η ***ευαισθησία*** είναι η ικανότητα του δέκτη να λαμβάνει ασθενή σήματα στην είσοδό του. Εξαρτάται από τον αριθμό των βαθμίδων ενισχύσεως του δέκτη και κυρίως από τους ενισχυτές Υ.Σ. και Ε.Σ. Η ευαισθησία καθορίζεται από τη μικρότερη τάση στην είσοδο του δέκτη, για την οποία μπορεί να δημιουργηθεί στην έξοδο ένα ικανοποιητικό ακουστικό αποτέλεσμα. Το αποτέλεσμα όμως αυτό, πρέπει να έχει ευκρίνεια και να καλύπτει το θόρυβο που παράγει ο δέκτης. Στην περίπτωση αυτή ο λόγος σήματος προς το θόρυβο πρέπει να είναι 10 προς 1 (10:1).

Μπορούμε π.χ. να πούμε ότι ένας δέκτης, χωρίς σήμα στην είσοδό του, έχει θόρυβο (φύσημα) στην έξοδο 10 mW. Εφαρμόζομε στην είσοδο ένα σήμα αντίστοιχης συχνότητας, από μια γεννήτρια με διαμόρφωση 30% περίπου και ρυθμίζομε την τάση εξόδου της γεννήτριας ώστε η ισχύς εξόδου του δέκτη να γίνει 100 mW. Αυτή η τάση εισόδου καθορίζει την ευαισθησία του δέκτη.

Στους σύγχρονους δέκτες η ευαισθησία φθάνει το ένα μικροβόλτ για ισχύ εξόδου 50 mW και λόγο σήματος προς θόρυβο 10:1. Τα 50 mW προκαλούν ικανοποιητικό ήχο.

Η ευαισθησία του κάθε δέκτη δίνεται από το εργοστάσιο κατασκευής και καθορίζεται για κάθε περιοχή συχνοτήτων. Ο πιο ευαίσθητος δέκτης είναι εκείνος που λειτουργεί με τα λιγότερα μικροβόλτ, με λόγο σήματος προς θόρυβο 10:1 και για τη μεγαλύτερη ισχύ εξόδου συνήθως μεγαλύτερη από 50 mW.

β) Η ***επιλογή*** είναι η ικανότητα του δέκτη να ξεχωρίζει, από το πλήθος των συχνοτήτων που επιδρούν στην κεραία, εκείνο στο οποίο τον συντονίζομε. Επειδή υπάρχει μεγάλος αριθμός πομπών που εκπέμπουν σε κάθε περιοχή, ο δέκτης πρέπει να έχει την ικανότητα να ξεχωρίζει τον ένα, χωρίς να παρενοχλούν οι κοντινοί σταθμοί.

Η ικανότητα επιλογής ενός δέκτη εξαρτάται από τα συντονιζόμενα κυκλώματα στην είσοδό του και από τα συντονισμένα κυκλώματα των ενισχυτών Ε.Σ. Όσο υψηλότερο Q παρουσιάζουν τα κυκλώματα και όσο περισσότερα συντονιζόμενα κυκλώματα έχει ένας δέκτης, τόσο καλύτερη ικανότητα επιλογής έχει.

Η ικανότητα επιλογής αυξάνει με το διακόπτη Pass Band Switch όπως αναφέρθηκε ήδη στην παράγραφο 7.9(στ), και οι δέκτες σημάτων C.W. έχουν μεγαλύτερη ικανότητα επίλογής από τους Α.Μ.

Η ικανότητα επιλογής του κάθε δέκτη δίνεται από το εργοστάσιο κατασκευής, για σχετικό αποσυντονισμό. Για αποσυντονισμό π.χ. 1/10000 πόσο πέφτει η ισχύς εξόδου του δέκτη ή για τον ίδιο αποσυντονισμό 1/10000 πόσο πρέπει να αυξηθεί η τάση του σήματος εισόδου για να έχομε στην έξοδο την ίδια ισχύ. Η τάση εισόδου ή και η ισχύς εξόδου για τον αποσυντονισμό μπορεί να δίνεται και σε Decibel. Όσο μικρότερος είναι ο αποσυντονισμός και όσο μεγαλύτερη η διαφορά του σήματος εισόδου ή της ισχύος εξόδου, τόσο καλύτερος είναι ο δέκτης.

γ) Η ***πιστότητα*** είναι η ικανότητα του δέκτη να αναπαράγει στην έξοδο τις ακουστικές συχνότητες, όπως αυτές διαμόρφωσαν τον πομπό και τις έλαβε στην είσοδό του ο δέκτης. Η πιστότητα φαίνεται με την καμπύλη αποκρίσεως των χαμηλών συχνοτήτων. Καθορίζεται από την ποιότητα των ενισχυτών Α.Σ. του δέκτη και από το πλάτος διελεύσεως της ζώνης στα συντονισμένα κυκλώματα. Όπως γνωρίζομε, το φάσμα των ακουστικών συχνοτήτων περιέχεται στις πλευρικές, οι οποίες, για να περάσουν, πρέπει τα συντονισμένα κυκλώματα να διαθέτουν το απαιτούμενο πλάτος (Δf).

Η πιστότητα έχει αντίθετες απαιτήσεις από την επιλογή. Στην επιλογή επιθυμούμε οξύ συντονισμό, ενώ στην πιστότητα πλατύ. Στους ραδιοφωνικούς δέκτες προτιμάται η πιστότητα σε βάρος της επιλεκτικότητας, ενώ στους ραδιοτηλεγραφικούς και ραδιοτηλεφωνικούς δέκτες προτιμάται η επιλεκτικότητα, γιατί αυτό ενδιαφέρει περισσότερο.

Η τάση και το ρεύμα τροφοδοσίας, η ισχύς εξόδου, καθώς και όλα τα χαρακτηριστικά του κάθε δέκτη, δίνονται από το εργοστάσιο κατασκευής σε ειδικό βιβλίο που λέγεται Instruction Manual.

Τέλος αναφέρεται ότι μερικοί δέκτες, αντί να έχουν τις κλασικές κλίμακες ενδείξεως συντονισμού, διαθέτουν έναν αντίστοιχο χώρο με φωτεινούς αριθμούς που δείχνουν τη συχνότητα συντονισμού. Αυτό το σύστημα λειτουργεί με ειδική μονάδα που έχει ο δέκτης και ονομάζεται ***απαριθμητής*** (Counter). Ο απαριθμητής μετρά τη συχνότητα που έχει κάθε φορά ο τοπικός ταλαντωτής, αφαιρεί την ενδιάμεση συχνότητα του δέκτη και στη συνέχεια τροφοδοτεί μια σειρά από ειδικές λυχνίες, οι οποίες δείχνουν με αντίστοιχους φωτεινούς αριθμούς τη συχνότητα που λαμβάνει στην είσοδό του ο δέκτης. Αυτές οι λυχνίες περιέχουν αέριο, συνήθως νέον (για να φωτοβολεί), μια άνοδο αηό πλέγμα και μπροστά από αυτή τους αριθμούς από 0 μέχρι 9, κατασκευασμένους από λεπτά συρματάκια. Ο κάθε αριθμός συνδέεται εξωτερικά σε αντίστοιχο ποδαράκι και αποτελεί και μία χωριστή κάθοδο. Η άνοδος τροφοδοτείται με θετικό δυναμικό, ενώ η κάθε μια κάθοδος τροφοδοτείται από χωριστό κύκλωμα, για να λειτουργεί στην αντίστοιχη σύνδεση και τροφοδότηση από το μετρητή. Αυτές οι ειδικές λυχνίες ονομάζονται ***Decade Numerical Indicating Tubes*** ή απλά ***λυχνίες Decatron.*** Σε πιο σύγχρονες κατασκευές χρησιμοποιούνται οι φωτεινοί ενδείκτες ***Display,*** οι οποίοι λειτουργούν με βάση την αρχή των LED (Light Emitting Diode) και τροφοδοτούνται από το Counter.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΟΓΔΟΟ

ΠΟΜΠΟΙ ΚΑΙ ΔΕΚΤΕΣ ΣΗΜΑΤΩΝ FM

8.1 Γενικά.

Όπως αναφέρθηκε στην αρχή του βιβλίου, υπάρχουν πολλοί τρόποι και μέθοδοι διαμορφώσεως. Στα δύο προηγούμενα κεφάλαια γνωρίσαμε ήδη τους πομπούς και τους δέκτες που λειτουργούν με σήματα διαμορφωμένα κατά πλάτος. Στο κεφάλαιο αυτό θα ασχοληθούμε με τους πομπούς και τους δέκτες που λειτουργούν με σήματα διαμορφωμένα ***κατά συχνότητα*** (frequency modulation) (F.M.).

Στη διαμόρφωση πλάτους η συχνότητα εκπομπής παραμένει σταθερή, ενώ το πλάτος του σήματος αυξομειώνεται στο ρυθμό της ακουστικής συχνότητας με σύγχρονη εμφάνιση των πλευρικών συχνοτήτων. Στη διαμόρφωση συχνότητας το πλάτος του σήματος Υ.Σ. παραμένει σταθερό ενώ η συχνότητά του μεταβάλλεται με την επίδραση της Α.Σ. Μεγάλο φάσμα πλευρικών συχνοτήτων διαφορετικής μορφής από το ΑΜ εμφανίζεται και στο FM. Στο ΑΜ η συχνότητα του φέροντος παραμένει σταθερή, ενώ στο FM έχει άλλη τιμή για κάθε στιγμή. Στο ΑΜ επίσης η διαμόρφωση εφαρμόζεται στην τελική βαθμίδα ισχύος του πομπού και απαιτείται μεγάλης ισχύος διαμορφωτής, ενώ στο FM η διαμόρφωση εφαρμόζεται στο βασικό ταλαντωτή με αποτέλεσμα να απαιτείται μικρής ισχύος διαμορφωτής.

Μπορούμε να έχομε άμεση διαμόρφωση συχνότητας ή έμμεση, η οποία λέγεται ***διαμόρφωση φάσεως,*** στη συνέχεια δε να εξελίσσεται σε διαμόρφωση συχνότητας. Οι πομποί FM, για να φθάσουν στην τελική συχνότητα εκπομπής, χρησιμοποιούν βαθμίδες πολλαπλασιασμού συχνότητας, επειδή κατά τη διαμόρφωση έχομε μικρή μεταβολή συχνότητας.

Επειδή το FM έχει μεγάλο φάσμα πλευρικών συχνοτήτων που μπορεί να φθάσει τους 150 kc/s, χρησιμοποιείται στην περιοχή των VHF και πάνω, δηλαδή πάνω από 30 Mc/s.

Ο δέκτης σημάτων FM διαφέρει από το δέκτη ΑΜ κυρίως στη βαθμίδα αποδιαμορφώσεως, η οποία εδώ ονομάζεται ***διευκρινιστής*** και μετατρέπει τη μεταβολή συχνότητας σε μεταβολή πλάτους, αποκαλύπτοντας την ακουστική συχνότητα που διαμόρφωσε τον πομπό.

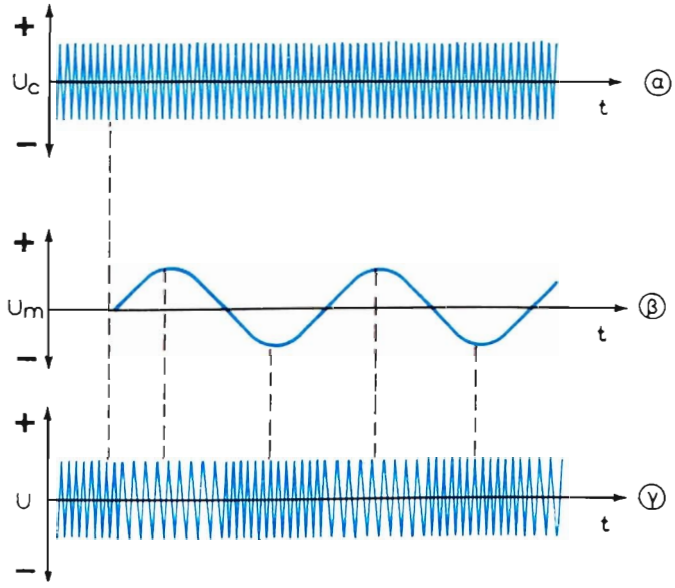
Το FM πλεονεκτεί από το ΑΜ στο ότι είναι απαλλαγμένο από βιομηχανικά ή καιρικά παράσιτα και μπορεί να έχει καλύτερη πιστότητα στον ήχο. Μειονεκτεί όμως στο ότι, επειδή εφαρμόζεται σε συχνότητες πάνω από 30 Mc/s, δεν μπορεί να καλύψει μεγάλες αποστάσεις όπως οι χαμηλότερες συχνότητες MF και HF.

8.2 Το διαμορφωμένο κατά συχνότητα σήμα.

Στο σχήμα 8.2α βλέπομε το φέρον κύμα (α) που έχει σταθερό πλάτος και σταθερή συχνότητα, το σήμα ακουστικής σταθερής συχνότητας (β) που θα διαμορφώσει το φέρον και το διαμορφωμένο κατά συχνότητα σήμα Υ.Σ. (γ). Παρατηρού-

ΙΔΡΥΜΑ ΕΥΓΕΝΙΔΟΥ 1956

με ότι στις θετικές ημιπεριόδους του σήματος Α.Σ. η συχνότητα είναι μικρότερη, ενώ στις αρνητικές είναι μεγαλύτερη. Στις μηδενικές τιμές του σήματος Α.Σ. ή όταν αυτό δεν υπάρχει, η συχνότητα του φέροντος είναι σταθερή. Με την επίδραση της Α.Σ. η συχνότητα ολισθαίνει, όπως λέμε, πάνω και κάτω από τη συχνότητα του φέροντος.



Σχ. 8.2α.
Κυματομορφές φέροντος.
(α) Διαμορφούντος. (β) Διαμορφουμένου. (γ) Σημάτων.

Στη διαμόρφωση συχνότητας το πλάτος του διαμορφωμένου σήματος παραμένει σταθερό σε όλη τη διάρκεια της διαμορφώσεως. Η συχνότητα του φέροντος μεταβάλλεται ανάλογα με το πλάτος της Α.Σ. και η συχνότητα του σήματος Α.Σ. επιδρά στην ταχύτητα μεταβολής του φέροντος, ανάλογα δηλαδή με το πόσες φορές στο δευτερόλεπτο πραγματοποιείται η μεταβολή της συχνότητας.

Η επίδραση του πλάτους της ακουστικής συχνότητας που διαμορφώνει το φέρον στην ολίσθηση ή την απόκλιση της συχνότητας φαίνεται στην παρακάτω ανάλυση, όπου και οι εξισώσεις του διαμορφωμένου κατά συχνότητα σήματος.

Η εξίσωση του φέροντος σήματος είναι:

$$e_c = E_c \, \eta\mu \, (\omega_c \, t + \theta) \qquad (8.1)$$

και της διαμορφούσας Α.Σ. e_m είναι:

$$e_m = E_m \, \sigma\upsilon\nu(\omega_m \, t) \qquad (8.2)$$

Η στιγμιαία συχνότητα $\omega_{(t)}$ του διαμορφωμένου σήματος εξαρτάται από τη διαμορφούσα Α.Σ. και είναι:

$$\omega_{(t)} = \omega_c + \kappa E_m \, \sigma\upsilon\nu \, (\omega_m \, t) \qquad (8.3)$$

όπου κ είναι συντελεστής που καθορίζει τη μέγιστη μεταβολή της συχνότητας του φέροντος (ω_c) για ένα καθορισμένο μέγιστο πλάτος E_m.

Η στιγμιαία συχνότητα $\omega_{(t)}$ εξαρτάται από τη στιγμιαία φάση, οπότε έχομε:

$$\omega_{(t)} = \frac{d\phi}{dt} \tag{8.4}$$

ή
$$d\phi = \omega_{(t)}\, dt \tag{8.5}$$

Και, ολοκληρώνοντας:

$$\Phi_{(t)} = \int_0^t \omega_{(t)}\, dt \tag{8.6}$$

Αντικαθιστώνατας με την εξίσωση (8.3), έχομε:

$$\Phi_{(t)} = \int_0^t (\omega_c + \kappa E_m \,\text{συν}\omega t)\, dt \tag{8.7}$$

ή
$$\Phi_{(t)} = \int_0^t \omega_c\, dt + \int_0^t \kappa E_m \,\text{συν}\, \omega t dt \tag{8.8}$$

από την οποία:

$$\Phi_{(t)} = \omega_c t + \kappa \frac{E_m}{\omega_m} \eta\mu\omega t + \theta_0 \tag{8.9}$$

Επειδή όμως η φάση δεν υπολογίζεται στην περίπτωση που εξετάζομε, το θ_0 μπορεί να παραλειφθεί. Στη συνέχεια, αν αντικαταστήσομε την (8.1) στην (8.9), θα έχομε:

$$e = E_c \eta\mu[\omega_c t + \kappa \frac{E_m}{\omega_m} \eta\mu(\omega_m t)] \tag{8.10}$$

και, αντικαθιστώντας με την (8.3), έχομε τη στιγμιαία συχνότητα του διαμορφωμένου κύματος:

$$f_c = \frac{\omega}{2\pi} = f_c + \kappa \frac{E_m}{2\pi} \,\text{συν}(\omega_m t) \tag{8.11}$$

Με την απόκλιση της συχνότητας θα φθάνομε σε μια μέγιστη τιμή f_{max} και μια ελάχιστη f_{min}, που θα είναι:

$$f_{max} = f_c + \frac{\kappa E_m}{2\pi} \tag{8.12}$$

και
$$f_{min} = f_c - \frac{\kappa E_m}{2\pi} \tag{8.13}$$

Όπως αναφέρθηκε πιο πάνω, παρατηρούμε ότι το πλάτος της διαμορφούσης τάσεως E_m επιδρά στην απόκλιση της συχνότητας του φέροντος.

Ονομάζομε ***απόκλιση συχνότητας*** f_d ή απλά ***d*** τη μέγιστη μετάθεση της συχνότητας από τη φέρουσα f_c.

$$d = f_d = f_{max} - f_c = f_c - f_{min} = \frac{\kappa E_m}{2\pi} \tag{8.14}$$

Συντελεστή αποκλίσεως δ ονομάζομε το λόγο της αποκλίσεως συχνότητας d προς τη χαμηλή συχνότητα f_m.

$$\delta = \frac{f_d}{f_m} = \frac{\omega_d}{\omega_m} = \frac{\kappa E_m}{\omega_m} \qquad (8.15)$$

Στην περίπτωση ομιλίας ή μουσικής, ως f_m λαμβάνεται η μεγαλύτερη από τις ακουστικές συχνότητες.

Ανάλογος με το συντελεστή διαμορφώσεως m στο AM είναι ο συντελεστής ή δείκτης διαμορφώσεως, ο οποίος καθορίζεται από το λόγο:

$$m_f = \frac{f_d}{f_c} = \frac{\omega_d}{\omega_c} = \frac{\kappa E_m}{\omega_c} \qquad (8.16)$$

Αν π.χ. έχομε έναν πομπό με διαμόρφωση συχνότητας στον οποίο το φέρον f_c είναι 50 Mc και η χαμηλή συχνότητα διαμορφώσεως f_m είναι 4 kc με μέγιστη μετάθεση συχνότητας 60 kc, θα έχομε:

$$d = f_d = 60 \text{ kc}$$

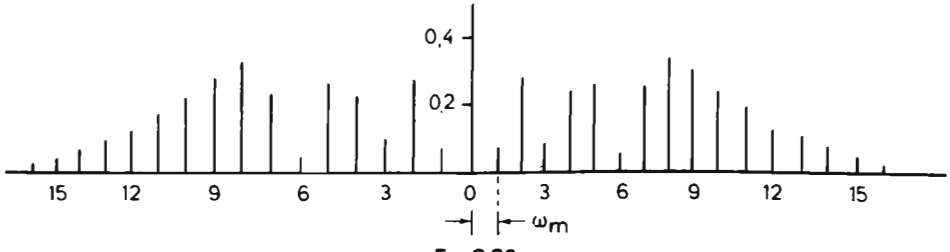
Ο συντελεστής αποκλίσεως είναι:

$$\delta = \frac{d}{f_m} = \frac{60.\text{kc}}{4 \text{ kc}} = 15$$

και ο δείκτης διαμορφώσεως:

$$m_f = \frac{d}{f_c} = \frac{60 \text{ kc}}{50 \text{ Mc}} = 1{,}2 \times 10^{-3}$$

Αν αναλύσομε τη σχέση (8.10), η οποία περιέχει την τάση της Α.Σ. ως E_m και τη συχνότητά της στο ω_m, δίνοντας διάφορες τιμές στην E_m και στο ω_m, θα προκύψει ότι το φάσμα του κατά συχνότητα διαμορφωμένου σήματος αποτελείται από τη φέρουσα συχνότητα f_c και άπειρο πλήθος πλευρικών συχνοτήτων, τα πλάτη των οποίων είναι της συναρτήσεως Bessel διαφόρων τάξεων. Έτσι γύρω από τη φέρουσα αναπτύσσονται ζεύγη πλευρικών, με συχνότητες $f_c \pm f_m$, $f_c \pm 2 f_m$, $f_c \pm 3 f_m$, $f_c \pm 4 f_m$, κλπ., όπως φαίνεται στο σχήμα 8.2β. Στον οριζόντιο άξονα έχομε τη φέρουσα ω_c και τις πλευρικές 1 ω_m, 2 ω_m, 3 ω_m κλπ., ενώ στον κάθετο είναι η τιμή της τάσεως των πλευρικών με μονάδα την τιμή της φέρουσας χωρίς διαμόρφωση. Το σχήμα αντιστοιχεί για συντελεστή αποκλίσεως $\delta = \omega_d/\omega_m = 10$.



Σχ. 8.2β.
Φάσμα συχνοτήτων σε σήμα F.M. με δ = 10.

Αν αλλάξει ο λόγος του ω_d προς ω_m τότε αλλάζει και η μορφή του φάσματος με μεταβολή κυρίως στα πλάτη των πλευρικών.

Σύμφωνα με τις διεθνείς συμβάσεις τηλεπικοινωνιών η επιτρεπόμενη μέγιστη απόκλιση συχνότητας για κάθε πομπό είναι ίση με $f_d = \pm 75$ kc και η ζώνη λειτουργίας του 200 kc. Δηλαδή ένας πομπός FM με πλήρη διαμόρφωση, μπορεί να καλύπτει μια περιοχή ± 75 kc $= 150$ kc και να έχει στις άκρες των πλευρικών του μια ζώνη ασφαλείας 25 kc κάτω και 25 kc πάνω από τη ζώνη των πλευρικών του. Έτσι δεν παρενοχλεί άλλους πομπούς που εκπέμπουν σε μεγαλύτερη και μικρότερη συχνότητα από αυτόν.

Ο λόγος της πραγματοποιούμενης διαμορφώσεως προς τη μέγιστη επιτρεπόμενη καθορίζει το βαθμό διαμορφώσεως m στα 100.

$$m = \frac{d_{\text{πραγμ.}}}{d_{\text{μέγιστο}}} \cdot 100\% \qquad (8.17)$$

Σε σύγκριση με το AM, όπου η ισχύς εξόδου μεταβάλλεται με τη διαμόρφωση, η ισχύς στο FM παραμένει σταθερή. Η ισχύς κατά την πλήρη διαμόρφωση είναι ίδια με την ισχύ του φέροντος χωρίς διαμόρφωση, γιατί οι πλευρικές που εμφανίζονται παίρνουν την ισχύ τους από το φέρον. Έτσι το άθροισμα των ισχύων πλευρικών και φέροντος είναι πάντα σταθερό.

8.3 Μέθοδοι διαμορφώσεως συχνότητας.

Για τη διαμόρφωση συχνότητας μπορούμε να χρησιμοποιήσομε τον ***άμεσο*** ή τον ***έμμεσο τρόπο,*** όπως θα τους γνωρίσομε στη συνέχεια.

Είναι γνωστό ότι η συχνότητα που παράγει ένας ταλαντωτής καθορίζεται από τα στοιχεία του L και C ή, αν είναι κρυσταλλικός, από τη συχνότητα του κρυστάλλου. Αν σε έναν ταλαντωτή με L και C μπορούμε να μεταβάλλομε την τιμή του L ή του C, στο ρυθμό μιας ακουστικής συχνότητας, τότε στο ρυθμό της ακουστικής συχνότητας θα μεταβάλλεται επίσης και η συχνότητα του παραγόμενου από τον ταλαντωτή σήματος.

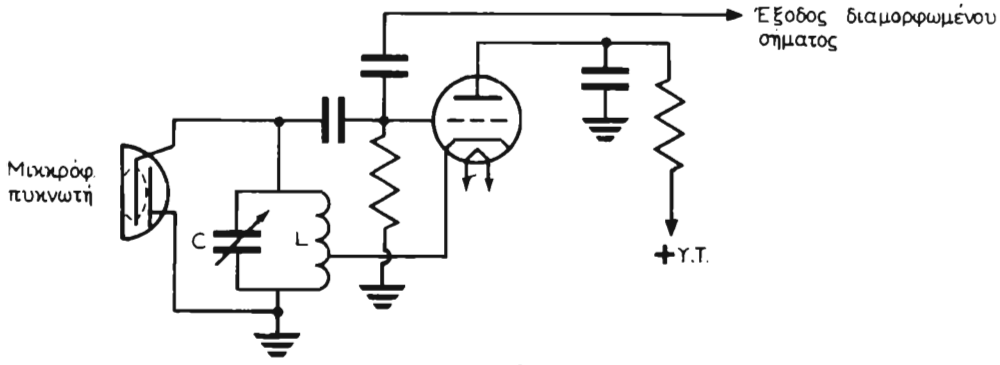
α) Διαμόρφωση με μικρόφωνο πυκνωτή.

Μια απλή μέθοδος διαμορφώσεως συχνότητας είναι να τοποθετήσομε ένα μικρόφωνο πυκνωτή, παράλληλα στον πυκνωτή ενός ταλαντευόμενου κυκλώματος, όπως φαίνεται στο σχήμα 8.3α. Ο ταλανταντωτής παράγει μια συχνότητα που καθορίζεται από το L και C και είναι:

$$f = \frac{1}{2\pi\sqrt{L(C + C_\mu)}}$$

όπου C_μ χωρητικότητα μικροφώνου.

Όταν δεν μιλάμε στο μικρόφωνο, οι οπλισμοί του είναι σταθεροί και παρουσιάζει σταθερή χωρητικότητα. Τότε η συχνότητα του ταλαντωτή είναι σταθερή. Όταν μιλήσομε στο μικρόφωνο, το διάφραγμα κινείται στο ρυθμό και συχνότητα της ομιλίας. Αντίστοιχα μεταβάλλεται και η χωρητικότητά του στον ίδιο ρυθμό. Όταν η μεμβράνη κινηθεί προς τα μέσα, η χωρητικότητα αυξάνει και η συχνότητα του ταλαντωτή μικραίνει, ενώ, όταν η μεμβράνη κινηθεί προς τα έξω, η χωρητικότητα μικραίνει και η συχνότητα αυξάνει. Με τον τρόπο αυτό επιτυγχάνεται η μεταβολή της συχνότητας του σήματος.



Σχ. 8.3α.
Διαμόρφωση συχνότητας με μικρόφωνο πυκνωτή.

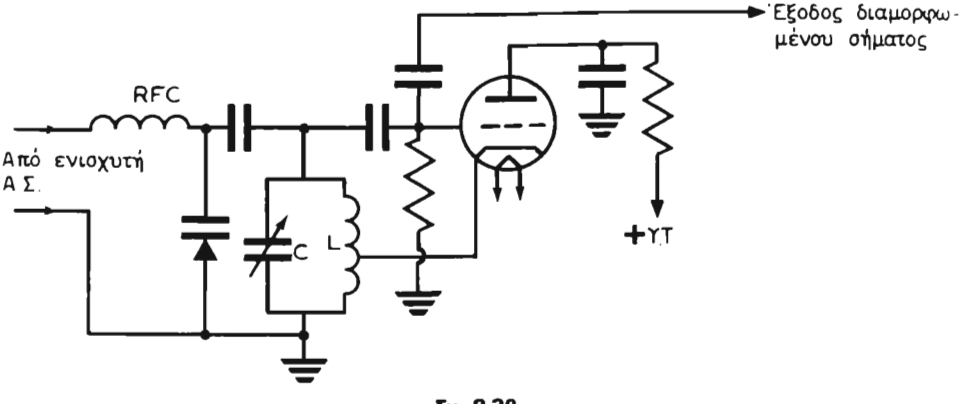
Αν μιλήσομε δυνατά, η μεμβράνη υφίσταται μεγάλη μεταβολή, με αποτέλεσμα τη μεγάλη μεταβολή της χωρητικότητας και από αυτήν την αντίστοιχη μεγάλη μεταβολή της συχνότητας, δηλαδή μεγάλη απόκλιση δ της συχνότητας. Αν μιλήσομε σιγά, έχομε μικρή μεταβολή και μικρή απόκλιση. Παρατηρούμε λοιπόν, ότι η ένταση της φωνής επιδρά στην απόκλιση δ της συχνότητας και η συχνότητα της φωνής στην ταχύτητα μεταβολής της αποκλίσεως δ.

Η παραπάνω μέθοδος διαμορφώσεως δεν έχει μεγάλη χρήση, πιο πολύ χρησιμοποιούνται οι μέθοδοι που περιγράφονται παρακάτω.

β) Διαμόρφωση με varactor diode.

Το varactor ή varicap, είναι μια κρυσταλλοδίοδη χωρητικότητας (βλ. δέκατο κεφάλαιο), η οποία μεταβάλλει τη χωρητικότητά της σε συνάρτηση με την τάση που εφαρμόζεται στις άκρες της.

Στο σχήμα 8.3β φαίνεται το κύκλωμα διαμορφώσεως με δίοδη χωρητικότητας. Η δίοδη παίρνει τάση από τον ενισχυτή Α.Σ. μέσα από το στραγγαλιστικό πηνίο RFC, για να περνά μόνο η Α.Σ. και το συνεχές. Η χωρητικότητά της μεταβάλλεται ανάλογα με την Α.Σ. και από αυτή και η συχνότητα του παραγόμενου σήματος υψηλής συχνότητας.

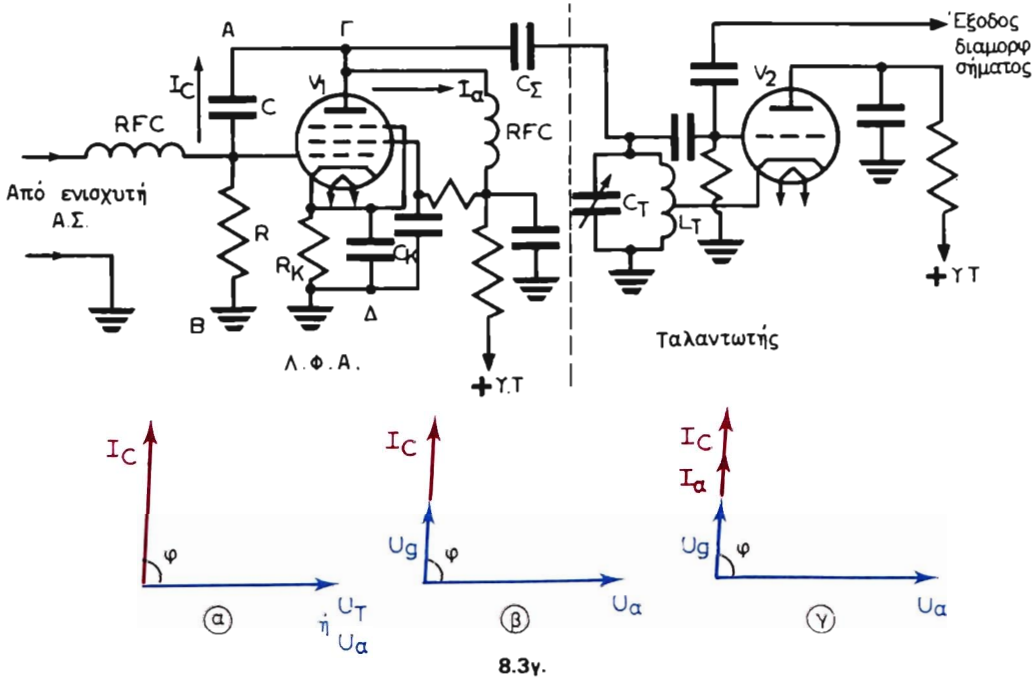


Σχ. 8.3β.
Διαμόρφωση συχνότητας με κρυσταλλοδίοδη χωρητικότητας.

γ) Διαμόρφωση με λυχνία φαινόμενης αντιστάσεως.

Κατά τη μέθοδο αυτή μια λυχνία που συμπεριφέρεται σαν πυκνωτής ή πηνίο συνδέεται παράλληλα στο κυμαινόμενο κύκλωμα του ταλαντωτή και του μεταβάλλει τη συχνότητα σε συνάρτηση με την Α.Σ. που επιδρά στο πλέγμα της.

Ένα τέτοιο κύκλωμα φαίνεται στο σχήμα 8.3γ. Η λυχνία V_1 είναι η φαινόμενης αντιστάσεως και η V_2 είναι ο ταλαντωτής. Η παραγόμενη τάση από τον ταλαντωτή U_T εφαρμόζεται στην άνοδο της V_1 (και γης) μέσα από τον C_Σ, ο οποίος αποκόπτει το συνεχές της V_1 για να μην επιδράσει στο πλέγμα του ταλαντωτή. Το ίδιο σήμα εφαρμόζεται και στο κύκλωμα C και R στα σημεία A και B. Ο C έχει τέτοια τιμή ώστε $X_c \gg R$. Έτσι το ρεύμα του πυκνωτή, που περνά και από τον αντιστάτη, προηγείται από την τάση U_T κατά 90° περίπου. Στις άκρες του αντιστάτη R δημιουργείται μια πτώση τάσεως u_g, η οποία είναι συμφασική με το ρεύμα I_c, όπως φαίνεται στις γωνίες (α) και (β).



8.3γ.
Διαμόρφωση συχνότητας με λυχνία φαινόμενης αντιστάσεως.

Η u_g όμως είναι η τάση εισόδου Υ.Σ. της V_1 και θα ρυθμίζει το ρεύμα της I_a συμφασικά με αυτήν. Έτσι το ρεύμα I_a της λυχνίας προπορεύεται κατά 90° περίπου από την τάση U_a που εφαρμόζεται στην άνοδό της [γωνία(γ)]. Η λυχνία επομένως συμπεριφέρεται σαν ένας πυκνωτής, στις άκρες του οποίου εφαρμόζεται μια τάση U_a και κινείται σ' αυτόν ένα ρεύμα I_a, το οποίο προπορεύεται κατά 90° περίπου από την U_a.

Αυτή η λυχνία - πυκνωτής βρίσκεται παράλληλα στο κυμαινόμενο κύκλωμα του ταλαντωτή και επιδρά στη συχνότητα των ταλαντώσεων.

Αν δεν έχομε άλλο σήμα στο πλέγμα της λυχνίας V_1, η χωρητικότητά της παραμένει σταθερή. Όταν όμως μεταβληθεί η πόλωση και γενικά η τάση του οδηγού πλέγματος, μεταβάλλεται η διαγωγιμότητα της λυχνίας και απ' αυτή και το I_a.

Αν εφαρμόσομε τώρα στο πλέγμα της και ένα σήμα ακουστικής συχνότητας, όπως φαίνεται στο σχήμα 8.3γ, στις θετικές ημιπεριόδους του σήματος το ρεύμα της λυχνίας I_a θα αυξάνει, ενώ στις αρνητικές θα μειώνεται, ανεξάρτητα από το σήμα της υψηλής συχνότητας που εφαρμόζεται συγχρόνως στο πλέγμα.

Όταν το I_a αυξάνει, είναι σαν να αυξάνει η φαινόμενη χωρητικότητα της λυχνίας, γιατί σε μεγαλύτερη χωρητικότητα θα περνά μεγαλύτερο ρεύμα. Αφού αυξήθηκε η χωρητικότητα της λυχνίας, η συχνότητα των ταλαντώσεων θα μειωθεί, όπως φαίνεται και στο σχήμα 8.2α, όπου στις θετικές ημιπεριόδους της Α.Σ. έχομε μείωση της Υ.Σ.

Στις αρνητικές ημιπεριόδους του σήματος Α.Σ. το I_a θα μειώνεται και από αυτό αντίστοιχα θα έχομε μείωση της φαινόμενης χωρητικότητας. Ετσι η συχνότητα των ταλαντώσεων θα αυξηθεί, όπως φαίνεται και στο σχήμα 8.2α.

Με τον τρόπο αυτό η συχνότητα των ταλαντώσεων μεταβάλλεται στο ρυθμό της Α.Σ. Αν το σήμα Α.Σ. είναι πολύ ισχυρό (μιλάμε δυνατά) το πλέγμα θα γίνεται πολύ θετικό και πολύ αρνητικό με αντίστοιχη μεγάλη μεταβολή της φαινόμενης χωρητικότητας και μεγάλη απόκλιση δ της συχνότητας. Αντίθετα, με μικρή τάση Α.Σ. (σιγανή ομιλία), έχομε μικρή απόκλιση.

Το αποπνικτικό πηνίο RFC στο πλέγμα της V_1 είναι για να μη περνά η Υ.Σ. προς τον ενισχυτή Α.Σ. Επίσης το RFC στην άνοδό της είναι για να μη διαρρέει η Υ.Σ. προς το κοινό και χρησιμεύει επίσης και ως ανοδικό φορτίο της. Η V_1 δεν ενισχύει κανένα σήμα Α.Σ. ή Υ.Σ.

Αν τοποθετήσομε αντιστάτη R′ στη θέση του C και στη θέση του R τοποθετήσομε πυκνωτή C′ έτσι που να ισχύει $R' \gg X'_C$, τότε η λυχνία V_1 παρουσιάζει επαγωγική συμπεριφορά με αντίστοιχα αποτελέσματα.

Οι παραπάνω τρεις μέθοδοι είναι ***μέθοδοι άμεσης διαμορφώσεως,*** γιατί το σήμα Α.Σ. επιδρά απ' ευθείας στον ταλαντωτή και αλλάζει τη συχνότητα του παραγόμενου σήματος Υ.Σ.

δ) Διαμόρφωση φάσεως.

Στη μέθοδο αυτή η διαμορφώτρια λυχνία συμπεριφέρεται ως μεταβλητή αντίσταση η οποία προκαλεί μετάθεση φάσεως σε ένα σήμα Υ.Σ. που παράγει ένας ταλαντωτής με κρύσταλλο.

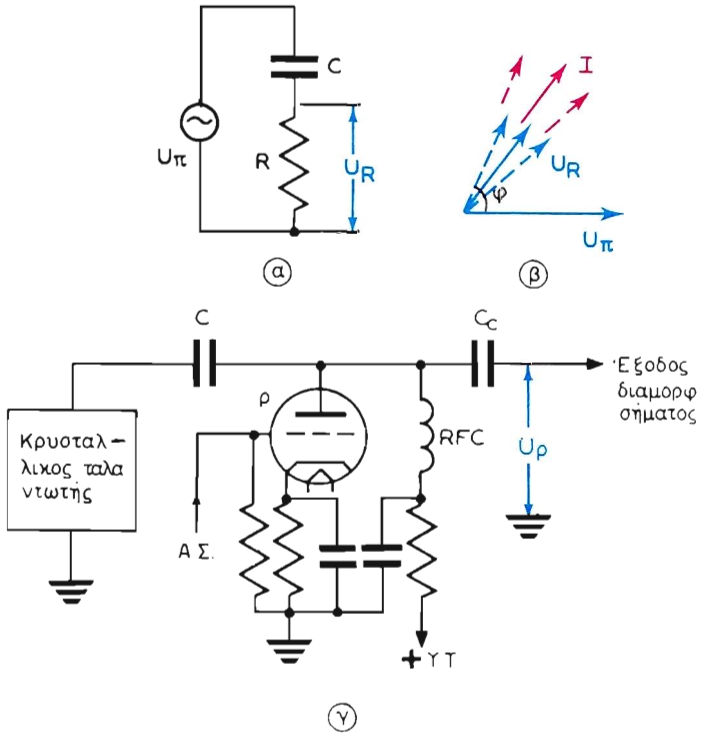
Αν έχομε έναν πυκνωτή C σε σειρά με έναν αντιστάτη R και τα τροφοδοτήσομε από πηγή Ε.Ρ. τάσεως U_π [σχ. 8.3δ(α)] τότε, λόγω του πυκνωτή C, το ρεύμα I του κυκλώματος θα προηγείται κατά μια γωνία φ η εφαπτομένη της οποίας είναι:

$$\epsilon\varphi\varphi = \frac{X_C}{R} = \frac{1}{C\omega R}$$

Στις άκρες του R δημιουργείται μια πτώση τάσεως UK_R που είναι συμφασική με το I και επομένως προηγείται από την U_π κατά γωνία φ [σχ. 8.3δ(β)].

Όταν μεταβληθεί ο C ή ο R, τότε θα μεταβληθεί και η γωνία φ όπως φαίνεται στο ίδιο σχήμα. Αν μεταβάλομε τον R στο ρυθμό μιας Α.Σ., τότε η φάση της U_R θα μεταβάλλεται στον ίδιο ρυθμό.

Στη θέση του R μπορούμε να τοποθετήσομε μια λυχνία της οποίας η εσωτερική αντίσταση ρ θα παίζει το ρόλο του R [σχ. 8.3δ(γ)]. Το κύκλωμα C και ρ τροφοδοτείται με σήμα σταθερής Υ.Σ. από έναν κρυσταλλικό ταλαντωτή. Στο πλέγμα της λυχνίας εφαρμόζεται ένα σήμα Α.Σ. από τον ενισχυτή Α.Σ., που ενισχύει το σήμα



Σχ. 8.36.
Διαμόρφωση φάσεως.

του μικροφώνου. Η αντίσταση ρ της λυχνίας μεταβάλλεται σύμφωνα με το σήμα Α.Σ. Στις θετικές ημιπεριόδους η ρ μικραίνει, ενώ στις αρνητικές αυξάνει. Έτσι η φάση της τάσεως $U_ρ$, που είναι και τάση εξόδου, μεταβάλλεται στο ρυθμό της Α.Σ. Όταν όμως μεταβάλλεται η φάση μιας εναλλασσόμενης τάσεως είναι σαν να μεταβάλλεται η συχνότητά της.

Με αυτή τη μέθοδο πραγματοποιείται διαμόρφωση φάσεως ή όπως λέμε, ***μετάθεση φάσεως,*** η οποία αποτελεί ***έμμεσο τρόπο διαμορφώσεως συχνότητας.*** Ενώ ο κρυσταλλικός ταλαντωτής παράγει σταθερή συχνότητα, φαίνεται ότι η συχνότητά του μεταβάλλεται έμμεσα με την επίδραση της λυχνίας που ρυθμίζεται από την Α.Σ. Για τη διαμόρφωση συχνότητας, υπάρχουν βέβαια και άλλοι τρόποι καθώς και ποικιλία κυκλωμάτων, τα οποία όμως δεν είναι δυνατό να περιγραφούν όλα στο βιβλίο αυτό.

Με τους παραπάνω διαμορφωτές η απόκλιση της συχνότητας d είναι πολύ περιορισμένη, λόγω της μικρής επιδράσεως που έχουν στο σήμα της Υ.Σ. Για να φθάσομε στην απαιτούμενη απόκλιση συχνότητας, γίνεται πολλαπλασιασμός συχνότητας στις βαθμίδες του πομπού, όπως θα δούμε παρακάτω.

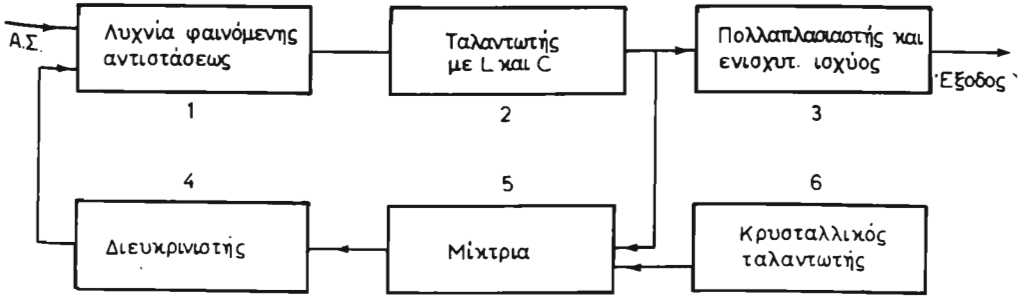
Οι διαμορφωτές συχνότητας (α), (β) και (γ) χρησιμοποιούν ταλαντωτές με LC, οι οποίοι έχουν το πλεονέκτημα της ευκολίας της αλλαγής της συχνότητας με τη μεταβολή του C. Παρουσιάζουν όμως και το μειονέκτημα της μεταβολής της συχνότητας με την επίδραση της θερμοκρασίας, τάσεως τροφοδοσίας κλπ. όπως και οι

ταλαντωτές με L και C. Για τη σταθεροποίηση της συχνότητάς τους χρησιμοποιείται η ***διάταξη αυτόματης ρυθμίσεως συχνότητας*** που θα γνωρίσομε παρακάτω. Στους ταλαντωτές με LC προκαλείται μεγάλη απόκλιση συχνότητας, με αποτέλεσμα να χρησιμοποιούνται λιγότεροι πολλαπλασιαστές συχνότητας στους πομπούς FM.

Οι διαμορφωτές φάσεως έχουν το πλεονέκτημα της μεγάλης σταθερότητας της συχνότητας του φέροντος, γιατί χρησιμοποιούν ταλαντωτές με κρύσταλλο. Έχουν όμως το μειονέκτημα της ανάγκης αλλαγής των κρυστάλλων για κάθε συχνότητα εκπομπής, καθώς και το ότι προκαλούν πολύ μικρή απόκλιση συχνότητας. Έτσι απαιτείται μεγαλύτερος αριθμός βαθμίδων πολλαπλασιασμού συχνότητας στον πομπό στον οποίο εφαρμόζεται διαμόρφωση φάσεως.

8.4 Αυτόματη ρύθμιση της συχνότητας των ταλαντωτών (*Automatic Frequency Control*) (*A.F.C*).

Για την τέλεια επικοινωνία μεταξύ πομπού και δέκτη, στους ταλαντωτές με L και C των πομπών και των δεκτών, πρέπει οπωσδήποτε να παράγεται σήμα σταθερής Υ.Σ. Για τη σταθεροποίηση της συχνότητας χρησιμοποιείται το AFC, ειδικό σύστημα με διάφορες βαθμίδες. Στο σχήμα 8.4 φαίνεται το βασικό διάγραμμα ενός συστήματος AFC για πομπό.



Σχ. 8.4.
Βασικό διάγραμμα συστήματος AFC.

Το τετραγωνάκι 1 είναι η λυχνία φαινόμενης αντιστάσεως που θα προκαλέσει τη διαμόρφωση στον ταλαντωτή με LC. Τα τετραγωνάκια 1 και 2 είναι το κύκλωμα του σχήματος 8.3γ. Από την έξοδο του ταλαντωτή ένα μέρος θα οδηγηθεί στις λυχνίες για ενίσχυση και πολλαπλασιασμό της συχνότητας και ένα μικρό μέρος θα οδηγηθεί σε μια μίκτρια λυχνία. Στην ίδια μίκτρια θα οδηγηθεί και το σήμα ενός κρυσταλλικού ταλαντωτή αντίστοιχης συχνότητας. Στη μίκτρια λυχνία θα παραχθεί ένα σήμα μέσης συχνότητας που θα προέλθει από τη διαφορά των δύο συχνοτήτων. Αυτό το σήμα θα οδηγηθεί στο διευκρινιστή και, αν έχει την ακριβή συχνότητα λειτουργίας του, η τάση εξόδου του θα είναι μηδέν.

Αν η συχνότητα είναι μεγαλύτερη από τη μέση συχνότητα, η έξοδος του διευκρινιστή είναι μια θετική τάση που οδηγείται στο οδηγό πλέγμα της λυχνίας φαινόμενης αντιστάσεως και της αυξάνει το ρεύμα ανόδου. Έτσι η χωρητικότητα που παρουσιάζει αυξάνει, με αποτέλεσμα τη μείωση της συχνότητας του ταλαντωτή.

Αν η μέση συχνότητα είναι μικρότερη από την κανονική, η έξοδος του διευκρινιστή είναι μια αρνητική τάση, που μειώνει το ρεύμα ανόδου της λυχνίας Φ.Α. Έτσι η χωρητικότητα που παρουσιάζει μειώνεται, με αποτέλεσμα την αύξηση της συχνότητας του ταλαντωτή.

Ο διευκρινιστής και η λειτουργία του περιγράφονται παρακάτω (παράγραφος 8.9). Ο κρυσταλλικός ταλαντωτής μας παρέχει μια σταθερή συχνότητα, η οποία χρησιμοποιείται ως συχνότητα συγκρίσεως για τη λειτουργία του συστήματος.

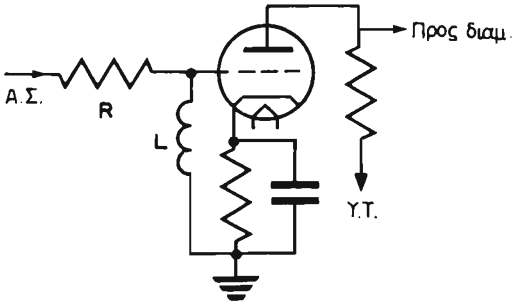
Το σύστημα AFC έχει κατάλληλες σταθερές χρόνου με R και C, οι οποίες αναγκάζουν το σύστημα να λειτουργεί μόνο στις μόνιμες αποκλίσεις συχνότητας του ταλαντωτή και όχι σε αυτές που προέρχονται από τη διαμόρφωση συχνότητας.

8.5 Προέμφαση — Αποέμφαση.

Στους πομπούς με διαμόρφωση συχνότητας, η απόκλιση συχνότητας δεν είναι ίδια για όλο το φάσμα των ακουστικών συχνοτήτων. Επειδή η διαμορφούσα τάση πάνω από τους 7 kc/s αρχίζει να μειώνεται, μειώνεται αντίστοιχα και η απόκλιση συχνότητας πάνω από τους 7 kc/s.

Ο θόρυβος όμως που παράγεται στις ενισχυτικές βαθμίδες έχει την ίδια στάθμη για όλο το φάσμα των Α.Σ. Έτσι οι συχνότητες πάνω από τους 7 kc/s αρχίζουν να έχουν μικρότερο λόγο σήματος προς θόρυβο, με αποτέλεσμα να μην αναπαράγονται φυσιολογικά στο δέκτη.

Για την αντιμετώπιση του δυσάρεστου αυτού φαινομένου, ενισχύομε περισσότερο τις υψηλές συχνότητες του φάσματος των Α.Σ. πριν από τη διαμόρφωση. Η επιπλέον ενίσχυση των Υ.Σ. ονομάζεται ***προέμφαση.*** Ένα απλό κύκλωμα προεμφάσεως φαίνεται στο σχήμα 8.5α. Αυτό το κύκλωμα υπάρχει στην είσοδο του ενισχυτή Α.Σ. που θα διαμορφώσει την Υ.Σ.



Σχ. 8.5α.
Κύκλωμα προεμφάσεως.

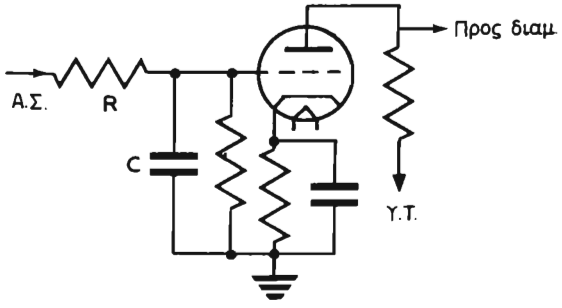
Ο αντιστάτης R με την αντίσταση X_L του πηνίου σχηματίζουν ένα διαιρέτη τάσεως και από τη μέση του τροφοδοτείται το πλέγμα της λυχνίας με το σήμα Α.Σ. Το πηνίο στις χαμηλές συχνότητες παρουσιάζει μικρή αντίσταση με αποτέλεσμα στις άκρες του να σχηματίζεται μικρή τάση Α.Σ. Έτσι οι χαμηλές ακουστικές συχνότητες (του φάσματος των Α.Σ.) υποβιβάζονται στην κανονική τους στάθμη, σε σύγκριση με τις υψηλές ακουστικές συχνότητες.

Στις υψηλές ακουστικές συχνότητες το πηνίο παρουσιάζει μεγάλη αντίσταση και στις άκρες του σχηματίζεται μεγάλη τάση, η οποία είναι και το σήμα εισόδου της

λυχνίας. Οι υψηλές λοιπόν ακουστικές συχνότητες ενισχύονται περισσότερο από τις χαμηλές και αποκτούν καλύτερο λόγο σήματος προς θόρυβο κατά την εκπομπή.

Στη λήψη, για να ακουσθούν φυσιολογικά οι υψηλές ακουστικές συχνότητες, πρέπει να επανέλθουν στην κανονική τους στάθμη. Με ένα αντίστοιχο κύκλωμα, που λέγεται ***κύκλωμα αποεμφάσεως,*** η στάθμη του φάσματος των Α.Σ. ρυθμίζεται στην κανονική του τιμή.

Ένα τέτοιο κύκλωμα φαίνεται στο σχήμα 8.5β, όπου, στη θέση του πηνίου, υπάρχει τώρα πυκνωτής. Ο πυκνωτής στις χαμηλές Α.Σ. παρουσιάζει μεγάλη αντίσταση και στις υψηλές μικρή. Η δράση του διαιρέτη τάσεως είναι τώρα αντίθετη και οι υψηλές συχνότητες ενισχύονται λιγότερο από τις χαμηλές (του φάσματος των Α.Σ.).

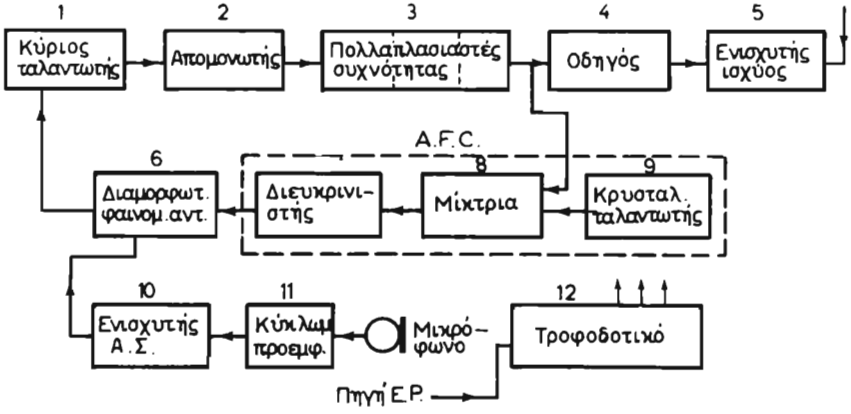


Σχ. 8.5β.
Κύκλωμα αποεμφάσεως.

8.6 Πομπός με διαμόρφωση συχνότητας.

Ο πομπός FM αποτελείται από τις ίδιες βαθμίδες που υπάρχουν στον πομπό ΑΜ, αλλά με διαφορετική κάπως διάταξη. Έχει τον κυρίως ταλαντωτή, τον απομονωτή, τον πολλαπλασιαστή συχνότητας, τον οδηγό και τον ενισχυτή ισχύος. Θα έχει επίσης το διαμορφωτή και το τροφοδοτικό που θα τροφοδοτήσει τις βαθμίδες με τα απαραίτητα δυναμικά.

Στο σχήμα 8.6 φαίνεται το βασικό διάγραμμα ενός πομπού με διαμόρφωση συχνότητας. Το τετραγωνάκι 1 είναι ο κύριος ταλαντωτής με L και C και μπορεί να έχει μια από τις γνωστές μορφές ταλαντωτών ή και εκείνη του σχήματος 8.3γ, όπου φαίνεται και η εφαρμογή της διαμορφώσεως με τη λυχνία φαινόμενης αντιστάσεως. Το παραγόμενο σήμα Υ.Σ. οδηγείται στην απομονώτρια βαθμίδα, η οποία σκοπό έχει να προστατεύσει τον ταλαντωτή από τις επόμενες βαθμίδες και να ενισχύσει σε τάση το σήμα. Είναι ενισχυτής με τρίοδη ή πέντοδη λυχνία που εργάζεται σε τάξη Α ή ΑΒ. Το τετραγωνάκι 3 είναι ένα σύνολο βαθμίδων πολλαπλασιασμού συχνότητας, με τρίοδες συνήθως λυχνίες, που μπορεί να είναι διπλασιάστριες ή τριπλασιάστριες. Ο πολλαπλασιασμός συχνότητας επιτυγχάνεται με τον τρόπο που είδαμε ήδη στην παράγραφο 6.5. Το τετραγωνάκι 4 είναι η οδηγός βαθμίδα που θα τροφοδοτήσει την ενισχύτρια ισχύος με την απαιτούμενη ισχύ διεγέρσεως. Είναι συνήθως τρίοδη ή τέτροδη λυχνία ισχύος που εργάζεται σε τάξη C. Το τετραγωνάκι 5 είναι η τελική βαθμίδα ισχύος που μπορεί να είναι τρίοδη ή



Σχ. 8.6.
Βασικό διάγραμμα πομπού F.M.

τέτροδη λυχνία αντίστοιχης ισχύος με την ισχύ εκπομπής του πομπού. Μπορεί η βαθμίδα να είναι με μια ή δυο λυχνίες σε push - pull, οι οποίες εργάζονται σε τάξη C για τη μέγιστη απόδοση. Το τετραγωνάκι 6 είναι ο διαμορφωτής που γνωρίσαμε στην παράγραφο 8.3 (γ), όπου έρχεται το ενισχυμένο σήμα ακουστικής συχνότητας από το τετραγωνάκι 10. Ο ενισχυτής Α.Σ. έχει στην είσοδό του το κύκλωμα προεμφάσεως (τετραγωνάκι 11) και διεγείρεται από το μικρόφωνο. Στο οδηγό πλέγμα του διαμορφωτή ενεργεί και η διορθωτική τάση (αρνητική ή θετική) που δημιουργείται στο διευκρινιστή (τετραγωνάκι 7). Τα τετραγωνάκια 7,8 και 9 συγκροτούν το σύστημα αυτόματης ρυθμίσεως της συχνότητας που γνωρίσαμε στην παράγραφο 8.4. Το τετραγωνάκι 12 είναι το τροφοδοτικό του πομπού που θα τροφοδοτήσει όλες τις βαθμίδες με τις απαιτούμενες τάσεις, για τη θέρμανση των λυχνιών και τις υψηλές τάσεις ανόδων και προστατευτικών πλεγμάτων, καθώς και τις τάσεις για την πόλωση.

Ο συντονισμός των βαθμίδων επιτυγχάνεται με τον τρόπο που αναφέραμε ήδη στην παράγραφο 6.4.

Ας πάρομε για παράδειγμα ότι ο παραπάνω πομπός FM εκπέμπει στους 96 Mc/s με μέγιστη απόκλιση συχνότητας d = 72 kc/s. Οι πολλαπλασιαστές συχνότητας είναι δύο διπλασιαστές και ένας τριπλασιαστής. Έχομε δηλαδή 2 × 2 × 3 = 12. Ο πολλαπλασιαστής πολλαπλασιάζει 12 φορές τη συχνότητα του ταλαντωτή και την αντίστοιχη απόκλιση συχνότητας κατά τη διαμόρφωση. Διαιρώντας με το 12 τη συχνότητα εκπομπής και την τελική απόκλιση, βρίσκομε ότι ο ταλαντωτής παράγει σήμα συχνότητας 8 Mc/s και ο διαμορφωτής προκαλεί μέγιστη απόκλιση της συχνότητας του ταλαντωτή κατά 6 kc/s.

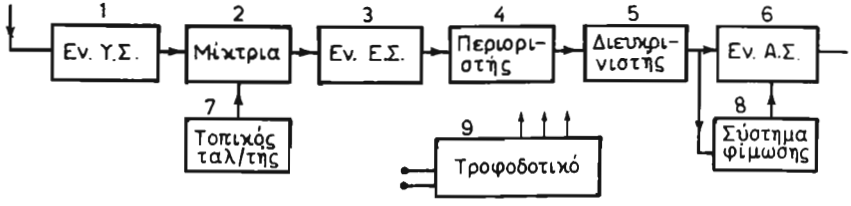
Η συχνότητα του ταλαντωτή θα μεταβάλλεται από 7,994 Mc/s μέχρι 8,006 Mc/s και η συχνότητα εκπομπής από 95,928 Mc/s μέχρι 96,072 Mc/s με συχνότητα φέροντος 96 Mc/s.

Οι πομποί που εφαρμόζουν έμμεση διαμόρφωση, δηλαδή διαμόρφωση φάσεως, είναι απλούστεροι, γιατί δεν χρησιμοποιούν σύστημα AFC, αφού ο ταλαντωτής τους είναι κρυσταλλικός. Χρησιμοποιούν όμως περισσότερες βαθμίδες πολλαπλασιασμού συχνότητας, γιατί, με τη διαμόρφωση φάσεως έχομε μικρή απόκλιση συχνότητας κατά τη διαμόρφωση.

8.7 Δέκτες σημάτων με διαμόρφωση συχνότητας.

Οι δέκτες σημάτων FM έχουν τις βασικές βαθμίδες που έχουν και οι δέκτες ΑΜ, δηλαδή ενισχυτή Υ.Σ., μίκτρια, ενισχύτρια Ε.Σ., αποδιαμορφωτή και ενισχυτή Α.Σ. Στο σχήμα 8.7 φαίνεται το βασικό διάγραμμα ενός υπερετερόδυνου δέκτη FM.

Από την κεραία, το σήμα Υ.Σ. που θα επιλεγεί, θα ενισχυθεί από τον ενισχυτή Υ.Σ. όπως και στο δέκτη Α.Μ. και θα οδηγηθεί στη μίκτρια. Εκεί θα οδηγηθεί και το σήμα από τον τοπικό ταλαντωτή, θα γίνει μίξη των δύο συχνοτήτων και ανάδειξη της ενδιάμεσης συχνότητας του δέκτη που μπορεί να είναι από 2 Mc μέχρι 12 Mc/s περίπου, ανάλογα με το δέκτη. Από τον Ε.Ε.Σ το σήμα οδηγείται στον περιοριστή, από τον οποίο θα προκύψει σήμα Ε.Σ. με σταθερό πλάτος. Από τον περιοριστή οδηγείται στο διευκρινιστή όπου θα γίνει η αποδιαμόρφωσή του και θα εμφανισθεί η Α.Σ. Ο διευκρινιστής είναι ο φωρατής του σήματος FM. Από το διευκρινιστή το σήμα Α.Σ. οδηγείται στον ενισχυτή τάσεως Α.Σ. και στον ενισχυτή ισχύος Α.Σ., για να αποδοθεί από το μεγάφωνο. Στις βαθμίδες Α.Σ. υπάρχει και το κύκλωμα φιμώσεως (squelch), το οποίο διεγείρεται από την έξοδο του διευκρινιστή ή την αρνητική τάση του οδηγού πλέγματος του περιοριστή.



Σχ. 8.7.
Βασικό διάγραμμα δέκτη FM.

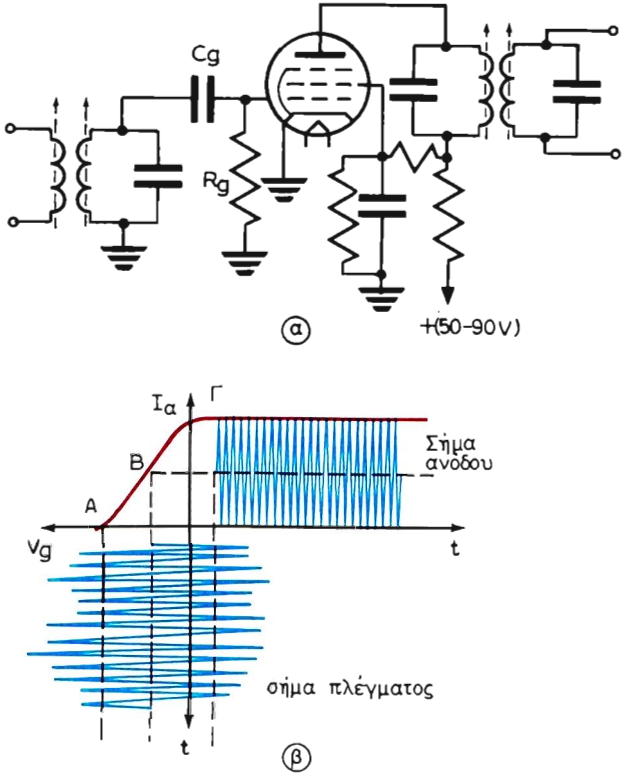
Το τροφοδοτικό θα δημιουργήσει τις απαιτούμενες τάσεις για τη λειτουργία των βαθμίδων του δέκτη.

8.8 Περιοριστής (Limiter).

Μεταξύ του τελευταίου ενισχυτή Ε.Σ. και του διευκρινιστή υπάρχει ο περιοριστής, ο οποίος προορισμό έχει να ψαλιδίζει το σήμα Ε.Σ. και να το φέρνει σε μια κατάλληλη στάθμη με τελείως σταθερό πλάτος, για να λειτουργήσει ο διευκρινιστής. Με τον ψαλιδισμό του σήματος στις θετικές και αρνητικές ημιπεριόδους, αποκόπτεται κάθε παρασιτικός θόρυβος που προστέθηκε στο σήμα, γιατί οι παρασιτικοί θόρυβοι προστίθενται κατά πλάτος στο σήμα Υ.Σ. Έτσι η έξοδος του δέκτη FM είναι απαλλαγμένη από παράσιτα.

Ο περιοριστής είναι μια ενισχύτρια βαθμίδα Ε.Σ. με πέντοδη λυχνία. Η χαρακτηριστική πλέγματος έχει απότομη κλίση, για να φθάνει στην αποκοπή με μικρή πόλωση. Η τάσεις ανόδου και προστατευτικού πλέγματος είναι μικρές για να φθάνει εύκολα στον κόρο με μικρό σήμα διεγέρσεως.

Στο σχήμα 8.8 φαίνεται το κύκλωμα ενός περιοριστή. Στην είσοδο και στην έξοδο έχει συντονισμένα κυκλώματα στην Ε.Σ. του δέκτη. Στην είσοδό του εφαρμόζεται το σήμα της Ε.Σ. του δέκτη. Με τον R_g και τον C_g σχηματίζεται η αυτοπόλωση



Σχ. 8.8.
Κύκλωμα περιοριστή και γραφική παράσταση λειτουργίας του.

από το πλέγμα. Όσο μεγαλύτερο είναι το σήμα εισόδου τόσο και η τάση πολώσεως αυξάνει και μπορεί ο περιοριστής να λειτουργήσει σε τάξη Α ή Β ή και C, ανάλογα με την τάση εισόδου.

Στο σχήμα 8.8(β) φαίνεται η γραφική παράσταση της λειτουργίας του κυκλώματος με τη δυναμική καμπύλη του πλέγματος V_g/I_a. Στις αρνητικές ημιπεριόδους του σήματος εισόδου, οι κορυφές ξεπερνούν την τάση αποκοπής και αποκόπτονται. Οι θετικές ημιπερίοδοι, μετά από μια τάση και πάνω φέρνουν τη λυχνία στον κόρο, με αποτέλεσμα να αποκόπτονται και αυτές. Έτσι το σήμα εξόδου έχει σταθερό πλάτος για να οδηγηθεί στο διευκρινιστή. Στο σημείο Α αντιστοιχεί η τάση αποκοπής και στο Γ ο κόρος.

Το σήμα, με τον ψαλιδισμό που υφίσταται, δεν παραμορφώνεται, γιατί με τη δράση των κυμαινομένων κυκλωμάτων στην έξοδο ξαναγίνεται ημιτονικό, ενώ συγχρόνως η διαμόρφωση συχνότητας δεν αλλοιώνεται.

Αν το σήμα εισόδου έχει μικρότερη τάση από την απαιτούμενη για τη λειτουργία του περιοριστή, ο περιοριστής δεν λειτουργεί και το σήμα εξόδου έχει μεταβολή πλάτους και συγχρόνως και τα παράσιτα που αποδίδονται στην έξοδο. Για να φθάσει το σήμα Ε.Σ. στην τάση λειτουργίας, απαιτείται, να ενισχυθεί πολύ, γι' αυτό και οι δέκτες FM έχουν πολλές βαθμίδες Υ.Σ. και Ε.Σ.

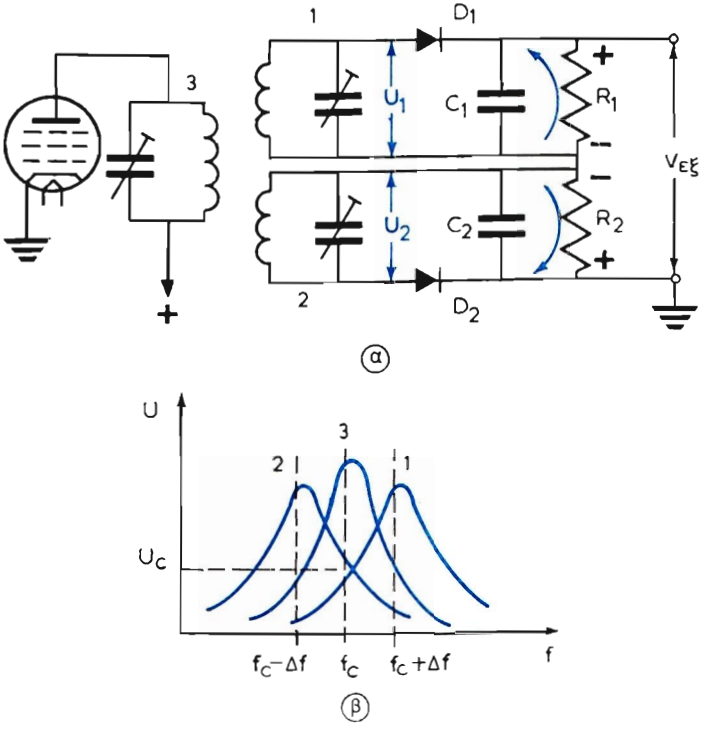
8.9 Διευκρινιστής (Discriminator).

Ο διευκρινιστής είναι η διάταξη που μετατρέπει τις μεταβολές συχνότητας σε μεταβολές τάσεως. Ενεργεί δηλαδή αντίθετα με το διαμορφωτή, ο οποίος μετατρέπει τις μεταβολές τάσεως σε μεταβολές συχνότητας.

Στους δέκτες FM ο διευκρινιστής είναι ο αποδιαμορφωτής, όπως είναι στους δέκτες Α.Μ. ο φωρατής. Υπάρχουν διάφορα κυκλώματα διευκρινιστών, από τα οποία θα μελετήσομε το κύκλωμα διπλού συντονισμού και το κύκλωμα ολισθήσεως φάσεως.

α) Διευκρινιστής διπλού συντονισμού (τύπου Travis).

Στο σχήμα 8.9α φαίνεται το κύκλωμα διευκρινιστή διπλού συντονισμού. Αποτελείται από τρία συντονισμένα κυκλώματα σε σύζευξη, δύο κρυσταλλοδιόδους φωράτριες και δύο κυκλώματα RC για την εξομάλυνση του παλμορρεύματος Υ.Σ. που θα υποστεί φώραση.



Σχ. 8.9α.
Διευκρινιστής διπλού συντονισμού και οι καμπύλες συντονισμού των κυκλωμάτων.

Τα τρία κυκλώματα (1, 2 και 3) είναι συντονισμένα σε διαφορετικές συχνότητες. Το πρωτεύον κύκλωμα (3) συντονίζει στη συχνότητα φέροντος f_c, το δευτερεύον (1) σε μεγαλύτερη από την f_c, η οποία είναι $f_c + \Delta f$ και το δευτερεύον (2) σε χαμηλότερη συχνότητα από την f_c, η οποία είναι $f_c - \Delta f$, όπου Δf η απόκλιση συχνότητας.

Τα τρία κυκλώματα σχηματίζουν καμπύλες συντονισμού [σχ. 8.9α(β)]. Στη συ-

χνότητα φέροντος τα δύο δευτερεύοντα έχουν την ίδια τάση στις άκρες τους $U_1 = U_2 = U_c$, γιατί έχουν τον ίδιο αποσυντονισμό. Στο κύκλωμα του διευκρινιστή υπάρχουν και οι φωρατές D_1 και D_2 στο κάθε συντονισμένο κύκλωμα με τους αντίστοιχους αντιστάτες καί πυκνωτές R_1C_1 και R_2C_2, όπου $R_1 = R_2$ και $C_1 = C_2$. Στο κάθε κύκλωμα (1) και (2) γίνεται φώραση της Υ.Σ. Στο (1) ανορθώνεται η U_1 και κυκλοφορεί ρεύμα όπως στο σχήμα, προκαλώντας μια συνεχή περίπου πτώση τάσεως στον R_1 με την πολικότητα του σχήματος. Ο C_1 είναι για την εξομάλυνση του ανορθωμένου παλμορεύματος. Στο (2) ανορθώνεται η U_2 και κυκλοφορεί ρεύμα όπως στο σχήμα, προκαλώντας μια συνεχή περίπου πτώση τάσεως στον R_2 με την πολικότητα του σχήματος. Οι δύο αυτές πτώσεις τάσεως προστίθενται και σχηματίζουν την τελική τάση εξόδου του διευκρινιστή $V_{\epsilon\xi}$.

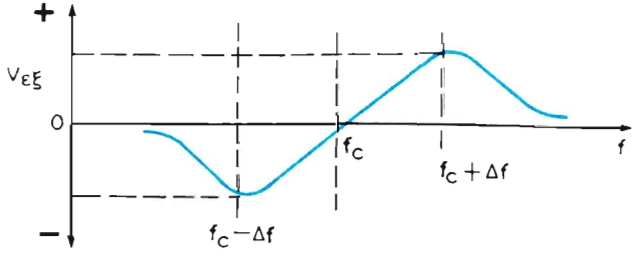
Παρατηρούμε τρεις περιπτώσεις στη λειτουργία του διευκρινιστή. Στην πρώτη, αν η συχνότητα του πρωτεύοντος είναι ίση με την f_c, τότε τα δύο δευτερεύοντα έχουν τον ίδιο αποσυντονισμό και $U_1 = U_2$. Τα δύο κυκλώματα διαρρέονται από το ίδιο ρεύμα και στους αντιστάτες δημιουργείται η ίδια τάση. Οι πολικότητες των δύο αυτών τάσεων είναι αντίθετες, οπότε και η $V_{\epsilon\xi}$ θα είναι μηδέν.

Στη δεύτερη περίπτωση, η συχνότητα στο πρωτεύον είναι μικρότερη από την f_c και έστω ότι είναι $f_c - \Delta f$. Τότε το κύκλωμα (2) βρίσκεται σε συντονισμό και παρουσιάζει μεγάλη U_2, ενώ το κύκλωμα (1) βρίσκεται σε αποσυντονισμό και η U_1 είναι μικρή. Η πτώση τάσεως στον R_2 θα είναι μεγαλύτερη από την τάση στον R_1. Έτσι η τάση $V_{\epsilon\xi}$ θα είναι αρνητική, επειδή επικρατεί η πολικότητα της τάσεως στον R_2.

Στην τρίτη περίπτωση, η συχνότητα στο πρωτεύον είναι μεγαλύτερη από την f_c και είναι $f_c + \Delta f$. Τότε το κύκλωμα (1) βρίσκεται σε συντονισμό και η U_1 είναι μεγάλη, ενώ το κύκλωμα (2) βρίσκεται σε αποσυντονισμό και η U_2 είναι μικρή. Η τάση εξόδου $V_{\epsilon\xi}$ θα είναι τώρα θετική, γιατί επικρατεί η πολικότητα της τάσεως στον R_1.

Αν χαράξομε την καμπύλη της τάσεως εξόδου του διευκρινιστή σε συνάρτηση με τη συχνότητα εισόδου, θα έχει τη μορφή S του σχήματος 8.9β. Στην καμπύλη παρατηρούμε ότι η μεταβολή της συχνότητας μετατρέπεται σε μεταβολή της τάσεως αρνητική ή θετική. Έτσι, αν έχομε μεταβολή της συχνότητας πάνω και κάτω από την f_c στο ρυθμό μιας Α.Σ., στην έξοδο του διευκρινιστή θα έχομε μια εναλλασσόμενη τάση ακουστικής συχνότητας.

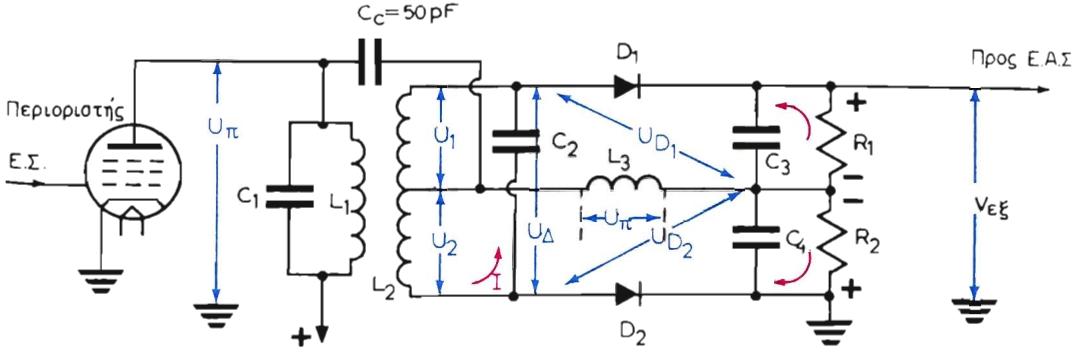
Η f_c στο διευκρινιστή του δέκτη είναι ίση με την ενδιάμεση συχνότητά του.



Σχ. 8.9β.
Καμπύλη τάσεως εξόδου του διευκρινιστή.

β) Διευκρινιστής ολισθήσεως φάσεως (τύπου Foster - Seeley).

Ο διευκρινιστής διπλού συντονισμού παρουσιάζει το μειονέκτημα ότι πρέπει τα τρία κυκλώματα να είναι συντονισμένα σε τρεις διαφορετικές συχνότητες. Περισσότερο χρησιμοποιείται ο διευκρινιστής ολισθήσεως φάσεως ο οποίος έχει δύο συντονισμένα κυκλώματα, που συντονίζουν στην ίδια συχνότητα f_c. Στην περίπτωση διευκρινιστή δέκτη FM, η συχνότητα συντονισμού και λειτουργίας του είναι η ενδιάμεση συχνότητα του δέκτη, π.χ. 4,3 Mc. Στο σχήμα 8.9γ φαίνεται το κύκλωμα ενός τέτοιου διευκρινιστή.



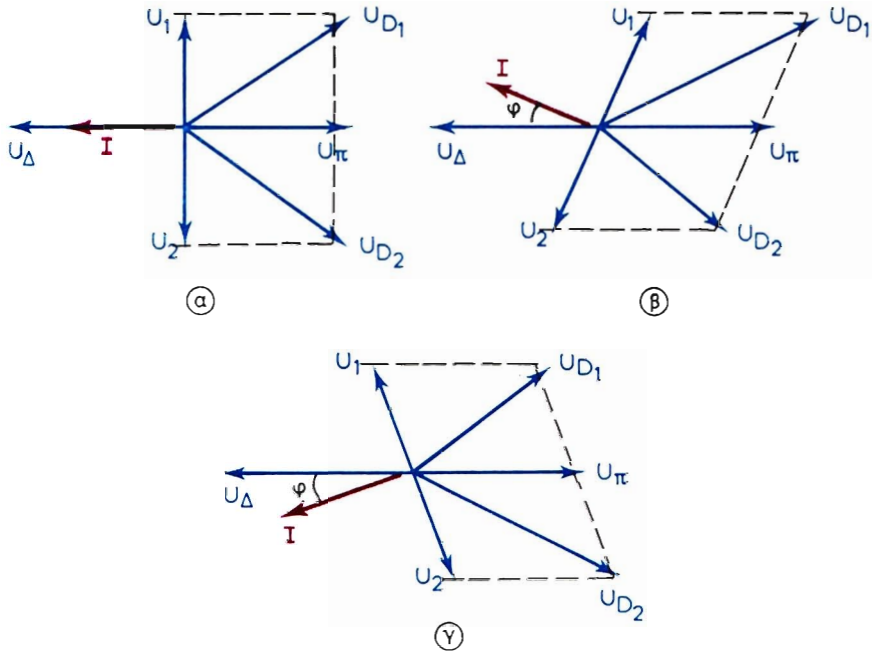
Σχ. 8.9γ.
Διευκρινιστής ολισθήσεως-φάσεως.

Το κύκλωμα τροφοδοτείται από τον περιοριστή. Έχει δύο συντονισμένα κυκλώματα C_1L_1 και C_2L_2 σε σύζευξη, τα οποία συντονίζουν στην ίδια συχνότητα f_c. Το δευτερεύον πηνίο έχει μεσαία λήψη, η οποία, με το πηνίο L_3 που είναι RFC και τον πυκνωτή C_4, συνδέεται προς το κοινό. Το πρωτεύον κύκλωμα με τον C_C συνδέεται στη μεσαία λήψη του L_2 και στη μία άκρη του L_3. Η άλλη άκρη του L_3, μέσω πάλι του C_4, συνδέεται στο κοινό. Έτσι στις άκρες του L_3 εμφανίζεται η τάση του πρωτεύοντος U_π. Οι δύο άκρες του δευτερεύοντος L_2C_2 συνδέονται στις ανόδους των δύο φωρατών D_1 και D_2, σχηματίζοντας δύο κυκλώματα φωράσεως.

Παρατηρούμε πάλι τρεις περιπτώσεις στη λειτουργία του διευκρινιστή. Στην πρώτη περίπτωση η συχνότητα τροφοδοσίας είναι ίση με την f_c. Το πρωτεύον και το δευτερεύον βρίσκονται σε συντονισμό και παρουσιάζουν ωμική συμπεριφορά Στο δευτερεύον αναπτύσσεται η τάση U_Δ, η οποία βρίσκεται σε διαφορά φάσεως 180° από τη τάση πρωτεύοντος U_π, όπως φαίνεται στο διάγραμμα (α) του σχήματος 8.9δ. Η U_Δ κινεί το ρεύμα I στο κύκλωμα του δευτερεύοντος που είναι συμφασικό με την U_Δ λόγω συντονισμού.

Το ρεύμα I, διερχόμενο από το πηνίο L_2, δημιουργεί μια τάση U_2 που προπορεύεται από αυτό κατά 90°, λόγω αυτεπαγωγής. Επειδή το L_2 όμως χωρίζεται σε δύο ίσα μισά με τη μεσαία λήψη, έχομε και την U_1 που είναι ίση και αντίθετη με την U_2. Αυτές οι δύο τάσεις U_1 και U_2 είναι κάθετες στο ρεύμα I που τις δημιουργεί, όπως φαίνεται στο σχήμα 8.9δ(α).

Στην άνοδο του φωρατή D_1 εφαρμόζεται η τάση U_{D_1} που είναι το γεωμετρικό άθροισμα της U_π (στις άκρες του πηνίου L_3) και της U_1. Στην άνοδο του φωρατή D_2 εφαρμόζεται η U_{D_2} που είναι πάλι το γεωμετρικό άθροισμα της U_π και της U_2, όπως φαίνεται και στο σχήμα 8.9δ(α). Η U_{D_1} και η U_{D_2} είναι ίσες και κινούν ίσα και αντίθετα ρεύματα στα κυκλώματατά τους που δημιουργούν ίσες και αντίθετες



Σχ. 8.9δ.
Ανυσματικό διάγραμμα των τάσεων στο διευκρινιστή.

περίπου συνεχείς τάσεις στους R_1 και R_2. Έτσι η τάση εξόδου $V_{\epsilon\xi}$ είναι μηδενική (σχ. 8.9γ).

Στη δεύτερη περίπτωση, η συχνότητα τροφοδοσίας είναι μεγαλύτερη από την f_c. Το δευτερεύον είναι σε αποσυντονισμό και παρουσιάζει επαγωγική συμπεριφορά. Το ρεύμα I καθυστερεί ως προς την τάση U_Δ κατά μία γωνία φ, η οποία εξαρτάται από την απόκλιση της συχνότητας. Οι τάσεις U_1 και U_2 είναι κάθετες στο ρεύμα I που τις δημιουργεί και το γεωμετρικό τους άθροισμα με την U_π δίνει το διάγραμμα (β) του σχήματος 8.9δ. Σ' αυτό παρατηρούμε ότι η U_{D_1} είναι μεγαλύτερη από την U_{D_2}, οπότε η τάση στον R_1 είναι μεγαλύτερη από την τάση στον R_2. Έτσι η τάση εξόδου $V_{\epsilon\xi}$ έχει κάποια τιμή και είναι θετική.

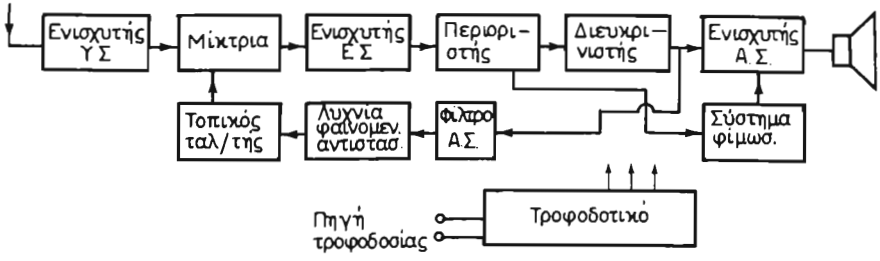
Στην τρίτη περίπτωση, η συχνότητα τροφοδοσίας είναι μικρότερη από την f_c. Το δευτερεύον είναι πάλι σε αποσυντονισμό και παρουσιάζει χωρητική συμπεριφορά. Το ρεύμα I προπορεύεται ως προς την τάση U_Δ κατά γωνία φ, η οποία εξαρτάται από την απόκλιση της συχνότητας. Οι τάσεις U_1 και U_2 είναι κάθετες στο ρεύμα I που τις δημιουργεί και το γεωμετρικό τους άθροισμα πάλι με την U_π δίνει το διάγραμμα (γ) του σχήματος 8.9δ. Η U_{D_2} είναι μεγαλύτερη τώρα από την U_{D_1}, με αποτέλεσμα η $V_{\epsilon\xi}$ να έχει αρνητική τιμή.

Μπορούμε να χαράξομε την καμπύλη της τάσεως εξόδου $V_{\epsilon\xi}$ σε συνάρτηση με τη συχνότητα. Αυτή η καμπύλη έχει τη μορφή του σχήματος 8.9β, όπου φαίνεται ότι η μεταβολή της συχνότητας πάνω και κάτω από την f_c μετατρέπεται σε εναλλασσόμενη τάση εξόδου. Έτσι το διαμορφωμένο κατά συχνότητα σήμα απο-

διαμορφώνεται και αναδεικνύει την ακουστική συχνότητα που το διαμόρφωσε.

Από την εξήγηση της λειτουργίας των δύο διευκρινιστών γίνεται κατανοητή και η λειτουργία του AFC. Μια μόνιμη ολίσθηση συχνότητας θα δώσει μια αρνητική ή μια θετική τάση στη λυχνία φαινόμενης αντιστάσεως που θα διορθώσει τη συχνότητα του ταλαντωτή.

Στο σχήμα 8.9ε φαίνεται το βασικό διάγραμμα δέκτου FM, ο οποίος χρησιμοποιεί και σύστημα AFC. Αν παρουσιασθεί απόκλιση στη συχνότητα του τοπικού ταλαντωτή, αυτή θα προκαλέσει μόνιμη απόκλιση της ενδιάμεσης συχνότητας, η οποία με τη σειρά της δημιουργεί μια αρνητική ή θετική αντίστοιχα τάση στην έξοδο του διευκρινιστή. Αυτή η τάση μέσω ενός φίλτρου αποκοπής Α.Σ. οδηγείται στο οδηγό πλέγμα της λυχνίας φαινόμενης αντιστάσεως που διορθώνει τη συχνότητα του τοπικού ταλαντωτή και από αυτή διορθώνει την Ε.Σ. του δέκτη.



Σχ. 8.9ε.
Βασικό διάγραμμα δέκτη FM με AFC και SQUELCH.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΕΝΑΤΟ

ΠΟΜΠΟΙ ΚΑΙ ΔΕΚΤΕΣ ΣΗΜΑΤΩΝ SSB

9.1 Γενικά.

Μια άλλη μορφή διαμορφωμένου σήματος είναι αυτή της ***μονοπλευρικής ζώνης*** (single-sideband) (SSB). Με τη μέθοδο αυτή προκαλείται διαμόρφωση πλάτους στο σήμα Υ.Σ. αλλά εκπέμπεται μόνο η μια πλευρική ζώνη, ενώ το φέρον και η άλλη πλευρική ζώνη αποκόπτονται. Μπορεί δηλαδή να εκπέμπεται η άνω πλευρική ζώνη (upper sideband) (USB) ή η ***κάτω πλευρική ζώνη*** (lower side band) (LSB).

Το SSB μελετήθηκε θεωρητικά από το 1914 και τα πρώτα πειράματα έγιναν το 1924, ενώ το 1927 έγινε με επιτυχία η επικοινωνία μεταξύ Αμερικής και Ευρώπης. Αν και η μελέτη και η δοκιμή του έγινε με επιτυχία πριν από πολλά χρόνια, η μέθοδος αυτή εφαρμόζεται τα τελευταία χρόνια λόγω του μεγάλου κόστους κατασκευής των πομπών και των δεκτών.

Επειδή όμως τα τελευταία χρόνια έχει αυξηθεί ο αριθμός των σταθμών που λειτουργούν στην περιοχή των βραχέων κυμάτων, η χρήση του SSB κατέστη αναγκαία, αφού η μονοπλευρική εκπομπή καλύπτει το μισό εύρος, από το ολικό ενός ΑΜ. Έτσι στο εύρος που καλύπτει ένας πομπός ΑΜ μπορεί να λειτουργήσουν δύο πομποί SSB.

Από την ανάλυση του διαμορφωμένου κατά πλάτος σήματος είδαμε ότι αυτό αποτελείται από τρεις συνιστώσες, δηλαδή, το φέρον σήμα f_c, την άνω πλευρική $f_c + f_m$ και την κάτω πλευρική $f_c - f_m$. Σε διαμόρφωση 100% το φέρον έχει τα $^2/_3$ της ολικής ισχύος, ενώ δεν περιέχει καμιά πληροφορία. Το $^1/_3$ της ολικής διαμορφωμένης ισχύος το έχουν οι δύο πλευρικές, οι οποίες περιέχουν και τις πληροφορίες της Α.Σ. Έτσι μπορούμε να πούμε ότι το $^1/_6$ της ολικής ισχύος το έχει η μια πλευρική, η οποία περιέχει και τις πληροφορίες. Αν επομένως εκπέμψομε μόνο τη μια πλευρική ζώνη, έχομε μεγάλο κέρδος ισχύος, αφού το φέρον που έχει τη μεγαλύτερη ισχύ δεν εκπέμπεται.

Με τη μονοπλευρική εκπομπή έχομε περισσότερα πλεονεκτήματα από το ΑΜ και γι' αυτό και χρησιμοποιείται αυτό για την επικοινωνία μεταξύ των κρατών και για την επικοινωνία των πλοίων. Το SSB έχει το μειονέκτημα ότι απαιτεί μεγάλη σταθερότητα στη συχνότητα του φέροντος που δημιουργεί μεγάλο κόστος κατασκευής του.

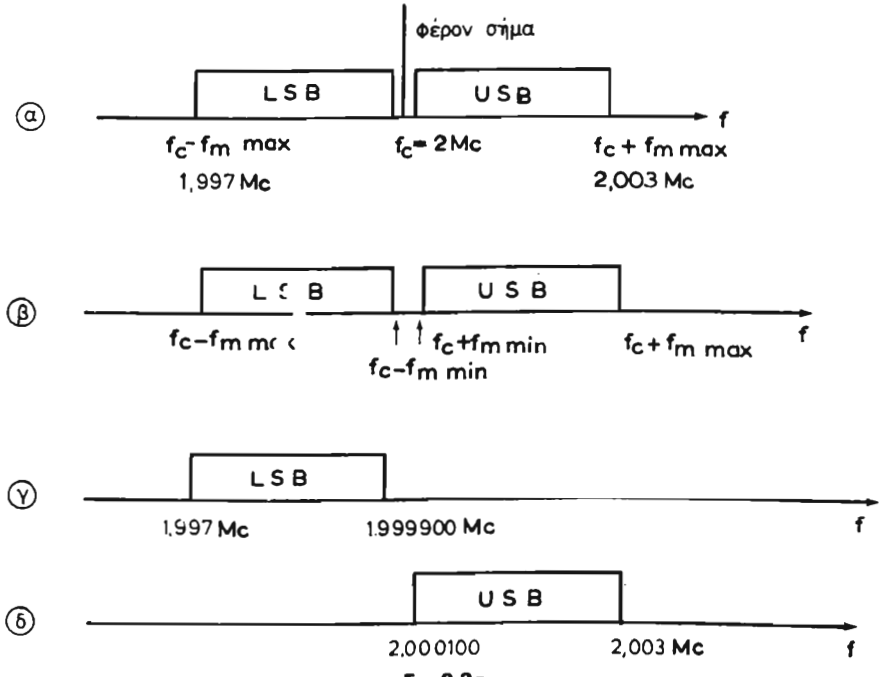
Στο δέκτη λαμβάνεται η μια πλευρική ζώνη και στη συνέχεια προστίθεται και το φέρον για να έρθει το σήμα στην κανονική του μορφή και να γίνει η αποδιαμόρφωση. Το φέρον που προστίθεται στο δέκτη πρέπει να έχει μεγάλη σταθερότητα στη συχνότητα και να συγχρονίζεται με το φέρον του πομπού.

ΙΔΡΥΜΑ ΕΥΓΕΝΙΔΟΥ 1958

9.2 Μορφή και εξίσωση του σήματος SSB.

Στο σχήμα 9.2α(α) φαίνεται το φάσμα ενός διαμορφωμένου κατά πλάτος σήματος που διαμορφώνεται με ομιλία, η οποία καλύπτει την περιοχή από 100 μέχρι 3000 c/s. Στη μέση είναι το φέρον σήμα με συχνότητα f_c π.χ. 2Mc και αριστερά είναι η κάτω πλευρική ζώνη που καλύπτει την περιοχή από 1,997000 μέχρι 1,999900 Mc, ενώ δεξιά είναι η άνω πλευρική ζώνη που καλύπτει την περιοχή από 2,000100 μέχρι 2,003000 Mc. Το πλάτος δηλαδή της ζώνης καθορίζεται από τη μικρότερη ακουστική συχνότητα f_{min} μέχρι τη μεγαλύτερη Α.Σ. την f_{max}.

Στο σχήμα 9.2α(β) φαίνεται το ίδιο φάσμα, αλλά έχει αφαιρεθεί το φέρον σήμα f_c. Στο σχήμα 9.2α(γ) φαίνεται μόνο η κάτω πλευρική ζώνη, ενώ στο 9.2α(δ) μόνο η άνω.



Σχ. 9.2α.
Φάσμα συχνοτήτων διαμορφωμένου κατά πλάτος σήματος Υ.Σ. (2MC).

Αν υποθέσομε ότι η διαμόρφωση κατά πλάτος ενός σήματος Υ.Σ. γίνεται με μία σταθερή συχνότητα f_m, η εξίσωση του διαμορφωμένου κατά πλάτος σήματος είναι:

$$e = E_c \, \sigma\upsilon\nu\omega_c t + \frac{mE_c}{2} \, \sigma\upsilon\nu(\omega_c - \omega_m)\, t + \frac{mE_c}{2} \sigma\upsilon\nu\,(\omega_c + \omega_m)t \qquad (9.1)$$

όπως αναφέρεται και στην παράγραφο 6.7.

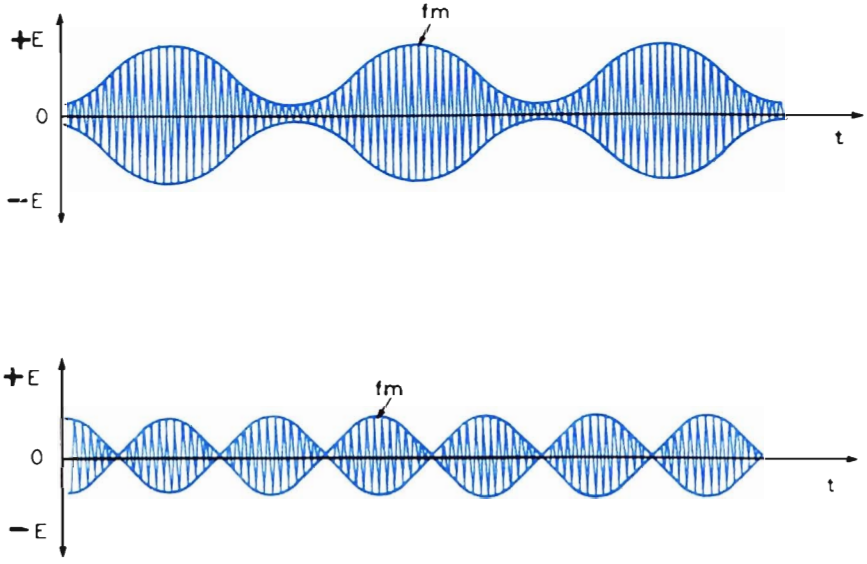
Αν από την παραπάνω εξίσωση αφαιρέσομε τον πρώτο όρο που αντιστοιχεί στο φέρον, τότε η εξίσωση των δύο πλευρικών θα γίνει:

$$e = \frac{mE_c}{2} \, \sigma\upsilon\nu(\omega_c - \omega_m)t + \frac{mE_c}{2} \sigma\upsilon\nu\,(\omega_c + \omega_m)t \qquad (9.2)$$

όπου ο πρώτος όρος είναι η κάτω πλευρική συχνότητα και ο δεύτερος η άνω.

Η μορφή του διαμορφωμένου σήματος που αποτελείται από τις τρείς συνιστώσες (φέρον, άνω και κάτω πλευρική) φαίνεται στο σχήμα 9.2β(α) όπως αναλύεται και στο σχήμα 6.7β. Όταν αφαιρεθεί η συνιστώσα του φέροντος, η κυματομορφή αλλάζει και γίνεται όπως αυτή του σχήματος 9.2β(β).

Παρατηρούμε ότι η κυματομορφή αυτή διαφέρει από την προηγούμενη, γιατί το περίβλημα που αντιστοιχεί στην f_m αποτελείται από σειρά ημιτονοειδών ημιπεριόδων που έχουν συχνότητα επαναλήψεως των κορυφών ίση με τη διαφορά των δύο πλευρικών.



Σχ. 9.2β.
Κυματομορφές σήματος AM (α) και SSB (β).

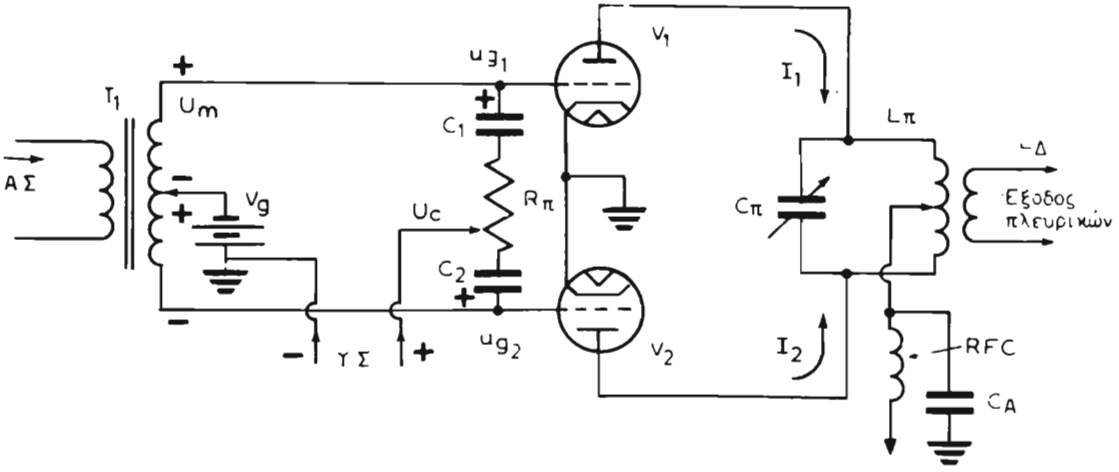
9.3 Ισοσταθμισμένοι διαμορφωτές.

Στους πομπούς SSB η διαμόρφωση γίνεται αμέσως μετά τον κύριο ταλαντωτή, για να αναδειχθεί η άνω ή κάτω πλευρική, η οποία θα ενισχυθεί στη συνέχεια και θα φθάσει τη συχνότητα εκπομπής με τις βαθμίδες μίξεως και τους γραμμικούς ενισχυτές.

Οι ισοσταθμισμένοι διαμορφωτές έχουν κατάλληλη σύνδεση, ώστε στην έξοδό τους να εμφανίζονται μόνο οι δύο πλευρικές ζώνες χωρίς το φέρον σήμα ή να εμφανίζεται το φέρον σήμα σε ελάχιστο ποσοστό. Υπάρχουν διάφοροι τύποι ισοσταθμισμένων διαμορφωτών: με λυχνίες, με κρυσταλλοδίοδες, με τρανζίστορ και ολοκληρωμένα κυκλώματα.

α) Ισοσταθμισμένος διαμορφωτής με τρίοδες λυχνίες.

Στο σχήμα 9.3α φαίνεται το κύκλωμα του διαμορφωτή αυτού. Είναι σε διάταξη Push-Pull, χωρίς όμως να λειτουργεί σαν Push-Pull. Στην είσοδο εφαρμόζονται δυο σήματα: α) το σήμα Α.Σ. από τον ενισχυτή Α.Σ. και β) το φέρον σήμα Υ.Σ. από τη γεννήτρια φέροντος.



Σχ. 9.3α.
Ισοσταθμισμένος διαμορφωτής με λυχνίες.

Από το κύκλωμα φαίνεται ότι το σήμα Α.Σ. εφαρμόζεται στα πλέγματα με διαφορά φάσεως 180°, λόγω της μεσαίας λήψεως του μετασχηματιστή εισόδου. Το ανοδικό κύκλωμα δεν είναι ένας μετασχηματιστής Α.Σ. με μεσαία λήψη για να αναδείξει την Α.Σ., αλλά ένα συν ονιζόμενο κύκλωμα με μεσαία λήψη, που συντονίζει στη συχνότητα του φέροντος Έτσι η Α.Σ. μόνη της δεν μπορεί να ενισχυθεί, λόγω της μικρής αντιστάσεως το ανοδικού φορτίου.

Το φέρον σήμα εφαρμόζε αι στα δύο πλέγματα με την ίδια φάση καθώς φαίνεται από το κύκλωμα. Οι λυχν ες είναι πολωμένες με τόση τάση, ώστε να εργάζονται στα μη ευθύγραμμα τμή ματα των χαρακτηριστικών, γιατί σε άλλη περίπτωση δεν πραγματοποιείται η δισ μόρφωση.

Αν εφαρμόζεται στην είσοδο η Υ.Σ. (το φέρον) στην έξοδο δεν εμφανίζεται κανένα σήμα. Αυτό συμβαίνει γιατί και τα δύο πλέγματα δέχονται ταυτόχρονα την ίδια πολικότητα του σήματος Υ.Σ.. Τα δύο ρεύματα ανόδου των δύο λυχνιών αυξάνουν το ίδιο, λόγω συμμετρίας. Στο πηνίο L_π κινούνται δυο ρεύματα I_1 και I_2 ίσα και αντίθετα, με αποτέλεσμα στο δευτερεύον να μην αναπτύσσεται κανένα σήμα. Το ίδιο αποτέλεσμα θα έχομε και στην άλλη ημιπερίοδο του σήματος Υ.Σ. Δηλαδή η αρνητική ημιπερίοδος εφαρμόζεται και στα δύο πλέγματα, οπότε έχομε την ίδια μεταβολή ρεύματος και στις δύο λυχνίες. Επειδή τα δύο ρεύματα I_1 και I_2 είναι πάλι ίσα και αντίθετα, στο δευτερεύον δεν αναπτύσσεται κανένα σήμα.

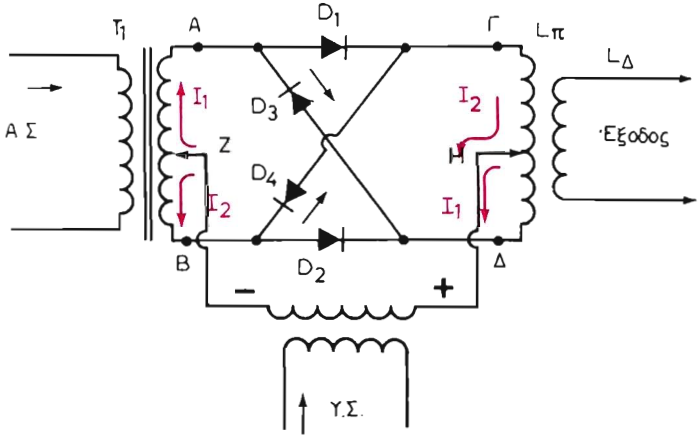
Με τον τρόπο αυτό παρατηρούμε ότι στην έξοδο του διαμορφωτή δεν εμφανίζεται η Υ.Σ., δηλαδή το φέρον. Μπορεί να εμφανισθεί μικρό σήμα φέροντος αν υπάρχει μικρή ασυμμετρία στις δύο λυχνίες. Γι' αυτό φροντίζομε ώστε οι δυο λυχνίες και η μεσαία λήψη του πηνίου L_π να είναι συμμετρικά. Η συμμετρία ρυθμίζεται και με τον αντιστάτη R_π.

Αν τώρα στην είσοδο εφαρμόζονται συγχρόνως η Υ.Σ. και η Α.Σ., η συμμετρία του κυκλώματος μεταβάλλεται. Αν συμπέσει η πολικότητα των δύο σημάτων όπως στο σχήμα 9.3α, τότε η V_1 δέχεται στο πλέγμα της τις τάσεις $^1/_2\, U_m + U_c$, ενώ η V_2 δέχεται τις τάσεις $-\,^1/_2\, U_m + U_c$. Έτσι το I_1 θα είναι μεγαλύτερο από το I_2 και στο δευτερεύον θα εμφανισθεί ένα σήμα εξόδου που θα οφείλεται στη δράση της Α.Σ. και της Υ.Σ. συγχρόνως.

Με την αλλαγή της πολικότητας της Υ.Σ. θα εμφανισθεί πάλι ασυμμετρία, γιατί η $U_{g_1} = {}^1/_2\, U_m - U_c$ και $U_{g_2} = -{}^1/_2\, U_m - U_c$. Αντίστοιχα σήματα θα εφαρμοσθούν στα πλέγματα των λυχνιών όταν γίνει αλλαγή της πολικότητας της Α.Σ. U_m. Έτσι στην έξοδο του διαμορφωτή θα εμφανίζονται οι δυο πλευρικές χωρίς το φέρον και η κυματομορφή του σήματος εξόδου θα είναι όπως του σχήματος 9.2β(β).

β) Ισοσταθμισμένος διαμορφωτής με κρυσταλλοδίοδες σε διάταξη δακτυλίου.

Το κύκλωμα του διαμορφωτή αυτού φαίνεται στο σχήμα 9.3β. Αποτελείται από τέσσερις κρυσταλλοδίοδες σε διάταξη δακτυλίου. Το σήμα Α.Σ. εφαρμόζεται στα σημεία Α και Β μέσω μετασχηματιστή Α.Σ. T_1, ο οποίος στο δευτερεύον έχει μεσαία λήψη. Στα σημεία Γ και Δ συνδέονται οι άκρες πηνίου Υ.Σ. L_π, το οποίο είναι πηνίο εξόδου και το οποίο έχει επίσης μεσαία λήψη. Σε σύζευξη με αυτό βρίσκεται το δευτερεύον L_Δ επίσης πηνίο Υ.Σ., στο οποίο θα εμφανισθεί το διαμορφωμένο σήμα εξόδου. Στις μεσαίες λήψεις του T_1 και του L_π συνδέεται η Υ.Σ. (το φέρον).



Σχ. 9.3β.
Ισοσταθμισμένος διαμορφωτής δακτυλίου.

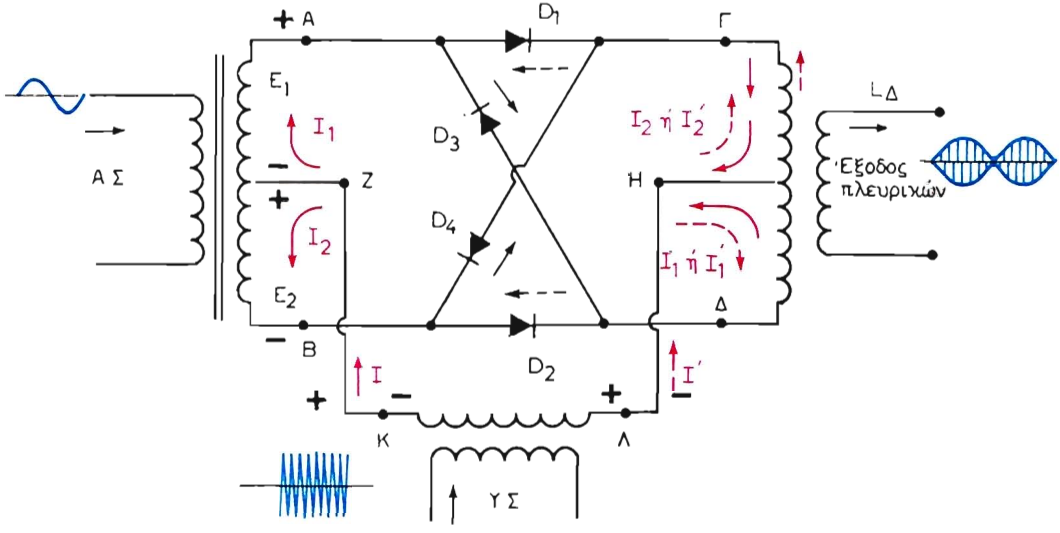
Αν εφαρμοσθεί μόνο η Α.Σ. στην είσοδο, στην έξοδο δεν υπάρχει σήμα, γιατί το πηνίο L_π είναι Υ.Σ. και βραχυκυκλώνει την Α.Σ. με τη μικρή αντίσταση που παρουσιάζει σ' αυτήν. Αν εφαρμοσθεί στην είσοδο μόνο η Υ.Σ., στην έξοδο δεν θα έχομε σήμα, γιατί τα ρεύματα που κινούνται στο L_π είναι ίσα και αντίθετα. Έτσι η Υ.Σ. απορρίπτεται.

Αν υποθέσομε ότι η πολικότητα της Υ.Σ. είναι όπως στο σχήμα, το ρεύμα από το μείον (−) του πηνίου Υ.Σ., φθάνει στον κόμβο Ζ και διακλαδίζεται μισό προς τα πάνω, στο Α, και μισό προς τα κάτω, στο Β. Τα I_1 και I_2 είναι ίσα και αντίθετα. Από το Α, το I_1 διέρχεται από το φωρατή D_3, φθάνει στο Δ και, από το κάτω μισό του L_π, στο Η και από εκεί στο συν (+) του πηνίου Υ.Σ. Αντίστοιχα, από το Β το I_2 διέρχεται από το φωρατή D_4, φθάνει στο Γ και, από το πάνω μισό του L_π, στο Η και από εκεί στο συν (+) του πηνίου Υ.Σ. Έτσι, από το L_π διέρχονται ίσα και αντίθετα ρεύματα, με αποτέλεσμα στο δευτερεύον να μην εμφανίζεται σήμα Υ.Σ.

Όταν αλλάξει η πολικότητα της Υ.Σ. αλλάζει η φορά των ρευμάτων και βρίσκονται σε αντιγωμότητα οι φωρατές D_1 και D_2. Τα ρεύματα που διέρχονται από τα δύο

μισά του $L_π$ είναι ίσα και αντίθετα. Έτσι πάλι στην έξοδο δεν εμφανίζεται το φέρον σήμα Υ.Σ.

Αν όμως έχομε σύγχρονη εφαρμογή των δύο σημάτων Υ.Σ. και Α.Σ., στην έξοδο θα εμφανιστούν οι δύο πλευρικές, γιατί θα παρουσιασθεί διαφορά στα ρεύματα που κινούνται από το $L_π$. Στο σχήμα 9.3γ δίνεται μια τυχαία πολικότητα στην Υ.Σ. και την Α.Σ. Αν η πολικότητα της Υ.Σ. είναι μείον (−) στο Κ και συν (+) στο Λ, θα κινηθεί το ρεύμα Ι από το Κ στο Ζ, όπου θα διακλαδισθεί ένα προς τα πάνω, το I_1, και ένα προς τα κάτω, το I_2. Το I_2 θα συναντήσει την πολικότητα της E_2 (Α.Σ.) με μείον (−) κάτω και συν (+) επάνω. Η πολικότητα είναι συμφασική με την πολικότητα της Υ.Σ. και το I_2 αυξάνει. Αντίθετα, το I_1 συναντά την πολικότητα της E_1 (της Α.Σ.) με συν (+) επάνω και μείον (−) κάτω. Η πολικότητα είναι αντίθετη και το I_1 θα μειωθεί. Δηλαδή δημιουργείται διαφορά στα I_1 και I_2 με την επίδραση της Α.Σ.



Σχ. 9.3γ.
Λειτουργία ισοσταθμισμένου διαμορφωτή δακτυλίου.

Το I_2, από το Β φθάνει στο Γ μέσω του D_4 και, από το πάνω μισό του $L_π$, στο Η και στο συν (+) της Υ.Σ. (Λ). Αντίστοιχα, το I_1 φθάνει στο Δ μέσω του D_3 και από το κάτω μισό του $L_π$, στο Η και στο Λ. Τα δύο ρεύματα τώρα I_1 και I_2 που περνούν από το $L_π$ είναι αντίθετα, αλλά με διαφορετική τιμή. Έτσι στο δευτερεύον του $L_π$, στο $L_Δ$, θα εμφανισθεί σήμα εξόδου, το οποίο θα είναι το άθροισμα της Υ.Σ. και της Α.Σ.

Όταν αλλάξει η πολικότητα της Υ.Σ., το Κ θα γίνει θετικό και το Λ αρνητικό. Το Ι' θα κινηθεί από το Λ στο Η και θα διακλαδισθεί στο I'_1 και I'_2, τα οποία πάλι θα έχουν διαφορετική τιμή, γιατί το I'_2 θα είναι μεγαλύτερο. Το I'_2, από το Η περνά από το πάνω μισό του $L_π$ και φθάνει στο Γ. Από εκεί μέσω του D_1 φθάνει στο Α και συναντά την E_1 με προσθετική πολικότητα. Έτσι αυξάνει. Αντίθετα, το I'_1 από το Η και το κάτω μισό του $L_π$ φθάνει στο Δ,περνά από το D_2, φθάνει στο Β και συναντά την E_2 με αντίθετη πολικότητα (− +), με αποτέλεσμα να μειωθεί. Τα ρεύματα I'_1 και I'_2 λοι-

πόν είναι αντίθετα, αλλά έχουν διαφορετική τιμή. Έτσι στην έξοδο εμφανίζεται πάλι σήμα πλευρικών.

Όταν αλλάξει η πολικότητα της Α.Σ., θα εμφανισθούν οι αντίστοιχες πολικότητες και διαφορές στα ρεύματα, οπότε εμφανίζεται πάλι σήμα στην έξοδο. Το σήμα εξόδου θα έχει τη μορφή του σχήματος 9.2β(β), δηλαδή σήμα που αποτελείται μόνο από τις δύο πλευρικές.

Υπάρχουν και άλλες μέθοδοι διαμορφώσεως για την παραγωγή σημάτων SSB, όπως π.χ. με τη μέθοδο μεταθέσεως φάσεως των σημάτων, με τη μέθοδο δύο κρυσταλλικών ταλαντωτών, από τους οποίους ο ένας λειτουργεί στην άνω πλευρική και ο άλλος στην κάτω, με χρησιμοποίηση αντίστοιχων φίλτρων διελεύσεως ζώνης συχνοτήτων, με τον ισοσταθμισμένο διαμορφωτή σε ολοκληρωμένο κύκλωμα κλπ. Τα κυκλώματα αυτά και η λειτουργία τους δεν είναι δυνατό να αναφερθούν στον περιορισμένο χώρο του βιβλίου αυτού.

9.4 Επιλογή της μιας πλευρικής ζώνης.

Στην έξοδο του ισοσταθμισμένου διαμορφωτή θα εμφανισθούν οι δύο πλευρικές ζώνες. Πρέπει λοιπόν να γίνει η επιλογή της μιας, η οποία θα ενισχυθεί για να εκπεμφθεί, και η άλλη να απορριφθεί. Για την επιλογή της μιας ζώνης και την απόρριψη της άλλης χρησιμοποιούνται διάφορες μέθοδοι, μεταξύ των οποίων είναι και η χρησιμοποίηση φίλτρων διελεύσεως ζώνης συχνοτήτων. Τα φίλτρα αυτά πρέπει να έχουν πολύ απότομη καμπύλη αποκοπής, ώστε να είναι σχεδόν κάθετη και να παρουσιάζει περίπου τετραγωνική μορφή. Τέτοια καμπύλη μπορεί να παρουσιάσουν τα κρυσταλλικά και τα μηχανικά φίλτρα.

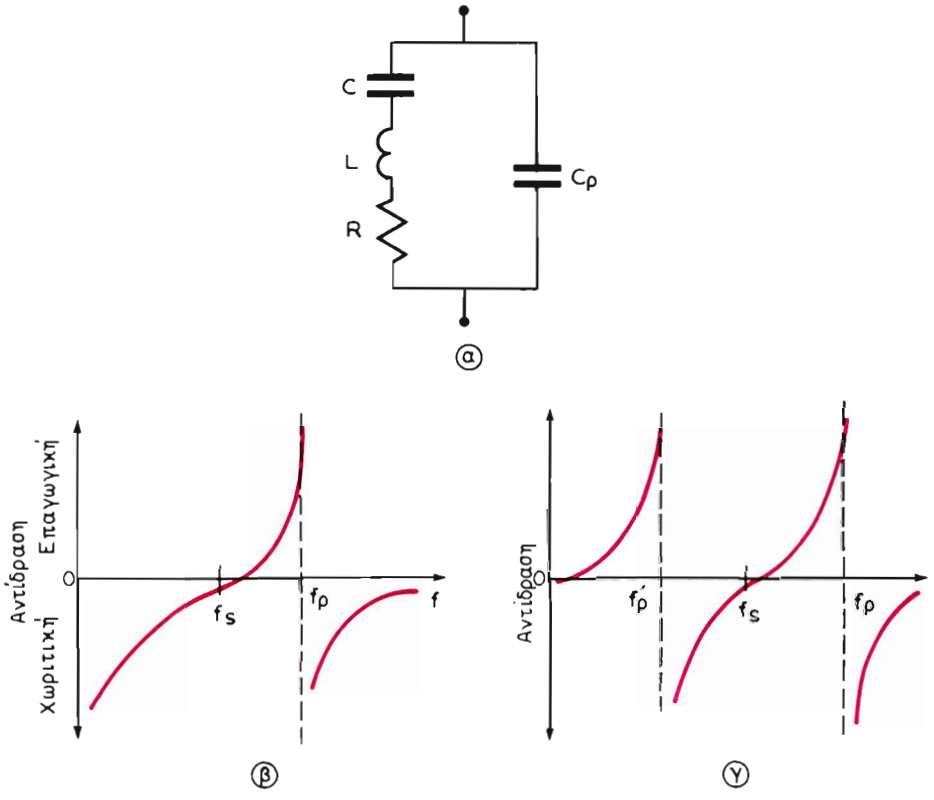
α) Κρυσταλλικά φίλτρα διελεύσεως ζώνης συχνοτήτων (Bandpass Crystal Filter).

Στην παράγραφο 5.7 αναφέρθηκε η συμπεριφορά του κρυστάλλου χαλαζία και το ισοδύναμό του κύκλωμα, που είναι ένα συντονισμένο κύκλωμα σειράς το οποίο παρουσιάζει συντονισμό σε μια συχνότητα f_s, όπου η αντίστασή του γίνεται σχεδόν μηδενική.

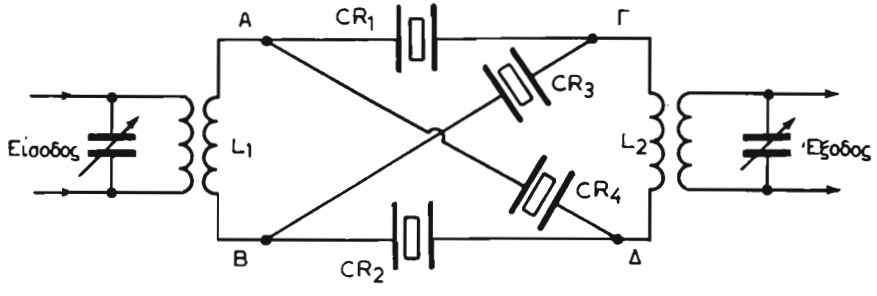
Επειδή ο κρύσταλλος έχει τα πλακίδια στηρίξεως και συλλογής των φορτίων, είναι σαν να έχει δύο οπλισμούς που παρουσιάζουν χωρητικότητα C_p, η οποία συνδέεται παράλληλα στο ισοδύναμο κύκλωμα σειράς του κρυστάλλου. Έτσι ο κρύσταλλος παρουσιάζει τώρα φαινόμενα παράλληλου συντονισμού σε μια μεγαλύτερη συχνότητα f_p όπου η αντίστασή του γίνεται σχεδόν άπειρη. Η f_p διαφέρει από την f_s κατά μερικές εκατοντάδες κύκλων. Το ισοδύναμο κύκλωμα του κρυστάλλου και η μεταβολή της αντιστάσεώς του, σε συνάρτηση με τη συχνότητα, φαίνονται στο σχήμα 9.4α(α) και 9.4α(β).

Αν συνδέσομε ένα πηνίο αυτεπαγωγής L παράλληλα στον κρύσταλλο, θα εμφανισθεί και μιά νέα συχνότητα συντονισμού f'_p, μικρότερη από τη συχνότητα συντονισμού f_s κατά μερικές εκατοντάδες κύκλων. Η f'_p αντιστοιχεί σε παράλληλο συντονισμό, γιατί το πηνίο συντονίζει παράλληλα με τον πυκνωτή σειράς του ισοδύναμου κυκλώματος. Στην f'_p η αντίδραση του κυκλώματος γίνεται πάλι σχεδόν άπειρη. Η τιμή του L καθορίζει τη συχνότητα συντονισμού f'_p και την απόσταση που έχει από την f_s [σχ. 9.4α(γ)].

Στο σχήμα 9.4β φαίνεται το κύκλωμα ενός κρυσταλλικού φίλτρου με τέσσερα κρύσταλλα. Τα CR_1 και CR_2 είναι τα κρύσταλλα σειράς και έχουν την ίδια συχνότη-



Σχ. 9.4α.
Ισοδύναμο κύκλωμα κρυστάλλου και μεταβολή της αντιδράσεως με τη συχνότητα.

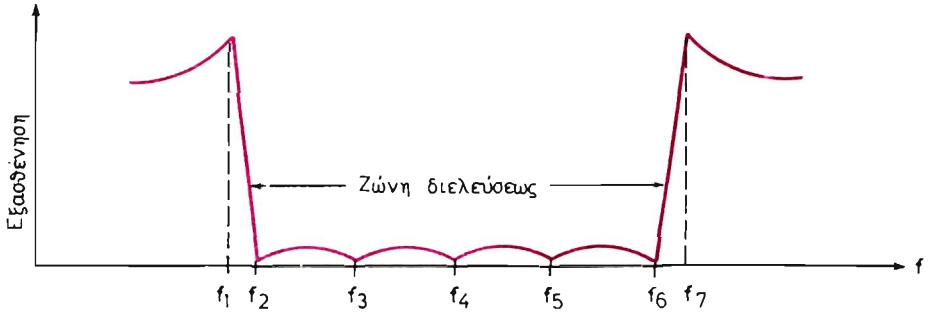


Σχ. 9.4β.
Κρυσταλλικό φίλτρο διελεύσεως ζώνης συχνοτήτων.

τα συντονισμού ή διαφέρουν το πολύ κατά 10-20 κύκλους μεταξύ τους. Τα κρύσταλλα CR_3 και CR_4 είναι τα παράλληλα κρύσταλλα και έχουν και αυτά μεταξύ τους την ίδια συχνότητα. Η συχνότητα παράλληλου συντονισμού $f_ρ$ των CR_3 και CR_4 πρέπει να είναι περίπου ίδια με τη συχνότητα συντονισμού σειράς f_s των CR_1 και CR_2.

Τα πηνία L_1 και L_2 στην είσοδο και στην έξοδο του φίλτρου παίζουν το ρόλο της παράλληλης αυτεπαγωγής που θα καθορίσει την επιπλέον συχνότητα παράλληλου συντονισμού f'_p των κρυστάλλων CR_3 και CR_4. Αυτά τα πηνία μπορεί να είναι μεταβαλλόμενης αυτεπαγωγής, για να καθορίζεται καλύτερα η f'_p και το εύρος της ζώνης διελεύσεως των συχνοτήτων.

Στο σχήμα 9.4γ φαίνεται η μεταβολή της εξασθενήσεως του φίλτρου σε συνάρτηση με τη συχνότητα. Στη συχνότητα f_3 τα CR_1 και CR_2 συντονίζουν σε σειρά και το σήμα από την είσοδο εμφανίζεται στην έξοδο, περνώντας από τα CR_1 και CR_2. Το σήμα εξόδου έχει την ίδια φάση με το σήμα εξόδου στα σημεία ΑΒ και ΓΔ. Τά CR_3 και CR_4 συντονίζουν παράλληλα και παρουσιάζουν άπειρη αντίσταση. Έτσι από αυτά δεν διέρχεται σήμα από την είσοδο προς την έξοδο.



Σχ. 9.4γ.
Η καμπύλη της εξασθενήσεως του φίλτρου.

Στη συχνότητα f_5 τα παράλληλα κρύσταλλα CR_3 και CR_4 συντονίζουν σε σειρά και παρουσιάζουν μηδενική αντίσταση. Το σήμα από την είσοδο εμφανίζεται στην έξοδο περνώντας από τα CR_3 και CR_4, αλλά είναι σε αντίφαση επειδή από το Α οδηγείται στο Δ και από το Β στο Γ.

Στη συχνότητα f_1 η αντίδραση των κρυστάλλων είναι επαγωγική και τα σήματα στην έξοδο είναι ίσα και σε αντίφαση, με αποτέλεσμα να αλληλοεξουδετερώνονται και η εξασθένηση να είναι πολύ μεγάλη.

Στη συχνότητα f_2 η συμπεριφορά των αντιστάσεων αλλάζει, γιατί πλησιάζει στη συχνότητα παράλληλου συντονισμού με τα πηνία και τα κρύσταλλα CR_1 και CR_2 παρουσιάζουν χωρητική συμπεριφορά, ενώ τα CR_3 και CR_4 παρουσιάζουν επαγωγική. Έτσι τα δύο σήματα είναι ίσα και σε αντίφαση, αλλά επειδή το CR_3 και CR_4 διασταυρώνονται και αλλάζουν φάση, τα σήματα στην έξοδο είναι συμφασικά και προστίθενται, οπότε έχομε έξοδο και η εξασθένηση είναι ελάχιστη. Το ανάλογο συμβαίνει και στην f_6.

Στην f_7 τα κρύσταλλα παρουσιάζουν χωρητική συμπεριφορά και τα σήματα που διέρχονται από τους δύο κλάδους είναι ίσα και σε αντίφαση και μηδενίζονται, με αποτέλεσμα η εξασθένηση να γίνεται άπειρη. Η f_4 διέρχεται γιατί βρίσκεται μεταξύ των δύο συχνοτήτων συντονισμού την $CR_1 - CR_2$ και $CR_3 - CR_4$. Η συμπεριφορά τους είναι αντίθετη (επαγωγική και χωρητική αντίστοιχα) και τα σήματα που περνούν από τους δύο κλάδους είναι ίσα και σε αντίφαση, επειδή όμως τα CR_3 και CR_4 διασταυρώνονται, στην έξοδο τα σήματα έρχονται σε φάση και προστίθενται. Έτσι και στην f_4 θα έχομε έξοδο και η εξασθένηση θα είναι ελάχιστη.

Η ζώνη διελεύσεως καλύπτει περιοχή περίπου 3000 c/s, όση είναι περίπου η περιοχή των συχνοτήτων της ομιλίας. Η συχνότητα λειτουργίας των κρυσταλλικών φίλτρων είναι περίπου 100 kc/s, γιατί σ' αυτή τη συχνότητα έχουν άριστα αποτελέσματα. Έτσι η συχνότητα του φέροντος στον ισοσταθμισμένο διαμορφωτή πρέπει να είναι στην περιοχή των 100 kc/s.

Η ζώνη διελεύσεως του παραπάνω φίλτρου π.χ. είναι από 100,100 kc/s, που αντιστοιχεί στην f_2 (σχ. 9.4γ), μέχρι 103 kc/s, που αντιστοιχεί στη f_6. Αν εφαρμοσθεί στην είσοδό του ένα φάσμα συχνοτήτων από 95-105 kc/s, στην έξοδο θα εμφανισθεί το φάσμα από 100,1-103 kc/s. Αυτό το φάσμα μπορεί να είναι η περιοχή της άνω πλευρικής ζώνης ενός ισοσταθμισμένου διαμορφωτή, το φέρον του οποίου είναι 100 kc/s. Επίσης το ίδιο φίλτρο μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη διέλευση της κάτω πλευρικής ζώνης, όταν το φέρον έχει συχνότητα 103 kc/s.

Η ζώνη των διερχόμενων συχνοτήτων καθορίζεται από τη συχνότητα λειτουργίας των κρυστάλλων, η οποία εξαρτάται από το πάχος του κρυστάλλου.

Κύριο χαρακτηριστικό του κρυσταλλικού φίλτρου είναι η σχεδόν κάθετη αποκοπή των συχνοτήτων από f_2-f_6, η οποία το καθιστά ικανό να ξεχωρίζει τέλεια την κάτω από την άνω πλευρική ζώνη.

Τοποθετώντας ένα τέτοιο φίλτρο στην έξοδο του ισοσταθμισμένου διαμορφωτή, επιλέγομε τη μια πλευρική, την οποία ενισχύομε, ενώ η άλλη πλευρική απορρίπτεται. Το φέρον σήμα έχει συμπιεσθεί στην έξοδο του διαμορφωτή και δε μας απασχολεί.

β) Ηλεκτρομηχανικά φίλτρα διελεύσεως ζώνης συχνοτήτων (Electromechanical Filters).

Ένας μεταλλικός δίσκος, στον οποίο μπορεί να εφαρμοσθεί μια μηχανική δόνηση, θα επιδείξει φαινόμενα παράλληλου συντονισμού όπως ένα ηλεκτρικό κύκλωμα και, σε μια συχνότητα δονήσεως που εξαρτάται από τις διαστάσεις του, θα παρουσιάσει μέγιστο πλάτος δονήσεων.

Επίσης μια μεταλλική ράβδος, στην οποία εφαρμόζεται μηχανική δόνηση κατά τον άξονά της, παρουσιάζει φαινόμενα συντονισμού σειράς όπως το ηλεκτρικό κύκλωμα και, σε μια συχνότητα συντονισμού της που εξαρτάται από τις διαστάσεις της, θα απορροφά μέγιστη ενέργεια από την πηγή δονήσεων.

Τις ιδιότητες αυτές μπορούμε να τις εκμεταλευθούμε και να κατασκευάσομε ένα φίλτρο διελεύσεως ζώνης συχνοτήτων. Τα φίλτρα αυτά παρουσιάζουν πολύ απότομη αποκοπή στις δύο ακραίες συχνότητες, λειτουργούν άριστα στην περιοχή των 100 kc και 300 kc και μπορεί να έχουν εύρος διελεύσεως μέχρι 5 kc/s. Το φίλτρο είναι μηχανική κατασκευή πολύ στερεά κλεισμένη μέσα σε μεταλλικό κουτί μήκους 5 cm, με ύψος και πλάτος περίπου 13 mm. Στην είσοδο δέχεται ένα ηλεκτρικό σήμα 100 kc/s περίπου, το οποίο μετατρέπεται σε μηχανική δόνηση της ίδιας συχνότητας και στην έξοδο η μηχανική δόνηση μετατρέπεται σε ηλεκτρικό σήμα εξόδου.

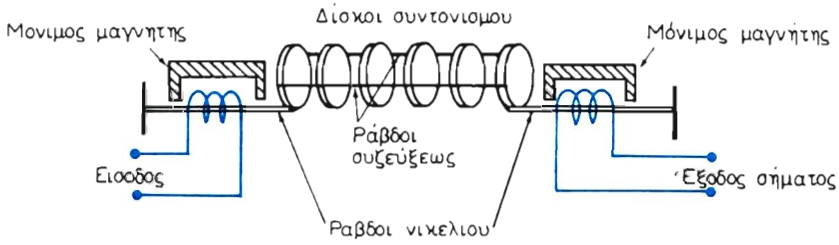
Η μετατροπή της ηλεκτρικής μεταβολής σε μηχανική και αντίστροφα, στηρίζεται στο φαινόμενο της μαγνητοσυστολής. Σύμφωνα με το φαινόμενο αυτό ορισμένα υλικά, όταν βρεθούν μέσα σε μαγνητικό πεδίο, παρουσιάζουν μεταβολή στις διαστάσεις τους, κατά τον άξονα του μαγνητικού πεδίου.

Το νικέλιο παρουσιάζει έντονα αυτό το φαινόμενο. Έτσι, αν έχομε μια ράβδο από νικέλιο και την τοποθετήσομε μέσα σε ένα πηνίο που τροφοδοτείται με συνε-

χές ρεύμα, η ράβδος θα κοντύνει, ανάλογα με την ένταση του μαγνητίζοντος ρεύματος (περίπου 1/10000). Αν τροφοδοτήσομε το πηνίο με εναλλασσόμενο ρεύμα, το μήκος της ράβδου θα αυξομειώνεται στο ρυθμό της συχνότητας του Ε.Ρ. Για την ακρίβεια, η αυξομείωση του μήκους θα γίνεται σε διπλάσια συχνότητα, γιατί η ράβδος θα κονταίνει και κατά τη θετική και κατά την αρνητική ημιπερίοδο του Ε.Ρ. όπου το μαγνητικό πεδίο αυξάνει.

Για να αποφύγομε το διπλασιασμό της μηχανικής ταλαντώσεως, χρησιμοποιούμε σε σειρά με την πηγή Ε.Ρ. και μια πηγή Σ.Ρ., η οποία εξουδετερώνει τη μια ημιπερίοδο του Ε.Ρ. Το ίδιο αποτέλεσμα έχομε αν χρησιμοποιήσομε ένα μόνιμο μαγνητη, ο οποίος αντισταθμίζει τη δράση του εναλλασσόμενου μαγνητικού πεδίου κατά τη μια ημιπερίοδο του Ε.Ρ. που τροφοδοτεί το πηνίο. Έτσι οι αυξομειώσεις του μήκους της ράβδου έχουν την ίδια συχνότητα με το Ε.Ρ. του μαγνητικού πεδίου που το διεγείρει.

Στο σχήμα 9.4δ φαίνεται η παράσταση της εσωτερικής κατασκευής ενός ηλεκτρομηχανικού φίλτρου. Στην είσοδο εφαρμόζεται το σήμα εισόδου που είναι Ε.Ρ., συχνότητας περίπου 100 kc ± 7 kc/s. Η συχνότητα συντονισμού του Μ.Φ. έστω ότι είναι από 100-105 kc/s. Το σήμα εισόδου εφαρμόζεται στο πηνίο, μέσα στο οποίο είναι η ράβδος νικελίου (είσοδος). Η ράβδος τίθεται σε μηχανική δόνηση της ίδιας συχνότητας με τη συχνότητα του σήματος εισόδου, γιατί τις θετικές ημιπεριόδους π.χ. τις εξουδετερώνει το μαγνητικό πεδίο του μόνιμου μαγνήτη.

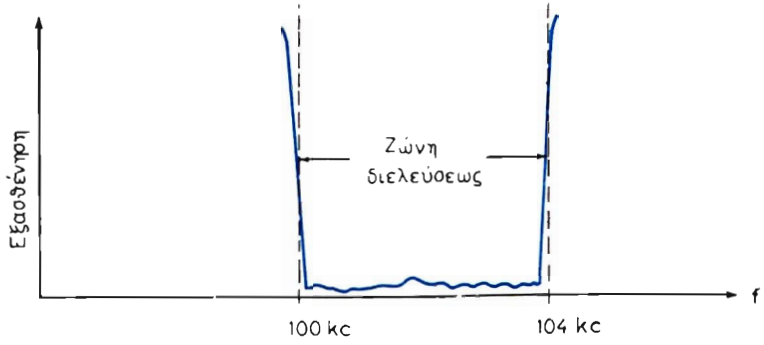


Σχ. 9.4δ.
Παράσταση του ηλεκτρομηχανικού φίλτρου.

Η μηχανική δόνηση μεταδίδεται στους δίσκους, οι οποίοι συντονίζουν στην καθορισμένη από τις διαστάσεις τους συχνότητα και παίρνουν το μέγιστο πλάτος της μηχανικής δονήσεως στη συχνότητα αυτή. Η μηχανική δόνηση μεταδίδεται στη ράβδο νικελίου που είναι στο πηνίο εξόδου, της οποίας, καθώς δονείται, αυξομειώνεται το μήκος της, οπότε να μεταβάλλεται η μαγνητική της διαπερατοτητα. Η ράβδος νικελίου είναι μέσα στο πηνίο εξόδου, αλλά δέχεται την επίδραση του μόνιμου μαγνητη. Έτσι, όταν θα μεταβάλλεται η μαγνητική διαπερατότητα της ράβδου, θα μεταβάλλεται και η ροή φ, με αποτέλεσμα να δημιουργείται τάση εξ επαγωγής στο πηνίο εξόδου, με συχνότητα αντίστοιχη της ζώνης διελεύσεως. Στο σχήμα 9.4ε φαίνται η καμπύλη εξασθενήσεως του ηλεκτρομηχανικού φίλτρου για συχνότητα λειτουργίας από 100-104 kc/s με ζώνη διελεύσεως 4 kc/s στα 25 db. Στα 3db περίπου παρουσιάζεται μια αυξομείωση της εξασθενήσεως. Η συχνότητα λειτουργίας αυτών των φίλτρων, εξαρτάται από τις διαστάσεις των δίσκων και καθορίζεται από το εργοστάσιο κατασκευής, χωρίς να μπορεί να ρυθμισθεί εξωτερικά.

Μπορούμε να συνδέσομε ένα τέτοιο φίλτρο στην έξοδο του ισοσταθμισμένου

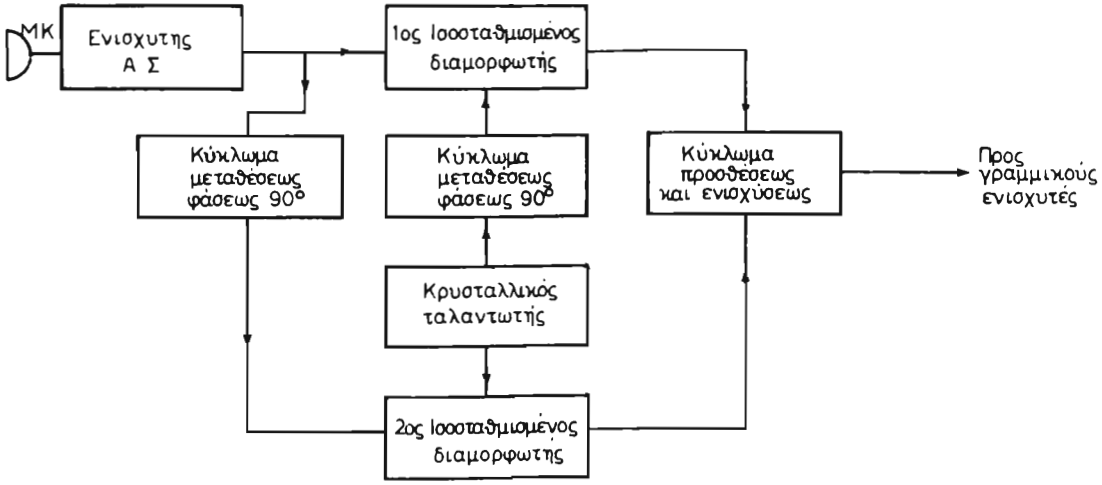
διαμορφωτή που έχει φέρον 100 kc/s και να ξεχωρίσομε την άνω πλευρική ζώνη συχνότητων, από 100-104 kc/s. Μπορεί να έχομε φίλτρο που να λειτουργεί στη ζώνη από 96-100 kc/s και να το συνδέσομε στην έξοδο του ίδιου ισοσταθμισμένου διαμορφωτή. Τότε θα ξεχωρίσομε την κάτω πλευρική ζώνη από 96-100 kc/s, ενώ η άνω πλευρική θα απορριφθεί.



Σχ. 9.4ε.
Καμπύλη της εξασθενήσεως του Η/Μ φίλτρου.

γ) Μέθοδος μετατοπίσεως φάσεως (Phase Shift Method).

Μπορεί να γίνει απόρριψη της μιας πλευρικής ζώνης και ανάδειξη της άλλης χωρίς να χρησιμοποιηθούν φίλτρα διελεύσεως ζώνης συχνοτήτων. Σ' αυτή τη μέθοδο χρησιμοποιούνται δύο ισοσταθμισμένοι διαμορφωτές (όπως π.χ. του σχήματος 9.3α) που τροφοδοτούνται με σήματα που διαφέρουν κατά 90°. Ένα τέτοιο κύκλωμα φαίνεται στο σχήμα 9.4στ. Ένας κρυσταλλικός ταλαντωτής παράγει την Υ.Σ., που μπορεί να είναι και ίδια με τη συχνότητα εκπομπής.



Σχ. 9.4στ.
Βασικό διάγραμμα αναδείξεως μιας πλευρικής ζώνης.

Η Υ.Σ. οδηγείται στον πρώτο ισοσταθμισμένο διαμορφωτή αφού περάσει από κύκλωμα μεταθέσεως φάσεως 90°. Στο δεύτερο ισοσταθμισμένο διαμορφωτή το σήμα Υ.Σ. οδηγείται απευθείας, χωρίς μετάθεση φάσεως.

Η Α.Σ. οδηγείται στον πρώτο διαμορφωτή απευθείας, χωρίς μετάθεση φάσεως, ενώ στο δεύτερο διαμορφωτή εφαρμόζεται μέσω κυκλώματος μετάθεσεως φάσεως 90°.

Τα σήματα εξόδου των ισοσταθμισμένων διαμορφωτών, δεν περιέχουν το φέρον σήμα, αλλά μόνο τις δύο πλευρικές, με διαφορές φάσεως μεταξύ τους και οδηγούνται στη βαθμίδα προσθέσεως και ενισχύσεώς τους.

Αν υποθέσομε ότι η ακουστική συχνότητά που διαμορφώνει την Υ.Σ. έχει μια τιμή f_m (ω_m) και η Υ.Σ. είναι η $f_c(\omega_c)$, τότε στην έξοδο του πρώτου ισοσταθμισμένου διαμορφωτή έχομε:

α) την κάτω πλευρική που είναι:

$$+ \sigma\upsilon\nu[(\omega_c - \omega_m)\, t + 90°] \tag{9.3}$$

β) Την άνω πλευρική, που είναι:

$$- \sigma\upsilon\nu[(\omega_c + \omega_m)\, t + 90°] \tag{9.4}$$

Επίσης, στην έξοδο του δεύτερου ισοσταθμισμένου διαμορφωτή έχομε:

α) την κάτω πλευρική, που είναι:

$$+ \sigma\upsilon\nu[(\omega_c - \omega_m)t - 90°] \tag{9.5}$$

β) Την άνω πλευρική που είναι:

$$- \sigma\upsilon\nu[(\omega_c + \omega_m)t + 90°] \tag{9.6}$$

Από τις παραπάνω σχέσεις παρατηρούμε ότι η (9.4) και η (9.6) είναι συμφασικές και στον ενισχυτή προστίθενται, ενώ η (9.3) και η (9.5) είναι σε διαφορά φάσεως 180° και αφαιρούνται. Έτσι στην έξοδο του ενισχυτή-αθροιστή θα εμφανισθεί μόνο η άνω πλευρική, ενώ η κάτω πλευρική απορρίπτεται.

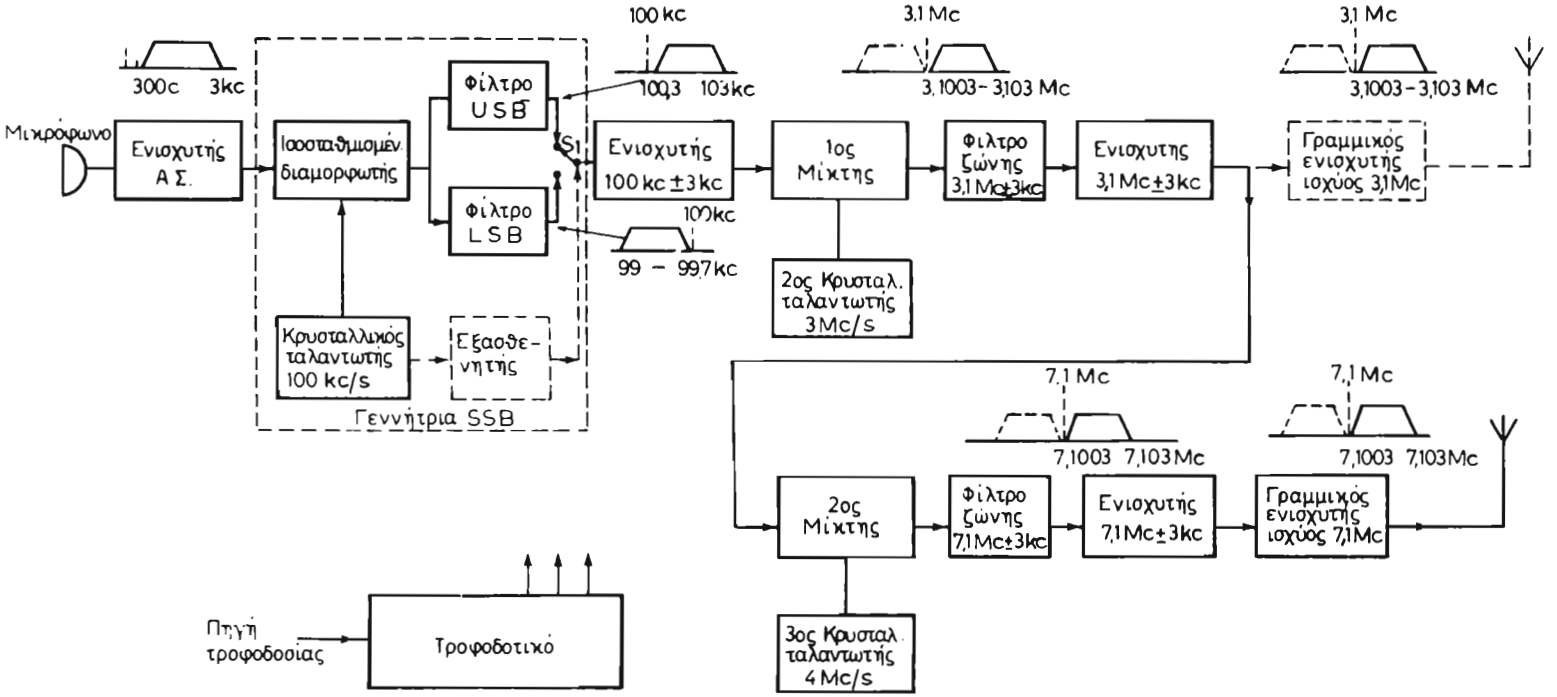
Αν θέλομε να εμφανισθεί η κάτω πλευρική και να απορριφθεί η άνω, πρέπει τα σήματα που εφαρμόζονται στον ένα διαμορφωτή να υποστούν μετάθεση φάσεως κατά 90°.

Αυτό το κύκλωμα πλεονεκτεί, απέναντι στα άλλα με τα φίλτρα, στο ότι η πλευρική που εμφανίζεται μπορεί να ενισχυθεί απευθείας από τους γραμμικούς ενισχυτές μέχρι την κεραία. Πρέπει όμως τα κυκλώματα μεταθέσεως φάσεως να είναι καλής κατασκευής και να μη γίνεται πρόσθετη μετάθεση φάσεως από τις καλωδιώσεις.

9.5 Πομπός *SSB*.

Στον πομπό SSB έχομε διαφορετική διάταξη των βαθμίδων από εκείνη του πομπού ΑΜ. Στη θέση του κυρίως ταλαντωτή υπάρχει η γεννήτρια SSB, που ακολουθείται από τους ενισχυτές και τους πολλαπλασιαστές συχνότητας. Στον πομπό SSB ο πολλαπλασιασμός συχνότητας δεν γίνεται όπως στον πομπό CW και ΑΜ. Πραγματοποιείται με βαθμίδες μίξεως, για να μην πολλαπλασιάζεται και η ζώνη των πλευρικών. Οι ενισχυτές τάσεως και ισχύος Υ.Σ. είναι γραμμικοί ενισχυτές, για να μην προκαλούν παραμόρφωση του σήματος . Είναι δηλαδή ενισχυτές με συντονιζόμενα κυκλώματα που εργάζονται σε τάξη Α, αν είναι με μια λυχνία, ή σε τάξη ΑΒ, αν εργάζονται σε συμμετρικό κύκλωμα (Push-Pull).

Στο σχήμα 9.5 φαίνεται το βασικό διάγραμμα ενός πομπού SSB. Το σήμα μικροφώνου, από 300-3000 c/s περίπου, οδηγείται σ' έναν απλό ενισχυτή Α.Σ. και η έξοδος του ενισχυτή οδηγείται στον ισοσταθμισμένο διαμορφωτή. Στο διαμορφωτή



Σχ. 9.5.
Βασικό διάγραμμα πομπού SSB.

οδηγείται και το σήμα Υ.Σ. (ενδιάμεσης συχνότητας) που παράγεται από ένα σταθεροποιημένο κρυσταλλικό ταλαντωτή. Ο διαμορφωτής μπορεί να έχει μια από τις μορφές των σχημάτων 9.3α ή 9.3β. Η έξοδος του ισοσταθμισμένου διαμορφωτή οδηγείται στα δύο φίλτρα άνω και κάτω πλευρικής ζώνης, από τα οποία γίνεται επιλογή της άνω ή της κάτω ζώνης με το διακόπτη S_1. Η ζώνη διελεύσεως των φίλτρων είναι περίπου 3 kc/s.

Ο ισοσταθμισμένος διαμορφωτής, με τον ταλαντωτή 100 kc/s και τα φίλτρα, αποτελούν τη γεννήτρια SSB. Από την έξοδο της γεννήτριας SSB, το σήμα της μιας πλευρικής ζώνης, π.χ. της άνω, οδηγείται στο γραμμικό ενισχυτή για ενίσχυση. Από την έξοδο του ενισχυτή οδηγείται στον πρώτο μίκτη για να γίνει αύξηση της συχνότητας με τη μέθοδο της μίξεως. Στὸ μίκτη οδηγείται και το σήμα της Υ.Σ., η οποία για παράδειγμα είναι 3 Mc και παράγεται από ένα σταθερό κρυσταλλικό ταλαντωτή. Η έξοδος από το μίκτη είναι πάλι η άνω πλευρική που καλύπτει τη ζώνη από 3100,3-3100 kc/s. Αν επιλέξομε τη κάτω πλευρική ζώνη, η έξοδος του μίκτη θα είναι από 3097-3099,7 kc/s.

Από το γραμμικό ενισχυτή, που μπορεί να είναι οδηγήτρια βαθμίδα, το σήμα μπορεί να οδηγηθεί σε ένα γραμμικό ενισχυτή ισχύος και από εκεί στην κεραία για εκπομπή, στην περίπτωση απλού πομπού βραχέων κυμάτων, που εκπέμπει στη κάτω περιοχή των βραχέων κυμάτων (περίπου 3-6 Mc/s).

Στην περίπτωση πιο πολυσύνθετου πομπού, που λειτουργεί σε υψηλότερες συχνότητες της περιοχής των βραχέων, το σήμα από την έξοδο του ενισχυτή θα οδηγηθεί στο δεύτερο μίκτη. Εκεί οδηγείται και το σήμα από τον τρίτο κρυσταλλικό ταλαντωτή, ο οποίος μπορεί να παράγει οποιαδήποτε συχνότητα που απαιτείται για τη λειτουργία του πομπού. Στο παράδειγμά μας, η παραγόμενη συχνότητα είναι 4Mc/s. Οι ενισχυτές των περιοχών είναι απλοί ενισχυτές Υ.Σ. με συντονιζόμενα κυκλώματα.

Η έξοδος του δεύτερου μίκτη είναι το άθροισμα των δύο συχνοτήτων και για την άνω πλευρική ζώνη καλύπτει την περιοχή από 7100,3-7103 kc/s. Το σήμα εξόδου από το μίκτη οδηγείται στο φίλτρο διελεύσεως ζώνης και από αυτό στους γραμμικούς ενισχυτές για ενίσχυση ισχύος και, στη συνέχεια, στην κεραία για εκπομπή. Η συχνότητα εκπομπής θα είναι από 7100,3-7103 kc/s που είναι η άνω πλευρική ζώνη.

Σε περίπτωση αλλαγής συχνότητας των κρυσταλλικών ταλαντωτών, γίνεται συγχρόνως και αλλαγή ή συντονισμός των φίλτρων διελεύσεως ζώνης συχνοτήτων, με τον ίδιο ομοαξονικό διακόπτη επιλογής των συχνοτήτων ή των κρυστάλλων.

Στην περίπτωση όπου με το SSB εκπέμπεται και μέρος του φέροντος, το φέρον προστίθεται στην έξοδο της γεννήτριας SSB μέσω εξασθενητή που καθορίζει τη στάθμη του, όπως φαίνεται στο σχήμα 9.5.

Υπάρχουν πομποί SSB με διαφορετική κατάταξη των βαθμίδων και μπορεί να χρησιμοποιούν ένα βασικό κρυσταλλικό ταλαντωτή, από τον οποίο να δημιουργούνται οι άλλες συχνότητες με πολλαπλασιασμό, διαίρεση και μίξη, όπως συμβαίνει στους πομπούς με ολοκληρωμένα κυκλώματα και λογικά κυκλώματα.

Άλλοι πομποί SSB μπορεί να εκπέμπουν και τις δύο πλευρικές ζώνες συγχρόνως, με διαφορετική ομιλία (ακουστικό σήμα) στην κάθε πλευρική ζώνη. Με κατάλληλα φίλτρα διελεύσεως ζώνης, μπορεί να εκπέμπονται και τέσσερις διαφορετικές ομιλίες στις δύο πλευρικές ζώνες. Αυτοί οι πομποί (καί δέκτες) χρησιμοποιούνται σε περιπτώσεις εξυπηρετήσεως τεσσάρων τηλεφωνικών γραμμών.

ΙΔΡΥΜΑ ΕΥΓΕΝΙΔΟΥ 1956

9.6 Δέκτης σημάτων SSB.

Ο δέκτης σημάτων SSB θα αποτελείται από τις γνωστές βαθμίδες ενισχύσεως Υ.Σ. και Ε.Σ., που είναι ενισχυτές με συντονιζόμενα κυκλώματα. Είναι υπερετερόδυνοι δέκτες και χρησιμοποιούν τοπικούς ταλαντωτές με αντίστοιχες βαθμίδες μίξεως. Διαθέτουν σύστημα AGC και σύστημα Squelch. Η διαφορά τους από τους δέκτες AM και FM είναι πάλι η βαθμίδα αποδιαμορφώσεως.

Στο σχήμα 9.6α φαίνεται το βασικό διάγραμμα ενός δέκτη για σήματα SSB, ο οποίος λειτουργεί στην περιοχή των βραχέων κυμάτων (HF) από 3-30 Mc σε τρεις περιοχές επιλογής. Παίρνομε για παράδειγμα ότι ο δέκτης λαμβάνει το σήμα USB που έστειλε ο πομπός του σχήματος 9.5.

Από την κεραία, το σήμα οδηγείται στον ενισχυτή Υ.Σ., όπου ενισχύεται και στη συνέχεια οδηγείται στη βαθμίδα μίξεως. Στην ίδια βαθμίδα μίξεως οδηγείται και το σήμα του τοπικού ταλαντωτή, ο οποίος είναι ταλαντωτής με L.C. μεταβλητής συχνότητας (VFO). Τα συντονιζόμενα κυκλώματα του ενιχυτή Υ.Σ. μεταβάλλονται ομοαξονικά με τα συντονιζόμενα κυκλώματα του τοπικού ταλαντωτή. Στο παράδειγμα ο τοπικός ταλαντωτής, παράγει 5 Mc και στην είσοδό του δέκτη το σήμα Υ.Σ. είναι 7100,3-7103 kc/s (άνω πλευρική ζώνη). Έτσι στην έξοδο του μίκτη θα έχομε την πρώτη σταθερή ενδιάμεση συχνότητα των 2,1 Mc $\pm$ 3 kc. Ο μίκτης μπορεί να είναι μια επταοδική λυχνία μίκτρια ή, αν ο δέκτης είναι με τρανζίστορ, ένα αντίστοιχο τρανζίστορ.

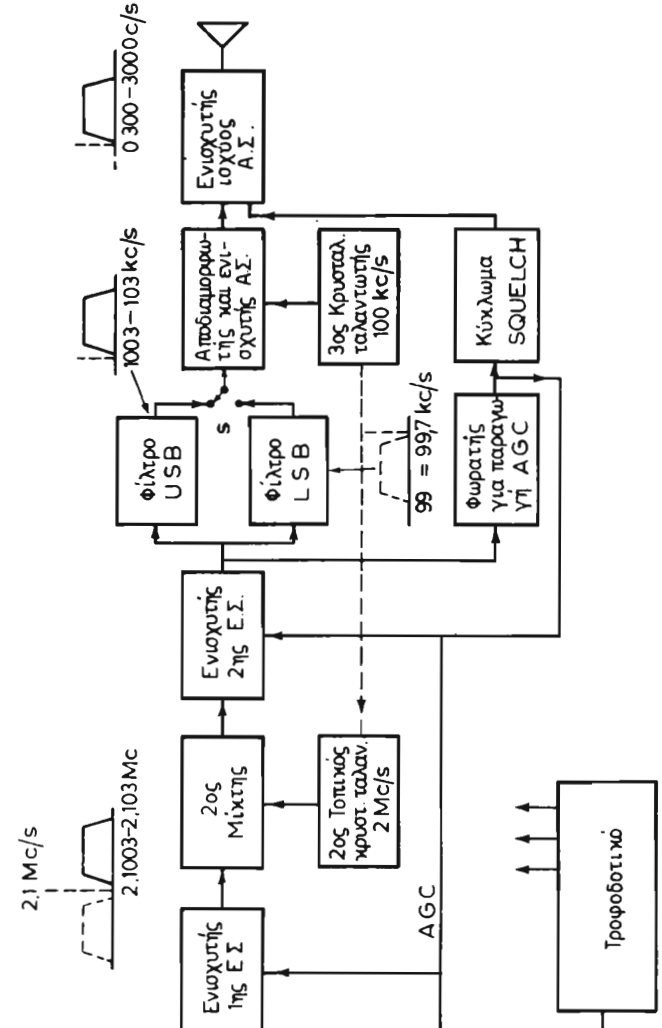
Η παραγόμενη πρώτη Ε.Σ.ενισχύεται από τον ενισχυτή Ε.Σ. και οδηγείται στο δεύτερο μίκτη, όπου οδηγείται και το σήμα του δεύτερου τοπικού ταλαντωτή που είναι κρυσταλλικός. Στο παράδειγμα, ο ταλαντωτής παράγει σήμα συχνότητας 2 Mc. Αυτός ο ταλαντωτής μπορεί να οδηγείται από το σταθερό κρυσταλικό ταλαντωτή των 100 kc/s.

Το σήμα εξόδου από το δεύτερο μίκτη είναι η δεύτερη Ε.Σ. με συχνότητα 100 kc/s $\pm$ 3 kc και οδηγείται στον ενισχυτή της δεύτερης Ε.Σ. για ενίσχυση. Από τον ενισχυτή Ε.Σ., ένα μέρος του σήματος οδηγείται στον ενισχυτή και φωρατή AGC για την παραγωγή της τάσεως AGC. Το ίδιο σήμα Ε.Σ. οδηγείται στα δύο φίλτρα ζώνης συχνοτήτων,για την επιλογή της άνω ή της κάτω πλευρικής ζώνης. Η επιλογή γίνεται με το δικακόπτη S. Στο παράδειγμα επιλέγεται η άνω πλευρική ζώνη περιοχής από 100,3-103 kc/s.

Η μιά πλευρική ζώνη οδηγείται στον αποδιαμορφωτή που είναι μια βαθμίδα μίξεως. Σ' αυτή τη βαθμίδα οδηγείται και το σήμα του σταθερού κρυσταλλικού ταλαντωτή των 100 kc/s που είναι το σήμα του φέροντος, το οποίο προστίθεται τώρα, ενώ στον πομπό είχε αφαιρεθεί. Το αποτέλεσμα της μίξεως θα είναι η διαφορά των δύο Υ.Σ. που θα είναι η περιοχή ακουστικών συχνοτήτων από 300 μέχρι 3000 c/s. Το κύκλωμα του μίκτη και αποδιαμορφωτή SSB φαίνεται στο σχήμα 9.6β και είναι με πενταοδική λυχνία.

Το σήμα Ε.Σ (100-103 kc/s) οδηγείται στο πρώτο πλέγμα, ενώ το σήμα του ταλαντωτή (100 kc/s) οδηγείται στο πλέγμα αναστολής. Το ανοδικό ρεύμα ρυθμίζεται με την επίδραση των δύο συχνοτήτων. Έτσι στην έξοδο μπορεί να εμφανισθεί το άθροισμα και η διαφορά των δύο Υ.Σ. Με το φίλτρο διελεύσεως Α.Σ. που υπάρχει στην άνοδο, οι Υ.Σ. απορρίπτονται και αναδεικνύεται η Α.Σ., η οποία εμφανίζεται ενισχυμένη στην αντίσταση φόρτου R_A.

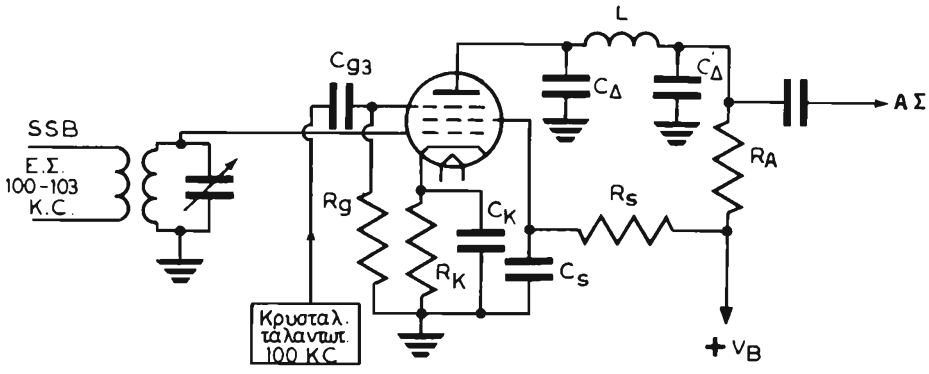
Η Υ.Σ. των 100 kc/s διαρρέει από τους πυκνωτές C_Δ και C'_Δ, ενώ το πηνίο L



Σχ. 9.6α.
Βασικό διάγραμμα δέκτη SSB.

δεν επιτρέπει τη διέλευσή της. Έτσι στην έξοδο εμφανίζεται μόνο η Α.Σ., η οποία οδηγείται στη συνέχεια στον ενισχυτή ισχύος Α.Σ., μέσω ποτενσιομετρικής συνδέσεως για τη ρύθμιση της εντάσεως του ήχου.

Στον ενισχυτή ισχύος (σχ. 9.6α) επιδρά και το κύκλωμα φιμώσεως (Squelch) για τον περιορισμό του θορύβου. Το Squelch ρυθμίζεται από την τάση του AGC, όπως αναφέρθηκε ήδη στην παράγραφο 7.9(ζ). Η τάση AGC ρυθμίζει και την ενισχυτικότητα του ενισχυτή Υ.Σ., του ενισχυτή 1ης και 2ης Ε.Σ. Το τροφοδοτικό δίνει τα απαιτούμενα δυναμικά για τη λειτουργία του δέκτη.



Σχ. 9.6β.
Κύκλωμα αποδιαμορφώσεως σήματος SSB.

9.7 Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα του συστήματος SSB.

Στην εισαγωγή του κεφαλαίου αναφέρθηκε το μεγάλο πλεονέκτημα του συστήματος SSB ότι δηλαδή στην περιοχή των βραχέων μπορεί με αυτό να λειτουργήσει διπλάσιος αριθμός σταθμών από ό,τι με AM και πολλαπλάσιος αριθμός από ό,τι με το FM.

Η τάση φέροντος σε ένα AM είναι Ε και στην περίπτωση διαμορφώσεως 100% φθάνει από κορυφή σε κορυφή την τιμή 2Ε. Στην περίπτωση του SSB η τάση αυτή φθάνει τη μέγιστη τιμή 0,707 Ε. Από αυτό έχομε κέρδος στα μονωτικά της κεραίας, που τώρα μπορεί να είναι ελαφρότερης κατασκευής. Επίσης, αν η ολική ισχύς του AM με τάση Ε είναι Ρ, η ισχύς του SSB με τάση 0,707 Ε είναι 0,5 Ρ (βάττ).

Αν ένας δέκτης AM έχει στην είσοδό του θόρυβο ισχύος P_θ που δημιουργείται με όλο το φάσμα των συχνοτήτων, σε δέκτη SSB ο θόρυβος που παράγεται από τη μιά πλευρική ζώνη θα έχει τη μισή ισχύ. Τελικά αποδεικνύεται ότι στο δέκτη SSB ο λόγος σήματος προς θόρυβο είναι βελτιωμένος. Για ραδιοεπικοινωνία σε AM για μια απόσταση Α, έχομε στο δέκτη τον ίδιο λόγο σήματος προς θόρυβο που έχομε σε δέκτη SSB, για την ίδια απόσταση και για ισχύ του πομπού SSB ίση με τη μισή ισχύ του πομπού AM. Επομένως για επικοινωνία σε SSB στην ίδια απόσταση χρησιμοποιούμε πομπό με ολική ισχύ ίση με τη μισή ολική ισχύ ενός πομπού AM.

Η παραμόρφωση που μπορεί να υποστεί το σήμα SSB κατά τη διαδρομή του είναι μικρότερη από όση μπορεί να υποστεί το AM. Στο AM είναι δυνατό να παρουσιασθεί παραμόρφωση φάσεως ή πλάτους στο φέρον και διαφορετική παραμόρ-

φωση στις δύο πλευρικές, με αποτέλεσμα την αύξηση της ολικής παραμορφώσεως. Στο SSB η παραμόρφωση θα είναι μόνο στη μια πλευρική ζώνη οπότε θα είναι πολύ μικρότερη από ότι στο AM.

Όταν οι καιρικές συνθήκες είναι κακές κατά τη διάδοση των κυμάτων, το SSB πλεονεκτεί σε σύγκριση με το AM, γιατί η επίδραση των καιρικών συνθηκών είναι σε όλο το φάσμα εκπεμπόμενων συχνοτήτων στο AM, ενώ στο SSB η επίδραση είναι μόνο στη μια πλευρική χωρίς το φέρον και επομένως μικρότερη.

Το SSB όμως έχει μεγάλο κόστος κατασκευής τόσο στον πομπό όσο και στο δέκτη, γιατί χρησιμοποιεί τα φίλτρα διελεύσεως ζώνης και πολύ καλής κατασκευής ταλαντωτές, για να παράγουν πολύ σταθερή συχνότητα. Κάθε ολίσθηση στη συχνότητα προκαλεί παραμόρφωση στο ακουστικό σήμα όταν γίνεται η αποδιαμορφωση.

Σε πολλές ραδιοεπικοινωνίες SSB εκπέμπεται και μικρό ποσοστό από το φέρον για να είναι καλύτερη η λήψη.

Στο σύστημα SSB η εκπομπή και λήψη γίνεται στις παρακάτω μορφές:

α) Απλή πλευρική ζώνη με πλήρες το φέρον	A3H
β) Απλή πλευρική ζώνη με υποβιβασμένο το φέρον	A3A
γ) Απλή πλευρική ζώνη χωρίς φέρον	A3J
δ) Δύο ανεξάρτητες πλευρικές ζώνες χωρίς φέρον	A3B
ε) Μια πλευρική ζώνη με τμήμα της άλλης πλευρικής	A3C

Στις μορφές εκπομπής (α) και (β) η λήψη του σήματος SSB μπορεί να γίνει και από δέκτη σημάτων AM, ενώ στις άλλες η λήψη γίνεται μόνο από αντίστοιχο δέκτη SSB. Αν ένας δέκτης σημάτων AM λάβει σήματα της μορφής (γ) ή (δ) στην έξοδο παράγει ήχο ακατανόητο.

Με κατάλληλες αλλαγές στις βαθμίδες λειτουργίας του ένας δέκτης μπορεί να μετατρέπεται για τη λήψη σημάτων AM ή CW ή SSB, όπως φαίνεται στο σχήμα 10.21γ.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΔΕΚΑΤΟ

ΚΡΥΣΤΑΛΛΟΛΥΧΝΙΕΣ (TRANSISTORS)

10.1 Γενικά.

Στο δεύτερο κεφάλαιο είχαμε γνωρίσει τις λυχνίες και τη λειτουργία τους και στα επόμενα κεφάλαια τις εφαρμογές τους στις ηλεκτρονικές συσκευές. Στο κεφάλαιο αυτό θα γνωρίσομε την κατασκευή, τη λειτουργία και τις εφαρμογές των κρυσταλλολυχνιών που λέγονται και ***τρανζίστορ.*** Η λέξη Transistor είναι σύνθετη από τις λέξεις transfer καί resistor (μεταφορά αντιστάσεως).

Οι κρυσταλλολυχνίες χρησιμοποιούνται στις σύγχρονες ηλεκτρονικές συσκευές, αλλά με την εφαρμογή των ολοκληρωμένων κυκλωμάτων περιορίζεται και η χρήση τους. Ένας σύγχρονος πομπός μπορεί να περιέχει απλές λυχνίες, κρυσταλλολυχνίες και ολοκληρωμένα κυκλώματα σε αρμονική συνεργασία.

Οι κρυσταλλολυχνίες είναι δίοδες και τρίοδες και χρησιμοποιούνται όπως και οι κοινές λυχνίες για ανόρθωση, ενίσχυση, ταλάντωση κλπ. με αντίστοιχα κυκλώματα.

Η κατασκευή και η λειτουργία τους διαφέρουν από την κατασκευή και τη λειτουργία των απλών λυχνιών. Στις λυχνίες είχαμε αγωγιμότητα από την κάθοδο στην άνοδο μέσω του κενού που υπήρχε στη λυχνία . Στην κρυσταλλολυχνία η άνοδος και η κάθοδος βρίσκονται σε επαφή. Η άνοδος και η κάθοδος είναι από διαφορετικά υλικά που ονομάζονται ημιαγωγοί τύπου P και τύπου N, από γερμάνιο ή πυρίτιο.

Οι κρυσταλλολυχνίες έχουν μικρό όγκο σε σύγκριση με τις λυχνίες και γι' αυτό οι συσκευές με κρυσταλλολυχνίες έχουν μικρότερο όγκο. Σε σύγκριση με τις λυχνίες πλεονεκτούν, γιατί δεν απαιτούν τάση θερμάνσεως και λειτουργούν με μικρά συνεχή δυναμικά τροφοδοσίας. Έχουν μεγαλύτερη μηχανική αντοχή και μεγαλύτερο χρόνο ζωής. Δεν μπορούν όμως να δώσουν πολύ μεγάλες ισχείς όπως οι λυχνίες.

Ανάλογα με τον τρόπο κατασκευής τους, το υλικό κατασκευής, την ισχύ τους, τη χρήση και τη συχνότητα λειτουργίας τους, χωρίζονται σε αντίστοιχες κατηγορίες.

Παρακάτω θα αναφερθεί περιληπτικά μέρος από την ηλεκτρονική θεωρία του στερεού σώματος, η κατασκευή των κρυσταλλοδιόδων και κρυσταλλοτριόδων και η εφαρμογή τους σε διάφορα κυκλώματα.

10.2 Στοιχεία από την ηλεκτρονική θεωρία του στερεού σώματος.

Στη φύση τα διάφορα σώματα βρίσκονται στις τρεις βασικές καταστάσεις, δηλαδή την υγρή, τη στερεά και την αέρια. Στην ηλεκτρονική το μεγαλύτερο ενδιαφέρον παρουσιάζουν τα στερεά σώματα, τα οποία χωρίζονται σε δύο μεγάλες κατη-

ΙΔΡΥΜΑ ΕΥΓΕΝΙΔΟΥ 1956

γορίες, τους αγωγούς και τα μονωτικά. Μεταξύ αυτών υπάρχει επίσης και η κατηγορία των ημιαγωγών, με τους οποίους θα ασχοληθούμε παρακάτω.

Όπως είναι γνωστό από τη φυσική, η ύλη συγκροτείται από τα άτομα. Το άτομο αποτελείται από τον πυρήνα, ο οποίος έχει πρωτόνια και νετρόνια και φέρει θετικό φορτίο. Γύρω από αυτόν περιστρέφονται τα ηλεκτρόνια, τα οποία φέρουν αρνητικό φορτίο. Ο αριθμός των πρωτονίων είναι ίσος με τον αριθμό των ηλεκτρονίων και το θετικό φορτίο του πυρήνα ίσο και αντίθετο με το ολικό φορτίο των ηλεκτρονίων. Ο αριθμός των πρωτονίων καθορίζει τον ατομικό αριθμό Z του στοιχείου.

Η περιστροφή των ηλεκτρονίων γύρω από τον πυρήνα γίνεται σε καθορισμένες τροχιές ή στιβάδες, που χαρακτηρίζονται με τα γράμματα K, L, M, N, O, P, Q. Η πρώτη στιβάδα, που βρίσκεται πιο κοντά στον πυρήνα είναι η K, η δεύτερη είναι η L κ.ο.κ. Ο αριθμός των ηλεκτρονίων που υπάρχουν σε κάθε στιβάδα δίνεται από τη σχέση $2 \cdot v^2$ και όπου v ο αριθμός σειράς της στιβάδας. Στην πρώτη στιβάδα θα υπάρχουν συνεπώς $2 \cdot 1^2 = 2$ ηλεκτρόνια. Στη δεύτερη $2 \cdot 2^2 = 8$ ηλεκτρόνια. Στην τρίτη $2 \cdot 3^2 = 18$ ηλεκτρόνια κ.ο.κ.

Η σχέση $2 \cdot v^2$ δεν ισχύει βέβαια για όλα τα άτομα ακριβώς. Ο άνθρακας π.χ. στην πρώτη στιβάδα έχει 2 ηλεκτρόνια ενώ στη δεύτερη έχει 4. Το πυρίτιο διαθέτει τρεις στιβάδες, με 2 ηλεκτράνια στην πρώτη, 8 στη δεύτερη και 4 στην τρίτη. Το γερμάνιο διαθέτει τέσσερις στιβάδες, με 2 ηλεκτρόνια στην πρώτη, 8 στη δεύτερη, 18 στην τρίτη και 4 στην τέταρτη.

Από όλες τις στιβάδες των ηλεκτρονίων ενός ατόμου, εκείνη που παρουσιάζει το μεγαλύτερο ενδιαφέρον είναι η πιό έξω, γιατί από αυτήν εξαρτώνται οι χημικές ιδιότητες του ατόμου. Η πιό έξω αυτή στιβάδα ονομάζεται ***στιβάδα σθένους*** και τα ηλεκτρόνια που βρίσκονται σ' αυτήν ***ηλεκτρόνια σθένους.*** Από τον αριθμό των ηλεκτρονίων που υπάρχουν στη στιβάδα σθένους παίρνει και την ονομασία το υλικό. Έτσι έχομε δισθενή στοιχεία, με δύο ηλεκτρόνια σθένους, τα τρισθενή με τρία, τα τετρασθενή, πεντασθενή κλπ.

α) Ενεργειακές στάθμες και ενεργειακές ζώνες.

Σύμφωνα με τη θεωρία του Bohr, τα ηλεκτρόνια κινούνται πάνω σε καθορισμένες τροχιές που είναι οι στιβάδες που αναφέρθηκαν. Στα ηλεκτρόνια που περιστρέφονται ενεργούν δύο δυνάμεις. Η μία είναι η ελκτική δύναμη που εξασκείται μεταξύ του αρνητικού ηλεκτρονίου και του θετικού πυρήνα και δίνεται από το νόμο του Coulomb:

$$F_1 = \frac{Q_1 \cdot Q_2}{d^2} \qquad \text{ή} \qquad F_1 = \frac{Z \cdot e^2}{r^2} \tag{10.1}$$

όπου d η απόσταση μεταξύ των δύο φορτίων Q_1 και Q_2 ή r η ακτίνα της τροχιάς του ηλεκτρονίου από τον πυρήνα, Z ο ατομικός αριθμός του υλικού και e το φορτίο του ηλεκτρονίου ($1{,}6 \cdot 10^{-19}$ C). Η άλλη δύναμη είναι η φυγόκεντρη δύναμη του ηλεκτρονίου κατά την περιστροφή του και δίνεται από τη σχέση:

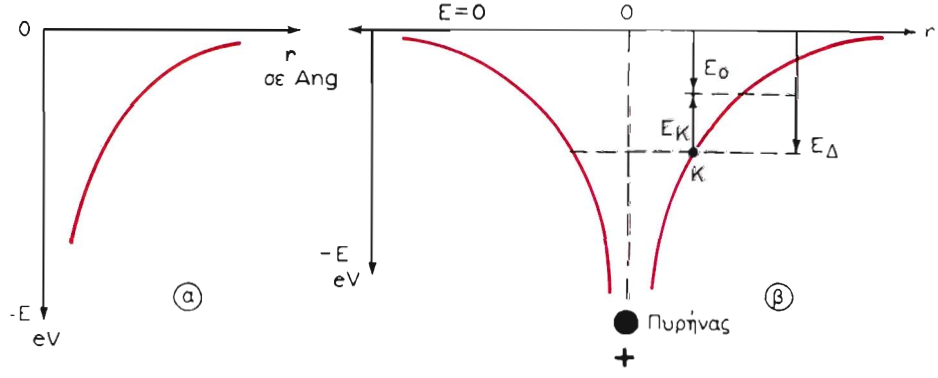
$$F_2 = \frac{m \cdot V^2}{r} \tag{10.2}$$

όπου m η μάζα του ηλεκτρονίου, V η ταχύτητα περιστροφής του και r η ακτίνα της τροχιάς του. Οι δύο αυτές δυνάμεις είναι ίσες και αντίθετες και το ηλεκτρόνιο μπορεί να περιστρέφεται συνέχεια.

Με την εφαρμογή των δύο δυνάμεων F_1 και F_2, σε κάθε ηλεκτρόνιο αντιστοιχεί μία ολική ενέργεια $E_{ολ}$ που είναι το άθροισμα της κινητικής του ενέργειας $E_κ$, λόγω περιστροφής, και της δυναμικής του ενέργειας $E_Δ$, λόγω της έλξεως μεταξύ πυρήνα και ηλεκτρονίου. Η κινητική του ενέργεια είναι η μισή από τη δυναμική του. Έτσι η ολική ενέργεια είναι αρνητική και η μισή από τή δυναμική του, γιατί $E_κ = mV^2/2$ και $E_Δ = -Ze^2/r$, όπως φαίνεται και στο σχήμα 10.2α(β) για ένα ηλεκτρόνιο που βρίσκεται στη θέση Κ.

Η ολική ενέργεια του κάθε ηλεκτρονίου είναι καθορισμένη και εξαρτάται από την απόσταση που έχει το ηλεκτρόνιο από τον πυρήνα, δηλαδή από την ακτίνα r της τροχιάς του. Η κάθε τροχιά επομένως βρίσκεται σε μία καθορισμένη ***στάθμη ενέργειας E*** ($E = E_κ + E_Δ$), η οποία είναι ακέραιο πολλαπλάσιο του hV (όπου h η σταθερά του Planck και V ή συχνότητα περιστροφής του ηλεκτρονίου).

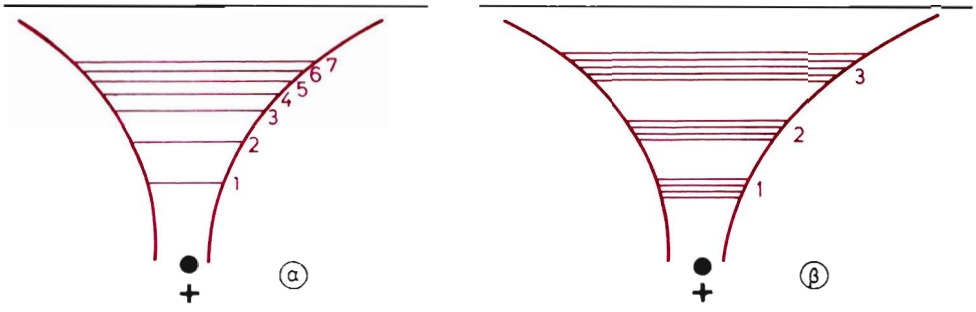
Μπορούμε να χαράξομε την καμπύλη της στάθμης ενέργειας ενός ηλεκτρονίου ή μιας στιβάδας, σε συνάρτηση με την απόσταση r από τον πυρήνα [σχ. 10.2α(α)]. Η καμπύλη αυτή είναι μία υπερβολή, η οποία, αν φαντασθούμε ότι περιστρέφεται γύρω από τον άξονα y σχηματίζει ένα χωνί που ονομάζομε ***φρέαρ δυναμικού*** [σχ. 10.2α(β)]. Στη βάση του φρέατος βρίσκεται ο πυρήνας, ο οποίος, με το θετικό του δυναμικό εξασκεί τις ελκτικές δυνάμεις στα ηλεκτρόνια, και στην κορυφή του φρέατος βρίσκεται η στάθμη 0. Οι ενεργειακές στάθμες θεωρούνται αρνητικές. Ο άξονας των x βαθμολογείται σε μονάδες Ångstrom (10^{-8} cm) καί ο άξονας των y σε eV (ηλεκτρονιοβόλτ $1eV = 1{,}6 \cdot 10^{-19}$ joule).



Σχ. 10.2α.
Φρέαρ δυναμικού.

Για ένα άτομο που βρίσκεται ελεύθερο στο χώρο μακριά από άλλα άτομα, παρουσιάζονται οι καθορισμένες στάθμες ενέργειας μέσα στο φρέαρ δυναμικού που αντιστοιχούν στις καθορισμένες τροχιές των ηλεκτρονίων, όπως φαίνεται στο σχήμα 10.2β(α). Τη μεγαλύτερη ενέργεια έχουν τα ηλεκτρόνια που βρίσκονται στον πυθμένα του φρέατος, επειδή βρίσκονται κοντά στον πυρήνα. Τα ηλεκτρόνια σθένους βρίσκονται στο άνοιγμα του φρέατος και έχουν τη μικρότερη ενέργεια.

Για ένα αριθμό ατόμων που βρίσκονται μονωμένα στο χώρο, οι καθορισμένες τροχιές των ηλεκτρονίων του βρίσκονται στην ίδια στάθμη ενέργειας, γιατί έλκονται μόνο από το δικό τους πυρήνα. Όταν όμως τα άτομα βρίσκονται στο στερεό σώμα στη φυσική τους κατάσταση, δηλαδή το ένα κοντά στο άλλο, τότε οι καθορι-

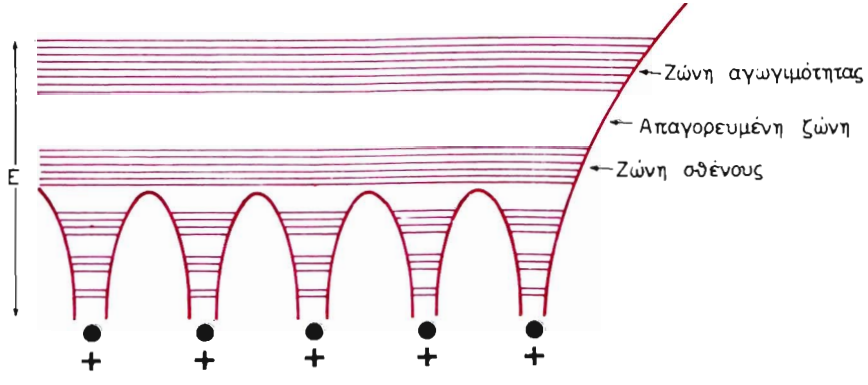


Σχ. 10.2β.
Στάθμες ενέργειας και ζώνες ενέργειας.

σμένες ενεργειακές στάθμες μεταβάλλονται. Αυτό συμβαίνει επειδή τα ηλεκτρόνια σθένους καθώς και τα ηλεκτρόνια των άλλων στιβάδων δέχονται την επίδραση των δυνάμεων των γειτονικών τους ατόμων. Με την επίδραση αυτή μεταβάλλονται οι στάθμες ενέργειας πάνω και κάτω από την αρχική τους τιμή, με αποτέλεσμα στη θέση μιας ενεργειακής στάθμης να σχηματίζεται ένα σύνολο από στάθμες που αποτελούν την ***ενεργειακή ζώνη.***

Οι ενεργειακές ζώνες έχουν μικρότερο πλάτος στον πυθμένα του φρέατος, γιατί επηρεάζονται λιγότερο από τα άλλα άτομα. Αντίθετα, στην κορυφή του φρέατος, όπου υπάρχουν τα ηλεκτρόνια σθένους, οι ζώνες ενέργειας έχουν μεγαλύτερο πλάτος, γιατί επηρεάζονται περισσότερο από τα άλλα άτομα. Στο σχήμα 10.2β(β) φαίνονται οι ενεργειακές ζώνες 1, 2, 3 που αντιστοιχούν στις στιβάδες K, L, M. Μεταξύ των ενεργειακών ζωνών υπάρχουν κενοί χώροι όπου δεν υπάρχουν ηλεκτρόνια. Οι χώροι αυτοί λέγονται ***χάσματα*** ή ***απαγορευμένες ζώνες.***

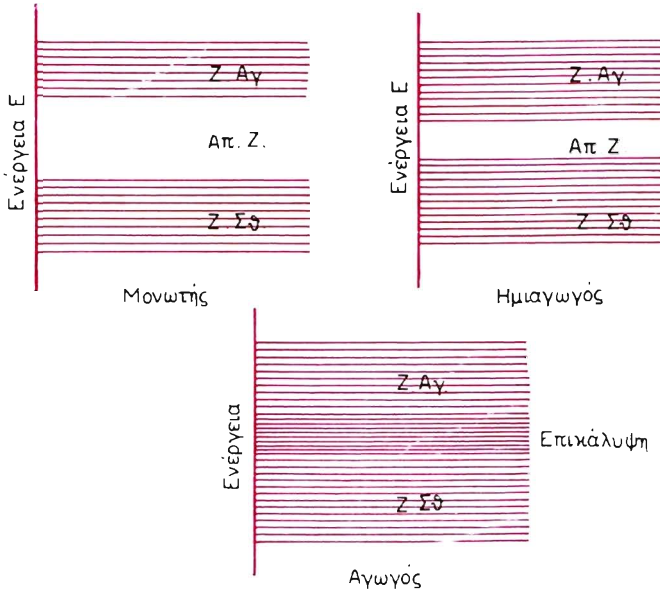
Στο στερεό σώμα, στη φυσική του κατάσταση, οι ενεργειακές ζώνες σχηματίζονται όπως δείχνει το σχήμα 10.2γ. Στην κορυφή των φρεάτων δυναμικού σχηματίζεται η ζώνη σθένους, που όπως αναφέρθηκε παρουσιάζει και το μεγαλύτερο ενδιαφέρον. Πάνω από αυτήν υπάρχει το χάσμα ή η απαγορευμένη ζώνη, όπου δεν υπάρχουν ηλεκτρόνια και πάνω και από την απαγορευμένη ζώνη βρίσκεται η ζώνη αγωγιμότητας, όπου υπάρχουν τα ελεύθερα ηλεκτρόνια.



Σχ. 10.2γ.
Οι ζώνες αγωγιμότητας, απαγορευμένη και σθένους.

Το πλάτος της απαγορευμένης ζώνης καθορίζει αν ένα υλικό είναι αγωγός, μονωτικό ή ημιαγωγός. Όσο μεγαλύτερο πλάτος υπάρχει, το οποίο αντιστοιχεί σε μεγαλύτερη ενέργεια, τόσο καλύτερο μονωτικό είναι το υλικό, επειδή τα ηλεκτρόνια, για να μεταβούν από τη ζώνη σθένους στη ζώνη αγωγιμότητας, πρέπει να προσλάβουν ενέργεια.

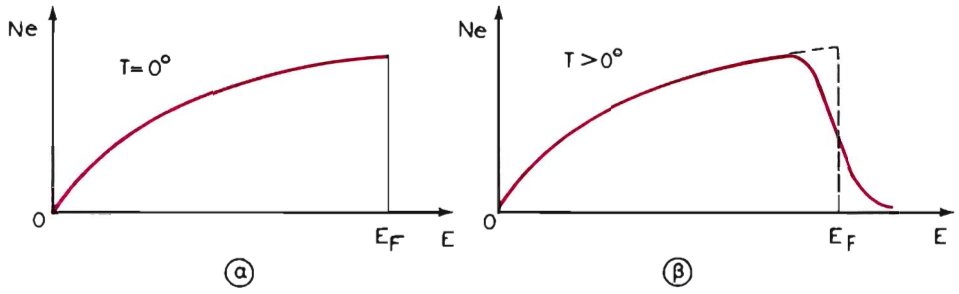
Στο σχήμα 10.2δ παρατηρούμε το πλάτος της απαγορευμένης ζώνης στο μονωτικό, στον ημιαγωγό και στον αγωγό. Στο μονωτικό το πλάτος είναι μεγάλο και για το διαμάντι φθάνει το 6 eV για θερμοκρασία 30°C περίπου. Έτσι, για να μεταφερθούν τα ηλεκτρόνια από τη ζώνη σθένους στη ζώνη αγωγιμότητας, απαιτούν μεγάλη ενέργεια σε μορφή θερμότητας ή με εφαρμογή ισχυρού ηλεκτρικού πεδίου.



Σχ. 10.2δ.
Διάγραμμα ενεργειακών ζωνών σε μονωτή, ημιαγωγό, αγωγό.

Στον ημιαγωγό το πλάτος της απαγορευμένης ζώνης είναι μικρότερο και για το πυρίτιο είναι 1,12 eV, ενώ για το γερμάνιο 0,72 eV. Έτσι τα ηλεκτρόνια με μικρή ενέργεια μεταφέρονται από τη ζώνη σθένους στη ζώνη αγωγιμότητας και ο ημιαγωγός συμπεριφέρεται ως αγωγός με μεγάλη βέβαια ειδική αντίσταση. Στον αγωγό παρατηρούμε ότι δεν υπάρχει απαγορευμένη ζώνη, αλλά η ζώνη αγωγιμότητας επικαλύπτει τη ζώνη σθένους. Με την κατάσταση αυτή τα ηλεκτρόνια μεταφέρονται χωρίς εξωτερική ενέργεια από τη ζώνη σθένους στη ζώνη αγωγιμότητας και δημιουργούνται τα ελεύθερα ηλεκτρόνια. Σε μερικούς αγωγούς με μεγάλη ειδική αντίσταση, η απαγορευμένη ζώνη μπορεί να έχει μικρό πλάτος που αντιστοιχεί σε ενέργεια 0,005 μέχρι 0,1 eV περίπου.

Από τη θεωρία της αγωγιμότητας των μετάλλων και τη στατιστική Fermi-Dirac, τα ηλεκτρόνια της εξωτερικής στιβάδας βρίσκονται σε διάφορες ενεργειακές καταστάσεις. Για να καταλάβουν τις ενεργειακές αυτές καταστάσεις, πρέπει να προσφέρονται οι αντίστοιχες κενές θέσεις μέσα στο σώμα, ώστε να γίνει η αντίστοιχη κατάληψη.



Σχ. 10.2ε.
Κατανομή των ελευθέρων ηλεκτρονίων κατά FERMI, ανάλογα με την κίνητική τους ενέργεια Ε.

Σε ένα σώμα στη θερμοκρασία του απόλυτου μηδενός (T = 0°), τα ηλεκτρόνια έχουν διάφορες κινητικές ενέργειες, οι οποίες κατανέμονται από το μηδέν (0) μέχρι μία μέγιστη τιμή που ονομάζεται ***ενέργεια Fermi.*** Την κατανομή αυτή δείχνει το σχήμα 10.2ε(α) από το οποίο φαίνεται ότι κανένα ηλεκτρόνιο δεν έχει μεγαλύτερη ενέργεια από τη στάθμη Fermi E_F .

Σε μία μεγαλύτερη θερμοκρασία από το 0 η μεταβολή της κατανομής είναι ελάχιστη. Τα περισσότερα ηλεκτρόνια βρίσκονται στην ίδια ενεργειακή στάθμη και μόνο λίγα ξεπερνούν τη στάθμη Fermi αποκτώντας μεγαλύτερη ενέργεια. Τα ηλεκτρόνια αυτά μεταφέρονται από την προηγούμενη θέση τους (ενεργειακή στάθμη) σε μία άλλη λίγο μεγαλύτερη από την E_F, όπως φαίνεται και στο σχήμα 10.2ε(β).

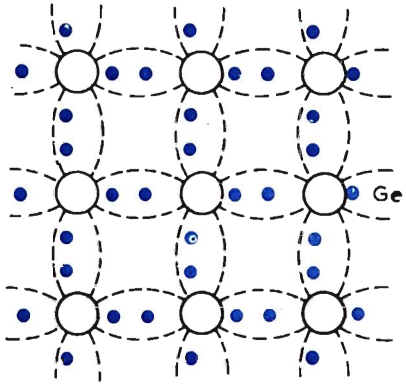
β) Κρυσταλλική δομή του στερεού σώματος.

Μεταξύ των μορίων και των ατόμων κάθε σώματος αναπτύσσονται δυνάμεις συνοχής. Στα υγρά και στα αέρια οι δυνάμεις συνοχής είναι μικρότερες από αυτές που αναπτύσσονται στα στερεά σώματα. Τα στερεά σώματα χωρίζονται σε δύο ομάδες, ως προς την αρχή συγκρότησεως του σώματος. Στην πρώτη ομάδα ανήκουν τα σώματα στα οποία τα μόρια ή τα άτομα είναι τοποθετημένα σε τυχαίες θέσεις και λέγονται ***άμορφα στερεά*** (όπως είναι π.χ., το γυαλί κλπ.) και στη δεύτερη τα σώματα στα οποία τα μόρια ή τα άτομα είναι τοποθετημένα με τάξη σε ορισμένες θέσεις και λέγονται ***κρυσταλλικά στερεά*** (όπως είναι π.χ. το γερμάνιο, το πυρίτιο κλπ.).

Οι δεσμοί που αναπτύσσονται μεταξύ των μορίων ή των ατόμων στα κρυσταλλικά σώματα μπορεί να είναι ιοντικοί, ομοιοπολικοί ή και συνδυασμός αυτών. Ο ιοντικός δεσμός σχηματίζεται π.χ. στο ClNa με τη μετακίνηση του ενός ηλεκτρονίου σθένους του νατρίου στο χλώριο και τη δημιουργία θετικού και αρνητικού ιόντος.

Στους ομοιοπολικούς δεσμούς, με τους οποίους σχηματίζεται και το κρυσταλλικό πλέγμα του γερμανίου, τα ηλεκτρόνια σθένους ενός ατόμου μπορεί να ανήκουν και σε γειτονικά άτομα. Για να είναι συμπληρωμένη η στιβάδα σθένους, πρέπει να περιέχει οκτώ ηλεκτρόνια. Έτσι το άτομο του γερμανίου «δανείζεται» τέσσερα ηλεκτρόνια από τέσσερα γειτονικά του άτομα και «δανείζει» τα τέσσερα δικά του ηλεκτρόνια σε άλλα τέσσερα γειτονικά του άτομα.

Με αυτό τον τρόπο σχηματίζεται το κρυσταλλικό πλέγμα, το οποίο εκτείνεται σε



Σχ. 10.2στ.
Επίπεδη παράσταση του κρυστάλλου γερμανίου.

όλο το στερεό σώμα και αποτελείται από μικρές κυψελίδες που έχουν τη μορφή τετράεδρου. Στο σχήμα 10.2στ φαίνεται η κρυσταλλική δομή του γερμανίου και του πυριτίου στο επίπεδο. Οι μικροί κύκλοι είναι τα άτομα του γερμανίου και οι κουκίδες τα ηλεκτρόνια σθένους που δημιουργούν τους ομοιοπολικούς δεσμούς.

10.3 Καθαροί ημιαγωγοί.

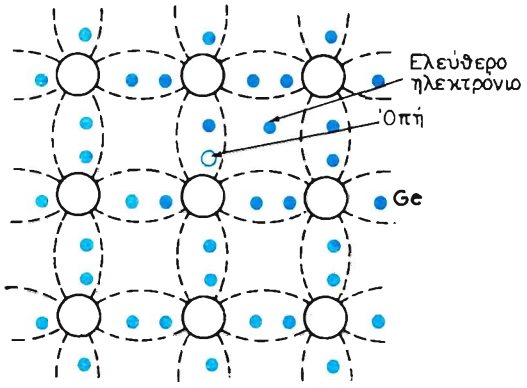
Οι ημιαγωγοί (semiconductors) που χρησιμοποιούνται για τη κατασκευή των τρανζίστορ είναι κυρίως το γερμάνιο (Ge) και το πυρίτιο (Si), τα οποία, όπως αναφέρθηκε, είναι τετρασθενή στοιχεία. Αυτά τα δύο υλικά, για να χρησιμοποιηθούν στην κατασκευή των τρανζίστορ, πρέπει να έχουν μεγάλη καθαρότητα, να είναι δηλαδή χημικώς καθαρά. Δεν πρέπει να έχουν ένα ξένο άτομο σε ένα τρισεκατομμύριο ατόμων γερμανίου ή πυριτίου. Τα ξένα άτομα δημιουργούν προβλήματα στη λειτουργία των τρανζίστορ, γιατί αυξάνουν παρασιτικά την αγωγιμότητα του ημιαγωγού.

Οι καθαροί ημιαγωγοί σε χαμηλή θερμοκρασία, κάτω των 10°C, παρουσιάζουν μηδενική αγωγιμότητα. Σε μεγαλύτερη θερμοκρασία παρουσιάζουν μία μικρή αγωγιμότητα η οποία λέγεται ***ενδογενής*** ή ***αυτοτελής αγωγιμότητα.***

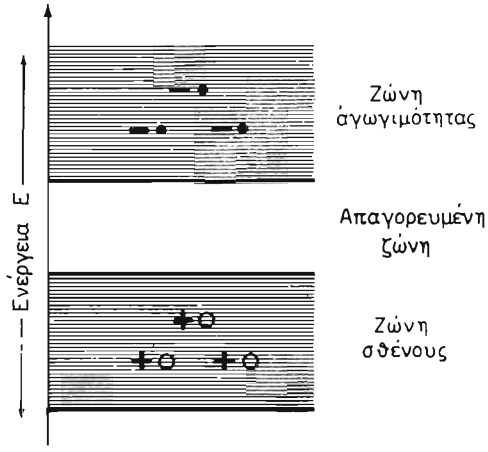
Στη θερμοκρασία περιβάλλοντος προσφέρεται μία μικρή ενέργεια υπό μορφή θερμότητας, που για το γερμάνιο αντιστοιχεί σε 0,72 eV και για το πυρίτιο σε 1,12 eV. Σ' αυτή τη θερμοκρασία μερικά ηλεκτρόνια μετακινούνται από τη ζώνη σθένους στη ζώνη αγωγιμότητας περνώντας την απαγορευμένη ζώνη.

Στη θέση του δεσμού από την οποία έφυγε το ηλεκτρόνιο μένει μία κενή θέση που ονομάζεται ***οπή.*** Έτσι το άτομο που έχασε το ηλεκτρόνιο μετατρέπεται σε θετικό ιόν και εξασκεί έλξη σε ένα άλλο ηλεκτρόνιο από γειτονικό του άτομο. Όταν το ηλεκτρόνιο καλύψει την οπή, λέμε ότι γίνεται ***επανασύνδεση.*** Στη συνέχεια μία νέα οπή σχηματίζεται με τη μετακίνηση του ηλεκτρονίου, η οποία καλύπτεται από ένα άλλο ηλεκτρόνιο. Με αυτό τον τρόπο σχηματίζεται μία μετακίνηση φορέων που είναι τα ηλεκτρόνια και οι οπές και δημιουργείται η ενδογενής αγωγιμότητα.

Στο σχήμα 10.3α φαίνεται η κρυσταλλική δομή του γερμανίου, η μετακίνηση του ηλεκτρονίου στη θέση αγωγιμότητας και η δημιουργία της οπής. Στο σχήμα



Σχ. 10.3α.
Οπή και ηλεκτρόνιο στο κρυσταλλικό πλέγμα.



Σχ. 10.3β.
Ενεργειακές ζώνες σε ενδογενή αγωγιμότητα.

10.3β φαίνεται το διάγραμμα των ενεργειακών ζωνών, η μετακίνηση των ηλεκτρονίων στη ζώνη αγωγιμότητας και η δημιουργία των θετικών ιόντων με τις οπές στη ζώνη σθένους. Όσο μεγαλύτερη γίνεται η θερμοκρασία του σώματος ή όσο μεγαλύτερη τάση εφαρμόζεται στις άκρες του σώματος, τόσο περισσότεροι φορείς αγωγιμότητας δημιουργούνται.

Η οπή μπορεί να θεωρηθεί σαν θετικά φορτισμένο σωμάτιο με ίσο και αντίθετο φορτίο από το φορτίο του ηλεκτρονίου. Σε κάθε στιγμή ο αριθμός των οπών μέσα στο σώμα είναι ίσος με τον αριθμό των ελεύθερων ηλεκτρονίων. Έχομε επομένως στους ημιαγωγούς δύο είδη φορέων: τα ηλεκτρόνια και τις οπές. Με την εφαρμογή εξωτερικής τάσεως οι φορείς έχουν προσανατολισμένη κίνηση και τα ηλεκτρόνια κινούνται αντίθετα από τις οπές.

10.4 Ημιαγωγοί με προσμίξεις.

Οι καθαροί ημιαγωγοί παρουσιάζουν όπως αναφέρθηκε ήδη, μικρή αγωγιμότητα η οποία αυξάνει με την αύξηση της θερμοκρασίας. Μπορούμε να αυξήσομε και να ρυθμίσομε την αγωγιμότητα του ημιαγωγού με την προσθήκη ξένων προσμίξεων στον καθαρό ημιαγωγό.

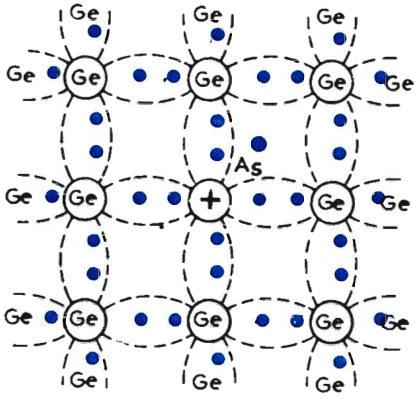
Τα υλικά προσμίξεων που χρησιμοποιούνται είναι δύο ειδών: τα τρισθενή υλικά και τα πεντασθενή υλικά. Τα τρισθενή είναι το γάλλιο (Ga), το ίνδιο (In), το αλουμίνιο (A). Τα πεντασθενή είναι το αρσενικό (As), ο φωσφόρος (P), το αντιμόνιο (Sb). Στην κατασκευή των τρανζίστορ χρησιμοποιούνται περισσότερο το τρισθενές ίνδιο και το πεντασθενές αρσενικό. Με την προσθήκη των προσμίξεων σχηματίζονται οι ημιαγωγοί τύπου P και οι ημιαγωγοί τύπου N.

α) Ημιαγωγοί τύπου N.

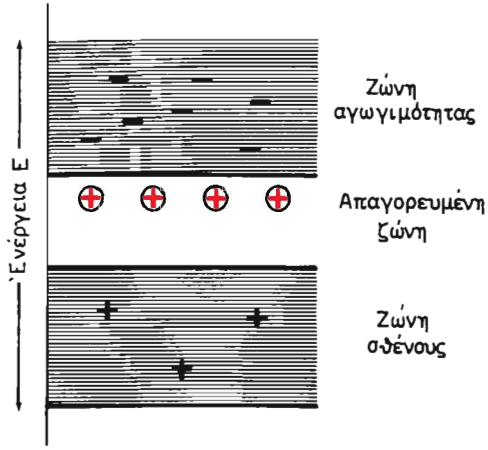
Αν προσθέσομε μικρή ποσότητα πεντασθενούς στοιχείου, π.χ. αρσενικού, στο καθαρό γερμάνιο ή πυρίτιο σχηματίζεται ο ημιαγωγός με προσμίξεις τύπου N. Η ποσότητα του αρσενικού είναι πολύ μικρή και αντιστοιχεί ένα άτομο αρσενικού σε ένα εκατομμύριο έως ένα δισεκατομμύριο ατόμων γερμανίου ή πυριτίου. Η ποσό-

τητα της προσμίξεως εξαρτάται από το είδος του ημιαγωγού που πρέπει να κατασκευασθεί.

Το άτομο του αρσενικού θα βρεθεί μέσα στο κρυσταλλικό πλέγμα του γερμανίου και τα τέσσερα από τα πέντε ηλεκτρόνια του σθένους του θα ενωθούν με ομοιοπολικούς δεσμούς με τα γειτονικά άτομα του γερμανίου. Έτσι, από το δεσμό περισσεύει ένα ηλεκτρόνιο το οποίο μεταφέρεται εύκολα στη ζώνη αγωγιμότητας και κινείται ελεύθερα [σχ. 10.4(α)]. Με τη φυγή του ηλεκτρονίου από το δεσμό του αρσενικού, το αρσενικό χάνοντας το ηλεκτρόνιο, μετατρέπεται σε θετικό ιόν και έλκει ένα ηλεκτρόνιο από ένα γειτονικό άτομο. Σχηματίζεται εκεί μία οπή, η οποία συμπληρώνεται από ένα άλλο ηλεκτρόνιο, και αρχίζει με τον τρόπο αυτό μία κίνηση φορέων με τυχαίες κατευθύνσεις. Κύριοι φορείς αγωγιμότητας είναι τα ηλεκτρόνια, αλλά υπάρχουν και δευτερεύοντες φορείς, που είναι οι οπές. Τα ηλεκτρόνια είναι περισσότερα από τις οπές. Το σώμα εξωτερικά είναι ουδέτερο, γιατί δεν πήρε και δεν έδωσε ηλεκτρόνια. Απλώς παρατηρείται η κίνηση φορέων μέσα στο ίδιο το σώμα.



Σχ. 10.4α.
Κρυσταλλική δομή ημιαγωγού τύπου Ν.



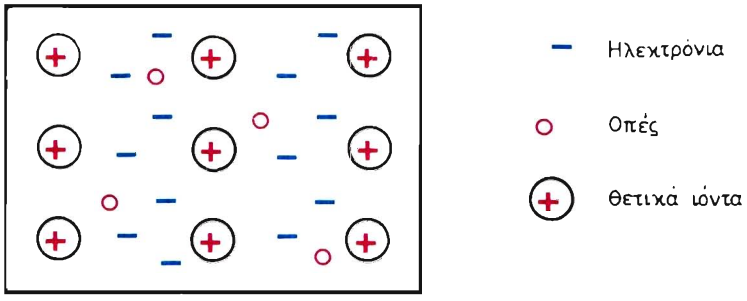
Σχ. 10.4β.
Ενεργειακές ζώνες ημιαγωγού τύπου Ν.

Επειδή οι κύριοι φορείς είναι τα ηλεκτρόνια που φέρουν αρνητικό φορτίο (negative), το υλικό με πεντασθενή πρόσμιξη λέγεται ***υλικό τύπου Ν.*** Και επειδή το υλικό προσμίξεως προσφέρει ηλεκτρόνια λέγεται ***δότης.***

Στο σχήμα 10.4β φαίνονται οι ενεργειακές ζώνες του υλικού τύπου Ν καθώς μεταβάλλονται με την προσθήκη του δότη. Τα ηλεκτρόνια του πεντασθενούς στοιχείου έχουν μεταφερθεί στη ζώνη αγωγιμότητας και τα θετικά ιόντα βρίσκονται στην απαγορευμένη ζώνη, με αποτέλεσμα να μειώνουν το χάσμα. Συγχρόνως στη ζώνη σθένους δημιουργούνται με διάσπαση δεσμών οπές και παρουσιάζονται πρόσθετα ηλεκτρόνια στη ζώνη αγωγιμότητας. Αυτά συμβαίνουν σε θερμοκρασία περιβάλλοντος 25°C περίπου.

Στο σχήμα 10.4γ φαίνεται παραστατικά ο ημιαγωγός τύπου Ν με τους φορείς αγωγιμότητας, ηλεκτρόνια και οπές και τα θετικά ιόντα.

Η ειδική αντίσταση του ημιαγωγού με προσμίξεις μεταβάλλεται με το ποσοστό της προσμίξεως. Έτσι, όσο μεγαλύτερο ποσοστό έχομε τόσο η ειδική αντίσταση



Σχ. 10.4γ.
Παράσταση υλικού τύπου Ν και των φορέων του.

του ημιαγωγού μικραίνει και η αγωγιμότητά του αυξάνει. Το ποσοστό των προσμίξεων καθορίζεται από το ποιά θα είναι η χρήση του ημιαγωγού, δηλαδή αν θα χρησιμοποιηθεί στην κατασκευή ανορθωτών, φωρατών, σταθεροποιητών τάσεως κλπ.

β) Ημιαγωγοί τύπου Ρ.

Στο καθαρό γερμάνιο ή πυρίτιο προσθέτομε τώρα, μικρή ποσότητα τρισθενούς στοιχείου π.χ. ινδίου, με αποτέλεσμα να σχηματισθεί ο ημιαγωγός προσμίξεων τύπου Ρ. Το ποσοστό της προσμίξεως είναι και στον ημιαγωγό αυτό πολύ μικρό.

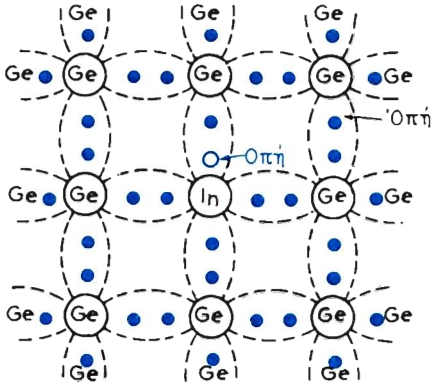
Το άτομο του ινδίου θα βρεθεί μέσα στο κρυσταλλικό πλέγμα του καθαρού γερμανίου και τα τρία ηλεκτρόνια σθένους θα ενωθούν με ομοιοπολικούς δεσμούς με αντίστοιχα γειτονικά άτομα του γερμανίου. Έτσι από τα οκτώ ηλεκτρόνια σθένους, λείπει ένα και στη θέση του υπάρχει μία κενή θέση μία οπή (σχ. 10.4δ). Η οπή έλκει ένα ηλεκτρόνιο από γειτονικό άτομο, για να συμπληρωθεί ο δεσμός με τα οκτώ ηλεκτρόνια.

Το άτομο του ινδίου μετατρέπεται με την παρουσία του πρόσθετου ηλεκτρονίου σε αρνητικό ιόν, ενώ συγχρόνως το άτομο του γερμονίου που έχασε το ηλεκτρόνιο μετατρέπεται σε θετικό ιόν και παρουσιάζει μία οπή. Αυτή η οπή θα συμπληρωθεί από ένα άλλο ηλεκτρόνιο άλλου ατόμου, θα δημιουργηθεί νέα οπή κ.ο.κ. Τα ηλεκτρόνια που συμπληρώνουν τις οπές προέρχονται από τη διάσπαση γειτονικών ομοιοπολικών δεσμών. Κύριοι φορείς αγωγιμότητας είναι οι οπές και δευτερεύοντες τα ηλεκτρόνια.

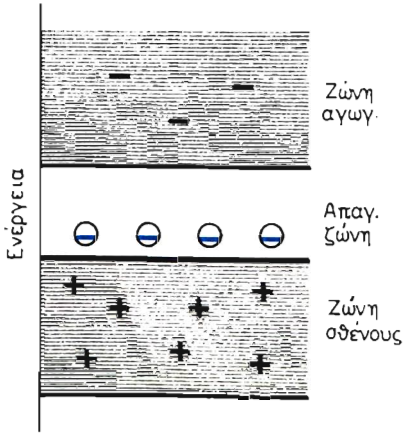
Με την ύπαρξη των οπών δημιουργείται μία κίνηση φορέων μέσα στον ημιαγωγό σε θερμοκρασία περιβάλοντος 25°C περίπου. Και εδώ το σώμα εξωτερικά φαίνεται ουδέτερο, γιατί δεν προσέλαβε ούτε έχασε ηλεκτρόνια, αλλά απλώς παρατηρείται κίνηση φορέων.

Οι κύριοι φορείς είναι οι οπές που αντιστοιχούν σε θετικό (positive) σωμάτιο και γι' αυτό το υλικό ονομάζεται ***υλικό τύπου Ρ.*** Επειδή το υλικό προσμίξεως λαμβάνει ηλεκτρόνια λέγεται ***λήπτης.***

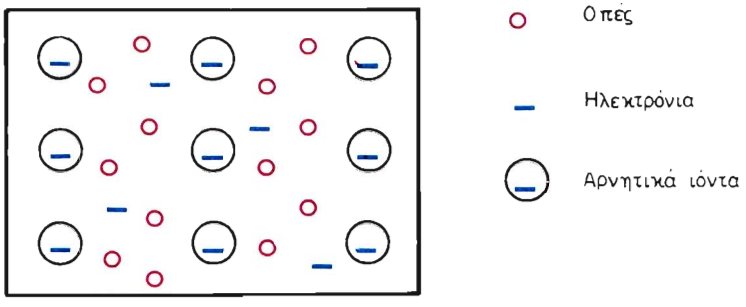
Οι ενεργειακές ζώνες του υλικού Ρ φαίνονται στο σχήμα 10.4ε. Στη ζώνη σθένους εμφανίζεται μεγάλος αριθμός οπών, ενώ στη ζώνη αγωγιμότητας μεταφέρονται τα κινούμενα ηλεκτρόνια που συμπληρώνουν τις οπές από τη διάσπαση των άλλων δεσμών. Στην απαγορευμένη ζώνη εμφανίζονται τα αρνητικά ιόντα που μειώνουν το πλάτος της απαγορευμένης ζώνης.



Σχ. 10.4δ.
Κρυσταλλική δομή ημιαγωγού τύπου Ρ.



Σχ. 10.4ε.
Ενεργειακές ζώνες ημιαγωγού τύπου Ρ.



Σχ. 10.4στ.
Παράσταση υλικού τύπου Ρ.

Στο σχήμα 10.4στ φαίνεται παραστατικά ο ημιαγωγός τύπου Ρ με τους φορείς αγωγιμότητας, οπές και ηλεκτρόνια και τα αρνητικά ιόντα.

γ) Ειδική αγωγιμότητα των ημιαγωγών.

Στους ημιαγωγούς παρουσιάζεται δύο ειδών αγωγιμότητα: η αγωγιμότητα ***από ολίσθηση*** τών φορέων και η αγωγιμότητα ***από διάχυση*** των φορέων. Στη θερμοκρασία του περιβάλλοντος έχομε μια συνεχή και ακατάστατη κίνηση των φορέων, οι οποίοι στατιστικά έχουν καθορισμένες διαδρομές και χρόνους διαδρομής. Με την εφαρμογή όμως μιας εξωτερικής τάσεως η κίνηση των φορέων προσανατολίζεται και τα ηλεκτρόνια κινούνται κατά την ορθή φορά, από το μείον (–) της πηγής προς το συν (+), ενώ οπές κινούνται αντίθετα, δηλαδή κατά τη συμβατική φορά από το συν (+) προς το μείον (–) της πηγής. Η αγωγιμότητα αυτή οφείλεται στην ***ολίσθηση*** των φορέων λόγω εξωτερικής τάσεως.

Η ένταση του ρεύματος μέσα στον ημιαγωγό καθορίζεται από την πυκνότητα των φορέων μέσα σ' αυτόν. Η πυκνότητα ρεύματος ηλεκτρονίων δίνεται από τη σχέση:

$$I_n = -\mu_n \cdot e \cdot \eta \cdot E \qquad (10.3)$$

όπου μ_n είναι η κινητικότητα των ηλεκτρονίων (mobility), η η πυκνότητά τους ανά m^3 και Ε η ένταση του ηλεκτρικού πεδίου. Το αρνητικό πρόσημο οφείλεται στο αρνητικό φορτίο του ηλεκτρονίου. Η πυκνότητα ρεύματος οπών δίνεται από τη σχέση:

$$I_p = \mu_p . e. p. E \qquad (10.4)$$

όπου μ_p η κινητικότητα των οπών, p η πυκνότητά τους και Ε η ένταση του ηλεκτρικού πεδίου. Η συνολική πυκνότητα των φορέων είναι:

$$I_{o\lambda} = I_n + I_p = (n . \mu_n + p . \mu_p) e . E \qquad (10.5)$$

Είναι φανερό ότι το υλικό τύπου Ν θα παρουσιάζει μεγαλύτερη πυκνότητα ηλεκτρονίων, ενώ στο υλικό τύπου Ρ θα έχομε μεγαλύτερη πυκνότητα οπών.

Στην περίπτωση της διαχύσεως των φορέων δεχόμαστε ότι μέσα στον ημιαγωγό δεν έχομε την ίδια πυκνότητα φορέων, αλλά στο ένα μέρος του ημιαγωγού, π.χ. στο μισό, παρουσιάζεται μεγαλύτερη πυκνότητα φορέων, ενώ στο άλλο μισό έχομε μικρότερη πυκνότητα. Έτσι θα παρατηρηθεί μια μετακίνηση φορέων από το μέρος όπου έχουν μεγάλη πυκνότητα προς το μέρος όπου έχουν μικρή. Η κίνηση αυτή των φορέων δημιουργεί την αγωγιμότητα ***λόγω διαχύσεως φορέων.*** Το ρεύμα διαχύσεως ορίζεται και μαθηματικά:

$$I_{D_p} = - eD_p \frac{dp}{dx} \qquad \text{όπου D = σταθερά διαχύσεως.}$$

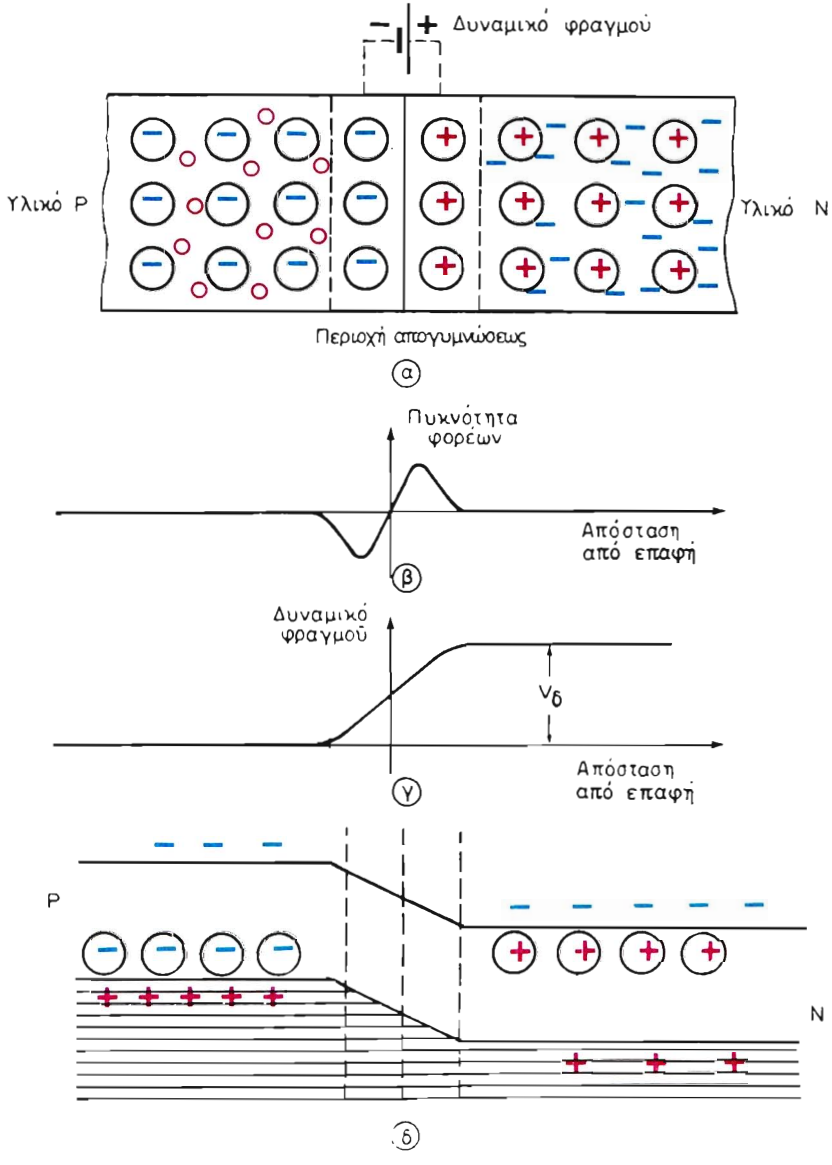
Είδαμε ότι μέσα στους ημιαγωγούς δημιουργούνται συνεχώς ελεύθερα ηλεκτρόνια και οπές. Ο μέσος χρόνος που μεσολαβεί από τη δημιουργία του ελεύθερου ηλεκτρονίου ή της οπής μέχρι την επανασύνδεσή τους λέγεται ***χρόνος ζωής*** των ηλεκτρονίων ή των οπών και γενικά χρόνος ζωής των φορέων.

Όπως αναφέρθηκε, η αγωγιμότητα των ημιαγωγών μεταβάλλεται με τη θερμοκρασία ή και με την εφαρμοζόμενη τάση λόγω αυξήσεως των φορέων. Επίσης η αγωγιμότητα αυξάνει αν φωτίσομε την επιφάνεια του ημιαγωγού, επειδή τα ηλεκτρόνια προσλαμβάνουν ενέργεια από τα φωτόνια και ανεβαίνουν στη στάθμη αγωγιμότητας. Εκμεταλλευόμενη τις ιδιότητες αυτές των ημιαγωγών η σύγχρονη τεχνολογία κατασκευάζει τις αυτορρυθμιζόμενες αντιστάσεις που είναι τα θερμίστορ, τα βαρίστορ και οι φωτοαντιστάσεις.

10.5 Επαφή P-N.

Αν φέρομε σε επαφή δύο υλικά από γερμάνιο ή πυρίτιο και τα δύο, ένα τύπου Ρ και ένα τύπου Ν, σχηματίζομε την επαφή P-N. Θεωρούμε την επιφάνεια της επαφής ότι είναι της τάξεως του ενός χιλιοστού του μέτρου. Η επαφή P-N κατασκευάζεται με ένα κομμάτι καθαρό γερμάνιο ή πυρίτιο που στο μισό του μήκος εισάγεται πεντασθενές στοιχείο και στο άλλο μισό τρισθενές. Θεωρούμε ότι το σημείο επαφής διαχωρίζεται τέλεια σαν να ενώσαμε δύο χωριστά και διαφορετικά υλικά.

Κατά τη στιγμή της επαφής θα παρατηρηθεί διάχυση φορέων από το ένα υλικό στο άλλο. Από το υλικό τύπου Ν θα κινηθούν ηλεκτρόνια προς το υλικό τύπου Ρ και οπές από το υλικό τύπου Ρ προς το υλικό τύπου Ν. Η ανταλλαγή των φορέων θα γίνει πολύ κοντά στην επιφάνεια επαφής και θα δημιουργηθεί μια περιοχή απογυμνώσεως, όπου δεν θα υπάρχουν φορείς αγωγιμότητας. Αυτή η περιοχή λέγεται και ***περιοχή φραγμού*** και το μήκος της είναι λίγα χιλιοστά του χιλιοστού (λίγα μικρά δηλαδή) [σχ. 10.5α(α)].



Σχ. 10.5α.

α) Παράσταση επαφής P-N και των φορέων της. β) Κατανομή των ιόντων στην περιοχή απογυμνώσεως. γ) Μεταβολή του δυναμικού φραγμού κοντά στην επαφή. δ) Ενεργειακές στάθμες στην επαφή.

Με την ανταλλαγή των φορέων πολύ κοντά στην επαφή, σχηματίζονται θετικά ιόντα στην περιοχή του υλικού N και αρνητικά ιόντα στην περιοχή του υλικού P. Με τη δημιουργία των ιόντων σχηματίζεται ένα ηλεκτρικό πεδίο, στην περιοχή επαφής που αντιστοιχεί σε δυναμικό λίγων δεκάτων του βολτ. Αυτό το δυναμικό

ονομάζεται ***δυναμικό φραγμού*** και έχει μείον (—) στο υλικό P και συν (+) στο υλικό N. Η παρουσία του δυναμικού φραγμού εμποδίζει να συνεχισθεί η διάχυση και άλλων φορέων από το ένα υλικό στο άλλο.

Στο σχήμα 10.5α φαίνεται η κατάσταση που επικρατεί στην επαφή P-N όταν βρίσκεται σε ισορροπία χωρίς εξωτερική πηγή.

Είναι δυνατόν στην περιοχή απογυμνώσεως να βρεθούν και φορείς (οπές και ηλεκτρόνια) που προέρχονται από διάσπαση δεσμών του καθαρού ημιαγωγού λόγω θερμότητας. Οι φορείς αυτοί είναι φορείς μειονότητας και δημιουργούν ένα μικρό ρεύμα με αντίθετη κίνηση από τη διάχυση. Το ρεύμα αυτό ονομάζεται ***ανάστροφο*** και είναι πολύ μικρό. Μπορεί όμως να αυξηθεί πολύ με την αύξηση της θερμοκρασίας, με εξωτερική ανάστροφη τάση ή και με άλλη μορφή ενέργειας, όπως π.χ. με φωτόνια.

α) Επαφή P-N σε ορθή πόλωση.

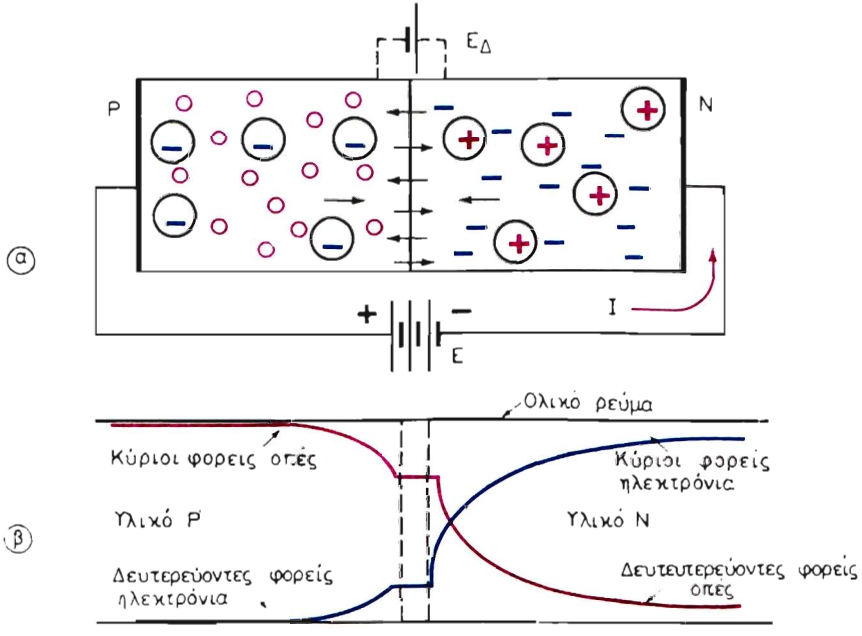
Στις άκρες των υλικών P και N μπορεί να συνδεθεί εξωτερικά μια πηγή συνεχούς ρεύματος με δύο τρόπους:

α) με το συν (+) στο P και το μειον (—) στο N και

β) με το μείον (—) στο P και το συν (+) στο N.

Στην πρώτη περίπτωση έχομε την ορθή πόλωση (forward bias) και στη δεύτερη την ανάστροφη πόλωση (reverse bias).

Στην ορθή πόλωση το εξωτερικό δυναμικό της πηγής είναι μεγαλύτερο από το δυναμικό φραγμού και έτσι εξουδετερώνεται η δράση του. Οι οπές από το υλικό P με το συν (+) της πηγής ωθούνται προς την επαφή και τα ηλεκτρόνια με το μείον (—) της πηγής ωθούνται επίσης και αυτά προς την επαφή και παρατηρείται μεγάλη κίνηση φορέων, η οποία οφείλεται σε ολίσθηση.



Σχ. 10.5β.
Επαφή P-N σε ορθή πόλωση.

Οι φορείς, περνώντας την επαφή, κλείνουν κύκλωμα μέσω της πηγής, δημιουργώντας ένα κλειστό κύκλωμα. Η αντίσταση της επαφής είναι μικρή και η αγωγιμότητα μεγάλη. Στο σχήμα 10.5β(α) φαίνεται η επαφή P-N σε ορθή πόλωση, η κατάργηση του δυναμικού φραγμού και του χώρου απογυμνώσεως. Παρατηρούμε επίσης την κίνηση των φορέων που είναι αντίθετη μέσα στα υλικά P και N, ενώ στο εξωτερικό κύκλωμα έχει την πραγματική φορά.

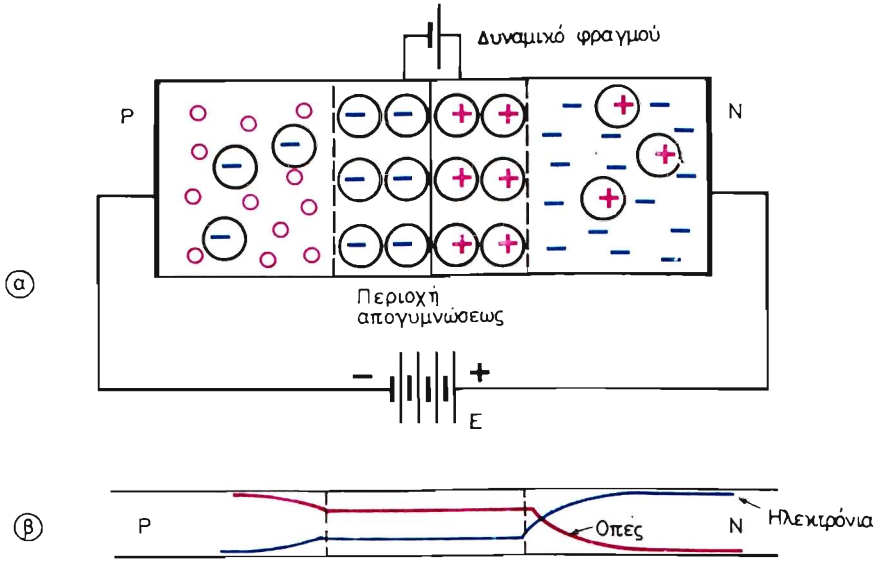
Στο σχήμα 10.5β(β) φαίνεται παραστατικά το ρεύμα από τους κύριους και τους δευτερεύοντες φορείς μέσα στο κάθε υλικό. Παρατηρούμε ότι στο υλικό P οι περισσότεροι φορείς είναι οι οπές. Γι' αυτό λέγονται και ***φορείς πλειονότητας,*** ενώ τα ηλεκτρόνια είναι πολύ λίγα και λέγονται γι' αυτό ***φορείς μειονότητας.*** Το αντίθετο συμβαίνει στο υλικό N.

β) Επαφή P-N σε ανάστροφη πόλωση.

Στην ανάστροφη πόλωση συνδέομε το μείον (—) της πηγής με το υλικό P και το συν (+) της πηγής με το υλικό N. Η σύνδεση τώρα έχει την ίδια πολικότητα με το δυναμικό φραγμού και πρέπει να περιμένομε αύξηση του δυναμικού φραγμού και της περιοχής απογυμνώσεως, καθώς το δυναμικό φραγμού ενισχύεται από την τάση της πηγής E [σχ. 10.5γ(α)].

Τα ηλεκτρόνια του υλικού N έλκονται από το συν (+) της πηγής αυξάνοντας το χώρο απογυμνώσεως, με αποτέλεσμα να εμφανίζονται περισσότερα θετικά ιόντα. Αντίστοιχα, οι οπές του υλικού P έλκονται από το μείον (—) της πηγής αυξάνοντας αντίστοιχα το χώρο απογυμνώσεως στο υλικό P, στο οποίο εμφανίζονται περισσότερα αρνητικά ιόντα όπως φαίνεται στο σχήμα 10.5γ(α).

Με την αύξηση του δυναμικού φραγμού, είναι αδύνατο να κινηθούν οι φορείς αγωγιμότητας και να εμφανισθεί ρεύμα στο κύκλωμα. Η αντίσταση της επαφής είναι πολύ μεγάλη, ενώ η αγωγιμότητα είναι σχεδόν μηδενική και το ρεύμα του κυκλώματος μηδενικό. Στην πραγματικότητα, είναι δυνατό να υπάρχει ένα πολύ μικρό



Σχ. 10.5γ.
Επαφή P-N σε ανάστροφη πόλωση.

ρεύμα I_0 λίγων μικροαμπέρ. Αυτό το ρεύμα οφείλεται στους φορείς μειονότητας, που προέρχονται από διάσπαση δεσμών του καθαρού ημιαγωγού, όπως αναφέρθηκε. Στη θερμοκρασία περιβάλλοντος είναι σχεδόν ανύπαρκτο, αλλά σε μεγαλύτερες θερμοκρασίες αυξάνει και δημιουργεί προβλήματα όπως θα δούμε. Αυτό το ρεύμα ονομάζεται και ***ρεύμα κόρου ανάστροφης πολώσεως*** I_0.

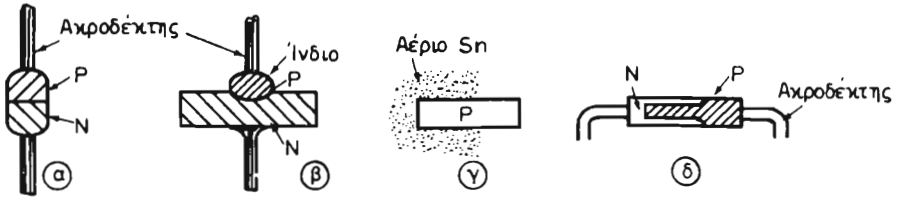
Στο σχήμα 10.5γ(α) φαίνεται η επαφή P-N στην ανάστροφη πόλωση και η αύξηση της περιοχής απογυμνώσεως. Στο κάτω μέρος του σχήματος φαίνεται παραστατικά η αγωγιμότητα με τους φορείς αντίστροφης αγωγιμότητας. Στο σχήμα 10.5γ(β) φαίνεται παραστατικά το ελάχιστο ανάστροφο ρεύμα I_0.

Από την παραπάνω ανάλυση, παρατηρούμε ότι η επαφή P-N παρουσιάζει ιδιότητες ανορθωτή, αφού παρουσιάζει ελάχιστη αντίσταση στην ορθή σύνδεση της εξωτερικής πηγής και σχεδόν άπειρη αντίσταση στην αντίστροφη σύνδεση. Παρουσιάζει τη συμπεριφορά της διόδης λυχνίας και έτσι, με την επαφή P-N, μπορούμε να κατασκευάσομε την κρυσταλλοδίοδη.

10.6 Η κρυσταλλοδίοδη επαφής.

α) Κατασκευή κρυσταλλοδίοδης.

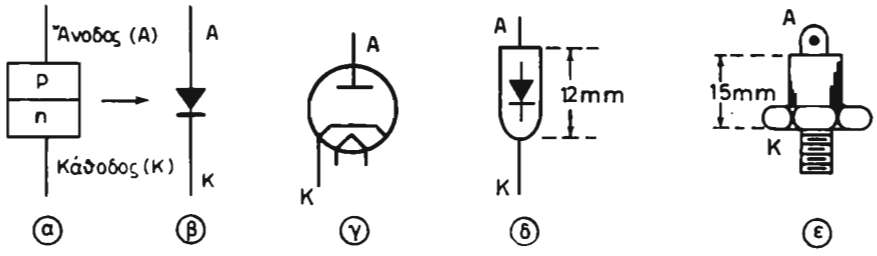
Η κρυσταλλοδίοδη αποτελείται από δύο μικρά κομμάτια υλικών P και N σε επαφή. Κατασκευάζεται με διάφορους τρόπους, ανάλογα με τον προορισμό της. Ένας τρόπος είναι η επαφή ***με ανάπτυξη*** (crown junction), όπου ένα μικρό κομμάτι υλικού, π.χ. πυριτίου τύπου P, βυθίζεται σε τηγμένο υλικό τύπου N και αποσύρεται γρήγορα για να μην αλλοιωθεί το υλικό P. Το υλικό N προσκολλάται στο P και στη συνέχεια ψύχεται και κρυσταλλώνεται. Σχηματίζεται έτσι μια επαφή P-N και στις άκρες των υλικών προσκολλώνται οι ακροδέκτες [σχ. 10.6α (α)]. Αυτή η δίοδη είναι κατάλληλη για ανόρθωση ισχυρών ρευμάτων χαμηλής συχνότητας.



Σχ. 10.6α.
Διάφοροι τρόποι κατασκευής κρυσταλλοδιόδων.

Άλλος τρόπος κατασκευής κρυσταλλοδίοδης είναι ***με επαφή κράματος*** (alloy junction), Σε ένα μικρό κομμάτι τύπου N προσκολλάται μια μικρή σταγόνα ινδίου, η οποία τήκεται (χωρίς όμως να τήκεται και το υλικό N) ώστε το ίνδιο να εισχωρεί στο υλικό N δημιουργώντας την επαφή P-N [σχ. 10.6α(β)]. Αυτή η δίοδη είναι για μικρότερα ρεύματα, υψηλότερης όμως συχνότητας.

Τρίτος τρόπος κατασκευής κρυσταλλοδίοδης είναι με ***επαφή διαχύσεως*** (diffusion junction). Ένα μέρος ενός μικρού κομματιού υλικού τύπου P τοποθετείται μέσα σε χώρο όπου υπάρχουν ατμοί αντιμονίου. Τα άτομα του αντιμονίου εισέρχονται στο υλικό P σχηματίζοντας επαφή P-N. Το ποσοστό των προσμίξεων εξαρτάται από το χρόνο που παραμένει το υλικό P μέσα στους ατμούς του αντιμονίου.



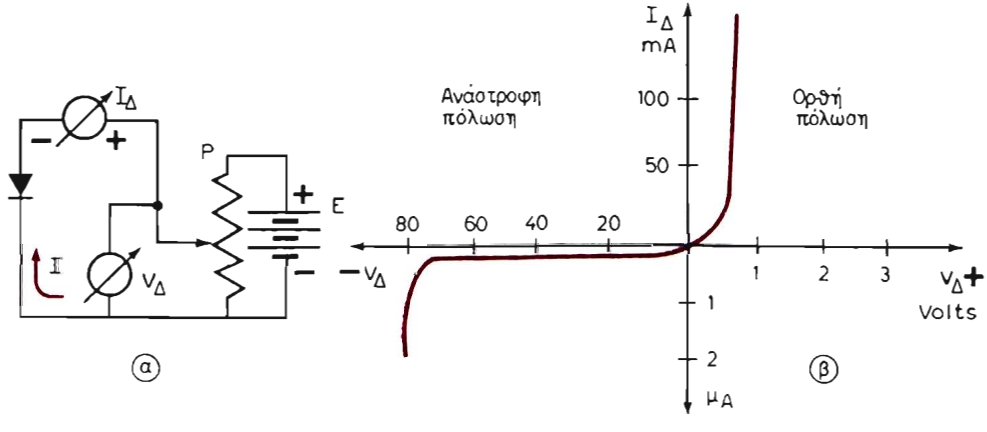
Σχ. 10.6β.
Συμβολισμός αντιστοιχία και τύποι κρυσταλλοδιόδης.

Στο σχήμα 10.6β φαίνεται κατά σειρά η επαφή P-N και η αντιστοιχία του υλικού P με την άνοδο και του N με την κάθοδο (α), ο συμβολισμός της κρυσταλλοδίοδης (β) και η αντιστοιχία της με τη δίοδη λυχνία κενού (γ). Το τριγωνάκι αντιστοιχεί στην άνοδο και η παύλα στην κάθοδο. Στο (δ) φαίνεται η εξωτερική μορφή μιας ανορθώτριας της BY127 και το μέγεθός της και στο (ε) η εξωτερική μορφή μιας ανορθώτριας για ρεύματα από 10-20 αμπέρ.

β) Χαρακτηριστική καμπύλη της κρυσταλλοδίοδης.

Με το κύκλωμα του σχήματος 10.6γ(α) μπορούμε να χαράξομε τη χαρακτηριστική καμπύλη της κρυσταλλοδίοδης, όπως έγινε και στη δίοδη λυχνία. Με το ποτενσιόμετρο P μεταβάλλομε την τάση της δίοδης, την οποία μετράμε με το βολτόμετρο V_Δ. Το ρεύμα της δίοδης το μετράμε με το αμπερόμετρο I_Δ. Για ορθή πόλωση όπως στο σχήμα χαράζομε την καμπύλη που αντιστοιχεί στο δεξιό μέρος των συντεταγμένων [σχ. 10.6γ(β)]. Παρατηρούμε ότι, για τάση μικρότερη από ένα βολτ, το ρεύμα γίνεται μέγι το, π.χ. 500 mA. Το ρεύμα της κρυσταλλοδίοδης δίνεται από την εξίσωση:

$$I_\Delta = I_0\left(e_v^{\frac{eV_\Delta}{KT}} - 1\right) \qquad 10.6$$



Σχ. 10.6γ.
Κύκλωμα και καμπύλη διόδου.

Όπου το ρεύμα ορθής πολώσεως I_Δ και το ανάστροφο I_0 είναι σε αμπέρ, e το φορτίο του ηλεκτρονίου ($1,6 \cdot 10^{-19}$C), V_Δ η τάση στις άκρες της διόδης, K η σταθερά Boltzman ($1,38.10^{-23}$ j /°K), T η απόλυτη θερμοκρασία και e_v η βάση των νεπέριων λογαρίθμων (2,7).

Η δυναμική αντίσταση R_{AC} της διόδης στην ορθή πόλωση υπολογίζεται όπως και στη δίοδη λυχνία και δίνεται από τη σχέση:

$$R_{AC} = \frac{\Delta V_\Delta}{\Delta I_\Delta} \qquad (10.7)$$

για μικρή μεταβολή της τάσεως της διόδης (ανόδου-καθόδου) και της αντίστοιχης μεταβολής του ρεύματος της δίοδης. Η αντίσταση είναι πολύ μικρή, 20 Ω περίπου.

Αν αντιστρέψομε την πολικότητα της πηγής E και τροφοδοτήσομε την άνοδο με μείον (−) έχομε την ανάστροφη πόλωση. Παρατηρούμε στην καμπύλη ότι και για τάσεις 30-40 V το ρεύμα αντίστροφης πολώσεως I_0 είναι ελάχιστο, δηλαδή δέκατα του μA. Αν υπολογίσομε την αντίσταση τώρα θα είναι πάρα πολύ μεγάλη (εκατοντάδες kΩ ή και MΩ).

Αν αυξήσομε πολύ την ανάστροφη τάση και ξεπεράσομε μια τιμή που είναι ανάλογη της κάθε διόδης, θα παρατηρείται απότομη αύξηση του ανάστροφου ρεύματος και, αν δεν διακόψομε την τάση, η δίοδη καταστρέφεται. Η τάση στην οποία παρατηρείται το φαινόμενο λέγεται ***τάση διασπάσεως*** ή ***τάση Zener*** και το φαινόμενο ***φαινόμενο Zener.***

γ) Φαινόμενο Zener και φαινόμενο χιονοστιβάδας.

Με την αύξηση της ανάστροφης τάσεως στις άκρες της διόδης, αυξάνει και η ένταση του πεδίου μέσα στους ημιαγωγούς. Τα ηλεκτρόνια των δεσμών δέχονται μια ενέργεια από το πεδίο, το οποίο τείνει να τα αποσπάσει από τους δεσμούς. Όταν η ένταση του πεδίου ξεπεράσει την απαιτούμενη ενέργεια η μεταφορά των ηλεκτρονίων από τη ζώνη σθένους στη ζώνη αγωγιμότητας γίνεται με σύγχρονη διάσπαση των ομοιοπολικών δεσμών. Το αντίστροφο ρεύμα αυξάνει ενώ συγχρόνως αυξάνει και η θερμοκρασία της επαφής, με αποτέλεσμα την παραπέρα αύξηση του ρεύματος σε μεγάλα όρια και καταστροφή της κρυσταλλοδίοδης.

Όταν το ποσοστό προσμίξεων είναι μεγάλο, το φαινόμενο Zener μπορεί να εμφανισθεί σε μικρές τάσεις, μέχρι και 4 βολτ. Αν έχομε υλικά με μικρό ποσοστό προσμίξεων, εμφανίζεται τότε το ***φαινόμενο χιονοστιβάδας*** (avalanche) Σ' αυτή την περίπτωση η περιοχή απογυμνώσεως έχει μεγαλύτερη έκταση στην ανάστροφη πόλωση, λόγω του μικρού ποσοστού προσμίξεων. Όταν αυξηθεί η εφαρμοζόμενη ανάστροφη τάση μέχρι το σημείο διασπάσεως, διασπώνται μερικοί δεσμοί και λίγα ηλεκτρόνια κινούνται από την περιοχή P στην περιοχή N. Καθώς διέρχονται από την περιοχή απογυμνώσεως, συγκρούονται με άλλα ηλεκτρόνια και επειδή έχουν μεγάλη κινητική ενέργεια, τα αποσπούν. Τα νέα ηλεκτρόνια αποσπούν άλλα κ.ο.κ. Έτσι τα λίγα ηλεκτρόνια που ξεκίνησαν αυξάνουν απότομα σε ποσότητα στο χρόνο της μετακινήσεώς τους, (όπως και η χιονοστιβάδα, από την οποία παίρνει και την ονομασία του το φαινόμενο).

Κατά τη διάσπαση Zener η τάση διασπάσεως μειώνεται με την αύξηση της θερμοκρασίας, επειδή τα ηλεκτρόνια σθένους έχουν προσλάβει κάποια ενέργεια λόγω θερμοκρασίας και βρίσκονται σε άτακτη κίνηση. Στη διάσπαση χιονοστιβάδας η τάση διασπάσεως αυξάνει με την αύξηση της θερμοκρασίας, επειδή αυξάνει η δό-

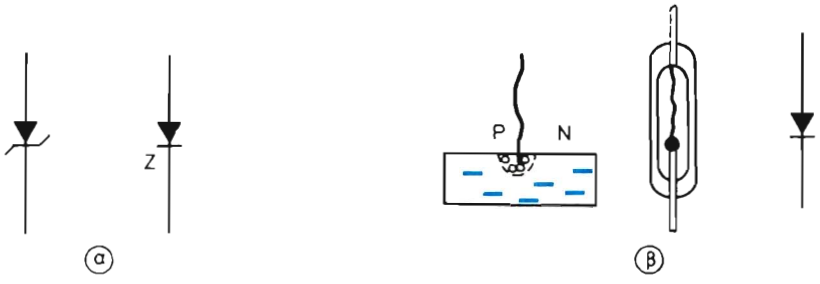
νηση των ηλεκτρονίων και μειώνεται η πιθανότητα συγκρούσεως.

Σε μια δίοδη μπορεί να εμφανισθεί το φαινόμενο Zener και στη συνέχεια να εξελιχθεί σε φαινόμενο χιονοστιβάδας. Πάντως και στις δυο περιπτώσεις συνηθίζομε να το ονομάζομε ***φαινόμενο Zener*** και ***διάσπαση Zener.*** Στο φαινόμενο Zener ή χιονοστιβάδας στηρίζεται η κατασκευή ειδικών διόδων, με μεγαλύτερο ποσοστό προσμίξεως, που χρησιμοποιούνται για σταθεροποίηση τάσεως [σχ. 10.6δ(α)]. Συνδέονται στο κύκλωμα με ανάστροφη πόλωση και έχουν πάντοτε σε σειρά έναν αντιστάτη προστασίας.

Η κάθε δίοδη ανορθώτρια χαρακτηρίζεται από το κανονικό ρεύμα λειτουργίας, το μέγιστο στιγμιαίο ρεύμα, την επιτρεπόμενη ανάστροφη τάση και την ισχύ της. Το ίδιο ισχύει και για τις Zener Diodes.

δ) Άλλα είδη κρυσταλλοδιόδων.

Εκτός από τις δίοδες που αναφέρθηκαν και είναι ανορθώτριες, φωράτριες και Zener, υπάρχουν και άλλα είδη, όπως είναι ***δίοδη ακίδας (point-contact diode)*** που φαίνονται στο σχήμα 10.6δ(β).

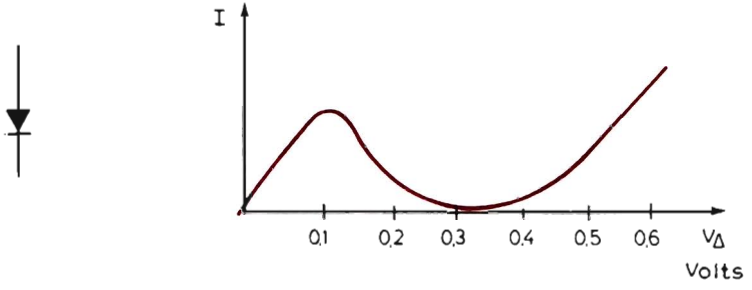


Σχ. 10.6δ.
Παράσταση δίοδης ZENER και δίοδης ακίδας.

Αποτελείται από μια κουκκίδα υλικού N στην οποία εφάπτεται μια λεπτή ακίδα από βολφράμιο ή τιτάνιο. Η επαφή P-N δημιουργείται, αν τροφοδοτήσομε την ακίδα-υλικό N με παλμούς ρεύματος μικρής διάρκειας και μεγάλης εντάσεως. Με τον τρόπο αυτό γύρω από την ακίδα, η οποία εισέρχεται λίγα μικρά μέσα στο υλικό N, σχηματίζονται οπές και δημιουργείται επαφή P-N. Αυτή η κρυσταλλοδίοδη παρουσιάζει πολύ μικρή ενδοχωρητικότητα και χρησιμοποιείται για φώραση πολύ υψηλών συχνοτήτων, μέχρι και 30 Gc/S. Λειτουργούν με πολύ μικρά ρεύματα, μέχρι 1-2 mA και έχουν περίβλημα από γυαλί ή από κεραμικό υλικό.

Άλλη διόδη είναι η ***δίοδη σήραγγας (tunnel diode)*** που κατασκευάζεται με μεγάλο ποσοστό προσμίξεων. Η δίοδη σήραγγας στην ορθή πόλωση και για τάση 0,1-0,3 V, παρουσιάζει κατάδυση όπως η τέτροδη λυχνία. Η λειτουργία της στηρίζεται στην κβαντομηχανική, όπου ηλεκτρόνια σε ασθενές ηλεκτρικό πεδίο μπορούν να μεταφέρονται στη ζώνη αγωγιμότητας. Οι δίοδες σήραγγας χρησιμοποιούνται σαν ταλαντωτές σε πολύ υψηλές συχνότητες, της τάξεως των Gc/S. Στο σχήμα 10.6ε φαίνεται η παράσταση της διόδης και η καμπύλη της στην ορθή πόλωση.

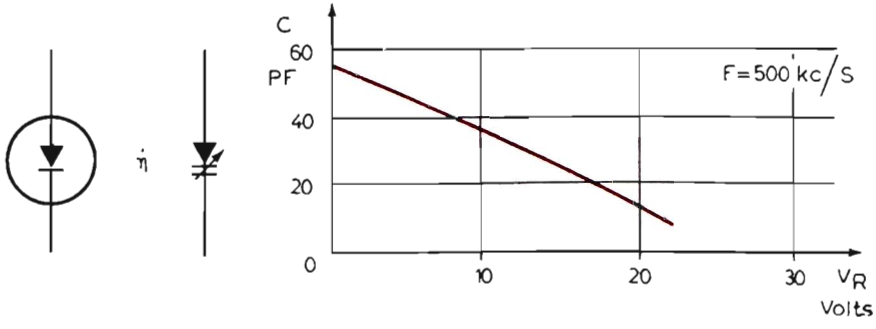
Άλλη μορφή διόδης είναι η ***δίοδη μεταβλητής χωρητικότητας (varicap ή varactor).*** Στην επαφή P-N και στο σημείο απογυμνώσεως στην ανάστροφη πόλωση σχηματίζεται μια χωρητικότητα. Επειδή υπάρχουν τα θετικό ιόντα στην περιοχή



Σχ. 10.6ε.
Δίοδη σήραγγας και η καμπύλη της.

του N και τα αρνητικά ιόντα στην περιοχή του P, είναι σαν να σχηματίζεται ένας πυκνωτής φορτισμένος. Η χωρητικότητα αυτή μεταβάλλεται καθώς μεταβάλλεται η περιοχή απογυμνώσεως, με την εφαρμογή της μεταβαλλόμενης ανάστροφης τάσεως. Έτσι την ειδικά κατασκευασμένη διόδη μπορούμε να χρησιμοποιήσομε σαν πυκνωτή, η χωρητικότητα του οποίου μεταβάλλεται με την εφαρμογή ρυθμιζόμενης ανάστροφης τάσεως. Στο σχήμα 10.6στ φαίνεται η παράσταση και η καμπύλη μιας δίοδης χωρητικότητας της BA102.

Άλλη επίσης μορφή διόδης είναι η ***φωτοδίοδη,*** που είναι τοποθετημένη σε πλαστικό αδιαφανές περίβλημα και έχει πάνω από το σημείο επαφής P-N ένα μικρό κομμάτι διαφανές πλαστικό υπό μορφή συγκεντρωτικού φακού. Η δίοδη τροφοδοτείται με ανάστροφη τάση. Όταν δεν πέφτει φώς στο διαφανές σημείο, το ανάστροφο ρεύμα I_0 είναι μηδέν, ενώ όταν φωτιστεί παίρνει τιμή και μέχρι 500 μA, ανάλογα με την ένταση της φωτεινής δέσμης και το χρώμα του φωτός (το μήκος κύματος της φωτεινής δέσμης).



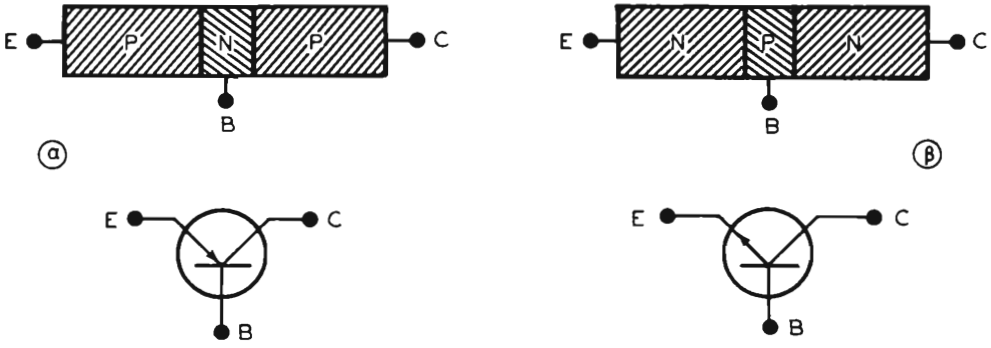
Σχ. 10.6στ.
Παράσταση δίοδης χωρητικότητας και η καμπύλη μεταβολής της χωρητικότητας με μεταβολή της τάσεως στις άκρες της.

10.7 Η κρυσταλλοτρίοδη-Transistor.

Η κρυσταλλοτρίοδη αποτελείται από τρία κομμάτια υλικών σε διαδοχική επαφή, π.χ. υλικό P, μετά υλικό N και μετά πάλι υλικό P ή και στη σειρά υλικό N, υλικό P και υλικό N. Έτσι κατασκευάζονται οι κρυσταλλοτρίοδες PNP και οι κρυσταλλο-

τρίοδες NPN που παρουσιάζουν πολύ μικρές διαφορές μεταξύ τους κατά τη λειτουργία τους. Στο σχήμα 10.7α φαίνεται η σχηματική παράσταση των κρυσταλλοτριόδων ή όπως συνηθίζεται να τα ονομάζομε, των ***τρανζίστορ PNP και NPN.***

Το αριστερό κομμάτι στο σχήμα ονομάζεται ***εκπομπός (emitter)*** και αντιστοιχεί με την κάθοδο στην τρίοδη λυχνία. Το μεσαίο κομμάτι ονομάζεται ***βάση (base),*** έχει πολύ μικρό πάχος σε σύγκριση με τα άλλα δύο κομμάτια και είναι αντίστοιχο του πλέγματος στην τρίοδη λυχνία. Το δεξιό κομμάτι ονομάζεται ***συλλέκτης (collector)*** καί είναι αντίστοιχο της ανόδου στην τρίοδη λυχνία. Αν και τα υλικά του εκπομπού και του συλλέκτη είναι του ίδιου τύπου, δεν είναι αναστρέψιμη η λειτουργία του γιατί ο εκπομπός έχει μεγαλύτερο ποσοστό προσμίξεων από το συλλέκτη και η επαφή εκπομπού-βάσεως έχει μικρότερη επιφάνεια. Αντίθετα, το ποσοστό προσμίξεων στο συλλέκτη, είναι μικρότερο από το ποσοστό προσμίξεων του εκπομπού και η επιφάνεια επαφής βάσεως-συλλέκτη είναι μεγαλύτερη από την επιφάνεια επαφής, εκπομπού-βάσεως. Στην κατασκευή των τρανζίστορ οι επαφές εκπομπού-βάσεως και βάσεως-συλλέκτη δεν γίνονται με συγκόλληση των υλικών, αλλά με χημική επεξεργασία, όπως γίνεται στις κρυσταλλοδίοδες και όπως αναφέρεται πιο κάτω.



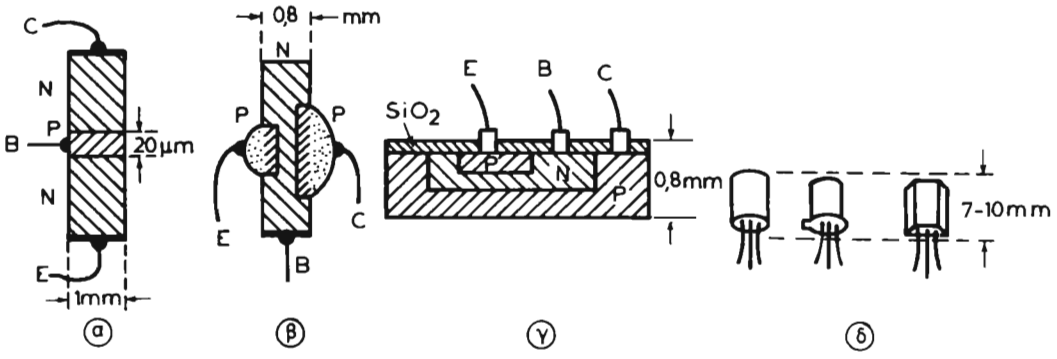
Σχ. 10.7α.
Παράσταση των τρανζίστορς PNP (α) και NPN (β) (η διαφορά στη σχεδίαση είναι στο βέλος του εκπομπού).

α) Κατασκευή κρυσταλλοτρίοδης επαφής.

Όπως και στις κρυσταλλοδίοδες έτσι και στις ***κρυσταλλοτρίοδες επαφής*** εφαρμόζονται οι ίδιες μέθοδοι. Στην κρυσταλλοτρίοδη επαφής με ανάπτυξη βυθίζεται διαδοχικά το υλικό N σε υλικό P και στη συνέχεια σε υλικό N, οπότε σχηματίζονται τα τρία στρώματα NPN ή PNP [σχ. 10.7β(α)].

Κατά τη μέθοδο ***κράματος,*** δύο σταγόνες ινδίου διαφορετικού μεγέθους συγκολλώνται επάνω στις δύο πλευρές μιας λεπτής πλάκας υλικού τύπου N. Το ίνδιο διαχέει φορείς μέσα στο υλικό N και σχηματίζονται οι επαφές PN και NP, σχηματίζοντας έτσι και το τρανζίστορ PNP. Μπορεί να χρησιμοποιηθούν και σταγόνες αρσενικού σε πλάκα υλικού P και να σχηματίσουν τρανζίστορ NPN. Η μικρή σταγόνα σχηματίζει τον εκπομπό και η μεγάλη το συλλέκτη [σχ. 10.7β(β)].

Στο σχήμα 10.7β(γ) φαίνεται ο τρόπος κατασκευής του τρανζίστορ ***διαχύσεως PNP.*** Αυτό κατασκευάζεται συνήθως από πυρίτιο και ο ίδιος τρόπος κατασκευής του εφαρμόζεται και στα ολοκληρωμένα κυκλώματα. Ονομάζεται και ***τρανζίστορ***



Σχ. 10.7β.
Τρόποι κατασκευής των τρανζίστορς και εξωτερική μορφή.

Planar. Η κατασκευή του στηρίζεται στη διάχυση φορέων. Σε ένα πλακάκι υλικού P διαχέονται φορείς N από ατμόσφαιρα ατμών αντιμονίου και σχηματίζεται υλικό τύπου N. Στη συνέχεια σε ένα μικρότερο τμήμα, διαχέονται φορείς P από ατμούς ινδίου και σχηματίζονται τα στρώματα PNP, όπως φαίνεται στο σχήμα. Το κάτω υλικό είναι ο συλλέκτης, στη μέση είναι η βάση και επάνω ο εκπομπός. Η επάνω επιφάνεια καλύπτεται από λεπτό στρώμα οξειδίου του πυριτίου που είναι μονωτικό. Στις αντίστοιχες θέσεις έχει οπές για να συνδέονται οι ακροδέκτες από αλουμίνιο. Με τον ίδιο περίπου τρόπο κατασκευάζονται και τα τρανζίστορ ***επιτάξεως.***

Στο σχήμα 10.7β(δ) φαίνεται η εξωτερική μορφή τρανζίστορ μικρής ισχύος.

β) Λειτουργία του τρανζίστορ.

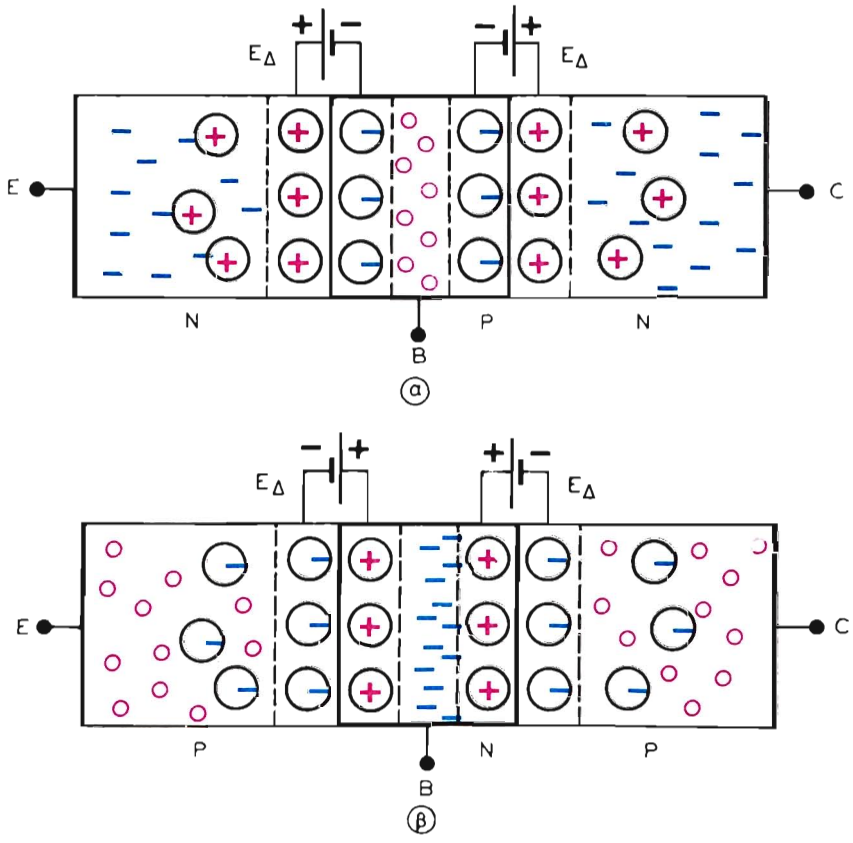
Το τρανζίστορ λόγω κατασκευής θα παρουσιάζει δύο επαφές P-N, μία μεταξύ εκπομπού-βάσεως και μία μεταξύ βάσεως-συλλέκτη. Σ' αυτές τις δύο επαφές P-N θα παρατηρούνται τα ίδια φαινόμενα που αναφέρθηκαν στην επαφή P-N της κρυσταλλοδιόδης. Θα εμφανίζονται έτσι δύο δυναμικά φραγμού και δύο περιοχές απογυμνώσεως, όπως φαίνεται στο σχήμα 10.7γ(α) για NPN και 10.7γ(β) για PNP (βλ. και σχήμα 10.5α).

Αν συνδέσομε εξωτερικά μια πηγή συνεχούς ρεύματος μεταξύ εκπομπού και συλλέκτη, δεν διέρχεται ρεύμα, γιατί, όπως και να είναι η πολικότητα της πηγής, θα εξουδετερώνεται το δυναμικό φραγμού της μιας επαφής, αλλά θα ενισχύεται της άλλης.

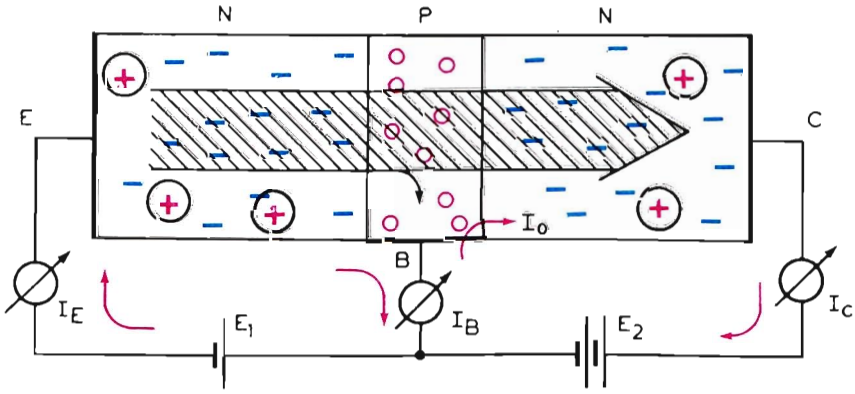
Στην κανονική λειτουργία του τρανζίστορ συνδέονται δύο πηγές εξωτερικά, μια μικρή μεταξύ εκπομπού και βάσεως με ορθή πόλωση και μια δεύτερη μεγαλύτερης τάσεως μεταξύ βάσεως συλλέκτη σε ανάστροφη πόλωση. Η σύνδεση αυτή φαίνεται στο σχήμα 10.7δ όπου σημειώνονται και τα ρεύματα εκπομπού I_E, βάσεως I_B και συλλέκτη I_c.

Με αυτή τη σύνδεση θα έπρεπε το I_E να είναι ίσο με το I_B και το I_c να είναι μηδέν, λόγω ανάστροφης πολώσεως συλλέκτη βάσεως. Στην πραγματικότητα όμως το I_c είναι ίσο περίπου με το I_E, ενώ το I_B είναι ελάχιστο. Αν π.χ. το I_E είναι 100 mA, το I_c είναι 99 mA και το I_B είναι 1 mA.

Αυτό συμβαίνει γιατί τα ηλεκτρόνια, περνώντας από τον εκπομπό για να φθάσουν στη βάση και να επανασυνδεθούν, δεν βρίσκουν μεγάλο αριθμό φορέων στη



Σχ. 10.7γ.
Παράσταση των περιοχών απογυμνώσεως και των δυναμικών φραγμού σε κρυσταλλοτρίοδες NPN και PNP.



Σχ. 10.7δ.
Πόλωση της κρυσταλλοτριόδης NPN και κίνηση φορέων.

βάση, γιατί αυτή έχει μικρό πάχος. Λόγω διαχύσεως λοιπόν θα περάσουν από τη βάση στο συλλέκτη. Μόλις εισέλθουν στην περιοχή του συλλέκτη περνώντας την περιοχή απογυμνώσεως, υφίστανται την ελκτική δύναμη του θετικού δυναμικού της πηγής E_2 προς την οποία κλείνουν κύκλωμα. Από το ρεύμα του εκπομπού μόνο ένα μικρό ποσοστό θε επανασυνδεθεί με τις οπές της βάσεως και θα κινηθεί προς την πηγή E_1 για να κλείσει κύκλωμα.

Οι πηγές E_1 και E_2 συνεργάζονται γιατί τα δυναμικά τους προστίθενται για το κύριο ρεύμα εκπομπού-συλλέκτη.

Από τη βάση προς το συλλέκτη κινείται και ένα μικρό ρεύμα, το I_0 της ενώσεως, το οποίο είναι ανάστροφο. Επειδή είναι πολύ μικρό, δεν λαμβάνεται υπόψη στους υπολογισμούς, αλλά μπορεί να δημιουργεί προβλήματα στη λειτουργία του τρανζίστορ.

Ισχύει ότι:

$$I_E = I_C + I_B \tag{10.8}$$

Ο λόγος του ρεύματος εκπομπού προς το ρεύμα συλλέκτη δίνει με μεγάλη προσέγγιση το συντελεστή απολαβής ρεύματος σε σύνδεση κοινής βάσεως, ο οποίος είναι:

$$\alpha = \frac{I_C}{I_E} \tag{10.9}$$

Όσο λεπτότερη είναι η βάση τόσο το ρεύμα της είναι μικρότερο και το α πλησιάζει τη μονάδα. Ένας άλλος συντελεστής ενισχύσεως, σε σύνδεση κοινού εκπομπού είναι το β που δίνεται από τη σχέση:

$$\beta = \frac{I_C}{I_B} \tag{10.10}$$

Το β για πολύ λεπτή βάση μπορεί να φθάσει την τιμή 200.

Με απλές μαθηματικές πράξεις αποδεικνύεται ότι:

$$\beta = \frac{\alpha}{1-\alpha} \qquad \text{και} \qquad \alpha = \frac{\beta}{1+\beta}$$

από τη σχέση $\alpha = \frac{I_C}{I_E}$ έχομε $I_C = \alpha I_E$

Και επειδή $I_C = I_E - I_B$ θα έχομε $I_E - I_B = \alpha I_E$

ή $I_B = I_E - \alpha I_E$ ή $I_B = I_E(1-\alpha)$ ή $\frac{I_E}{I_B} = \frac{1}{1-\alpha}$

Και αν πολλαπλασιάσομε επι α τα δύο μέλη έχομε: $\frac{\alpha I_E}{I_B} = \frac{\alpha}{1-\alpha}$

αλλά $\alpha I_E = I_C$ οπότε έχομε τελικά: $\frac{I_C}{I_B} = \beta = \frac{\alpha}{1-\alpha}$

Επίσης έχομε από τη σχέση: $\beta = \frac{I_C}{I_B}$ ότι $I_C = \beta I_B$

και επειδή $I_C = I_E - I_B$, θα έχομε $I_E - I_B = \beta I_B$

ή $I_E = I_B + \beta I_B$ ή $I_E = I_B(1 + \beta)$ ή $\frac{I_B}{I_E} = \frac{1}{1 + \beta}$

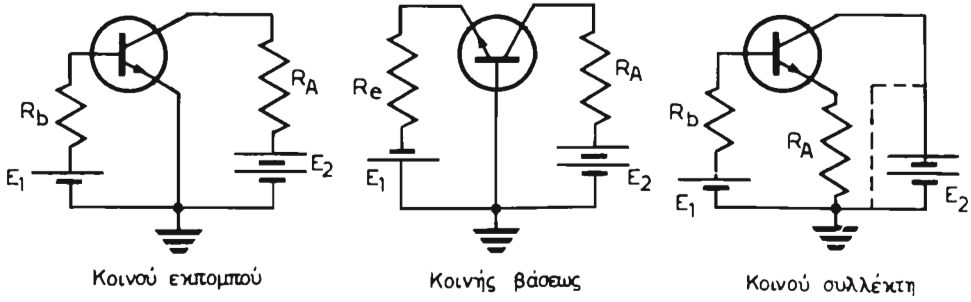
Και αν πολλαπλασιάσομε επί β τα δύο μέλη, έχομε: $\frac{\beta I_B}{I_E} = \frac{\beta}{1 + \beta}$

αλλά $\beta I_B = I_c$ οπότε έχομε τελικά: $\frac{I_c}{I_E} = \alpha = \frac{\beta}{1 + \beta}$

Την ίδια λειτουργία με αυτή που περιγράφηκε παραπάνω, θα έχομε και σε ένα τρανζίστορ PNP. Η σύνδεση της πηγής μεταξύ εκπομπού-βάσεως θα είναι σε ορθή πόλωση, ενώ η σύνδεση της πηγής βάσεως-συλλέκτη σε ανάστροφη. Δηλαδή στο σχήμα 10.7δ το τρανζίστορ θα είναι PNP και οι πηγές E_1 και E_2 θα έχουν σύνδεση με αντίθετη πολικότητα. Οι φορείς αγωγιμότητας τώρα θα είναι οι οπές και θα έχουν την ίδια φορά κινήσεως με αυτή του σχήματος 10.7δ.

γ) Βασικές συνδεσμολογίες των τρανζίστορ.

Όπως στους ενισχυτές με λυχνίες έχομε τις τρεις βασικές συνδεσμολογίες, κοινής καθόδου, κοινού πλέγματος και κοινής ανόδου, έτσι και στα τρανζίστορ έχομε τρεις βασικές συνδεσμολογίες: ***κοινού εκπομπού, κοινής βάσεως*** και ***κοινού συλλέκτη.*** Στο σχήμα 10.7ε φαίνονται οι τρεις αυτές συνδεσμολογίες για τρανζίστορ NPN. Για τρανζίστορ PNP αλλάζει η πολικότητα των πηγών.



Σχ. 10.7ε.
Βασικές συνδεσμολογίες τρανζίστορς.

Από τις συνδεσμολογίες αυτές, η συνδεσμολογία κοινού εκπομπού παρουσιάζει το μεγαλύτερο ενδιαφέρον, γιατί χρησιμοποιείται κατά 80% περίπου. Παρουσιάζει μεγάλη ενίσχυση τάσεως και ισχύος με μέσες τιμές αντιστάσεως εισόδου και εξόδου (4-10 kΩ).

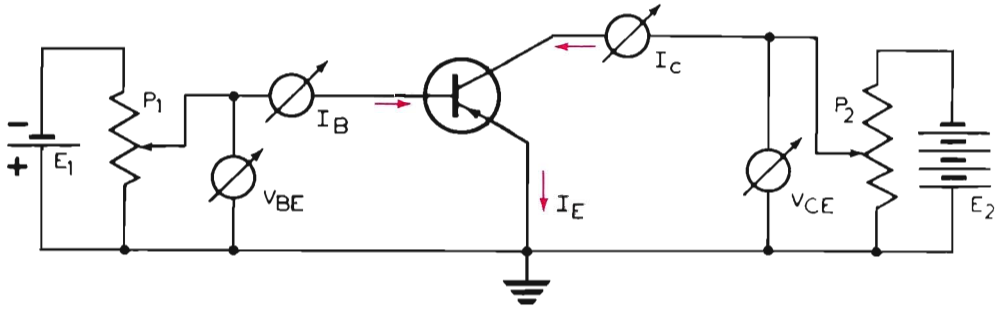
Η συνδεσμολογία κοινής βάσεως χρησιμοποιείται περισσότερο σε ενισχυτές Υ.Σ. και πραγματοποιεί μεγάλη ενίσχυση τάσεως, αλλά μικρή ενίσχυση ισχύος. Η αντίσταση εισόδου είναι μικρή και η αντίσταση εξόδου πολύ μεγάλη.

Η συνδεσμολογία κοινού συλλέκτη χρησιμοποιείται πολύ λίγο, γιατί η ενίσχυση τάσεως είναι μικρότερη της μονάδας αλλά πραγματοποιεί μεγάλη ενίσχυση ισχύος. Παρουσιάζει μεγάλη αντίσταση εισόδου και μικρή αντίσταση εξόδου και γι' αυτό χρησιμοποιείται για προσαρμογή αντιστάσεων στους ενισχυτές.

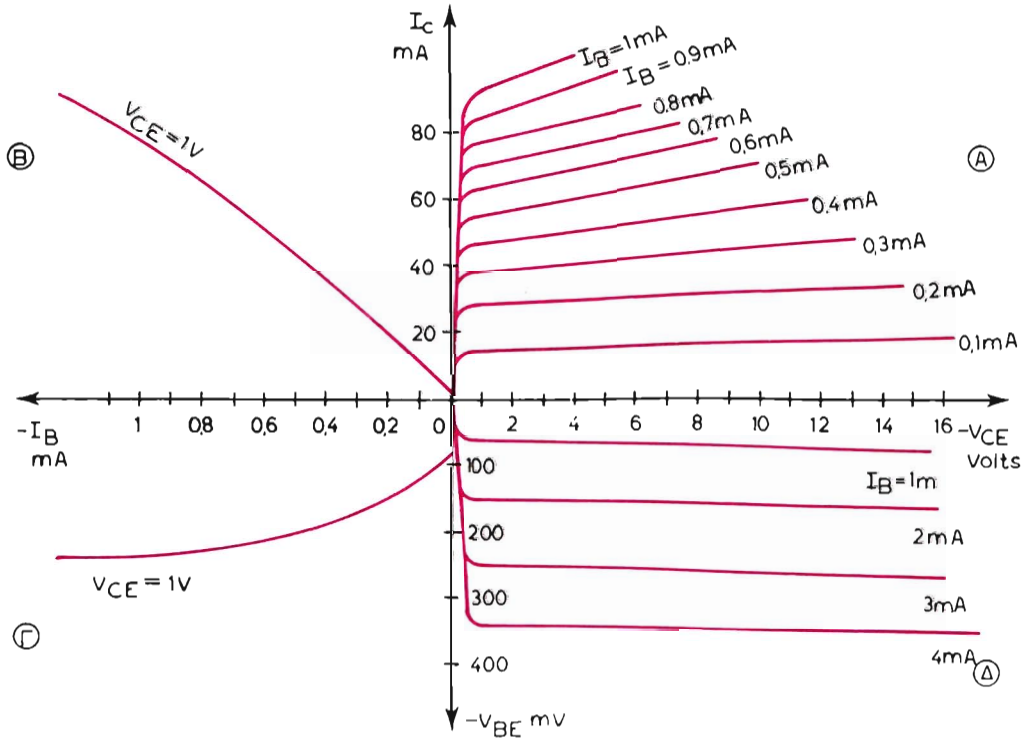
Στην πρώτη συνδεσμολογία τα σήματα εξόδου και εισόδου έχουν διαφορά φάσεως 180°, ενώ στις άλλες δύο το σήμα εξόδου είναι συμφασικό με το σήμα εισόδου.

δ) Συνδεσμολογία κοινού εκπομπού. Χαρακτηριστικές καμπύλες.

Με το κύκλωμα του σχήματος 10.7στ μπορούμε να χαράξομε τις χαρακτηριστικές καμπύλες ενός τρανζίστορ, που είναι χαρακτηριστικές εισόδου και χαρακτηριστικές εξόδου. Το κύκλωμα είναι για PNP τρανζίστορ και έστω ότι είναι το AC125. Είναι τρανζίστορ ενισχυτής Α.Σ. τάσεως και μικρής ισχύος 0,5W, στο οποίο ανήκουν και οι καμπύλες (σχ. 10.7ζ).



Σχ. 10.7στ.
Κύκλωμα μετρήσεων για χάραξη καμπυλών.



Σχ. 10.7ζ.
Χαρακτηριστικές καμπύλες του τρανζίστορ AC125.

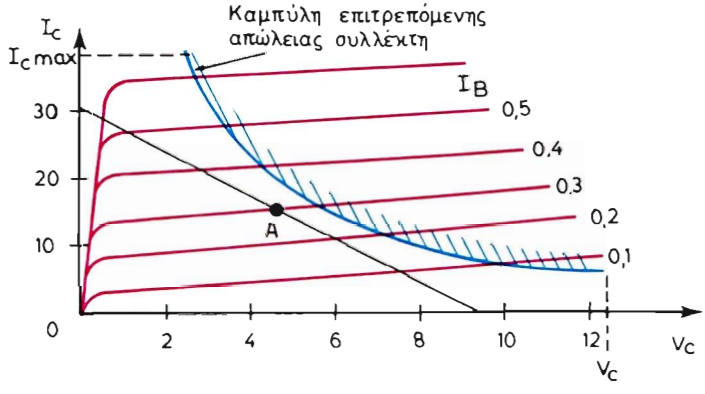
Για να χαράξομε τις καμπύλες συλλέκτη (αντίστοιχες με τις καμπύλες ανόδου στη λυχνία), ρυθμίζομε ένα σταθερό ρεύμα στη βάση, π.χ. 0,1 mA, με το ποτενσιόμετρο P_1. Στη συνέχεια, μεταβάλλοντας την τάση του συλλέκτη από μηδέν μέχρι περίπου 15V, παίρνομε τις αντίστοιχες τιμές του I_C και χαράζομε την πρώτη, από κάτω καμπύλη. Επαναλαμβάνομε την ίδια εργασία για ρεύματα βάσεως 0,2 mA, 0,3 mA, 0,4 mA κ.ο.κ. και σχηματίζομε το σμήνος Α.

Για να χαράξομε την καμπύλη Β, ρυθμίζομε τη τάση συλλέκτη (με το P_2) σε μια τιμή π.χ. 1V και την κρατάμε σταθερή σε όλες τις μετρήσεις. Μεταβάλλομε το I_B (με το P_1), παίρνομε τις αντίστοιχες τιμές του I_c και χαράζομε την καμπύλη που αντιστοιχεί σε μια ορισμένη τάση συλλέκτη V_c σταθερή.

Για την καμπύλη (Γ) ρυθμίζομε πάλι σταθερή τάση συλλέκτη (με το P_2), π.χ. 1V, την οποία κρατάμε σταθερή σε όλες τις μετρήσεις. Μεταβάλλοντας τη V_{BE} (με το P_1), παίρνομε τις αντίστοιχες τιμές του I_B, πάντοτε για σταθερή V_{CE}.

Για τις καμπύλες (Δ), κρατώντας σταθερό το I_B (από το P_1), μεταβάλλομε το V_{CE} (με το P_2) και παίρνομε τις αντίστοιχες τιμές του V_{BE}. Για διάφορες τιμές του I_B χαράζομε τις χαρακτηριστικές (Δ).

Στις καμπύλες συλλέκτη (Α) μπορούμε να χαράξομε την ευθεία φόρτου για μια καθορισμένη τιμή αντιστάσεως φόρτου, όπως και στις λυχνίες και να καθορίσομε το σημείο λειτουργίας Α. Επίσης μπορούμε να χαράξομε και την καμπύλη της μέγιστης επιτρεπόμενης απώλειας στο συλλέκτη (σχ. 10.7η), με την οποία καθορίζομε την απόδοση και το μέγιστο φορτίο του τρανζίστορ.



Σχ. 10.7η.

Οι καμπύλες συλλέκτη, η ευθεία φόρτου και η καμπύλη επιτρεπόμενης απώλειας συλλέκτη.

Οι χαρακτηριστικές του σχήματος 10.7ζ καθώς και άλλες καμπύλες για την ισχύ εξόδου και την απόδοση με μεταβολή της θερμοκρασίας, τη μεταβολή των χαρακτηριστικών και των σταθερών του τρανζίστορ με τη μεταβολή της τάσεως συλλέκτη και της θερμοκρασίας, καθώς και κάθε άλλο χαρακτηριστικό της λειτουργίας του, δίνονται από το εργοστάσιο κατασκευής στα ειδικά βιβλία (Handbooks).

Για τη λειτουργία κάθε τρανζίστορ καθορίζεται μια μέγιστη επιτρεπόμενη τάση συλλέκτη, ένα αντίστοιχο μέγιστο ρεύμα και η μέγιστη ισχύς εξόδου, καθώς και το μέγιστο σήμα διεγέρσεως. Υπάρχουν τρανζίστορ για ενίσχυση τάσεως με μικρό μέγεθος και τρανζίστορ ισχύος με μεγαλύτερο μέγεθος, τα οποία τοποθετούνται επάνω σε κατάλληλη βάση για την ψύξη τους (Heat-Sink).

Με αντίστοιχα κυκλώματα, όπως του σχήματος 10.7στ, μπορούμε να χαράξομε τις καμπύλες για συνδεσμολογία κοινής βάσεως και κοινού συλλέκτη.

Παρατηρώντας τις καμπύλες Α του σχήματος 10.7ζ βλέπομε ότι η κάθε καμπύλη του συλλέκτη αντιστοιχεί σε ρεύμα βάσεως και όχι σε τάση (πολώσεως) όπως στις λυχνίες. Αυτό σημαίνει ότι το τρανζίστορ απαιτεί τάση για την εξουδετέρωση του δυναμικού φραγμού, αλλά και ρεύμα βάσεως για την κανονική του λειτουργία. Απαιτεί δηλαδή ισχύ για τη διέγερσή του, σε αντίθεση με τη λυχνία που απαιτεί τάση.

Η απαίτηση ρεύματος βάσεως δημιουργεί τη μεγάλη διαφορά του τρανζίστορ προς τη λυχνία, η οποία είναι στην αντίσταση εισόδου και στην αντίσταση εξόδου. Σε σύγκριση με την αντίσταση εισόδου της λυχνίας, που είναι ως 5 ΜΩ, το τρανζίστορ παρουσιάζει αντίσταση 5-10 kΩ. Η αντίσταση εξόδου του τρανζίστορ, καθώς και η αντίσταση φόρτου είναι της τάξεως των 5 kΩ, ενώ η αντίσταση εξόδου της λυχνίας καθώς και η αντίσταση φόρτου είναι της τάξεως των 200 kΩ.

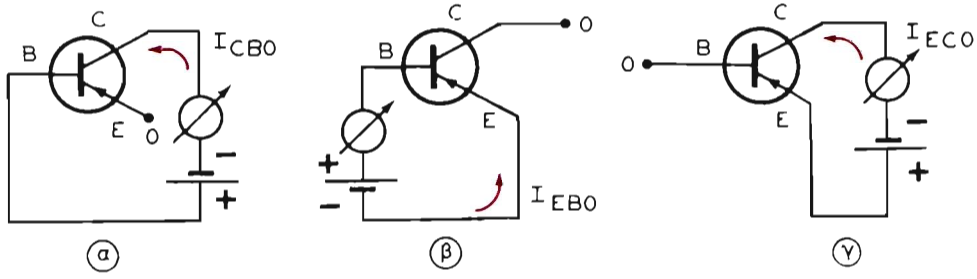
Όπως στη λυχνία υπάρχουν οι ενδοχωρητικότητες μεταξύ των ηλεκτροδίων, έτσι και στο τρανζίστορ υπάρχουν ενδοχωρητικότητες μεταξύ βάσεως-εκπομπού C_{EB}, μεταξύ βάσεως-συλλέκτη C_{BC} και μεταξύ εκπομπού-συλλέκτη C_{EC}. Αυτές οι ενδοχωρητικότητες δημιουργούν προβλήματα, κυρίως στην ενίσχυση των Υ.Σ.

Οι ενδοχωρητικότητες καθορίζονται από την επιφάνεια της επαφής P-N και μεταβάλλονται με τη μεταβολή της τάσεως και της θερμοκρασίας. Με την αύξηση της τάσεως συλλέκτη, η χωρητικότητα C_{BC} μειώνεται, ενώ με την αύξηση του ρεύματος εκπομπού η C_{BC} αυξάνει. Η C_{BC} προκαλεί το μεγαλύτερο πρόβλημα στην Υ.Σ. όπως η χωρητικότητα πλέγματος-ανόδου στην τρίοδη λυχνία.

ε) Ρεύματα διαρροής στο τρανζίστορ.

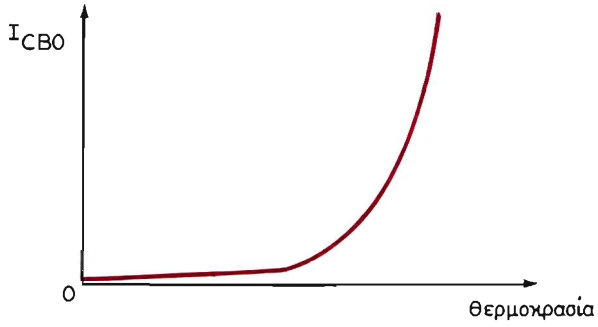
Μιλώντας για την κρυσταλλοδίοδη λυχνία είδαμε ότι στην ανάστροφη πόλωση, υπάρχει ένα πολύ μικρό ρεύμα I_0, το οποίο οφείλεται στη διάσπαση των ομοιοπολικών δεσμών του κρυσταλλικού πλέγματος, με την εφαρμογή της τάσεως.

Στο τρανζίστορ παρατηρούνται τα αντίστοιχα ρεύματα με την εφαρμογή της ανάστροφης τάσεως στους ακροδέκτες. Έτσι υπάρχουν τρία ανάστροφα ρεύματα, τα I_{CBO}, I_{EBO} και I_{CEO}, τα οποία μετράμε με τα αντίστοιχα κυκλώματα του σχήματος 10.7θ.



Σχ. 10.7θ.
Ρεύματα διαρροής σε PNP τρανζίστορ.

Τα ρεύματα αυτά είναι παρασιτικά και δημιουργούν προβλήματα στη λειτουργία του τρανζίστορ ως ενισχυτή, όπως μπορεί να είναι η εσωτερική ανάδραση στο τρανζίστορ. Εκείνο που προκαλεί μεγαλύτερο πρόβλημα και καταστρέφει συνή-



Σχ. 10.7ι.
Μεταβολή του I_{CBO} με τη θερμοκρασία.

θως το τρανζίστορ είναι το ρεύμα I_{CBO}. Αυτό το ρεύμα δεν ελέγχεται από την τάση της βάσεως ή του εκπομπού. Αυξάνει πολύ με την αύξηση της θερμοκρασίας. Καθώς λοιπόν αυξάνει η θερμοκρασία αυξάνει και το ρεύμα, θερμαίνεται περισσότερο το τρανζίστορ, αυξάνει πιο πολύ το ρεύμα, μέχρι να καταστραφεί το τρανζίστορ. Η μεταβολή του I_{CBO} με τη θερμοκρασία φαίνεται στο σχήμα 10.7ι. Σημειώνεται εδώ ότι ένα τρανζίστορ γερμανίου μπορεί να λειτουργεί κανονικά μέχρι τους 70°-80°C, ενώ το τρανζίστορ πυριτίου μέχρι 170°C περίπου.

10.8 Ισοδύναμα κυκλώματα των τρανζίστορ και παράμετροι.

Τη λειτουργία των τρανζίστορ ως ενισχυτών μπορούμε να μελετήσομε με δύο τρόπους όπως και στις λυχνίες. Ο ένας τρόπος είναι ο γραφικός και ο άλλος είναι ο μαθηματικός με τη βοήθεια των ισοδύναμων κυκλωμάτων. Το γραφικό τρόπο γνωρίσαμε ήδη στην παράγραφο 4.2. Το ισοδύναμο κύκλωμα μπορεί να αποδοθεί με δύο τρόπους: ο ένας είναι να αποδοθεί σαν κύκλωμα Τ ή Π με αντιστάτες και ο άλλος είναι να αποδοθεί σαν τετράπολο. Και στις δύο περιπτώσεις λαμβάνονται υπόψη μόνο οι εναλλασσόμενες συνιστώσες, δηλαδή η συμπεριφορά του τρανζίστορ στο εναλλασσόμενο σήμα που ενισχύει.

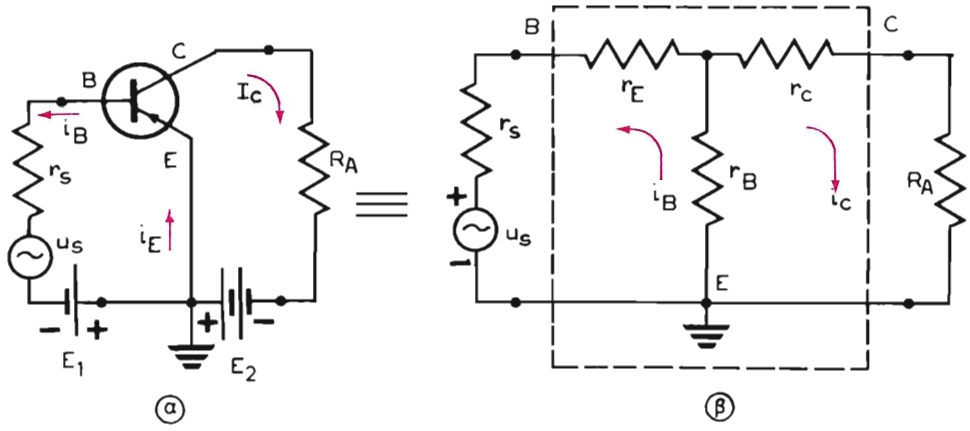
Έτσι εργαζόμαστε με την εναλλασσόμενη τάση εισόδου και εξόδου, με το εναλλασσόμενο ρεύμα εισόδου και εξόδου, τις αντιστάσεις εισόδου και εξόδου στο Ε.Ρ. και με τις αγωγιμότητες εισόδου και εξόδου στο Ε.Ρ.

Ισοδύναμα κυκλώματα μπορούμε να σχηματίσομε και για τις τρεις βασικές συνδεσμολογίες κοινού εκπομπού, κοινής βάσεως και κοινού συλλέκτη. Στο σχήμα 10.8α φαίνεται το βασικό κύκλωμα κοινού εκπομπού και το ισοδύναμό του κύκλωμα Τ με αντιστάτες, όπου σημειώνονται οι αντιστάσεις εκπομπού, βάσεως και συλλέκτη, καθώς και τα αντίστοιχα ρεύματα. Μπορεί να έχομε αντίστοιχα κυκλώματα κοινής βάσεως και κοινού συλλέκτη.

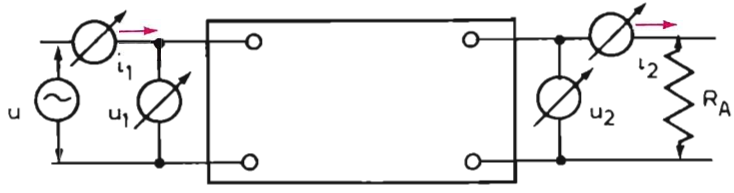
Περισσότερο χρησιμοποιούνται τα ισοδύναμα τετράπολα κυκλώματα για τους υπολογισμούς των τρανζίστορ, από τα οποία εξέρχονται οι παράμετροι Z (αντιστάσεως), Y (αγωγιμότητας) και h (υβριδικές παράμετροι), που έχουν και τη μεγαλύτερη χρησιμότητα.

α) Παράμετροι Z.

Στο κύκλωμα 10.8β φαίνεται το ισοδύναμο τετράπολο ενός ενισχυτικού κυκλώ-



Σχ. 10.8α.
Βασικό κύκλωμα ενισχυτή κοινού εκπομπού (α) και το ισοδυναμό του κύκλωμα Τ (β).



Σχ. 10.8β.
Απλή μορφή τετραπόλου.

ματος που μπορεί να είναι και το κύκλωμα του σχήματος 10.8α(α) ή ένα κύκλωμα κοινής βάσεως ή συλλέκτη.

Μπορούμε να έχομε τέσσερις συνδυασμούς μετρήσεων στο τετράπολο και να υπολογίσομε τις αντίστοιχες τέσσερις παραμέτρους Z που είναι:
$Z_i \equiv Z_{11}$, $Z_r \equiv Z_{12}$, $Z_f \equiv Z_{21}$ και $Z_0 \equiv Z_{22}$.

$$Z_i \equiv Z_{11} = \frac{u_1}{i_1} \quad \text{για } i_2 = 0$$

Είναι η σύνθετη αντίσταση εισόδου του τετράπολου και δίνεται από το λόγο της τάσεως εισόδου u_1 προς το ρεύμα εισόδου i_1, όταν η έξοδος είναι ανοικτή, δηλαδή $i_2 = 0$.

$$Z_r \equiv Z_{12} = \frac{u_1}{i_2} \quad \text{για } i_1 = 0$$

Είναι η σύνθετη αντίσταση ανάστροφης μεταφοράς και δίνεται από το λόγο της τάσεως εισόδου u_1 προς το ρεύμα εξόδου i_2, όταν η είσοδος είναι ανοικτή, δηλαδή $i_1 = 0$.

$$Z_f \equiv Z_{21} = \frac{u_2}{i_1} \quad \text{για } i_2 = 0$$

Είναι η σύνθετη αντίσταση ορθής μεταφοράς και δίνεται από το λόγο της τάσεως εξόδου u_2 προς το ρεύμα εισόδου i_1, όταν η έξοδος είναι ανοικτή, δηλαδή $i_2 = 0$.

$$Z_0 \equiv Z_{22} = \frac{u_2}{i_2} \quad \text{για } i_1 = 0$$

Είναι η σύνθετη αντίσταση εξόδου και δίνεται από το λόγο της τάσεως εξόδου u_2 προς το ρεύμα εξόδου i_2, όταν η είσοδος είναι ανοικτή, δηλαδή $i_1 = 0$.

Αν δίπλα στο χαρακτηριστικό γράμμα της παραμέτρου υπάρχει και το e, αυτό σημαίνει ότι οι παράμετροι είναι συνδεσμολογίας κοινού εκπομπού, π.χ. Z_{ie} ή Z_{fe}. Αν το γράμμα είναι b, σημαίνει ότι οι παράμετροι είναι συνδεσμολογίας κοινής βάσεως, π.χ. Z_{ib} ή Z_{fb}. Αν το γράμμα είναι c σημαίνει ότι οι παράμετροι είναι συνδεσμολογίας κοινού συλλέκτη, π.χ. Z_{ic} ή Z_{fc}.

β) Παράμετροι Y.

Με το ίδιο κύκλωμα του σχήματος 10.8β μπορούμε να υπολογίσομε τις παραμέτρους αγωγιμότητας, που είναι:

$$Y_i \equiv Y_{11} = \frac{i_1}{u_1} \quad \text{για } u_2 = 0$$

Είναι η σύνθετη αγωγιμότητα εισόδου και δίνεται από το λόγο του ρεύματος εισόδου i_1 προς την τάση εισόδου u_1, όταν η έξοδος είναι βραχυκυκλωμένη, δηλαδή $u_2 = 0$

$$Y_r \equiv Y_{12} = \frac{i_1}{u_2} \quad \text{για } u_1 = 0$$

Είναι η σύνθετη αγωγιμότητα ανάστροφης μεταφοράς και δίνεται από το λόγο του ρεύματος εισόδου i_1 προς την τάση εξόδου u_2, όταν η είσοδος είναι βραχυκυκλωμένη, δηλαδή $u_1 = 0$

$$Y_f \equiv Y_{21} = \frac{i_2}{u_1} \quad \text{για } u_2 = 0$$

Είναι η σύνθετη αγωγιμότητα ορθής μεταφοράς και δίνεται από το λόγο του ρεύματος εξόδου i_2 προς τη τάση εισόδου u_1, όταν η έξοδος είναι βραχυκυκλωμένη, δηλαδή $u_2 = 0$.

$$Y_0 \equiv Y_{22} = \frac{i_2}{u_2} \quad \text{για } u_1 = 0$$

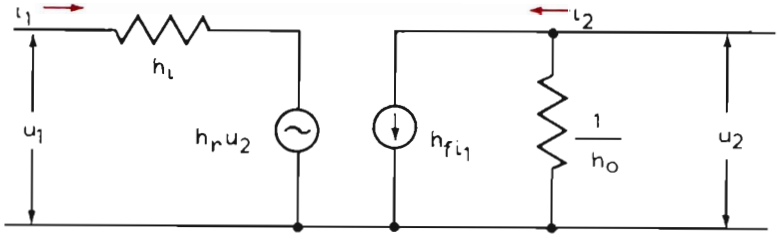
Είναι η σύνθετη αγωγιμότητα εξόδου και δίνεται από το λόγο του ρεύματος εξόδου προς την τάση εξόδου, όταν η είσοδος είναι βραχυκυκλωμένη, δηλαδή $u_1 = 0$.

Για τους πρόσθετους δείκτες e, c και b ισχύουν τα ίδια όπως και στις παραμέτρους Z, δηλαδή για συνδεσμολογίες κοινού εκπομπού, κοινού συλλέκτη και κοινής βάσεως.

γ) Παράμετροι h.

Οι παράμετροι h λέγονται και ***μικτές*** ή ***υβριδικές παράμετροι*** και είναι οι παράμετροι που χρησιμοποιούνται περισσότερο. Στο σχήμα 10.8γ φαίνεται το υβριδικό ισοδύναμο του τετράπολου.

Τις υβριδικές παραμέτρους υπολογίζομε από τις παρακάτω σχέσεις και έχουν τα αντίστοιχα χαρακτηριστικά.



Σχ. 10.8γ.
Υβριδικό ισοδύναμο τετραπόλου.

$$h_i \equiv h_{11} = \frac{u_1}{i_1} \quad \text{για } u_2 = 0$$

Είναι η σύνθετη αντίσταση εισόδου και δίνεται από το λόγο της τάσεως εισόδου u_1 προς το ρεύμα εισόδου i_1, όταν η έξοδος είναι βραχυκυκλωμένη, δηλαδή $u_2 = 0$.

$$h_r \equiv h_{12} = \frac{u_1}{u_2} \quad \text{για } i_1 = 0$$

Είναι το ανάστροφο της ενισχύσεως τάσεως και δίνεται από το λόγο της τάσεως εισόδου u_1 προς τη τάση εξόδου u_2, όταν η είσοδος είναι ανοικτή δηλαδή $i_1 = 0$.

$$h_f \equiv h_{21} = \frac{i_2}{i_1} \quad \text{για } u_2 = 0$$

Είναι η ενίσχυση ρεύματος και δίνεται από το λόγο του ρεύματος εξόδου i_2 προς το ρεύμα εισόδου i_1, όταν η έξοδος είναι βρακυκλωμένη, δηλαδή $u_2 = 0$.

$$h_o \equiv h_{22} = \frac{i_2}{u_2} \quad \text{για } i_1 = 0$$

Είναι η σύνθετη αγωγιμότητα εξόδου και δίνεται από το λόγο του ρεύματος εξόδου i_2 προς την τάση εξόδου u_2, όταν η είσοδος είναι ανοικτή, δηλαδή $i_1 = 0$.

Οι πρόσθετοι δείκτες e, c και b στους δείκτες των παραμέτρων σημαίνουν ότι ανήκουν σε συνδεσμολογίες κοινού εκπομπού (π.χ. h_{fe}), κοινού συλλέκτη (π.χ. h_{fc}) και κοινής βάσεως (π.χ. h_{fb}).

Τις παραμέτρους Z, Y και h μπορούμε να τις υπολογίσομε και γραφικά από τις καμπύλες της αντίστοιχης συνδεσμολογίας. Από τις καμπύλες του κυκλώματος κοινού εκπομπού, του σχήματος 10.7ζ μπορούμε να υπολογίσομε τις παραμέτρους h από τις μεταβολές τάσεων και εντάσεων στις καμπύλες. Η παράμετρος h_{ie} υπολογίζεται από την καμπύλη Γ του σχήματος 10.7ζ για μικρή μεταβολή επάνω στην καμπύλη της τάσεως V_{BE} και της αντίστοιχης μεταβολής του I_B. Δηλαδή έχομε:

$$h_{ie} = \frac{\Delta V_{BE}}{\Delta I_B} \quad \text{για } V_{CE} = \text{σταθερό}$$

Από τις καμπύλες Δ του ίδιου σχήματος υπολογίζομε την παράμετρο h_{re} από τη σχέση:

$$h_{re} = \frac{\Delta V_{BE}}{\Delta V_{CE}} \qquad \text{για } I_B = \text{σταθερό}$$

Από τις καμπύλες Β υπολογίζομε την παράμετρο h_{fe} (που είναι ο συντελεστής ενισχύσεως ρεύματος β) από τη σχέση:

$$h_{fe} = \frac{\Delta I_c}{\Delta I_B} \qquad \text{για } V_{CE} = \text{σταθερό}$$

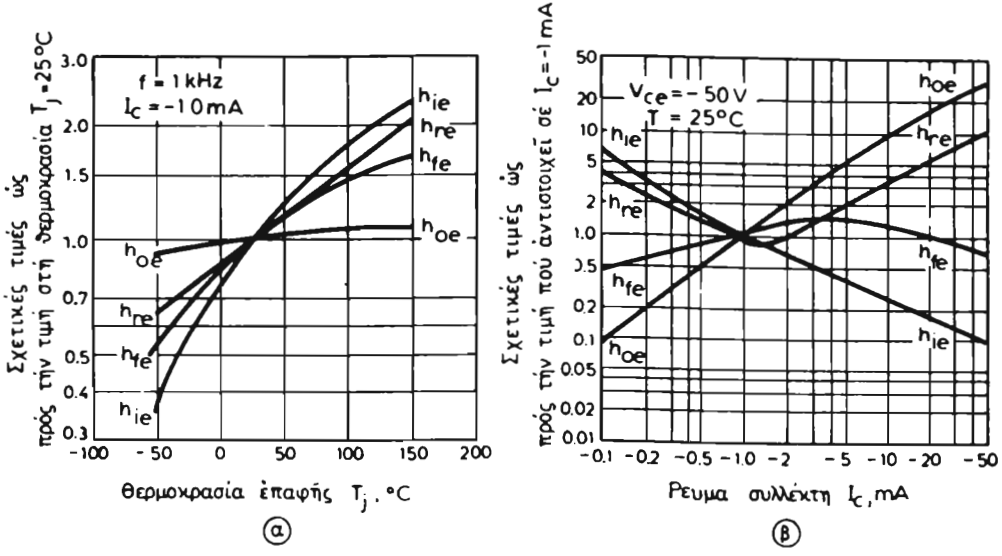
Τέλος από τις καμπύλες Α υπολογίζομε την παράμετρο h_{oe} από τη σχέση:

$$h_{oe} = \frac{\Delta I_c}{\Delta V_{CE}} \qquad \text{για } I_B = \text{σταθερό}$$

Ο γραφικός υπολογισμός γίνεται όπως αναφέρθηκε στις παραγράφους 2.4 και 2.5, όπου γίνεται λόγος για τον υπολογισμό των παραμέτρων της λυχνίας.

Οι παράμετροι των τρανζίστορ δίνονται από τον κατασκευαστή στα Handbooks για ορισμένη θερμοκρασία και καθορισμένες τάσεις και ρεύματα συλλέκτη. Οι παράμετροι μεταβάλλονται με τη μεταβολή της θερμοκρασίας, όπως φαίνεται στο σχήμα 10.8δ(α), όπου η κανονική τους τιμή είναι στους 25°C. Σε μικρότερη θερμοκρασία, η τιμή τους μειώνεται και γίνεται π.χ. το 0,7 της κανονικής τιμής, ενώ σε μεγαλύτερη θερμοκρασία η τιμή τους αυξάνει και γίνεται π.χ. το 1,5 της κανονικής τιμής.

Στο σχήμα 10.8δ(β) φαίνεται η μεταβολή των παραμέτρων για μεταβολή του ρεύματος συλλέκτη πάνω και κάτω από την κανονική του τιμή που είναι η μονάδα. Οι παράμετροι είναι συνδεσμολογίας κοινού εκπομπού.



Σχ. 10.8δ.

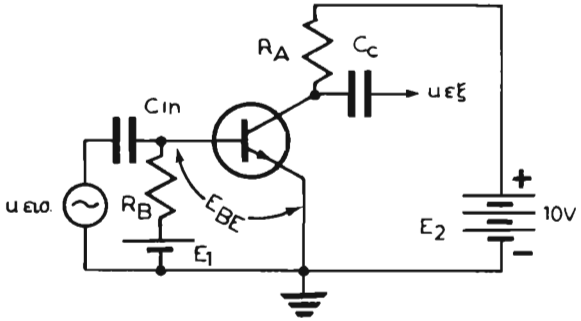
Μεταβολή παραμέτρων (α) με τη θερμοκρασία και (β) με το ρεύμα συλλέκτη I_c.

10.9 Πόλωση και σταθεροποίηση της πολώσεως.

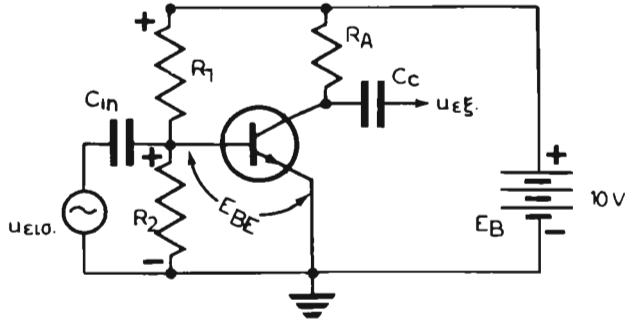
Για να λειτουργήσει το τρανζίστορ ως ενισχυτής, πρέπει να έχει ορθή πόλωση μεταξύ εκπομπού και βάσεως για την εξουδετέρωση του δυναμικού φραγμού και τη λειτουργία του.

Η πόλωση πρέπει να παραμένει σταθερή κατά τη λειτουργία του ενισχυτή για να μη μεταβάλλονται το σημείο λειτουργίας και τα χαρακτηριστικά του. Με τη μεταβολή της θερμοκρασίας μεταβάλλονται πάλι τα χαρακτηριστικά λειτουργίας και γι' αυτό πρέπει να γίνεται μια αντιστάθμιση κατά κάποιο τρόπο στην πόλωση, για να μη μεταβάλλεται το ρεύμα συλλέκτη και η λειτουργία.

Στο σχήμα 10.9α είναι το κύκλωμα ενός απλού ενισχυτή με αντιστάτες. Η πόλωση του τρανζίστορ εξασφαλίζεται με την πηγή E_1, ενώ η πηγή E_2 είναι για το κύκλωμα συλλέκτη. Η τάση πολώσεως για λειτουργία σε τάξη Α είναι 0,2-0,4V περίπου για τα τρανζίστορ γερμανίου και 0,5-0,7V περίπου για τα τρανζίστορ πυριτίου, πάντοτε σε ορθή σύνδεση. Η E_1 επομένως είναι μια πηγή μικρής τάσεως.



Σχ. 10.9α.
Κύκλωμα απλού ενισχυτή με NPN τρανζίστορ και με πηγή πολώσεως.



Σχ. 10.9β.
Κύκλωμα απλού ενισχυτή με πόλωση με διαιρέτη τάσεως από την πηγή τροφοδοσίας.

Για να καταργηθεί η πηγή E_1 και να δημιουργείται η ορθή πόλωση βάσεως εκπομπού, χρησιμοποιείται ο διαιρέτης τάσεως με τους αντιστάτες R_1 και R_2 που φαίνονται στο σχήμα 10.9β. Αυτή η μέθοδος εφαρμόζεται σε όλες σχεδόν της ενισχυτικές βαθμίδες. Ο λόγος των αντιστατών είναι τέτοιος, ώστε στις άκρες του R_2

να σχηματίζεται η απαιτούμενη τάση, που είναι και τάση πολώσεως μεταξύ του εκπομπού και της βάσεως.

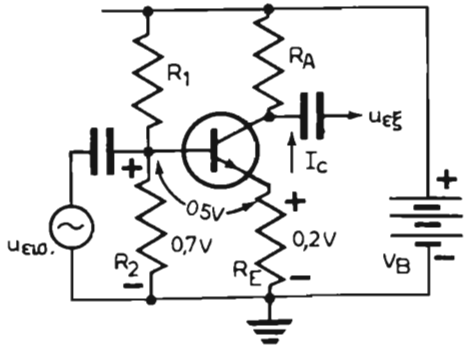
Κατά τον υπολογισμό των R_1 και R_2 υπολογίζεται παράλληλα στην R_2 και η αντίσταση εισόδου του τρανζίστορ. Σε πολλά κυκλώματα μπορεί να μην υπάρχει η R_2, γιατί στη θέση της είναι η αντίσταση εισόδου R_{in} του τρανζίστορ. Συνήθως ο λόγος R_1/R_2 είναι 5-10 περίπου και οι τιμές του καθορίζονται από το είδος του τρανζίστορ, δηλαδή ενισχυτής τάσεως Α.Σ., ενισχυτής ισχύος Α.Σ., ενισχυτής τάσεως Υ.Σ. κλπ.

Το ρεύμα ηρεμίας του τρανζίστορ παραμένει σταθερό εφόσον η θερμοκρασία του τρανζίστορ παραμένει σταθερή. Με την αύξηση όμως της θερμοκρασίας περιβάλλοντος, ή την αύξηση της θερμοκρασίας του τρανζίστορ κατά τη λειτουργία του, θα παρατηρηθεί αύξηση του ρεύματος ηρεμίας I_c αλλά και των ρευμάτων ανάστροφης πολώσεως, με αποτέλεσμα την παραπέρα αύξηση της θερμοκρασίας, τη μεταβολή των χαρακτηριστικών λειτουργίας ή και την καταστροφή του τρανζίστορ. Για τους λόγους αυτούς επιβάλλεται η ανάγκη της σταθεροποιήσεως της λειτουργίας του. Για τη σταθεροποίηση της λειτουργίας χρησιμοποιούνται οι παρακάτω τρόποι.

α) Με αντιστάτη στον εκπομπό.

Στο σχήμα 10.9γ φαίνεται το κύκλωμα του ενισχυτή του σχήματος 10.9β, στο οποίο έχει προστεθεί ένας αντιστάτης R_E μεταξύ εκπομπού και κοινού. Καθώς διέρχεται το ρεύμα του συλλέκτη I_c από τον R_E, προκαλείται μια πτώση τάσεως στις άκρες του που είναι $V_{RE} = I_c \cdot R_E$ και έχει την πολικότητα του σχήματος. Η V_{RE} είναι σε σειρά με την τάση στις άκρες του R_2 μεταξύ βάσεως και εκπομπού, αλλά επειδή έχουν αντίθετη πολικότητα αφαιρούνται. Τελικά μεταξύ βάσεως και εκπομπού υπάρχει η κανονική πόλωση V_{BE}, η οποία στο σχήμα είναι 0,5V με συν (+) στη βάση και μείον (—) στον εκπομπό.

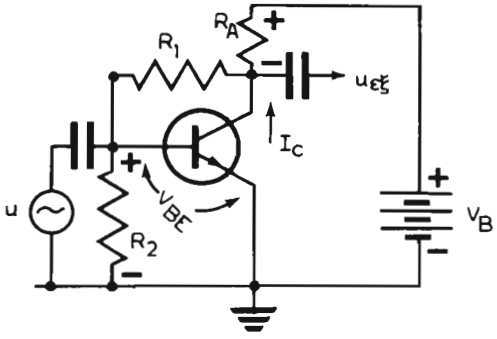
Όταν το I_c πάει να αυξηθεί από κάποια αιτία, αυξάνει η πτώση τάσεως στον R_E και ο εκπομπός γίνεται θετικότερος, με αποτέλεσμα να μειώνεται η αγωγιμότητα του τρανζίστορ και τελικά το I_c να παραμένει σταθερό.



Σχ. 10.9γ.
Σταθεροποίηση πολώσεως με αντιστάτη στον εκπομπό.

β) Με σύνδεση του διαιρέτη στο συλλέκτη.

Στο κύκλωμα του σχήματος 10.9δ ο αντιστάτης R_1 συνδέεται στο συλλέκτη. Όταν το I_c έχει την κανονική του τιμή, δημιουργείται η απαιτούμενη τάση



Σχ. 10.9δ.
Σταθεροποίηση πολώσεως με σύνδεση στο συλλέκτη.

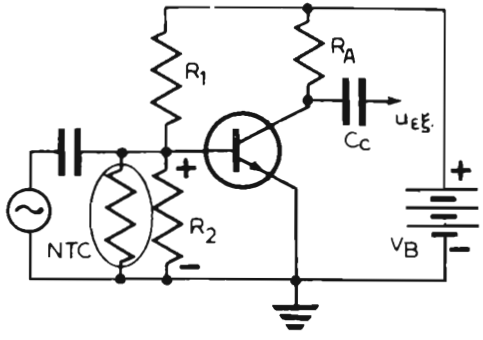
πολώσεως με το διαιρέτη τάσεως R_1 και R_2. Όταν το I_C πάει να αυξηθεί, αυξάνει η πτώση τάσεως στον R_A και ο συλλέκτης γίνεται αρνητικότερος. Επομένως και ο κόμβος του διαιρέτη τάσεως R_1-R_2 γίνεται αρνητικότερος και έτσι γίνεται αρνητικότερη και η βάση, με αποτέλεσμα να μειώνεται η αγωγιμότητα του τρανζίστορ. Έτσι το I_C παραμένει σταθερό και από αυτό σταθερή και η λειτουργία του ενισχυτή.

Επειδή όμως ο R_1 συνδέεται στο συλλέκτη, εφαρμόζεται αρνητική ανάδραση στον ενισχυτή. Γι' αυτό ο τρόπος αυτός εφαρμόζεται όταν πρέπει να εφαρμοσθεί και αρνητική ανάδραση.

γ) Με θερμίστορ στη βάση.

Παράλληλα με τον R_2 του διαιρέτη τάσεως συνδέεται ένα θερμίστορ αρνητικού συντελεστή θερμοκρασίας (NTC), του οποίου η αντίσταση μειώνεται με την αύξηση της θερμοκρασίας. Η τιμή του θερμίστορ είναι αντίστοιχη της R_2. Το κύκλωμα φαίνεται στο σχήμα 10.9ε. Η ισοδύναμη τιμή της R_2 καθορίζεται από το παράλληλο θερμίστορ, την R_2 και την αντίσταση εισόδου του τρανζίστορ.

Με την αύξηση της θερμοκρασίας του περιβάλοντος, το θερμίστορ θερμαίνεται και η αντίσταση μειώνεται. Όταν μειωθεί η ισοδύναμη R_2, μειώνεται η τάση στις άκρες της και η βάση γίνεται λιγότερο θετική, με αποτέλεσμα να μειώνεται η αγωγιμότητα του τρανζίστορ. Έτσι, ενώ το I_C πάει να αυξηθεί με την αύξηση της θερμοκρασίας μειώνεται η πόλωση, με αποτέλεσμα να μειώνεται το I_C και πρακτικά να παραμένει σταθερό.

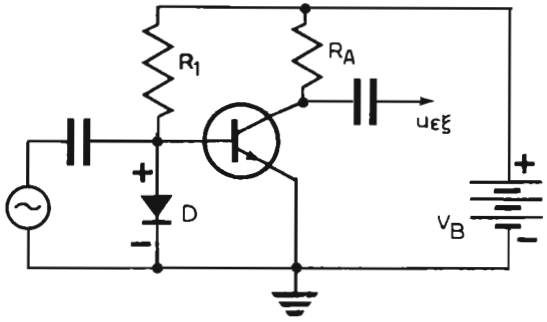


Σχ. 10.9ε.
Σταθεροποίηση πολώσεως με θερμίστορ.

δ) Με κρυσταλλοδίοδη στη βάση.

Την ίδια επίδραση με το θερμίστορ έχει και η δίοδη. Αν αυξηθεί η θερμοκρασία, αυξάνει η αγωγιμότητά της, οπότε μειώνεται η τάση στις άκρες της και η βάση γίνεται λιγότερο θετική, με αποτέλεσμα τη μείωση της αγωγιμότητας του τρανζίστορ (σχ. 10.9στ).

Σε ενισχυτές ισχύος χρησιμοποιούνται συγχρόνως οι τρόποι (α) και (γ) όπου υπάρχει ο αντιστάτης R_E και το θερμίστορ, για καλύτερο αποτέλεσμα ως προς τη σταθεροποίηση της λειτουργίας.



Σχ. 10.9στ.
Σταθεροποίηση πολώσεως με δίοδη.

10.10 Άλλα είδη κρυσταλλολυχνιών — Φωτοτρανζίστορ.

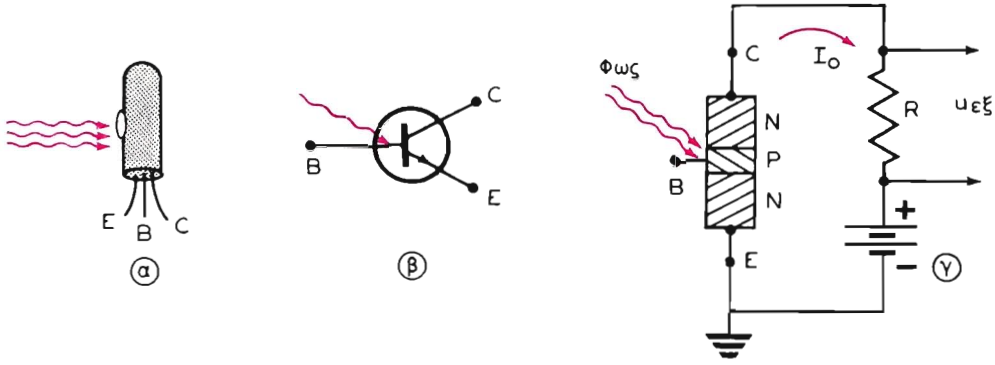
Το φωτοτρανζίστορ έχει την ίδια κατασκευή με το απλό τρανζίστορ επαφής. Είναι κλεισμένο σε γυάλινο περίβλημα, βαμμένο συνήθως μαύρο, ή σε πλαστικό αδιαφανές περίβλημα. Στη θέση που αντιστοιχεί στην επαφή βάσεως συλλέκτη, το περίβλημα είναι διαφανές, για να μπορεί να περνά φωτεινή δέσμη και να επιδρά στην επαφή P-N βάσεως-συλλέκτη.

Το φωτοτρανζίστορ συνδέεται σε εξωτερική πηγή μεταξύ εκπομπού και συλλέκτη, ενώ η βάση παραμένει συνήθως ασύνδετη. Ο συλλέκτης συνδέεται σε ανάστροφη πολικότητα και έτσι από το τρανζίστορ διέρχεται μόνο το ρεύμα διαρροής I_0, το οποίο έχει πολύ μικρή τιμή,της τάξεως των λίγων μA.

Σε σειρά στο κύκλωμα παρεμβάλλεται και αντιστάτης μεγάλης τιμής, ο οποίος χρησιμεύει στη δημιουργία πτώσεως τάσεως U_R, όταν διέρχεται το ρεύμα I_0.

Στο σχήμα 10.10 φαίνεται η εξωτερική μορφή ενός φωτοτρανζίστορ (α) ο συμβολισμός του (β) και το κύκλωμά του (γ).

Όταν δεν πέφτει φως, το I_0 είναι μικρό και έχει σταθερή τιμή. Έτσι στις άκρες του αντιστάτη R δημιουργείται μια σταθερή πτώση τάσεως μικρής τιμής. Όταν όμως πέσει φως στο διαφανές σημείο, φωτίζεται η επαφή P-N συλλέκτη-βάσεως και στην περιοχή απογυμνώσεως παρουσιάζονται φορείς αγωγιμότητας από διάσπαση δεσμών λόγω της ενέργειας των φωτονίων. Έτσι το I_0 αυξάνει, με αποτέλεσμα να αυξάνει και η πτώση τάσεως στον R και να έχει μεγαλύτερη τάση εξόδου. Η τάση εξόδου καθορίζεται από την ένταση της φωτεινής δέσμης και από το χρώμα του φωτός, δηλαδή το μήκος κύματος της φωτεινής δέσμης και της αντίστοιχης ενέργειας που έχουν τα φωτόνια.



Σχ. 10.10.
Το φωτοτρανζίστορ.
α) Εξωτερική μορφή. β) Συμβολισμός. γ) Το κύκλωμά του.

Τα φωτοτρανζίστορ χρησιμοποιούνται σε διατάξεις αυτοματισμών, στους ηλεκτρονικούς υπολογιστές για την ανάγνωστη των διάτρητων καρτελών κλπ.

10.11 Τα θυρίστορ.

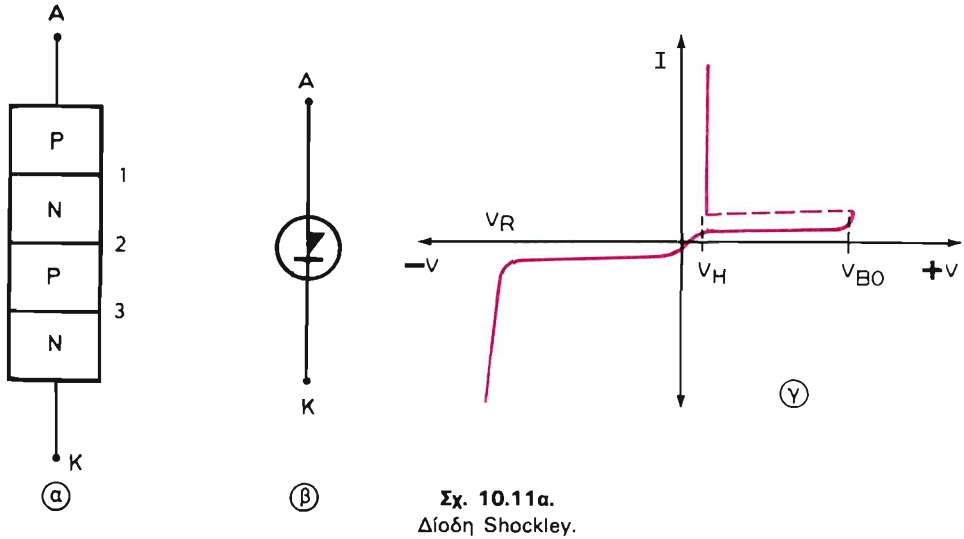
Τα θυρίστορ είναι κρυσταλλολυχνίες που παρουσιάζουν δύο βασικές καταστάσεις κατά τη λειτουργία τους την ***αγωγιμότητα*** ή τη ***διακοπή.*** Μπορούν να λειτουργήσουν ως διακόπτες πολύ μεγάλων ρευμάτων, γιατί στην αποκοπή παρουσιάζουν αντίσταση της τάξεως των ΜΩ, ενώ στην αγωγιμότητα παρουσιάζουν αντίσταση κλάσματος του Ω. Η λειτουργία τους μοιάζει με τη λειτουργία της θύρατρον. Η θύρατρον λειτουργεί με μεγάλες τάσεις, ενώ τα θυρίστορ μπορούν να λειτουργήσουν και σε μικρές τάσεις με ισχείς δεκάδων kW. Πλεονεκτούν σε σχέση με τη θύρατρον, γιατί δεν απαιτούν ισχύ θερμάνσεως και διεγέρσεως και έχουν πολύ μικρό όγκο.

Στην οικογένεια των θυρίστορ ανήκουν οι δίοδοι Shockley, οι ελεγχόμενοι ανορθωτές πυριτίου SCR, οι δίοδοι διπλής αγωγιμότητας DIAC, οι ελεγχόμενοι ανορθωτές πυριτίου διπλής αγωγιμότητας TRIAC.

α) Δίοδη Shockley.

Είναι τεσσάρων στρώσεων PNPN και δημιουργεί τρεις επαφές P-N, όπως φαίνεται στο σχήμα 10.↑1α(α). Φαίνεται ο συμβολισμός της (β) και η χαρακτηριστική της καμπύλη (γ) στην ορθή και ανάστροφη πόλωση. Ορθή πόλωση έχομε όταν το συν (+) της πηγής συνδέεται στην άνοδο (υλικό P) και το μείον (—) στην κάθοδο (υλικό N). Όταν αυξάνομε την τάση στην ορθή πόλωση, το ρεύμα είναι πολύ μικρό και είναι ρεύμα διαρροής I_0. Η αντίσταση της δίοδης είναι της τάξεως των δεκάδων ΜΩ, γιατί η δεύτερη επαφή P-N βρίσκεται σε ανάστροφη πόλωση. Αν αυξήσομε πολύ την τάση και φθάσομε στην τάση Zener, τότε παρατηρείται μεγάλη αγωγιμότητα, η αντίσταση μειώνεται σε λίγα Ω και η τάση ανόδου-καθόδου γίνεται ελάχιστη V_H.

Η τάση στην οποία παρατηρείται η μεγάλη αγωγιμότητα λέγεται ***τάση εκκινήσεως*** και συμβολίζεται με το V_{BO} (Break-Over Voltage). Η τιμή της τάσεως εκκινήσεως είναι χαρακτηριστικό της δίοδης και καθορίζεται κυρίως από τις προ-



Σχ. 10.11α.
Δίοδη Shockley.
α) Συγκρότηση. β) Συμβολισμός. γ) Καμπύλη.

σμίξεις. Κατά τη λειτουργία της, η δίοδη αυτή πρέπει να έχει και αντιστάτη σε σειρά με την άνοδο, για να προστατεύει τη δίοδη από υπερβολικό ρεύμα και καταστροφή. Η τάση λειτουργίας V_H, στην οποία έχομε το μέγιστο ρεύμα, λέγεται και ***τάση συγκρατήσεως*** (Holding Voltage). Για να σταματήσει η λειτουργία της δίοδης, πρέπει η τάση ανόδου-καθόδου να γίνει μικρότερη από την τάση συγκρατήσεως.

Αν αντιστρέψομε την πολικότητα της πηγής και αυξήσομε την τάση, θα εμφανισθεί τώρα το φαινόμενο Zener στις επαφές 1 και 3 και θα έχομε πάλι απότομη αύξηση του ανάστροφου ρεύματος στην τάση V_R.

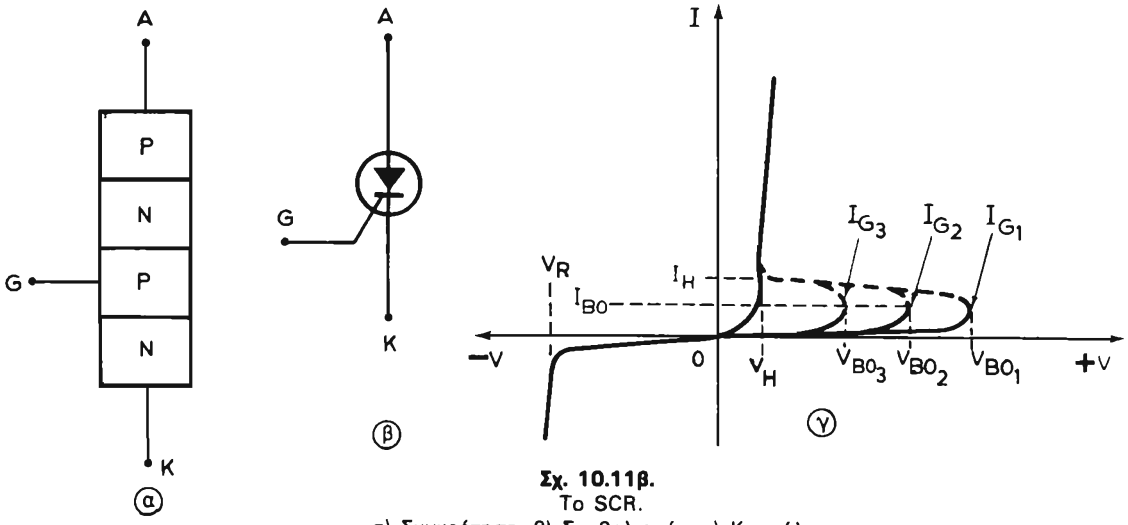
Οι δίοδοι Shockley χρησιμοποιούνται κυρίως στα κυκλώματα διεγέρσεως των θυρίστορ και των TRIAC και στα κυκλώματα παραγωγής πριονωτών τάσεων, όπως οι δίοδες λυχνίες ψυχρής καθόδου.

β) Ελεγχόμενος ανορθωτής πυριτίου SCR (Silicon Controlled Rectifier).

Αυτό είναι το κυρίως θυρίστορ που είναι αντίστοιχο της θύρατρον. Αποτελείται και αυτό από τέσσερις στρώσεις PNPN όπως και η προηγούμενη δίοδη, αλλά έχει και ένα ηλεκτρόδιο που συνδέεται στη δεύτερη στρώση και ονομάζεται ***θύρα*** (Gate). Με παλμό τάσεως και αντίστοιχου ρεύματος που θα δώσομε στη θύρα, ρυθμίζομε την τάση εκκινήσεως V_{BO} του θυρίστορ.

Στο σχήμα 10.11β φαίνεται η συγκρότηση του SCR (α), ο συμβολισμός του (β) και η καμπύλη λειτουργίας του και η μεταβολή της τάσεως εκκινήσεως V_{BO} σε συνάρτηση με το ρεύμα της θύρας (γ). Όσο το ρεύμα της θύρας γίνεται μεγαλύτερο τόσο η εκκίνηση γίνεται σε μικρότερη τάση. Μετά την εκκίνηση, η τάση ανόδου γίνεται πάντα ίση με την τάση συγκρατήσεως V_H. Για να διακοπεί η λειτουργία της SCR και να μηδενισθεί το ρεύμα της, πρέπει η τάση ανόδου να γίνει μικρότερη από τη V_H, γιατί το ρεύμα της θύρας δεν ενεργεί πια όπως και η τάση του πλέγματος της θύρατρον. Στην ανάστροφη τάση εμφανίζεται το φαινόμενο Zener στην τάση V_R.

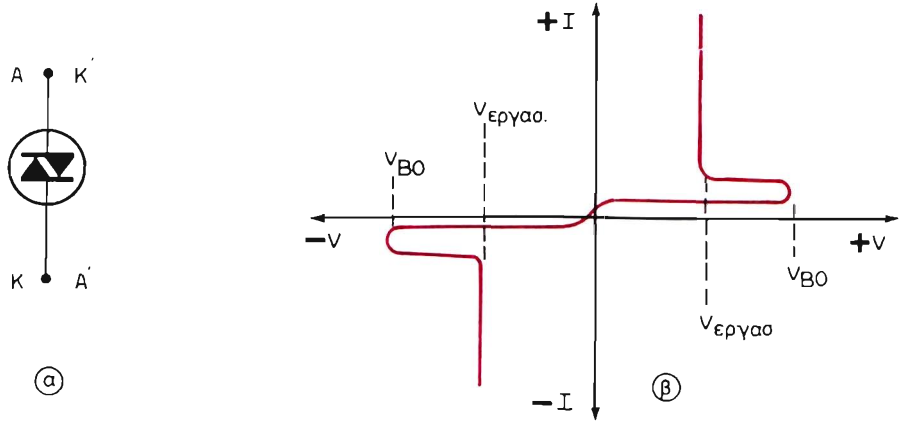
Τα θυρίστορ χρησιμοποιούνται σε αυτοματισμούς όπου ρυθμίζουν ισχυρά ρεύματα. Χρησιμοποιούνται στην ανόρθωση όπου με το ρεύμα της θύρας ρυθμίζεται η ισχύς του συνεχούς ρεύματος, στον έλεγχο της ταχύτητας περιστροφής των κινητήρων, στη διέγερση των γεννητριών, στα φωτορρυθμικά κλπ.



Σχ. 10.11β.
Το SCR.
α) Συγκρότηση. β) Συμβολισμός. γ) Καμπύλη.

γ) Δίοδη διπλής αγωγιμότητας DIAC (Diode Alternating Current).

Είναι δίοδη που άγει και στις δύο κατευθύνσεις. Αποτελείται από δύο στήλες τεσσάρων στρώσεων PNPN [όπως στο σχήμα 10.11α(α)] αντίθετα συνδεμένων εσωτερικά. Ενώ η δίοδη Sockley άγει κατά τη μία (την ορθή) φορά, το DIAC άγει και κατά τις δύο φορές. Έτσι μπορεί να χρησιμοποιηθεί στο εναλλασόμενο ρεύμα ως ρυθμιστής αγωγιμότητας για καθορισμένες εναλλασσόμενες τάσεις. Οι δύο ακροδέκτες είναι και άνοδοι και κάθοδοι, ανάλογα με την εφαρμοζόμενη πολικότητα του ρεύματος. Οι δίοδες DIAC χρησιμοποιούνται κυρίως στα κυκλώματα διεγέρσεως των TRIAC και σε άλλα κυκλώματα. Στο σχήμα 10.11γ φαίνεται ο συμβολισμός (α) και η καμπύλη (β) του DIAC.



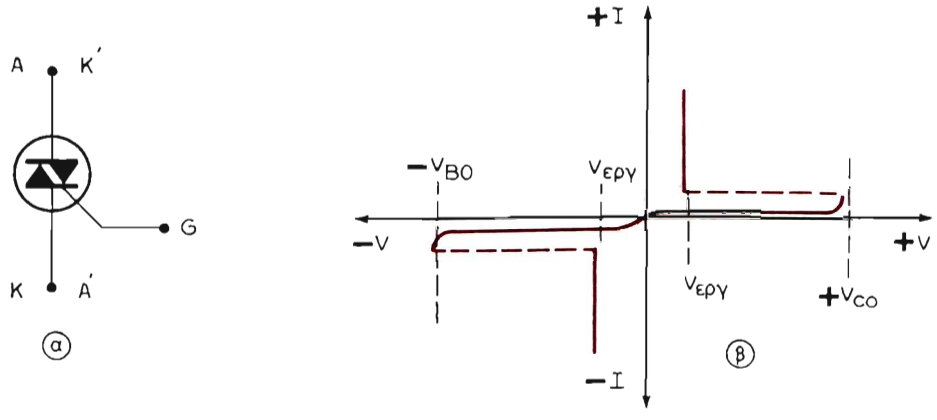
Σχ. 10.11γ.
Η DIAC.
α) Συμβολισμός. β) Καμπύλη.

δ) Ελεγχόμενος ανορθωτής πυριτίου διπλής αγωγιμότητας TRIAC (Triode Alternating Current).

Το TRIAC είναι ένα θυρίστορ που άγει και προς τις δύο κατευθύνσεις, δηλαδή

μπορεί να λειτουργήσει σε εναλλασσόμενο ρεύμα. Αποτελείται από δύο στήλες τεσσάρων στρώσεων PNPN [όπως στο σχήμα 10.11β(α)] σε αντίθετη σύνδεση. Έτσι στη μία πολικότητα της εξωτερικής πηγής ο ένας ακροδέκτης είναι άνοδος και ο άλλος κάθοδος, ενώ στην άλλη πολικότητα γίνεται ο ένας κάθοδος και ο άλλος άνοδος.

Λόγω αυτής της αμφίπλευρης αγωγιμότητας, δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί για ανόρθωση. Η πύλη G διεγείρεται με θετικούς και με αρνητικούς παλμούς ρεύματος και γι' αυτό χρησιμοποιείται για τον έλεγχο εναλλασσόμενης ισχύος, όπως για τη ρύθμιση φωτισμού, τη ρύθμιση ταχύτητας περιστροφής κινητήρων, στα φωτορρυθμικά κλπ. Στο σχήμα 10.11δ φαίνεται ο συμβολισμός (α) και η καμπύλη (β) ενός TRIAC.



Σχ. 10.11δ.
Η TRIAC.
α) Συμβολισμός. β) Καμπύλη.

10.12 Τρανζίστορ Πεδίου (FET).

Τα τρανζίστορ πεδίου (Field-Effect Transistor ή FET), έχουν διαφορετική κατασκευή και χαρακτηριστικά από τα απλά τρανζίστορ ενώσεως (Junction). Το κυριότερο χαρακτηριστικό τους είναι η μεγάλη αντίσταση εισόδου, που τα κάνει να συμπεριφέρονται όπως οι λυχνίες κενού.

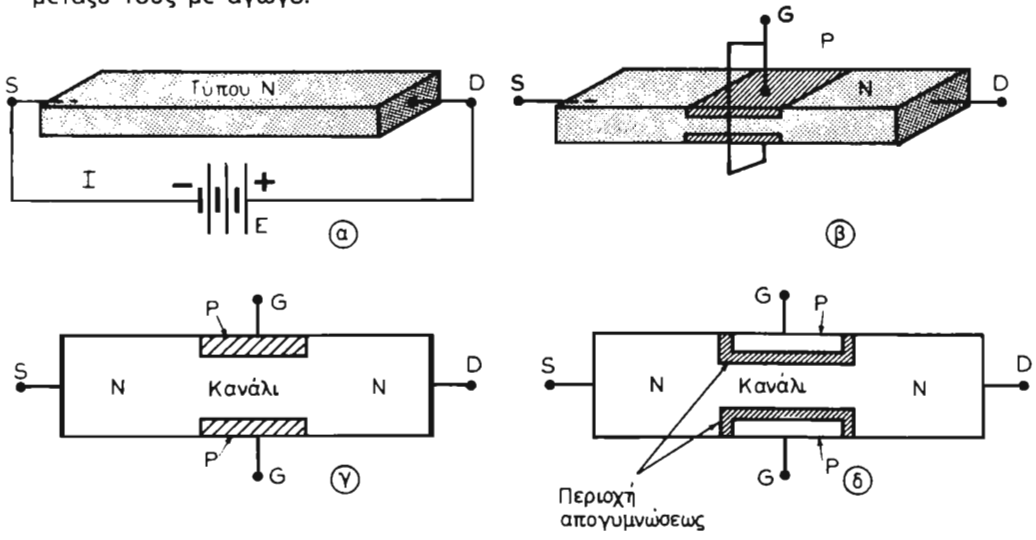
Τα τρανζίστορ πεδίου χωρίζονται σε δύο μεγάλες κατηγορίες, ανάλογα με την αρχή κατασκευής τους. Η μια κατηγορία είναι τα τρανζίστορ πεδίου ενώσεως (Junction FET) JFET και η άλλη είναι τα τρανζίστορ πεδίου μεταλλικού οξειδίου (Metal Oxide Semiconductor FET) MOSFET ή τρανζίστορ πεδίου μονωμένης πύλης (Insulated Gate FET) (IGFET).

α) Τα τρανζίστορ JFET.

Αν έχομε ένα μικρό πλακάκι υλικού P ή υλικού N σε σχήμα ορθογώνιου παραλληλεπιπέδου και στις δύο άκρες του κολλήσομε δύο ακροδέκτες, όπως φαίνεται στο σχήμα 10.12α(α), αυτό θα παρουσιάζει μια αντίσταση που θα εξαρτάται από τη θερμοκρασία του υλικού και από το ποσοστό προσμίξεων. Όταν συνδέσομε εξωτερικά μια πηγή θα κινηθεί ένα ρεύμα ανάλογο της τάσεως της πηγής και αντι-

στρόφως ανάλογο της αντιστάσεως του υλικού. Ο ακροδέκτης από τον οποίο εισέρχεται το ρεύμα ονομάζεται ***πηγή*** (Source, S) και ο ακροδέκτης από τον οποίο εξέρχεται ονομάζεται ***εκροή*** (Drain, D).

Μπορούμε τώρα με κατάλληλη επεξεργασία να αφαιρέσομε δύο μικρά κομμάτια από τις δύο πλατιές πλευρές του πλακιδίου και στη θέση τους να τοποθετήσομε αντίθετο ημιαγωγό. Δηλαδή αν η αρχική πλάκα είναι τύπου N να προστεθεί υλικό P και αν είναι υλικό P να προστεθεί υλικό N. Έτσι η αρχική πλάκα παίρνει τη μορφή του σχήματος 10.12α(β). Τα δύο μικρά κομμάτια που προστέθηκαν συνδέονται μεταξύ τους με αγωγό.



Σχ. 10.12α.
Σχηματική παράσταση κατασκευής ενός JFET.

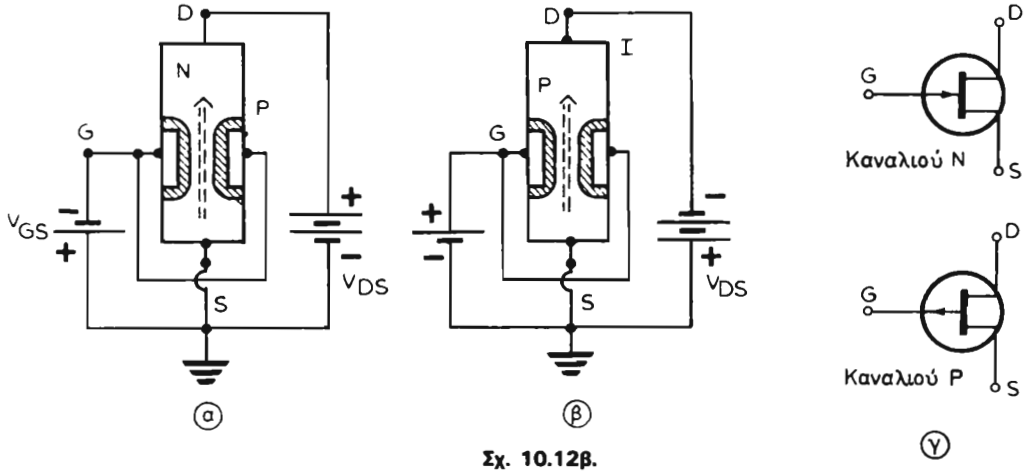
Στο σχήμα 10.12α(γ) φαίνεται η κάθετη τομή του πλακιδίου. Φαίνονται ο χώρος που τοποθετήθηκε το υλικό P και ο χώρος που υπάρχει μεταξύ των δύο αυτών υλικών τύπου P. Αυτός ο χώρος λέγεται ***δίαυλος*** ή ***κανάλι.***

Με τη προσθήκη όμως του υλικού P επάνω στο υλικό N σχηματίσθηκαν επαφές P-N, τα αντίστοιχα δυναμικά φραγμού και η περιοχή απογυμνώσεως που φαίνεται στο σχήμα 10.12α(δ). Με τον τρόπο αυτό το κανάλι διελεύσεως των ηλεκτρονίων στένεψε και η αντίσταση που παρουσιάζει τώρα το πλακάκι μεταξύ πηγής και εκροής είναι μεγαλύτερη από την αρχική.

Η κατασκευή που περιγράφηκε είναι μια μορφή κατασκευής, μπορεί όμως να χρησιμοποιηθεί και άλλος τρόπος κατασκευής, όπως αυτός που χρησιμοποιείται στα ολοκληρωμένα κυκλώματα.

Για τη λειτουργία του JFET χρησιμοποιούνται δύο πηγές, μία μεταξύ πηγής και εκροής που είναι αντίστοιχη της τάσεως εκπομπού συλλέκτη και μια μεταξύ πηγής και πύλης που είναι αντίστοιχη της πηγής της πολώσεως εκπομπού βάσεως.

Στο σχήμα 10.12β φαίνονται η σύνδεση και η πολικότητα των πηγών σε ένα JFET καναλιού τύπου N (α) και η σύνδεση των πηγών σε JFET καναλιού τύπου P (β). Φαίνεται και εδώ η αλλαγή της πολικότητας των πηγών. Παρατηρούμε και στα



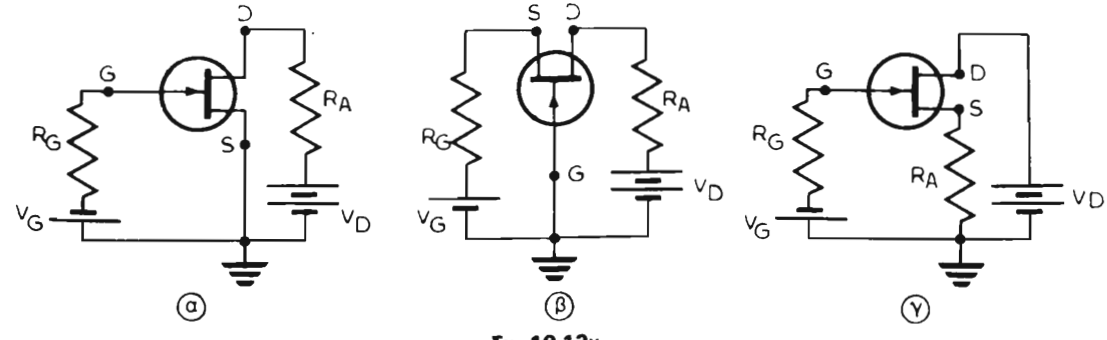
Σχ. 10.12β.
Παράσταση των JFET τρανζίστορς.
α) Σύνδεση πηγών σε καναλιού Ν. β) Σύνδεση σε καναλιού P. γ) Συμβολισμός των JFET καναλιού Ν και καναλιού P.

δύο κυκλώματα ότι η πηγή πολώσεως πηγής-πύλης είναι σε ανάστροφη σύνδεση και, λόγω αυτής της συνδέσεως, η αντίσταση εισόδου είναι της τάξεως των ΜΩ. Στο σχήμα 10.12β(γ) φαίνεται ο συμβολισμός των JFET καναλιού Ν και καναλιού P. Το S (πηγή) είναι αντίστοιχο της καθόδου, το G (πύλη) αντίστοιχο του πλέγματος και το D (εκροή) αντίστοιχο της ανόδου στην τρίοδη λυχνία κενού.

Η λειτουργία του στηρίζεται στην αυξομείωση του πλάτους του καναλιού με την επίδραση της τάσεως της πύλης. Όταν αυξάνει η ανάστροφη πόλωση, μεταξύ πηγής και πύλης αυξάνει η περιοχή απογυμνώσεως, με την επίδραση του πεδίου της πηγής. Αν η πόλωση αυξηθεί πολύ, τότε η περιοχή απογυμνώσεως αυξάνει τόσο ώστε να κλείνει το κανάλι και να μη διέρχονται φορείς από την πηγή στην εκροή.

Αν συνδέσομε ένα εναλλασσόμενο σήμα μεταξύ πύλης και πηγής, τότε το ρεύμα πηγής-εκροής θα μεταβάλλεται στο ρυθμό του σήματος και επομένως μπορούμε να κάνομε ενίσχυση.

Στο σχήμα 10.12γ φαίνονται οι τρεις βασικές συνδέσεις των JFET που είναι ***κοινής πηγής*** (αντίστοιχο του κοινού εκπομπού) ***κοινής πύλης*** (αντίστοιχο της κοινής βάσεως) και ***κοινής εκροής*** (αντίστοιχο του κοινού συλλέκτη).

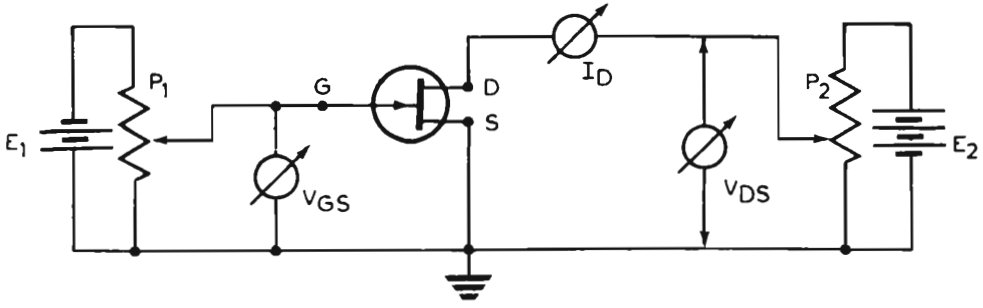


Σχ. 10.12γ.
Βασικές συνδεσμολογίες των JFET.

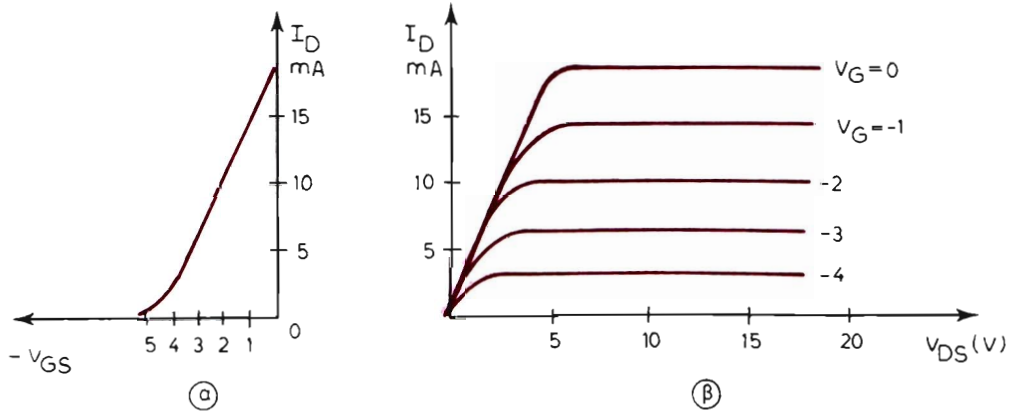
Τα χαρακτηριστικά των βασικών συνδέσεων του σχήματος 10.12γ είναι περίπου τα ίδια με τις αντίστοιχες συνδέσεις των τριόδων λυχνιών κενού.

Στο σχήμα 10.12δ φαίνεται το κύκλωμα για τη χάραξη των καμπυλών. Με το P_1 ρυθμίζεται η τάση της πύλης και με το P_2 η τάση V_{DS}. Η χάραξη γίνεται με τον τρόπο που αναφέρθηκε σε άλλα παραδείγματα.

Η καμπύλη του σχήματος 10.12ε(α) είναι αντίστοιχη της καμπύλης πλέγματος της τρίοδης λυχνίας κενού. Οι καμπύλες του σχήματος 10.12ε(β) είναι το σμήνος χαρακτηριστικών τάσεως εκροής-ρεύματος εκροής για διάφορες τάσεις της πύλης. Παρατηρούμε ότι όσο αυξάνει η τάση της πύλης τόσο το ρεύμα του τρανζίστορ γίνεται μικρότερο, γιατί κλείνει το κανάλι.



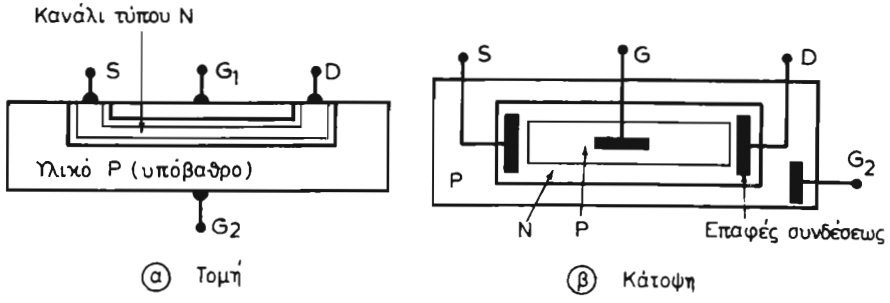
Σχ. 10.12δ.
Κύκλωμα μετρήσεων για τη χάραξη καμπυλών.



Σχ. 10.12ε.
α) Καμπύλη ρεύματος εκροής-τάσεως πύλης. β) Καμπύλες ρεύματος εκροής-τάσεως εκροής.

Στις καμπύλες του σχήματος 10.12(ε) μπορούμε να χαράξομε τη δυναμική χαρακτηριστική, την ευθεία φόρτου και το σημείο λειτουργίας, για να προβούμε στη γραφική ανάλυση της ενισχύσεως, όπως και στην τρίοδη λυχνία κενού.

Στο σχήμα 10.12στ φαίνεται ο τρόπος κατασκευής ενός JFET, όπως γίνεται στα ολοκληρωμένα κυκλώματα. Σε ένα υπόβαθρο από υλικό P με μικρό ποσοστό προσμίξεων, προστίθεται μια λεπτή στρώση από υλικό N που αποτελεί το κανάλι. Στις δύο άκρες του υλικού N συνδέονται οι ακροδέκτες πηγής S και εκροής D. Πάνω



Σχ. 10.12στ.
Παραστατική τομή και κάτοψη ενός JFET καναλιού N, σε ολοκληρωμένο κύκλωμα.

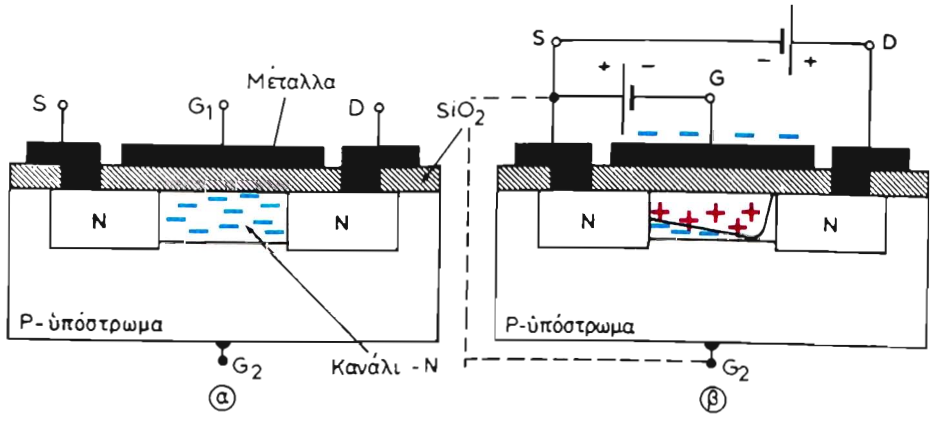
από το υλικό N τοποθετείται λεπτή στρώση υλικού P που αποτελεί την πύλη G. Το υπόβαθρο P μπορεί να χρησιμοποιηθεί και ως δεύτερη πύλη. Στο σχήμα φαίνεται η κάθετη τομή (α) και η κάτοψη της κατασκευής (β). Φαίνονται επίσης οι περιοχές απογυμνώσεως μέσα στο κανάλι.

β) Τα τρανζίστορ MOSFET ή IGFET.

Τα MOSFET χωρίζονται σε δύο κατηγορίες: τα ***τύπου εκκενώσεως*** και τα ***τύπου προσαυξήσεως.***

Στο σχήμα 10.12ζ(α) φαίνεται η τομή ενός MOSFET εκκενώσεως διαύλου τύπου N. Σε ένα υπόβαθρο από υλικό τύπου P με μικρό ποσοστό προσμίξεων, γίνεται αφαίρεση ενός μέρους υλικού P και στη θέση του τοποθετείται λεπτό στρώμα υλικού N, το οποίο αποτελεί το κανάλι. Στις άκρες του υλικού N συνδέονται οι ακροδέκτες πηγής S και εκροής D. Η επιφάνεια της κατασκευής καλύπτεται από λεπτό στρώμα οξειδίου του πυριτίου (SiO_2), που είναι άριστο μονωτικό. Πάνω από το SiO_2 τοποθετείται ένα λεπτό στρώμα μετάλλου, πάνω από όλη την επιφάνεια του καναλιού. Το μέταλλο διαχωρίζεται απο το κανάλι με το μονωτικό στρώμα του SiO_2. Σχηματίζεται έτσι ένας μικρός πυκνωτής με οπλισμούς το μέταλλο και το κανάλι N. Στο μέταλλο συνδέεται ένας ακροδέκτης που αντιστοιχεί στην πύλη.

Χωρίς εξωτερική πηγή στην πύλη, το κανάλι παρουσιάζει μικρή αγωγιμότητα,



Σχ. 10.12ζ.
Τομή και πόλωση ενός MOSFET εκκενώσεως.

πράγμα που οφείλεται στους κύριους φορείς αγωγιμότητας, που είναι τα ηλεκτρόνια. Αν συνδέσομε εξωτερικά πηγή συνεχούς ρεύματος μεταξύ πηγής και εκροής, με το σύν (+) στην εκροή όπως φαίνεται στο σχήμα 10.12ζ(β), θα έχομε ροή ρεύματος, η τιμή του οποίου εξαρτάται από την τάση V_{DS}. Αν συνδέσομε τώρα και μια πηγή πολώσεως V_{SG} με το μείον (–) στην πύλη, στο μέταλλο σχηματίζονται αρνητικά φορτία. Στην άλλη πλευρά του μονωτικού (επειδή είναι πυκνωτής) θα συγκεντρωθούν θετικά φορτία, με αποτέλεσμα να μειώσουν την αγωγιμότητα του καναλιού, αφού τα ηλεκτρόνια απωθούνται. Με θετικό δυναμικό στο G, συγκεντρώνονται ηλεκτρόνια στο κανάλι, με αποτέλεσμα την αύξηση της αγωγιμότητας. Η αγωγιμότητα του καναλιού λοιπόν καθορίζεται από το δυναμικό της πύλης G όπως και στην τρίοδη λυχνία, η αγωγιμότητα της οποίας εξαρτάται από την τάση του πλέγματος (και φυσικά και από την τάση ανόδου καθόδου).

Επειδή η πύλη δεν έρχεται σε επαφή με το κανάλι, η αντίσταση εισόδου του MOSFET είναι πολύ μεγαλύτερη από του JFET και είναι της τάξεως δεκάδων ΜΩ.

Η κατασκευή μπορεί να γίνει με υπόβαθρο τύπου N και το κανάλι τύπου P. Η σύνδεση των εξωτερικών πηγών θα γίνεται με αντίθετη πολικότητα.

Χαρακτηριστικό των MOSFET εκκενώσεως είναι το ότι λειτουργούν και με μηδενική τάση μεταξύ πηγής και πύλης. Για MOSFET καναλιού N, η αγωγιμότητα αυξάνει όταν η πύλη γίνεται θετική, ενώ όταν γίνεται αρνητική η αγωγιμότητα μειώνεται, όπως φαίνεται και στον πίνακα του σχήματος 10.12ια.

Στο σχήμα 10.12η φαίνεται ο συμβολισμός των MOSFET εκκενώσεως καναλιού N στο (α) και καναλιού P στο (β).

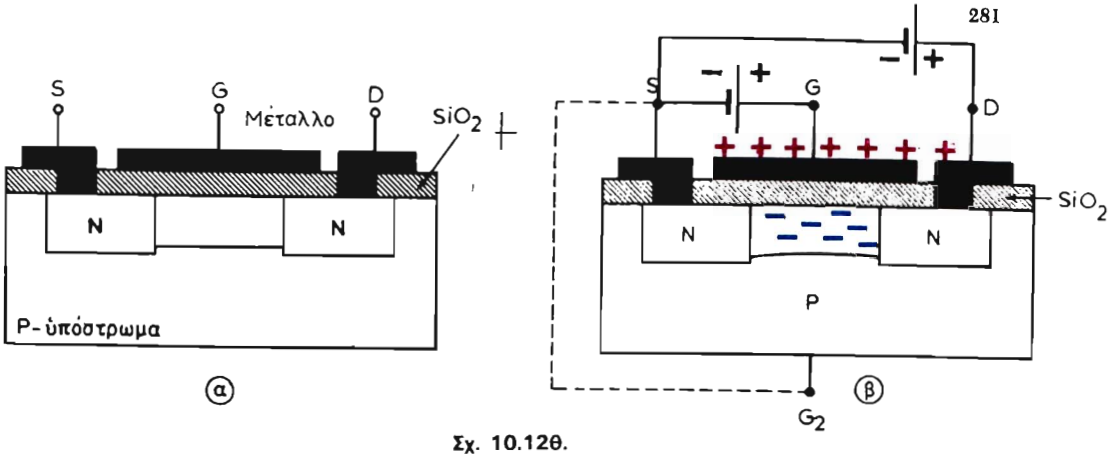


Σχ. 10.12η.
Συμβολισμός τρανζίστορ MOSFET εκκενώσεως.
α) Καναλιού N. β) Καναλιού P.

Την ίδια περίπου κατασκευή έχει και το MOSFET τύπου προσαυξήσεως. Σε ένα υπόβαθρο τύπου P (ή N) με μικρό ποσοστό προσμίξεων, σχηματίζονται δύο περιοχές με υλικό N μεγάλου ποσοστού προσμίξεων. Στις δύο αυτές περιοχές συνδέονται οι ακροδέκτες πηγής S και εκροής D. Εδώ δεν σχηματίζεται κανάλι υλικού N μέσα στο υπόβαθρο [σχ. 10.12θ(α)].

Στην επιφάνεια τοποθετείται ένα λεπτό στώμα SiO_2 το οποίο όπως αναφέρθηκε είναι μονωτικό. Πάνω από το στρώμα του Sio_2 τοποθετείται ένα λεπτό στρώμα μετάλλου, στο οποίο συνδέεται ο ακροδέκτης πύλης G. Σχηματίζεται πάλι ένας πυκνωτής μεταξύ του μετάλλου της πύλης και του υλικού P του υποβάθρου.

Χωρίς πηγή πολώσεως, η αντίσταση μεταξύ πηγής και εκροής είναι πολύ μεγάλη, αλλά και αν εφαρμόσομε τάση μεταξύ πηγής και εκροής με το συν (+) στην εκροή, διέρχεται μονο το ρεύμα διαρροής I_0, λόγω των επαφών P-N. Όταν συνδέσομε όμως και μία τάση πολώσεως μεταξύ πηγής και πύλης με το συν (+) στην πύλη, όπως φαίνεται στο σχήμα 10.12θ(β), το μέταλλο φορτίζεται θετικά, με αποτέ-



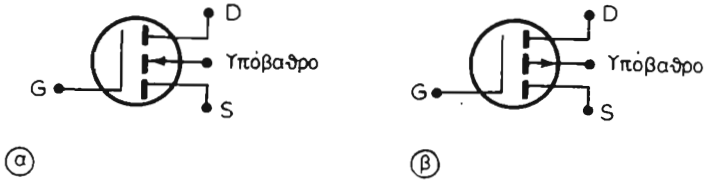
Σχ. 10.12θ.
Τομή και πόλωση ενός MOSFET προσαυξήσεως.

λεσμα να προσελκύει ηλεκτρόνια στην επιφάνεια του υποβάθρου, λόγω χωρητικότητας. Αυτά τα ηλεκτρόνια αυξάνουν την αγωγιμότητα του σχηματιζόμενου καναλιού, ανάλογα με την τάση πολώσεως. Όσο θετικότερη γίνεται η πύλη τόσο αυξάνει η αγωγιμότητα S-D, ενώ, για αρνητική ή μηδενική τάση, η αγωγιμότητα είναι μηδενική. Έτσι, σε αντίθεση με τα MOSFET εκκενώσεως, τα MOSFET προσαυξήσεως δεν λειτουργούν χωρίς εξωτερική ορθή πόλωση.

Μπορούμε να κατασκευάσουμε MOSFET προσαυξήσεως με υπόβαθρο από υλικό τύπου N, οπότε η σύνδεση των εξωτερικών πηγών θα είναι αντίθετη.

Και τα MOSFET προσαυξήσεως παρουσιάζουν πολύ μεγάλη αντίσταση εισόδου και λειτουργούν όπως οι τρίοδες λυχνίες κενού. Στο σχήμα 10.12ι φαίνεται ο συμβολισμός των MOSFET προσαυξήσεως καναλιού N (α) και καναλιού P (β).

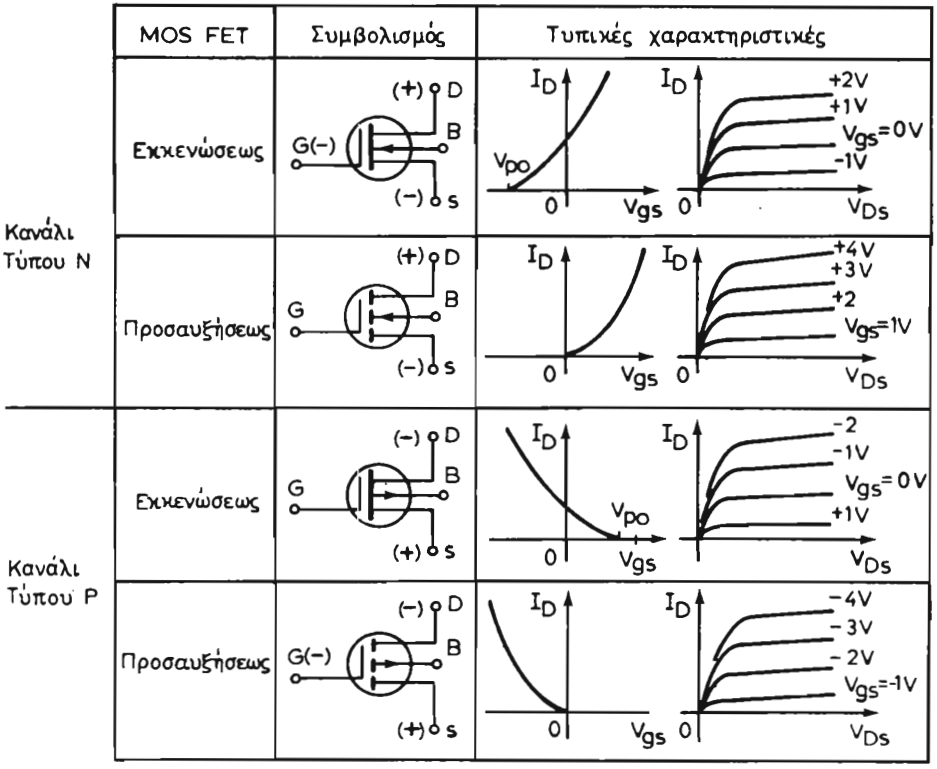
Με τη συνδεσμολογία που είπαμε του σχήματος 10.12δ μπορούμε να χαράξουμε τις χαρακτηριστικές του κάθε τύπου τρανζίστορ, που χονδρικά φαίνονται στο σχήμα 10.12ια.



Σχ. 10.12ι.
Συμβολισμός τρανζίστορς MOSFET προσαυξήσεως.
α) Καναλιού N. β) Καναλιού P.

Μπορούμε να σχεδιάσομε τα ισοδύναμα κυκλώματα κάθε συνδεσμολογίας και από αυτά ή τις καμπύλες να υπολογίσομε τις παραμέτρους Z, Y και h, όπως και στα απλά τρανζίστορ επαφής.

Τα τρανζίστορ πεδίου, σε σύγκριση προς στα απλά τρανζίστορ επαφής, πλεονεκτούν στα ότι παρουσιάζουν πολύ μεγάλη αντίσταση εισόδου, ότι δεν απαιτούν ισχύ διεγέρσεως (εισόδου) αλλά διεγείρονται με τάση, ότι παρέχουν μεγαλύτερη ενίσχυση ισχύος και ότι δημιουργούν μικρότερο θόρυβο και παρουσιάζουν μεγαλύτερη σταθερότητα στις μεταβολές της θερμοκρασίας. Έχουν όμως μικρότερη ενίσχυση τάσεως, δεν παρέχουν μεγάλη ισχύ και δεν λειτουργούν στις πολύ υψη-



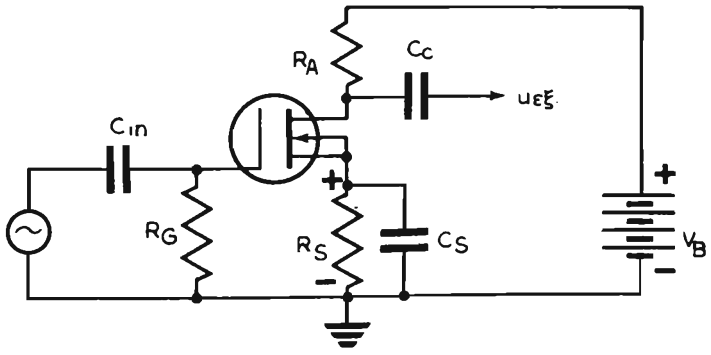
Σχ. 10.12ια.
Χαρακτηριστικές διαφόρων τύπων MOSFET.

λές συχνότητες. Υπάρχουν τρανζίστορ πεδίου με δύο πύλες, τα οποία μπορεί να χρησιμοποιηθούν στην περίπτωση μίξεως σημάτων.

Η αυτοπόλωση στα JFET και τα MOSFET εκκενώσεως μπορεί να γίνει και με αντίσταση σε σειρά με την πηγή, γιατί υπάρχει ρεύμα ηρεμίας και μπορεί νε σχηματισθεί η αυτοπόλωση όπως και στις λυχνίες. Ένα κύκλωμα ενισχυτή κοινής πηγής με αυτοπόλωση φαίνεται στο σχήμα 10.12ιβ.

Τα τρανζίστορ χαρακτηρίζονται με κωδικούς αριθμούς και γράμματα όπως και οι λυχνίες. Στον αμερικάνικο κώδικα έχομε το 1N για τις δίοδες και το 2N για τα τρανζίστορ, π.χ. δίοδη 1N4154 και τρανζίστορ 2N3055. Στον ευρωπαϊκό κώδικα έχομε γράμματα και αριθμούς. Αν το πρώτο γράμμα είναι Α, σημαίνει ότι είναι τρανζίστορ γερμανίου και αν είναι Β ότι είναι τρανζίστορ πυριτίου. Το δεύτερο γράμμα χαρακτηρίζει τη λειτουργία του και, αν είναι Α, σημαίνει δίοδη γενικής χρήσεως το Β σημαίνει δίοδη χωρητικότητας, το C τρανζίστορ ενισχυτή Χ.Σ. τάσεως, το D ενισχυτή ισχύος, το F ενισχυτή Υ.Σ., το Υ δίοδη ανορθώτρια και το Z δίοδη Zener. Το AD149 π.χ. είναι τρανζίστορ γερμανίου ενισχυτής ισχύος, ενώ το BD181 τρανζίστορ πυριτίου ενισχυτής ισχύος.

Για να ξέρομε τα χαρακτηριστικά του κάθε τύπου τρανζίστορ πρέπει να καταφεύγομε στα ειδικά εγχειρίδια (Handbooks η Pocketbooks). Στον πίνακα 10.12.1 υπάρχουν ενδεικτικά μερικοί τύποι διόδων και τρανζίστορ με τα χαρακτηριστικά τους.



Σχ. 10.12ιβ.
Κύκλωμα ενισχυτή με αυτοπόλωση πηγής.

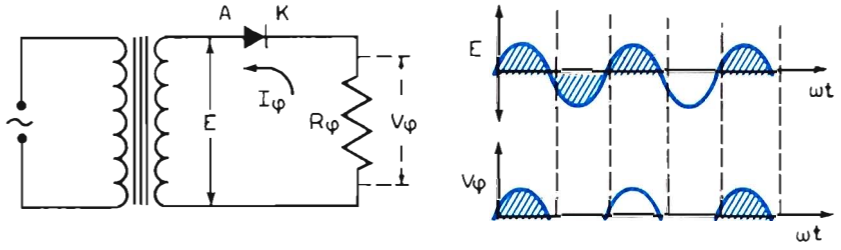
ΠΙΝΑΚΑΣ 10.12.1
Ενδεικτικός πίνακας κρυσταλλολυχνιών

Τύπος	Είδος και κατασκευή	Τάση ανόδου ή συλλέκτη	Ρεύμα ανόδου ή συλλέκτη	Ισχύς εξόδου P_o ολική ισχύς P_{tot}	Επιτρεπόμενη θερμοκρασία	Συντελεστής ενισχύσεως h_{FE}	Ανάστροφο ρεύμα I_{CBO}	Μορφή και βάση
OA85	Δίοδη ακίδας γερμανίου Φωράτρια	1,05 V 1,95 V	10 mA 30 mA		75°C		1,5 V_{Rev} 12 mA	K A 12,7mm
OA200	Δίοδη επαφής πυριτίου γενικής χρήσεως	0,65 V 0,8 V	10 mA 30 mA		125°C		50 V_{Rev} 1 μA	K A 7,6 mm
BY127	Δίοδη επαφής πυριτίου Ανορθώτρια	ανάστροφη τάση 800 V	1,2 A 10 A max					K A 12 mm
BZY95 C10	Δίοδη Zener	Τάση σταθεροποιήσεως 10 V	ρεύμα μέγιστο 50 mA					8,5mm
BC147	Τρανζίστορ επαφής πυριτίου NPN (F_{max} 300 Mc)	5 V V_{CEO} max 45 V	2 mA 200 mA max	P_{tot} 220 mW max	125°C	$h_{FE} \leqslant 500$		E B C
BD181	Τρανζίστορ επαφής πυριτίου NPN ισχύος	4 V 45 V	3 A 10 A	P_o 20 W P_{tot} 78 W	200°C	$h_{FE} = 40$	$V_{CEO} = 45$ V $I_{CBO} = 2$ mA	E C B
2N3823	Τρανζίστορ F.E.T N καν. ενισχ. Υ.Σ.	15 V	20 mA	P_{tot} 300 mW				Περίβλημα G S D
BLY89A	Τρανζίστορ επαφής ισχύος εκπομπής Υ.Σ. F_{max} 650 Mc	10 V 18 V	4 A 10A	P_o 25 W P_{tot} 70 W	200°C	$h_{FE} = 50$		B E C E

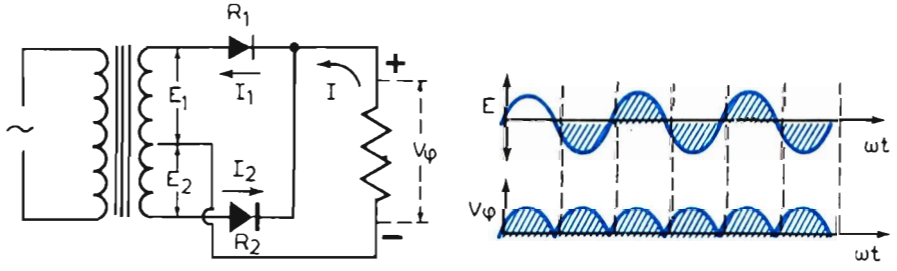
10.13 Ανόρθωση με κρυσταλλοδιόδους.

Με τις κρυσταλλοδιόδους επαφής πυριτίου μπορούμε να πραγματοποιήσομε απλή ή διπλή ανόρθωση, χαμηλής ή υψηλής τάσεως και ακόμη χαμηλής ή υψηλής ισχύος.

Με το κύκλωμα του σχήματος 10.13α πραγματοποιούμε την απλή ανόρθωση, γιατί η δίοδη άγει όταν η άνοδος γίνεται θετική. Έτσι από την αντίσταση φορτίου περνάει παλμόρρευμα θετικών ημιπεριόδων και στις άκρες της εμφανίζεται η ίδια κυματομορφή τάσεως. Στη συνέχεια αυτό το παλμόρρευμα θα υποστεί εξομάλυνση για να γίνει σχεδόν συνεχές. Για τη μέση τιμή, την ενεργή και τη μέγιστη τιμή ισχύουν τα ίδια που αναφέρθηκαν στην παράγραφο 3.2.



Σχ. 10.13α.
Κύκλωμα απλής ανορθώσεως και κυματομορφές.



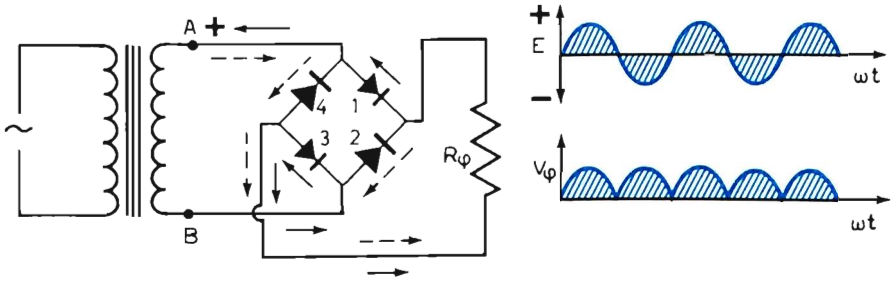
Σχ. 10.13β.
Κύκλωμα διπλής ανορθώσεως και κυματομορφές.

Τη διπλή ανόρθωση πραγματοποιούμε με το κύκλωμα του σχήματος 10.13β που είναι αντίστοιχο του κυκλώματος με λυχνίες. Με τη μεσαία λήψη στο δευτερεύον του μετασχηματιστή δημιουργείται η διαφορά φάσεως 180° στις τάσεις που τροφοδοτούν τις ανόδους των ανορθωτών. Έτσι, όταν άγει η μία, η άλλη είναι σε αποκοπή και οι ανορθωτές άγουν πότε ο ένας και πότε ο άλλος, όταν η άνοδός τους γίνεται θετική. Από την αντίσταση φόρτου διέρχεται το παλμόρρευμα διπλής ανορθώσεως, το οποίο με το φίλτρο εξομαλύνσεως γίνεται περίπου συνεχές. Για τη λειτουργία και τις τιμές των τάσεων και ρευμάτων ισχύουν τα ίδια που αναφέρθηκαν στην παράγραφο 3.3.

Πρέπει να αναφερθεί ότι, σε σύγκριση προς τις λυχνίες κενού, οι ανορθωτές πυριτίου παρουσιάζουν πολύ μικρή αντίσταση στην αγώγιμη ημιπερίοδο και έτσι η πτώση τάσεως στη δίοδη είναι της τάξεως του 0,5 μέχρι 2V περίπου, ανάλογα με το ρεύμα φορτίου.

Διπλή ανόρθωση μπορούμε να πραγματοποιήσομε και με τη γέφυρα ανορθωτών πυριτίου. Οι γέφυρες πυριτίου είναι συμπαγή εξαρτήματα κυλινδρικής μορφής ή τετραγωνικής, με μέγεθος αντίστοιχο προς την ισχύ τους. Στο εσωτερικό φέρουν τέσσερις διόδους επαφής σε κατάλληλη σύνδεση, οι οποίες καταλήγουν εξωτερικά σε τέσσερις ακροδέκτες. Στους δύο συνδέεται το εναλλασσόμενο ρεύμα και από τους άλλους δύο παίρνομε το συν (+) και το μείον (—) του παλμορρεύματος. Στη γέφυρα αναγράφεται η μέγιστη εναλλασσόμενη τάση που μπορεί να ανορθώση, το ρεύμα κανονικής λειτουργίας και το μέγιστο επιτρεπόμενο ρεύμα.

Στο σχήμα 10.13γ φαίνεται το κύκλωμα και οι κυματομορφές της ανορθώσεως με γέφυρα. Η λειτουργία είναι ίδια με αυτή που αναφέρθηκε για τη γέφυρα σεληνίου στην παράγραφο 3.4. Όταν το Α είναι θετικό, άγουν οι ανορθωτές 1 και 3, ενώ οι ανορθωτές 2 και 4 είναι σε αποκοπή. Όταν το Β γίνει θετικό άγουν οι ανορθωτές 2 και 4, ενώ οι 1 και 2 είναι σε αποκοπή. Έτσι στην έξοδο της γέφυρας έχομε το παλμόρρευμα διπλής ανορθώσεως, το οποίο με φίλτρο εξομαλύνσεως γίνεται σχεδόν συνεχές.



Σχ. 10.13γ.
Κύκλωμα ανορθώσεως με γέφυρα και κυματομορφές.

Χρησιμοποιούμε ανορθωτές πυριτίου για την ανόρθωση τριφασικών ρευμάτων πολύ μεγάλης ισχύος. Η ανόρθωση γίνεται όπως και με τις λυχνίες.

10.14 Σταθεροποίηση τάσεως DC.

Σταθεροποίηση συνεχούς τάσεως μπορούμε να πετύχομε με μια απλή δίοδη Zener, καθώς και με κύκλωμα ηλεκτρονικό, οπότε τη λέμε ***ηλεκτρονική*** σταθεροποίηση.

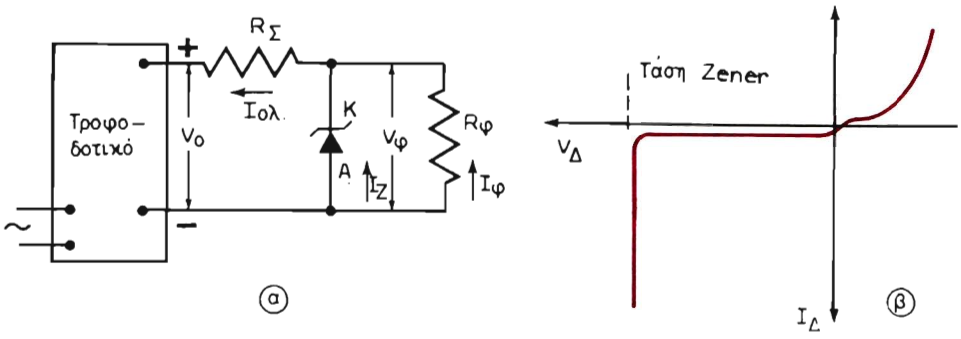
Η σταθεροποίηση με Zener πραγματοποιείται για μικρή σχετικά ισχύ με καθορισμένη τάση, ενώ η ηλεκτρονική γίνεται για μεγάλες ισχείς και με δυνατότητα μεταβολής της σταθεροποιημένης τάσεως.

Οι δίοδοι Zener κατασκευάζονται για καθορισμένη τάση λειτουργίας και για καθορισμένο μέγιστο ρεύμα της διόδης, όπως π.χ. η Zener πυριτίου BZY96C6V2, που σταθεροποιεί τάση 6,2V για μέγιστο ρεύμα της διόδης 100 mA. Για μεγαλύτερο ρεύμα η δίοδη καταστρέφεται.

α) Σταθεροποίηση με Zener.

Στο σχήμα 10.14α φαίνονται το κύκλωμα απλής σταθεροποιήσεως με Zener (α) και η καμπύλη της διόδης Zener (β) στην ανάστροφη πόλωση.

Από την καμπύλη φαίνεται ότι, μόλις πραγματοποιηθεί η διάσπαση των ομοιο-



Σχ. 10.14α.
α) Κύκλωμα σταθεροποιήσεως με Zener και καμπύλη της Zener.

πολικών δεσμών στην τάση Zener, για ελάχιστη αύξηση της τάσεως το ρεύμα αυξάνει σχεδόν κάθετα και, αν δεν υπάρχει αντιστάτης προστασίας, η δίοδη καταστρέφεται.

Στην έξοδο του τροφοδοτικού η συνεχής τάση εξόδου μπορεί να μεταβάλλεται από μεταβολή της τάσεως του δικτύου. Έτσι θα έχει ένα V_{max} και ένα V_{min}. Για να λειτουργήσει η σταθεροποίηση, πρέπει $V_{min} > V_Z$.

Από τον R_Σ διέρχεται το ρεύμα της Zener I_Z και το ρεύμα του φορτίου I_ϕ και στις άκρες του δημιουργείται μια πτώση τάσεως $V_R = V_{min} - V_\phi$. Η τιμή του R_Σ καθορίζεται από τη σχέση:

$$R_\Sigma = \frac{V_{min} - V_Z}{I_{Zmin} + I_\phi} = \frac{V_{min} - V_Z}{I_{o\lambda}} \qquad (10.11)$$

όπου $V_Z = V_\phi$ όταν λειτουργεί κανονικά το κύκλωμα.

Αν η V_{min} τείνει να αυξηθεί, θα αυξηθεί και στις άκρες της Zener. Όταν όμως αυξάνει η τάση στη Zener, αυξάνει κατά πολύ το ρεύμα της, όπως φαίνεται και από την καμπύλη. Με την αύξηση του ρεύματος αυξάνει η πτώση τάσεως στον R_Σ, έτσι ώστε η τάση V_ϕ να παραμένει πρακτικά σταθερή.

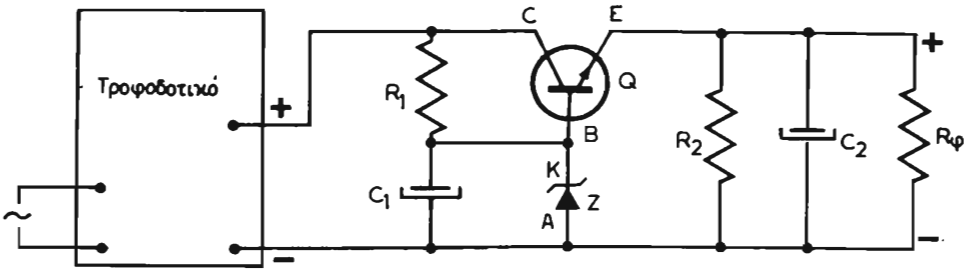
Αντίθετα, αν η τάση του τροφοδοτικού μειώνεται, μειώνεται η τάση στις άκρες της Zener μειώνεται το ρεύμα της, μειώνεται η πτώση τάσεως στον R_Σ και η V_ϕ παραμένει σταθερή. Το ίδιο αποτέλεσμα θα έχομε αν αυξηθεί ή μειωθεί το ρεύμα I_ϕ του φορτίου από διάφορες αιτίες.

Η τάση του φορτίου καθορίζεται από τις τυποποιημένες τάσεις των Zener. Η επιλογή μιας Zener γίνεται με κριτήριο το ότι το μέγιστο ρεύμα λειτουργίας της θα είναι το μισό περίπου από το μέγιστο ρεύμα του φορτίου.

Μπορούμε να συνδέσομε πολλές Zener σε σειρά για να πετύχομε μεγαλύτερη τάση ή πολλές σταθεροποιημένες τάσεις.

β) Ηλεκτρονική σταθεροποίηση με ένα τρανζίστορ.

Στο σχήμα 10.14β φαίνεται το κύκλωμα ενός σταθεροποιητή με τρανζίστορ και Zener. Η Zener καθορίζει την τάση εξόδου και από το τρανζίστορ καθορίζεται το ρεύμα εξόδου. Για τάση π.χ. εξόδου 9V σταθερή, μπορεί να χρησιμοποιηθεί Zener 9,5-10V, ανάλογα με το τρανζίστορ ισχύος.



Σχ. 10.14β.
Κύκλωμα σταθεροποιήσεως με τρανζίστορ και Zener.

Η Zener καθορίζει μια σταθερή τάση ως τάση αναφοράς. Μεταξύ εκπομπού και βάσεως καθορίζεται η τάση ορθής πολώσεως που ρυθμίζει την αγωγιμότητα του τρανζίστορ (ή την αντίστασή του). Το τρανζίστορ λειτουργεί ως μεταβλητή αντίσταση, όπου η αντίστασή του μεταβάλλεται με την πόλωση εκπομπού βάσεως. Όταν η τάση εξόδου του τροφοδοτικού αυξάνει, αυξάνει και η τάση μεταξύ εκπομπού και κοινού. Ο εκπομπός τείνει να γίνει θετικότερος και, επειδή το τρανζίστορ είναι NPN, η αγωγιμότητά του μειώνεται, με αποτέλεσμα να αυξάνει η αντίστασή του και η πτώση τάσεως μεταξύ εκπομπού και συλλέκτη. Έτσι η τάση στην έξοδο παραμένει σταθερή. Όταν η τάση του τροφοδοτικού μειώνεται, μειώνεται αντίστοιχα και η τάση εκπομπού-κοινού. Τότε ο εκπομπός γίνεται λιγότερο θετικός και η αγωγιμότητά του αυξάνει. Η αντίστασή του μειώνεται και επομένως μειώνεται και η πτώση τάσεως μεταξύ εκπομπού-συλλέκτη. Έτσι η τάση στην έξοδο παραμένει σταθερή.

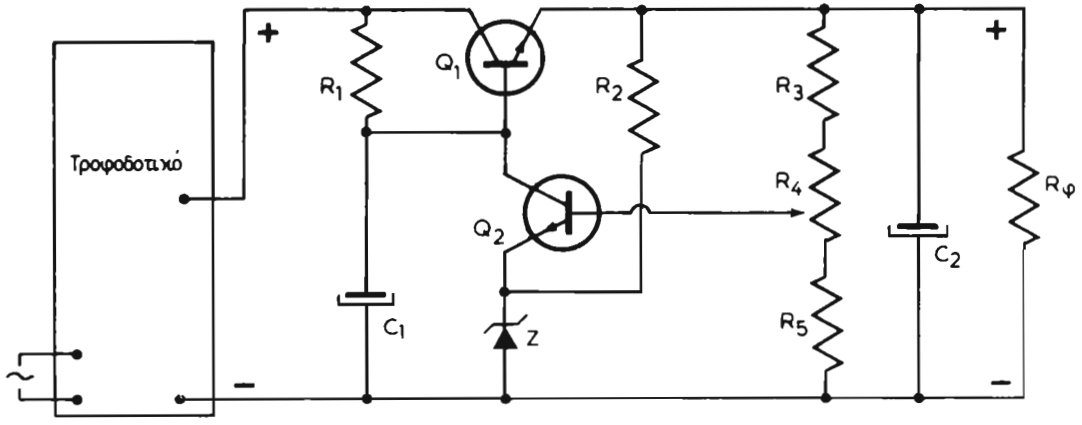
Το ρεύμα του φορτίου περνά μέσα από το τρανζίστορ, το οποίο για το λόγο αυτό επιλέγεται ανάλογα με το ρεύμα του φορτίου I_ϕ. Ο αντιστάτης R_1 καθορίζει το ρεύμα λειτουργίας της Zener. Ο C_1 και ο C_2 είναι πυκνωτές εξομαλύνσεως. Ο R_2 είναι ένα μικρό φορτίο του σταθεροποιητή.

γ) Ηλεκτρονική σταθεροποίηση με δύο τρανζίστορ.

Ένα πιο σύνθετο κύκλωμα αντίστοιχο του κυκλώματος με λυχνίες φαίνεται στο σχήμα 10.14γ. Το κύκλωμα αυτό παρουσιάζει το πλεονέκτημα ότι μπορεί να ρυθμίζεται η σταθεροποιημένη τάση εξόδου, με μεταβολή του ποτενσιομέτρου R_4.

Το τρανζίστορ Q_1 είναι ισχύος και λειτουργεί ως μεταβαλλόμενη αντίσταση σειράς. Το Q_2 ρυθμίζει την αγωγιμότητα του Q_1 και η Zener καθορίζει μια σταθερή τάση αναφοράς. Ο αντιστάτης R_1 είναι για την τροφοδότηση του Q_2. Ο R_2 μαζί με το τρανζίστορ Q_2 καθορίζουν το ρεύμα λειτουργίας της Zener. Ο R_3, R_4 και R_5 καθορίζουν την τάση πολώσεως του Q_2.

Στη θέση όπου βρίσκεται ο δρομέας έστω ότι καθορίζει μια τάση εξόδου στην R_ϕ ίση με 15V, ενώ η τάση εξόδου του τροφοδοτικού είναι 20V. Έτσι στο Q_1 γίνεται πτώση τάσεως 5V. Όταν αυξηθεί η τάση εισόδου, θα αυξηθεί και στις άκρες των R_3, R_4 και R_5, με αποτέλεσμα η τάση στο δρομέα του R_4 και στη βάση του Q_2 να γίνει θετικότερη. Τότε η αγωγιμότητα του Q_2 αυξάνει, με αποτέλεσμα να αυξάνει και το ρεύμα του. Τότε αυξάνει η πτώση τάσεως στον R_1 και ο συλλέκτης του Q_2 γίνεται λιγότερο θετικός. Γίνεται όμως λιγότερο θετική και η βάση του Q_1, με αποτέλεσμα να μειώνεται η αγωγιμότητά του και να αυξάνει η αντίστασή του, με-



Σχ. 10.14γ.
Κύκλωμα ηλεκτρονικής σταθεροποιήσεως τάσεως.

ταξύ εκπομπού και συλλέκτη. Επειδή αυξάνει η αντίσταση, αυξάνει η πτώση τάσεως μεταξύ εκπομπού και συλλέκτη του Q_1 και η τάση εξόδου παραμένει σταθερή.

Τα αντίθετα θα συμβούν αν η τάση εξόδου του τροφοδοτικού τείνει να μειωθεί. Θα αυξηθεί η αγωγιμότητα του Q_1 και θα μειωθεί η πτώση τάσεως στις άκρες του, με αποτέλεσμα η τάση φορτίου να παραμένει σταθερή.

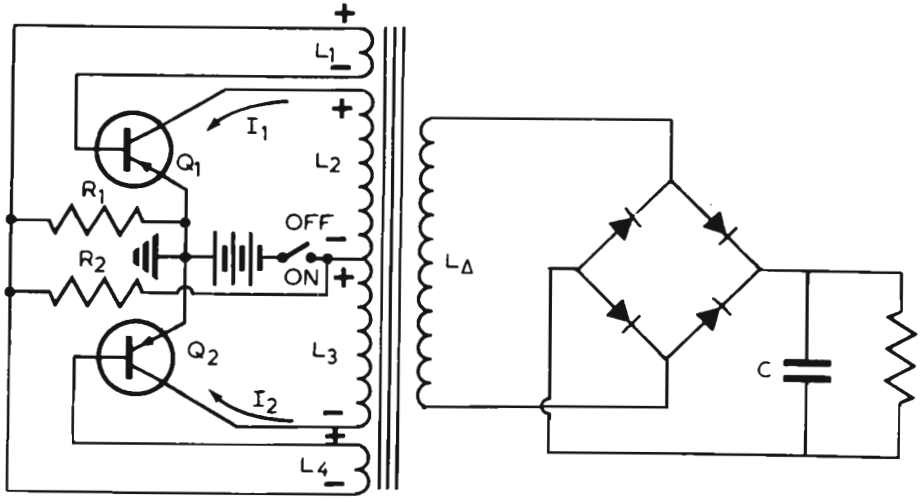
Αντίστοιχες αυξομειώσεις θα συμβούν στις αγωγιμότητες των Q_2 και Q_1, αν μεταβληθεί η ένταση του ρεύματος στο φορτίο, οπότε πάλι η τάση του φορτίου θα παραμένει σταθερή.

10.15 Μεταλλάκτες συνεχούς ρεύματος με τρανζίστορ.

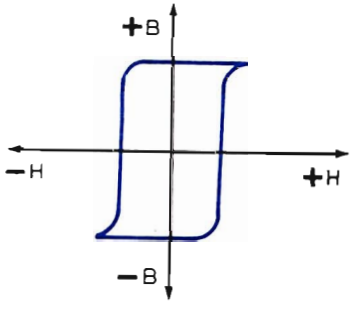
Οι ***μεταλλάκτες συνεχούς ρεύματος*** (DC to DC Converters) είναι βαθμίδες που μετατρέπουν την τάση του συσσωρευτή π.χ. 12V σε υψηλή τάση 500 ή 1000V για τη λειτουργία του πομπού με λυχνίες. Η βαθμίδα αυτή τροφοδοτεί συνήθως τους πομπούς ανάγκης (Emergency), οι οποίοι λειτουργούν σε περίπτωση διακοπής του ρεύματος του πλοίου ή σε άλλες περιπτώσεις ανάγκης.

Στην παράγραφο 3.9 γνωρίσαμε τους μηχανικούς μεταλλέκτες. Στις σύγχρονες συσκευές χρησιμοποιούνται οι μεταλλάκτες με τρανζίστορ που δεν παρουσιάζουν τα μειονεκτήματα των μηχανικών (συνήθως φθορά των κινούμενων επαφών ή του συλλέκτη στις γεννήτριες).

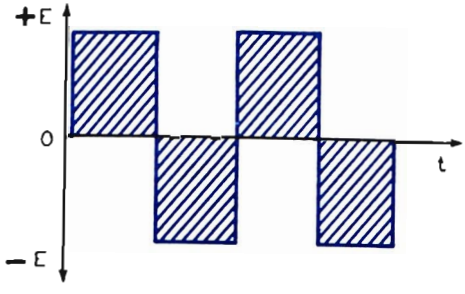
Στο σχήμα 10.15α φαίνεται το κύκλωμα ενός μεταλλάκτη μικρής σχετικά ισχύος, της τάξεως των 50W. Τα τρανζίστορ που χρησιμοποιούνται είναι ισχύος και από την ομάδα των διακοπτών-τρανζίστορ (Switching), που έχουν μεγάλη ταχύτητα μεταγωγής και αντέχουν σε ισχυρά στιγμιαία ρεύματα. Ο πυρήνας που χρησιμοποιείται είναι από κατάλληλα κράματα, για να παρουσιάζει σχεδόν τετράγωνο βρόχο υστερήσεως, όπως φαίνεται στο σχήμα 10.15β. Αυτοί οι πυρήνες φθάνουν στον κόρο με μικρό ρεύμα μαγνητίσεως. Έτσι επιτυγχάνεται απότομη μεταβολή της τάσεως στο δευτερεύον, η οποία φέρνει γρήγορα σε αποκοπή ή σε αγωγιμότητα τα τρανζίστορ.



Σχ. 10.15α.
Κύκλωμα μεταλλάκτη με τρανζίστορς.



Σχ. 10.15β.
Βρόχος υστερήσεως του πυρήνα.



Σχ. 10.15γ.
Μορφή τάσεως δευτερεύοντος.

Με το τρόπο αυτό τα τρανζίστορ λειτουργούν σαν διακόπτες που ανοίγουν και κλείνουν εναλλακτικά. Η μορφή του ρεύματος και της τάσεως στο πρωτεύον και στο δευτερεύον είναι σχεδόν τετραγωνικής μορφής, όπως φαίνεται και στο σχήμα 10.15γ. Αυτή η μορφή διευκολύνει και την εξομάλυνση της τάσεως εξόδου, η οποία πραγματοποιείται με τον πυκνωτή C.

Η λειτουργία του κυκλώματος είναι απλή. Όταν κλείσει ο διακόπτης ON-OFF, ρεύμα θα κινηθεί προς τα δύο τρανζίστορ Q_1 και Q_2. Ένα από τα δύο ρεύματα θα είναι κατά τι μεγαλύτερο από το άλλο. Ας δεχθούμε ότι είναι το I_1 που περνάει από το Q_1. Στις άκρες των πηνίων θα δημιουργηθεί πολικότητα, όπως στο σχήμα 10.15α, που θα φέρει σε μεγαλύτερη αγωγιμότητα το Q_1, γιατί παίρνει αρνητική τάση στη βάση, και σε μικρότερη αγωγιμότητα το Q_2, γιατί παίρνει θετική τάση στη βάση του. Αυτό θα ανακυκλωθεί φέρνοντας στον κόρο το Q_1 και σε αποκοπή το Q_2, ενώ συγχρόνως διέρχεται μέγιστο ρεύμα από το L_2. Στο δευτερεύον αναπτύσσεται ο θετικός παλμός.

Όταν το I_1 φθάσει στον κόρο, παύει να μεταβάλεται, με αποτέλεσμα η ροή στον πυρήνα να μη μεταβάλλεται. Έτσι δεν δημιουργούνται τάσεις στα πηνία L_1, L_2, L_3, L_4 και L_Δ, δηλαδή οι τάσεις μηδενίζονται απότομα. Όταν μηδενισθεί και η τάση του L_4 που έφερε σε αποκοπή το Q_2, το Q_2 αρχίζει να άγει. Το I_2 αυξάνει, με αποτέλεσμα να δημιουργεί τάσεις με αντίθετη τώρα πολικότητα. Έτσι έρχεται σε πλήρη αγωγιμότητα το Q_2 και σε πλήρη αποκοπή το Q_1, δημιουργώντας συγχρόνως στο δευτερεύον αρνητικό παλμό.

Αυτή η λειτουργία συνεχίζεται με μια συχνότητα 1000-4000 κύκλων περίπου. Η συχνότητα καθορίζεται από τις αυτεπαγωγές του μετασχηματιστή. Η γέφυρα ανορθωτών στο δευτερεύον προκαλεί ανόρθωση της τάσεως του δευτερεύοντος, ενώ ο C κάνει εξομάλυνση.

Η τάση δευτερεύοντος καθορίζεται από το λόγο μετασχηματισμού των σπειρών. Οι αντιστάτες R_1 και R_2 καθορίζουν την πόλωση των τρανζίστορ να είναι τάξεως Α στην έναρξη λειτουργίας. Ο βαθμός αποδόσεως του μεταλλάκτη είναι πολύ καλός και φθάνει τα 85%.

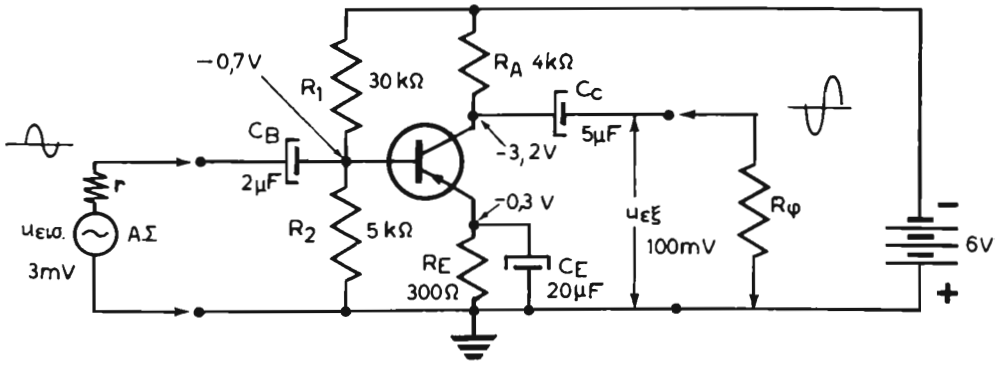
10.16 Ενίσχυση — Ενισχυτής τάσεως Α.Σ.

Στην παράγραφο 4.2 έγινε ανάλυση της ενισχύσεως με τρίοδη λυχνία και ακολούθησε η ανάπτυξη της λειτουργίας των διάφορων ενισχυτών. Όπως οι λυχνίες χρησιμοποιούνται για την ενίσχυση τάσεως και ισχύος, έτσι και τα τρανζίστορ μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τον ίδιο σκοπό. Υπάρχουν τρανζίστορ για την ενίσχυση τάσεως Α.Σ. και τρανζίστορ για την ενίσχυση ισχύος Α.Σ. Αντίστοιχα τρανζίστορ υπάρχουν για ενίσχυση Υ.Σ.

Στο σχήμα 10.16α φαίνεται το απλό κύκλωμα ενός ενισχυτή τάσεως Α.Σ. σε σύνδεση κοινού εκπομπού. Οι αντιστάτες R_1 και R_2 είναι ο διαιρέτης τάσεως που καθορίζει την τάση πολώσεως του τρανζίστορ. Ο αντιστάτης R_E είναι για τη σταθεροποίηση της πολώσεως ενώ ο πυκνωτής C_E είναι για τη διαρροή των Α.Σ. προς τη γή, για να παραμένει η πτώση τάσεως στην R_E, ανεξάρτητη από την εναλλασσόμενη συνιστώσα. Ο C_E είναι αντίστοιχος του C_K στον ενισχυτή με λυχνίες. Ο R_A είναι η αντίσταση φόρτου του ενισχυτή, στον οποίο θα αναπτυχθεί το ενισχυμένο σήμα εξόδου. Ο C_B και ο C_C είναι πυκνωτές συζεύξεως και αποκόπτουν τη συνεχή συνιστώσα. Πρέπει να τονισθεί εδώ ότι οι πυκνωτές συζεύξεως είναι ηλεκτρολυτικοί στους ενισχυτές Α.Σ. Αυτό συμβαίνει επειδή οι αντιστάσεις εισόδου και εξόδου του τρανζίστορ έχουν μικρή τιμή, οπότε η χωρητικότητα συζεύξεως πρέπει να έχει μεγάλη τιμή γιατί η σταθερά χρόνου έχει μικρή επίσης τιμή.

Στον ενισχυτή δίνονται τιμές πραγματικές τόσο στα εξαρτήματα όσο και στις τάσεις, για να φανούν τα μεγέθη σε σύγκριση με τις λυχνίες. Οι τάσεις είναι ως προς το κοινό.

Η λειτουργία του ενισχυτή είναι ίδια με τη λειτουργία του ενισχυτή με λυχνία. Το σήμα εισόδου εφαρμόζεται στη βάση του τρανζίστορ μέσω του πυκνωτή C_B. Η τάση V_B της βάσεως και το ρεύμα της I_B μεταβάλλονται στο ρυθμό του εναλλασσόμενου σήματος Α.Σ. Από τη μεταβολή του I_B μεταβάλλεται η αγωγιμότητα του τρανζίστορ και από αυτήν μεταβάλλεται το ρεύμα I_C του τρανζίστορ. Η αυξομείωση του I_C αποτέλεσμα έχει την αυξομείωση της πτώσεως τάσεως στην αντίσταση φόρτου R_A. Έτσι η τάση του συλλέκτη αυξομειώνεται



Σχ. 10.16α.
Κύκλωμα ενισχυτή τάσεως Α.Σ.

στο ρυθμό της μεταβολής του I_c. Η εναλλασσόμενη συνιστώσα της τάσεως του συλλέκτη είναι το ενισχυμένο σήμα εξόδου $u_{\epsilon\xi}$.

Το σήμα εξόδου έχει διαφορά φάσεως 180° προς το σήμα εισόδου, γιατί, όταν έχομε θετική ημιπερίοδο στην είσοδο, η βάση γίνεται θετικότερη και, επειδή είναι PNP τρανζιστορ, η αγωγιμότητά του μειώνεται. Το ρεύμα I_c μειώνεται και μειώνεται η πτώση τάσεως στον R_A. Έτσι ο συλλέκτης γίνεται αρνητικότερος. Επομένως, θετική ημιπερίοδος στην είσοδο και αρνητική ημιπερίοδος στην έξοδο.

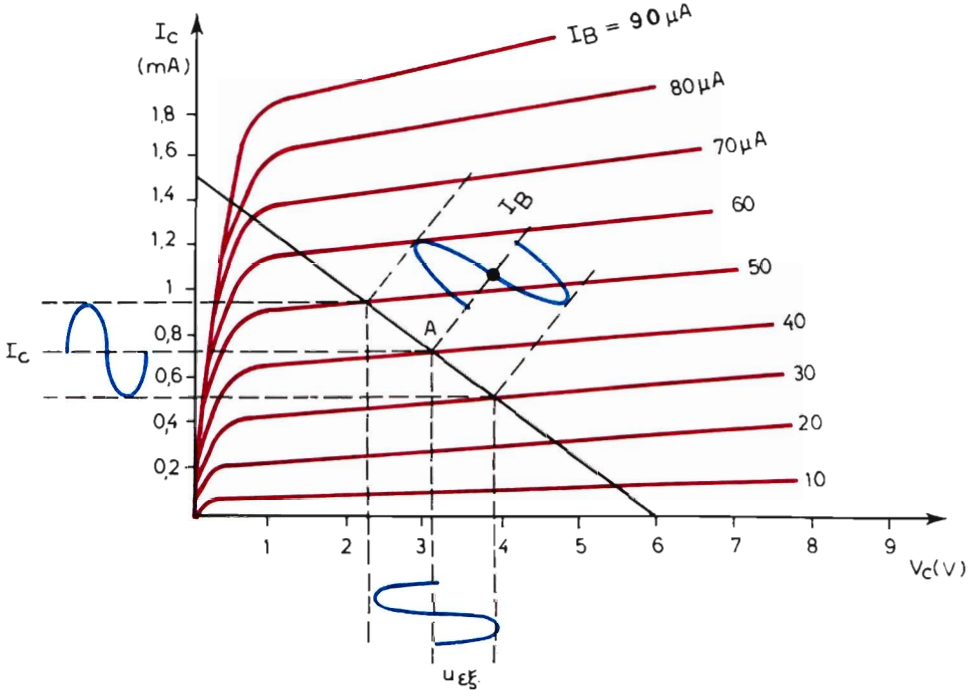
Ο λόγος της τάσεως εξόδου $u_{\epsilon\xi}$ προς την τάση εισόδου $u_{\epsilon\iota\sigma}$ μας δίνει την ενίσχυση τάσεως A_v που πραγματοποιεί ο ενισχυτής:

$$A_v = \frac{u_{\epsilon\xi}}{u_{\epsilon\iota\sigma}} \qquad \text{και} \qquad A_v = \frac{-h_{fe} \cdot R}{r + h_{ie}}$$

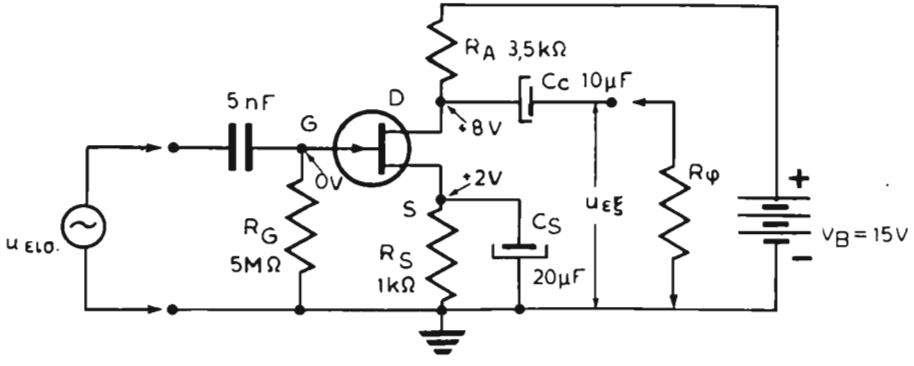
σε συνάρτηση με τα στοιχεία του ενισχυτή και όπου h_{fe} και h_{ie} οι αντίστοιχες υβριδικές παράμετροι, r η εσωτερική αντίσταση της πηγής u_g και R η ολική αντίσταση εξόδου του ενισχυτή, η οποία είναι ίση περίπου με την R_A και την R_ϕ παράλληλα. Στο σχήμα 10.16β φαίνεται η γραφική παράσταση της ενισχύσεως στις καμπύλες συλλέκτη με την ευθεία φόρτου. Η ευθεία φόρτου αντιστοιχεί σε αντίσταση φόρτου 4 kΩ. Η πόλωση του τρανζίστορ αντιστοιχεί σε ρεύμα βάσεως 40 μΑ. Το σημείο λειτουργίας Α αντιστοιχεί στην τομή της ευθείας φόρτου και της αντίστοιχης καμπύλης του ρεύματος πολώσεως για 40 μΑ. Από το σημείο λειτουργίας φέρνοντας κάθετες στον άξονα του V_c, βρίσκομε την τάση συλλέκτη σε ηρεμία ίση με 3,2V, και αντίστοιχα στον άξονα του I_c βρίσκομε το ρεύμα ηρεμίας ίσο με 0,7 mA.

Με την εφαρμογή του σήματος, το I_B μεταβάλλεται από 30-50 μΑ. Το I_c αντίστοιχα μεταβάλλεται από 0,52 μέχρι 0,88 mA, με αντίστοιχη μεταβολή της πτώσεως τάσεως στην R_A και μεταβολή της τάσεως συλλέκτη από 2,48-3,92V, δηλαδή μεταβολή 1,44 από κορυφή σε κορυφή. Η ενεργός τιμή της $u_{\epsilon\xi}$ είναι $V_{PP}/2\sqrt{2}$, δηλαδή 0,504V. Άν η $u_{\epsilon\iota\sigma}$ είναι 10,1 mV, τότε η ενίσχυση Α είναι:

$$A = \frac{u_{\epsilon\xi}}{u_{\epsilon\iota\sigma}} = \frac{504 \text{ mV}}{10{,}1 \text{ mV}} \simeq 50$$



Σχ. 10.16β.
Γραφική παράσταση της ενισχύσεως.



Σχ. 10.16γ.
Κύκλωμα ενισχυτή τάσεως Α.Σ. με JFET.

Την αντιστοιχία της τάσεως βάσεως V_β και του ρεύματος βάσεως I_B μπορούμε να έχομε από την αντίστοιχη καμπύλη του τρανζίστορ, της μορφής Γ του σχήματος 10.7ζ.

Για τη γραμμική λειτουργία του ενισχυτή, την καμπύλη αποκρίσεως και την καμπύλη γραμμικότητας ισχύουν τα ίδια που αναφέρθηκαν στις αντίστοιχες παραγράφους του κεφαλαίου 4. Επίσης τα ίδια ισχύουν και για τις τάξεις λειτουργίας Α, Β και C, όπως και στις λυχνίες.

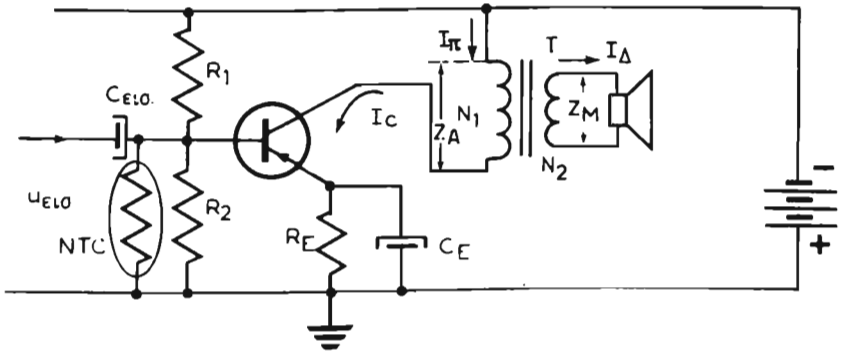
Στο σχήμα 10.16γ φαίνεται το κύκλωμα ενός ενισχυτή τάσεως Α.Σ. με JFET τρανζίστορ. Η λειτουργία του είναι περίπου ίδια με του απλού τρανζίστορ επαφής. Η διαφορά είναι μόνο στο ότι το JFET εργάζεται με διέγερση τάσεως όπως και οι λυχνίες. Επίσης η πόλωση καθορίζεται από τον αντιστάτη της πηγής R_S, γιατί υπάρχει ρεύμα ηρεμίας. Ο αντιστάτης εισόδου είναι της τάξεως των 5 ΜΩ. Το JFET είναι καναλιού N σε συνδεσμολογία κοινής πηγής και οι τάσεις που αναφέρονται είναι ως προς το κοινό.

10.17 Ενισχυτές ισχύος Α.Σ.

Κύριο γνώρισμα των ενισχυτών ισχύος είναι ο μετασχηματιστής εξόδου που τοποθετείται στη θέση της αντιστάσεως φόρτου. Το τρανζίστορ ισχύος έχει ισχυρότερη κατασκευή και μεγαλύτερο όγκο από το τρανζίστορ τάσεως. Για ισχύ μεγαλύτερη από 1W το τρανζίστορ στερεώνεται επάνω σε ειδική βάση από αλουμίνιο με πτερύγια ψύξεως (Heat-Sink).

Στο σχήμα 10.17α φαίνεται το κύκλωμα ενός ενισχυτή ισχύος με τρανζίστορ επαφής. Ο μετασχηματιστής προσαρμόζει την αντίσταση του μεγαφώνου με την αντίσταση φόρτου του τρανζίστορ, με τη σχέση:

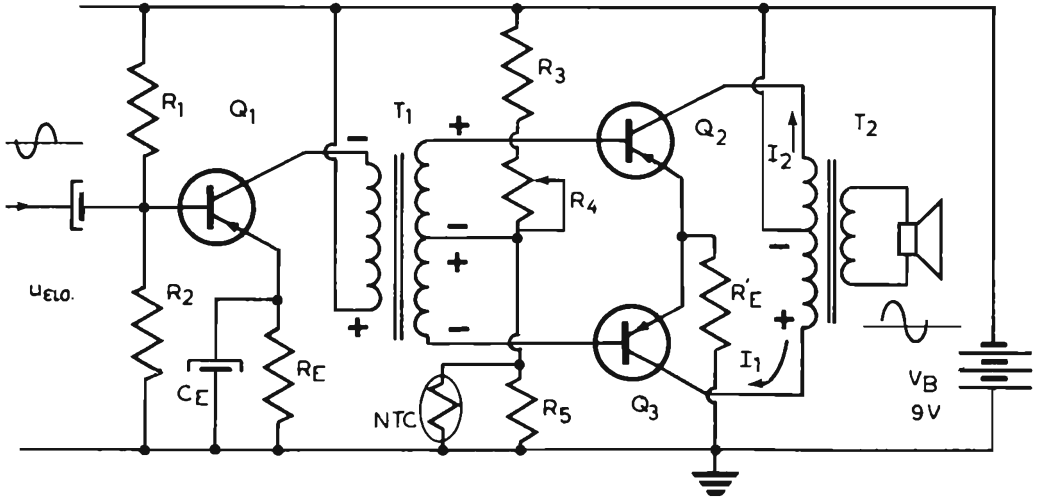
$$h = \frac{N_1}{N_2} = \frac{U_\pi}{U_\Delta} = \frac{I_\Delta}{I_\pi} = \sqrt{\frac{Z_A}{Z_M}}$$



Σχ. 10.17α.
Ενισχυτής ισχύος Α.Σ. με PNP τρανζίστορ επαφής.

Το κύκλωμα του σχήματος 10.17α σπάνια χρησιμοποιείται γιατί εργάζεται σε τάξη Α και ο βαθμός αποδόσεως είναι μικρός, γύρω στο 30%. Αντί του ενισχυτή με ένα τρανζίστορ χρησιμοποιείται το συμμετρικό κύκλωμα (Push-Pull) με δύο τρανζίστορ του ίδιου τύπου. Τα πλεονεκτήματα του Push-Pull είναι γνωστά από την παράγραφο 4.10. Επειδή το συμμετρικό κύκλωμα μπορεί να λειτουργήσει σε τάξη Β ή ΑΒ, ο βαθμός αποδόσεως φθάνει τα 60% με πολύ μεγαλύτερη ισχύ εξόδου από το απλό άθροισμα των ισχύων των δύο τρανζίστορ, ενώ συγχρόνως έχει μικρό ποσοστό παραμορφώσεως.

Στο σχήμα 10.17β φαίνεται το κύκλωμα ενός ενισχυτή PP, ο οποίος τροφοδοτείται από μια βαθμίδα οδηγήτρια και ανάστροφης φάσεως. Το Q_1 τρανζίστορ είναι



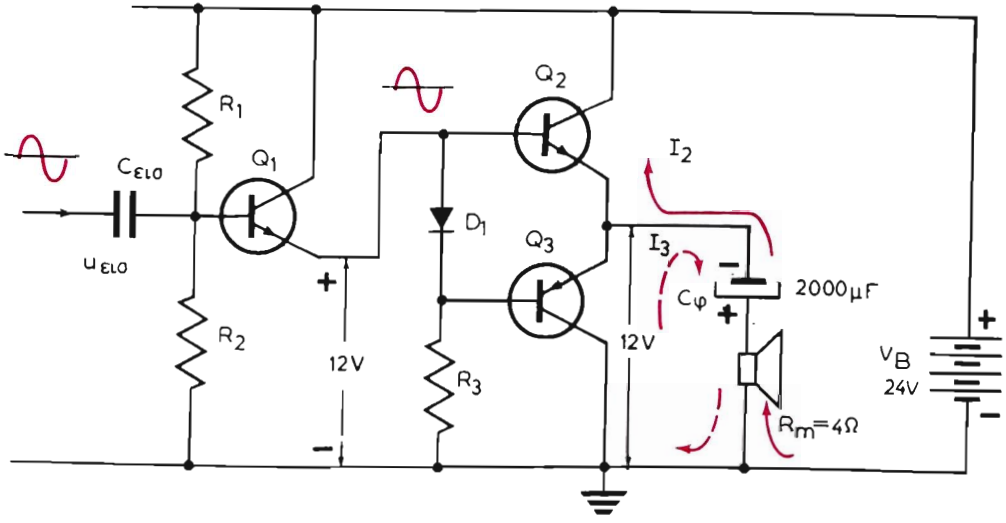
Σχ. 10.17β.
Ενισχυτής Push-pull με τον προενισχυτή.

ισχύος και λειτουργεί ως ενισχυτής ισχύος, γιατί τα Q_2 και Q_3 του PP απαιτούν ισχύ διεγέρσεως. Οι αντιστάτες R_3, R_4 και R_5 είναι διαιρέτης τάσεως που καθορίζει την πόλωση των Q_3 και Q_2. Με το δρομέα του R_4 καθορίζεται η πόλωση να γίνει τάξεως Β ή ΑΒ. Το θερμίστορ NTC είναι για τη σταθεροποίηση της λειτουργίας όπως είναι και ο αντιστάτης R_E, που για τρανζίστορ με ισχύ 10W μπορεί να έχει τιμή 0,2-0,5Ω. Στην είσοδο του παραπάνω κυκλώματος μπορεί να συνδεθεί ο ενισχυτής τάσεως του σχήματος 10.16α ή του σχήματος 10.16γ.

Με την εφαρμογή του σήματος εισόδου $U_{εισ}$, το Q_1 θα λειτουργήσει σαν ενισχυτής και στο δευτερεύον θα δημιουργηθούν οι δυο τάσεις διεγέρσεως των Q_2 και Q_3 με διαφορά φάσεως 180° μεταξύ τους. Αν η πολικότητα είναι όπως στο σχήμα, θα έλθει σε αγωγιμότητα το Q_3, γιατί παίρνει αρνητική ημιπερίοδο στη βάση του, ενώ το Q_2 θα παραμείνει σε αποκοπή. Έτσι θα κινηθεί ρεύμα από το Q_3, το οποίο θα προκαλέσει μια ροή α στο μετασχηματιστή T_2 και μια θετική ημιπερίοδο στο δευτερεύον του.

Στην άλλη ημιπερίοδο θα αλλάξει η πολικότητα των σημάτων στο δευτερεύον του T_1 και θα έλθει σε αγωγιμότητα το Q_2, ενώ το Q_3 θα έλθει σε αποκοπή. Θα κινηθεί ρεύμα μέσα από το Q_2, το οποίο θα προκαλέσει αντίθετη ροή β στο μετασχηματιστή T_2, με αποτέλεσμα να δημιουργηθεί η αρνητική ημιπερίοδος στο δευτερεύον του. Έτσι τα Q_2 και Q_3 εργάζονται το ένα στη μια ημιπερίοδο και το άλλο στην άλλη, δημιουργώντας στο δευτερεύον του T_2 και στο μεγάφωνο, το πλήρες ημιτονικό σήμα με ελάχιστη παραμόρφωση, που μπορεί να προέρχεται από τα καμπυλόγραμμα τμήματα των χαρακτηριστικών στην αντίστοιχη λειτουργία των τρανζίστορ.

Το κύκλωμα του σχήματος 10.17β χρησιμοποιεί δυο μετασχηματιστές, ένα για αναστροφή φάσεως και ένα στην έξοδο. Οι μετασχηματιστές, όπως είναι γνωστό, προκαλούν προβλήματα τόσο στην καμπύλη αποκρίσεως όσο και στην παραμόρφωση από αρμονικές. Αντί του αναστροφέα με μετασχηματιστή, μπορεί να χρησι-



Σχ. 10.17γ.
Κύκλωμα ενισχυτή ισχύος με συμπληρωματικά τρανζίστορ.

μοποιηθεί αναστροφέας με ένα ή δύο τρανζίστορ, όπως συμβαίνει με τον αναστροφέα με λυχνίες.

Μια άλλη μορφή ενισχυτή ισχύος με δυο τρανζίστορ είναι το κύκλωμα με συμπληρωματική συμμετρία που φαίνεται στο σχήμα 10.17γ. Σ' αυτό το κύκλωμα χρησιμοποιούνται δυο τρανζίστορ με τα ίδια ακριβώς χαρακτηριστικά, μόνο που το ένα είναι PNP και το άλλο NPN.

Τα συμπληρωματικά τρανζίστορ Q_2 και Q_3 είναι πολωμένα σε τάξη Β μέσω της εσωτερικής αντιστάσεως του Q_1 και του αντιστάτη R_3. Έτσι βρίσκονται σε αποκοπή ή έχουν ελάχιστη αγωγιμότητα. Το Q_1 είναι ενισχυτής σε σύνδεση κοινού συλλέκτη και έχει αντίσταση φόρτου τον R_3. Με αυτή τη σύνδεση το Q_1 δεν κάνει ενίσχυση τάσεως αλλά ενίσχυση ισχύος. Οι δυο εκπομποί των Q_2 και Q_3 συνδέονται μεταξύ τους και στη συνέχεια, με ένα πυκνωτή μεγάλης χωρητικότητας (ηλεκτρολυτικό), συνδέονται στη μια άκρη του μεγαφώνου. Η άλλη άκρη του μεγαφώνου συνδέεται στο κοινό (μείον).

Από τον εκπομπό του Q_1 το σήμα εφαρμόζεται στις βάσεις των Q_2 και Q_3. Στη θετική ημιπερίοδο το Q_2 έρχεται σε αγωγιμότητα, γιατί είναι NPN, ενώ το Q_3 παραμένει στην αποκοπή, γιατί είναι PNP και παίρνει συν (+) στην βάση του. Η αγωγιμότητα του Q_2 γίνεται μέγιστη και συμπεριφέρεται σχεδόν σαν αγωγός. Τότε ένα ρεύμα I_2 από το κοινό περνά από το πηνίο του μεγαφώνου και φορτίζει τον πυκνωτή C_ϕ καθώς ο άλλος οπλισμός του μέσω της ελάχιστης αντιστάσεως του Q_2 συνδέεται στο συν (+) της πηγής.

Το ρεύμα φορτίσεως ακολουθεί την ημιτονική μορφή της θετικής ημιπεριόδου, σύμφωνα με την οποία μεταβάλλεται η αγωγιμότητα του Q_2. Έτσι το μεγάφωνο διεγείρεται από ένα ρεύμα αντίστοιχο θετικής ημιπεριόδου, όπως φαίνεται στο σχήμα 10.17γ.

Στην αρνητική ημιπερίοδο του σήματος διεγέρσεως, το Q_2 έρχεται σε αποκοπή,

γιατί είναι NPN και παίρνει στη βάση αρνητικό παλμό, ενώ το Q_3 έρχεται σε αγωγιμότητα γιατί είναι PNP. Η αντίστασή του γίνεται σχεδόν μηδενική και, επειδή βρίσκεται παράλληλα στο C_Φ και το μεγάφωνο, ο C_Φ εκφορτίζεται μέσω του πηνίου φωνής του μεγαφώνου. Το ρεύμα που περνά τώρα από το πηνίο του μεγαφώνου έχει αντίθετη φορά από την προηγούμενη της φορτίσεως και η τιμή του μεταβάλλεται στη μορφή της ημιτονικής αρνητικής ημιπεριόδου, σύμφωνα με την οποία μεταβάλλεται η αγωγιμότητα του Q_3.

Αυτό το κύκλωμα λειτουργεί ως Push-Pull με πολύ καλό βαθμό αποδόσεως και ελάχιστη παραμόρφωση. Τα στερεοφωνικά συστήματα και οι ενισχυτές υψηλής πιστότητας χρησιμοποιούν αυτό το συμμετρικό κύκλωμα. Η δίοδη D_1 χρησιμοποιείται για τη σταθεροποίηση της πολώσεως. Σε άλλα κυκλώματα μπορεί να υπάρχουν και τρείς δίοδοι σε σειρά.

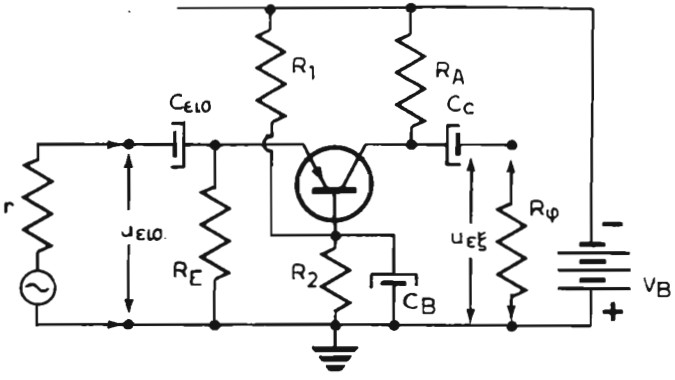
Του κυκλώματος αυτού υπάρχει παραλλαγή όπου τα τρανζίστορ ισχύος είναι και τα δύο PNP ή NPN. Τα δύο τρανζίστορ εξόδου οδηγούνται από αντίθετα τρανζίστορ PNP και NPN, με αποτέλεσμα την ίδια περίπου λειτουργία του κυκλώματος. Στη μια δηλαδή ημιπερίοδο φορτίζεται ο πυκνωτής μέσω του μεγαφώνου και του ενός τρανζίστορ και στην άλλη εκφορτίζεται μέσω του μεγαφώνου και του άλλου τρανζίστορ.

10.18 Ενισχυτές κοινής βάσεως και κοινού συλλέκτη.

Εκτός από τη συνδεσμολογία κοινού εκπομπού που γνωρίσαμε στα προηγούμενα, υπάρχουν και οι συνδεσμολογίες κοινής βάσεως, που είναι αντίστοιχη της συνδεσμολογίας κοινού πλέγματος στις λυχνίες, και η συνδεσμολογία ***κοινού συλλέκτη,*** αντίστοιχη της συνδεσμολογίας κοινής ανόδου, που είναι πιο γνωστή ως ενισχυτής καθόδου.

α) Ενισχυτής κοινής βάσεως.

Στο σχήμα 10.18α φαίνεται το απλό κύκλωμα ενός ενισχυτή κοινής βάσεως. Ο αντιστάτης R_E είναι η αντίσταση του εκπομπού που είναι και αντίσταση εισόδου του ενισχυτή. Οι αντιστάτες R_1 και R_2 αποτελούν το διαιρέτη τάσεως, οι οποίοι καθορίζουν την πόλωση του τρανζίστορ. Ο πυκνωτής C_B είναι μεγάλης τιμής και προσγειώνει τη βάση για την εναλλασσόμενη συνιστώσα. Ο R_A είναι η αντίσταση φόρτου του ενισχυτή και ο C_C είναι ο πυκνωτής συζεύξεως με την επόμενη βαθμίδα.



Σχ. 10.18α.
Κύκλωμα ενισχυτή κοινής βάσεως.

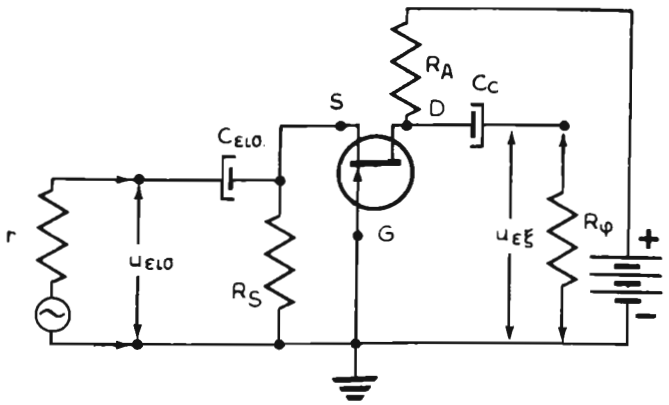
Το σήμα εισόδου εφαρμόζεται στις άκρες του αντιστάτη R_E, αλλά επειδή ο R_E έχει μικρή τιμή η αντίσταση εισόδου του ενισχυτή είναι πολύ μικρή. Η ενίσχυση ρεύματος α είναι μικρότερη της μονάδας, αλλά η ενίσχυση τάσεως είναι λίγο μεγαλύτερη από την ενίσχυση συνδεσμολογίας κοινού εκπομπού. Η ενίσχυση ισχύος είναι μικρότερη από τη συνδεσμολογία κοινού εκπομπού. Δεν υπάρχει διαφορά φάσεως μεταξύ του σήματος εξόδου και του σήματος εισόδου, γιατί, όταν ο εκπομπός γίνεται θετικότερος στη θετική ημιπερίοδο του σήματος εισόδου η αγωγιμότητα του τρανζίστορ αυξάνει. Αυξάνει το ρεύμα I_c, αυξάνει η πτώση τάσεως στην R_A και ο συλλέκτης γίνεται λιγότερο αρνητικός, δηλαδή θετικότερος. Έτσι στο θετικό παλμό εισόδου αντιστοιχεί στην έξοδο θετικός παλμός. Η αντίσταση εξόδου γίνεται μεγαλύτερη από αυτή της συνδεσμολογίας κοινού εκπομπού. Η ενίσχυση τάσεως δίνεται από τη σχέση:

$$A_v = \frac{U_{\epsilon\xi}}{U_{\epsilon\iota\sigma}} = \frac{h_{fe} \cdot R}{h_{ie} + (1 + h_{fe}) \cdot r}$$

όπου h_{fe} και h_{ie} είναι οι υβριδικές παράμετροι, r η αντίσταση της πηγής $U_{\epsilon\iota\sigma}$ και R η ολική αντίσταση εξόδου κατά τη λειτουργία. Η R είναι περίπου ίση με τις παράλληλες R_A και R_Φ.

Επειδή με τη γείωση της βάσεως εξουδετερώνεται η δράση των ενδοχωρητικοτήτων εκπομπού-βάσεως και βάσεως-συλλέκτη, η συνδεσμολογία αυτή χρησιμοποιείται πολύ στους ενισχυτές Υ.Σ.

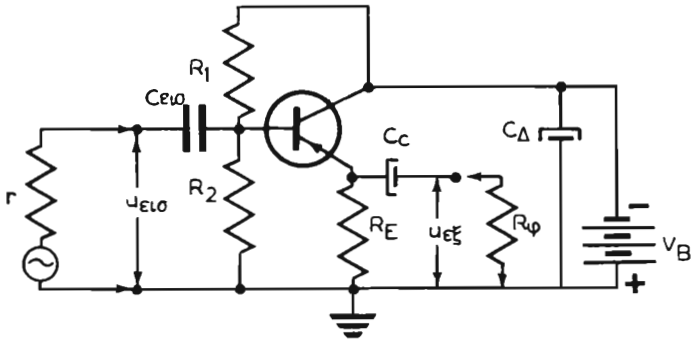
Στο σχήμα 10.18β φαίνεται το κύκλωμα ενός ενισχυτή με JFET σε συνδεσμολογία κοινής πύλης. Τα χαρακτηριστικά αυτού του ενισχυτή είναι περίπου ίδια με τα χαρακτηριστικά του τρανζίστορ επαφής. Στη συνδεσμολογία αυτή η αντίσταση εισόδου είναι πολύ μικρή.



Σχ. 10.18β.
Κύκλωμα ενισχυτή κοινής πύλης.

β) Ενισχυτής κοινού συλλέκτη.

Στο σχήμα 10.8γ φαίνεται το απλό κύκλωμα του ενισχυτή κοινού συλλέκτη. Ο συλλέκτης με τη μεγάλη χωρητικότητα C_Δ συνδέεται στο κοινό για την εναλλασσόμενη συνιστώσα. Οι αντιστάτες R_1 και R_2 καθορίζουν την πόλωση του τρανζίστορ. Ο R_E είναι μεγαλύτερης τιμής από εκείνη που έχει στη συνδεσμολογία



Σχ. 10.18γ.
Κύκλωμα ενισχυτή κοινού συλλέκτη.

κοινού εκπομπού και εκτός από τη σταθεροποίηση της πολώσεως που πραγματοποιεί, είναι και αντίσταση φόρτου του ενισχυτή. Ο πυκνωτής C_c είναι για τη σύζευξη με την επόμενη βαθμίδα.

Η αντίσταση εισόδου της συνδεσμολογίας αυτής είναι πολύ μεγαλύτερη από ότι της συνδεσμολογίας κοινού εκπομπού, ενώ η αντίσταση εξόδου πολύ μικρή. Με αυτά τα χαρακτηριστικά η συνδεσμολογία αυτή χρησιμοποιείται περισσότερο για προσαρμογή αντιστάσεων μεταξύ των ενισχυτικών βαθμίδων, παρά για ενίσχυση. Το σήμα εισόδου εφαρμόζεται στη βάση και το σήμα εξόδου λαμβάνεται από τον εκπομπό γιατί ο αντιστάτης R_E είναι η αντίσταση φόρτου του ενισχυτή.

Και σ' αυτόν τον ενισχυτή δεν υπάρχει διαφορά φάσεως μεταξύ σήματος εξόδου και σήματος εισόδου, γιατί, όταν η βάση γίνει θετικότερη στη θετική ημιπερίοδο του σήματος εισόδου, η αγωγιμότητα του τρανζίστορ μειώνεται. Μειώνεται το I_c και από αυτό μειώνεται η πτώση τάσεως στον R_E και ο εκπομπός γίνεται λιγότερο αρνητικός, δηλαδή θετικότερος. Έτσι στη θετική ημιπερίοδο εισόδου αντιστοιχεί θετική ημιπερίοδος εξόδου.

Η ενίσχυση ρεύματος που κάνει αυτή η συνδεσμολογία είναι περίπου ίδια με την ενίσχυση που κάνει η συνδεσμολογία κοινού εκπομπού. Η ενίσχυση τάσεως όμως είναι μικρότερη της μονάδας και δίνεται από τη σχέση:

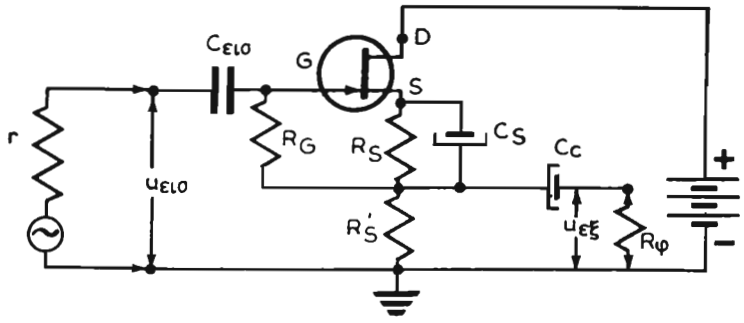
$$A_v = \frac{U_{\epsilon\xi}}{U_{\epsilon\iota\sigma}} = \frac{(1 + h_{fe}) \cdot R}{(r + h_{fe}) \cdot R}$$

Όπου τα στοιχεία της σχέσεως είναι ίδια όπως στην περίπτωση κοινής βάσεως.

Επειδή η ενίσχυση τάσεως είναι μικρότερη της μονάδας, η συνδεσμολογία αυτή δεν χρησιμοποιείται ως ενισχυτής τάσεως, αλλά μπορεί να χρησιμοποιηθεί για ενίσχυση ισχύος, καθώς και για τη προσαρμογή των αντιστάσεων μεγάλης προς μικρή.

Στο σχήμα 10.18δ φαίνεται το κύκλωμα ενός ενισχυτή με JFET σε συνδεσμολογία κοινής εκροής. Τα χαρακτηριστικά του είναι ίδια περίπου με τον ενισχυτή του σχήματος 10.18γ. Ο αντιστάτης R_S αποτελείται από δύο τμήματα. Το ένα R_S με τον πυκνωτή C_S είναι για την πόλωση του τρανζίστορ και ο R'_S είναι η αντίσταση φόρτου, στην οποία θα σχηματισθεί το σήμα εξόδου.

Στη συνδεσμολογία αυτή κοινού συλλέκτη και κοινής εκροής εφαρμόζεται αρνητική ανάδραση ρεύματος 100%.

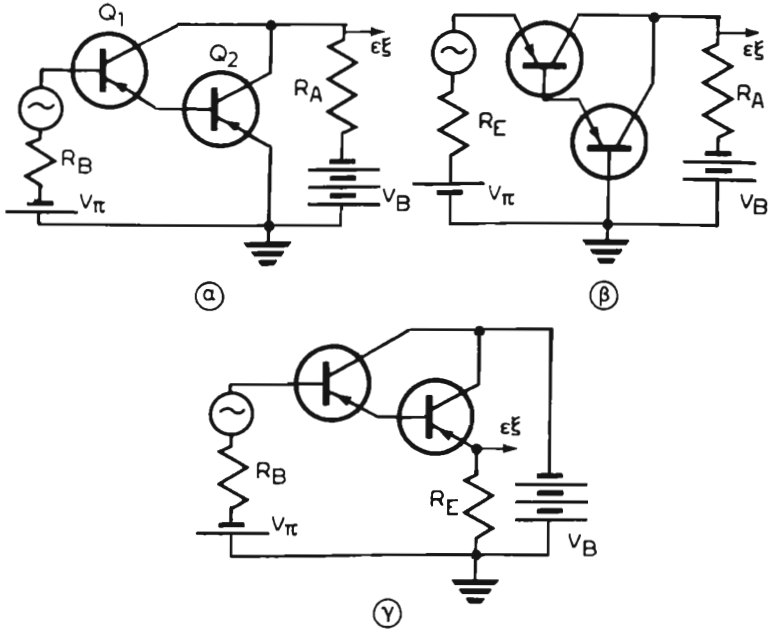


Σχ. 10.18δ.
Κύκλωμα ενισχυτή κοινής εκροής.

γ) Σύνθετη σύνδεση τρανζίστορ.

Στο σχήμα 10.18ε φαίνονται οι τρείς βασικές σύνδέσεις που μπορούμε να πραγματοποιήσομε με δυο τρανζίστορ σε άμεση σύνδεση. Η σύνδεση αυτή ονομάζεται Darlington και χρησιμοποιείται σε πολλές βαθμίδες για τα άριστα αποτελέσματα που έχει σε σχέση με τους απλούς ενισχυτές.

Η σύνδεση Darlington συμπεριφέρεται όπως ένα τρανζίστορ με άριστες επιδόσεις. Στο κύκλωμα (α) συνδεσμολογίας κοινού εκπομπού η ενίσχυση ρεύματος αυξάνει στο τετράγωνο. Αν π.χ. με το ένα τρανζίστορ το β είναι 80, στο Darlington γίνεται 6400. Το αντίστοιχο ισχύει και για την ενίσχυση τάσεως A_v.



Σχ. 10.18ε.
Σύνθετη σύνδεση (Darlington) στις τρεις βασικές συνδεσμολογίες.
α) Κοινού εκπομπού. β) Κοινής βάσεως. γ) Κοινού συλλέκτη.

Στο κύκλωμα (β) συνδεσμολογίας κοινής βάσεως η ενίσχυση ρεύματος α πλησιάζει περισσότερο τη μονάδα. Αν π.χ. με ένα τρανζίστορ το α είναι 0,95, στο Darlinton γίνεται 0,997. Αντίστοιχα η ενίσχυση τάσεως φθάνει περίπου στο 10^4.

Αντίστοιχα αποτελέσματα με τις δυο πρηγούμενες συνδεσμολογίες, έχει και η συνδεσμολογία του κυκλώματος (γ) που είναι ενισχυτής κοινού συλλέκτη.

Τα δύο τρανζίστορ μπορεί να έχουν τα ίδια χαρακτηριστικά ή μπορεί το πρώτο να είναι μικρότερης ισχύος και το δεύτερο μεγαλύτερης, οπότε το πρώτο λειτουργεί ως οδηγός (driver) τρανζίστορ και το δεύτερο ως κυρίως ενισχυτής ισχύος, στην περίπτωση ενισχυτών ισχύος.

10.19 Ενισχυτές υψηλών συχνοτήτων.

Στους πομπούς και στους δέκτες χρησιμοποιούνται οι βαθμίδες ενισχύσεως Υ.Σ. Κύριο χαρακτηριστικό των ενισχυτών Υ.Σ. είναι τα συντονιζόμενα κυκλώματα που υπάρχουν στην είσοδο και στην έξοδο του ενισχυτή. Ανάλογα με τις απαιτήσεις μπορεί να έχομε ενισχυτές τάσεως Υ.Σ. και ενισχυτές ισχύος Υ.Σ.

Κύριο χαρακτηριστικό των συντονιζόμενων κυκλωμάτων είναι η επιλεκτικότητα, που εξαρτάται από το Q. Ένα κύκλωμα παράλληλο με υψηλό Q θα παρουσιάζει και μεγάλη αντίσταση στο συντονισμό. Αν συνδέσομε έναν αντιστάτη παράλληλα στο συντονιζόμενο κύκλωμα το Q μειώνεται, με αποτέλεσμα να μειώνεται η επιλεκτικότητα του συντονιζόμενου κυκλώματος.

Η αντίσταση του κυμαινόμενου κυκλώματος πρέπει να προσαρμόζει με την αντίσταση εισόδου ή εξόδου του ενισχυτή, για να γίνεται η μέγιστη μεταφορά ενέργειας και η μέγιστη δυνατή ενίσχυση. Η αντίσταση εισόδου και εξόδου των τρανζίστορ είναι μικρή και δεν μπορεί να προσαρμόσει απευθείας με την αντίσταση του κυμαινόμενου κυκλώματος. Επί πλέον, αν συνδεθεί παράλληλα στο κυμαινόμενο κύκλωμα η μικρή αντίσταση εισόδου ή εξόδου του τρανζίστορ, μειώνεται το Q του κυμαινόμενου κυκλώματος και από αυτό μειώνεται η επιλεκτικότητα.

Για να πετύχομε λοιπόν την προσαρμογή των αντιστάσεων και για να έχομε υψηλό Q κάνομε σύνδεση σε τμήμα του πηνίου του κυμαινόμενου κυκλώματος τόσο στην είσοδο του ενισχυτή όσο και στην έξοδο.

Ένα άλλο πρόβλημα που παρουσιάζεται στους ενισχυτές Υ.Σ. είναι οι ενδοχωρητικότητες του τρανζίστορ. Η ενδοχωρητικότητα βάσεως εκπομπού (C_{BE}) πρέπει να υπολογίζεται παράλληλα με τη χωρητικότητα του πυκνωτή στο κυμαινόμενο κύκλωμα εισόδου, ενώ η ενδοχωρητικότητα συλλέκτη-εκπομπού (C_{EC}) πρέπει να υπολογίζεται παράλληλα με τη χωρητικότητα του πυκνωτή του κυμαινόμενου κυκλώματος εξόδου. Η C_{BE} και η C_{EC} καθορίζουν τη μέγιστη συχνότητα που μπορεί να ενισχύσει το τρανζίστορ. Η ενδοχωρητικότητα συλλέκτη-βάσεως δημιουργεί προβλήματα αναδράσεως στον ενισχυτή και ο ενισχυτής μπορεί να μετατραπεί σε ταλαντωτή. Για να αποφύγομε το δυσάρεστο αυτό αποτέλεσμα εφαρμόζομε εξουδετέρωση στον ενισχυτή.

Τα δυσάρεστα αποτελέσματα με την επίδραση των ενδοχωρητικοτήτων μειώνονται στο ελάχιστο με τη σύνδεση του ενισχυτή σε συνδεσμολογία κοινής βάσεως. Με τη σύνδεση αυτή όμως η αντίσταση εισόδου γίνεται πολύ μικρότερη, με αποτέλεσμα να δημιουργείται τώρα μεγαλύτερο πρόβλημα προσαρμογής και επιλεκτικότητας. Στις πολύ υψηλές συχνότητες (VHF) χρησιμοποιείται περισσότερο η σύνδεση κοινής βάσεως, γιατί εκεί το πρόβλημα των ενδοχωρητικοτήτων είναι μεγαλύτερο.

Στους δέκτες έχομε:

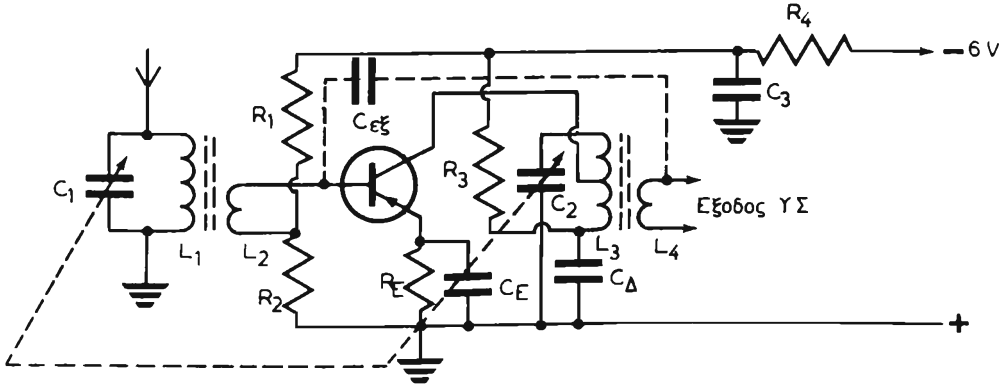
α) τους ενισχυτές Υ.Σ. με κυμαινόμενα κυκλώματα που συντονίζονται για την επιλογή των σταθμών και

β) τους ενισχυτές ενδιάμεσης συχνότητας Ε.Σ. που έχουν τα σταθερά συντονισμένα κυκλώματα, στην ενδιάμεση συχνότητα του δέκτη.

Για τους ενισχυτές Υ.Σ. και Ε.Σ. μιλήσαμε και στην παράγραφο 4.16.

α) Ενισχυτής Υ.Σ.

Στο σχήμα 10.19α φαίνεται το κύκλωμα ενός ενισχυτή Υ.Σ. στην είσοδο ενός δέκτη. Το πρωτεύον πηνίο είναι το συντονιζόμενο κύκλωμα που θα κάνει την επιλογή του υπό λήψη σήματος. Το δευτερεύον είναι ασυντόνιστο και αποτελείται από λίγες σπείρες για να γίνεται η προσαρμογή των αντιστάσεων. Αν το πρωτεύον π.χ. έχει 60 σπείρες, το δευτερεύον θα έχει περίπου 5-6 σπείρες.



Σχ. 10.19α.
Κύκλωμα ενισχυτή Υ.Σ. εισόδου δέκτη.

Το κύκλωμα του συλλέκτη είναι συντονιζόμενο κύκλωμα παράλληλο, με ασυντόνιστο δευτερεύον. Το κύκλωμα συλλέκτη μπορεί να είναι και ένα απλό πηνίο, δηλαδή ασυντόνιστο. Στο κύκλωμα ο συλλέκτης συνδέεται σε τμήμα του πρωτεύοντος πηνίου για να γίνεται η προσαρμογή των αντιστάσεων φόρτου και τμήματος του κυμαινόμενου κυκλώματος. Το δευτερεύον πηνίο είναι με λίγες σπείρες και συνδέεται στην είσοδο της επόμενης βαθμίδας. Ο συντονισμός των κυκλωμάτων εισόδου και εξόδου γίνεται με τους ομοαξονικούς πυκνωτές C_1 και C_2.

Οι αντιστάτες R_1 και R_2 καθορίζουν την πόλωση του τρανζίστορ. Ο R_E και ο C_E είναι για τη σταθεροποίηση της πολώσεως. Ο C_Δ γειώνει την κάτω άκρη του L_3 για την εναλλασσόμενη συνιστώσα και με τον R_3 είναι φίλτρο αποζεύξεως της Υ.Σ. Το ίδιο φίλτρο είναι και ο R_4 με τον C_3. Ο $C_{\epsilon\xi}$ μπορεί να συνδεθεί για την εξουδετέρωση του ενισχυτή. Ένα μικρό σήμα από την έξοδο (συλλέκτη) επιστρέφει στην είσοδο (βάση) μέσω της ενδοχωρητικότητας C_{BC}. Το σήμα αυτό μπορεί να μετατρέψει τον ενισχυτή σε ταλαντωτή τύπου TPTG, γιατί έχει συντονισμένα κυκλώματα στην είσοδο και στην έξοδο. Για να αποφύγομε τις ταλαντώσεις φέρνομε ένα σήμα από την έξοδο στην είσοδο, μέσω του $C_{\epsilon\xi}$. Η τιμή του $C_{\epsilon\xi}$ είναι τέτοια, ώστε το σήμα που επιστρέφει με αυτόν να είναι ίσο και αντίθετο με το σήμα που επιστρέφει μέσω του C_{EC}. Έτσι τα δύο σήματα ως ίσα και αντίθετα εξουδετερώνονται και ο ενισχυτής λειτουργεί κανονικά.

Για να μην υπάρχει επαγωγική επίδραση μεταξύ των πηνίων του πρωτεύοντος και του δευτερεύοντος, τα δύο κυκλώματα μπορεί να είναι θωρακισμένα με κουτιά αλουμινίου. Το Q των πηνίων είναι τέτοιο, ώστε να γίνεται καλή επιλογή και να περνά και το απαραίτητο εύρος συχνοτήτων (Δ_f) για τις πλευρικές.

Το κύκλωμα του σχήματος 10.19α είναι μια συνηθισμένη μορφή, μπορεί όμως να είναι και σε άλλες παραλλαγές, όπως μπορεί να είναι και με JFET ή με MOSFET.

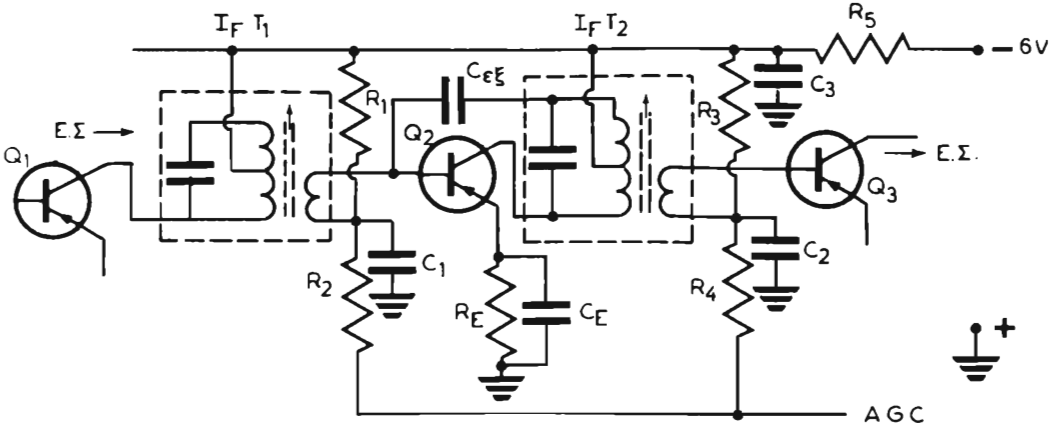
β) Ενισχυτής ενδιάμεσης συχνότητας.

Στο σχήμα 10.19β φαίνεται το κύκλωμα ενός απλού ενισχυτή Ε.Σ. σε συνδεσμολογία κοινού εκπομπού.

Το τρανζίστορ Q_2 είναι ο ενισχυτής ενδιάμεσης συχνότητας. Στην είσοδο και στην έξοδο έχει κυκλώματα συντονισμένα σταθερά στην ενδιάμεση συχνότητα του δέκτη. Αυτά τα κυκλώματα είναι οι μετασχηματιστές Ε.Σ. με συντονισμένο πρωτεύον και ασυντόνιστο δευτερεύον. Ο συλλέκτης συνδέεται σε τμήμα του πρωτεύοντος πηνίου για τους λόγους που αναφέρθηκαν, ενώ το δευτερεύον έχει λίγες σπείρες για την προσαρμογή. Η σύζευξη των πηνίων είναι τέτοια, ώστε να δημιουργείται το απαιτούμενο Δ_f για τη διέλευση των πλευρικών.

Ο R_1 και R_2 είναι για την πόλωση του Q_2. Παρατηρούμε ότι ο R_2 δεν συνδέεται στο κοινό, αλλά στον κόμβο του AGC. Έτσι η ενισχυτικότητα του Q_2 ρυθμίζεται σύμφωνα με το σήμα εισόδου. Το ίδιο ισχύει και για το Q_3 τρανζίστορ, που είναι επίσης ένας δεύτερος ενίσχυτής Ε.Σ. Για το AGC μιλήσαμε στην παράγραφο 7.9(δ). Με τον ίδιο τρόπο παράγεται και η τάση του AGC στους δέκτες με τρανζίστορ, μόνο που αν τα τρανζίστορ ενισχύσεως Ε.Σ. είναι PNP, η τάση του AGC είναι θετική, ενώ όταν είναι NPN, η τάση AGC είναι αρνητική.

Ο $C_{\epsilon\xi}$ είναι για να εξασφαλίζεται η εξουδετέρωση του Q_2. Ο $C_{\epsilon\xi}$ έχει τιμή συνήθως 3-5 pF. Οι πυκνωτές C_1, C_2, C_3 και C_E είναι για την απόζευξη της εναλλασσόμενης συνιστώσας, δηλαδή της Ε.Σ. Τα συντονισμένα κυκλώματα είναι τοποθετημένα μέσα σε κουτιά από αλουμίνιο, για να μην υπάρχει επαγωγική επίδραση μεταξύ κυκλώματος εισόδου και κυκλώματος εξόδου.



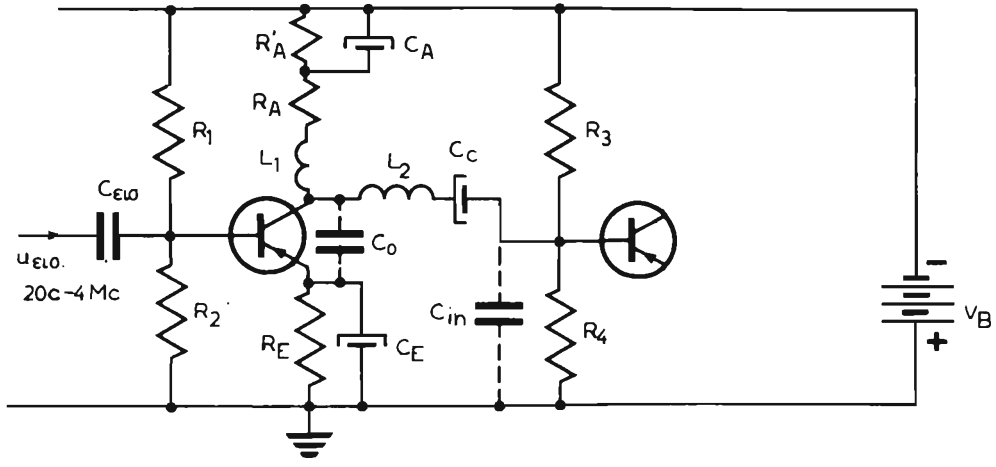
Σχ. 10.19β.
Κύκλωμα ενισχυτή ενδιάμεσης συχνότητας δέκτη.

γ) Ενισχυτής ευρείας περιοχής συχνοτήτων.

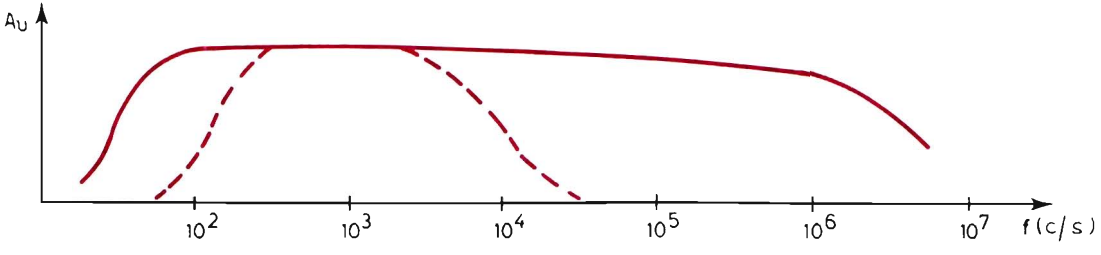
Οι ενισχυτές Υ.Σ. ενισχύουν μια μικρή περιοχή συχνοτήτων που καθορίζεται από το συντονιζόμενο κύκλωμα εξόδου. Οι ενισχυτές Α.Σ. καλύπτουν την περιοχή των Α.Σ. από 20-20000 c/s. Σε πολλές ηλεκτρονικές συσκευές υπάρχει ανάγκη ενισχύσεως μεγάλης περιοχής συχνοτήτων από 20 c/s-5 Mc/s. Η ενίσχυση της μεγάλης αυτής περιοχής επιτυγχάνεται με τους ενισχυτές ευρείας περιοχής (Video), για τους οποίους μιλήσαμε και στην παράγραφο 4.17. Ο ενισχυτής Video είναι ενισχυτής Α.Σ. με αντιστάτες και πυκνωτές, στον οποίο γίνεται βελτίωση του κυκλώματος για την επέκταση της περιοχής.

Ο περιορισμός της ενισχύσεως στις Υ.Σ. οφείλεται στις ενδοχωρητικότητες εισόδου και εξόδου, από τις οποίες διαρρέουν οι Υ.Σ., ενώ η μείωση της ενισχύσεως στις πολύ χαμηλές συχνότητες οφείλεται στη χωρητικότητα συζεύξεως μεταξύ των βαθμίδων (C_c).

Το κύκλωμα του ενισχυτή Α.Σ. του σχήματος 10.16α μπορεί να μετασχηματισθεί στο κύκλωμα του σχήματος 10.19γ για τη βελτίωση της καμπύλης αποκρίσεως. Στο σχήμα 10.19δ φαίνεται η καμπύλη του ενισχυτή ακουστικών συχνοτήτων, με τη διακοπτόμενη γραμμή και η καμπύλη του ίδιου ενισχυτή μετά την προσθήκη των στοιχείων βελτιώσεως και τη μετατροπή του σε ενισχυτή ευρείας περιοχής.



Σχ. 10.19γ.
Κύκλωμα ενισχυτή ευρείας περιοχής.



Σχ. 10.19δ.
Καμπύλη αποκρίσεως ενισχυτή ευρείας περιοχής.

Η βελτίωση στις υψηλές συχνότητες γίνεται με τα πηνία L_1 και L_2. Το L_1 βρίσκεται παράλληλα με τις χωρητικότητες C_0 (εξόδου) και C_{in} (εισόδου της επόμενης βαθμίδας) και δημιουργεί συντονισμένο παράλληλο κύκλωμα με μικρό Q λόγω των χαμηλών αντιστάσεων εισόδου και εξόδου. Έτσι στην κυρίως αντίσταση φόρτου R_A προστίθεται και η αντίσταση του παράλληλου κυκλώματος που δρα στην περιοχή των 100 kc/s. Αντί λοιπόν η ενίσχυση να μειώνεται σ' αυτή την περιοχή με τη δράση των C_0 και C_{in}, παραμένει αντίθετα σταθερή με την αξιοποίηση των C_0 και C_{in} με το πηνίο L_1.

Στις υψηλότερες συχνότητες έχομε δράση της μικρότερης αυτεπαγωγής L_2 η οποία συντονίζει σε σειρά με τον C_{in} (ο C_c στις υψηλές συχνότητες παρουσιάζει μηδενική αντίσταση). Ο συντονισμός πάλι έχει μικρό Q και η καμπύλη καλύπτει μεγάλη περιοχή. Στο συντονισμό στις Υ.Σ. παρουσιάζεται μια υπέρταση στις άκρες του C_{in} που είναι στην είσοδο του επόμενου ενισχυτή, με αποτέλεσμα το σήμα στην έξοδο να παραμένει σταθερό.

Στην περιοχή των πολύ χαμηλών συχνοτήτων, η βελτίωση γίνεται με την προσθήκη της R_A' σε σειρά με την R_A. Ο πυκνωτής C_A στις χαμηλές συχνότητες παρουσιάζει μεγάλη αντίσταση και δεν επηρεάζει την R_A'. Έτσι στις χαμηλές συχνότητες η αντίσταση φόρτου είναι η $R_A + R_A'$, με αποτέλεσμα την αύξηση της ενισχύσεως. Στην περιοχή των μεσαίων συχνοτήτων (2-10 kc/s) η αντίσταση του C_A μειώνεται και πρακτικά βραχυκυκλώνει τον R_A'. Έτσι σ' αυτή τη περιοχή αντίσταση φόρτου είναι μόνο η R_A.

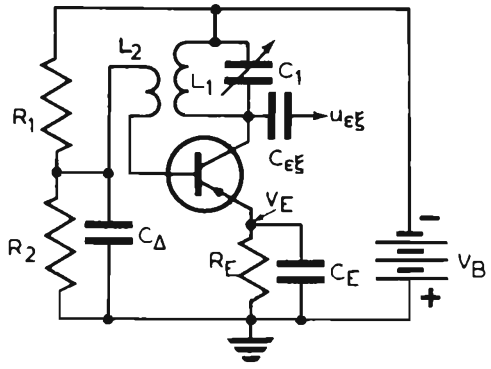
10.20 Ταλαντωτές.

Στο πέμπτο κεφάλαιο αναφέρθηκε η συνθήκη ταλαντώσεων και η λειτουργία των διάφορων κυκλωμάτων των ταλαντωτών. Οι ίδιες προϋποθέσεις απαιτούνται και για τη λειτουργία των ταλαντωτών με τρανζίστορ, δηλαδή να εφαρμόζεται θετική ανάδραση σε μια ή δύο ενισχυτικές βαθμίδες, το ποσοστό της αναδράσεως να είναι αρκετό για την κάλυψη των απωλειών του κυκλώματος και να υπάρχει το κατάλληλο κυκλωμα με L και C ή R και C που θα καθορίσει τη συχνότητα των ταλαντώσεων. Στη συνέχεια θα δούμε μερικά κυκλώματα ταλαντωτών και την αρχή λειτουργίας τους.

α) Ταλαντωτής συντονισμένου συλλέκτη.

Στο σχήμα 10.20α φαίνεται το κύκλωμα του ταλαντωτή συντονισμένου συλλέκτη, αντίστοιχο του ταλαντωτή συντονισμένης ανόδου. Τα πηνία έχουν τέτοια περιέλιξη, ώστε ο συντελεστής Μ να είναι αρνητικός και να υπάρχει διαφορά φάσεως 180° μεταξύ των τάσεων στις άκρες των πηνίων L_1 και L_2. Η έναρξη των ταλαντώσεων γίνεται με την αρχική κίνηση του I_c. Το I_c δημιουργεί μια μεταβαλλόμενη ροή στο πηνίο L_1, η οποία αναπτύσσει στις άκρες του μια τάση E_L. Αυτή η τάση φορτίζει τον πυκνωτή C_1. Όταν το I_c λάβει την κανονική του τιμή, παύει η μεταβολή του, οπότε παύει να αναπτύσσεται η E_L. Τότε ο πυκνωτής C_1 εκφορτίζεται στο πηνίο L_1 αρχίζοντας ταλαντώσεις οι οποίες συντηρούνται με τη θετική ανάδραση του κυκλώματος. Επειδή η συνδεσμολογία είναι κοινού εκπομπού υπάρχει διαφορά φάσεως 180° μεταξύ σήματος εξόδου και σήματος εισόδου. Με την περιέλιξη των πηνίων σχηματίζεται πρόσθετη διαφορά φάσεως 180°, οπότε το σήμα από την έξοδο στην είσοδο επιστρέφει συμφασικό (θετική ανάδραση).

Η συχνότητα των ταλαντώσεως F_0 καθορίζεται από τα στοιχεία L και C του κυ-

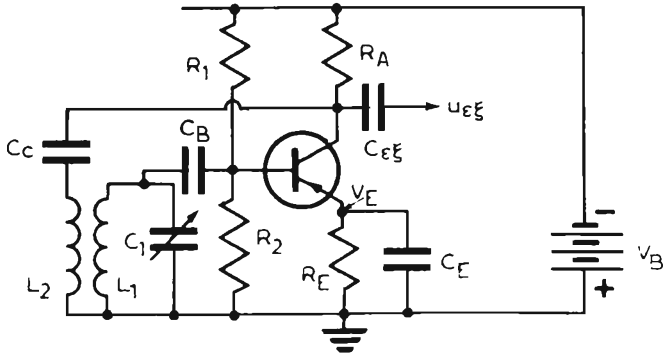


Σχ. 10.20α.
Ταλαντωτής συντονισμένου συλλέκτη.

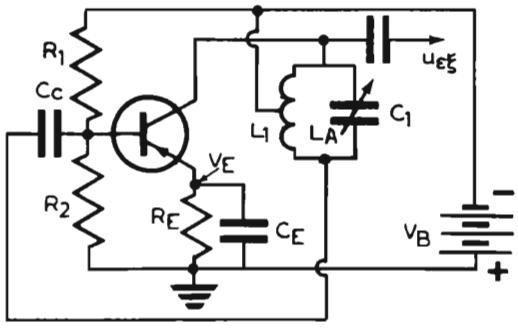
μαινόμενου κυκλώματος, στα οποία πρέπει να υπολογίζεται και η προσθήκη των παρασιτικών χωρητικοτήτων του τρανζίστορ και του κυκλώματος. Η αρχική πόλωση του ταλαντωτή είναι τάξεως Α και καθορίζεται από το διαιρέτη τάσεως R_1 και R_2. Στη συνέχεια η πόλωση μεταβάλλεται σε τάξη Β ή C ανάλογα με το ποσοστό αναδράσεως. Ο έλεγχος της λειτουργίας του ταλαντωτή μπορεί να γίνει με τη μέτρηση της τάσεως στον εκπομπό, η οποία κατά τη λειτουργία του γίνεται μεγαλύτερη. Ο C_Δ γειώνει τη μία άκρη του L_2 (για την εναλλασσόμενη συνιστώσα), για την καλή λειτουργία του ταλαντωτή.

β) Ταλαντωτής συντονισμένης βάσεως.

Στο σχήμα 10.20β φαίνεται το κύκλωμα ενός ταλαντωτή που έχει το συντονισμένο κύκλωμα L_1C_1 στη βάση. Με την περιέλιξη των πηνίων και με τη σύζευξη εξασφαλίζεται η θετική ανάδραση. Η έναρξη των ταλαντώσεων επιτυγχάνεται με την κίνηση του I_c που προκαλεί πτώση τάσεως στην R_A. Αυτή η μεταβολή της τάσεως μέσω του C_c μεταφέρεται στο L_2 και προκαλεί μια ροή φ, η οποία αναπτύσσει στο L_1 τάση εξ επαγωγής που φορτίζει τον C_1. Το I_c σταθεροποιείται στη συνέχεια και ο C_1 εκφορτίζεται αρχίζοντας τις ταλαντώσεις. Οι ταλαντώσεις δημιουργούνται στο L_1C_1 και συντηρούνται με τη θετική ανάδραση μέσω του C_c.



Σχ. 10.20β.
Ταλαντωτής συντονισμένης βάσεως.



Σχ. 10.20γ.
Ταλαντωτής Hartley σειράς.

Ο C_c αποκόπτει τη συνεχή συνιστώσα και μεταφέρει μόνο την εναλλασσόμενη συνιστώσα από την έξοδο στην είσοδο.

Για την πόλωση και την ένδειξη λειτουργίας του ισχύουν τα ίδια με τον προηγούμενο ταλαντωτή. Η συνδεσμολογία αυτή είναι αντίστοιχη με του ταλαντωτή Armstrong με λυχνία.

γ) Ταλαντωτής Hartley σειράς.

Το κύκλωμα ενός ταλαντωτή Hartley σειράς φαίνεται στο σχήμα 10.20γ. Χαρακτηριστικό γνώρισμά του είναι η λήψη στο πηνίο του συντονιζόμενου κυκλώματος. Ο χαρακτηρισμός σειράς δίνεται γιατί το ρεύμα του συλλέκτη περνά μέσα από το πηνίο L_1 και το πηνίο είναι σε σειρά με το συλλέκτη.

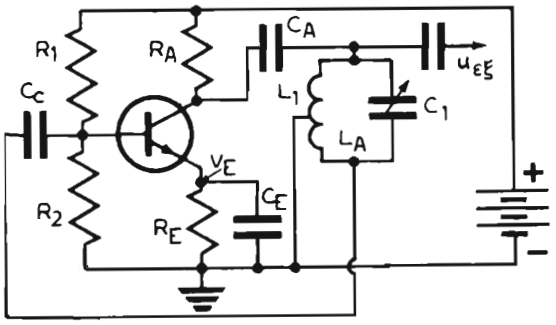
Η έναρξη των ταλαντώσεων γίνεται με τη μεταβολή του I_c, που δημιουργεί ροή φ μέσα στο πηνίο. Η ροή προκαλεί τάση εξ επαγωγής στις άκρες του L_1 που φορτίζει τον πυκνωτή C_1. Όταν παύσει η μεταβολή του I_c, παύει να δημιουργείται η τάση στο πηνίο και ο πυκνωτής τώρα εκφορτίζεται αρχίζοντας τις ταλαντώσεις. Η συντήρηση των ταλαντώσεων εξασφαλίζεται με το υπόλοιπο του πηνίου L_A από το οποίο το σήμα επιστρέφει συμφασικό στη βάση του τρανζίστορ μέσω του C_c.

δ) Ταλαντωτής Hartley παράλληλος.

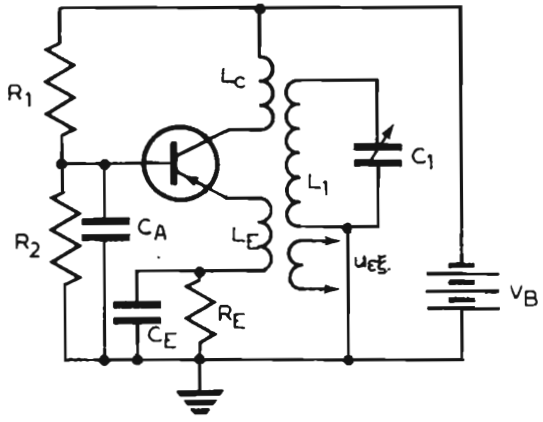
Παραλλαγή του ταλαντωτή Hartley σειράς είναι το παράλληλο κύκλωμα. Ο χαρακτηρισμός παράλληλος οφείλεται στο ότι το κυμαινόμενο κύκλωμα συνδέεται παράλληλα στο τρανζίστορ μέσω του πυκνωτή C_c. Η μεσαία λήψη του πηνίου συνδέεται στο κοινό.

Η έναρξη των ταλαντώσεων γίνεται με τη μεταβολή του I_c που δημιουργεί πτώση τάσεως στην R_A. Η πτώση τάσεως μεταφέρεται στο L_1 μέσω του C_A και δημιουργεί σε αυτό μια ροή μεταξύ της λήψεως και της άνω άκρης. Από αυτή τη ροή αναπτύσσεται σε ολόκληρο το L_1 μια τάση E_L, που φορτίζει τον C_1. Όταν παύσει η μεταβολή του I_c, ο C_1 εκφορτίζεται στο L_1 αρχίζοντας τις ταλαντώσεις.

Η συντήρηση των ταλαντώσεων επιτυγχάνεται με το άλλο μισό L_A του πηνίου, από το οποίο μεταφέρεται συμφασικά το σήμα στη βάση μέσω του C_c. Το τρανζίστορ σ' αυτό το κύκλωμα είναι NPN για ποικιλία των κυκλωμάτων. Τα κυκλώματα μπορεί να γίνονται με PNP ή NPN τρανζίστορ ή και με τρανζίστορ πεδίου, με μικρές αλλαγές στα βασικά κυκλώματα.



Σχ. 10.20δ.
Ταλαντωτής Hartley παράλληλος.

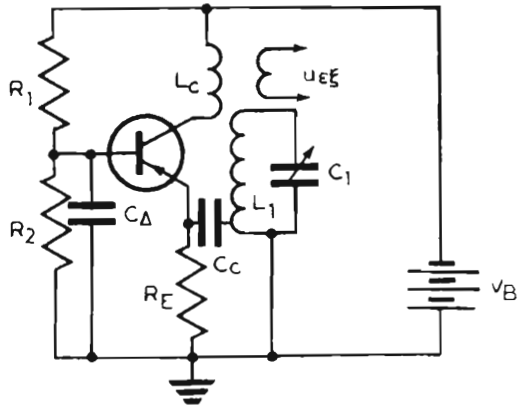


Σχ. 10.20ε.
Ταλαντωτής Reinartz.

ε) Ταλαντωτής Reinartz.

Ο ταλαντωτής Reinartz είναι αντίστοιχος του ταλαντωτή Meissner με λυχνία. Το κύκλωμά του φαίνεται στο σχήμα 10.20ε. Το ταλαντευόμενο κύκλωμα L_1C_1 που καθορίζει τη συχνότητα των ταλαντώσεων δεν έχει ηλεκτρική επαφή με το κύκλωμα του τρανζίστορ, αλλά βρίσκεται σε επαγωγική σύζευξη με το πηνίο συλλέκτη και με το πηνίο αναδράσεως του εκπομπού. Η περιέλιξη των πηνίων είναι τέτοια, ώστε να εξασφαλίζεται η θετική ανάδραση.

Η έναρξη των ταλαντώσεων γίνεται πάλι με τη μεταβολή του I_c που δημιουργεί μεταβαλλόμενη ροή Φ στο L_c. Από εκεί αναπτύσσεται τάση στο L_1 που φορτίζει τον C_1 και αρχίζουν οι ταλαντώσεις. Το L_1C_1 παράγει τις ταλαντώσεις που με το L_E διεγείρουν τον εκπομπό του τρανζίστορ. Το L_c λειτουργεί ως αντίσταση φόρτου, που επειδή βρίσκεται σε σύζευξη με το L_1 επάγει ενέργεια και συντηρούνται οι ταλαντώσεις. Στο σχήμα 10.20στ φαίνεται μια παραλλαγή του ταλαντωτή Reinartz. Ο $C_Δ$ συνδέει τη βάση με το κοινό για την εναλλασσόμενη συνιστώσα, γιατί ο ταλαντωτής εργάζεται σε συνδεσμολογία ενισχυτή κοινής βάσεως.



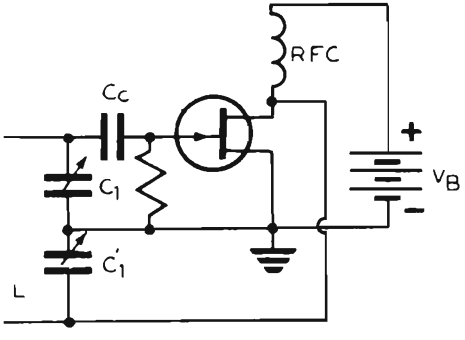
Σχ. 10.20στ.
Παραλλαγή ταλαντωτή Reinartz.

στ) Ταλαντωτής Colpitts.

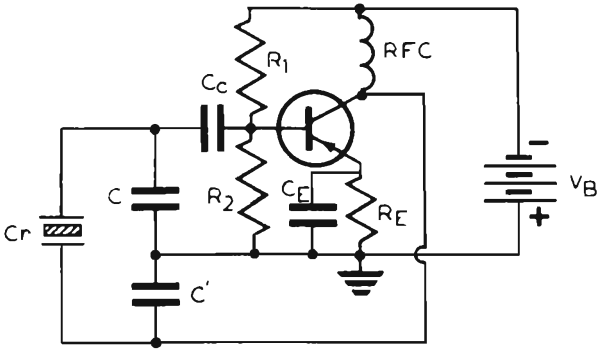
Ο ταλαντωτής Colpitts μοιάζει με τον παράλληλο ταλαντωτή Hartley, μόνο που αντί να έχει τη λήψη στο πηνίο την έχει στον πυκνωτή του κυμαινόμενου κυκλώματος. Έτσι το κυμαινόμενο κύκλωμα αποτελείται από δύο πυκνωτές σε σειρά που έχουν παράλληλα το πηνίο.

Στο σχήμα 10.20ζ φαίνεται το κύκλωμα ενός ταλαντωτή Colpitts με τρανζίστορ πεδίου. Η έναρξη των ταλαντώσεων γίνεται με τη μεταβολή του ρεύματος I_D, η οποία προκαλεί πτώση τάσεως στις άκρες του RFC που είναι στην εκροή. Η πτώση τάσεως μεταφέρεται στο πηνίο και προκαλεί μια ροή σ' αυτό. Η ροή δημιουργεί μια τάση που φορτίζει τους πυκνωτές C_1 και C_1' και στη συνέχεια αρχίζουν οι ταλαντώσεις. Η συντήρηση των ταλαντώσεων επιτυγχάνεται με το σήμα που επιστρέφει από την έξοδο στην είσοδο και με τη μεσαία λήψη των πυκνωτών, που αντιστοιχεί σε μεσαία λήψη στο πηνίο, αντιστρέφει πολικότητα και γίνεται συμφασικό με το σήμα εισόδου.

Σε ταλαντωτές πολύ υψηλών συχνοτήτων, αντί για τους πυκνωτές C_1 και C_1' χρησιμοποιούνται οι ενδοχωρητικότητες του τρανζίστορ.



Σχ. 10.20ζ.
Ταλαντωτής Colpitts.



Σχ. 10.20η.
Ταλαντωτής κρυστάλλου τύπου Pierse.

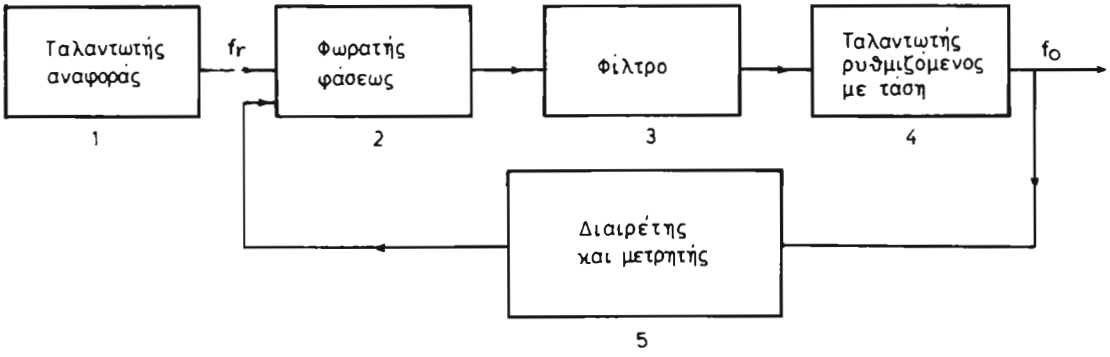
ζ) Ταλαντωτής με κρύσταλλο.

Στο σχήμα 10.20η φαίνεται το κύκλωμα ενός ταλαντωτή με κρύσταλλο, τύπου Pierse. Στην παράγραφο 5.7, αναφέρθηκε η συμπεριφορά και η χρησιμότητα του κρυστάλλου χαλαζία στους ταλαντωτές.

Στο κύκλωμα Pierse ο κρύσταλλος συνδέεται μεταξύ ανόδου και πλέγματος και το κύκλωμα συμπεριφέρεται σαν Colpitts με τη δράση των ενδοχωρητικοτήτων. Στο κύκλωμα του σχήματος 10.20η η χωρητικότητα C τοποθετείται παράλληλα στην ενδοχωρητικότητα βάσεως-εκπομπού (C_{BE}), γιατί αυτή είναι πολύ μικρή. Η χωρητικότητα C΄ τοποθετείται για να αυξήσει την πιό μικρή ενδοχωρητικότητα εκπομπού-συλλέκτη (C_{EC}). Αν είναι μεγάλη η συχνότητα λειτουργίας του ταλαντωτή, τότε δεν τοποθετούνται οι C και C΄.

η) Frequency Synthesizer.

Ο Frequency Synthesizer (συνθέτης συχνότητας) είναι ένα σύστημα παραγωγής συχνότητας, δηλαδή ένας ταλαντωτής, ο οποίος όμως δεν μοιάζει με τους απλούς



Σχ. 10.20θ.
Βασικό διάγραμμα Phase lock loop ενός Frequency synthesizer.

ταλαντωτές που γνωρίσαμε. Αυτό το σύστημα χρησιμοποιείται όπως και ο απλός ταλαντωτής σε πολλούς σύγχρονους πομπούς για την παραγωγή της βασικής συχνότητας, καθώς και σε πολλούς σύγχρονους δέκτες σαν τοπικός ταλαντωτής.

Μελετήθηκε για πρώτη φορά το 1930 περίπου, αλλά λόγω του μεγάλου κόστους κατασκευής των βαθμίδων με λυχνίες, αυτό το σύστημα δεν εφαρμόσθηκε. Σήμερα, με τη χρήση των ολοκληρωμένων κυκλωμάτων κατασκευάζονται με μικρό κόστος και με άριστα αποτελέσματα.

Η λειτουργία του Frequency Synthesizer στηρίζεται στον κλειστό βρόχο ελέγχου συχνότητας, το Phase-Lock-Loop, το βασικό διάγραμμα του οποίου φαίνεται στο σχήμα 10.20θ.

Το ***πρώτο*** τετραγωνάκι είναι ο ταλαντωτής αναφοράς (Reference Oscillator), ο οποίος είναι κρυσταλλικός ταλαντωτής και παράγει μια σταθερή συχνότητα αναφοράς f_r. Το παραγόμενο σήμα παίρνει τετραγωνική μορφή (Square-Wave) με κατάλληλο πολυδονητή και τροφοδοτεί τη μία είσοδο του φωρατή φάσεως, που είναι το ***δεύτερο*** τετραγωνάκι (Phase Detector).

Αυτό το τετραγωνάκι είναι ένα λογικό ολοκληρωμένο κύκλωμα που λειτουργεί στο δυαδικό σύστημα. Εκτελεί φώραση και σύγκριση των δύο σημάτων που εφαρμόζονται στις δύο εισόδους του. Η έξοδος του φωρατή φάσεως είναι ένα περίπου συνεχές ρεύμα, το πλάτος του οποίου εξαρτάται από τη διαφορά φάσεως των δύο σημάτων εισόδου. Αυτό το περίπου συνεχές ρεύμα εφαρμόζεται στην είσοδο του φίλτρου.

Το ***τρίτο*** τετραγωνάκι (Filter) είναι φίλτρο διελεύσεως χαμηλών συχνοτήτων και αποτελείται από ηλεκτρονικό κύκλωμα με δύο ή τρία τρανζίστορ ή και ολοκληρωμένο κύκλωμα. Προορισμό έχει να εξομαλύνει τη συνεχή τάση εξόδου του φωρατή και να την απαλλάξει από μεταβολές πλάτους, συχνότητας και θορύβου. Επίσης περιορίζει την υπερδιέγερση της επόμενης βαθμίδας και την προστατεύει από παρασιτικές ταλαντώσεις. Η συνεχής τάση εξόδου του φίλτρου εφαρμόζεται στην είσοδο του VCO.

Το ***τέταρτο*** τετραγωνάκι είναι ένας ταλαντωτής, η συχνότητα του οποίου ρυθμίζεται από το πλάτος της συνεχούς τάσεως που εφαρμόζεται στην είσοδό του και ονομάζεται Voltage Controlled Oscillator (VCO). Ο VCO μπορεί να είναι ένας ταλαντωτής με L και C και Varactor. Παράγει την τελική συχνότητα εξόδου του συ-

στήματος f_0. Είναι έτσι σχεδιασμένος, ώστε να μπορεί να καλύψει την απαιτούμενη περιοχή συχνοτήτων, από τη χαμηλότερη μέχρι την υψηλότερη συχνότητα. Η αλλαγή της συχνότητας γίνεται με τη μεταβολή της χωρητικότητας του Varactor, ο οποίος τροφοδοτείται με την τάση εξόδου του φίλτρου. Ένα μέρος από τη συχνότητα εξόδου f_0 οδηγείται στην είσοδο του μετρητή που είναι το ***πέμπτο*** τετραγωνάκι.

Το τετραγωνάκι αυτό είναι η πιο σύνθετη μονάδα και μπορεί να αποτελείται από μεγάλο αριθμό ολοκληρωμένων κυκλωμάτων που εργάζονται στο δυαδικό σύστημα (Binary). Αυτή η μονάδα διαιρεί τη συχνότητα f_0 με έναν αριθμό N που καθορίζεται με εξωτερικούς διακόπτες ή είναι προγραμματισμένος από τα λογικά κυκλώματα. Επειδή διαιρεί τη συχνότητα f_0 ονομάζεται ***διαιρέτης*** (Divider). Επίσης καταμετρά τους παλμούς (τη συχνότητα) που θα οδηγηθούν στο φωρατή φάσεως για σύγκριση και γι' αυτό ονομάζεται και ***μετρητής*** (Counter). Η έξοδος του διαιρέτη είναι τετραγωνικής μορφής (Square-Wave) ίδιας με την f_r και εφαρμόζεται στη δεύτερη είσοδο του φωρατή-συγκριτή φάσεως.

Κατά τη λειτουργία του συστήματος, ο ταλαντωτής αναφοράς παράγει μια βασική συχνότητα, π.χ. 10 Mc. Αυτό το σήμα με τετραγωνική μορφή εφαρμόζεται στην πρώτη είσοδο του φωρατή-συγκριτή φάσεως. Στη δεύτερη είσοδο εφαρμόζεται το σήμα εξόδου f_0, αφού διαιρεθεί με έναν αριθμό N (f_0/N) που καθορίζεται εξωτερικά από τους διακόπτες επιλογής. Η έξοδος του φωρατή-συγκριτή θα είναι μια συνεχής τάση, το πλάτος της οποίας εξαρτάται από τη διαφορά φάσεως των δύο σωμάτων εισόδου. Όταν η διαφορά φάσεως είναι μηδενική, η συνεχής τάση εξόδου θα είναι τέτοια, ώστε να συντονίσει τον VCO στη συχνότητα αναφοράς f_r πολλαπλασιασμένης με τον αριθμό διαιρέσεως N, δηλαδή $f_0 = f_r \cdot N$.

Αν τώρα υπάρχει διαφορά φάσεως μεταξύ των δύο σημάτων, η συνεχής τάση εξόδου θα έχει τέτοια τιμή, ώστε να αυξήσει ή να μειώσει τη συχνότητα που θα παράγει ο VCO, έτσι ώστε να ισχύει πάλι η σχέση $f_0 = f_r \cdot N$. Στην περίπτωση αυτή, η τάση εξόδου του φωρατή-συγκριτή θα έχει την κανονική τιμή που θα καθορίσει τη συχνότητα εξόδου.

Για μια νέα ρύθμιση με το διακόπτη επιλογής θα αλλάξει η τιμή του N, θα αλλάξει ο λόγος f_0/N και από αυτό η τιμή του δεύτερου σήματος εισόδου στο φωρατή - συγκριτή. Το αποτέλεσμα θα είναι μια νέα τιμή της συνεχούς τάσεως εξόδου που θα μεταβάλλει τη συχνότητα του VCO στην επιθυμητή τιμή f_0.

Στην περίπτωση που ο αριθμός N έχει πολλές μονάδες ή είναι ένας κλασματικός ή σύνθετος αριθμός, χρησιμοποιούνται προβαθμίδες διαιρέσεως που συμπληρώνουν τη λειτουργία του διαιρέτη-μετρητή, δηλαδή μπορεί να έχομε διαίρεση δια δέκα (÷ 10), ξανά διαίρεση δια δέκα (÷10) και διαίρεση δια τέσσερα (÷ 4) κλπ. Στην περίπτωση αυτή το κύκλωμα γίνεται πιο πολύπλοκο.

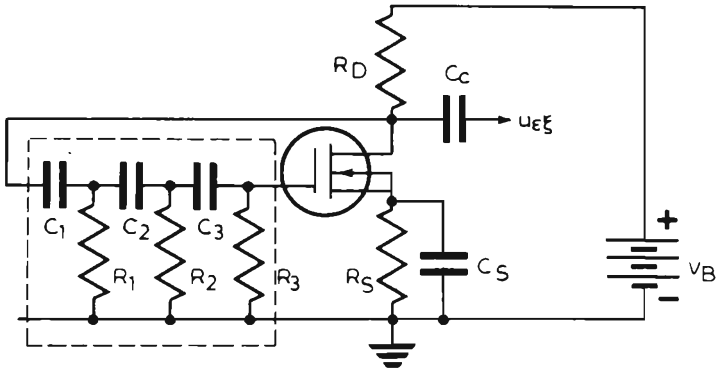
Επίσης, στην περίπτωση που ο δέκτης ή ο πομπός πρέπει να καλύψει μια μεγάλη περιοχή συχνοτήτων, π.χ. από 100 kc μέχρι 30 Mc, μπορεί να χρησιμοποιήσει δύο ή και τρεις βαθμίδες με VCO με αντίστοιχους διαιρέτες συχνότητας και να γίνεται η σύνθεση της τελικής συχνότητας εξόδου.

θ) Ταλαντωτής με R και C.

Οι ταλαντωτές με R και C είναι για ακουστικές συχνότητες και έχουν συνήθως δύο μορφές:

α) ***ταλαντωτής ολισθήσεως φάσεως*** (Phase Shift) και

β) ***ταλαντωτής με γέφυρα Wien.***



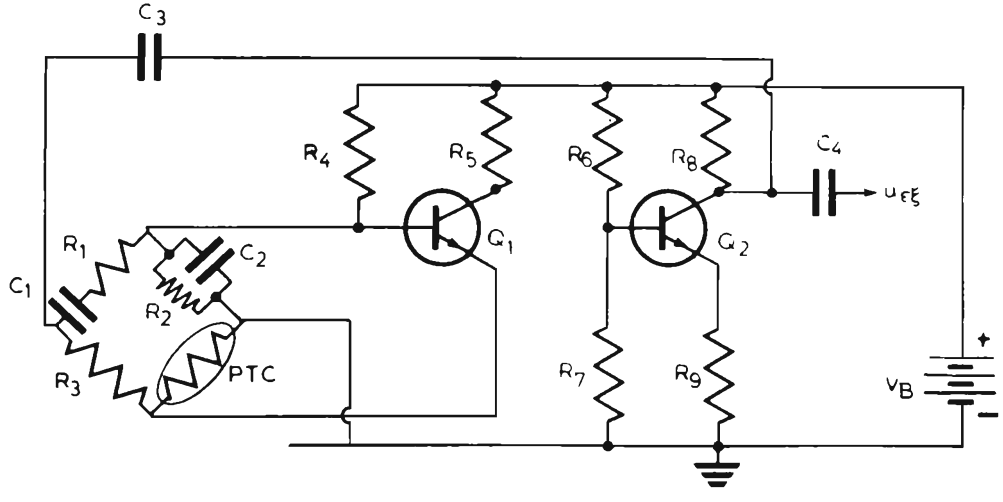
Σχ. 10.20ι.
Κύκλωμα ταλαντωτή RC με μετάθεση φάσεως.

Στο σχήμα 10.20ι φαίνεται το κύκλωμα ενός ταλαντωτή ολισθήσεως φάσεως με FET. Το κύκλωμα με τα R και C στην είσοδο προκαλεί μετατόπιση φάσεως κατά 180°, όπως αναφέρθηκε και στην παράγραφο 5.8. Επειδή το κύκλωμα μετατοπίσεως φάσεως έχει απόσβεση ίση με 29, η ενίσχυση τάσεως του τρανζίστορ πρέπει να είναι μεγαλύτερη από 29, για να έχομε συντήρηση των ταλαντώσεων.

Το σήμα εξόδου είναι ημιτονικό και η συχνότητά του καθορίζεται από τις τιμές των R και C και, αν $R_1 = R_2 = R_3$ και $C_1 = C_2 = C_3$, τότε η συχνότητα ταλαντώσεων δίνεται από τη σχέση:

$$F_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{6}\,RC}$$

Στο σχήμα 10.20ια φαίνεται το κύκλωμα ενός ταλαντωτή RC με γέφυρα Wien. Η θετική ανάδραση επιτυγχάνεται με την επιστροφή του σήματος από το δεύτερο ενισχυτή στον πρώτο μέσω του C_3. Με τις δύο ενισχυτικές βαθμίδες επιτυγχάνε-



Σχ. 10.20ια.
Κύκλωμα ταλαντωτή RC με γέφυρα Wien.

ται η διαφορά φάσεως 360° ή 0°. Η θετική ανάδραση πραγματοποιείται μόνο σε μια συχνότητα f_0, η οποία καθορίζεται από τη σχέση των R_1C_1 και R_2C_2, για την οποία οι δύο κλάδοι βρίσκονται σε σύμφαση. Για άλλες συχνότητες, μεγαλύτερες ή μικρότερες, η γέφυρα βρίσκεται σε αντίφαση και δημιουργείται αρνητική ανάδραση μέσω του R_3, που εφαρμόζεται στον εκπομπό του Q_2. Το θερμίστορ PTC είναι θετικού θερμικού συντελεστή και ρυθμίζει το ρεύμα του Q_1, από αυτό δε τη σταθερότητα λειτουργίας του ταλαντωτή.

Αν $R_1 = R_2$ και $C_1 = C_2$, η συχνότητα των ταλαντώσεων καθορίζεται από τις τιμές αυτών και δίνεται από τη σχέση:

$$F_0 = \frac{1}{2\pi R_1 C_1} \qquad \text{και γενικά} \qquad F_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{R_1C_1R_2C_2}}$$

Αν στις θέσεις των R_1 και R_2 τοποθετήσομε ομοαξονικούς μεταβλητους αντιστάτες και στη θέση των C_1 και C_2 ομοαξονικούς μεταβλητούς πυκνωτές, επιτυγχάνομε την παραγωγή μεταβαλλόμενης συχνότητας από ένα ελάχιστο μέχρι ένα μέγιστο, που καθορίζεται από τις ελάχιστες και μέγιστες τιμές των R_1C_1 και R_2C_2.

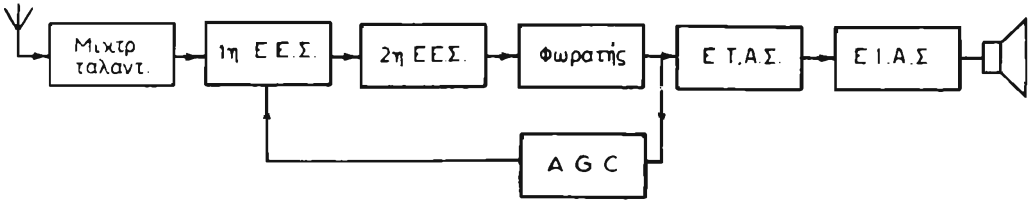
10.21 Δέκτες με Τρανζίστορ.

Στο έβδομο κεφάλαιο έγινε ανάλυση της λειτουργίας των δεκτών με λυχνίες για σήματα AM και CW. Επίσης στο όγδοο και ένατο κεφάλαιο είδαμε τους δέκτες FM και SSB. Οι σύγχρονοι δέκτες για AM, FM και SSB κατασκευάζονται με τρανζίστορ και ολοκληρωμένα κυκλώματα. Η αρχή λειτουργίας τους είναι ίδια με εκείνη των δεκτών με λυχνίες.

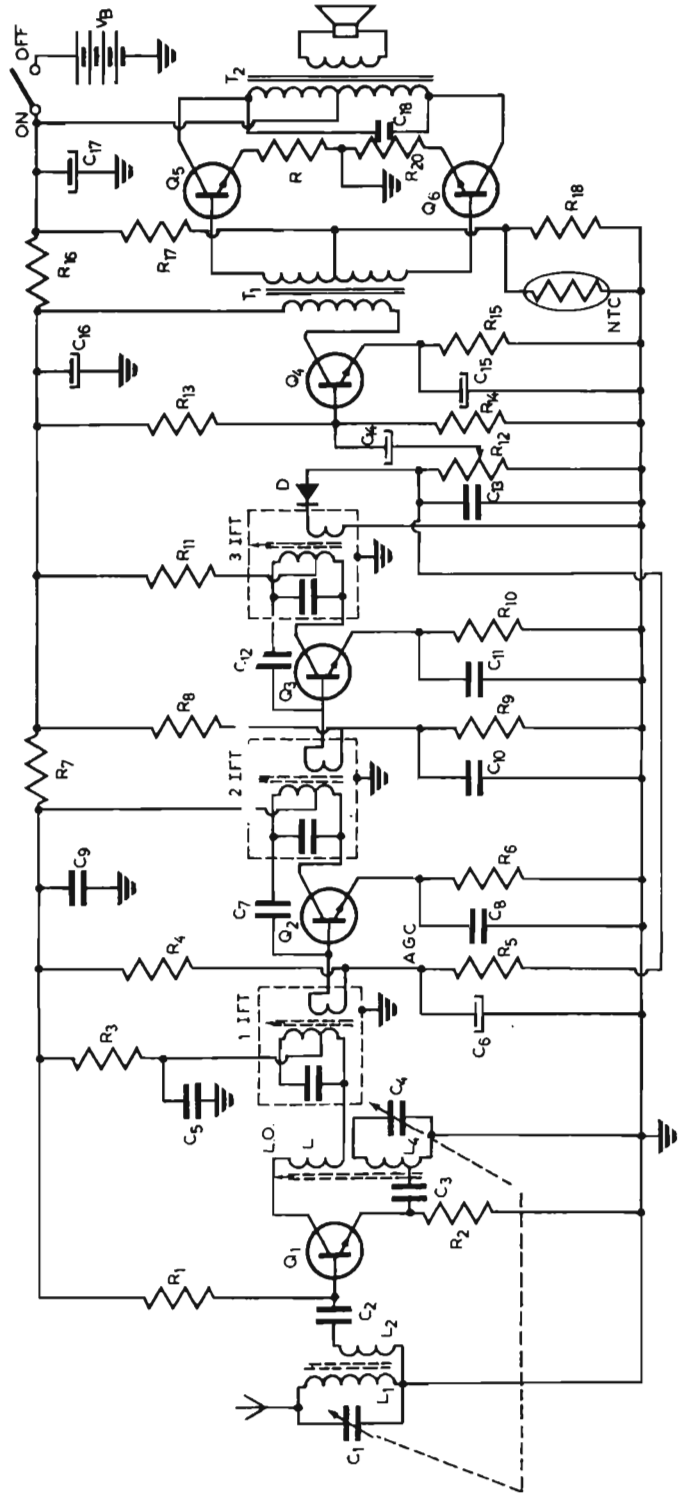
Στο σχήμα 10.21α φαίνεται το βασικό διάγραμμα ενός υπερετερόδυνου δέκτη μιας περιοχής για λήψη σημάτων AM, δηλαδή ενός απλού ραδιοφώνου με τρανζίστορ. Το ***πρώτο*** τετραγωνάκι είναι η βαθμίδα ενισχύσεως Υ.Σ. μίξεως και ταλαντώσεως. Το ***δεύτερο*** είναι η βαθμίδα ενισχύσεως Ε.Σ. Το ***τρίτο*** είναι η δεύτερη βαθμίδα ενισχύσεως Ε.Σ. Το ***τέταρτο*** είναι η βαθμίδα φωράσεως. Το ***πέμπτο*** και ***έκτο*** οι βαθμίδες ενισχύσεως Α.Σ. τάσεως η πρώτη και ισχύος η δεύτερη.

Στο σχήμα 10.21β φαίνεται το πλήρες διάγραμμα του ίδιου υπερετερόδυνου δέκτη, η λειτουργία του οποίου περιγράφεται παρακάτω.

Η επιλογή του σήματος εισόδου γίνεται με το συντονιζόμενο κύκλωμα εισόδου L_1C_1 και οδηγείται στην είσοδο του τρανζίστορ Q_1 για ενίσχυση. Το Q_1 είναι συνδεσμολογημένο για να εκτελεί επίσης και ταλαντώσεις, δηλαδή το ίδιο είναι και τοπικός ταλαντωτής σε μορφή παραλλαγής ταλαντωτή Reinartz. Η συχνότητα των ταλαντώσεων ρυθμίζεται με το μεταβλητό πυκνωτή C_4, που είναι ομοαξονικός με τον C_1. Τα πηνία L_1 και L_4 είναι έτσι κατασκευασμένα, ώστε η συχνότητα συντονι-



Σχ. 10.21α.
Βασικό διάγραμμα υπερετερόδυνου δέκτη A M.



Σχ. 10.21β.
Κύκλωμα υπεροετερόδυνου δέκτη Α Μ.

σμού του L_4C_4 να είναι μεγαλύτερη από τη συχνότητα συντονισμού του L_1C_1 κατά την ενδιάμεση συχνότητα (Ε.Σ.) του δέκτη, η οποία είναι 455 kc/s.

Τα πηνία L_3 και L_4 ανήκουν στον τοπικό ταλαντωτή. Το L_4 με το C_4 αποτελούν το κυμαινόμενο κύκλωμα στο οποίο το L_3 δίνει ενέργεια για τη συντήρηση των ταλαντώσεων. Το L_3 έχει μικρή αυτεπαγωγή και δεν εμποδίζει τη διέλευση της Ε.Σ. προς τον πρώτο μετασχηματιστή Ε.Σ., όπου και εμφανίζεται.

Στο Q_1 πραγματοποιείται η μίξη του σήματος εισόδου από την κεραία και του σήματος του τοπικού ταλαντωτή. Αναδεικνύεται η Ε.Σ. 455 kc/s, η οποία αναπτύσσεται στο συντονισμένο κύκλωμα του πρώτου ΜΕΣ. Από το δευτερεύον το σήμα οδηγείται στη βάση του Q_2 για ενίσχυση. Ενισχύεται από αυτό και εμφανίζεται στον δεύτερο ΜΕΣ, που και αυτός επίσης είναι συντονισμένος στην Ε.Σ. Από το δευτερεύον, το σήμα Ε.Σ. οδηγείται στη βάση του Q_3 για ενίσχυση. Ενισχύεται πάλι από το Q_3 και αναπτύσσεται στον τρίτο ΜΕΣ που επίσης είναι συντονισμένος στην Ε.Σ.

Από το δευτερεύον του τρίτου ΜΕΣ, το σήμα οδηγείται στο φωρατή, όπου πραγματοποιείται η φώραση και η ανάδειξη της Α.Σ. Η Α.Σ εμφανίζεται στην αντίσταση φόρτου του φωρατή που είναι ο R_{12}. Αυτός είναι ένα ποτενσιόμετρο. Από το δρομέα του ποτενσιόμετρου, το σήμα Α.Σ. οδηγείται στη βάση του Q_4 μέσω του πυκνωτή C_{14}. Το Q_4 είναι ενισχυτής τάσεως και ισχύος Α.Σ. και λειτουργεί ως Driver για τα τρανζίστορ ισχύος Q_5 και Q_6. Τα Q_5 και Q_6 είναι τρανζίστορ ισχύος (περίπου 1W) και εργάζονται σε τάξη AB σε διάταξη Push-Pull. Το ενισχυμένο σήμα Α.Σ. οδηγείται στο μεγάφωνο, από το οποίο αποδίδεται ως ήχος.

Οι πυκνωτές C_7 και C_{12} εξασφαλίζουν την εξουδετέρωση στα Q_2 και Q_3. Οι R_3 και C_5 είναι για την απόζευξη της Υ.Σ. του ταλαντωτή οι R_7 και C_9 για την απόζευξη της Ε.Σ. και οι R_{16}, C_{16} και C_{17} για απόζευξη της Α.Σ. Ο C_{17} είναι ηλεκτρολυτικός πυκνωτής μεγάλης χωρητικότητας, 50-100 μF, και τοποθετείται για την απόζευξη των Α.Σ. κυρίως που αναπτύσσονται στην εσωτερική αντίσταση r της πηγής V_B.

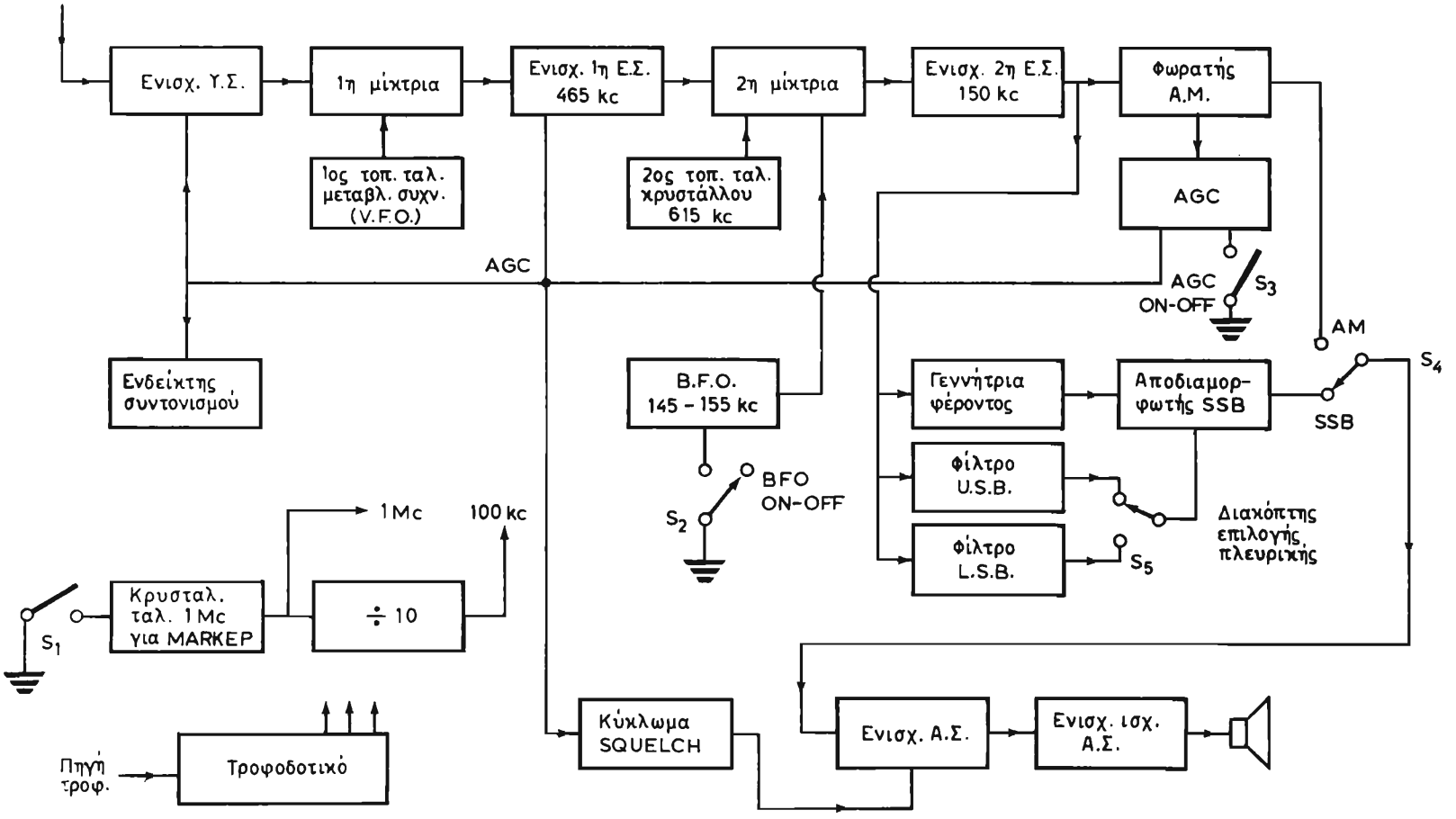
Οι εναλλασσόμενες συνιστώσες του δέκτη είναι δυνατό να αναπτυχθούν στην εσωτερική αντίσταση της πηγής, η οποία έχει συνήθως τιμή 1- 5Ω. Έτσι δημιουργούνται πτώσεις τάσεως διαφόρων σημάτων, οι οποίες προκαλούν θετικές αναδράσεις, με αποτέλεσμα τη δημιουργία διαφόρων παρασιτικών ήχων. Ο πυκνωτής C_{17} βραχυκυκλώνει τις συνιστώσες αυτές εξασφαλίζοντας την ομαλή λειτουργία του δέκτη. Τυχόν διακοπή του πυκνωτή αυτού θα έχει σαν αποτέλεσμα να εμφανίζονται οι ισχυροί παρασιτικοί θόρυβοι. Περίπου το ίδιο ισχύει και για τον C_{16}.

Ο C_{18} διορθώνει την καμπύλη αποκρίσεως του μετασχηματιστή εξόδου, για να μη δημιουργεί εξάρσεις στις υψηλές συχνότητες της περιοχής των Α.Σ. Ο R_5 με τον C_6 εξομαλύνουν την τάση AGC που εφαρμόζεται στο Q_2. Η τάση του AGC σχηματίζεται στον R_{12} (ο οποίος είναι αντίσταση φωράσεως) ως αρνητική συνεχής τάση, μεταβαλλόμενη στο ρυθμό της Α.Σ., η οποία με τον C_8 εξομαλύνεται και γίνεται σχεδόν συνεχές.

Ο συντονισμός και η ευθυγράμμιση του δέκτη γίνεται όπως έχει περιγραφεί στην παράγραφο 7.11. Πρώτα δηλαδή γίνεται ο συντονισμός των μετασχηματιστών Ε.Σ. με τη γεννήτρια Υ.Σ. στη συχνότητα των 455 kc/s. Ο συντονισμός επιτυγχάνεται με τη ρύθμιση των πυρήνων των Μ.Ε.Σ. Στη συνέχεια, με τη γεννήτρια Υ.Σ., πραγματοποιείται ρύθμιση του κυκλώματος του τοπικού ταλαντωτή και του κυκλώματος της κεραίας. Η ρύθμιση των συντονιζόμενων κυκλωμάτων δεν πρέπει να γίνεται χωρίς γεννήτρια Υ.Σ., γιατί μπορεί να μειωθεί η ευαισθησία και η επιλεκτικότητα του δέκτη.

Στο σχήμα 10.21γ φαίνεται το βασικό διάγραμμα ενός υπερετερόδυνου δέκτη για λήψη σημάτων AM, CW και SSB. Καλύπτει την περιοχή μεσαίων και βραχέων

ΙΔΡΥΜΑ ΕΥΓΕΝΙΔΟΥ 1956



Σχ. 10.21γ.
Βασικό διάγραμμα υπερετερόδυνου δέκτη AM,CW και SSB.

κυμάτων σε τέσσερις περιοχές. Η πρώτη περιοχή καλύπτει από 500-1600 kc/s, η δεύτερη από 1,5-4,5 Mc/s, η τρίτη από 4-10 Mc/s και η τέταρτη από 9-30 Mc/s.

Στο δέκτη εφαρμόζεται διπλή μεταλλαγή για καλύτερη επιλογή και απόρριψη της συχνότητας ειδώλου. Ο δέκτης διαθέτει και κρυσταλλικό ταλαντωτή 1 Mc για τον έλεγχο της συχνότητας συντονισμού, ανά 1 Mc στα βραχέα κύματα και ανά 100 kc/s για την περιοχή των μεσαίων κυμάτων.

Για τη λήψη σημάτων AM, ο διακόπτης S_4 είναι στη θέση AM και ο διακόπτης S_2 στη θέση OFF. Το σήμα εισόδου επιλέγεται με τα συντονιζόμενα κυκλώματα εισόδου και οδηγείται στην πρώτη μίκτρια, όπου γίνεται η πρώτη μίξη και εμφανίζεται η πρώτη Ε.Σ. 465 kc. Ο πρώτος τοπικός ταλαντωτής είναι μεταβαλλόμενης συχνότητας. (VFO), γιατί ακολουθεί τη συχνότητα λήψεως. Ο δεύτερος τοπικός ταλαντωτής είναι κρυσταλλικός, επειδή η πρώτη Ε.Σ. είναι σταθερή 465 kc και έτσι μπορεί να γίνει συμβολή για να εμφανισθεί μια πολύ σταθερή δεύτερη Ε.Σ. 150 kc/s. Με τον τρόπο αυτό αυξάνει πολύ η ικανότητα επιλογής του δέκτη. Το Δ_f των μετασχηματιστών 1ης και 2ης Ε.Σ. είναι $\pm$ 5 kc/s.

Στη συνέχεια πραγματοποιείται φώραση του σήματος και ανάδειξη της Α.Σ., που ενισχύεται από τον ενισχυτή τάσεως και τον ενισχυτή ισχύος για να αποδοθεί από το μεγάφωνο. Στη βαθμίδα ενισχύσεως τάσεως Α.Σ. ενεργεί και το Squelch, για τον περιορισμό του θορύβου. Το AGC εφαρμόζεται στον ενισχυτή Υ.Σ. και στον ενισχυτή 1ης Ε.Σ.

Για τη λήψη σημάτων CW ο διακόπτης S_2 είναι στη θέση BFO-ON. Παράγεται ένα σήμα, π.χ. 148 kc/s, το οποίο συμβάλλει στη δεύτερη μίκτρια με αποτέλεσμα το σήμα Ε.Σ. 150 kc να διαμορφώνεται με 2 kc/s που είναι η διαφορά των δύο σημάτων 148 kc και 150 kc/s. Στην πραγματικότητα τώρα Η Ε.Σ. γίνεται 149 kc με αυξομείωση 2 kc (παράγρ. 7.6). Στη συνέχεια το σήμα οδηγείται για φώραση.

Για τη λήψη σημάτων SSB, ο διακόπτης S_4 είναι στη θέση SSB, ενώ ο διακόπτης S_5 επιλέγει την άνω ή την κάτω πλευρική ζώνη. Η γεννήτρια φέροντος προσθέτει το φέρον κύμα για να επιτευχθεί η αποδιαμόρφωση στον αποδιαμορφωτή και η ανάδειξη της Α.Σ.

Το τετραγωνάκι ενδείκτης συντονισμού είναι μια βαθμίδα ενισχύσεως της τάσεως του AGC, η οποία στη συνέχεια τροφοδοτεί ένα μικρό όργανο ενδείξεως συντονισμού. Όταν η λήψη ενός σταθμού είναι ακριβής, η τάση του AGC γίνεται μέγιστη, με αποτέλεσμα και η ένδειξη του οργάνου να γίνεται επίσης μέγιστη.

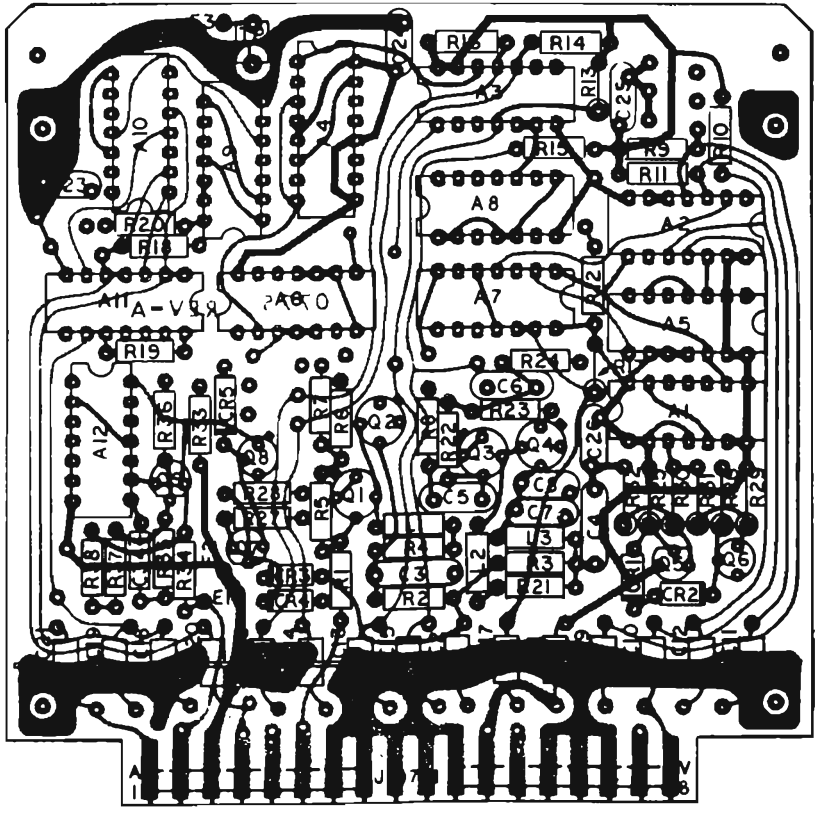
Οι δέκτες με Synthesizer είναι με περισσότερες βαθμίδες και έχουν πιο πολύπλοκα κυκλώματα. Οι εξωτερικοί τους χειρισμοί είναι απλοί και έχουν καλύτερη απόδοση. Η επισκευή τους όμως είναι πολύ δύσκολη και χρειάζεται γι' αυτό ειδικευμένος τεχνικός.

10.22 Τυπωμένα κυκλώματα — Ολοκληρωμένα κυκλώματα.

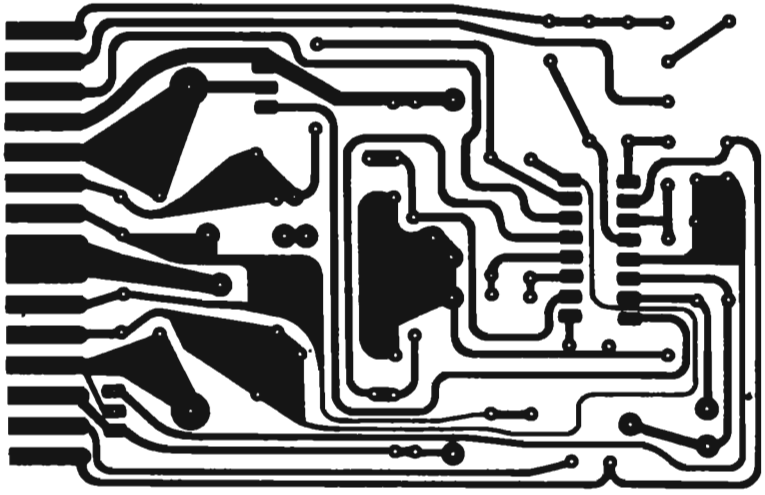
Στις περισσότερες σύγχρονες ηλεκτρονικές κατασκευές χρησιμοποιούνται τα τυπωμένα κυκλώματα (Printed Circuits). Αυτά σχηματίζονται στην επιφάνεια μιας μονωτικής πλάκας από βακελίτη ή από εποξικό υλικό, τα οποία είναι μεγάλης μηχανικής αντοχής και είναι τέλεια μονωτικά υλικά. Στη μία επιφάνεια η πλάκα έχει λεπτή στρώση από χαλκό, ο οποίος, με ειδική επεξεργασία, σχηματίζει τους αγωγούς συνδέσεως των διαφόρων εξαρτημάτων, ενώ αφαιρείται από την υπόλοιπη επιφάνεια.

Η τοποθέτηση των υλικών γίνεται στην άλλη επιφάνεια και η συγκόλληση στην επιφάνεια με το χαλκό. Μια απλή μορφή τυπωμένων κυκλωμάτων έχομε στα μικρά ραδιόφωνα τρανζίστορ, στα οποία τα εξαρτήματα είναι τοποθετημένα στερεά και πολύ κοντά το ένα στο άλλο. Έτσι η κατασκευή παίρνει την ονομασία ***συμπαγής - στερεά κατασκευή*** (Solid State).

Τα τυπωμένα κυκλώματα παρουσιάζουν πολλά πλεονεκτήματα σε σύγκριση με τις κατασκευές όπου η σύνδεση των εξαρτημάτων γίνεται με κοινούς αγωγούς. Ο χρόνος συναρμολογήσεως είναι ελάχιστος, τα εξαρτήματα στερεώνονται καλύτερα και δεν μετακινούνται, οι χωρητικότητες των αγωγών είναι σταθερές και δεν μεταβάλλονται με τους κραδασμούς. Με την κατάλληλη σχεδίαση του κυκλώματος η αλληλεπίδραση των αγωγών μπορεί να μειωθεί στο ελάχιστο και ο όγκος είναι πολύ μικρότερος. Με τα τυπωμένα κυκλώματα κατασκευάζονται ειδικές πλακέτες που μπορεί να αφαιρούνται και να τοποθετούνται εύκολα σε ειδική υποδοχή με αντίστοιχες επαφές για τη σύνδεση της πλακέτας. Μια τέτοια πλακέτα φαίνεται στο σχήμα 10.22α όπου διακρίνονται οι γραμμές συνδέσεως των υλικών και τα διάφορα εξαρτήματα σχεδιασμένα. Τα A_4, A_9, A_8 κλπ. είναι ολοκληρωμένα κυκλώματα, ενώ τα Q_1, Q_2, Q_3 κλπ. είναι τα τρανζίστορ. Τα R_{18}, R_{14} και τα C_{14}, C_{25} κλπ. είναι αντίστοιχα οι αντιστάτες και οι πυκνωτές. Στο κάτω μέρος της πλακέτας φαίνονται οι επαφές συνδέσεως όταν τοποθετούνται στην κατάλληλη υποδοχή (βάση).



Σχ. 10.22α.
Πλακέτα τυπωμένου κυκλώματος, με τα εξαρτήματα.



Σχ. 10.22β.
Πλακέτα τυπωμένου κυκλώματος χωρίς εξαρτήματα.

Στο σχήμα 10.22β φαίνεται η πλακέτα ενός απλού τυπωμένου κυκλώματος αυτοματισμού με χρήση ολοκληρωμένου κυκλώματος.

Τα τυπωμένα κυκλώματα παράγονται σε ειδικευμένα εργαστήρια μαζικής παραγωγής και κατασκευάζονται με φωτοχημική μέθοδο. Για την κατασκευή μιας απλής πλακέτας ακολουθείται η παρακάτω σειρά εργασίας.

Το θεωρητικό κύκλωμα των βαθμίδων μετατρέπεται σε πρακτικό, σχεδιασμένο σε μεγάλο μέγεθος σε χαρτί σχεδιάσεως. Τα υλικά σχεδιάζονται στις καλύτερες θέσεις που εξυπηρετούν σύνδεση με όσο το δυνατόν μικρότερους αγωγούς, που δεν πρέπει να διασταυρώνονται στο τυπωμένο κύκλωμα. Στη συνέχεια στο ίδιο χαρτί σχεδιάζονται οι αγωγοί για τη σύνδεση των εξαρτημάτων, όπως π.χ. στο σχήμα 10.22α. Αφαιρούνται τα σχεδιασμένα υλικά και μένει μόνο το σχεδιασμένο κύκλωμα. Με φωτογραφική μέθοδο ή με σχεδίαση υπό κλίμακα, το σχέδιο παίρνει το κανονικό του μέγεθος. Στο κανονικό μέγεθος μπορεί να γίνει και από την αρχή της σχεδιάσεως. Μεταφέρεται ακολούθως σε φωτογραφικό φίλμ, το οποίο τοποθετείται στην επιφάνεια της πλακέτας με τη στρώση χαλκού και, με φωτοχημική μέθοδο, αφαιρείται ο χαλκός από τα μέρη που φωτίζονται. Στα μέρη που δεν φωτίζονται επειδή έχουν τη σχεδίαση, ο χαλκός παραμένει σχηματίζοντας το τυπωμένο κύκλωμα, όπως φαίνεται στο σχήμα 10.22β. Ακολουθεί το τρύπημα στις κατάλληλες θέσεις με λεπτό τρυπάνι για να περάσουν οι ακροδέκτες των εξαρτημάτων και να συγκολληθούν.

Για μια απλή κατασκευή μπορεί το κύκλωμα να σχεδιασθεί σε χαρτί και με καρμπόν να μεταφερθεί στην επιφάνεια του χαλκού. Εκεί με αδιάβροχο βερνίκι η ειδικό μαρκαδόρο, γίνεται η σχεδίαση του τυπωμένου κυκλώματος όπως αυτό πρέπει να είναι στην τελική του μορφή (όπως στο σχήμα 10.22β). Η σχεδιασμένη πλάκα τοποθετείται μέσα σε διάλυμα υπερχλωριούχου σιδήρου (δύο μέρη νερού με ένα μέρος υπερχλωριούχου σιδήρου), το οποίο πρέπει να θερμανθεί. Σε μικρό χρόνο θα έχει αφαιρεθεί ο χαλκός από τα μέρη που δεν είχε καλυφθεί από το βερνίκι, δηλαδή από τις γραμμές συνδέσεως. Στη συνέχεια αφαιρείται η πλάκα από

το διάλυμα, καθαρίζεται και με λεπτό τρυπάνι γίνονται οι τρύπες στα κατάλληλα σημεία. Το βερνίκι αφαιρείται με ειδικό υγρό (ασετόν) και το τυπωμένο κύκλωμα είναι έτοιμο για να χρησιμοποιειθεί και να συγκολληθούν τα εξαρτήματα.

Για να μην οξειδώνεται η επιφάνεια του χαλκού του τυπωμένου κυκλώματος, γίνεται συνήθως μια λεπτή επίστρωση από κασσίτερο ή, σε καλύτερες κατασκευές, επαργύρωση, κυρίως στις επαφές όπου συνδέονται με τα αντίστοιχα ελάσματα στις υποδοχές όπου τοποθετούνται.

Μετά τη συγκόλληση των εξαρτημάτων, ολόκληρη η επιφάνεια στην οποία έχουν γίνει η συγκολλήσεις καλύπτεται με προστατευτικό μονωτικό βερνίκι, για προστασία από οξείδωση.

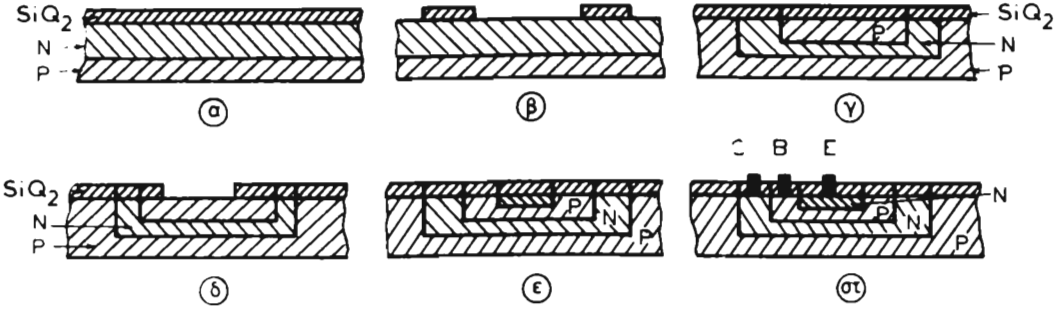
Υπάρχουν πλακέτες με τυπωμένα κυκλώματα και στις δύο επιφάνειες της μονωτικής πλάκας, για να εξυπηρετούν πιο σύνθετα κυκλώματα. Οι πλακέτες αυτες κατασκευάζονται από εποξικό υλικό, που έχει καλύτερη μονωτική και μηχανική αντοχή.

Τα τυπωμένα κυκλώματα έχουν το μειονέκτημα ότι, αν τα λυγίσομε ελαφρά, παρουσιάζουν διακοπές στις γραμμές συνδέσεως, οι οποίες δεν φαίνονται βέβαια με γυμνό μάτι, έχουν όμως ως αποτέλεσμα τη διακοπή της λειτουργίας του κυκλώματος ή τη μη ομαλή λειτουργία του.

Τα τυπωμένα κυκλώματα οδήγησαν στην κατασκευή μικρών κυκλωμάτων με υλικά πολύ μικρού μεγέθους και κατασκευή των μικροκυκλωμάτων σε πολύ μικρές διαστάσεις. Όταν όμως οι διαστάσεις των κατασκευών έγιναν τόσο μικρές που δεν ήταν δυνατό να γίνουν ακόμα μικρότερες, κατασκευάζονται πια ***ολοκληρωμένα κυκλώματα.***

Τα ολοκληρωμένα κυκλώματα (Monolithic Integrated Circuits) είναι κατασκευές της σύγχρονης ηλεκτρονικής τεχνικής που πραγματικά προκαλούν το θαυμασμό. Σε ένα χώρο επιφάνειας δύο περίπου τετραγωνικών χιλιοστών του μέτρου είναι δυνατό να υπάρχουν και τριακόσια περίπου στοιχεία τρανζίστορ, δίοδοι, αντιστάτες και πυκνωτές, τα οποία σχηματίζουν πλήρες ηλεκτρονικό κύκλωμα.

Η κατασκευή των ολοκληρωμένων κυκλωμάτων βασίζεται στην αρχή όπου βασίζεται επίσης και η κατασκευή των MOSFET, η οποία αναφέρθηκε ήδη στην παράγραφο 10.12β. Η επιφάνεια του υλικού πάνω στην οποία θα γίνει η κατασκευή του ολοκληρωμένου κυκλώματος μπορεί να έχει διαστάσεις 1 × 2 χιλιοστά του μέτρου. Αυτό το πλακίδιο αποτελείται από τρεις στρώσεις. Η κάτω στρώση είναι υλικό τύπου P, στη μέση σχηματίζεται μια στρώση πάχους λίγων μικρών, υλικού τύπου N και πάνω από τη στρώση αυτή, σχηματίζεται με οξείδωση ένα λεπτό μονωτικό στρώμα SiO_2 [σχ. 10.22γ(α)].



Σχ. 10.22γ.
Παράσταση κατασκευής ολοκληρωμένου τρανζίστορ.

Το κύκλωμα που πρόκειται να κατασκευασθεί σχεδιάζεται σε μεγάλο μέγεθος και καθορίζονται οι θέσεις όπου πρέπει να σχηματισθούν τα τρανζίστορ, οι δίοδες, οι αντιστάτες και οι πυκνωτές. Στη συνέχεια κατασκευάζονται σε μικροφίλμ οι διάφορες μορφές που θα παίρνει το κύκλωμα κατά τη σειρά επεξεργασίας για το σχηματισμό των διάφορων εξαρτημάτων. Η επεξεργασία γίνεται με τή λιθογραφική-φωτοχημική μέθοδο. Στο σχήμα 10.22γ φαίνεται η κάθετη τομή ενός πολύ μικρού τμήματος του πλακιδίου στο οποίο σχηματίζεται ένα τρανζίστορ NPN.

Στο σχήμα 10.22γ(α) φαίνεται η κάθετη τομή του μικρού τμήματος, το υπόστρωμα τύπου P, το στρώμα τύπου N και η μονωτική λεπτή επιφάνεια οξειδίου του πυριτίου. Στο (β) φαίνεται ότι έχει αφαιρεθεί ένα τμήμα του οξειδίου. Στο (γ) φαίνεται ότι στο μέρος όπου αφαιρέθηκε το τμήμα του οξειδίου σχηματίσθηκε μια περιοχή P με διάχυση φορέων ινδίου. Ακολούθησε επικάλυψη με οξείδιο. Απομονώθηκε συγχρόνως το τμήμα N από το ολικό στρώμα του τύπου N με διάχυση πάλι φορέων P. Στο (δ) γίνεται πάλι αφαίρεση του οξειδίου σε τμήμα πάνω από το P. Στο (ε) σχηματίζεται μια μικρή περιοχή τύπου N με διάχυση φορέων αρσενικού και συγχρόνως επικάλυψη πάλι με οξείδιο. Στο (στ) φαίνεται η αφαίρεση πάλι του οξειδίου και η προσθήκη μετάλλου (αλουμινίου), για το σχηματισμό των ακροδεκτών C, B, E. Στη συνέχεια γίνεται λεπτή επίστρωση μετάλλου για το σχηματισμό των αγωγών. Η αντίστοιχη επεξεργασία γίνεται για το σχηματισμό των τρανζίστορ MOSFET όπως περιγράφηκε στην παράγραφο 10.12(β). Η δίοδη σχηματίζεται με απλή επαφή P-N.

Ο αντιστάτης σχηματίζεται από υλικό τύπου P σε μορφή λεπτης γραμμής κάτω από το μονωτικό στρώμα του πυριτίου. Η τιμή των αντιστάσεων μπορεί να είναι από λίγα Ω μέχρι 10 kΩ περίπου και καθορίζεται από το μήκος του υλικού P το πλάτος και το πάχος του, που είναι συνήθως λίγα μικρά, δηλαδή λίγα mm.

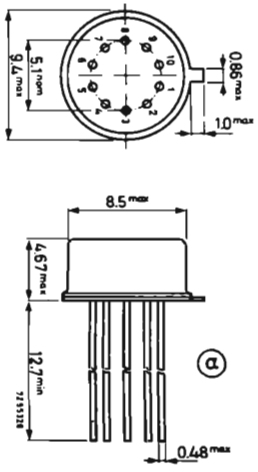
Ο πυκνωτής σχηματίζεται με μια στρώση υλικού P και υλικού N σε αντίστροφη πόλωση. Η χωρητικότητά του καθορίζεται από την επιφάνεια της επαφής και την εφαρμοζόμενη τάση. Σε πολλές περιπτώσεις σχηματίζονται πυκνωτές με επιμετάλλωση πάνω από το στρώμα οξειδίου.

Τα ολοκληρωμένα κυκλώματα χωρίζονται σε δύο μεγάλες κατηγορίες: τα ***γραμμικά (Linear)*** και τα ***ψηφιακά*** ή ***λογικά*** κυκλώματα (***Logic I. Cs***). Τα πρώτα περιέχουν ενισχυτικές βαθμίδες Α.Σ. ή Υ.Σ., γραμμικούς ενισχυτές, τελεστικούς ενισχυτές κλπ., ενώ τα δεύτερα, λογικά κυκλώματα πύλες και πολυδονητές.

Το μικρό πλακάκι με το ολοκληρωμένο κύκλωμα τοποθετείται μέσα σε μεταλλική κυλινδρική θήκη, όπως τα τρανζίστορ και από το κάτω μέρος υπάρχουν οι ακροδέκτες για τη σύνδεση του στο τυπωμένο κύκλωμα. Μια τέτοια μορφή φαίνεται στο σχήμα 10.22δ(α). Σε άλλες κατασκευές, το πλακάκι τοποθετείται σε πολύ μεγαλύτερη στενόμακρη βάση από συνθετικό υλικό (π.χ. βακελίτη), στα πλάγια της οποίας υπάρχουν οι ακροδέκτες για τη σύνδεσή του στο τυπωμένο κύκλωμα. Μια τέτοια μορφή δείχνει το σχήμα 10.22ε. Και στις δύο κατασκευές η αρίθμηση των ακροδεκτών γίνεται με τον τρόπο που φαίνεται στα σχήματα.

Στο σχήμα 10.22δ(β) φαίνεται το ολοκληρωμένο κύκλωμα ενός πλήρους μικροφωνικού ενισχυτή που υπάρχει στο περίβλημα του σχήματος 10.22δ(α) και είναι γραμμικό ολοκληρωμένο κύκλωμα, με στοιχεία TAA970.

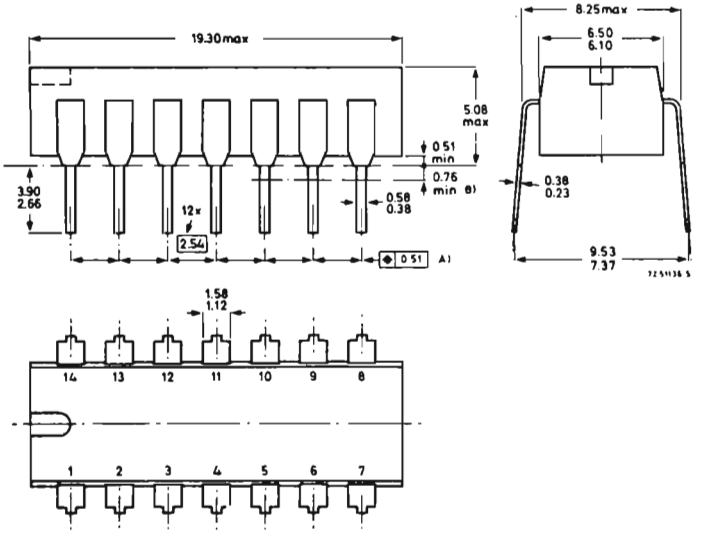
Στο σχήμα 10.22στ φαίνεται το ολοκληρωμένο κύκλωμα ενός δέκτη για σήματα ΑΜ με όλες τις ενισχυτικές βαθμίδες Υ.Σ. και Α.Σ., τη βαθμίδα φωράσεως και AGC. Στους αντίστοιχους ακροδέκτες συνδέονται εξωτερικά τα συντονιζόμενα κυκλώ-



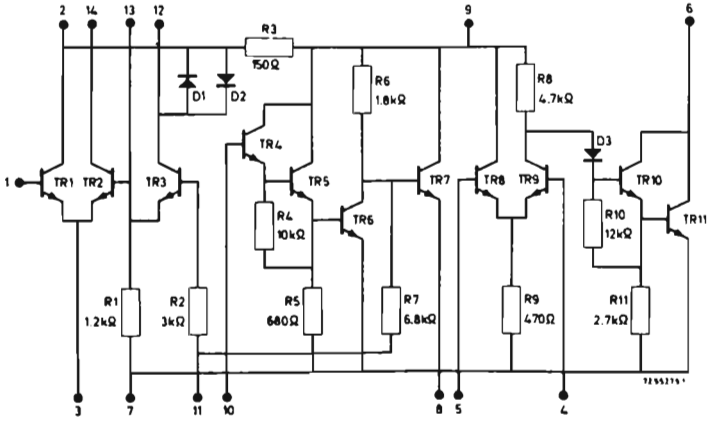
Σχ. 10.22δ.
Εξωτερική μορφή και κύκλωμα του ολοκληρωμένου κυκλώματος TAA 970.

ματα Υ.Σ. και Ε.Σ., το ποτενσιόμετρο για τη ρύθμιση της εντάσεως της φωνής, το μεγάφωνο και οι διάφορες τάσεις τροφοδοσίας με τους ηλεκτρολυτικούς πυκνωτές. Το ολοκληρωμένο κύκλωμα υπάρχει στο περίβλημα του σχήματος 10.22ε και έχει στοιχεία TAD 100.

Σε ολοκληρωμένα κυκλώματα έχομε πλήθος από διάφορα ηλεκτρονικά κυκλώματα, από κυκλώματα σταθεροποιήσεως τάσεως μέχρι ολόκληρες βαθμίδες έγχρωμης τηλεοράσεως και από απλά λογικά κυκλώματα μέχρι πλήρη κυκλώματα υπολογιστών, τα οποία είναι δυνατό να περιέχουν σε ένα ολοκληρωμένο κύκλωμα 20000 στοιχεία (τρανζίστορ, δίοδες, αντιστάτες και πυκνωτές).



Σχ. 10.22ε.
Η εξωτερική μορφή ενός ολοκληρωμένου κυκλώματος.



Σχ. 10.22στ.
Το ηλεκτρονικό κύκλωμα ενός ολοκληρωμένου κυκλώματος του TAD 100.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΕΝΔΕΚΑΤΟ

ΚΕΡΑΙΕΣ ΚΑΙ ΓΡΑΜΜΕΣ

11.1 Γενικά.

Όπως αναφέρθηκε και στην αρχή αυτού του βιβλίου, η κεραία είναι το τελευταίο τμήμα σε μια διάταξη εκπομπής και το πρώτο σε μια διάταξη λήψεως. Είναι ένας μετασχηματιστής ενέργειας, ο οποίος μετατρέπει στον πομπό την ενέργεια του ρεύματος Υ.Σ. σε ενέργεια ηλεκτρομαγνητικού πεδίου, που αποτελεί μια άλλη μορφή ενέργειας, ενώ στο δέκτη μετατρέπει τη μικρή ηλεκτρομαγνητική ενέργεια σε μικρή ηλεκτρική ενέργεια. Κάτι αντίστοιχο θα μπορούσαμε να πούμε για το μεγάφωνο και το μικρόφωνο που είναι μετασχηματιστές ενέργειας από ηλεκτρική σε ακουστική και αντίθετα.

Υπάρχουν οι κεραίες ***εκπομπής*** και οι κεραίες ***λήψεως.*** Ότι αναφέρεται για τις κεραίες εκπομπής σχετικά με την κατασκευή, τη συμπεριφορά, την κατανομή τάσεως και εντάσεως, το διάγραμμα ακτινοβολίας και την τοποθέτηση, ισχύει και για τις κεραίες λήψεως. Η διαφορά είναι μόνο στην κατασκευή τους. Η κεραία εκπομπής, επειδή διαρρέεται από ισχυρά ρεύματα και αναπτύσσονται σ' αυτή μεγάλες τάσεις (αρκετά kV) απαιτεί κατασκευή μεγάλης μηχανικής αντοχής και αντίστοιχες ισχυρές μονώσεις, ενώ η κεραία λήψεως είναι ελαφρότερης κατασκευής και με μικρότερες μονώσεις, γιατί διαρρέεται από μικρά ρεύματα (λίγα μA) και αναπτύσσονται σ' αυτήν μικρές τάσεις, λίγα μV ή mV. Σε πολλές διατάξεις ραδιοεπικοινωνίας η κεραία είναι ίδια για την εκπομπή και για τη λήψη και συνδέεται στον πομπό ή το δέκτη με κατάλληλο ηλεκτρονόμο.

Οι κεραίες κατασκευάζονται σύμφωνα με τις ανάγκες επικοινωνίας, για ***ολική κάλυψη, μερική κάλυψη*** και ***κατευθυνόμενη εκπομπή,*** σχηματίζοντας τα αντίστοιχα πεδία ακτινοβολίας που απεικονίζονται με τα διαγράμματα ακτινοβολίας.

Η κεραία, όσο απλή κατασκευή και αν φαίνεται, χρειάζεται ειδική μελέτη και προσεκτική κατασκευή, γιατί από αυτήν εξαρτάται η άριστη απόδοση. Μπορεί ένας πομπός να έχει ισχύ εξόδου 200W και λόγω κακής κατασκευής της κεραίας του ή κακής προσαρμογής της κεραίας με τον πομπό, να εκπέμπονται μόνο 50W. Η προσαρμογή της αντιστάσεως της κεραίας με την αντίσταση εξόδου του πομπού απαιτεί ιδιαίτερα λεπτή εργασία. Πραγματοποιείται με κατάλληλα κυρίως συντονιζόμενα κυκλώματα και η μεταφορά της ηλεκτρικής ενέργειας Υ.Σ. από τον πομπό στην κεραία γίνεται με τις γραμμές μεταφοράς Υ.Σ.

Παρακάτω θα μελετηθεί η συμπεριφορά της απλής κεραίας, τα διάφορα είδη κεραιών, το πεδίο ακτινοβολίας, η προσαρμογή της κεραίας με τον πομπό και οι γραμμές μεταφοράς της ηλεκτρικής ενέργειας Υ.Σ. προς την κεραία.

ΙΔΡΥΜΑ ΕΥΓΕΝΙΔΟΥ 1956

11.2 Φαινόμενο ακτινοβολίας ηλεκτρομαγνητικού πεδίου - κεραία.

Είναι γνωστό από την ηλεκτρολογία ότι, όταν ένας αγωγός διαρρέεται από ρεύμα, γύρω από τον αγωγό σχηματίζεται ένα μαγνητικό πεδίο το επίπεδο του οποίου είναι κάθετο στον αγωγό. Η φορά του μαγνητικού πεδίου καθορίζεται από τη φορά του ρεύματος που διαρρέει τον αγωγό. Το μαγνητικό πεδίο περιέχει ενέργεια, η οποία εκδηλώνεται πάνω σε μαγνητικά υλικά που θα βρεθούν μέσα στο πεδίο. Όταν διακοπεί το ρεύμα που διαρρέει τον αγωγό, το μαγνητικό πεδίο διακόπτεται και η ενέργεια που περιέχει επιστρέφει στον αγωγό και εμφανίζεται σαν επίρρευμα διακοπής, το οποίο εκδηλώνεται σαν σπινθήρας στο διακόπτη.

Όταν το ρεύμα που διαρρέει τον αγωγό είναι εναλλασσόμενο, εναλλασσόμενο θα είναι και το μαγνητικό πεδίο που σχηματίζεται γύρω από τον αγωγό. Κατά το μηδενισμό του ρεύματος σε κάθε ημιπερίοδο, η ενέργεια του μαγνητικού πεδίου θα επιστρέφει στον αγωγό, όπου και αποδίδεται.

Ο χώρος ή η απόσταση που καλύπτει το δημιουργούμενο μαγνητικό πεδίο, εξαρτάται από την ένταση του ρεύματος που διαρρέει τον αγωγό και, για μεγάλη ένταση, καλύπτεται μεγάλη απόσταση με το μαγνητικό πεδίο.

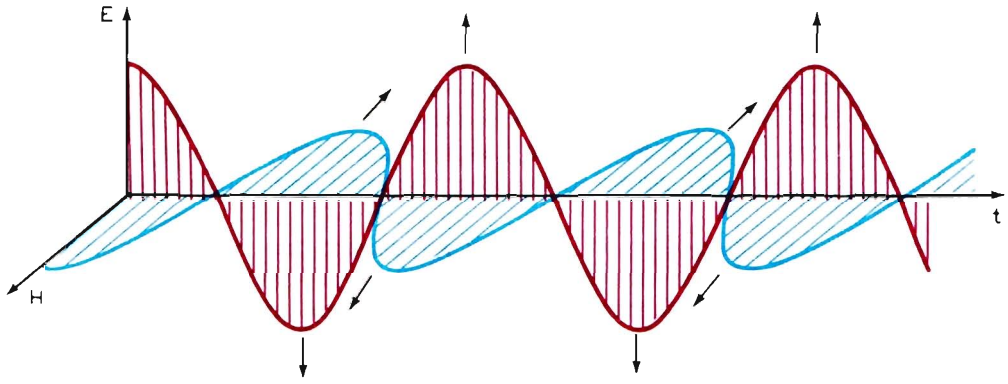
Κατά τη μεταβολή του ηλεκτρικού ρεύματος στον αγωγό, το μαγνητικό πεδίο σχηματίζεται και διαδίδεται στο γύρο χώρο, με την ταχύτητα του φωτός, φθάνοντας μέχρι τη μεγαλύτερη απόσταση που καθορίζεται από την ένταση του ρεύματος. Έτσι, για μακρινή κάπως απόσταση, απαιτείται ένας μικρός χρόνος για να φθάσει εκεί και να επιστρέψει στον αγωγό το μαγνητικό πεδίο.

Αν αυξήσομε τη συχνότητα του εναλλασσόμενου ρεύματος που διαρρέει τον αγωγό π.χ. πάνω από 30000 c/s, θα παρατηρήσομε το φαινόμενο ότι: Το μαγνητικό πεδίο που σχηματίζεται κοντά στον αγωγό επιστρέφει σ' αυτόν κατά το μηδενισμό του ρεύματος και την εναλλαγή της ημιπεριόδου. Το μαγνητικό πεδίο όμως, που έχει σχηματισθεί σε μεγαλύτερη απόσταση δεν προφθαίνει να επιστρέψει στον αγωγό λόγω αποστάσεως, αλλά και γιατί απωθείται από το νέο μαγνητικό πεδίο που σχηματίσθηκε με την εναλλαγή του ρεύματος. Έτσι αυτό το τμήμα του μαγνητικού πεδίου αναγκάζεται να απομακρυνθεί από τον αγωγό προς τον περιβάλλοντα χώρο.

Το μαγνητικό πεδίο όμως αναφέραμε ότι περιέχει ενέργεια, η οποία αρχίζει να χάνεται από τον αγωγό ως απώλεια μαγνητικού πεδίου. Βλέπομε λοιπόν ότι ένα μέρος της ηλεκτρικής ενέργειας που τροφοδοτεί τον αγωγό μετατρέπεται σε ενέργεια μαγνητικού πεδίου, η οποία διαδίδεται στο γύρω χώρο με την ταχύτητα του φωτός.

Αναφέραμε μόνο την ύπαρξη του μαγνητικού πεδίου γύρω από τον αγωγό, αλλά όταν ένας αγωγός βρίσκεται υπό τάση, σχηματίζει γύρω του και ένα ηλεκτρικό πεδίο, οι γραμμές του οποίου είναι παράλληλες προς τον αγωγό. Το ηλεκτρικό πεδίο συνυπάρχει με το μαγνητικό πεδίο και συνδέονται μεταξύ τους έτσι, ώστε όταν υπάρχει το ένα να υπάρχει και το άλλο. Έτσι μιλάμε πια για ηλεκτρομαγνητικό πεδίο, το οποίο σχηματίζεται από τον διαρρεόμενο με ρεύμα αγωγό και ακτινοβολείται στο χώρο. Το επίπεδο του μαγνητικού πεδίου είναι κάθετο στο επίπεδο του ηλεκτρικού πεδίου, όπως φαίνεται και στο σχήμα 11.2α.

Όσο μεγαλύτερη γίνεται η συχνότητα του εναλλασσόμενου ρεύματος που διαρρέει τον αγωγό, τόσο εντονότερο γίνεται το φαινόμενο της ακτινοβολίας. Το ηλεκτρομαγνητικό πεδίο έχει την ίδια συχνότητα με τη συχνότητα του εναλλασσό-



Σχ. 11.2α.
Παράσταση ηλεκτρομαγνητικού κύματος.

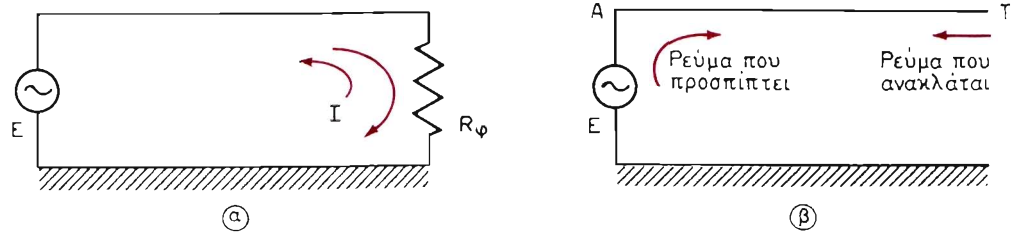
μενου ρεύματος, το δε μήκος κύματος λ καθορίζεται από τη σχέση λ = c/f, όπως αναφέρεται και στην εισαγωγή του βιβλίου αυτού.

Με το μηχανισμό που αναφέραμε, είδαμε πως η ενέργεια του εναλλασσόμενου ρεύματος Υ.Σ. που διαρρέει τον αγωγό, μετατρέπεται σε ενέργεια ηλεκτρομαγνητικού πεδίου, που είναι τα ραδιοκύματα ή ηλεκτρομαγνητικά κύματα, τα οποία μεταδίδονται με την ταχύτητα του φωτός για να διεγείρουν την κεραία του δέκτη ή των δεκτών.

Ας δούμε τώρα πως σχηματίζεται μια απλή κεραία που θα μετατρέψει όσο το δυνατό μεγαλύτερη ενέργεια ηλεκτρικού ρεύματος σε ενέργεια ηλεκτρομαγνητικού πεδίου.

Το κύκλωμα του σχήματος 11.2β(α) είναι ένα απλό κύκλωμα με πηγή Ε.Ρ. και αντίσταση φορτίου R_Φ. Στο κύκλωμα κυκλοφορεί ρεύμα I, η τιμή του οποίου καθορίζεται από την τάση της πηγής Ε και την αντίσταση του φορτίου R_Φ. Το ρεύμα που κυκλοφορεί στο κύκλωμα έχει την ίδια στιγμιαία τιμή σε οποιοδήποτε σημείο του κυκλώματος (ο κάτω αγωγός συνδέεται με τη γη ή είναι η γή).

Αν αφαιρέσομε το φορτίο R_Φ, το ρεύμα του κυκλώματος μηδενίζεται. Τι γίνεται όμως στον αγωγό τον οποίο συνεχίζομε να τροφοδοτούμε από την πηγή Ε.Ρ.; Όταν στην αρχή Α του αγωγού η πηγή έχει πολικότητα με μείον (—) στο Α και συν (+) στη γή, τα ηλεκτρόνια του αγωγού θα υποστούν την πίεση από την τάση της



Σχ. 11.2β.
Αρχή λειτουργίας κεραίας.

πηγής και το ρεύμα θα μεταδοθεί προς το τέρμα Τ, όπου θα υπήρχε ένα φορτίο για να καταναλωθεί. Το φορτίο δεν υπάρχει και το ρεύμα ανακλάται από το τέρμα Τ προς την αρχή, για να ισορροπήσει.

Αν ο χρόνος που απαιτείται για να κινηθεί το ρεύμα από το Α στο Τ και από το Τ στο Α είναι ίσος με το χρόνο Τ της περιόδου του εναλλασσόμενου ρεύματος, τότε τη στιγμή που το ρεύμα θα φθάνει στο Α επιστρέφοντας από το Τ, θα συναντήσει πάλι αρνητική ημιπερίοδο και θα ξανακινηθεί προς το Τ,όπου θα ανακλασθεί πάλι κ.ο.κ.

Στην περίπτωση αυτή λέμε ότι ο αγωγός ΑΤ συμπεριφέρεται ως ένα συντονισμένο κύκλωμα. Η ένταση του ρεύματος παίρνει τη μέγιστη τιμή στη μέση του αγωγού, όπου η κίνηση των ηλεκτρονίων είναι μεγάλη, ενώ στις άκρες είναι μηδέν. Στις άκρες έχομε ρεύμα μηδέν, αλλά μεγάλη συγκέντρωση ηλεκτρονίων (φορτίων) πράγμα που κάνει να εμφανίζονται στις άκρες μέγιστες τάσεις. Με αυτό το μηχανισμό λέμε ότι στον αγωγό σχηματίζονται στάσιμα κύματα, τα οποία παρουσιάζουν ***κοιλία εντάσεως*** στη μέση και ***δεσμούς εντάσεως*** στις άκρες, ενώ παρουσιάζουν ***κοιλίες τάσεως*** στις άκρες και ***δεσμό τάσεως*** στη μέση, όπως φαίνεται στο σχήμα 11.2γ.

Αυτή η κατανομή της τάσεως και της εντάσεως θα δημιουργείται μόνο στο καθορισμένο μήκος του αγωγού που είναι λίγο μικρότερο από το μισό του μήκους κύματος της ραδιοσυχνότητας, δηλαδή όταν έχομε μήκος $l \simeq \lambda/2$. Το μήκος l είναι λίγο μικρότερο από το λ/2, γιατί δεχόμαστε ότι το ρεύμα στους αγωγούς μεταδίδεται με μικρότερη ταχύτητα από την ταχύτητα του φωτός, με την οποία μεταδίδονται τα ραδιοκύματα στο χώρο.

Με αυτή την κατανομή του ρεύματος, σχηματίζεται μεγάλη ένταση μαγνητικού πεδίου, αλλά και ηλεκτρικού πεδίου, λόγω της μεγάλης τάσεως στις άκρες, το οποίο μπορεί να φθάσει σε πολύ μεγάλη απόσταση. Με αυτό λοιπόν τον τρόπο σχηματίζεται ισχυρό ηλεκτρομαγνητικό πεδίο, με μετασχηματισμό της ηλεκτρικής ενέργειας σε ηλεκτρομαγνητικό πεδίο.

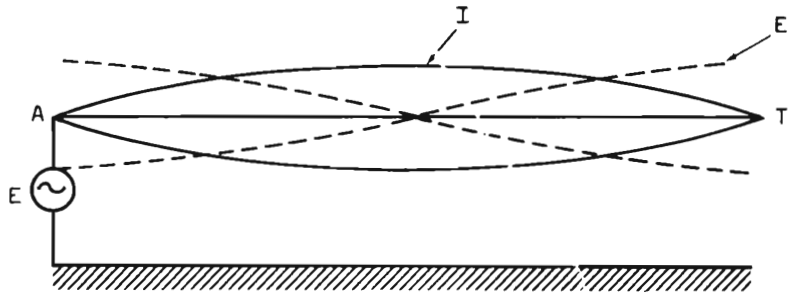
Αν το μήκος του αγωγού είναι μικρότερο ή μεγαλύτερο από το λ/2, οι κοιλίες και οι δεσμοί σχηματίζονται σε διαφορετική θέση και η απόδοση του ηλεκτρομαγνητικού πεδίου είναι πολύ μικρή, όπως συμβαίνει και με ένα συντονισμένο κύκλωμα που λειτουργεί σε διαφορετική συχνότητα από τη συχνότητα συντονισμού του.

Στο σχήμα 11.2γ παρατηρούμε ότι, σε σύγκριση προς το ρεύμα του κυκλώματος του σχήματος 11.2β(α), η ένταση του ρεύματος είναι διαφορετική στα διάφορα σημεία του αγωγού την ίδια στιγμή.

Ο αγωγός του σχήματος 11.2γ μπορεί να είναι κάθετος προς τη γη, οπότε παίρνει την ονομασία ***κάθετη κεραία*** ή να είναι οριζόντιος οπότε παίρνει την ονομασία ***οριζόντια κεραία.*** Η κατανομή της τάσεως και της εντάσεως είναι περίπου ίδια και στις δύο περιπτώσεις.

Το ηλεκτρομαγνητικό κύμα που δημιουργείται είναι πολωμένο, έχει δηλαδή καθορισμένο επίπεδο του ηλεκτρικού και του μαγνητικού του πεδίου. Αν η κεραία είναι κάθετη, το ηλεκτρικό της πεδίο είναι κάθετο προς τη γη και λέμε ότι το κύμα είναι ***πολωμένο κάθετα*** ή έχει ***κάθετη πόλωση.*** Όταν η κεραία είναι οριζόντια προς τη γη, τότε το ηλεκτρικό της πεδίο είναι οριζόντιο προς τη γη και λέμε ότι το κύμα έχει ***οριζόντια πόλωση*** ή είναι ***πολωμένο οριζόντια.***

Πιο πάνω αναφέρθηκε ότι ο αγωγός μήκους λ/2 συμπεριφέρεται ως ένα συντονιζόμενο κύκλωμα. Σ' αυτή την περίπτωση δεν έχομε συγκεκριμένα στοιχεία L και C τα οποία καθορίζουν τη συχνότητα συντονισμού. Τα στοιχεία L και C (και R) εί-



Σχ. 11.2γ.
Κατανομή τάσεως και εντάσεως σε συντονισμένο αγωγό.

ναι κατανεμημένα κατά μήκος του αγωγού έτσι, ώστε να λέμε ότι υπάρχει κατανεμημένη χωρητικότητα, π.χ. 3 pF στο μέτρο (ή στη μονάδα μήκους) και κατανεμημένη αυτεπαγωγή 5 μH στο μέτρο. Λόγω αυτών των κατανεμημένων στοιχείων ο αγωγός συμπεριφέρεται ως ένα ανοιχτό συντονισμένο κύκλωμα που έχει την ονομασία ***γραμμικό ταλαντευόμενο κύκλωμα.***

Η κεραία που παρουσιάζει την κατανομή της τάσεως και εντάσεως όπως στο σχήμα 11.2γ και έχει μήκος λ/2 λέγεται ***δίπολη κεραία*** ή απλά ***δίπολο.*** Η δίπολη κεραία πρέπει να παρουσιάζει κοιλία εντάσεως στη μέση και δεσμό τάσεως στη μέση με κοιλίες στις άκρες. Αν είναι κάθετη (κατακόρυφη) κεραία, τροφοδοτείται από τη βάση μέσω γραμμής μεταφοράς και στηρίζεται με μονωτήρα μεγάλης διηλεκτρικής αντοχής. Στην περιοχή των VHF μπορεί να τροφοδοτείται στη μέση με ομοαξονικό καλώδιο.

Όταν είναι οριζόντια, μπορεί να τροφοτηθεί στην άκρη με κατάλληλη γραμμή ή στη μέση με αντίστοιχη γραμμή, με τη σχετική προσαρμογή των αντιστάσεων.

11.3 Κεραίες τύπου Hertz και τύπου Marconi.

Οι απλούστερες στην κατασκευή αλλά με άριστη απόδοση κεραίες είναι τύπου Hertz και τύπου Marconi.

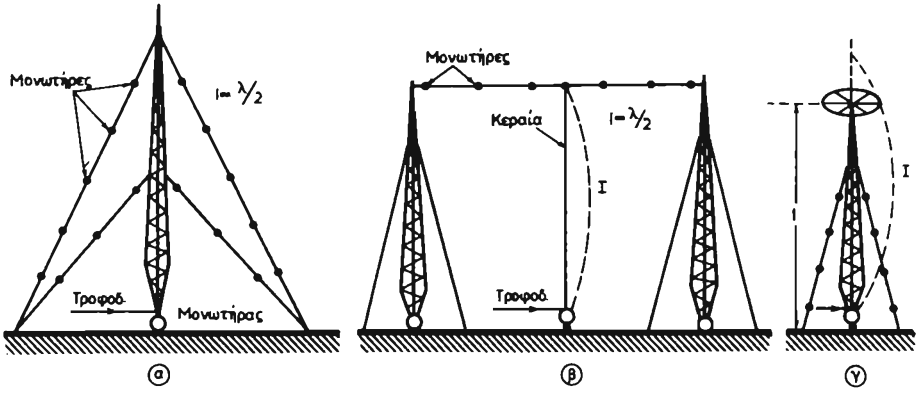
α) Κεραία τύπου Hertz.

Αυτή η κεραία αποτελείται από ευθύγραμμο αγωγό (συνήθως χάλκινο με πολλούς κλώνους), ο οποίος έχει μήκος $l = \lambda/2$. Είναι δηλαδή ίδια με την κεραία που περιγράφηκε στην προηγούμενη παράγραφο. Μπορεί να είναι κάθετη ή οριζόντια, ανάλογα με τις ανάγκες κατασκευής και με το πεδίο ακτινοβολίας. Η τροφοδότησή της από τον πομπό γίνεται στη μια άκρη ή στη μέση ή και σε κατάλληλο σημείο μεταξύ της άκρης και της μέσης, το οποίο εκλέγεται σύμφωνα με την αντίσταση προσαρμογής. Η γή έχει επίδραση στο πεδίο ακτινοβολίας της κεραίας και το μεταβάλλει, γιατί συμπεριφέρεται ως αγωγός και επιδρά σαν κάτοπτρο όπως αναφέρεται πιο κάτω.

Καλύτερη απόδοση της κεραίας έχομε όταν αυτή τοποθετείται κάθετη προς τη γη και σχηματίζει κυκλικό πεδίο ακτινοβολίας, το οποίο στην περίπτωση των μακρών και των μεσαίων κυμάτων, καλύπτει μεγάλες αποστάσεις με το κύμα εδάφους. Δυσκολία παρουσιάζει η κατασκευή της κεραίας, η οποία έχει μεγάλο ύψος

και πρέπει να τοποθετηθεί κάθετη προς τη γη. Μια κεραία π.χ. πού εκπέμπει σε συχνότητα 300 kc/s πρέπει να έχει μήκος $l = \lambda/2 = 500$ m. Φαίνεται καθαρά πόσο μεγάλο πρόβλημα είναι να στηθεί ένας αγωγός ή ένας ιστός με ύψος 500 μέτρα. Μπορεί να μειωθεί αρκετά το φυσικό ύψος της κεραίας, αν στην κορυφή τοποθετηθεί ειδικός ακτινωτός δίσκος που παρουσιάζει χωρητικότητα και αυξάνει το φαινόμενο ύψος της κεραίας.

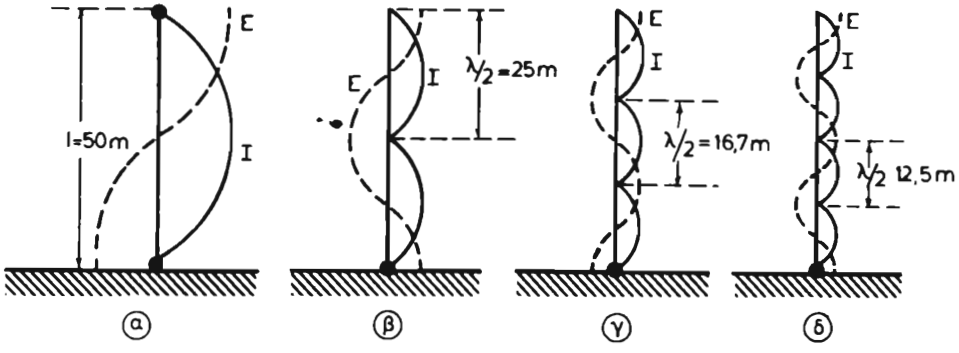
Στο σχήμα 11.3α(α) και (β) φαίνονται δύο τρόποι για την τοποθέτηση της κάθετης κεραίας, ενώ στο (γ) παρατηρείται η φαινόμενη αύξηση του ύψους με την τοποθέτηση του ακτινωτού δίσκου.



Σχ. 11.3α.
Κάθετες κεραίες λ/2 τύπου Hertz.

Στην περιοχή των βραχέων κυμάτων και στην πάνω περιοχή των μεσαίων κυμάτων, τα προβλήματα μειώνονται με τη μείωση του μήκους κύματος. Έτσι στην περιοχή των 3 Mc το ύψος μιας κεραίας Hertz ($l = \lambda/2$) θα είναι 50 m και η κατασκευή είναι ευκολότερη. Ακόμα πιο εύκολη είναι η κατασκευή στις υψηλότερες συχνότητες.

Μια κεραία Hertz μπορεί να χρησιμοποιηθεί και σε υψηλότερες συχνότητες από τη συχνότητα συντονισμού της, το $^1/_2$ του μήκους κύματος των οποίων είναι ακέραιο πολλαπλάσιο του μήκους λ/2 της κεραίας. Π.χ. μια κεραία λ/2 μήκους 50 m έχει συχνότητα συντονισμού τους 3 Mc, όπου το λ είναι 100 m. Αυτή η κεραία μπορεί να χρησιμοποιηθεί άριστα για τη συχνότητα των 6 Mc ($\lambda = 50$ m) με αποτέλεσμα να σχηματισθούν δύο κατανομές τάσεως και εντάσεως μήκους 25 m η κάθε μια όπως φαίνεται στο σχήμα 11.3β(β). Στη μέση της κεραίας έχομε τώρα δεσμό εντάσεως, αλλά στις άκρες έχομε κοιλίες τάσεως και δεσμούς εντάσεως, όπως και στη βασική περίπτωση. Στη συχνότητα των 9 Mc ($\lambda = 33{,}3$ m), θα σχηματίζονται τρεις κατανομές με κοιλίες τάσεως στις άκρες και δεσμούς εντάσεως [σχ. 11.3β(γ)]. Στη συχνότητα των 12 Mc ($\lambda = 12{,}5$ m) θα σχηματισθούν τέσσερις κατανομές με κοιλίες τάσεως και δεσμούς εντάσεως στις άκρες. Έτσι βλέπομε ότι μια κεραία μήκους λ/2 μπορεί να χρησιμοποιηθεί, με καλύτερα μάλιστα αποτελέσματα, σε συχνότητες πολλαπλάσιες της βασικής της χωρίς καμιά μεταβολή στο μήκος της.



Σχ. 11.3β.
Χρήση κεραίας Hertz σε πολλαπλάσιες συχνότητες, από τη βασική της.

β) Κεραία τύπου Marconi.

Η κεραία αυτή αποτελείται από ευθύγραμμο αγωγό, συνήθως κάθετο, ο οποίος έχει μήκος $l = \lambda/4$, δηλαδή το μισό μήκος από ότι η κεραία Hertz. Αυτό βέβαια διευκολύνει πολύ στην κατασκευή της κεραίας, η οποία τώρα έχει το μισό μήκος.

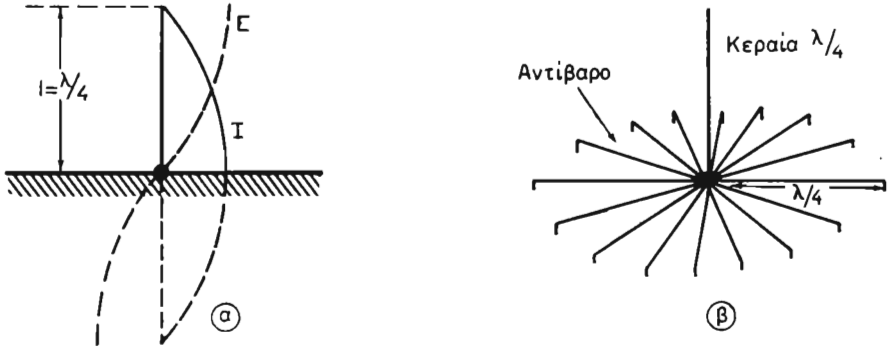
Η κατασκευή και η λειτουργία της στηρίζεται στην αρχή του κατόπτρου. Η γη θεωρείται σαν τέλειος αγωγός και μπορεί να συμπεριφέρεται σαν κάτοπτρο. Έτσι πάνω από τη γη στην πραγματική κεραία σχηματίζεται η κατανομή της τάσεως και της εντάσεως όπως φαίνεται στο σχήμα 11.3γ(α), με κοιλία τάσεως στην κορυφή και κοιλία εντάσεως στη βάση. Με τη συμπεριφορά της γης σαν τέλειου κατόπτρου, θεωρείται ότι μέσα στη γη σχηματίζεται το είδωλο της πραγματικής κεραίας με την ίδια κατανομή τάσεως και εντάσεως. Με αυτό το τρόπο είναι σαν να υπάρχει και να λειτουργεί μια κεραία μήκους $l = \lambda/2$.

Η κατασκευή της κεραίας μπορεί να γίνεται όπως φαίνεται στο σχήμα 11.3α, αλλά η κατανομή της τάσεως και της εντάσεως θα είναι όπως φαίνεται στο σχήμα 11.3γ(α). Στη βάση της κεραίας υπάρχει μονωτήρας για τη στήριξη και τη μόνωσή της από τη γή.

Στην κεραία Marconi μπορεί να παρουσιασθεί το πρόβλημα της αγωγιμότητας της γης, η οποία πρέπει να θεωρηθεί ως τέλειος αγωγός. Αν δέν έχομε καλή αγωγιμότητα, κατασκευάζεται τεχνητή γη μεγάλης αγωγιμότητας με μεταλλικό πλέγμα ή με ακτινωτούς αγωγούς που ξεκινούν από το κέντρο όπου είναι η βάση της κεραίας, προς τη περιφέρεια. Οι αγωγοί αυτοί είναι πάνω από το έδαφος σε ύψος περίπου 50 cm και μονωμένοι από αυτό. Ως κάτοπτρο λοιπόν θεωρείται η τεχνητή αυτή γη, η οποία ονομάζεται ***αντίβαρο*** [σχ. 11.3γ(β)].

Στην περίπτωση των αυτοκινήτων και γενικά των οχημάτων που χρησιμοποιούν κεραίες μήκους λ/4, ως γη χρησιμοποιείται η μεταλλική επιφάνεια του οχήματος. Επίσης, στην περίπτωση του πλοίου, ως τεχνητή γη θεωρείται η μεταλλική επιφάνειά του και στη συνέχεια η επιφάνεια της θάλασσας. Αν το σκάφος είναι πλαστικό ή ξύλινο, χρησιμοποιείται χάλκινη μπάρα, η οποία από τα πλάγια του σκάφους βυθίζεται στο νερό και έτσι υπάρχει τέλεια γη.

Η κεραία Marconi μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε συχνότητες με ακέραια πολλαπλάσια του λ/4 (όπως και η κεραία Hertz σε πολλαπλάσια του λ/2).



Σχ. 11.3γ.
Κεραίες τύπου Marconi.

11.4 Χαρακτηριστικά μεγέθη των κεραιών.

Οι κεραίες έχουν ορισμένα χαρακτηριστικά μεγέθη όπως το ***μήκος,*** η ***αντίσταση,*** το ***ύψος*** κλπ. που εξαρτώνται από την κατασκευή, τη θέση τους και τη συχνότητα της πηγής που τις τροφοδοτεί, δηλαδή τον πομπό. Παρακάτω θα αναφερθούν μερικά χαρακτηριστικά.

α) Βραχύ δίπολο.

Στους υπολογισμούς για τη μελέτη της εντάσεως του πεδίου στις κεραίες και τη σχεδίαση του διαγράμματος ακτινοβολίας, καθώς και για τον υπολογισμό άλλων μεγεθών ως προς τις κεραίες και τη διάδοση των κυμάτων χρησιμοποιούμε την έννοια του ***στοιχειώδους δίπολου.*** Ως στοιχειώδες ή βραχύ δίπολο θεωρείται ένα λεπτό και πολύ μικρό κομμάτι αγωγού, ελάχιστου μήκους σε σύγκριση με το μήκος κύματος λ. Οι άκρες του τερματίζουν σε μικρές νοητές χωρητικότητες που συγκρατούν τα θεωρούμενα φορτία κατά τις εναλλαγές του ρεύματος. Η κατανομή της εντάσεως του ρεύματος είναι ίδια σε όλο το μήκος και έχει τιμή ίση με την ενεργό τιμή του ρεύματος της κανονικής κεραίας. Ένα άπειρο πλήθος στοιχειωδών διπόλων σε σειρά συνθέτουν την κανονική κεραία.

β) Ιδιοσυχνότητα της κεραίας.

Όπως αναφέρθηκε ήδη, το μήκος της κεραίας συνδέεται άμεσα με τη συχνότητα ή το μήκος κύματος του ρεύματος Υ.Σ. του πομπού που τροφοδοτεί την κεραία. Έτσι η κάθε κεραία, ανάλογα με το μήκος της, έχει μια ιδιοσυχνότητα συντονισμού στην οποία αποδίδει τη μέγιστη ενέργεια. Για την ιδιοσυχνότητα αυτή αντιστοιχούν μια ισοδύναμη αυτεπαγωγή, που είναι το άθροισμα της κατανεμημένης αυτεπαγωγής, και μια ισοδύναμη χωρητικότητα, που είναι το άθροισμα της κατανεμημένης χωρητικότητας. Έχει επίσης και μια αντίσταση που θεωρείται ως αντίσταση απωλειών στον αγωγό.

Στη συχνότητα συντονισμού το X_L και το X_c αλληλοεξουδετερώνονται, οπότε μένει μόνο η ωμική αντίσταση και η κεραία παρουσιάζει ωμική συμπεριφορά. Σε μια χαμηλότερη συχνότητα, η κεραία παρουσιάζει χωρητική συμπεριφορά και για

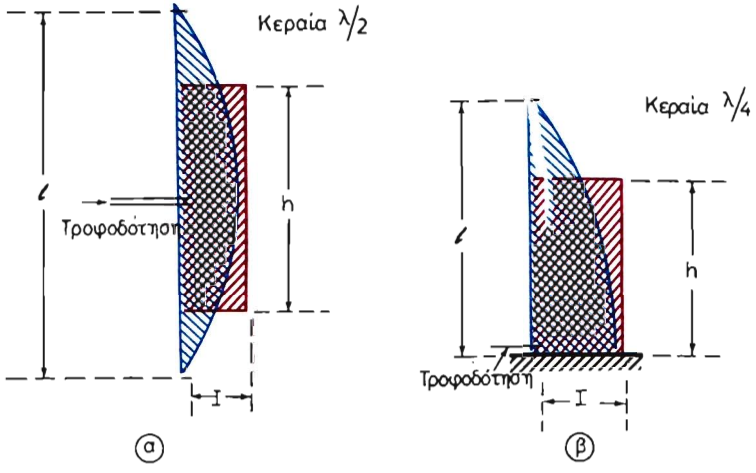
να συντονίσει πρέπει να της προσθέσομε αυτεπαγωγή. Σε μια υψηλότερη συχνότητα παρουσιάζει αυτεπαγωγική συμπεριφορά και για να συντονίσει πρέπει να της προσθέσομε χωρητικότητα. Η ιδιοσυχνότητα f_0 της κεραίας καθορίζεται από το φυσικό της μήκος l, το οποίο συνδέεται με το μήκος κύματος λ της ραδιοσυχνότητας με τη σχέση $l = \lambda/2$.

γ) Ενεργό ύψος κεραίας.

Η κατανομή της εντάσεως του ρεύματος σε μια κεραία δεν είναι ίδια στα διάφορα σημεία της, αλλά είναι μέγιστη στη μέση και μηδενική στις ελεύθερες άκρες. Για τους υπολογισμούς μας μπορούμε να χρησιμοποιήσομε μια ισοδύναμη κεραία που θα έχει την ίδια ένταση ρεύματος σε όλο το μήκος της και θα είναι ίση με το ρεύμα της κοιλίας, όπως φαίνεται στο σχήμα 11.4α. Το ύψος της ισοδύναμης κεραίας είναι μικρότερο από το πραγματικό ύψος l της ορισμένης κεραίας. Λέγεται ***ενεργό ύψος της*** κεραίας h και δίνεται από τη σχέση:

$$h = \frac{2}{\pi} l \simeq 0{,}637\, l \qquad (11.1)$$

Στο σχήμα 11.4α φαίνεται το ενεργό ύψος h κάθετης κεραίας μήκους λ/2 (α) και το ενεργό ύψος h κάθετης κεραίας μήκους λ/4 (β).



Σχ. 11.4α.
Ενεργό ύψος κεραίας.

Γενικά ονομάζομε ενεργό ύψος h μιας ορισμένης κεραίας, το ύψος μιας άλλης ισοδύναμης κεραίας, η οποία σε όλο της το μήκος θα έχει την ίδια ένταση ρεύματος που έχει η ορισμένη κεραία στην κοιλία της έντασής της και προκαλεί σε ένα μακρινό σημείο την ίδια ένταση πεδίου που θα προκαλεί και η πραγματική (ορισμένη) κεραία.

δ) Αντίσταση ακτινοβολίας κεραίας.

Η αντίσταση ακτινοβολίας της κεραίας είναι ίση με τη διαφορά της αντιστάσεως εισόδου και της αντιστάσεως απωλειών μιας κεραίας. Η αντίσταση ακτινοβολίας

της κεραίας δεν είναι μια συγκεκριμένη αντίσταση. Αντιπροσωπεύει μια ισοδύναμη αντίσταση $R_{ακτ}$ η οποία θα κατανάλωνε την ισχύ $P_{ακτ}$ που εκπέμπει η κεραία με μορφή ηλεκτρομαγνητικού κύματος. Η ισχύς που ακτινοβολείται από ένα βραχύ δίπολο μονωμένο στο χώρο είναι:

$$P_{ακτ} = \left[80\pi^2 \left(\frac{l}{\lambda}\right)^2\right] . I_{εν}^2 \qquad (11.2)$$

όπου l το πραγματικό μήκος της κεραίας, λ το μήκος κύματος και $I_{εν}$ η ενεργός τιμή του ρεύματος που διαρρέει την κεραία. Η σχέση που βρίσκεται μέσα στην αγκύλη αντιπροσωπεύει την αντίσταση ακτινοβολίας $R_{ακτ}$ της κεραίας, δηλαδή έχομε:

$$R_{ακτ} = 80\,\pi^2 \left(\frac{l}{\lambda}\right)^2 \qquad (11.3)$$

Η αντίσταση ακτινοβολίας δίπολης κεραίας που τροφοδοτείται στη μέση είναι: $R_{ακτ} = 73\Omega + j30$ και πρακτικά υπολογίζεται 73Ω στο συντονισμό της. Εκτός συντονισμού, στην ωμική της αντίσταση προστίθεται και φανταστικό μέρος. (Επαγωγικό X_L ή χωρητικό X_C).

Η αντίσταση των 73Ω ισχύει στην περίπτωση που η διάμετρος d του αγωγού της κεραίας είναι, σε σύγκριση με το μήκος της *l*, πάρα πολύ μικρή. Όσο η διάμετρος του αγωγού αυξάνει τόσο η αντίσταση μικραίνει. Τότε όμως εμφανίζεται το πλεονέκτημα ότι η κεραία μπορεί να συντονίζει σε περισσότερες συχνότητες που είναι κοντά στην F_0, γιατί κεραία με μεγάλη διάμετρο αγωγού αντιστοιχεί σε συντονισμένο κύκλωμα με χαμηλό Q, ενώ κεραία με μικρή διάμετρο αγωγού αντιστοιχεί σε συντονισμένο κύκλωμα με υψηλό Q και οξύ συντονισμό στην F_0.

Η αντίσταση ακτινοβολίας $R_{ακτ}$ μεταβάλλεται, πάνω και κάτω από την τιμή των 73Ω, ανάλογα με το ύψος στο οποίο βρίσκεται η κεραία από την επιφάνεια του εδάφους.

Στην περίπτωση κεραίας μήκους $l = \lambda/4$, όπως φαίνεται στο σχήμα 11.4α(β), η σχέση (11.3) δίνει αντίσταση ακτινοβολίας $R_{ακτ}$ ίση με 36Ω στη βάση της κεραίας, όπου έχομε κοιλία εντάσεως. Για τη διάμετρο του αγωγού και το ύψος της κεραίας από την επιφάνεια του εδάφους, ισχύουν τα όσα αναφέρθηκαν για τη κεραία λ/2.

ε) Αντίσταση απωλειών κεραίας.

Η αντίσταση απωλειών $R_{απ}$ μιας κεραίας αντιπροσωπεύει το σύνολο των παθητικών αντιστάσεων της κεραίας, η οποία αντιστοιχεί σε μια ισχύ απωλειών που καταναλώνεται στην κεραία και αφαιρείται από την ολική ισχύ της.

Στην αντίσταση απωλειών υπολογίζεται η ωμική αντίσταση του αγωγού στην υψηλή συχνότητα, στην οποία υπολογίζομε και την αντίσταση από το επιδερμικό φαινόμενο. Επίσης υπολογίζεται η αντίστοιχη απώλεια στους μονωτήρες της κεραίας και η αντίσταση που παρουσιάζεται στις συνδέσεις. Η πιό υπολογίσιμη αντίσταση είναι η αντίσταση της γης γύρω από την κεραία. Γι' αυτό σε πολλές περιπτώσεις αυξάνεται η αγωγιμότητα της γης με τεχνητό τρόπο,όπως είπαμε στην περίπτωση της κεραίας Marconi. Σε καλές κατασκευές κεραιών η αντίσταση απωλειών αντιπροσωπεύει ελάχιστη απώλεια ισχύος.

στ) Αντίσταση εισόδου κεραίας.

Η αντίσταση εισόδου $R_{εισ}$ είναι η αντίσταση που παρουσιάζεται στο σημείο όπου συνδέεται η γραμμή μεταφοράς της ενέργειας Υ.Σ. με την κεραία. Η τιμή της

εντάσεως του ρεύματος δεν είναι ίδια σε όλο το μήκος της κεραίας και η τιμή της αντιστάσεως εισόδου είναι διαφορετική στα διάφορα σημεία της. Έτσι, σε μια δίπολη κεραία, η τιμή της στη μέση είναι 73Ω, ενώ στις άκρες φθάνει τα 2,5 kΩ. Στην κεραία λ/4 η αντίσταση στην ελεύθερη άκρη της φθάνει τα 5 kΩ. Η αντίσταση εισόδου της κεραίας είναι ίση με το άθροισμα της αντιστάσεως ακτινοβολίας και της αντιστασεως απωλειών:

$$R_{\epsilon\iota\sigma} = R_{\alpha\kappa\tau} + R_{\alpha\pi} \qquad (11.4)$$

Σε περίπτωση κεραίας με ελάχιστες απώλειες, η αντίσταση εισόδου υπολογίζεται ίση με την αντίσταση ακτινοβολίας (περίπου).

ζ) Ισχύς ακτινοβολίας και απόδοση κεραίας.

Η κεραία απορροφά μια ενέργεια από τον πομπό, από την οποία ένα μέρος ακτινοβολείται ως ωφέλιμη ενέργεια και ένα μέρος καταναλώνεται στις παθητικές αντιστάσεις $R_{\alpha\pi}$. Η ισχύς ακτινοβολίας δίνεται από τη σχέση:

$$P_{\alpha\kappa\tau} = R_{\alpha\kappa\tau} \cdot I^2 \qquad (11.5)$$

όπου I είναι η ενεργός τιμή του ρεύματος στην κοιλία εντάσεως της κεραίας.

Η ισχύς στην είσοδο της κεραίας δίνεται από τη σχέση:

$$P_{\epsilon\iota\sigma} = R_{\epsilon\iota\sigma} \cdot I^2 = (R_{\alpha\kappa\tau} + R_{\alpha\pi}) \cdot I^2 \qquad (11.6)$$

Ο λογος των δύο ισχύων καθορίζει το βαθμό αποδόσεως n της κεραίας που δίνεται από τη σχέση:

$$n = \frac{P_{\alpha\kappa\tau}}{P_{\epsilon\iota\sigma}} = \frac{R_{\alpha\kappa\tau} I^2}{(R_{\alpha\kappa\tau} + R_{\alpha\pi}) \cdot I^2} = \frac{R_{\alpha\kappa\tau}}{R_{\alpha\kappa\tau} + R_{\alpha\pi}} \qquad (11.7)$$

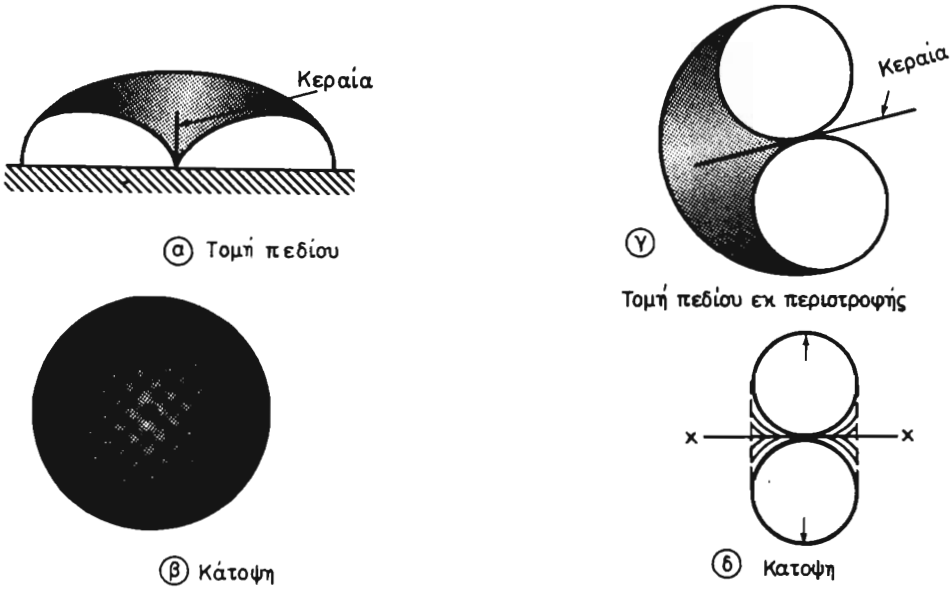
Ο βαθμός αποδόσεως για μια πολύ καλή κατασκευή στην περιοχή των μεσαίων κυμάτων μπορεί να φθάσει το 95%, ενώ στην περιοχή των βραχέων φθάνει το 97%. Η βελτίωση του βαθμού αποδόσεως γίνεται με τη χρησιμοποίηση αγωγών μεγάλης διατομής για τον περιορισμό της απώλειας από το επιδερμικό φαινόμενο και τη μείωση της ωμικής αντιστάσεως, κυρίως στις πολύ υψηλές συχνότητες.

η) Διάγραμμα ακτινοβολίας κεραίας.

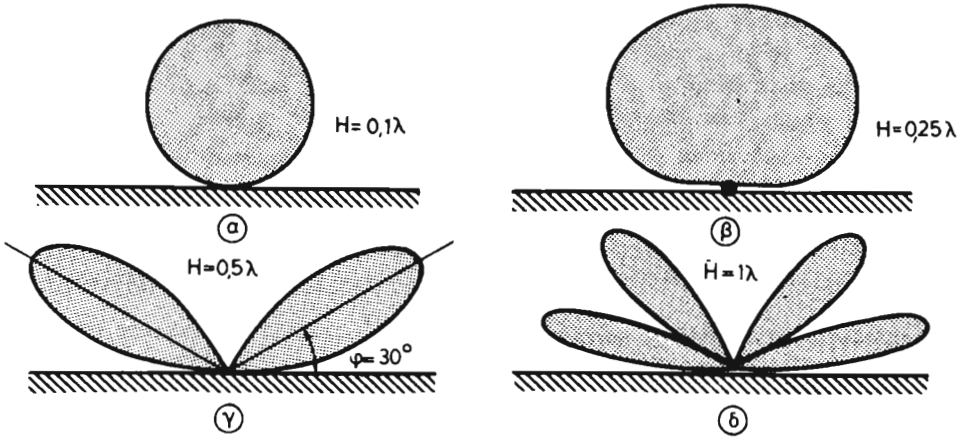
Μια κεραία δεν ακτινοβολεί με την ίδια ένταση προς τις διάφορες κατευθύνσεις του χώρου. Είναι όπως π.χ. μια σωληνωτή λυχνία φθορισμού, η οποία έχει τη μεγαλύτερη ένταση φωτισμού στην κάθετη διεύθυνση από τη μέση της, ενώ στις μεγαλύτερες γωνίες που απομακρύνονται από τη κάθετη ο φωτισμός μειώνεται και κατά τον άξονα (του μήκους) της λυχνίας είναι σχεδόν μηδενικός.

Στις κεραίες μπορούμε να σχεδιάσομε το κάθετο διάγραμμα ακτινοβολίας ή το οριζόντιο διάγραμμα, με υπολογισμούς ή με πραγματικές μετρήσεις που μπορούμε να πάρομε με κατάλληλα όργανα, μετρώντας την ένταση του πεδίου (V/m) για διάφορες γωνίες και διάφορες αποστάσεις στο επίπεδο της γης και στο χώρο. Οι μετρήσεις στο χώρο μπορούν να γίνουν με αεροπλάνο, εφοδιασμένο με τα κατάλληλα όργανα μετρήσεως εντάσεως πεδίου.

Το διάγραμμα ακτινοβολίας καθορίζεται κυρίως από τη μορφή της κεραίας, από το μήκος της και από την απόστασή της από την επιφάνεια της γης. Στο σχήμα 11.4β φαίνονται τα διαγράμματα ακτινοβολίας δίπολης κεραίας κάθετης στη γη (α)



Σχ. 11.4β.
Μορφές πεδίου κάθετης και οριζόντιας κεραίας.



Σχ. 11.4γ.
Διαγράμματα ακτινοβολίας οριζόντιας δίπολης κεραίας.

και (β) και οριζόντιας στη γη (γ) και (δ). Οι διαστάσεις της κεραίας σχεδιάσθηκαν μεγάλες σε σύγκριση με τις διαστάσεις των πεδίων. Στην πραγματικότητα, το μήκος της κεραίας είναι πάρα πολύ μικρό (σχεδόν σημείο) σε σύγκριση με το διάγραμμα του πεδίου.

Στο (α) του σχήματος 11.4β φαίνεται η κάθετη τομή του μισού πεδίου μιας κάθετης κεραίας και στο (β) η κάτοψη του πεδίου, το οποίο στην περίπτωση επίπεδης επιφάνειας της γης, είναι κυκλικό. Στο (γ) φαίνεται η κάθετη τομή του πεδίου μιας

οριζόντιας κεραίας και στο (δ) η κάτοψη του πεδίου, το οποίο έχει τη μορφή ενός οκτώ. Παρατηρούμε ότι στην επέκταση του μήκους της κεραίας δεν έχομε εκπομπή.

Στην πραγματικότητα, το διάγραμμα ακτινοβολίας μιας οριζόντιας δίπολης κεραίας μεταβάλλεται σε συνάρτηση με την απόσταση που έχει η κεραία από την επιφάνεια της γης, γιατί είναι έντονη η επίδραση του ειδώλου της κεραίας, το οποίο σχηματίζεται από πολύ αγώγιμο έδαφος, όπως π.χ. στην περίπτωση της θάλασσας. Στο σχήμα 11.4γ φαίνονται οι κάθετες τομές των διαγραμμάτων ακτινοβολίας δίπολης κεραίας (μήκους λ/2), για διάφορα ύψη Η πάνω από την επιφάνεια πολύ αγώγιμου εδάφους. Η κεραία θεωρείται κάθετη στη σελίδα του βιβλίου.

11.5 Γραμμές τροφοδοτήσεως κεραίας.

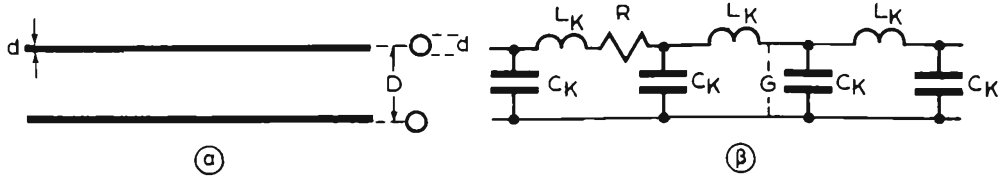
Η μεταφορά της ενέργειας από τον πομπό στην κεραία γίνεται με ειδικούς αγωγούς που λέγονται ***γραμμές μεταφοράς Υ.Σ.*** Αυτές οι γραμμές μπορεί να έχουν τη μορφή δύο παράλληλων αγωγών ή τη μορφή ομοαξονικού καλωδίου ή ακόμη τη μορφή ενός απλού αγωγού, ενώ ο δεύτερος αγωγός είναι η γή ή η μεταλλική επιφάνεια του οχήματος ή του πλοίου. Στις γραμμές μεταφοράς ανήκουν και οι κυματοδηγοί που εξετάζονται από μάθημα των Ναυτικών Ηλεκτρονικών Οργάνων, στο κεφάλαιο των radar.

α) Γραμμή δύο παράλληλων αγωγών.

Αυτή η γραμμή αποτελείται από δύο χάλκινους συνήθως αγωγούς με καθορισμένη διάμετρο για την κάθε γραμμή, οι οποίοι παραμένουν παράλληλοι με κατάλληλα μονωτικά στηρίγματα ή με υλικό μεγάλης διηλεκτρικής αντοχής. Η απόσταση μεταξύ των δύο αγωγών καθορίζεται από τις επιδόσεις της γραμμής. Μια απλή μορφή δύο παράλληλων αγωγών είναι το πλακέ καλώδιο των δύο αγωγών που χρησιμοποιείται για τη σύνδεση της κεραίας τηλεοράσεως με τη συσκευή τηλεοράσεως. Μια τέτοια γραμμή φαίνεται στο σχήμα 11.5α(α).

Όταν τροφοδοτήσομε ένα φορτίο μέσω της γραμμής αυτής, από πηγή συνεχούς ρεύματος, η γραμμή θα παρουσιάσει μόνο την ωμική αντίσταση των αγωγών της. Στην περίπτωση όμως που περνά ρεύμα υψηλής συχνότητας από τη γραμμή, αυτή παρουσιάζει διαφορετική συμπεριφορά και εμφανίζει μιαν άλλη αντίσταση Z_0, η οποία λέγεται ***χαρακτηριστική αντίσταση της γραμμής.*** Η αντίσταση αυτή υπάρχει και όταν στο τέρμα της γραμμής δεν υπάρχει φορτίο. Είναι μια αντίσταση που δεν μπορούμε να μετρήσομε με το ωμόμετρο, αλλά εμφανίζεται όταν η γραμμή τροφοδοτείται από πηγή ρεύματος Υ.Σ.

Κατά μήκος της γραμμής σχηματίζεται κατανεμημένη αυτεπαγωγή σε σειρά και



Σχ. 11.5α.
Γραμμή δύο παραλλήλων αγωγών και το ισοδύναμο κύκλωμά της.

κατανεμημένη χωρητικότητα παράλληλα, όπως φαίνεται στο σχήμα 11.5α(β). Η τιμή αυτών των L και C δίνεται ανά μονάδα μήκους π.χ. $C_κ = 1,2$ pF ανά μέτρο και $L_κ = 0,3$ μH ανά μέτρο.

Η χαρακτηριστική αντίσταση Z_0 της γραμμής καθορίζεται από τις φυσικές διαστάσεις της γραμμής από τις οποίες εξαρτώνται και οι κατανεμημένες αυτεπαγωγή και χωρητικότητα. Η χαρακτηριστική αντίσταση Z_0 δίνεται από τη σχέση:

$$Z_0 = 276 \log \frac{D}{d} \qquad \text{σε } \Omega \tag{11.8}$$

όπου D η απόσταση των δύο αγωγών από το κέντρο τους και d η διάμετρος των αγωγών [σχ. 11.5α(α)]. Επίσης, σε συνάρτηση με την τιμή της κατανεμημένης χωρητικότητας και αυτεπαγωγής ανά μονάδα μήκους, η χαρακτηριστική αντίσταση Z_0 δίνεται από τη σχέση:

$$Z_0 = \sqrt{\frac{L}{C}} \qquad \text{σε } \Omega \tag{11.9}$$

Όταν η γραμμή τερματίζει σε ένα ωμικό φορτίο $R_Φ$, η αντίσταση του οποίου είναι ίση με τη Z_0, η γραμμή συμπεριφέρεται τότε σαν να έχει άπειρο μήκος.

Οι γραμμές που χρησιμοποιούνται συνήθως έχουν χαρακτηριστική αντίσταση 150Ω, 300Ω και 600Ω ή και περισσότερο.

Η ενέργεια της ραδιοσυχνότητας υφίσταται μιαν απόσβεση καθώς μεταφέρεται με τη γραμμή. Αυτή η απόσβεση οφείλεται στην ωμική αντίσταση του αγωγού και στις $C_κ$ και $L_κ$. Οι $C_κ$ και $L_κ$ προκαλούν και μια μετάθεση φάσεως στο σήμα κατά μήκος της γραμμής. Η σταθερά εξασθενήσεως α και η σταθερά φάσεως β καθορίζουν τη σταθερά διαδόσεως γ με τη σχέση:

$$\gamma = \alpha + j\beta \tag{11.10}$$

ή

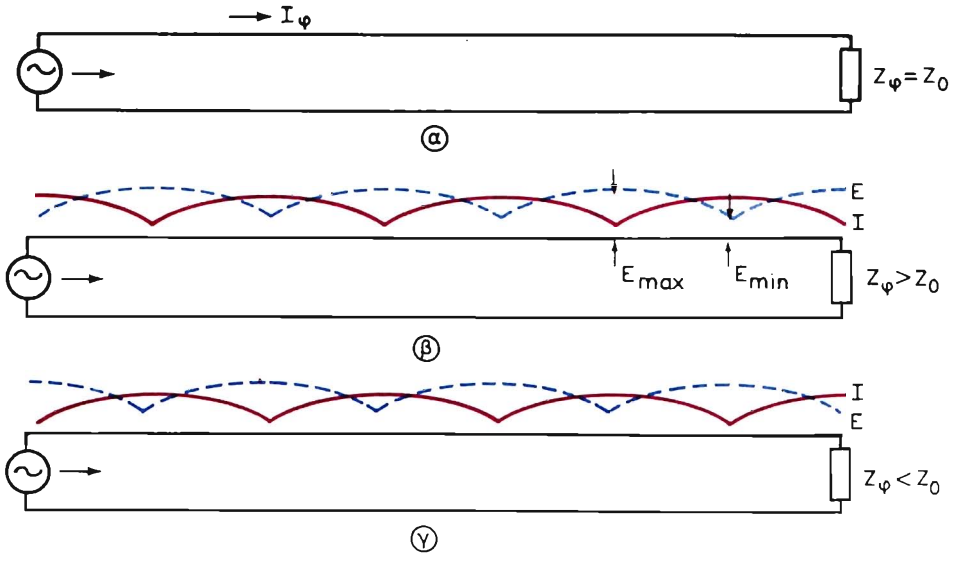
$$\gamma = \sqrt{(R + jL_\omega).(G + jC_\omega)} \tag{11.11}$$

όπου R η αντίσταση του αγωγού και G η αγωγιμότητά του [σχ. 11.5α(β)]. Επίσης $\alpha \approx R/2Z_0$ σε Neper/m και $\beta = \omega\sqrt{LC}$ σε rad/sec.

Όταν η γραμμή τερματίζει σε φορτίο, η αντίσταση του οποίου είναι ίση με τη Z_0, η ενέργεια μεταφέρεται όλη απο την πηγή προς το φορτίο χωρίς μεγάλη απώλεια και η γραμμή λέγεται ***γραμμή χωρίς απώλειες*** ή ***γραμμή που έχει άπειρο μήκος.*** Όταν όμως η αντίσταση του φορτίου δεν είναι ίση με τη χαρακτηριστική αντίσταση Z_0, παρουσιάζεται ανάκλαση ενέργειας που επιστρέφει προς την πηγη. Το κύμα που πηγαίνει στο φορτίο και το κύμα που ανακλάται, συναντώνται κατά μήκος της γραμμής και δημιουργούν στάσιμα κύματα, γιατί όταν είναι συμφασικά προστίθενται και όταν έχουν διαφορά φάσεως αφαιρούνται, με αποτέλεσμα να εμφανίζονται κοιλίες και δεσμοί τάσεως και κοιλίες και δεσμοί εντάσεως. Η απόσταση από τον ένα δεσμό τάσεως μέχρι τον επόμενο είναι ίση με λ/2 της συχνότητας του ρεύματος που τροφοδοτεί τη γραμμή. Στο σχήμα 11.5β φαίνονται τρεις περιπτώσεις της γραμμής για $Z_Φ = Z_0$, για $Z'_Φ > Z_0$ και για $Z'_Φ < Z_0$ καθώς και τα αντίστοιχα στάσιμα κύματα που δημιουργούνται.

Από τις τιμές του κύματος που πηγαίνει προς το φορτίο και του κύματος που επιστρέφει καθορίζομε το συντελεστή ανακλάσεως Γ σε συνάρτηση με την αντίσταση τέρματος και τη χαρακτηριστική αντίσταση από τη σχέση:

$$\Gamma = \frac{Z_Φ - Z_0}{Z_Φ + Z_0} \tag{11.12}$$



Σχ. 11.5β.
Τροφοδοτούμενη γραμμή δύο αγωγών για διάφορα φορτία.

Στην προσαρμογή των αντιστάσεων που έχομε $Z_\Phi = Z_0$ το $\Gamma = 0$. Επίσης, από το λόγο της μέγιστης τάσεως προς την ελάχιστη τάση στη γραμμή ή από το λόγο της μέγιστης εντάσεως προς την ελάχιστη ένταση, καθορίζομε το λόγο στάσιμου κύματος της γραμμής SWR, ο οποίος είναι:

$$SWR = \frac{E_{max}}{E_{min}} = \frac{I_{max}}{I_{min}} \qquad (11.13)$$

ή

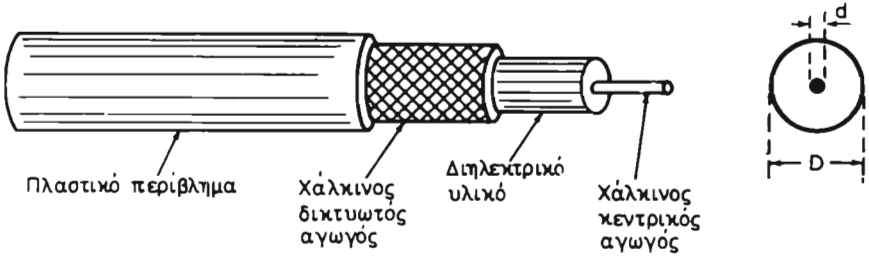
$$SWR = \frac{(1 + |\Gamma|)}{(1 - |\Gamma|)} \qquad (11.14)$$

Στην προσαρμογή των αντιστάσεων που έχομε $Z_\Phi = Z_0$ το SWR = 1. Ο λόγος στάσιμου κύματος μετράται με κατάλληλο όργανο που τοποθετείται στη γραμμή και με τη βοήθεια του οποίου μπορεί να γίνει ρύθμιση και συντονισμός του φορτίου, ώστε να έχομε την ελάχιστη τιμή ανακλώμενου σήματος, με αποτέλεσμα όλη η ενέργεια να μεταφέρεται στο φορτίο και να αξιοποιείται.

β) Ομοαξονικό καλώδιο.

Το ομοαξονικό καλώδιο αποτελείται από δύο αγωγούς, ο ένας από τους οποίους περιβάλλει τον άλλο και μεταξύ τους υπάρχει μονωτικό υλικό μεγάλης διηλεκτρικής αντοχής και ελάχιστες απώλειες. Τετοιο υλικό είναι η πολυστερίνη και, σε άριστης κατασκευής καλώδια, το Teflon. Μια απλή μορφή ομοαξονικού καλωδίου είναι το στρογγυλό καλώδιο χαρακτηριστικής αντιστάσεως 73Ω που χρησιμοποιείται στις τηλεοράσεις. Στο σχήμα 11.5γ φαίνεται παραστατικά ένα ομοαξονικό καλώδιο.

Το ομοαξονικό καλώδιο παρουσιάζει κατανεμημένες χωρητικότητες και αυτεπαγωγές, όπως και η γραμμή των δύο παράλληλων αγωγών, οι οποίες καθορίζονται από τις διαστάσεις του καλωδίου. Η χαρακτηριστική του αντίσταση εξαρτάται από



Σχ. 11.5γ.
Ομοαξονικό καλώδιο.

τις διαμέτρους του εσωτερικού και του εξωτερικού αγωγού και δίνεται από τη σχέση:

$$Z_0 = 138 \log \frac{D}{d} \qquad (11.15)$$

Η τιμή της Z_0 για τα διάφορα ομοαξονικά καλώδια είναι από 35-75Ω περίπου. Η σταθερά εξασθενήσεως και η σταθερά φάσεως υπολογίζεται και στα ομοαξονικά καλώδια ανά μονάδα μήκους και μεταβάλλεται σύμφωνα με τις διαστάσεις τους. Τα ομοαξονικά καλώδια έχουν το πλεονέκτημα ότι, αν γειωθεί ο εξωτερικός αγωγός, θωρακίζεται και προστατεύεται από εξωτερικές επιδράσεις ο εσωτερικός.

Και εδώ παρουσιάζονται στάσιμα κύματα, αλλά με κατάλληλο όργανο που συνδέομε σε σειρά στο καλώδιο, μπορούμε να μετρήσομε το λόγο στάσιμου κύματος SWR και να τον βελτιώσομε.

Τα ομοαξονικά καλώδια συνδέονται στην έξοδο του πομπού ή στην είσοδο του δέκτη με ειδικούς ομοαξονικούς συνδετήρες (connectors) που χρησιμοποιούνται και στην περίπτωση που πρέπει να γίνει επιμήκυνση του καλωδίου, γιατί τότε δεν επιτρέπεται απλή σύνδεση και συγκόλληση των αγωγών.

$$Z_{\epsilon\iota\sigma} := \frac{Z_0^2}{Z_\Phi} \qquad (11.16)$$

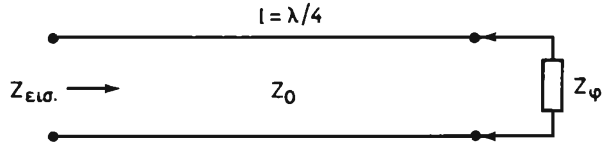
11.6 Μέθοδοι συζεύξεως κεραίας με τη γραμμή.

Η ενέργεια του ρεύματος Υ.Σ. μεταφέρεται από τον πομπό στην κεραία μέσω της γραμμής. Έχομε δύο κυρίως τύπους γραμμών:

α) τις ***συντονισμένες*** γραμμές, το μήκος των οποίων βρίσκεται σε κάποια σχέση με το μήκος κύματος της ραδιοσυχνότητας, π.χ. λ/2 ή λ/4 ή λ/8 κλπ. και

β) τις ***ασυντόνιστες*** γραμμές, που έχουν μήκος το οποίο καθορίζεται από τις ανάγκες της εγκαταστάσεως και όχι από το μήκος κύματος.

Τμήματα γραμμής μεταφοράς Υ.Σ. δύο αγωγών ή ομοαξονικών καλωδίων ή κυματοδηγού είναι δυνατό να χρησιμοποιηθούν για την προσαρμογή αντιστάσεων πηγής και φορτίου. Χρησιμοποιούνται δηλαδή ως μετασχηματιστές προσαρμογής αντιστάσεων. Τμήμα γραμμής δύο αγωγών, π.χ. μήκους λ/4 (ως προς τη συχνότητα που μεταφέρει), χρησιμοποιείται για προσαρμογή υψηλής αντιστάσεως με χαμηλή αντίσταση. Στο σχήμα 11.6α φαίνεται τμήμα γραμμής μήκους λ/4 και η σχέση που συνδέει τις αντιστάσεις εισόδου-φορτίου με τη χαρακτηριστική αντίσταση της γραμμής.



Σχ. 11.6α.
Γραμμή μήκους λ/4.

α) Σύζευξη με συντονισμένη γραμμή απλού αγωγού.

Στο σχήμα 11.6β(α) φαίνεται οριζόντια κεραία μήκους λ/2, που τροφοδοτείται στην άκρη της με γραμμή απλού αγωγού μήκους επίσης λ/2. Η κεραία στις άκρες της παρουσιάζει μεγάλη αντίσταση εισόδου, περίπου 2,5 kΩ, και έχει κοιλία τάσεως και δεσμό εντάσεως. Η γραμμή απλού αγωγού έχει την ίδια συμπεριφορά με την ίδια κατανομή τάσεως και εντάσεως, δηλαδή στις άκρες της παρουσιάζει και αυτή κοιλία τάσεως και δεσμό εντάσεως. Έτσι στο σημείο Β, όπου συνδέονται, υπάρχει προσαρμογή αντιστάσεων για τη μέγιστη μεταφορά της ενέργειας.

Η άλλη άκρη της γραμμής πρέπει να συνδεθεί σε πηγή μεγάλης αντιστάσεως, περίπου 2,5 kΩ. Μια τέτοια πηγή μπορεί να είναι ένα παράλληλο συντονισμένο κύκλωμα που βρίσκεται σε επαγωγική σύζευξη με το κύκλωμα εξόδου του πομπού. Έτσι έχομε προσαρμογή στη βαθμίδα εξόδου με το λόγο σπειρών, προσαρμογή του δευτερεύοντος κυκλώματος με την είσοδο της γραμμής και προσαρμογή της γραμμής με την κεραία. Με τον τρόπο αυτό όλη σχεδόν η ενέργεια από τη βαθμίδα εξόδου μεταφέρεται στην κεραία και ακτινοβολείται.

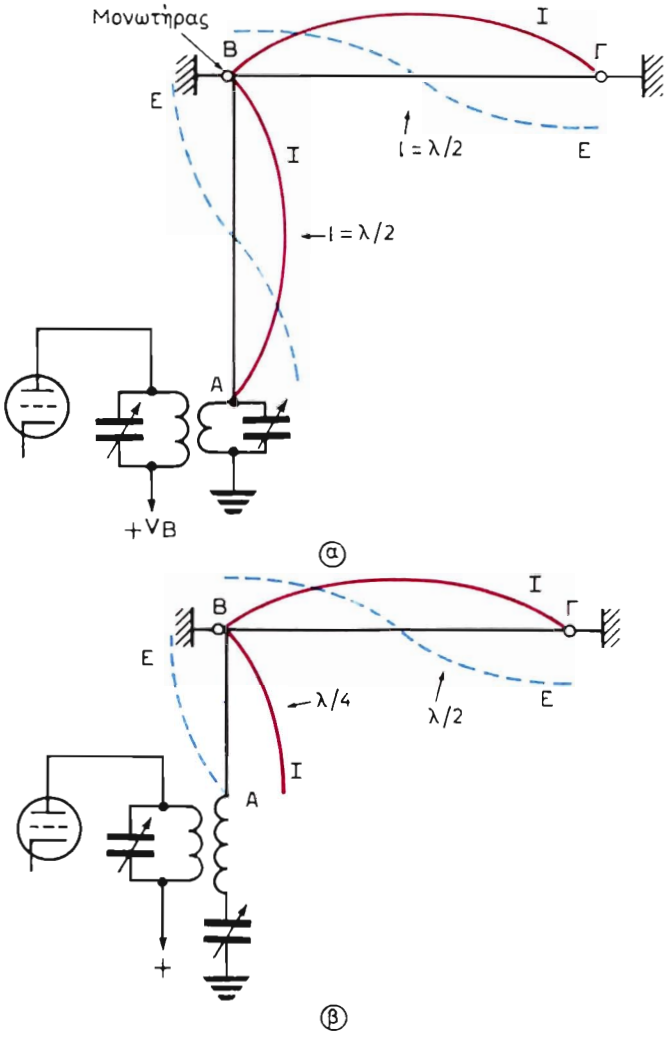
Στο σχήμα 11.6β(β) η γραμμή έχει μήκος λ/4 και συμπεριφέρεται ως κεραία μήκους λ/4, η οποία έχει κοιλία εντάσεως στη βάση και δεσμό τάσεως που αντιστοιχεί σε μικρή αντίσταση, 35Ω περίπου. Για να υπάρχει προσαρμογή σ' αυτό το σημείο Α, πρέπει να συνδεθεί με συντονιζόμενο κύκλωμα σειράς που παρουσιάζει την ίδια περίπου αντίσταση. Έτσι στο Α έχομε προσαμογή μικρών αντιστάσεων, ενώ στο Β προσαρμογή μεγάλων αντιστάσεων, όπως προηγουμένως.

Η γραμμή απλού αγωγού έχει το μειονέκτημα ότι ακτινοβολεί ενέργεια, η οποία απορροφάται συνήθως από τα μεταλλικά αντικείμενα που μπορεί να υπάρχουν κοντά, όπως π.χ. στην περίπτωση του πλοίου. Έτσι χάνεται ένα μεγάλο μέρος από την ενέργεια της Υ.Σ. το οποίο αφαιρείται από την ολική προς ακτινοβολία ενέργεια.

Με την ακτινοβολία και της γραμμής, το διάγραμμα ακτινοβολίας της κεραίας λ/2 μεταβάλλεται και παίρνει άλλη μορφή που καθορίζεται από πολλούς παράγοντες. Η κεραία λ/2 συμπεριφέρεται τώρα ως κεραία τύπου Γ.

β) Σύζευξη με συντονισμένη γραμμή δύο αγωγών.

Για να εξουδετερώσομε την ακτινοβολία της γραμμής απλού αγωγού, χρησιμοποιούμε γραμμή δύο αγωγών που δεν ακτινοβολεί, γιατί τα ρεύματα κινούνται αντίθετα στους δύο αγωγούς και το ένα εξουδετερώνει το πεδίο του άλλου. Στο σχήμα 11.6γ(α) φαίνεται η τροφοδότηση της κεραίας με γραμμή λ/2, η οποία παρουσιάζει στις άκρες της μεγάλη αντίσταση με κοιλία τάσεως και δεσμό εντάσεως, με αποτέλεσμα να προσαρμόζει η γραμμή αυτή με τη μεγάλη αντίσταση της κεραίας και τη μεγάλη αντίσταση του παράλληλου κυμαινόμενου κυκλώματος. Ο ένας αγω-



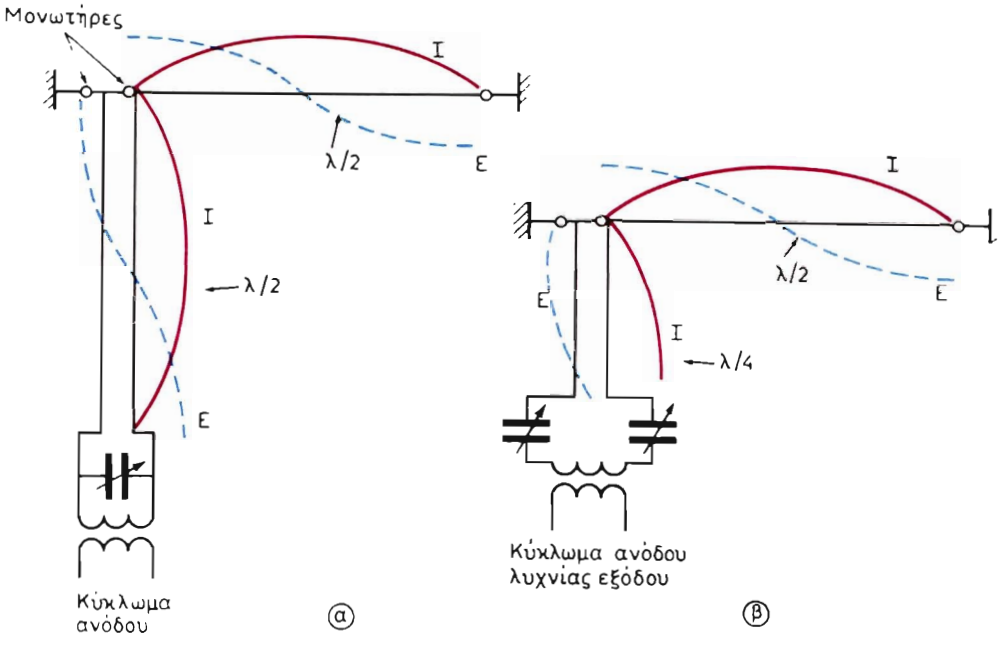
Σχ. 11.6β.
Κεραία λ/2 τροφοδοτούμενη με γραμμή απλού αγωγού.

γός της γραμμής στην άνω άκρη δεν συνδέεται.

Στο σχήμα 11.6γ(β) η γραμμή έχει μήκος λ/4 και συμπεριφέρεται ως μετασχηματιστής προσαρμογής της μεγάλης αντιστάσεως στη σύνδεση με την κεραία, όπου έχομε κοιλίες τάσεως και δεσμούς εντάσεως, και της μικρής αντιστάσεως του συντονιζόμενου κυκλώματος σειράς με τη μικρή αντίσταση της γραμμής που έχει κοιλία εντάσεως και δεσμό τάσεως. Οι παραπάνω συνδέσεις ονομάζονται και ***κεραίες Zeppelin.***

γ) Σύνδεση με συντονισμένη γραμμή δύο αγωγών στη μέση της κεραίας.

Η τροφοδότηση της κεραίας μπορεί να γίνει και στη μέση της με συντονισμένη γραμμή δύο αγωγών. Η κεραία με αυτή τη σύνδεση λέγεται και ***κεραία Levy.*** Στο



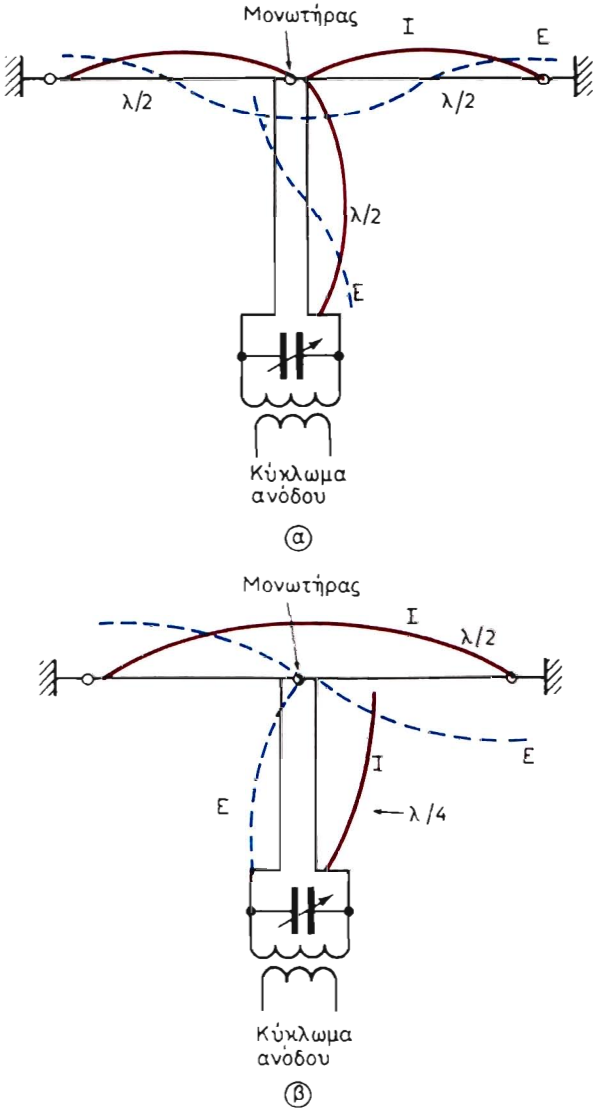
Σχ. 11.6γ.
Κεραία λ/2 τροφοδοτούμενη με γραμμή δύο αγωγών.

σχήμα 11.6δ(α) φαίνεται μια κεραία ολικού μήκους $l = \lambda$, η οποία τροφοδοτείται στη μέση της με γραμμή μήκους λ/2. Η κεραία στη μέση έχει μονωτήρες, έτσι που να χωρίζεται σε δύο τμήματα μήκους λ/2 το καθένα.

Τα δύο τμήματα της κεραίας παρουσιάζουν κοιλίες τάσεως και μεγάλη αντίσταση. Έτσι πραγματοποιείται προσαρμογή με τη γραμμή μήκους λ/2, όπως αναφέρθηκε ήδη στην προηγούμενη υποπαράγραφο. Τοποθετώντας κύκλωμα σειράς στη σύνδεση με το κύκλωμα εξόδου του πομπού είναι δυνατό αντί της γραμμής λ/2 να χρησιμοποιηθεί γραμμή μήκους λ/4.

Στο σχήμα 11.6δ(β) φαίνεται η κεραία Levy με μήκος λ/2 τροφοδοτούμενη στη μέση με γραμμή λ/4. Στη μέση η κεραία έχει κοιλία εντάσεως και δεσμό τάσεως, ενώ η αντίστασή της (στη μέση) είναι 73Ω. Πρέπει έτσι να προσαρμοσθεί με μικρή αντίσταση. Η γραμμή μήκους λ/4 συνδέεται σε παράλληλο συντονιζόμενο κύκλωμα με μεγάλη αντίσταση και έχει κοιλία τάσεως και δεσμό εντάσεως. Στην άλλη άκρη της παρουσιάζει κοιλία εντάσεως και δεσμό τάσεως με αντίσταση περίπου 73Ω και έτσι γίνεται η προσαρμογή των αντιστάσεων.

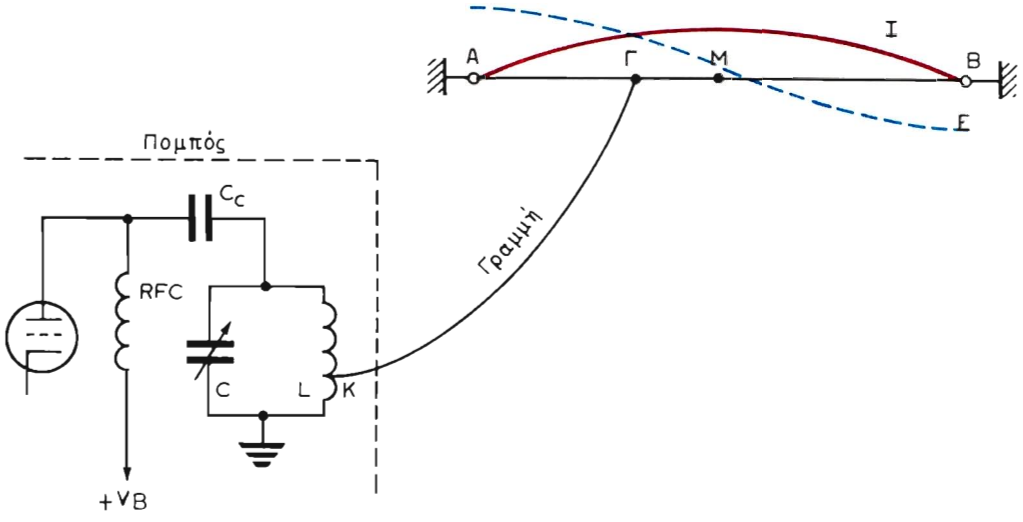
Στο ίδιο σχήμα 11.6δ(β), αντί της γραμμής λ/4 των δύο παράλληλων αγωγών, μπορεί να χρησιμοποιηθεί ομοαξονικό καλώδιο χαρακτηριστικής αντιστάσεως 73Ω με ένα απλό πηνίο σε σύζευξη με το συντονισμένο κύκλωμα εξόδου του πομπού. Τροφοδότηση της ίδιας κεραίας στη μέση, μπορεί να γίνει και με γραμμή δύο μονωμένων στριμμένων αγωγών (όπως τα καλώδια που κρεμάνε για τους ηλεκτρικούς λαμπτήρες), οι οποίοι παρουσιάζουν χαρακτηριστική αντίσταση 73Ω περίπου. Η σύζευξη με το κύκλωμα εξόδου του πομπού γίνεται με ένα πηνίο λίγων σπειρών.



Σχ. 11.6δ.
Κεραία τροφοδοτούμενη στη μέση.

δ) Σύνδεση με ασυντόνιστη γραμμή απλού αγωγού.

Στο σχήμα 11.6ε φαίνεται κεραία μήκους λ/2 (Hertz), η οποία τροφοδοτείται με γραμμή απλού αγωγού σε κατάλληλη θέση Γ. Η χαρακτηριστική αντίσταση του απλού αγωγού είναι περίπου 500-600Ω και ως δεύτερος αγωγός θεωρείται η γη ή το κατάστρωμα του πλοίου. Η αντίσταση στη μέση της κεραίας λ/2 είναι 73Ω, ενώ στις άκρες της είναι 2,5 kΩ περίπου. Σε κάποιο σημείο από τη μέση Μ μέχρι την άκρη Α θα παρουσιάζεται αντίσταση με τιμή 600Ω. Σ' αυτό το σημείο Γ πρέπει να συνδεθεί η άκρη της γραμμής για να υπάρχει η σχετική προσαρμογή των αντιστάσεων.



Σχ. 11.6ε.
Κεραία λ/2 τροφοδοτούμενη με ασυντόνιστη γραμμή.

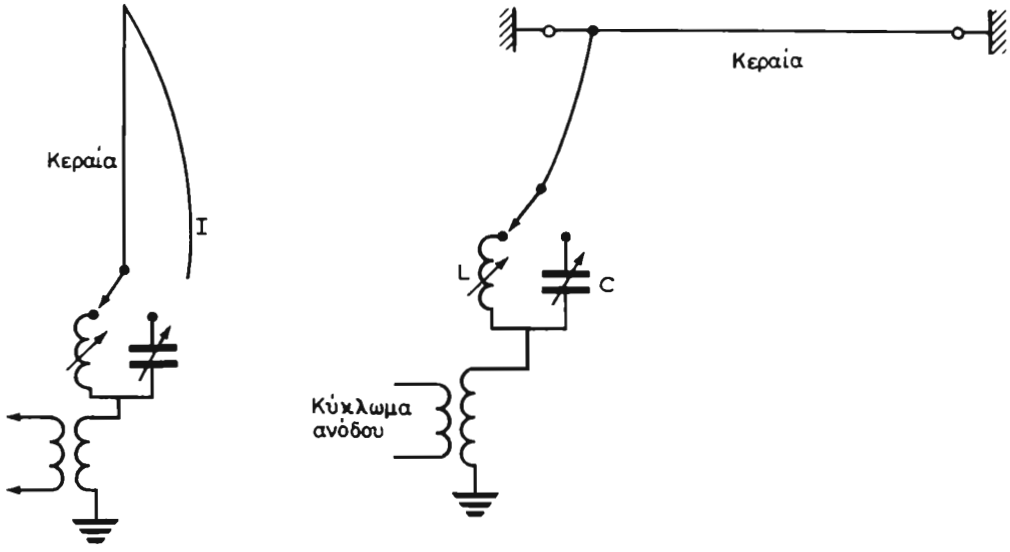
Το παράλληλο συντονιζόμενο κύκλωμα εξόδου του πομπού, παρουσιάζει μεγάλη αντίσταση, της τάξεως των 5 kΩ. Σε κάποιο σημείο Κ επάνω στο πηνίο θα παρουσιάζεται αντίσταση 600Ω περίπου ως προς το κοινό. Σ' αυτό το σημείο συνδέεται η άλλη άκρη της γραμμής για να γίνεται η προσαρμογή των αντιστάσεων.

Τα σημεία Γ και Κ βρίσκονται πειραματικά με τη βοήθεια του αμπερομέτρου εξόδου του πομπού ή με ειδική λυχνία νέον που τοποθετείται κοντά στην κεραία και έχει στην προσαρμογή τη μέγιστη φωτοβολία. Επίσης, με τη λυχνία νέον ελέγχεται ώστε κατά μήκος της γραμμής να μην υπάρχουν στάσιμα κύματα, δηλαδή να μην υπάρχουν αυξομειώσεις της φωτοβολίας, η οποία πρέπει να είναι σταθερή σε όλο το μήκος της γραμμής.

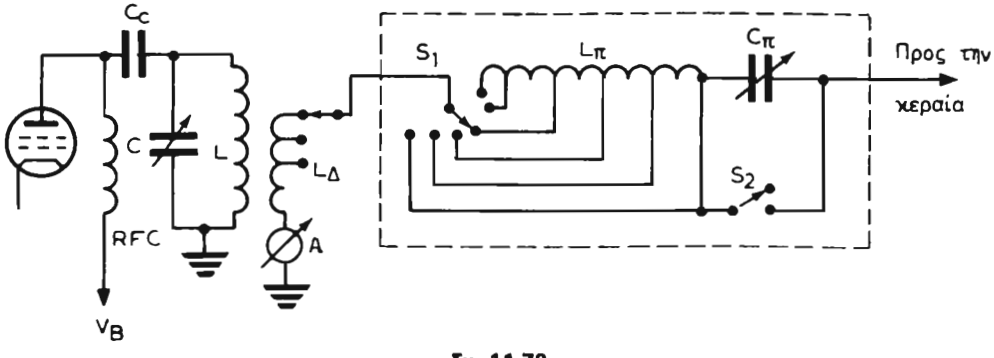
11.7 Συντονισμός και προσαρμογή της κεραίας.

Στις προηγούμενες παραγράφους θεωρήσαμε τις κεραίες με καθορισμένο μήκος που λειτουργούν σε ορισμένη συχνότητα, για την οποία έχουν μήκος λ/2. Σε πολλές περιπτώσεις μια κεραία με σταθερό μήκος *l* πρέπει να χρησιμοποιηθεί για την εκπομπή διάφορων συχνοτήτων που μπορεί να καλύπτουν όλη την περιοχή των βραχέων ή την περιοχή των μεσαίων και μακρών κυμάτων. Τέτοια περίπτωση έχομε στα πλοία, όπου ένας ή δύο πομποί καλύπτουν μεγάλη περιοχή συχνοτήτων και υπάρχει δυνατότητα να χρησιμοποιηθούν μόνο δύο κεραίες. Παρουσιάζεται λοιπόν η ανάγκη του συντονισμού της κεραίας στις αντίστοιχες συχνότητες και τα μήκη κύματος.

Μια κεραία με φυσικό μήκος *l* θα συντονίζει ως κεραία λ/2 ή λ/4 σε μια ορισμένη συχνότητα. Σε μια μεγαλύτερη συχνότητα θα είναι εκτός συντονισμού και θα παρουσιάζει επαγωγική συμπεριφορά. Την επαγωγική συμπεριφορά μπορούμε να αντισταθμίσομε με ένα πυκνωτή αντίστοιχης τιμής που θα συνδέσομε σε σειρά με την κεραία στη βάση της. Έτσι η κεραία θα συμπεριφέρεται σαν να έχει μικρότερο



Σχ. 11.7α.
Συντονισμός κεραίας με L και C.



Σχ. 11.7β.
Κύκλωμα εξόδου πομπού και συντονισμού κεραίας.

μήκος και θα συντονίζει στην υψηλότερη συχνότητα.

Αντίθετα, σε μια χαμηλότερη συχνότητα θα παρουσιάζει χωρητική συμπεριφορά, η οποία αντισταθμίζεται με ένα πηνίο αντίστοιχης τιμής, που κάνει την κεραία να συμπεριφέρεται με μεγαλύτερο μήκος και να συντονίζει στη χαμηλότερη συχνότητα. Τοποθετώντας μεταβλητή αυτεπαγωγή (βαριόμετρο) και μεταβλητό πυκνωτή στη βάση της κεραίας, μπορούμε να επιλέγομε το πηνίο ή τον πυκνωτή με μεταγωγό διακόπτη και να γίνεται συντονισμός της κεραίας όπως φαίνεται στο σχήμα 11.7α. Στο σχήμα 11.7β φαίνεται ένα κύκλωμα προσαρμογής και συντονισμού μιας κεραίας και το κύκλωμα εξόδου του πομπού. Με το διακόπτη S_1 επιλέγεται η κατάλληλη αυτεπαγωγή, ενώ ο S_2 βραχυκυκλώνει τον πυκνωτή. Σε άλλη περίπτωση βγαίνει εκτός το πηνίο και συνδέεται ο πυκνωτής με άνοιγμα του διακόπτη S_2.

Υπάρχει ποικιλία κυκλωμάτων προσαρμογής και συντονισμού της κεραίας τα οποία χρησιμοποιεί ο κάθε κατασκευαστής πομπών, ανάλογα με τις απαιτήσεις της

κατασκευής. Σε πομπούς μεγάλης ισχύος, ο συντονισμός της κεραίας και η προσαρμογή της μπορούν να πραγματοποιούνται αυτόματα με διάταξη σερβομηχανισμού που λειτουργεί με το σύστημα επιλογής της συχνότητας.

11.8 Κεραίες κατευθυνόμενης εκπομπής και λήψεως.

Σε πολλές περιπτώσεις στη ραδιοεπικοινωνία μεταξύ καθορισμένων σημείων, π.χ. μεταξύ Αθήνας και Θεσσαλονίκης ή μεταξύ Αθήνας και Λονδίνου, δεν ενδιαφέρει η κάλυψη της γύρω περιοχής με πεδίο. Αν χρησιμοποιηθεί κεραία λ/2 ή λ/4 κυκλικού πεδίου, θα απαιτηθεί μεγάλης ισχύος πομπός ενώ, με τη χρησιμοποίηση κεραιών κατευθυνόμενης εκπομπής, η ισχύς του πομπού περιορίζεται στο ελάχιστο, που φθάνει μέχρι και 0,001 της ισχύος για ολική κάλυψη.

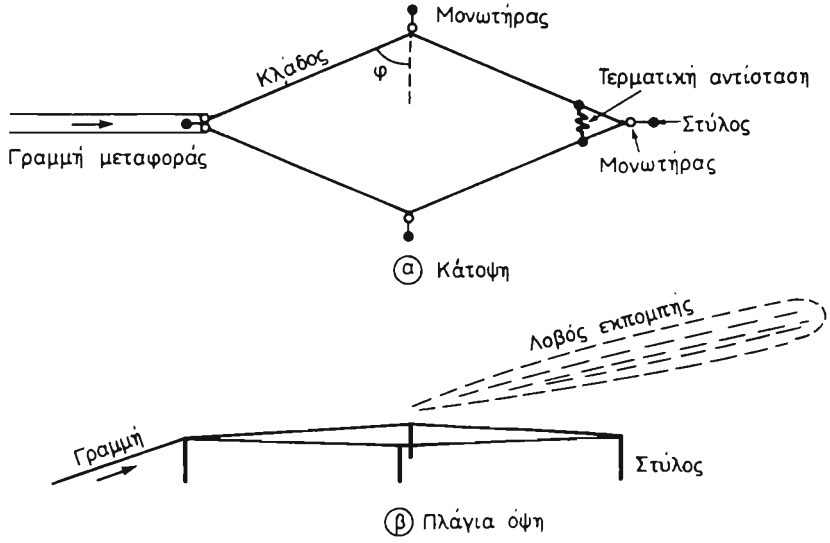
Κατευθυνόμενη εκπομπή για κάλυψη ορισμένης μεγάλης περιοχής της επιφάνειας της γης, χρησιμοποιείται σε ελάχιστες περιπτώσεις στην περιοχή των μεσαίων κυμάτων, με σύνολο τροφοδοτούμενων και παρασιτικών κεραιών. Μεγαλύτερη χρήση κατευθυνόμενης εκπομπής γίνεται στην περιοχή των βραχέων, για επικοινωνία μεταξύ κρατών μέσω της ιονόσφαιρας, με τη χρήση της ***ρομβικής*** και της ***λογαριθμικής*** κεραίας. Στην περιοχή των VHF και UHF χρησιμοποιούνται οι κεραίες ***Yagi*** ή ***κεραίες με ανακλαστήρα,*** ενώ στην άνω περιοχή των UHF χρησιμοποιούνται οι ***κατοπτρικές*** και οι ***ελικοειδείς κεραίες.*** Στην περιοχή των μικροκυμάτων χρησιμοποιούνται οι ***κεραίες του radar*** με χοάνη και ανακλαστήρα, στοιχειοσειρά κεραιών λ/2 με ανακλαστήρα, κεραίες με ράβδο πολυστερίνης, κεραίες σχισμής κλπ.

Στις κεραίες κατευθυνόμενης εκπομπής, εκτός από τα χαρακτηριστικά λειτουργίας τους, χρησιμοποιείται και ο όρος ***απολαβή*** που δίνεται συνήθως σε db. Η απολαβή καθορίζεται όταν συγκρίνεται η απόδοση της κεραίας κατευθυνόμενης εκπομπής προς μια απλή δίπολη κεραία ολικής καλύψεως. Από τη σύγκριση καθορίζεται επίσης και η κατευθυντικότητα της κεραίας.

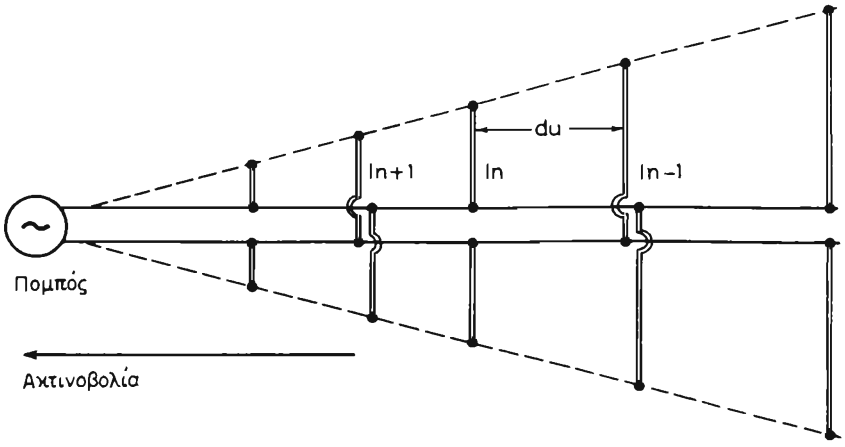
α) Ρομβική κεραία.

Στο σχήμα 11.8α(α) φαίνεται η κάτοψη μιας ρομβικής κεραίας. Αποτελείται από τέσσερις αγωγούς που λέγονται ***κλάδοι της κεραίας*** και έχουν μήκος που αντιστοιχεί σε μερικά λ της συχνότητας εκπομπής. Το σύνολο των τεσσάρων κλάδων στερεώνεται σε στύλους (κολώνες) μέσω μονωτήρων και σε ύψος μέχρι είκοσι μέτρα πάνω από την επιφάνεια του εδάφους. Η τροφοδότηση γίνεται στη μικρή γωνία με γραμμή δύο αγωγών, χαρακτηριστικής αντιστάσεως συνήθως 600Ω. Στην απέναντι μικρή γωνία τοποθετείται τερματική αντίσταση, τιμής ίσης με τη χαρακτηριστική αντίσταση της γραμμής και αντίστοιχης ισχύος. Επειδή οι κλάδοι τερματίζουν στη χαρακτηριστική αντίσταση, δεν εμφανίζονται στάσιμα κύματα σ' αυτούς, αλλά υπάρχει μόνο ρεύμα που κινείται προς το τέρμα.

Με την επίδραση της γης, η οποία λειτουργεί σαν κάτοπτρο, ανακλώνται τα κύματα των κλάδων, με αποτέλεσμα να σχηματίζεται λοβός πεδίου με κατεύθυνση προς την ιονόσφαιρα, όπου ανακλάται και επιστρέφει στο σημείο όπου βρίσκεται ο δέκτης σε πολύ μεγάλη απόσταση. Η γωνία εκπομπής του λοβού εξαρτάται κυρίως από τη συχνότητα λειτουργίας, αλλά και από τη γωνία φ και από την απόσταση από το έδαφος. Όσο αυξάνει η συχνότητα τροφοδοτήσεως τόσο ο λοβός γίνεται στενότερος και πλησιάζει προς τη γη, δηλαδή η γωνία εκπομπής μικραίνει. Για μικρότερες συχνότητες ο λοβός γίνεται πιο φαρδύς και η γωνία εκπομπής αυξάνει.



Σχ. 11.8α.
Ρομβική κεραία.



Σχ. 11.8β.
Λογαριθμική κεραία.

Η ρομβική κεραία θεωρείται ασυντόνιστη και μπορεί να λειτουργήσει σε συχνότητες για τις οποίες το μήκος του κάθε κλάδου μπορεί να αντιστοιχεί σε μήκη κύματος από 1λ μέχρι και 20λ. Καθώς αυξάνει ο αριθμός των λ για κάθε κλάδο (αύξηση της συχνότητας), αυξάνει και η απόδοση της κεραίας. Μια ρομβική κεραία της περιοχής των βραχέων κυμάτων μπορεί να καλύπτει μεγάλη έκταση, η οποία φθάνει μέχρι 5000 m^2.

β) Λογαριθμική κεραία.

Μια άλλη μορφή κεραίας κατευθυνόμενης εκπομπής είναι η λογαριθμική κεραία

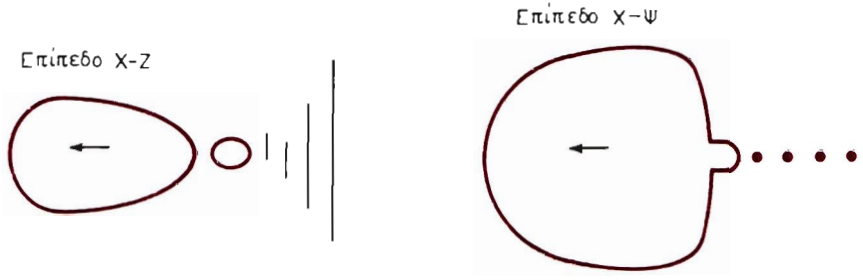
που φαίνεται στο σχήμα 11.8β. Αποτελείται από ένα σύνολο διπόλων που τροφοδοτούνται από γραμμή δύο αγωγών κατά μήκος της κεραίας. Η τροφοδότηση των διπόλων εναλλάσσεται όπως φαίνεται και στο σχήμα.

Οι λογαριθμικές κεραίες έχουν το πλεονέκτημα ότι μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε μεγάλη περιοχή συχνοτήτων. Για ορισμένη συχνότητα f, η ακτινοβολία πραγματοποιείται από το στοιχείο το οποίο έχει διαστάσεις περίπου λ/2. Η ανάλυση των λογαριθμικών κεραιών γίνεται με τη χρήση της θεωρίας των γραμμικών στοιχειοσειρών.

Ο κύριος λοβός ακτινοβολίας κατευθύνεται προς τον αρνητικό άξονα των x, όπως φαίνεται στο σχήμα 11.8γ. Το κέρδος της κεραίας είναι της τάξεως των 6.9 db ως προς δίπολο μήκους $l = \lambda/4$. Η αντίσταση εισόδου εξαρτάται από τη γωνία α που σχηματίζουν τα δίπολα και από το λόγο r, ο οποίος δίνεται από τις διαστάσεις που φαίνονται στο σχήμα 11.8β και είναι:

$$\frac{l_n}{l_{n-1}} = \frac{du}{du-1} = r \qquad (11.17)$$

Η αντίσταση εισόδου μπορεί να μεταβάλλεται από 50 μέχρι 200Ω.



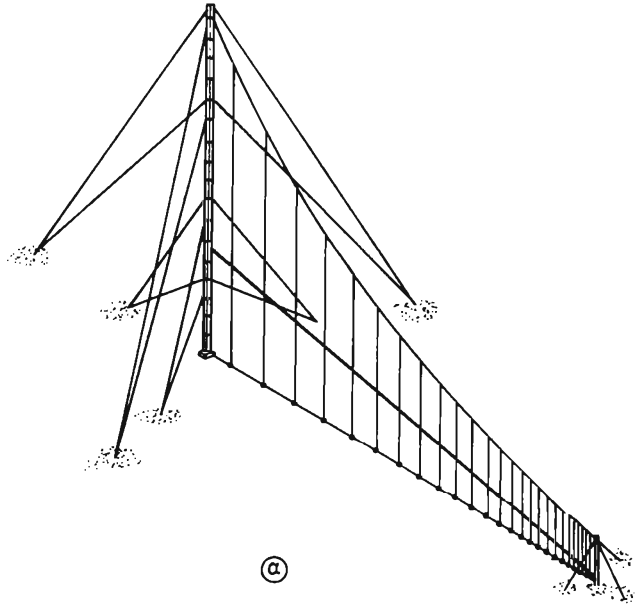
Σχ. 11.8γ.
Κάθετο και οριζόντιο πεδίο ακτινοβολίας λογαριθμικής κεραίας.

Οι λογαριθμικές κεραίες μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε περιοχές συχνοτήτων HF, VHF και UHF με μεγάλη επιτυχία. Στο σχήμα 11.8δ(α) και 11.8δ(β) φαίνεται η μορφή κεραιών της περιοχής HF, ενώ η (γ) χρησιμοποιείται και στη χαμηλή περιοχή των VHF. Οι διαστάσεις των κεραιών στην περιοχή των HF είναι μεγάλες και επιτρέπονται μόνο σε μόνιμες εγκαταστάσεις, ενώ για τη περιοχή των VHF και UHF χρησιμοποιούνται και σαν φορητές κεραίες.

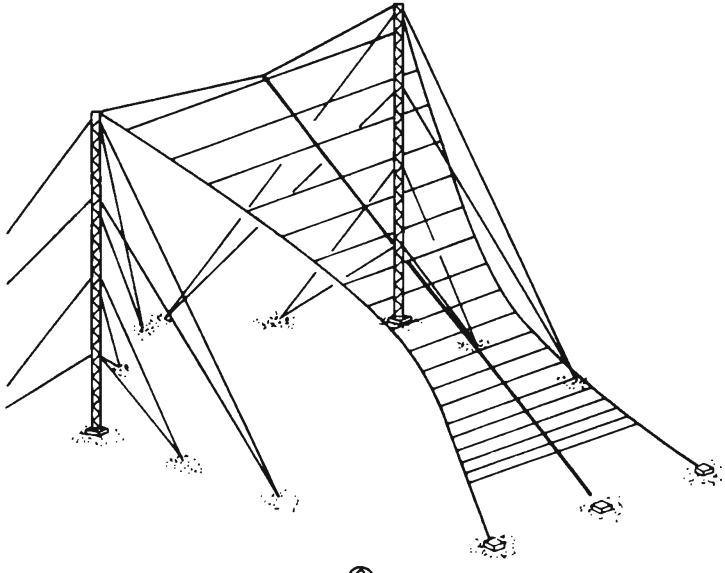
γ) Κεραία Yagi.

Στην περιοχή των VHF και UHF μεταξύ 80-600 Mc περίπου χρησιμοποιείται η κεραία Yagi με πολύ καλά αποτελέσματα. Στην περιοχή των VHF και πάνω η επικοινωνία πραγματοποιείται μόνο σε ευθύγραμμη διάδοση και είναι απαραίτητη οπτική επαφή του πομπού με το δέκτη. Έτσι εξυπηρετεί η κατευθυνόμενη εκπομπή.

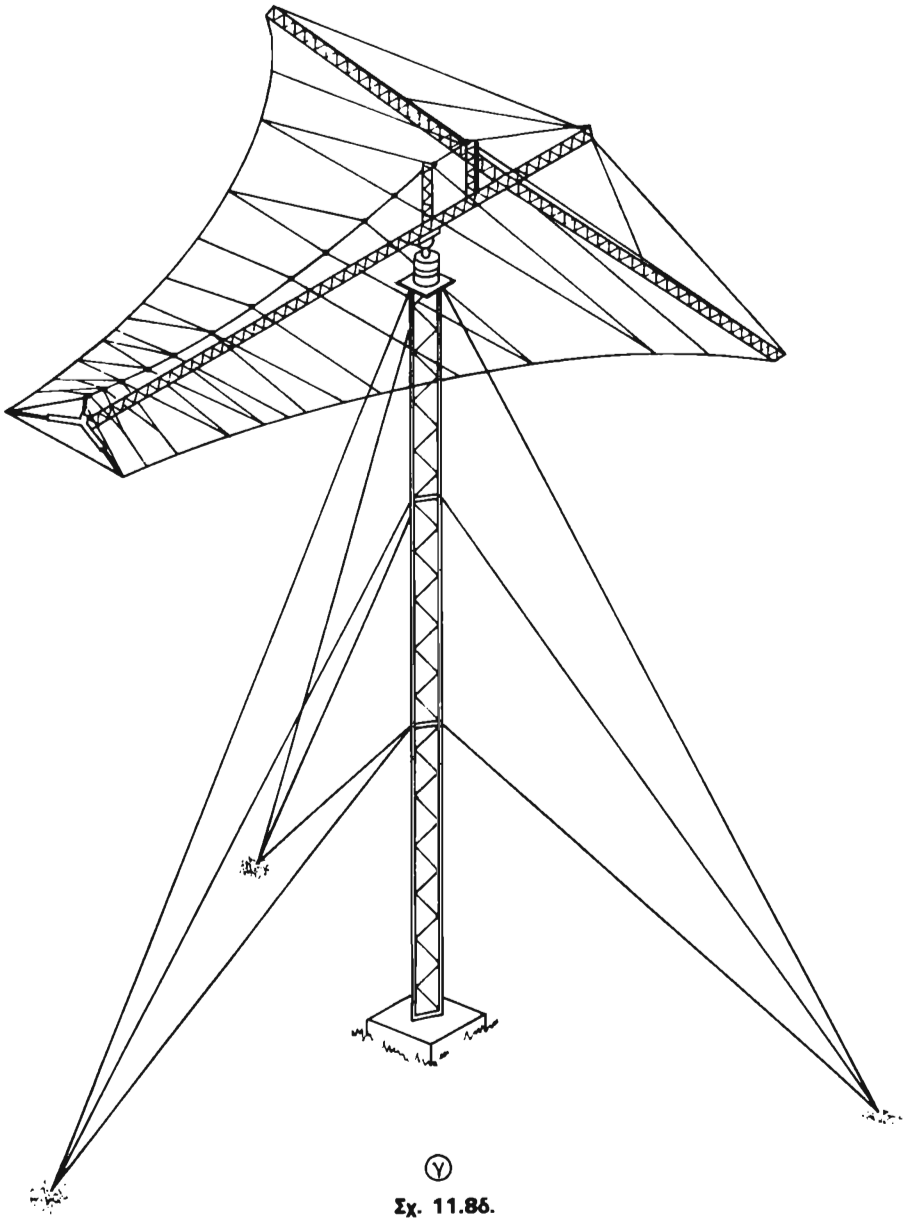
Η κεραία Yagi αποτελείται από ένα δίπολο μήκους λ/2 που τροφοδοτείται στη μέση και έχει και ένα αριθμό παρασιτικών διπόλων τοποθετημένων σε κατάλληλη θέση. ***Παρασιτικό δίπολο*** λέγεται το δίπολο που δεν τροφοδοτείται από τον πομπό, αλλά διεγείρεται από το τροφοδοτούμενο κύκλωμα. Είναι δηλαδή σαν τη περίπτω-



(α)



(β)



Σχ. 11.86.
Μορφές λογαριθμικών κεραιών.

ση του τροφοδοτούμενου κυκλώματος που βρίσκεται σε σύζευξη με άλλα κυκλώματα τα οποία διεγείρει εξ επαγωγής.

Όταν το παρασιτικό δίπολο τοποθετηθεί κοντά στο τροφοδοτούμενο, σε απόσταση μικρότερη από λ/4, έχει επίδραση στο πεδίο που δημιουργεί το τροφοδοτούμενο δίπολο. Αν το παρασιτικό δίπολο έχει μήκος μεγαλύτερο από το λ/2, βρίσκεται σε αποσυντονισμό και παρουσιάζει επαγωγική συμπεριφορά, ενώ, όταν έ-

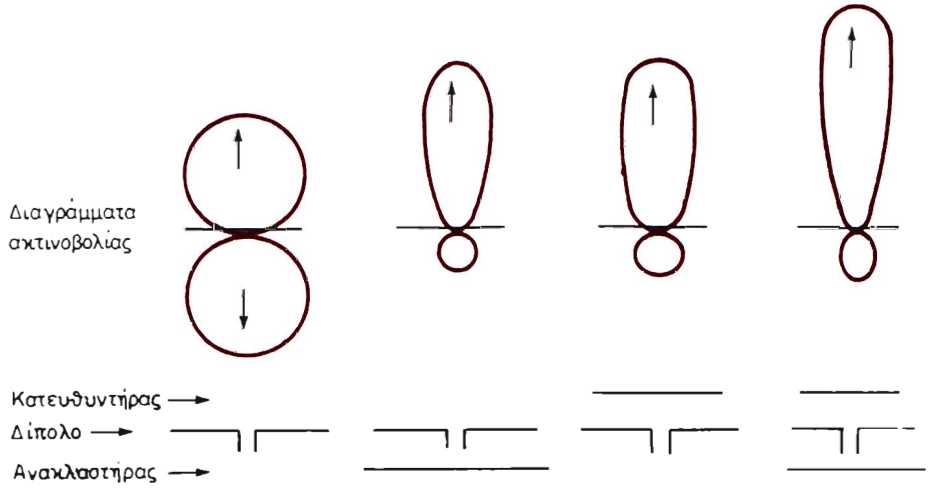
χει μικρότερο μήκος, παρουσιάζει χωρητική συμπεριφορά. Έτσι τα κύματα που ανακλώνται, ή προστίθενται ή αφαιρούνται από το πεδίο που δημιουργεί το τροφοδοτούμενο δίπολο.

Το μεγαλύτερο δίπολο λειτουργεί ως ανακλαστήρας στο τροφοδοτούμενο δίπολο, ενώ το μικρότερο ως κατευθυντήρας. Στο σχήμα 11.8ε φαίνεται η επίδραση των παρασιτικών διπόλων στο διάγραμμα ακτινοβολίας του τροφοδοτούμενου δίπολου. Όταν είναι μόνο το τροφοδοτούμενο δίπολο, σχηματίζεται το γνωστό διάγραμμα της μορφής 8 του απλού δίπολου (μήκους λ/2). Με την προσθήκη του ανακλαστήρα, αυτός διεγείρεται και δημιουργεί δικό του πεδίο, το οποίο προς τα πάνω είναι συμφασικό με το αρχικό, ενώ προς τα κάτω έχει διαφορά φάσεως 180°. Προς τα πάνω λοιπόν προστίθενται τα δύο πεδία ενώ προς τα κάτω αφαιρούνται. Έτσι προς τα πάνω θα σχηματίζεται λοβός με κατευθυντική ιδιότητα. Με την προσθήκη του κατευθυντήρα τα πεδία έναι συμφασικά προς τα πάνω και σχηματίζεται ο ίδιος λοβος. Με την προσθήκη κατευθυντήρα και ανακλαστήρα έχομε στενότερο καί μακρύτερο λοβό, πράγμα που σημαίνει μεγαλύτερη κατευθυντικότητα και κάλυψη μεγαλύτερης αποστάσεως.

Αν προσθέσομε περισσότερους κατευθυντήρες, ο λοβός γίνεται στενότερος και πιο μακρύς, με αποτέλεσμα να αυξάνει η κατεθυντικότητα της κεραίας και να καλύπτει μεγαλύτερες αποστάσεις. Η απόσταση των παρασιτικών διπόλων από το τροφοδοτούμενο καθώς και η διάμετρος των διπόλων μπορούν να μεταβάλλονται πειραματικά, για να δημιουργούνται τα καλύτερα αποτελέσματα. Για αύξηση της κατευθυντικότητας και της αποστάσεως μπορούν να προστεθούν μέχρι δέκα κατευθυντήρες. Η προσθήκη περισσότερων κατευθυντήρων δεν δημιουργεί καλύτερα αποτελέσματα.

Η αντίσταση ακτινοβολίας του απλού δίπολου είναι 73Ω, αλλά με την προσθήκη του ανακλαστήρα και των κατευθυντήρων η αντίσταση ακτινοβολίας μειώνεται, ανάλογα με τον αριθμό των στοιχείων. Η κεραία τροφοδοτείται με ομοαξονικό καλώδιο χαρακτηριστικής αντιστάσεως 65-70Ω.

Η κεραία Yagi μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως κεραία εκπομπής ή ως κεραία λήψεως με τις ίδιες κατευθυντικές ιδιότητες. Η κατεύθυνση προς την οποία εκπέμπει



Σχ. 11.8ε.
Μεταβολή του πεδίου με την επίδραση των παρασιτικών διπόλων.

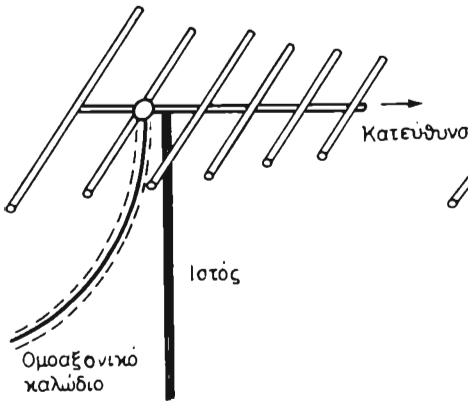
ή από την οποία παίρνει, είναι προς το μέρος των κατευθυντήρων.

Στο σχήμα 11.8στ φαίνεται η μορφή μιας κεραίας Yagi με τέσσερις κατευθυντήρες, το δίπολο της οποίας τροφοδοτείται με ομοαξονικό καλώδιο. Στο σχήμα 11.8ζ φαίνεται η μορφή μιας κεραίας δέκτη τηλεοράσεως η οποία αποτελεί παραλλαγή της κεραίας Yagi (Yagi-Uda). Η διαφορά είναι μόνο στο δίπολο, το οποίο ονομάζεται ***δίπολο με αναδίπλωση*** ή ***αναδιπλωμένο δίπολο.*** Έχει την ίδια συμπεριφορά με το απλό δίπολο, μόνο που η αντίστασή του είναι 300Ω αντί της 73Ω που έχει το απλό. Αυτό εξυπηρετεί στην περίπτωση του δέκτη τηλεοράσεως όπου η αντίσταση εισόδου, στη θέση της κεραίας, είναι 270-300Ω και χρησιμοποιείται το πλακέ καλώδιο των δύο αγωγών χαρακτηριστικής αντιστάσεως 270Ω. Τα 300Ω του αναδιπλωμένου δίπολου μειώνονται με την προσθήκη των στοιχείων μέχρι τα 240Ω περίπου.

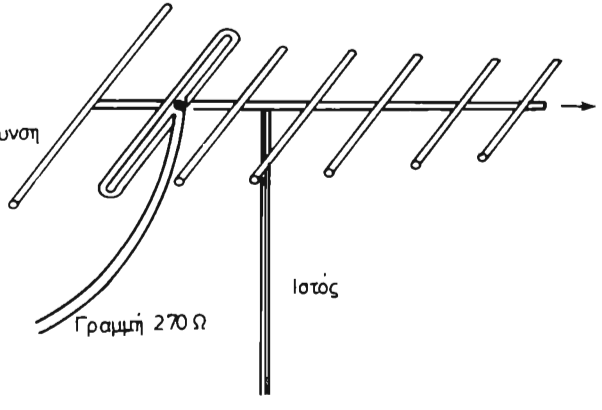
Το πεδίο της Yagi είναι πολωμένο όπως και στις άλλες κεραίες. Αν τα δίπολα είναι κάθετα προς τη γη, το πεδίο έχει κάθετη πόλωση, γιατί το ηλεκτρικό πεδίο είναι παράλληλο προς το δίπολο. Αν τα δίπολα είναι παράλληλα προς τη γη, το πεδίο έχει οριζόντια πόλωση.

Η κεραία του πομπού πρέπει να έχει κατεύθυνση προς τη θέση του δέκτη και η κεραία του δέκτη κατεύθυνση προς τη θέση του πομπού. Και οι δύο κεραίες πρέπει να είναι κάθετες ή οριζόντιες, ανάλογα με την πόλωση του πεδίου.

Η κεραία του πομπού της τηλεοράσεως δεν είναι κατευθυνόμενης εκπομπής, αλλά κυκλικής καλύψεως και είναι ειδικής κατασκευής.



Σχ. 11.8στ.
Κεραία YAGI.

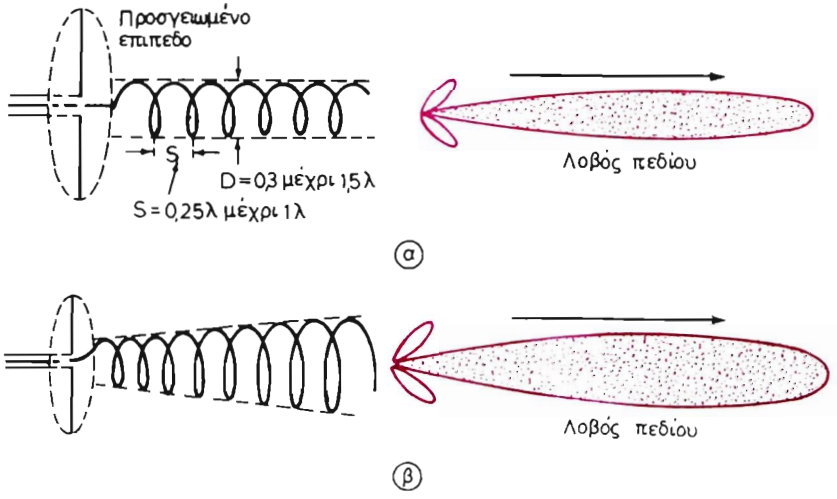


Σχ. 11.8ζ.
Κεραία δέκτη τηλεοράσεως.

δ) Ελικοειδής κεραία.

Η ελικοειδής κεραία έχει τη μορφή ελατηρίου και χρησιμοποιείται στην περιοχή των UHF. Κατασκευάζεται συνήθως από λεπτό σωληνάκι αλουμινίου. Αν η διάμετρος της περιελίξεως είναι πολύ μικρή σε σύγκριση με το μήκος κύματος, τότε δεν έχει κατευθυνόμενη εκπομπή. Όταν η διάμετρος της περιελίξεως πλησιάζει τις διαστάσεις του λ, παρουσιάζει εξαιρετική κατευθυντικότητα προς τον άξονα της περιελίξεως.

Η κεραία αυτή έχει το πλεονέκτημα ότι δεν παρουσιάζει πόλωση του πεδίου κά-



Σχ. 11.8η.
Παράσταση ελικοειδών κεραιών και διαγραμμάτων ακτινοβολίας.

θετη ή οριζόντια. Έχει κυκλική πόλωση. Αυτό αποτελεί πλεονέκτημα, γιατί το σήμα μπορεί να το λαμβάνει κεραία με οποιαδήποτε πόλωση, ακόμα και με κλίση που μπορεί να δημιουργηθεί από τις καιρικές συνθήκες. Λόγω αυτού του πλεονεκτήματος οι ελικοειδείς κεραίες μπορούν να χρησιμοποιηθουν στις ραδιοεπικοινωνίες μέσω δορυφόρων.

Ένα άλλο πλεονέκτημα της κεραίας αυτής είναι ότι μπορεί να χρησιμοποιηθεί για μεγάλη περιοχή συχνοτήτων, οι οποίες έχουν μήκος κύματος από 0,3 λ μέχρι 1,5 λ περίπου του βασικού της λ.

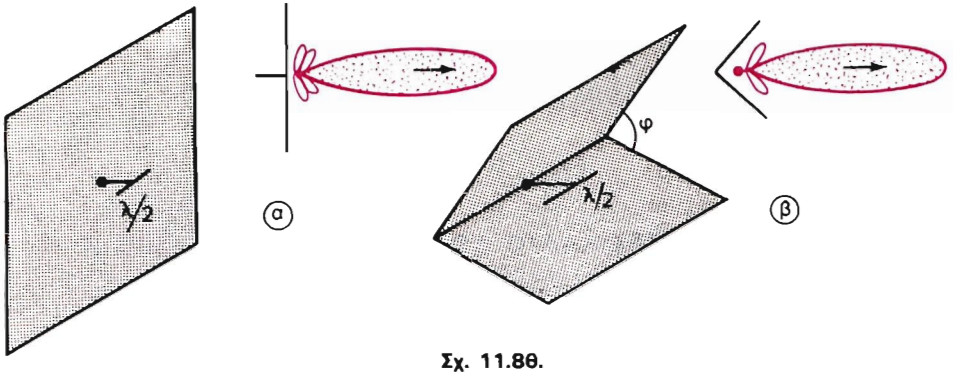
Η αντίσταση εισόδου και ακτινοβολίας είναι μεταξύ 100 και 200Ω, ανάλογα με το βήμα ελικώσεως (απόσταση σπειρών), τον αριθμό σπειρών ή το μήκος και τη διάμετρο της ελικώσεως.

Στο σχήμα 11.8η φαίνονται οι μορφές δύο ελικοειδών κεραιών με σταθερό βήμα ελικώσεως S και διάμετρο D, στο (α), και με μεταβαλλόμενο βήμα ελικώσεως S και διάμετρο D, στο (β).

ε) Κεραίες με ανακλαστήρα.

Στην περιοχή των UHF και στις υψηλές συχνότητες της περιοχής των VHF χρησιμοποιούνται και οι κεραίες με μεταλλικό ανακλαστήρα που μπορεί να είναι επίπεδος, δίεδρος ή παραβολικός. Στο σχήμα 11.8στ(α) φαίνεται ο επίπεδος μεταλλικός ανακλαστήρας και το δίπολο που τροφοδοτείται με ομοαξονικό καλώδιο. Η επιφάνεια του ανακλαστήρα πρέπει να είναι όσο το δυνατό μεγαλύτερη, 3-5 λ, για να έχομε καλή κατευθυντικότητα. Ο λοβός και η αντίσταση εισόδου της κεραίας μεταβάλλονται με την αποσταση του δίπολου από τον ανακλαστήρα.

Στο σχήμα 11.8θ(β) φαίνεται ο δίεδρος ανακλαστήρας με γωνία ανοίγματος 90° και το δίπολο. Η επιφάνεια του ανακλαστήρα πρέπει να είναι μεγάλη σε σχέση με το λ και μπορεί να είναι κατασκευασμένος από μεταλλικό πλέγμα. Ο λοβός του πεδίου και η αντίσταση της κεραίας μεταβάλλονται με την απόσταση του δίπολου από τον ανακλαστήρα και με τη γωνία του φ.

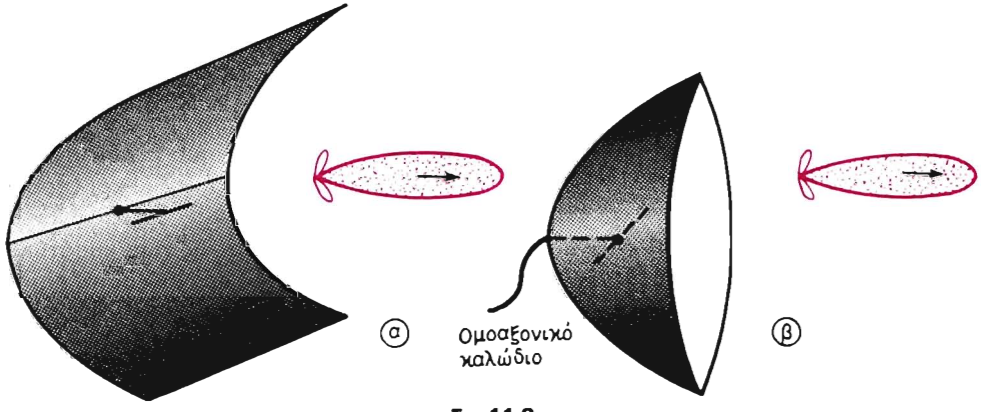


Σχ. 11.8θ.
Κεραίες με ανακλαστήρα: επίπεδο (α), δίεδρο (β) και τα διαγράμματα ακτινοβολίας.

Το εκπεμπόμενο πεδίο είναι πολωμένο ανάλογα με τη θέση του δίπολου προς τη γη.

Στην περιοχή 1-30 GC/S περίπου χρησιμοποιούνται τα παραβολικά κάτοπτρα που παρουσιάζουν μεγάλη κατευθυντικότητα. Στο σχήμα 11.8ι(α) φαίνεται παραστατικά ένα κυλινδρικό παραβολικό κάτοπρο, το οποίο μπορεί να χρησιμοποιεί ένα και περισσότερα δίπολα το ένα δίπλα στο άλλο. Στο σχήμα 11.8ι(β) φαίνεται ένα κυκλικό παραβολικό κάτοπτρο στο κέντρο του οποίου είναι το δίπολο.

Οι διαστάσεις του κατόπτρου είνα πολύ μεγαλύτερες σε σχέση με το λ, για να έ-



Σχ. 11.8ι.
Παραβολικά κάτοπτρα, κυλινδρικό α) και κυκλικό β) με τα διαγράμματα ακτινοβολίας.

χομε καλή κατευθυντικότητα. Η μορφή του λοβού και η τιμή της αντιστάσεως εισόδου μεταβάλλονται με τη γωνία του κατόπρου και με την απόσταση του δίπολου από την επιφάνεια του κατόπτρου.

Τα παραβολικά κάτοπτρα, και κυρίως τα κυκλικά, χρησιμοποιούνται πολύ στις τηλεπικοινωνίες του ΟΤΕ και στις τηλεπικοινωνίες μέσω των δορυφόρων, λόγω της μεγάλης κατευθυντικότητας και της μεγάλης αποδόσεώς τους. Αυτά τα κάτοπτρα χρησιμοποιούνται και σε υψηλότερες συχνότητες με τα ίδια αποτελέσματα. Θα μπορούσαμε να χρησιμοποιήσομε κάτοπτρα και στην περιοχή των βραχέων κυμάτων, αλλά οι διαστάσεις θα ήταν τέτοιες που η κατασκευή θα ήταν αδύνατη.

Στην περιοχή των μικροκυμάτων έχομε τις κεραίες χοάνης με ειδικό ανακλαστήρα, οι οποίες χρησιμοποιούνται στα radar, τις κεραίες σχισμής, τις κεραίες μονωτικού υλικού, καθώς και άλλα είδη κεραιών για την περιοχή των μικροκυμάτων.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΔΩΔΕΚΑΤΟ

ΔΙΑΔΟΣΗ ΗΛΕΚΤΡΟΜΑΓΝΗΤΙΚΩΝ ΚΥΜΑΤΩΝ

12.1 Γενικά.

Το ηλεκτρομαγνητικό κύμα που δημιουργείται στην κεραία του πομπού διαδίδεται στο χώρο με την ταχύτητα του φωτός για να φθάσει στην κεραία του δέκτη. Η μελέτη της πορείας που ακολουθούν τα ηλεκτρομαγνητικά κύματα και ο τρόπος με τον οποίο διαδίδονται αποτελούν το αντικείμενο ειδικού τομέα της ηλεκτρονικής, ο οποίος ασχολείται με τις τηλεπικοινωνίες.

Οι τρόποι διαδόσεως των κυμάτων απασχόλησαν τους επιστήμονες από την πρώτη εφαρμογή της ραδιοσυνδέσεως, από τον Marconi το 1896 με τα μακρά κύματα, μέχρι σήμερα που εφαρμόζονται τα μικροκύματα και οι ραδιοσυνδέσεις μέσω δορυφόρων.

Για τη μελέτη του τρόπου διαδόσεως χρησιμοποιούνται υπερσύγχρονες ηλεκτρονικές συσκευές που μας δίνουν πληροφορίες, που σε συνδυασμό με τις μετεωρολογικές παρατηρήσεις μας καθορίζουν τις συνθήκες διαδόσεως των ραδιοκυμάτων. Από τη βασική θεωρία και τις εξισώσεις του Maxwell που μελέτησε τις ιδιότητες του ηλεκτρομαγνητικού πεδίου, τα προβλήματα έχουν αυξηθεί και έχουν επεκταθεί σήμερα καλύπτοντας ένα μεγάλο τομέα.

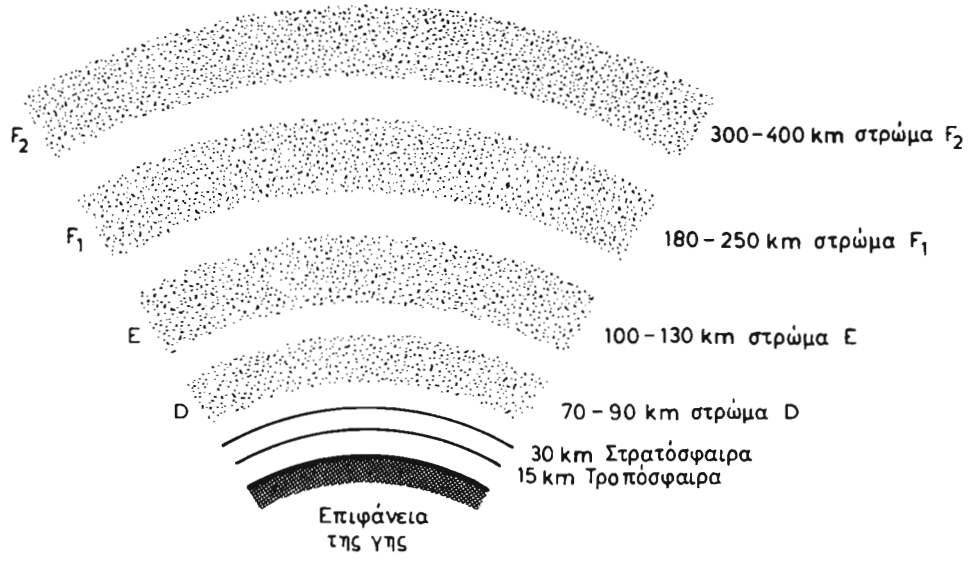
Στο κεφάλαιο αυτό θα αναφερθούν απλώς ο τρόπος διαδόσεως των κυμάτων στις διάφορες περιοχές των συχνοτήτων και τα φαινόμενα που εμφανίζονται κατά τη διάδοση των ραδιοκυμάτων. Η διάδοσή τους βέβαια δεν αποτελεί τόσο απλή υπόθεση, αλλά η βαθύτερη μελέτη δεν αποτελεί σκοπό του βιβλίου.

Τα ραδιοκύματα διαδίδονται με δύο κυρίως τρόπους. Ο ένας είναι πάνω από την επιφάνεια του εδάφους με τα κύματα εδάφους και ο άλλος είναι με ανάκλαση των κυμάτων από την ιονόσφαιρα, που είναι τα κύματα χώρου. Μετά από μια σύντομη περιγραφή των στρωμάτων της ατμόσφαιρας στην αρχή, θα αναφερθούν οι τρόποι διαδόσεως στις διάφορες περιοχές συχνοτήτων, οι οποίες αναφέρονται στην εισαγωγή του βιβλίου.

12.2 Ατμόσφαιρα — Ιονόσφαιρα.

Η ατμόσφαιρα είναι η αεριώδης μάζα που περιβάλλει τη γή. Με βάση τις θερμοκρασίες που επικρατούν στα διάφορα στρώματα, χωρίζεται στην τροπόσφαιρα, στρατόσφαιρα, μεσόσφαιρα και θερμόσφαιρα. Για τη διάδοση των ραδιοκυμάτων ενδιαφέρον παρουσιάζουν η τροπόσφαιρα και μεσόσφαιρα, καθώς και τμήμα της θερμόσφαιρας στο οποίο ανήκει η ιονόσφαιρα. Στο σχήμα 12.2 φαίνονται οι διάφορες περιοχές της ατμόσφαιρας.

ΙΔΡΥΜΑ ΕΥΓΕΝΙΔΟΥ 1956



Σχ. 12.2.
Κατανομή των περιοχών της ατμόσφαιρας.

Σε ύψος μέχρι 15 km από την επιφάνεια της θάλασσας εκτείνεται η τροπόσφαιρα, που αποτελείται κυρίως από οξυγόνο σε ποσοστό 21% και από άζωτο σε ποσοστό 78%. Στην τροπόσφαιρα έχομε ακόμη διοξείδιο του άνθρακα, υδρατμούς και λεπτό κονιορτό από διάφορα σωματίδια. Στην τροπόσφαιρα δημιουργούνται τα διάφορα καιρικά φαινόμενα, τα οποία, με την ανομοιογένεια του δείκτη διαθλάσεως που προκαλεί τροποσφαιρική σκέδαση, επιδρούν στη διάδοση των κυμάτων.

Πάνω από την τροπόσφαιρα και σε ύψος μέχρι 30 km εκτείνεται η στρατόσφαιρα, η οποία στο κάτω μέρος αποτελείται από το όζον και από υδρατμούς σε μικρή ποσότητα. Τα άλλα αέρια είναι οξυγόνο σε πολύ μικρή ποσότητα, υδρογόνο και άζωτο.

Από τα 30 km μέχρι τα 80 km υπάρχει η μεσόσφαιρα με την ίδια περιεκτικότητα αερίων. Πάνω από τα 80 km και μέχρι τα 600 km περίπου εκτείνεται η θερμόσφαιρα, που περιέχει κυρίως ευγενή αέρια και στην οποία σχηματίζονται οι ζώνες της ιονόσφαιρας.

Οι ζώνες της ιονόσφαιρας σχηματίζονται σε διάφορα ύψη και έχουν διάφορο πάχος. Το ύψος και το πάχος τους μεταβάλλεται κατά τη διάρκεια του εικοσιτετραώρου και του έτους. Στην ιονόσφαιρα προκαλείται ιονισμός των ατόμων των αερίων, με την επίδραση της υπεριώδους κυρίως ακτινοβολίας του ήλιου και δημιουργούνται ελεύθερα ηλεκτρόνια και ιόντα. Έτσι το ιονισμένο αυτό στρώμα παρουσιάζει αυξημένη αγωγιμότητα και μπορεί να προκαλέσει απορρόφηση ή ανάκλαση του ηλεκτρομαγνητικού κύματος, ανάλογα με τη γωνία που σχηματίζεται κατά την πρόσπτωση του κύματος στην επιφάνεια του στρώματος.

Σε ύψος 70-90 km περίπου σχηματίζεται το πρώτο στρώμα της ιονόσφαιρας D. Το στρώμα αυτό σχηματίζεται κατά τη διάρκεια της ημέρας οπότε είναι έντονη η δράση του ήλιου, ενώ κατά τη νύχτα δεν υπάρχει. Αυτό το στρώμα επιδρά στη διά-

δοση των μακρών κυμάτων. Περιέχει 1000-10000 περίπου ελεύθερα ηλεκτρόνια ανά cm^3 αερίου.

Σε ύψος 90-120 km περίπου σχηματίζεται το στρώμα Ε που παρουσιάζει μεγαλύτερη αγωγιμότητα, γιατί υφίσταται εντονότερη επίδραση της ακτινοβολίας του ήλιου. Η πυκνότητα των ηλεκτρονίων ανά cm^3 είναι περίπου 2.10^5e κατά την ημέρα και περίπου 10^3e κατά τη νύχτα. Το στρώμα αυτό ονομάζεται και στρώμα Kennely-Heaviside προς τιμή των ερευνητών που πρώτοι το μελέτησαν και το απόδειξαν. Το πάχος του μεταβάλλεται κατά τη διάρκεια της ημέρας και τους έτους.

Πάνω από το στρώμα Ε βρίσκεται το στρώμα F σε ύψος που κυμαίνεται από 200-400 km περίπου. Το πάχος του μεταβάλλεται κατά τη διάρκεια του εικοσιτετραώρου και του έτους, με μέσο πάχος περίπου 200 km. Την ημέρα διαιρείται σε δύο στρώματα, το F_1 και το F_2 από τα οποία το πρωτο βρίσκεται σε ύψος περίπου 180-250 km και το δεύτερο σε 300-400 km. Τη νύχτα το F_1 και το F_2 δεν διαχωρίζονται, αλλά σχηματίζουν το στρώμα F σε ύψος 300 km περίπου. Ο ιονισμός στα στρώματα αυτά είναι εντονότερος, γιατί δέχονται μεγαλύτερη επίδραση της ακτινοβολίας του ήλιου και η πυκνότητα των ηλεκτρονίων σ' αυτά φθάνει σε 2.10^6e περίπου ανά cm^3 την ημέρα και σε 10^5e ανά cm^3 τη νύχτα.

Τα στρώματα της ιονόσφαιρας παρουσιάζουν παρά πολύ μεγάλο ενδιαφέρον για τις ραδιοσυνδέσεις και γι' αυτό υπάρχουν ειδικοί πίνακες, που σχηματίσθηκαν από μετρήσεις και αναφέρουν το ύψος, το πάχος και το δείκτη ιονισμού των στρωμάτων, κατά τη διάρκεια των εποχών του έτους και κατά τη διάρκεια του εικοσιτετραώρου.

12.3 Διάδοση με κύματα πάνω από το έδαφος.

Με τον τρόπο αυτό της διαδόσεως το κύμα, καθώς εκπέμπεται από τον πομπό για να φθάσει στο δέκτη, κινείται παράλληλα με την επιφάνεια του εδάφους σαν να «γλυστράει» πάνω σ' αυτό ακολουθώντας την καμπυλότητά του και τις εξάρσεις του. Γι' αυτό και λέγεται ***κύμα εδάφους.***

Η απόσταση που μπορεί να καλύψει το κύμα εδάφους εξαρτάται από τη συχνότητα του ραδιοκύματος, από την ισχύ του πομπού και από τη μορφολογία και τη σύσταση του εδάφους. Το έδαφος μπορεί να συμπεριφέρεται σαν μονωτικό ή σαν αγωγός, ανάλογα με την υγρασία του και την περιεκτικότητά του σε αγώγιμα υλικά και να απορροφά λιγότερο ή περισσότερο την ενέργεια των ραδιοκυμάτων. Η ηλεκτρομαγνητική ενέργεια απορροφάται από τη γή, γιατί, καθώς εισέρχεται στο έδαφος δημιουργεί δινορεύματα, τα οποία είναι μια καθαρή απώλεια. Όσο αυξάνει η συχνότητα τόσο η απορρόφηση είναι εντονότερη, με αποτέλεσμα το κύμα να μη φθάνει σε μεγάλες αποστάσεις.

Τα μακρά κύματα με το κύμα εδάφους μπορούν να καλύψουν μεγάλες αποστάσεις που φθάνουν μέχρι 1000 km κατά την ημέρα και τη νύχτα, με ελαφρή μείωση της αποστάσεως κατά τη νύχτα, επειδή δεν υπάρχει το στρώμα D της ιονόσφαιρας που επιδρά στη διάδοση των κυμάτων αυτών.

Τα μεσαία κύματα υφίστανται μεγαλύτερη απορρόφηση από τη γη. Γι' αυτό καλύπτουν μικρότερες αποστάσεις που φθάνουν τα 200-300 km κατά την ημέρα. Την ημέρα τα μεσαία κύματα εξασθενούν και λόγω απορροφήσεώς τους από το στρώμα D. Γι' αυτό τη νύχτα ο αριθμός των εκπομπών που λαμβάνει ένας δέκτης αυξάνει. Τη νύχτα έχομε και ιονοσφαιρικό κύμα.

Στην περιοχή των βραχέων κυμάτων η απορρόφηση του κύματος από το έδαφος είναι πολύ έντονη. Έτσι το κύμα εδάφους μειώνεται γρήγορα και καλύπτει πολύ μικρές αποστάσεις. Βέβαια στις παραπάνω περιπτώσεις, μεγάλο ρόλο παίζει και η ισχύς του πομπού. Κύμα μικρής ισχύος καλύπτει μικρότερη απόσταση από ένα κύμα μεγαλύτερης ισχύος.

Η καμπυλότητα της γης και η μορφή του εδάφους επιδρούν στη διάδοση των κυμάτων. Η καμπυλότητα (σφαιρικότητα) της γης δεν έχει μεγάλη επίδραση στα μακρά και μεσαία κύματα, τα οποία ακολουθούν τη καμπυλότητα της γης για μεγάλες αποστάσεις. Η καμπυλότητα της γης δημιουργεί προβλήματα στα VHF, όπου η διάδοση είναι ευθύγραμμη και με την καμπυλότητα μειώνεται η απευθείας οπτική επαφή της κεραίας του πομπού με την κεραία του δέκτη. Για να ξεπερασθεί η επίδραση της καμπυλότητας, οι κεραίες των πομπών και των δεκτών τοποθετούνται στα υψηλότερα δυνατά σημεία όπως είναι οι βουνοκορφές.

Η μορφολογία του εδάφους συμβάλει σημαντικά στη διάδοση του κύματος εδάφους. Έτσι πίσω από ένα απότομα ψηλό βουνό θα σχηματίζεται «σκιά» , γιατί το κύμα μετά την κορυφή του βουνού θα συνεχίσει την πορεία του με μικρότερη γωνία από αυτή που έχει η κατηφοριά του βουνού. Η επίδραση αυτή είναι πολύ εντονότερη στην περιοχή των βραχέων και υπερβραχέων κυμάτων και όσοι δέκτες βρίσκονται στη «σκιά» δεν λαμβάνουν το κύμα.

Η σύσταση του εδάφους συμβάλλει επίσης στη διάδοση του κύματος εδάφους. Ανάλογα με τη διηλεκτρική του σταθερά και την αγωγιμότηταά του, το έδαφος προκαλεί μεγάλη ή μικρή απορρόφηση στο κύμα. Η απορρόφηση μεταβάλλεται από τον ένα τόπο στον άλλο για την ιδια σύσταση του εδάφους, καθώς και κατά τη διάρκεια της ημέρας και των εποχών. Η απορρόφηση είναι μεγάλη σε περιοχές όπου το κύμα μπορεί να εισέρχεται σε μεγάλο βάθος. Πάνω από τη θάλασσα το κύμα διαδίδεται με μικρή απόσβεση. Αν ο πομπός βρίσκεται στην ξηρά και εκπέμπει προς τη θάλασσα, πάνω από τη θάλασσα έχομε μικρή απόσβεση. Αντίθετα, όταν ο πομπός είναι στη θάλασσα και εκπέμπει προς τη ξηρά, η απόσβεση είναι εντονότερη.

Η απορρόφηση του εδάφους μεταβάλλεται ανάλογα με την επιφάνειά του. Αν δηλαδή έχομε κατοικημένη ή δασώδη ή βιομηχανική περιοχή μεγάλης εκτάσεως. Οι τύποι που χρησιμοποιούνται για να υπολογισθεί η ένταση του πεδίου σε μια δεδομένη απόσταση για δεδομένη ισχύ πομπού και συχνότητα, δεν δίνουν σταθερά αποτελέσματα. Μια σχέση π.χ. που μας δίνει την ένταση E του ηλεκτρικού πεδίου σε μV/m (για πεδίο κάθετο προς την επιφάνεια της γης) είναι η:

$$E = \frac{3 \cdot 10^5 \sqrt{W}}{r} \cdot f(p) \qquad (12.1)$$

όπου W η ισχύς του εκπεμπόμενου κύματος, r η απόσταση σε km και p μια παράμετρος που εξαρτάται από τη διηλεκτρική σταθερά του εδάφους, την αγωγιμότητά του και τη συχνότητα του κύματος.

Στην περιοχή των μακρών και μεσαίων κυμάτων έχομε μικρή επιδραση με την κατάσταση της τροπόσφαιρας. Επειδή τα κύματα αυτών των περιοχών καλύπτουν μεγάλες αποστάσεις, η κατάσταση της τροπόσφαιρας σ' αυτά επιδρά ελάχιστα. Επίδραση της καταστάσεως της τροπόσφαιρας έχομε στην περιοχή των υπερβραχέων κυμάτων και των μικροκυμάτων, όπου η βροχή, οι χιονοπτώσεις, το χαλάζι

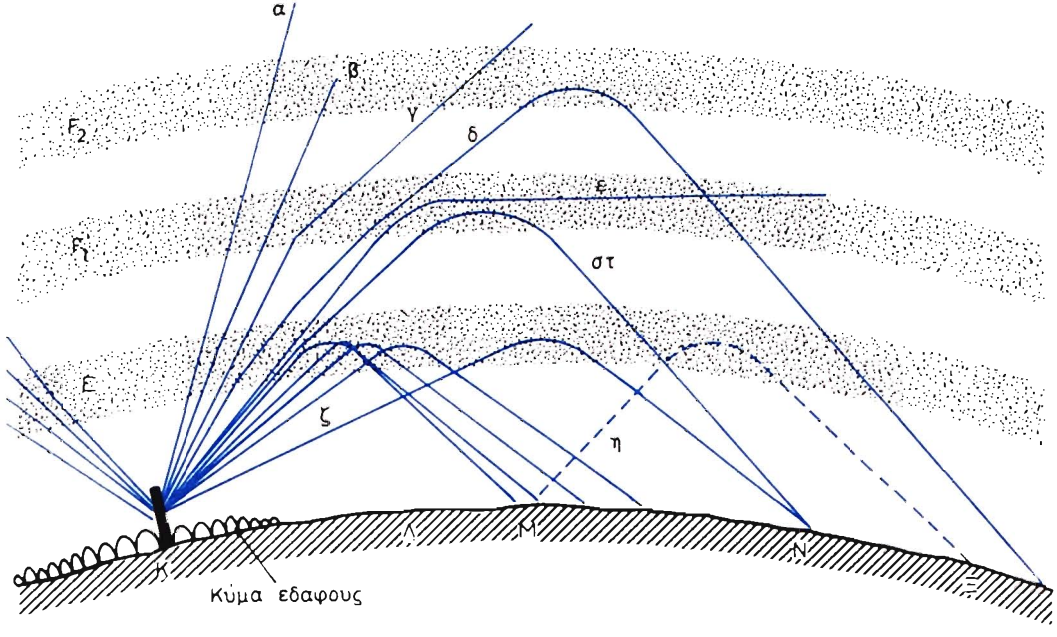
και οι θύελλες μεταβάλλουν το δείκτη διαθλάσεως, ο οποίος επιδρά στην διάδοση των κυμάτων των περιοχών αυτών, όπως θα δούμε σε επόμενη παράγραφο.

12.4 Διάδοση με κύματα χώρου.

Από την ηλεκτρομαγνητική ενέργεια που εκπέμπεται από την κεραία του πομπού, ένα μέρος, το κύμα εδάφους, ακολουθεί την επιφάνεια του εδάφους και ένα μέρος εκπέμπεται προς τα ανώτερα στρώματα της ατμόσφαιρας, όπου συναντά την ιονόσφαιρα, ανακλάται και επιστρέφει στην επιφάνεια του εδάφους. Αυτά τα κύματα, τα οποία προέρχονται από την ιονόσφαιρα, είναι τα κύματα χώρου και παρουσιάζουν ιδιαίτερο ενδιαφέρον γιατί καλύπτουν πολύ μεγάλες αποστάσεις ράδιοεπικοινωνίας.

Στην παράγραφο 12.2 έγινε περιγραφή της ιονόσφαιρας και της μεγάλης αγωγιμότητας που παρουσιάζει. Μπορούμε να πούμε ότι συμπεριφέρεται σαν μια μεταλλική επιφάνεια που μπορεί να προκαλέσει ανάκλαση σε μια δέσμη ηλεκρομαγνητικού κύματος που θα πέσει πάνω σ' αυτή.

Στο σχήμα 12.4 φαίνεται παραστατικά η ακτινοβολία ραδιοκυμάτων από μια κάθετη κεραία Κ προς όλες τις κατευθύνσεις. Για χαμηλές συχνότητες έχομε κυρίως το κύμα εδάφους και για συχνότητες μέχρι 300 kc/s το κύμα χώρου, το οποίο ανακλάται από το στρώμα D. Τα μεσαία κύματα της περιοχή 1-3 Mc/s εχουν κύμα εδάφους αλλά ανακλώνται και από την ιονόσφαιρα από το στρώμα Ε κατά τη νύχτα, ενώ την ημέρα απορροφώνται από το στρώμα D. Στο σχήμα φαίνονται διάφορες τροχιές των ραδιοκυμάτων και οι γωνίες προσπτώσεως στα στρώματα Ε, F_1 και F_2.



Σχ. 12.4.
Η διάδοση των ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων.

Μια δέσμη α πέφτει σχεδόν κάθετα στα στρώματα της ιονόσφαιρας, τα διαπερνά και χάνεται στο άπειρο. Το ίδιο συμβαίνει και για τις δέσμες β και γ. Η δέσμη δ διαπερνά τα στρώματα Ε και F_1 και ανακλάται από το στρώμα F_2 φθάνοντας στο μακρινό σημείο Ξ. Μια άλλη δέσμη υφίσταται ολική διάθλαση στο στρώμα F_1 και απορροφάται από αυτό. Η δέσμη στ ανακλάται από το στρώμα F_1 και φθάνει στο σημείο Ν. Οι δέσμες ζ ανακλώνται από το στρώμα Ε και φθάνουν στην περιοχή Μ. Μερικές δέσμες μπορεί να ανακλασθούν από την επιφάνεια της γης, να φθάσουν στο στρώμα Ε και να ανακλασθούν πάλι προς τη γή, όπως φαίνεται με τη δέσμη η.

Τα μεσαία κύματα της περιοχής περίπου των 2 Mc/s ανακλώνται από το στρώμα Ε και από το στρώμα F_1, ανάλογα με τη γωνία προσπτώσεως στα στρώματα Ε και F_1. Τα βραχέα ανακλώνται από το στρώμα F_1 και κυρίως από το F_2 που παρουσιάζει τη μεγαλύτερη αγωγιμότητα.

Αν ένα κύμα μπορεί να διαπεράσει τα στρώματα της ιονόσφαιρας ή να ανακλασθεί από αυτά ή να υποστεί μόνο διάθλαση και να απορροφηθεί, καθορίζεται από τη γωνία προσπτώσεως, το μήκος κύματος και το δείκτη διαθλάσεως του στρώματος. Τα βραχέα κύματα ανακλώνται από το στρώμα F_2, γιατί αυτό έχει μεγαλύτερο δείκτη διαθλάσεως. Τα υπερβραχέα διαπερνούν όλα τα στρώματα της ιονόσφαιρας και χάνονται στο άπειρο.

Κατά τη διάρκεια της ημέρας τα στρώματα Ε και F_1 έχουν μεγάλη αγωγιμότητα λόγω της επιδράσεως του ήλιου. Έτσι τα κύματα ανακλώνται σ' αυτό το στρώμα, το άλμα της ανακλάσεως είναι μικρό και το κύμα δεν φθάνει σε μεγάλη απόσταση (περιοχή Μ). Τη νύχτα τα στρώματα Ε και F_1 έχουν μικρό δείκτη διαθλάσεως και μικρή αγωγιμότητα, ενώ το F_2 έχει μεγάλη. Τα κύματα διαπερνούν τα στρώματα Ε και F_1 και ανακλώνται από το στρώμα F_2. Το άλμα της ανακλάσεως είναι πολύ μεγαλύτερο τώρα και το κύμα φθάνει σε πολύ μεγαλύτερη απόσταση (περιοχή Ξ).

Επειδή ο ιονισμός της ιονόσφαιρας μεταβάλλεται κατά τη διάρκεια του εικοσιτετραώρου, και των εποχών του έτους και ανάλογα με τις περιοχές της γης (προς τους πόλους ή προς τον ισημερινό), υπάρχουν ειδικοί πίνακες, οι οποίοι καθορίζουν τη συχνότητα που πρέπει να χρησιμοποιείται για την κάλυψη μιας ραδιοσυνδέσεως σε καθορισμένη ώρα.

Όταν το κύμα διέρχεται από την ιονόσφαιρα υφίσταται μικρή απόσβεση και μετάθεση φάσεως, που εξαρτάται από το μήκος κύματος και από την αγωγιμότητα του στρώματος. Στις ραδιοεπικοινωνίες παρουσιάζονται διάφορα φαινόμενα που οφείλονται κυρίως στα κύματα χώρου και λιγότερο στα κύματα εδάφους και στην τροπόσφαιρα. Αυτά είναι:

α) Ζώνες σιγής.

Στο σχήμα 12.4 παρατηρούμε ότι το κύμα εδάφους καλύπτει την απόσταση Κ μέχρι Λ, η οποία είναι περιφέρεια κύκλου περίπου γύρω από την κεραία εκπομπής, σε περίπτωση κάθετης κεραίας. Τα πρώτα κύματα χώρου εμφανίζονται από το σημείο Μ και πέρα, καλύπτοντας τη περιοχή Μ. Στην περιοχή από το Λ μέχρι το Μ δεν έχομε ούτε κύμα εδάφους αλλά ούτε και κύμα χώρου. Η περιοχή αυτή λέγεται ***ζώνη σιγής*** και περιβάλλει την περιοχή του πομπού σαν μια πλατιά ζώνη. Οι δέκτες που βρίσκονται στη ζώνη αυτή δεν λαμβάνουν το σήμα του πομπού. Οι ζώνες σιγής δημιουργούνται στην περιοχή των βραχέων κυμάτων, ενώ στην περιοχή των μακρών και μεσαίων δεν εμφανίζονται. Προκειμένου για ραδιοεπικοινωνία των πλοίων, όταν ένα πλοίο βρεθεί σε ζώνη σιγής ενός συγκεκριμένου πομπού, δεν είναι δυνατό να λάβει το σήμα του πομπού αυτού.

β) Διαλείψεις.

Σε πολλές περιπτώσεις το κύμα εδάφους μπορεί να φθάσει και μέχρι την περιοχή Μ όπου φθάνει και το κύμα χώρου, με αποτέλεσμα τα δύο κύματα να ***συμβάλλουν.*** Όταν τα κύματα είναι συμφασικά η ένταση του πεδίου αυξάνει και ο δέκτης έχει καλύτερη λήψη. Όταν όμως τα δύο σήματα έχουν διαφορά φάσεως θα αφαιρούνται, η ένταση του πεδίου θα μειώνεται και ο δέκτης θα λαμβάνει μικρότερο σήμα. Πολλές φορές η φάση του κύματος χώρου μεταβάλλεται καθώς μεταβάλλεται ο ιονισμός του στρώματος και μπορεί η ανάκλαση να γίνεται πότε σε μεγαλύτερο και πότε σε μικρότερο ύψος. Έτσι το σήμα στην είσοδο πότε θα αυξάνει και πότε θα μειώνεται, με αποτέλεσμα την αυξομείωση της εντάσεως του ήχου στο μεγάφωνο. Το δυσάρεστο αυτό αποτέλεσμα μειώνεται αρκετά με τη δράση του AGC του δέκτη. Φαινόμενα διαλείψεων μπορεί να έχομε και στην περιοχή Ν, όπου φθάνει σήμα από το στρώμα Ε και σήμα από το στρώμα F_1, οπότε θα εμφανίζεται πάλι μεταβαλλόμενη διαφορά φάσεως που θα αυξομειώνει το ολικό σήμα στην είσοδο του δέκτη.

Οι περιοχές όπου εμφανίζονται οι διαλείψεις λέγονται ***ζώνες διαλείψεων.*** Σε περίπτωση μόνιμων εγκαταστάσεων λήψεως εφαρμόζεται η μέθοδος ***διαφορικής λήψεως*** για τη μείωση του δυσάρεστου αποτελέσματος των διαλείψεων.

Τοποθετούνται τότε δύο κεραίες με απόσταση μεταξύ τους μερικά μήκη κύματος. Οι δύο κεραίες τροφοδοτούν με σήμα τον ίδιο δέκτη. Όταν το σήμα της μιας κεραίας μπορεί να μειώνεται με τη φασική διαφορά, στην άλλη μπορεί να αυξάνει από την ίδια αιτία. Έτσι η μέση τιμή του σήματος έχει περίπου σταθερή τιμή στην είσοδο του δέκτη και δεν εμφανίζονται οι αυξομειώσεις της εντάσεως του ήχου.

γ) Ιονοσφαιρικές θύελλες.

Όπως αναφέρθηκε, ο ιονισμός της ιονόσφαιρας μεταβάλλεται κατά τη διάρκεια του εικοσιτετραώρου και κατά τη διάρκεια του έτους, με αποτέλεσμα να μεταβάλλεται ο δείκτης διαθλάσεως και ο δείκτης απορροφήσεως της ιονόσφαιρας. Μεταβάλλεται έτσι η περιοχή των συχνοτήτων που μπορούν να ανακλασθούν από τα διάφορα στρώματα της ιονόσφαιρας.

Έντονες μεταβολές στο δείκτη ιονισμού επιφέρουν διαταραχή στις επικοινωνίες κατά μεγάλα ή μικρά διαστήματα, τα οποία ονομάζονται ***ιονοσφαιρικές θύελλες.*** Αυτές παρατηρούνται κατά τη διάρκεια της έντονης αυξομειώσεως του μαγνητικού πεδίου της γης. Η ιονοσφαιρικές θύελλες πρέπει να οφείλονται στην έντονη δράση του ήλιου, γιατί παρατηρούνται κατά την περίοδο της έντονης δραστηριότητάς του, κατά την οποία εμφανίζεται η διαταραχή του μαγνητικού πεδίου της γης και παρουσιάζεται το σέλας στους πόλους της γης, όπου το μαγνητικό της πεδίο είναι εντονότερο.

Κατά την περίοδο της ιονοσφαιρικής θύελλας ο δείκτης ιονισμού της ιονόσφαιρας παρουσιάζει μεγάλη αστάθεια και κυρίως προς τις περιοχές των πόλων της γης. Παρατηρείται διακοπή των ραδιοσυνδέσεων για συχνότητες από 2-20 Mc, που είναι εντονότερη στην περιοχή των πόλων και ασθενέστερη στην περιοχή του ισημερινού. Το στρώμα F_2 σχηματίζεται σε ύψος 500 km περίπου, ενώ συγχρόνως αυξάνει η περιεκτικότητα του στρώματος D σε ηλεκτρόνια με αποτέλεσμα την ισχυρή απορρόφηση των ραδιοκυμάτων από αυτό. Η ιονοσφαιρική θύελλα μπορεί να διαρκεί από μερικές ημέρες μέχρι και ένα μήνα, με έντονες ενδιάμεσες

διαταραχές που διαρκούν από λίγα λεπτά μέχρι και μερικές ώρες.

Στην έντονη ηλιακή δραστηριότητα οφείλεται και η απότομη διακοπή της ραδιοσυνδέσεως που εμφανίζεται κατά τη διάρκεια της ημέρας στην περιοχή του ισημερινού και κατά τη διάρκεια του εικοσιτετραώρου στην περιοχή των πόλων. Η διακοπή είναι απότομη και διαρκεί από μερικά λεπτά μέχρι και λίγες ώρες. Μετά η ραδιοσύνδεση επανέρχεται σιγά-σιγά. Κατά την περίοδο της διακοπής παρατηρείται ταυτόχρονα διαταραχή του μαγνητικού πεδίου της γης και έντονη υπεριώδης ακτινοβολία του ήλιου.

12.5 Επίδραση της συχνότητας στον τρόπο διαδόσεως.

Όπως αναφέρθηκε στις προηγούμενες παραγράφους, τα κύματα διαδίδονται με διάφορο τρόπο, ανάλογα με τη συχνότητα. Τα μακρά κύματα (LF), διαδίδονται αποκλειστικά στην επιφάνεια του εδάφους και στην τροπόσφαιρα, από την οποία υφίστανται πολύ μικρή απορρόφηση. Έτσι τα μακρά κύματα καλύπτουν πολύ μεγάλες αποστάσεις, ανάλογα με την ισχύ του πομπού. Τα μεσαία κύματα (MF) διαδίδονται με τα κύματα εδάφους και με τα κύματα χώρου. Στη χαμηλή περιοχή των 300 kc η απορρόφησή της γης είναι μικρή και το κύμα εδάφους καλύπτει μεγάλη απόσταση. Καθώς αυξάνει η συχνότητα, αυξάνει και η απορρόφηση του εδάφους, αλλά με την ανάκλαση του κύματος στο στρώμα Ε, αρχίζει να εμφανίζεται και το κύμα χώρου. Στην περιοχή των 3 Mc η διάδοση γίνεται κυρίως με το κύμα χώρου, αλλά έχομε και διάδοση με κύμα πάνω από την επιφάνεια της θάλασσας, η οποία καλύπτει μεγάλες αποστάσεις. Η απόσταση ραδιοεπικοινωνίας μεταβάλλεται κατά τη διάρκεια του εικοσιτετραώρου και τη νύχτα γίνεται μεγαλύτερη λόγω του κύματος χώρου. Στην ανώτερη περιοχή συχνοτήτων αρχίζει να εμφανίζεται το φαινόμενο των διαλείψεων. Στην περιοχή των μεσαίων κυμάτων είναι δύσκολο να έχομε κατευθυνόμενη εκπομπή, λόγω του μεγάλου μήκους των διπόλων.

Στην περιοχή των βραχέων κυμάτων (HF), η διάδοση γίνεται μόνο με κύματα χώρου, γιατί το κύμα εδάφους απορροφάται έντονα από το έδαφος και δεν φθάνει σε μεγάλη απόσταση. Επειδή όμως έχομε ανάκλαση από την ιονόσφαιρα, καλύπτονται πολύ μεγάλες αποστάσεις. Η χαμηλή περιοχή των 3-6 Mc ανακλάται από το στρώμα Ε, ενώ οι υψηλότερες συχνότητες από το στρώμα F. Στην περιοχή των βραχέων εμφανίζονται οι ζώνες σιγής. Η απόσταση επικοινωνίας μεταβάλλεται κατά τη διάρκεια του εικοσιτετραώρου και του έτους. Επίσης η απόσταση μεταβάλλεται και με τη συχνότητα. Έτσι την ίδια στιγμή μπορεί να έχομε πολύ καλή επικοινωνία μεταξύ των πλοίων σε μια συχνότητα και πολύ κακή σε μιαν άλλη. Στην περιοχή των βραχέων μπορεί να έχομε κατευθυνόμενη εκπομπή με τις ρομβικές κεραίες.

Στην περιοχή των υπερβραχέων κυμάτων (VHF) η διάδοση γίνεται στην τροπόσφαιρα με ευθύγραμμη διάδοση, όπως και το φως και πρέπει να υπάρχει ***οπτική επαφή*** μεταξύ της κεραίας του πομπού και της κεραίας του δέκτη. Στη χαμηλή περιοχή των 30-40 Mc, η επικοινωνία μπορεί να γίνει και με κύματα χώρου, αλλά οι υψηλότερες συχνότητες διαπερνούν την ιονόσφαιρα και χάνονται στο άπειρο. Τα κύματα εδάφους απορροφώνται έντονα και έτσι η διάδοση γίνεται μέσω της τροπόσφαιρας. Σ' αυτή την περιοχή η επικοινωνία μπορεί να γίνεται και με κατευθυνόμενη εκπομπή με τις κεραίες Yagi ή με κεραίες που έχουν ανακλαστήρα. Για να έ-

χομε οπτική επαφή στις κεραίες αυτές πρέπει να τοποθετούνται στα υψηλότερα δυνατά σημεία, για να καλύπτουν την καμπυλότητα της γης και τα φυσικά ή τεχνητά εμπόδια (βουνά, σπίτια, τεχνικές εγκαταστάσεις κλπ.), γιατί εδώ το φαινόμενο της σκιάς εμφανίζεται αρκετά έντονο. Επίσης, με την τοποθέτηση των κεραιών εκπομπής και λήψεως σε πολύ υψηλά σημεία, αυξάνει η εμβέλεια του πομπού και επομένως η απόσταση ραδιεπικοινωνίας. Μια απλή εφαρμογή να υπάρξει τέτοιο αποτέλεσμα, αποτελεί η τοποθέτηση των κεραιών της τηλεοράσεως του πομπού και του δέκτη στα υψηλότερα σημεία, ώστε να υπάρχει οπτική επαφή και μεγάλη εμβέλεια για καλύτερη λήψη και σε όσο το δυνατό μεγαλύτερη απόσταση.

Ότι ισχύει για την περιοχή των VHF ισχύει και για την περιοχή των UHF, τα οποία χρησιμοποιούνται πάρα πολύ στις ραδιοεπικοινωνίες του ΟΤΕ κυρίως σε κατευθυνόμενη εκπομπή με κατοπτρικές κεραίες.

12.6 Επίδραση της τροπόσφαιρας στη διάδοση των ΛΥΣ.

Στη διάδοση των λίαν υψηλών συχνοτήτων (ΛΥΣ) και μικροκυμάτων, η τροπόσφαιρα έχει μεγάλη επίδραση επειδή σ' αυτήν συμβαίνουν όλα τα μετεωρολογικά φαινόμενα. Η πίεση, η θερμοκρασία, η υγρασία και η σκόνη, που αποτελείται από διάφορα ελάχιστα σωματίδια, καθορίζουν το δείκτη διαθλάσεως της τροπόσφαιρας.

Η ταχύτητα διαδόσεως των ραδιοκυμάτων είναι αντίστροφη προς το δείκτη διαθλάσεως της ατμόσφαιρας και τα ραδιοκύματα υφίστανται διάθλαση κατά την «ευθύγραμμη» διαδοσή τους. Ο δείκτης διαθλάσεως μεταβάλλεται με την αύξηση του ύψους και με την κατάσταση της ατμόσφαιρας. Αποτέλεσμα της διαθλάσεως είναι να καμπυλώνεται η δέσμη του κύματος και να φθάνει μακρύτερα από την απόσταση που καθορίζει ο οπτικός ορίζοντας. Έτσι καλύπτεται μεγαλύτερη απόσταση από αυτήν της οπτικής επαφής. Στο σχήμα 12.6α φαίνεται ο οπτικός ορίζοντας και η απόσταση μεταξύ της κεραίας εκπομπής Α και της κεραίας λήψεως Β, σε ευθύγραμμη επαφή, καθώς και η μεγαλύτερη απόσταση επαφής με την κεραία Γ, λόγω της διαθλάσεως της ατμόσφαιρας. Με τον τρόπο αυτό η κεραία του radar ***βλέπει*** μακρύτερα από τον οπτικό ορίζοντα.

Η απόσταση του οπτικού ορίζοντα d_0 καθορίζεται από τη σχέση:

$$d_0 = 3{,}1 \sqrt{h_1} \qquad \text{σε χιλιόμετρα}$$

όπου h_1 το ολικό ύψος της κεραίας από την επιφάνεια της γης (ή της θάλασσας), ενώ η απόσταση του ραδιορίζοντα d_R καθορίζεται από τη σχέση:

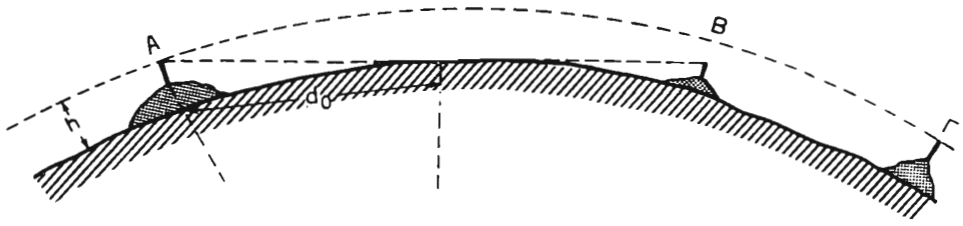
$$d_R \cong 4{,}1 \sqrt{h_1} \qquad \text{σε χιλιόμετρα}$$

δηλαδή η απόσταση του ραδιορίζοντα είναι μεγαλύτερη. Αν και η κεραία του δέκτη βρίσκεται σε ύψος h_2 από την επιφάνεια της γης, η ολική απόσταση του ραδιορίζοντα δίνεται από τη σχέση:

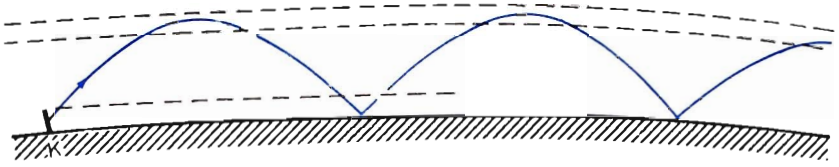
$$d_R \cong 4{,}1 \left(\sqrt{h_1} + \sqrt{h_2}\right) \qquad \text{σε χιλιόμετρα}$$

Στο σχήμα 12.6α η ολική απόσταση D_R του ραδιορίζοντα είναι από το Α μέχρι το Γ.

Ένα άλλο φαινόμενο που παρατηρείται στον τρόπο της διαδόσεως των ΛΥΣ και



Σχ. 12.6α.
Επίδραση της διαθλάσεως στη διάδοση.

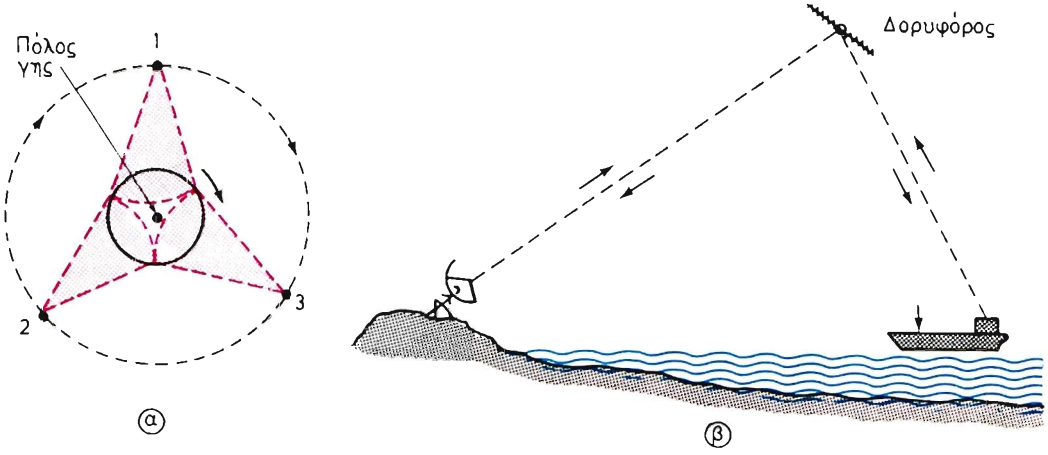


Σχ. 12.6β.
Διάδοση με παγίδευση του κύματος.

μικροκυμάτων είναι η διάδοσή τους «***με παγίδευση του κύματος***», αποτέλεσμα της οποίας είναι η διάδοση των συχνοτήτων αυτών σε πολύ μεγαλύτερες αποστάσεις, πέρα από τον οπτικό ορίζοντα και με πομπό μικρής σχετικά ισχύος. Το φαινόμενο αυτό στηρίζεται στην υπερδιάθλαση των κυμάτων από την ατμόσφαιρα. Για διάφορες μετεωρολογικές αιτίες σχηματίζονται απότομες μεταβολές της θερμοκρασίας ή της υγρασίας σε συνάρτηση με το ύψος, οι οποίες μπορεί να έχουν σαν αποτέλεσμα τη μεγάλη κάμψη της δέσμης του κύματος, μέχρι του σημείου να επιστρέφει αυτή στην επιφάνεια του εδάφους, να ανακλάται πάλι στην περιοχή της απότομης μεταβολής κλπ. όπως φαίνεται στο σχήμα 12.6β. Στην περίπτωση αυτή είναι σαν να σχηματίζεται ένας κυματοδηγός μεταξύ της επιφάνειας της γης και της περιοχής της απότομης μεταβολής και το κύμα να οδηγείται σε πολύ μακρινές αποστάσεις.

Η διάχυση των κυμάτων στην τροπόσφαιρα, μπορεί να προκαλέσει αυξομειώσεις στην ένταση του πεδίου. Στην περιοχή των μικροκυμάτων, σε περίπτωση μεγάλης υγρασίας, ομίχλης, βροχής, χαλαζιού και χιονιού παρατηρείται έντονη διασπορά και απόσβεση του κύματος. Επίσης το κύμα μπορεί να φθάνει στο δέκτη από διάφορες τροχιές καθώς υφίσταται τη διάχυση μέσα στην τροπόσφαιρα. Έτσι τα σήματα που φθάνουν στο δέκτη από διάφορες κατευθύνσεις δεν θα είναι σε φάση, με αποτέλεσμα το ολικό σήμα πότε να αυξάνει και πότε να μειώνεται. Τότε εμφανίζεται το φαινόμενο των διαλείψεων που αντιμετωπίζεται με το σύστημα διαφορικής λήψεως. Κατοπτρικές κεραίες μικροκυμάτων για διαφορική λήψη χρησιμοποιούνται σε πολλές εγκαταστάσεις του ΟΤΕ.

Φαινόμενο διαλείψεων είναι δυνατό να έχομε και στην περίπτωση του σχήματος 12.6β, όπου το σήμα μπορεί να φθάνει απευθείας και μέσω των ανακλάσεων του «κυματοδηγού». Έτσι τα δύο σήματα φθάνουν στην κεραία του δέκτη με διαφορά φάσεως και συνεπώς πότε προστίθενται και πότε αφαιρούνται.



Σχ. 12.7.
Διάδοση μέσω δορυφόρων.

12.7 Διάδοση μέσω δορυφόρων.

Η σύγχρονη ραδιοεπικοινωνία μεταξύ των κρατών διεξάγεται με το σύστημα επικοινωνίας μέσω των δορυφόρων (satellite). Στην επικοινωνία των πλοίων μεταξύ τους και με τους επίγειους σταθμούς άρχισε να εφαρμόζεται το υπερσύγχρονο σύστημα Inmarsat στο οποίο συμμετέχει μεγάλος αριθμός κρατών, καθώς και η Ελλάδα μέσω του ΟΤΕ.

Στο δορυφορικό σύστημα υπάρχουν τρεις γεωστατικοί δορυφόροι πάνω από τον ισημερινό, σε ύψος περίπου 36000 km, που κινούνται σε κυκλική τροχιά με φορά κινήσεως ίδια με την κίνηση της γης, αλλά με ταχύτητα κινήσεως μεγαλύτερη από την ταχύτητα περιστροφής της γης. Ο χρόνος πλήρους περιστροφής είναι 24 ώρες και έτσι ο δορυφόρος είναι σαν να παραμένει ακίνητος πάνω από την καθορισμένη του θέση. Ο πρώτος είναι πάνω από τον Ατλαντικό ωκεανό, ο δεύτερος πάνω από τον Ινδικό και ο τρίτος πάνω από τον Ειρηνικό σχηματίζοντας μεταξύ τους γωνία περίπου 120° όπως φαίνεται στο σχήμα 12.7(α).

Ο κάθε δορυφόρος καλύπτει περίπου το $^1/_3$ της επιφάνειας της γης σε κλίση 75° περίπου βόρεια και 75° νότια. Έτσι καλύπτεται το μεγαλύτερο μέρος της γης για σκοπούς επικοινωνίας.

Για την επικοινωνία χρησιμοποιούνται κατοπτρικές κεραίες που με κατάλληλο σύστημα σερβομηχανισμού σκοπεύουν πάντοτε το δορυφόρο. Ένα σήμα τηλεφώνου ή τηλετύπου ή ηλεκτρονικού υπολογιστή στέλνεται από τον επίγειο σταθμό στο δορυφόρο. Ο δορυφόρος λαμβάνει το σήμα με το δέκτη του, το ενισχύει και το εκπέμπει πάλι προς την επιφάνεια που καλύπτει. Το πλοίο που βρίσκεται μέσα στην περιοχή του δορυφόρου θα πάρει το σήμα με την κεραία του δέκτη του, θα το αποκωδικοποιήσει και θα το αποδώσει [σχ. 12.7(β)].

Κατά τον ίδιο τρόπο το πλοίο θα εκπέμψει με την κατοπτρική του κεραία προς το δορυφόρο. Το σήμα θα ενισχυθεί από το δορυφόρο και αυτός θα το εκπέμψει

πάλι προς τη γη, όπου θα το λάβει ο επίγειος σταθμός.

Στο σύστημα Inmarsat η συχνότητα εκπομπής του επίγειου σταθμού προς το δορυφόρο και αντίστροφα είναι 4-6 Gc/s, ενώ η συχνότητα εκπομπής και λήψεως του πλοίου με το δορυφόρο είναι 1,5-1,6 Gc/s. Η ίδια συχνότητα χρησιμοποιείται και για την επικοινωνία μεταξύ πλοίου-δορυφόρου-άλλου πλοίου.

Το δορυφορικό σύστημα επικοινωνίας έχει το μεγάλο πλεονέκτημα της γρήγορης επικοινωνίας, ενώ επηρεάζεται ελάχιστα από τις μεταβολές της τροπόσφαιρας και της ιονόσφαιρας.

Για να λειτουργήσει ο δορυφόρος, παίρνει ενέργεια από τον ήλιο με τα ηλιακά ηλεκτρικά στοιχεία (φωτοστοιχεία) που είναι τοποθετημένα στην εξωτερική του επιφάνεια.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΔΕΚΑΤΟ ΤΡΙΤΟ

ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΧΡΟΝΟΚΥΚΛΩΜΑΤΩΝ

13.1 Γενικά.

Τα ***χρονοκυκλώματα*** είναι ένα μέρος των ηλεκτρονικών που ασχολείται με την παραγωγή και τη συμπεριφορά των παλμών γενικά. Στο κεφάλαιο αυτό θα εξετάσομε τα γνωστά κυκλώματα με R, L και C, όταν τροφοδοτούνται με ρεύματα μη ημιτονικά.

Τα ρεύματα αυτά μπορεί να είναι εναλλασσόμενα ρεύματα τετραγωνικής μορφής, τετραγωνικοί παλμοί μιας πολικότητας, πολύ στενοί παλμοί, πριονωτές τάσεις κλπ. Τέτοιες μορφές ρευμάτων χρησιμοποιούνται στο radar, στην τηλεόραση, στους παλμογράφους, στους ηλεκτρονικούς υπολογιστές κλπ. συσκευές.

Τα κυκλώματα με R, L και C παρουσιάζουν διαφορετική συμπεριφορά στα ρεύματα παλμών από ότι στα ημιτονικά ρεύματα και από την άποψη αυτή έχουν ιδιαίτερο ενδιαφέρον.

Περνώντας από ένα αντιστάτη, ένα ημιτονικό ρεύμα δεν αλλάζει μορφή, αλλά υφίσταται μόνο μια πτώση τάσεως. Το ίδιο ρεύμα, περνώντας από ένα πυκνωτή ή ένα πηνίο, υφίσταται μια μετάθεση φάσεως κατά 90°, χωρίς πάλι να αλλάξει η μορφή του. Στα μη ημιτονικά όμως ρεύματα επέρχεται μεγάλη αλλαγή της κυματομορφής τους, όταν περάσουν από πυκνωτές ή πηνία.

Ενδιαφέρον παρουσιάζουν επίσης και οι ηλεκτρονικές βαθμίδες που παράγουν αυτά τα μη ημιτονικά ρεύματα. Γι' αυτό παρακάτω θα μελετήσουμε μερικές τέτοιες βαθμίδες.

Πριν να προχωρήσομε στη μελέτη των χρονοκυκλωμάτων καλό είναι να προηγηθεί μελέτη της σταθεράς χρόνου RC και L/R, που αναφέρθηκε ήδη στην παράγραφο 1.2, η οποία αποτελεί τη βάση της μελέτης των χρονοκυκλωμάτων.

13.2 Τετραγωνικοί παλμοί.

Στα χρονοκυκλώματα πιο πολύ χρησιμοποιούνται οι τετραγωνικοί παλμοί, γιατί εύκολα μπορούν να μετατραπούν σε παλμούς άλλης μορφής. Οι τετραγωνικοί παλμοί παράγονται με ηλεκτρονικά κυκλώματα που θα γνωρίσομε παρακάτω (παράγρ. 13.6 και 13.8).

Τετραγωνικούς παλμούς μπορούμε να δημιουργήσομε με το απλό κύκλωμα του σχήματος 13.2α(α), που αποτελείται από μία πηγή συνεχούς ρεύματος με τάση E, έναν αντιστάτη R και ένα διακόπτη S.

Αν ανοίγομε και κλείνομε το διακόπτη με σταθερό ρυθμό, να είναι π.χ. μισό δευτερόλεπτο κλειστός και μισό ανοικτός, μισό ανοικτός και μισό κλειστός κ.ο.κ., από τον αντιστάτη R θα περνάει ρεύμα I κάθε φορά που ο διακόπτης S θα είναι κλειστός. Αν μετράμε την τάση στις άκρες του αντιστάτη με ένα βολτόμετρο, το

βολτόμετρο θα δείχνει την τάση Ε όταν ο διακόπτης είναι κλειστός και μηδέν όταν είναι ανοικτός.

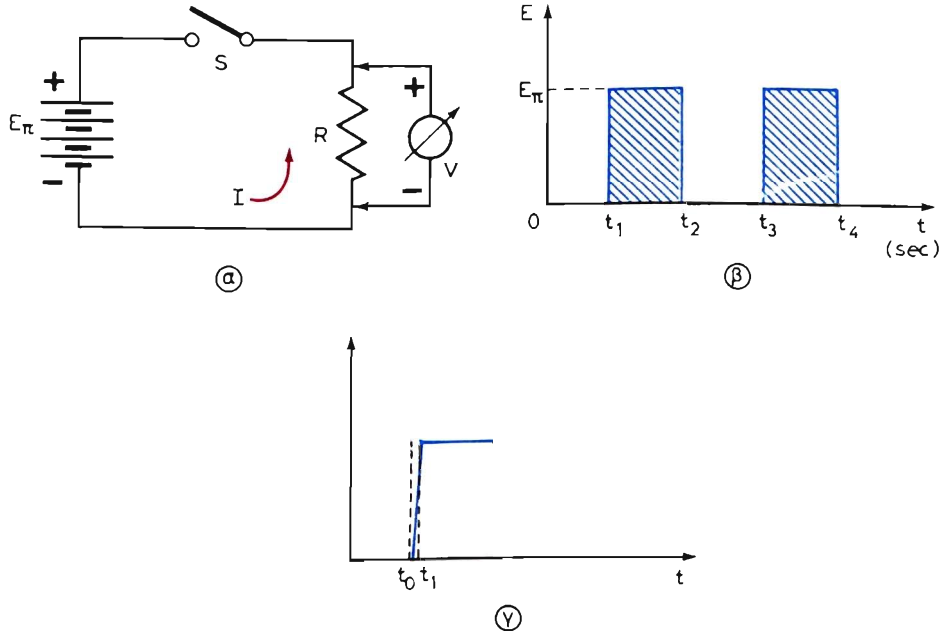
Στο σχήμα 13.2α(β) φαίνεται η μορφή της τάσεως αυτής και την ίδια μορφή θα έχει και το ρεύμα που περνά από τον αντιστάτη. Παρατηρούμε ότι στις άκρες του αντιστάτη εμφανίζονται θετικοί παλμοί τάσεως τετραγωνικής μορφής.

Ο χρόνος t_1 [σχ. 13.2α(β)] αντιστοιχεί στη στιγμή που κλείνουν οι επαφές του διακόπτη και αρχίζει η ροή του ρεύματος. Ο χρόνος αυτός λέγεται ***μεταβατικός χρόνος,*** κατά τον οποίο το ρεύμα ή η τάση από τη μηδενική τους τιμή φθάνουν σε μια ορισμένη τιμή, που καθορίζεται από τα στοιχεία του κυκλώματος. Ο μεταβατικός χρόνος δεν είναι μηδενικός, αλλά έχει μια τιμή της τάξεως των δεκάτων του μικροδευτερολέπτου (μsec) και φαίνεται στο σχήμα 13.2α(γ) από t_0-t_1.

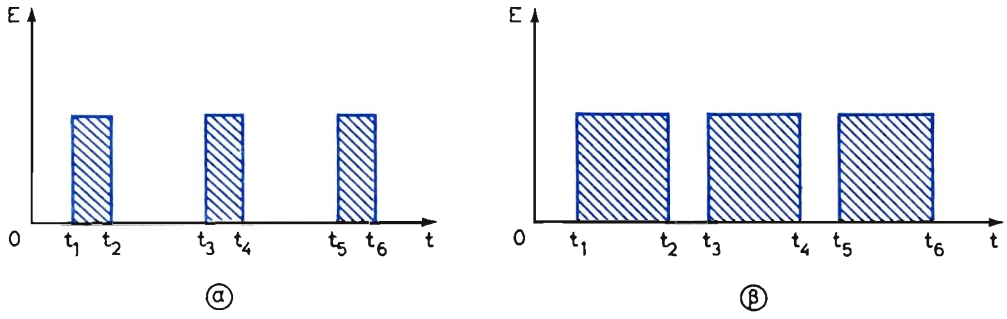
Η μεταβολή της τάσεως στο χρόνο t_1 από το μηδέν στην τιμή Ε λέγεται ***μέτωπο του παλμού*** και μπορεί να καθορίζει την τάση και το μεταβατικό χρόνο. Στη περίπτωση του τετραγωνικού παλμού το μέτωπο είναι κάθετο με μικρή προσέγγιση.

Ο χρόνος από t_1-t_2 [σχ. 13.2α(β)] λέγεται ***χρόνος διάρκειας του παλμού*** ενώ ο χρόνος από t_2-t_3 λέγεται ***χρόνος διακοπής*** ή ***νεκρός χρόνος των παλμών.*** Ο χρόνος από t_1-t_3 είναι ο ***πλήρης χρόνος Τ του παλμού,*** από τον οποίο καθορίζεται η συχνότητα επαναλήψεως των παλμών ή απλά η συχνότητα F των παλμών που είναι:
$F = 1/T$.

Όταν ο χρόνος διάρκειας του παλμού είναι ίσος με το χρόνο διακοπής, οι παλμοί λέγονται ***συμμετρικοί,*** ενώ όταν οι χρόνοι είναι διαφορετικοί, λέγονται ***ασύμμε-***



Σχ. 13.2α.
Παραγωγή και μορφή τετραγωνικού παλμού.



Σχ. 13.2β.
Ασύμμετροι παλμοί.

τροι. Στο σχήμα 13.2 β φαίνονται μερικοί ασύμμετροι παλμοί, με μικρό χρόνο διάρκειας και μεγάλο χρόνο διάρκειας.

Ασύμμετρους παλμούς μπορούμε να δημιουργήσομε αν έχομε κλειστό το διακόπτη για χρόνο π.χ. 0,2 sec και ανοικτό για 0,8 sec, για να παράγομε τους παλμούς του σχήματος 13.2β(α), ενώ στους παλμούς του σχήματος 13.2β(β) έχομε για μεγαλύτερο χρόνο κλειστές τις επαφές.

Με τα ηλεκτρονικά κυκλώματα μπορούμε να δημιουργήσομε παλμούς διάρκειας δεκάτων του μsec συμμετρικούς ή ασύμμετρους, καθώς και συχνότητες που φθάνουν το 10^6. Στην ανάλυση κατά Fourier αποδεικνύεται ότι οι τετραγωνικοί παλμοί αποτελούνται από μία συνεχή συνιστώσα και από ένα πλήθος αρμονικών συχνοτήτων που φθάνουν μέχρι την περιοχή των μεγακύκλων.

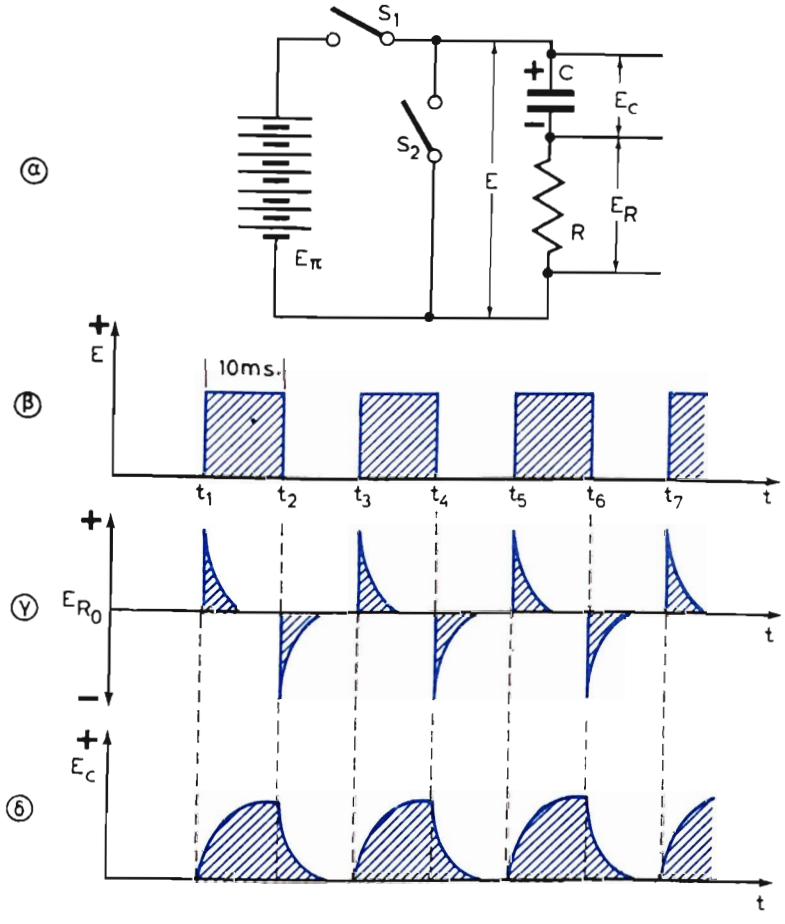
13.3 Κύκλωμα διαφορίσεως.

Οι τετραγωνικοί παλμοί μπορεί να μετατραπούν σε παλμούς σχεδόν τριγωνικής μορφής, μικρής διάρκειας, με το ***κύκλωμα διαφορίσεως.*** Το κύκλωμα διαφορίσεως αποτελείται από κύκλωμα RC ή L/R μικρής σταθεράς χρόνου σε σύγκριση με το χρόνο διάρκειας των παλμών.

Στο σχήμα 13.3 φαίνεται η απλή μορφή ενός κυκλώματος διαφορίσεως. Υποθέτομε ότι οι διακόπτες S_1 και S_2 είναι ομοαξονικοί και όταν κλείνει ο ένας ανοίγει ο άλλος. Έτσι οι τετραγωνικοί παλμοί που παράγονται είναι συμμετρικοί με χρόνο διάρκειας π.χ. 10 msec και συνεπώς χρόνο διακοπής πάλι 10 msec. Η σταθερά χρόνου RC είναι μικρότερη από 10 msec και έστω ότι είναι 1 msec με R = 10 kΩ και C = 100 nF (έτσι RC = 1msec).

Σε χρόνο t_1 ο διακόπτης S_1 κλείνει δίνοντας τάση E στις άκρες του κυκλώματος RC. Ο πυκνωτής C αρχίζει να φορτίζεται μέσω του αντιστάτη R. Ο χρόνος t_1 είναι μεταβατική περίοδος και ο πυκνωτής συμπεριφέρεται ως αγωγός. Επομένως στις άκρες του έχει μηδενική τάση, ενώ στις άκρες του αντιστάτη η τάση είναι ίση με την τάση της πηγής, όπως φαίνεται και στο σχήμα 13.3(β), (γ) και (δ).

Σε χρόνο 5RC (5 msec) ο πυκνωτής έχει φορτισθεί και το ρεύμα του κυκλώματος γίνεται μηδενικό. Επομένως και η E_R θα μηδενισθεί, ενώ η E_C θα φθάσει την τάση της πηγής όπως φαίνεται στο ίδιο σχήμα. Στον υπόλοιπο χρόνο μέχρι τον t_2 η E_C και η E_R θα παραμείνουν με την ίδια τιμή, ενώ θα συνεχίζεται η διάρκεια του παλμού.



Σχ. 13.3.
Κύκλωμα και κυματομορφές διαφορίσεως.

Στο χρόνο t_2 ο S_1 θα ανοίξει διακόπτοντας τη τάση της πηγής και τον παλμό, ενώ συγχρόνως ο διακόπτης S_2 θα κλείσει βραχυκυκλώνοντας το RC. Ο πυκνωτής θα εκφορτισθεί μέσω του αντιστάτη και το ρεύμα εκφορτίσεως θα είναι αντίθετο του ρεύματος φορτίσεως. Έτσι στις άκρες του αντιστάτη θα δημιουργηθεί μια πτώση τάσεως με αντίθετη πολικότητα από αυτή της φορτίσεως, η οποία θα είναι ίση με την E_c (και ίση με την τάση της πηγής).

Στη συνέχεια ο πυκνωτής εκφορτίζεται σε χρόνο 5RC (5 msec) και οι τάσεις E_c και E_R μηδενίζονται αντίστοιχα, όπως φαίνεται και στο ίδιο σχήμα.

Στο χρόνο t_3 ο διακόπτης S_2 ανοίγει ενώ ο S_1 κλείνει και αρχίζει πάλι η φόρτιση του πυκνωτή και η δημιουργία των ίδιων κυματομορφών της E_R και της E_c, που φαίνονται στο σχήμα 13.3(γ) και (δ).

Παρατηρούμε ότι ο τετρανωνικός παλμός μετατράπηκε σε λεπτούς θετικούς και αρνητικούς παλμούς στις άκρες του R, με την επίδραση του κυκλώματος RC. Όσο μικρότερη γίνεται η σταθερά χρόνου RC σε σύγκριση με τη διάρκεια του παλμού

τόσο οξύτεροι γίνονται οι δημιουργούμενοι παλμοί στον R.

Το κύκλωμα διαφορίσεως παίρνει αυτό το όνομα επειδή η τάση εξόδου E_R στις άκρες του R είναι ανάλογη προς το διαφορικό της τάσεως εισόδου των παλμών E, δηλαδή έχομε:

$$E_R = Ri \simeq RC \frac{dE}{dt} \qquad (13.1)$$

Αντίστοιχο αποτέλεσμα θα έχομε, αν εφαρμόσομε τον παλμό σε κύκλωμα με R και L και λάβομε την τάση από τις άκρες του L. Και σ' αυτή τη περίπτωση η σταθερά χρόνου L/R πρέπει να έχει πολύ μικρή τιμή σε σύγκριση με τη διάρκεια του εφαρμοζόμενου παλμού.

13.4 Κύκλωμα ολοκληρώσεως.

Το κύκλωμα ολοκληρώσεως αποτελείται από κύκλωμα RC ή L/R μεγάλης σταθεράς χρόνου σε σύγκριση με τη διάρκεια του παλμού. Έτσι μια σειρά παλμών μπορεί να σχηματίσει ένα περίπου συνεχές ρεύμα κατάλληλο για τη λειτουργία ενός κυκλώματος που πρέπει να λειτουργήσει με ένα σύνολο παλμών.

Αν έχομε το ίδιο κύκλωμα του σχήματος 13.3(α), στο οποίο θα αλλάξουμε τις τιμές του R και του C, σχηματίζομε ένα κύκλωμα ολοκληρώσεως. Αν οι παραγόμενοι παλμοί έχουν τον ίδιο χρόνο διάρκειας και διακοπής, π.χ. 10 msec, τότε τοποθετούμε για παράδειγμα ένα RC, ο χρόνος του οποίου είναι δεκαπλάσιος, δηλαδή 100 msec, με $R = 100\ k\Omega$ και $C = 1\ \mu F$.

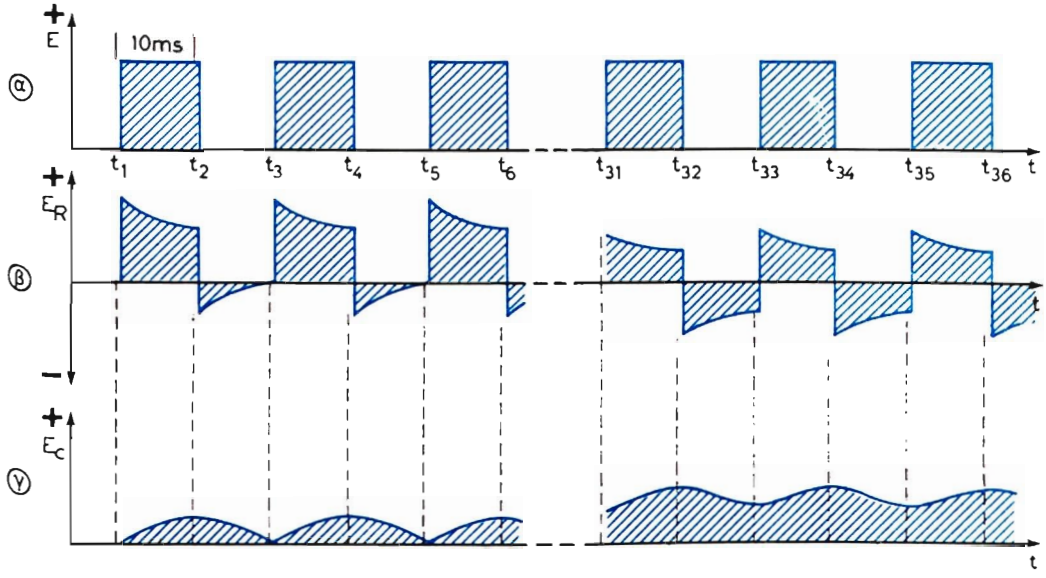
Όταν η διάταξη αρχίσει να λειτουργεί, με το άνοιγμα και κλείσιμο των διακοπτών S_1 και S_2 θα δημιουργηθούν οι κυματομορφές του σχήματος 13.4(α), (β) και (γ). Σε χρόνο t_1 ο διακόπτης S_1 κλείνει, ενώ ο S_2 είναι ανοικτός. Ο χρόνος t_1 είναι μεταβατική περίοδος και η τάση στις άκρες του πυκνωτή θα είναι μηδέν, ενώ η τάση στις άκρες του R θα είναι ίση με την τάση της πηγής. Από t_1-t_2 ο πυκνωτής φορτίζεται και η τάση στις άκρες του αυξάνει. Επειδή όμως απαιτείται χρόνος 5RC για να φορτισθεί και η διάρκεια του παλμού είναι μικρή, δεν προφθάνει να φορτισθεί γιατί στο χρόνο t_2 ο διακόπτης S_1 ανοίγει και ο S_2 κλείνει. Έτσι αρχίζει η εκφόρτιση του πυκνωτή μέσω του R, στον οποίο δημιουργεί τάση με αντίθετη πολικότητα.

Στο χρόνο t_3 ο S_1 κλείνει πάλι και ο S_2 ανοίγει. Αρχίζει πάλι η φόρτιση του πυκνωτή με τον ίδιο ρυθμό και με τα ίδια αποτελέσματα. Σε κάθε εκφόρτιση όμως ο πυκνωτής συγκρατεί ένα μικρό φορτίο και έτσι μετά από χρόνο που αντιστοιχεί σε 20 με 30 φορτοεκφορτίσεις η τελική μορφή των κυματομορφών είναι αυτή που φαίνεται στους χρόνους t_{31}-t_{36}.

Σε αντίθεση προς το κύκλωμα διαφορίσεως, όπου η τάση εξόδου λαμβάνεται στις άκρες του αντιστάτη, στο κύκλωμα ολοκληρώσεως λαμβάνεται στις άκρες του πυκνωτή. Στο σχήμα 13.4(γ) παρατηρούμε ότι η κυματομορφή της τάσεως E_c μοιάζει περίπου με συνεχές και η τιμή της είναι περίπου ίση με $E_\pi/2$. Αντίστοιχα η κυματομορφή της E_R είναι περίπου εναλλασσόμενος τετραγωνικός παλμός με τάση μετώπου περίπου $E_\pi/2$.

Όσο μεγαλύτερη γίνεται η σταθερά χρόνου σε σύγκριση με την διάρκεια του παλμού τόσο περισσότερο η E_c γίνεται σταθερότερη.

Το κύκλωμα ολοκληρώσεως παίρνει την ονομασία αυτή γιατί η κυματομορφή της τάσεως εξόδου E_c είναι ανάλογη προς το ολοκλήρωμα της τάσεως εισόδου



Σχ. 13.4.
Κυματομορφές ολοκληρώσεως.

των παλμών Ε, που είναι:

$$E_c = \frac{1}{RC}\int_0^\tau E\,dt \qquad (13.2)$$

Μπορούμε να σχηματίσομε κύκλωμα ολοκληρώσεως με πηνίο και αντιστάτη, η σταθερά χρόνου του οποίου πρέπει να είναι μεγαλύτερη από τη διάρκεια του παλμού. Σ' αυτή τη περίπτωση ο τετραγωνικός παλμός μετατρέπεται σε πριονωτή μορφή και χρησιμοποιείται σε περίπτωση μαγνητικής αποκλίσεως ηλεκτρονικής δέσμης, όπως στην οθόνη του radar.

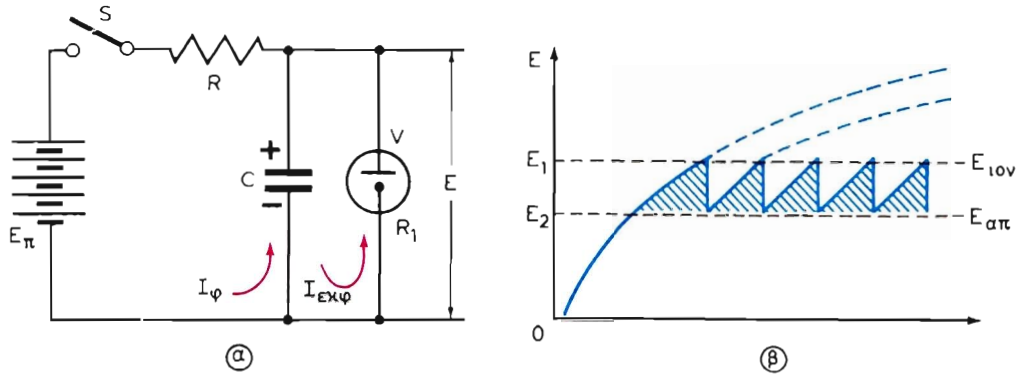
Τις κυματομορφές των σχημάτων 13.3 και 13.4 μπορούμε να δούμε εύκολα με ένα παλμογράφο, όταν τροφοδοτήσομε τα κυκλώματα διαφορίσεως και ολοκληρώσεως από γεννήτρια τετραγωνικών παλμών.

13.5 Παραγωγή πριονωτών παλμών.

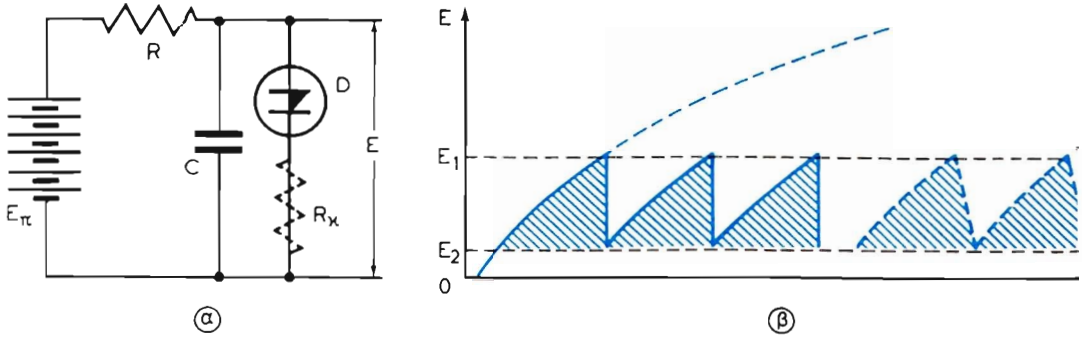
Οι πριονωτοί παλμοί χρησιμοποιούνται στην ηλεκτροστατική απόκλιση της ηλεκτρονικής δέσμης, όπως στην περίπτωση της οθόνης των παλμογράφων. Πριονωτές τάσεις (παλμοί) παράγονται με διάφορους τρόπους, όπως είναι με δίοδη ψυχρής καθόδου, με δίοδη Shockley, με θύρατρον και με ηλεκτρονικά κυκλώματα με ενισχύτριες λυχνίες ή τρανζίστορ.

Στο σχήμα 13.5α φαίνεται το κύκλωμα παραγωγής πριονωτών τάσεων με δίοδη ψυχρής καθόδου (α) και η κυματομορφή (β).

Η λειτουργία του κυκλώματος στηρίζεται στη φόρτιση και εκφόρτιση του πυκνωτή C. Όταν κλείσει ο διακόπτης S, αρχίζει η φόρτιση του C μέσω του R, σύμφωνα με την τιμή της σταθεράς χρόνου RC. Η αντίσταση της λυχνίας V είναι άπειρη μέχρι την τάση του ιονισμού της. Μόλις η τάση του πυκνωτή γίνει ίση με την



Σχ. 13.5α.
Κύκλωμα και κυματομορφή πριονωτών τάσεων.



Σχ. 13.5β.
Κύκλωμα με δίοδη Shockley και κυματομορφές.

τάση ιονισμού της λυχνίας $E_{\iota o\nu}$, η λυχνία ιονίζει και η εσωτερική της αντίσταση R_Λ γίνεται περίπου μηδενική. Επειδή όμως είναι παράλληλα στον πυκνωτή, τον εκφορτίζει μέχρι την τάση απιονισμού ή σβέσεως $E_{\alpha\pi}$, οπότε η λυχνία παύει να λειτουργεί και η εσωτερική της αντίσταση γίνεται πάλι άπειρη.

Ο πυκνωτής αρχίζει πάλι να φορτίζεται μέσω του R μέχρι την τάση ιονισμού της λυχνίας, στην οποία η λυχνία θα ιονίσει πάλι και θα εκφορτίσει τον πυκνωτή κ.ο.κ. Η σταθερά χρόνου φορτίσεως RC έχει μεγάλη τιμή επειδή ο R έχει μια καθορισμένη τιμή. Η σταθερά χρόνου εκφορτίσεως όμως $R_\Lambda C$ έχει σχεδόν μηδενική τιμή, επειδή η R_Λ (της λυχνίας) γίνεται σχεδόν μηδενική όταν η λυχνία ιονίσει. Έτσι η κυματομορφή παίρνει τη μορφή του σχήματος 13.5α(β), στην οποία κατά τη φόρτιση από E_2-E_1 υπάρχει κλίση στη μεταβολή της τάσεως ενώ στην εκφόρτιση από E_1 στην E_2 η μεταβολή είναι σχεδόν κάθετη. Αν τοποθετήσομε αντιστάτη μεταξύ καθόδου και κοινού, τότε σχηματίζεται αντίθετη κλίση κατά την εκφόρτιση και η κυματομορφή αλλάζει.

Η συχνότητα των πριονωτών τάσεων καθορίζεται από τη σταθερά χρόνου RC.

Στο σχήμα 13.5β(α) φαίνεται ένα αντίστοιχο κύκλωμα παραγωγής πριονωτών τάσεων, στο οποίο, στη θέση της λυχνίας ψυχρής καθόδου έχει τοποθετηθεί μια

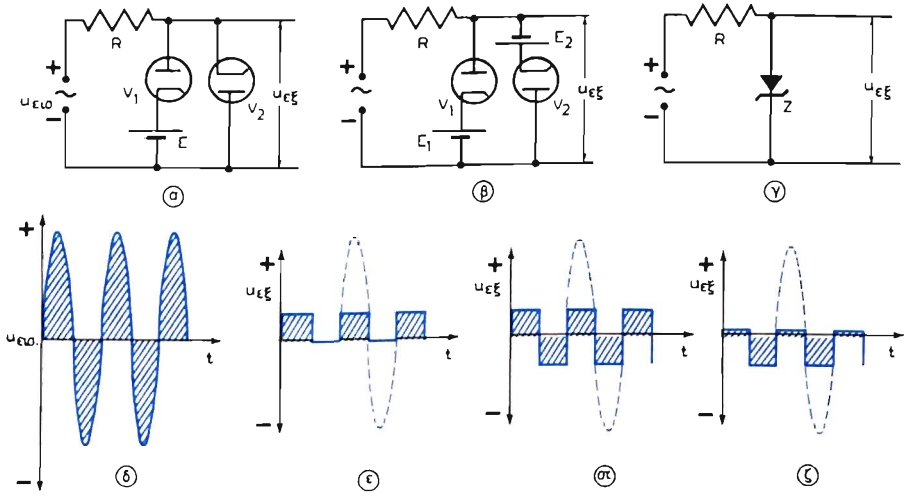
δίοδη Shockley. Η δίοδη αυτή και η λειτουργία της αναφέρθηκαν στην παράγραφο 10.11(α). Το κύκλωμα λειτουργεί όπως και το προηγούμενο από την τάση εκκινήσεως V_{BO} της δίοδης μέχρι την τάση διακοπής V_H. Η κυματομορφή της τάσεως εξόδου φαίνεται στο σχήμα 13.5β(β), ενώ οι δύο τελευταίες κυματομορφές αντιστοιχούν στην περίπτωση που τοποθετείται αντιστάτης μεταξύ καθόδου και κοινού, όπως φαίνεται στο σχήμα 13.5β(α) με τη διακοπτόμενη σχεδίαση του αντιστάτη.

Τις ίδιες πριονωτές τάσεις μπορούμε να παράγομε αν στη θέση της δίοδης τοποθετήσομε μια θύρατρον. Η λειτουργία στηρίζεται στην ίδια αρχή του ιονισμού και απιονισμού της λυχνίας. Σ' αυτή την περίπτωση υπάρχει η δυνατότητα να συγχρονίζεται η συχνότητα των παλμών με άλλη εξωτερική πηγή Ε.Ρ. που συνδέεται στη θύρα της λυχνίας.

13.6 Παραγωγή τετραγωνικών παλμών με ψαλιδιστή.

Από ένα ημιτονικό σήμα μεγάλου πλάτους είναι δυνατό να παραχθεί σχεδόν τετραγωνικός παλμός, αν το σήμα ψαλιδιστεί πολύ κοντά στη βάση του. Η ψαλίδιση μπορεί να γίνει με δίοδη λυχνία ή κρυσταλλοδίοδη που συνδέεται σε σειρά ή παράλληλα με το σήμα που ψαλιδίζεται. Αν συνδεθεί σε σειρά με τη λυχνία και μια πηγή συνεχους τάσεως, καθορίζεται το ύψος του παλμού. Αντί της δίοδης με πηγή μπορεί να χρησιμοποιηθεί δίοδη Zener. Στο σχήμα 13.6 φαίνονται τρία κυκλώματα που δημιουργούν αντίστοιχους παλμούς.

Στο σχήμα 13.6(δ) φαίνεται η εναλλασόμενη τάση που θα εφαρμοσθεί στις εισόδους των ψαλιδιστών. Όσο μεγαλύτερη είναι η τάση $U_{εισ}$ τόσο περισσότερο τετραγωνικός θα είναι ο παλμός στην έξοδο του ψαλιδιστή.



Σχ. 13.6.
Κυκλώματα και μορφές τετραγωνικών παλμών.

Στο σχήμα 13.6(α) υπάρχουν δύο διοδικές, με αντίστροφη σύνδεση τοποθετημένες παράλληλα στην έξοδο και στην πηγή εισόδου μέσω του μεγάλης τιμής αντιστάτη R. Σε σειρά με την κάθοδο της V_1 συνδέεται πηγή συνεχούς τάσεως με το συν (+) στην κάθοδο. Όταν η τάση εισόδου έχει την πολικότητα του σχήματος, άγει η V_1 όταν η τάση ανόδου της γίνει μεγαλύτερη από τη τάση της Ε. Πάνω από αυτή την τάση η εσωτερική αντίστασή της V_2 γίνεται ελάχιστη και βραχυκυκλώνει την τάση εξόδου, με αποτέλεσμα να μην εμφανίζεται στην έξοδο.

Όταν αλλάξει η πολικότητα της τάσεως εισόδου, άγει η V_2 και αποκόπτει τελείως την αρνητική ημιπερίοδο. Έτσι η τάση εξόδου παίρνει τη μορφή του σχήματος 13.6(ε) που είναι θετικοί παλμοί. Αν συνδεθεί στη V_2 η Ε με το συν (+) στην κάθοδο, θα έχομε στην έξοδο αρνητικούς παλμούς.

Με το κύκλωμα του σχήματος 13.6(β) παράγομε τετραγωνικούς παλμούς θετικούς και αρνητικούς, οι οποίοι φαίνονται στο σχήμα 13.6(στ). Οι πηγές E_1 και E_2 είναι ίσες. Αν επιθυμούμε μεγαλύτερους τους θετικούς παλμούς, η E_1 γίνεται μεγαλύτερη από την E_2.

Το κύκλωμα του σχήματος 13.6(γ) έχει παράλληλα μια δίοδη Zener. Με την πολικότητα του σχήματος η δίοδη είναι σε ορθή πόλωση και άγει αποκόπτοντας σχεδόν όλη τη θετική ημιπερίοδο. Όταν η πολικότητα αλλάξει, η δίοδη άγει πάνω από την τάση Zener και αποκόπτει την αρνητική ημιπερίοδο, πάνω από την τάση Zener (τάση λειτουργίας της). Η κυματομορφή που έχομε στην έξοδο φαίνεται στο σχήμα 13.6(ζ). Αν αντιστρέψομε τη σύνδεση της Zener, αντιστρέφεται και η πολικότητα της κυματομορφής (ζ).

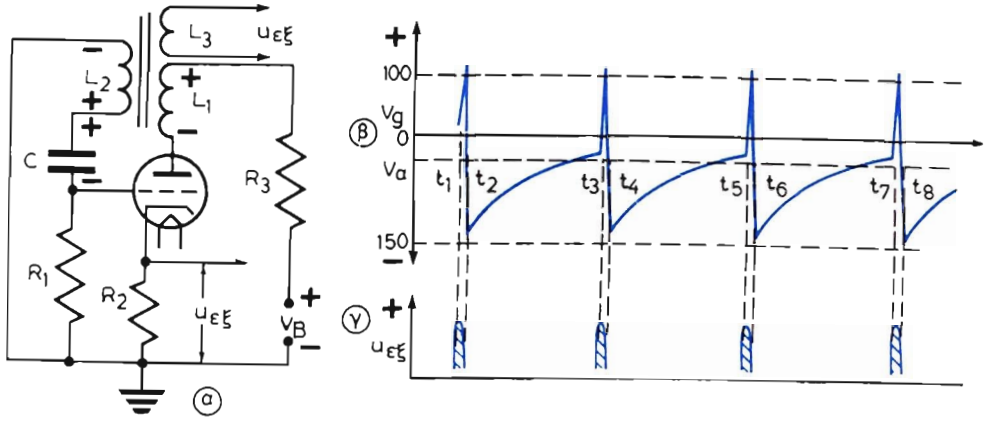
Τετραγωνικούς παλμούς παράγομε και με τους πολυδονητές που θα γνωρίσομε στη συνέχεια.

13.7 Δονητής φραγμού.

Ο δονητής φραγμού είναι ηλεκτρονική βαθμίδα με λυχνία ή τρανζίστορ και παράγει λεπτούς παλμούς διάρκειας της τάξεως του ενός μικροδευτερόλεπτου. Αυτοί οι παλμοί μπορεί να χρησιμοποιηθούν για διέγερση κυκλωμάτων και στο radar δημιουργούν τον παλμό εκπομπής.

Στο σχήμα 13.7α φαίνεται το κύκλωμα ενός δονητή φραγμού με τρίοδη λυχνία. Χρησιμοποιείται τρίοδη λυχνία για να μπορεί να δίνει ισχυρά στιγμιαία ρεύματα. Παρατηρούμε ότι το κύκλωμα μοιάζει με τον ταλαντωτή αναδραστικού πηνίου. Στη θέση των πηνίων υπάρχει ένας μικρός μετασχηματιστής με πυρήνα πολύ μεγάλης μαγνητικής διαπερατότητας, για να παρουσιάζεται μεγάλη σχετικά αυτεπαγωγή με λίγες σπείρες πρωτεύοντος και δευτερεύοντος. Η σύζευξη των πηνίων είναι πολύ στενή, για να υπάρχει ελάχιστη σκέδαση και ελάχιστες απώλειες. Η διάρκεια του παλμού εξαρτάται κυρίως από την αυτεπαγωγή του πηνίου και την ταχύτητα αγωγιμότητας της λυχνίας. Η συχνότητα επαναλήψεως των παλμών καθορίζεται από τις τιμές του R_1 και του C που αποτελούν μια σταθερά χρόνου (π.χ. $R = 500\ k\Omega$ και $C = 1000\ pF$).

Το κύκλωμα αρχίζει να λειτουργεί με την εφαρμογή της τάσεως ανόδου V_β. Το ρεύμα ανόδου που κυκλοφορεί στο πρωτεύον του μετασχηματιστή L_1 προκαλεί μια μεταβαλλόμενη ροή φ στον πυρήνα ($d\phi/dt$), η οποία δημιουργεί τάση στο L_2 με την πολιτικότητα του σχήματος. Με αυτή την τάση το πλέγμα γίνεται θετικότερο και η αγωγιμότητα της λυχνίας αυξάνει, ενώ αυξάνει επίσης και το ρεύμα ανόδου.



Σχ. 13.7α.
Κύκλωμα και κυματομορφές δονητή φραγμού.

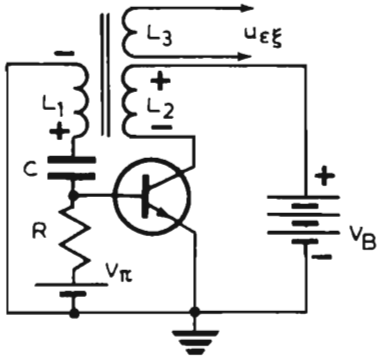
Έχομε δηλαδή θετική ανάδραση. Η τάση πλέγματος γίνεται σε ελάχιστο χρόνο πολύ θετική, όπως φαίνεται στην κυματομορφή (β) και το ρεύμα ανόδου φθάνει στον κόρο. Ο πυκνωτής C φορτίζεται στη μεγάλη αυτή θετική τάση μέσω πλέγματος - καθόδου που παρουσιάζει πολύ μικρή αντίσταση αφού το πλέγμα είναι θετικό.

Όταν το I_a φθάσει στον κόρο, παύει να μεταβάλλεται, με αποτέλεσμα να μην έχομε μεταβαλλόμενη ροή ($d\phi/dt$) στον πυρήνα και να μην αναπτύσσεται τάση στο L_2. Ο C που είναι φορτισμένος, με την πολικότητα του σχήματος, θα αρχίσει να εκφορτίζεται μέσω του R_1, κινώντας τα αρνητικά του φορτία προς τη γη. Στον R_1 θα σχηματισθεί μια μεγάλη πτώση τάσεως με σχεδόν κάθετο μέτωπο, όπως φαίνεται στο σχήμα 13.7α(β) για το χρόνο t_2. Αυτή η πολύ αρνητική τάση του πλέγματος φέρνει σε αποκοπή τη λυχνία. Καθώς ο πυκνωτής εκφορτίζεται εκθετικά μέσω του R_1 η λυχνία παραμένει σε αποκοπή μέχρι την τάση αποκοπής V_a από την οποία η λυχνία αρχίζει να άγει. Η λυχνία βρίσκεται σε αποκοπή από t_2-t_3.

Μόλις η λυχνία έρθει σε αγωγιμότητα, κινείται το ρεύμα ανόδου (I_a), δημιουργεί μεταβαλλόμενη ροή στον πυρήνα, αναπτύσσεται τάση στο L_2, φέρνει στον κόρο τη λυχνία και φορτίζει τον πυκνωτή C και ο κύκλος συνεχίζεται.

Στο χρόνο της μεγάλης αγωγιμότητας της λυχνίας από t_1-t_2 και από t_3-t_4 κλπ., στο δευτερεύον L_3 αναπτύσσεται τάση εξ επαγωγής που είναι ο παλμός εξόδου του σχήματος 13.7α(γ). Η διάρκεια του παλμού, όπως αναφέρθηκε, είναι πολύ μικρή, της τάξεως μερικών μsec. Σήμα εξόδου μπορούμε να έχομε και από τον R_2, στον οποίο αναπτύσσεται στιγμιαία πτώση τάσεως. Αυτή την τάση εξόδου παίρνομε στην περίπτωση που δεν υπάρχει το L_3. Ο αντιστάτης R_3 έχει μικρή τιμή (περίπου 500Ω) και χρησιμοποιείται σαν αντίσταση προστασίας της λυχνίας από πολύ ισχυρά ρεύματα. Ο χρόνος επαναλήψεως των παλμών καθορίζεται από τη σταθερά χρόνου R_1C από την οποία εξαρτάται ο χρόνος εκφορτίσεως του πυκνωτή για χρόνους από t_2-t_3 ή t_4-t_5 κ.ο.κ.

Στο σχήμα 13.7β φαίνεται το κύκλωμα ενός δονητή φραγμού με τρανζίστορ NPN. Η λειτουργία του είναι ίδια με αυτή της λυχνίας και παράγονται οι ίδιες κυματομορφές. Το τρανζίστορ που χρησιμοποιείται σ' αυτή την περίπτωση πρέπει να έ-



Σχ. 13.7β.
Κύκλωμα δονητή φραγμού με τρανζίστορ.

χει μεγάλη ταχύτητα αγωγιμότητας και κινήσεως των φορέων.

Η V_π καθορίζει την ορθή πόλωση του τρανζίστορ για τη λειτουργία του. Ο C και ο R είναι το RC που καθορίζει τη συχνότητα των παλμών, ενώ η διάρκεια του παλμού καθορίζεται κυρίως από την αυτεπαγωγή του μετασχηματιστή. Η έναρξη της λειτουργίας γίνεται με την εφαρμογή της τάσεως τροφοδοσίας V_β, με την κίνηση του ρεύματος συλλέκτη και με τη δημιουργία της θετικής τάσεως στη βάση, τη θετική ανάδραση κλπ.

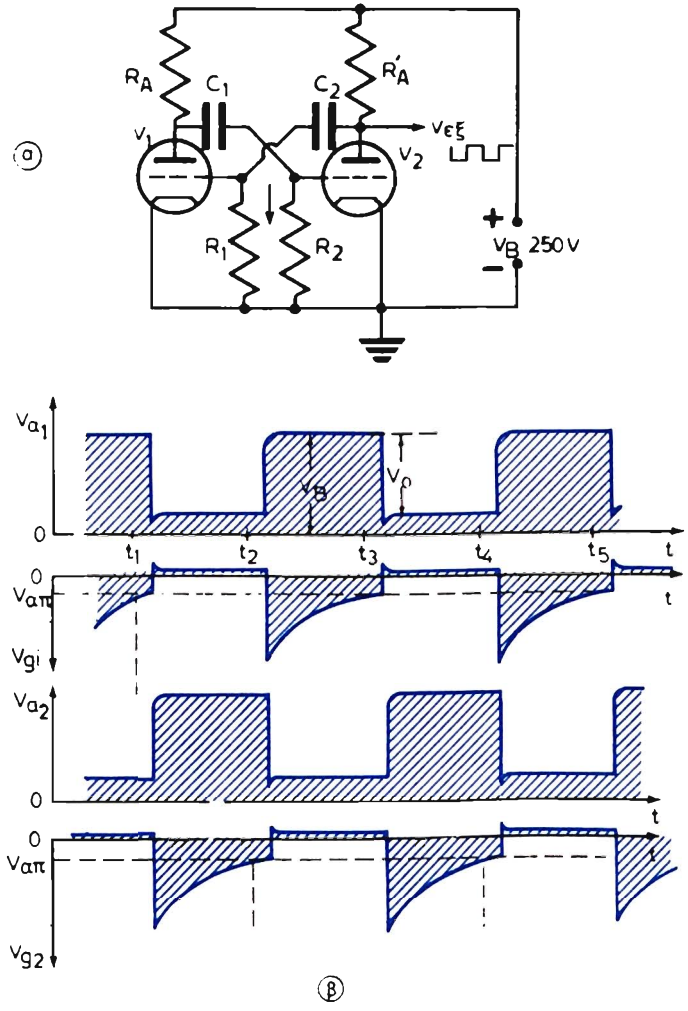
13.8 Αυτοδιεγειρόμενος πολυδονητής.

Ο αυτοδιεγειρόμενος πολυδονητής ανήκει στην οικογένεια των πολυδονητών (multivibrator), οι οποίοι παράγουν τετραγωνικούς παλμούς που χρησιμοποιούνται στους ηλεκτρονικούς υπολογιστές. Μπορεί να είναι αυτοδιεγειρόμενοι ή διεγειρόμενοι. Οι πολυδονητές αποτελούνται συνήθως από δυο λυχνίες ή δυο τρανζίστορ που βρίσκονται σε στενή σύζευξη μεταξύ τους, δημιουργώντας αλληλεπίδραση.

Στο σχήμα 13.8α φαίνεται το κύκλωμα ενός αυτοδιεγειρόμενου πολυδονητή με δυο τριοδικές λυχνίες ή μια διπλοτρίοδη, π.χ. την ECC82. Το πλέγμα της μιας λυχνίας συνδέεται με την άνοδο της άλλης μέσω πυκνωτών συζεύξεως και έτσι οι δυο λυχνίες βρίσκονται σε στενή αλληλεπίδραση. Στο κύκλωμα ισχύει $R_A = R_{\acute{A}}$, $R_1 = R_2$ και $C_1 = C_2$.

Η λειτουργία του κυκλώματος αρχίζει με την εφαρμογή της V_β. Επειδή υπάρχει μια ελάχιστη διαφορά μεταξύ των λυχνιών ή στην ανοχή των αντιστατών, το ρεύμα της μιας λυχνίας μπορεί να είναι λίγο μεγαλύτερο από το ρεύμα της άλλης. Ύστερα από μια μεταβατική περίοδο κλάσματος του δευτερόλεπτου, η λειτουργία του κυκλώματος βρίσκεται στον κανονικό της ρυθμό, δηλαδή η μια λυχνία βρίσκεται σε πλήρη αγωγιμότητα και η άλλη σε πλήρη αποκοπή και στη συνέχεια γίνεται αλλαγή της αγωγιμότητας.

Στο χρόνο t_1 η V_1 έρχεται σε αγωγιμότητα, επειδή στο πλέγμα της έχει δυναμικό περίπου μηδέν. Στον R_A επέρχεται απότομη πτώση τάσεως και η τάση ανόδου της V_1 γίνεται πολύ μικρή, π.χ. 70V, από την τιμή των 250V που είχε πριν από την αγωγιμότητα. Η τάση στην οποία ήταν φορτισμένος ο C_1 μειώνεται και τα αρνητικά



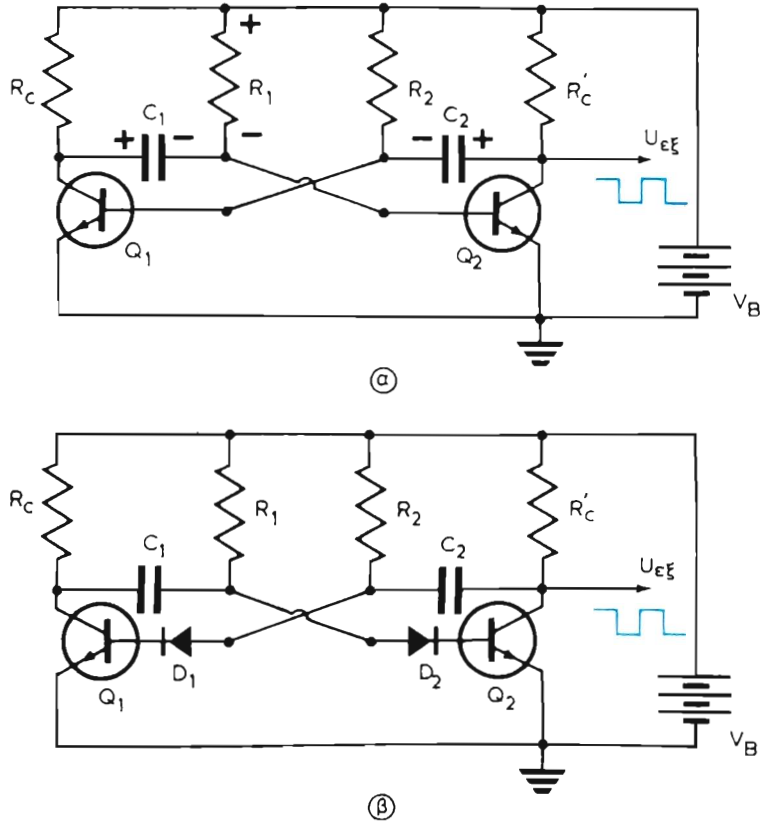
Σχ. 13.8α.
Κύκλωμα και κυματομορφές αυτοδιεγειρόμενου πολυδονητή.

φορτία του C_1 φεύγουν προς το κοινό μέσω του R_2, δημιουργώντας μια πολύ αρνητική τάση στο πλέγμα της V_2 (κυματομορφή της Vg_2), η οποία φέρνει σε αποκοπή τη V_2. Στο χρόνο t_1-t_2 ο πυκνωτής C_1 συνεχίζει να εκφορτίζεται μέσω του R_2, διατηρώντας σε αποκοπή τη V_2. Μόλις η αρνητική τάση εκφορτίσεως φθάσει την τιμή αποκοπής της V_2 στο χρόνο t_2, η V_2 έρχεται σε αγωγιμότητα. Το ρεύμα της γίνεται απότομα μέγιστο, δημιουργείται πτώση τάσεως στον R'_A και η τάση ανόδου της V_2 (V_{a_2}) γίνεται μικρή, π.χ. 70V από 250V που είχε πριν από την αγωγιμότητα. Ο πυκνωτής C_2 που ήταν φορτισμένος με 250V αρχίζει να εκφορτίζεται μέσω του R_1 αφού η τάση στις άκρες του από 250V έγινε 70V.

Τα αρνητικά φορτία του C_2 δημιουργούν στις άκρες του R_1 μια μεγάλη αρνητική τάση (κυματομορφή Vg_1), η οποία φέρνει σε αποκοπή τη V_1 (στο χρόνο t_2). Αφού

δεν διέρχεται ρεύμα και δεν πραγματοποιείται πτώση τάσεως στον R_A, η τάση ανόδου αυξάνει και γίνεται 250V. Στην τάση αυτή φορτίζεται και ο C_1 μέσω της αγωγιμότητας πλέγματος καθόδου της V_2 που βρίσκεται σε αγωγιμότητα.

Στο χρόνο από t_2-t_3 που συνεχίζεται η εκφόρτιση του C_2, η V_1 βρίσκεται σε αποκοπή και η V_2 σε αγωγιμότητα. Μόλις η αρνητική τάση Vg_1, που δημιουργείται με την εκφόρτιση του C_2 φθάσει την τάση αποκοπής της V_1, η V_1 έρχεται απότομα σε αγωγιμότητα. Το ρεύμα της γίνεται μέγιστο, δημιουργείται πτώση τάσεως στον R_A και η τάση ανόδου της V_1 (V_{a_1}) γίνεται περίπου 70V από 250V. Ο πυκνωτής C_1 αρχίζει να εκφορτίζεται στον R_2 φέρνοντας σε αποκοπή τη V_2 και ο κύκλος συνεχίζεται. Από την άνοδο της μιας λυχνίας παίρνομε το σήμα εξόδου που είναι τετραγωνικός παλμός, όπως φαίνεται στο σχήμα. Η διάρκεια του παλμού καθορίζεται από τη σταθερά χρόνου R_1C_2 και R_2C_1. Σε περίπτωση που θέλομε να είναι διαφορετικοί οι χρόνοι από t_1-t_2 και από t_2-t_3, χρησιμοποιούμε RC με διαφορετικές τιμές, δηλαδή $R_1C_2 \neq R_2C_1$. Ο χρόνος από t_1-t_3 και από t_3-t_5 είναι ο χρόνος T της πλήρους λειτουργίας, από τον οποίο καθορίζεται η συχνότητα λειτουργίας του πολυδονητή. Η περίοδος T είναι:



Σχ. 13.8β.
Κυκλώματα αυτοδιεγειρομένων πολυδονητών με τρανζίστορ.

$$T \cong (R_1C_2+R_2C_1) \log \frac{\mu V_0}{V_B}$$

Οι μικρές εξάρσεις που εμφανίζονται τη στιγμή της αγωγιμότητας, οφείλονται στην απότομη αγωγιμότητα της λυχνίας και στην έναρξη φορτίσεως του αντίστοιχου πυκνωτή.

Στο σχήμα 13.8β(α) φαίνεται το κύκλωμα αυτοδιεγειρόμενου πολυδονητή με τρανζίστορ. Η λειτουργία του είναι ίδια με εκείνη του κυκλώματος με λυχνίες. Ο C_1 φορτίζεται στον ένα οπλισμό με την τάση συλλέκτη του Q_1 όταν είναι σε αποκοπή και στον άλλο οπλισμό μέσω βάσεως εκπομπού του Q_2 με μείον (—), στο χρόνο που αυτό είναι σε αγωγιμότητα.

Όταν το Q_1 έλθει σε αγωγιμότητα, η τάση στο συλλέκτη του μειώνεται και ο C_1 εκφορτίζεται μέσω του R_1 και R_c, σε χρόνο που καθορίζεται από τις τιμές τους. Σ' αυτό το χρόνο η πτώση τάσεως που δημιουργείται στον R_1 έχει την πολικότητα του σχήματος και φέρνει σε αποκοπή το Q_2 για όσο χρόνο διαρκεί η εκφόρτιση του C_1. Στον ίδιο χρόνο το Q_2 βρίσκεται σε αποκοπή. Η σταθερά χρόνου φορτίσεως είναι μικρή, γιατί φορτίζεται μέσω του αντίστοιχου τρανζίστορ που είναι σε αγωγιμότητα, ενώ το RC εκφορτίσεως είναι το κυρίως R_1C_1 ή R_2C_2 που καθορίζει τη διάρκεια του παλμού και τη συχνότητά τους.

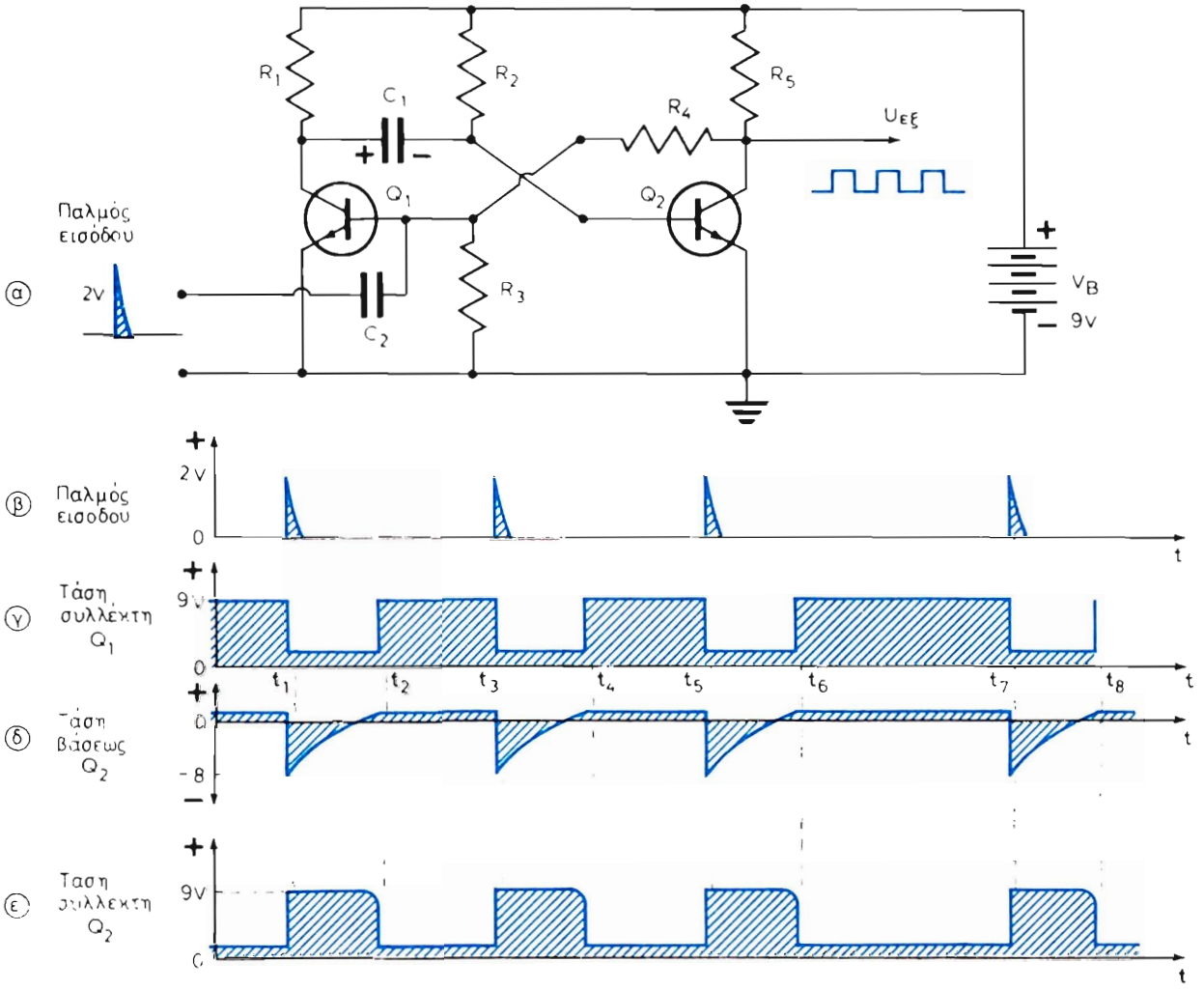
Το κύκλωμα του σχήματος 13.8β(β) είναι πιο βελτιωμένο, γιατί έχει τις δίοδες D_1 και D_2, που δεν επιτρέπουν την εκφόρτιση των πυκνωτών μέσω των τρανζίστορ (βάση-εκπομπό). Η έξοδος των παλμών είναι στον ένα ή τον άλλο συλλέκτη, όπως φαίνεται στα σχήματα. Η κυματομορφή εξόδου είναι τετραγωνικός παλμός.

13.9 Δονητής μιας καταστάσεως.

Μια άλλη μορφή πολυδονητή είναι ο ***δονητής μιας καταστάσεως*** ή ***μονοδονητής*** (One Shot Vibrator ή Monostable). Αυτός παράγει τετραγωνικούς παλμούς, η συχνότητα των οποίων καθορίζεται από τη συχνότητα των παλμών διεγέρσεως, γιατί είναι δονητής διεγειρόμενος. Οι δονητές αυτοί κατασκευάζονται με δυο όμοιες λυχνίες ή με τρανζίστορ. Παρακάτω θα εξηγηθεί η λειτουργία κυκλώματος με τρανζίστορ, που είναι ίδια με τη λειτουργία κυκλώματος με λυχνίες. Η μια λυχνία ή το ένα τρανζίστορ είναι μόνιμα σε αποκοπή και το άλλο σε αγωγιμότητα, μέχρι τη στιγμή που θα έλθει ο παλμός διεγέρσεως (Trigger) και θα αλλάξει την κατάσταση λειτουργίας.

Στο σχήμα 13.9 φαίνεται το κύκλωμα ενός μονοδονητή με τρανζίστορ. Τα τρανζίστορ Q_1 και Q_2 βρίσκονται σε αλληλοσύζευξη. Το Q_2 βρίσκεται σε πλήρη αγωγιμότητα, γιατί έχει ορθή πόλωση που καθορίζεται από τον R_2 και από την αντίσταση βάσεως-εκπομπού του. Η πόλωση του Q_1 καθορίζεται από το διαιρέτη τάσεως R_4 και R_3, αλλά επειδή ο R_4 συνδέεται στο συλλέκτη του Q_2 που έχει μικρότερη τάση από την τάση της πηγής (π.χ. 1v), η πόλωση είναι τέτοια που το Q_1 είναι σε αποκοπή. Αυτή η κατάσταση είναι σταθερή και από το Q_2 διέρχεται ρεύμα που προκαλεί πτώση τάσεως στον R_5, ενώ από το Q_1 δεν διέρχεται ρεύμα. Η τάση συλλέκτη του Q_1 είναι +9V και ο C_1 είναι φορτισμένος με αυτή περίπου την τάση.

Όταν εφαρμοσθεί θετικός παλμός στην είσοδο (Trigger), μέσω του C_2 επιδρά στη βάση του Q_1 που γίνεται για λίγο θετική και το Q_1 έρχεται σε αγωγιμότητα. Κυκλοφορεί ρεύμα από το Q_1, επέρχεται πτώση τάσεως στον R_1 και η τάση συλ-



Σχ. 13.9.
Κύκλωμα και κυματομορφές μονοδονητή.

λέκτη γίνεται λιγότερο θετική, π.χ. +1V. Επειδή μειώνεται η τάση στον ένα οπλισμό του C_1 (από +9 γίνεται +1), θα μειωθεί και στον άλλο και ο πυκνωτής εκφορτίζεται μέσω του R_2 και R_1. Στον R_2 θα δημιουργηθεί μια πτώση τάσεως περίπου 8 V με το μείον (—) προς τη βάση του Q_2 και το Q_2 θα έλθει σε αποκοπή. Όλες αυτές οι μεταβολές γίνονται στο χρόνο t_1 που είναι μεταβατική περίοδος. Η σταθερά χρόνου R_2C_1 καθορίζει το χρόνο εκφορτίσεως του πυκνωτή από t_1-t_2 [καμπύλη (δ)]. Στο χρόνο αυτό το Q_2 βρίσκεται σε αποκοπή και η τάση του συλλέκτη του γίνεται +9V. Ο R_4 συνδέεται τώρα σε +9V και το Q_1 παραμένει σε λειτουργία, γιατί έχει ορθή πόλωση. Στο χρόνο t_2 που ο πυκνωτής εκφορτίζεται, παύει να δημιουργείται η αρνητική τάση στη βάση του Q_2 και αυτό έρχεται σε αγωγιμότητα, ενώ το Q_1 έρχεται σε αποκοπή αφού η τάση συλλέκτη του Q_2 γίνεται +1V.

Σ' αυτή τη κατάσταση θα παραμείνει το κύκλωμα μέχρι να εφαρμοσθεί νέος παλμός διεγέρσεως. Στα σχήματα 13.9(β), (γ), (δ) και (ε) παρατηρούμε τις μεταβολές των τάσεων. Η κυματομορφή (ε) είναι οι παλμοί εξόδου του μονοδονητή. Η διάρκεια των παλμών καθορίζεται από το R_2C_1, ενώ η συχνότητα των παλμών εξόδου από τη συχνότητα των παλμών διεγέρσεως. Στο σχήμα ο τελευταίος παλμός σχεδιάστηκε σε μεγαλύτερη απόσταση για να φανεί η διαφορά του νεκρού χρόνου ως προς τους άλλους νεκρούς χρόνους, ενώ η διάρκεια των παλμών εξόδου είναι ίδια.

13.10 Δονητής δυο καταστάσεων.

Ο δονητής δυο καταστάσεων είναι κύκλωμα που χρησιμοποιείται κυρίως στους ηλεκτρονικούς υπολογιστές και μπορεί να κατασκευασθεί με λυχνίες ή με τρανζίστορ και κυρίως σε ολοκληρωμένα κυκλώματα. Είναι γνωστός και με τις ονομασίες, ***δονητής τύπου Egcles-Jordan, Bistable Circuit*** και ***δονητής Flip-Flop.***

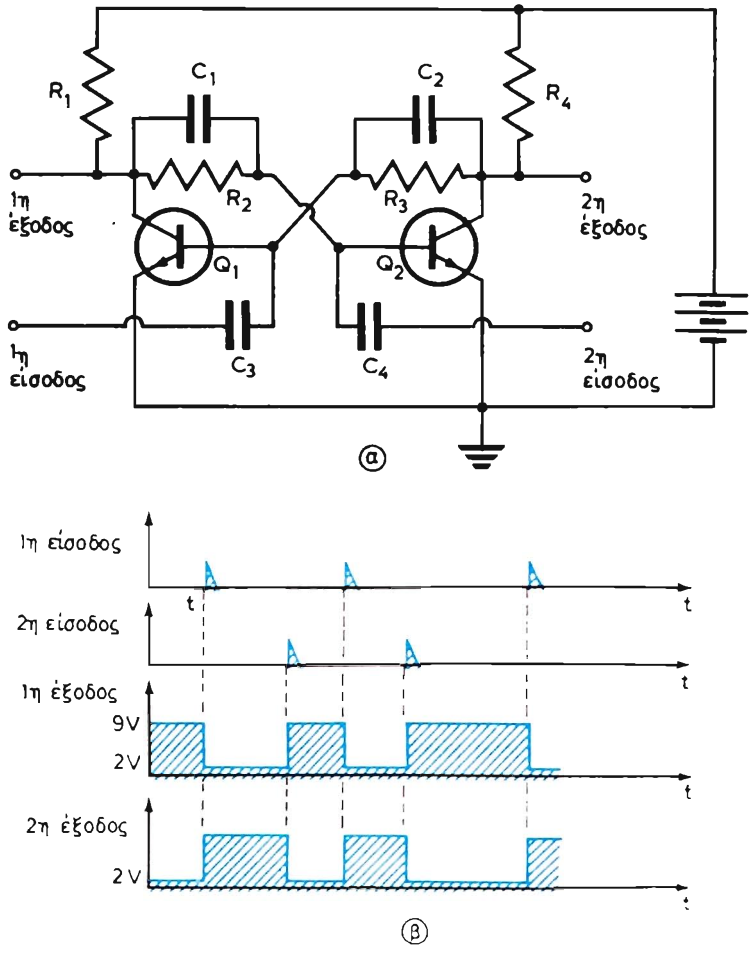
Το κύκλωμα αποτελείται από δυο όμοιες λυχνίες και ίδια R και C ή από δυο ίδια τρανζίστορ και τα ίδια R και C. Το κύκλωμα μπορεί να βρίσκεται σε δυο σταθερές καταστάσεις, στις οποίες το ένα τρανζίστορ είναι σε αποκοπή και το άλλο σε αγωγιμότητα. Στην άλλη σταθερή κατάσταση αντιστρέφεται η αγωγιμότητα και η αποκοπή των τρανζίστορ.

Στο σχήμα 13.10α φαίνεται το απλό κύκλωμα ενός δονητή δυο καταστάσεων. Τα δυο τρανζίστορ Q_1 και Q_2 βρίσκονται σε αλληλοσύζευξη. Η πόλωση για το κάθε τρανζίστορ εξασφαλίζεται με τους αντιστάτες R_2 και R_3, που συνδέονται αντίστοιχα στους συλλέκτες των αντίστοιχων τρανζίστορ. Για το Q_1 η πόλωση δημιουργείται με τον R_3 που παίρνει θετικό δυναμικό από το συλλέκτη του Q_2 και από την εσωτερική του αντίσταση βάσεως-εκπομπού, που αποτελούν το διαιρέτη τάσεως για πόλωση. Για το Q_2 η πόλωση δημιουργείται με τον R_2, που παίρνει θετικό δυναμικό από το συλλέκτη του Q_1 και από την εσωτερική του αντίσταση βάσεως - εκπομπού.

Οι πυκνωτές που είναι παράλληλα στον R_2 και R_3 είναι μικρής τιμής (π.χ. 10 pF) και χρησιμεύουν για να περνά το κάθετο μέτωπο του παλμού που αντιστοιχεί σε υψηλές συχνότητες, υπερνικώντας την αντίσταση των αντιστατών.

Η διάταξη διαθέτει δυο εισόδους που αντιστοιχούν στις δυο βάσεις των τρανζίστορ και δυο εξόδους που αντιστοιχούν στους δυο συλλέκτες.

Με την εφαρμογή της τάσεως τροφοδοσίας, τα δυο τρανζίστορ διαρρέονται από ρεύμα. Λόγω μικρής διαφοράς των τρανζίστορ ή των αντιστατών, λόγω ανο-



Σχ. 13.10α.
Κύκλωμα και κυματομορφές δονητή δύο καταστάσεων.

χής, παρουσιάζεται μια διαφορά στα ρεύματα των δυο τρανζίστορ που έχει ως αποτέλεσμα να φέρει σε πλήρη αγωγιμότητα π.χ. το Q_2. Το ρεύμα του Q_2, δημιουργεί πτώση τάσεως στον R_4 και η τάση συλλέκτη του Q_2 γίνεται π.χ. +2V. Ο R_3 συνδεόμενος στα +2, δημιουργεί πόλωση στο Q_1, το οποίο φέρνει σε αποκοπή. Έτσι η τάση συλλέκτη του Q_1 είναι +9V και με τον R_2 εξασφαλίζεται η πόλωση αγωγιμότητας του Q_2. Μέχρι το χρόνο t_1 υπάρχει αυτή η κατάσταση.

Στο χρόνο t_1 εφαρμόζεται θετικός παλμός στο Q_1 που καθιστά θετική τη βάση και φέρνει σε αγωγιμότητα το Q_1. Το ρεύμα του Q_1 δημιουργεί πτώση τάσεως στον R_1 και η τάση συλλέκτη από +9V γίνεται +2V. Έτσι η πόλωση στο Q_2 μεταβάλλεται και το Q_2 έρχεται σε αποκοπή. Σε αυτή την κατάσταση αγωγιμότητας θα παραμείνουν μέχρι να εφαρμοσθεί νέος παλμός στη 2η είσοδο (στο Q_2).

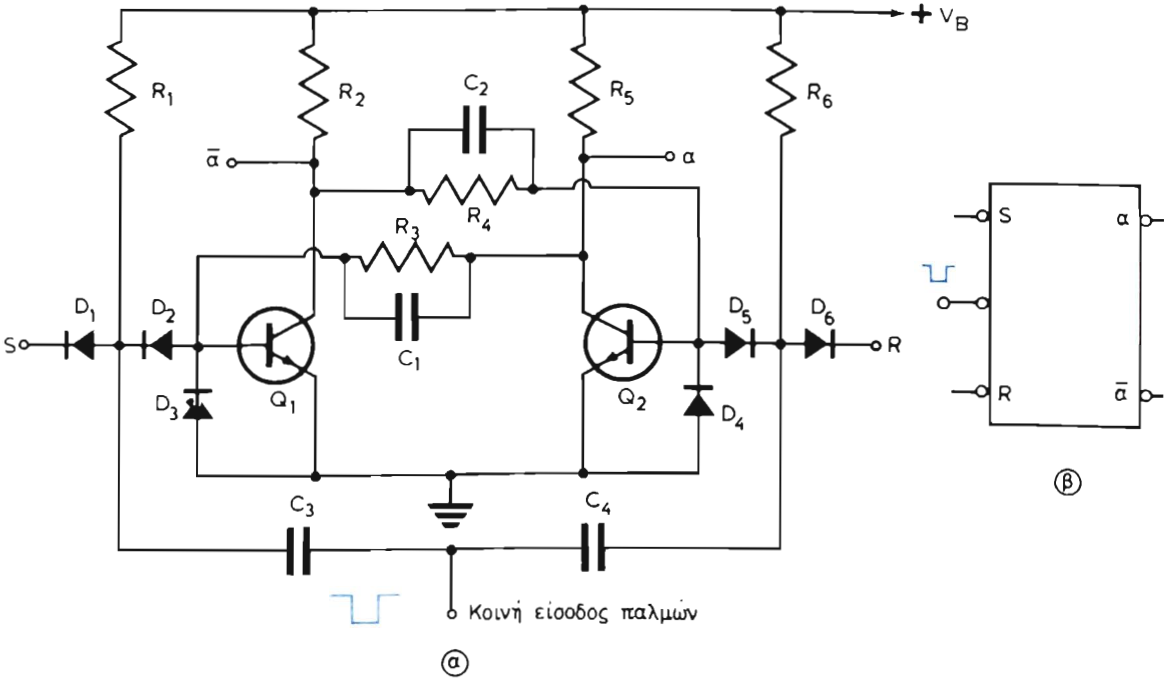
Με τον παλμό στο Q_2 η κατάσταση αλλάζει και έρχεται σε αγωγιμότητα το Q_2, ενώ το Q_1 έρχεται σε αποκοπή. Στο σχήμα 13.10α(β) φαίνονται οι κυματομορφές

στις δυο εξόδους, που είναι τετραγωνικοί παλμοί και η διάρκειά τους εξαρτάται από τη συχνότητα εφαρμογής των παλμών διεγέρσεως.

Στο κύκλωμα του σχήματος 13.10α(α) είναι δυνατό και οι δυο είσοδοι να ενωθούν σε μια. Έτσι, όταν εφαρμόζεται θετικός παλμός στην είσοδο, θα οδηγείται στην πιο αρνητική βάση και θα φέρνει σε αγωγιμότητα το ίδιο τρανζίστορ, μεταβάλλοντας την κατάσταση αγωγιμότητας. Σε πολλά κυκλώματα υπάρχουν και δίοδες πυριτίου, οι οποίες οδηγούν το σήμα στο τρανζίστορ που είναι σε αποκοπή. Μπορεί οι παλμοί εισόδου να είναι αρνητικοί, οπότε οδηγούνται στο τρανζίστορ που είναι σε αγωγιμότητα και το φέρνουν σε αποκοπή, μεταβάλλοντας την κατάσταση αγωγιμότητας.

Στην περίπτωση που υπάρχει μια κοινή είσοδος και η έξοδος λαμβάνεται από το συλλέκτη του ενός τρανζίστορ, το κύκλωμα διαιρεί τους παλμούς. Δηλαδή, αν εφαρμοσθούν δέκα παλμοί στην είσοδο, στην έξοδο θα έχομε πέντε παλμούς. Όπως φαίνεται στο σχήμα 13.10α(β) παρατηρούμε ότι έξοδο θετικού παλμού στη 2η έξοδο,έχομε στον πρώτο παλμό, μετά στον τρίτο και μετά στον πέμπτο.

Τα κυκλώματα Flip-Flop χρησιμοποιούνται στους μετρητές (Counters), και στους διαιρέτες παλμών ή συχνότητας (Dividers). Στο σχήμα 13.10β(α), φαίνεται η τελική μορφή ενός Flip-Flop με κοινή είσοδο, δυο ανεξάρτητες εισόδους και δυο εξόδους, που έχει την ονομασία ***R-S-Flip-Flop.*** Οι ανεξάρτητες είσοδοι είναι οι S και R και οι ανεξάρτητες έξοδοι οι α και $\bar{\alpha}$ αντίστοιχα. Στο σχήμα 13.10β(β) φαίνεται η βασική του παράσταση. Στις σύγχρονες κατασκευές τα Flip-Flop είναι σε ολοκληρωμένα κυκλώματα.



Σχ. 13.10β.
Πλήρες κύκλωμα R-S Flip-Flop (α) και η βασική του παράσταση (β).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΔΕΚΑΤΟ ΤΕΤΑΡΤΟ

ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΛΟΓΙΚΩΝ ΚΥΚΛΩΜΑΤΩΝ

14.1 Γενικά.

Τα λογικά κυκλώματα είναι ηλεκτρονικά κυκλώματα, τα οποία μπορούν να εκτελούν λογικές πράξεις όταν τροφοδοτηθούν με ειδικούς ηλεκτρικούς παλμούς στην είσοδό τους. Με κατάλληλη διάταξη των λογικών κυκλωμάτων είναι δυνατό να έχομε πρόσθεση αριθμών, αφαίρεση, πολλαπλασιασμό, διαίρεση και μέχρι επίλυση διαφορικών εξισώσεων.

Τα λογικά κυκλώματα είναι οι πυρήνες των ηλεκτρονικών υπολογιστών οι οποίοι βρίσκονται σήμερα σε αλματώδη εξέλιξη. Η κατασκευή των ολοκληρωμένων κυκλωμάτων έδωσε τη δυνατότητα δημιουργίας πολύ μικρών σε όγκο κατασκευής, από τους ηλεκτρονικούς υπολογιστές τσέπης, τα ηλεκτρονικά ρολόγια και τα συστήματα παραγωγής ηλεκτρονικής μουσικής, μέχρι τους μεγάλους υπολογιστές των επιχειρήσεων.

Τα λογικά κυκλώματα δεν είναι εφεύρεση των τελευταίων χρόνων. Είχαν μελετηθεί και κατασκευασθεί ήδη από τις αρχές του 1930, με χρήση λυχνιών. Το μεγάλο κόστος κατασκευής τους και ο μεγάλος τους όγκος καθιστούσε δύσκολη την παραγωγή και εξέλιξή τους. Με την εφαρμογή των τρανζίστορ και των διόδων, άρχισε η εξέλιξη που έχει φθάσει σήμερα σε τέτοιο σημείο, ώστε να μη μπορούμε να προβλέψομε την παραπέρα ανάπτυξη.

Στα πλοία χρήση των λογικών κυκλωμάτων γίνεται στις ηλεκτρονικές βαθμίδες ελέγχου πορείας, καυσίμου, συναγερμού κλπ., συστημάτων δηλαδή που στη βάση τους είναι μικροί υπολογιστές. Στους υπερσύγχρονους πομπούς και δέκτες έχομε εφαρμογή μεγάλου αριθμού λογικών κυκλωμάτων στις βαθμίδες synthesizer και ελέγχου της συχνότητας.

Τα λογικά κυκλώματα λειτουργούν με ηλεκτρικούς παλμούς στο δυαδικό κυρίως σύστημα (binary) με διάφορα απλά κυκλώματα που λέγονται βασικά λογικά κυκλώματα ***πύλες*** (logic gates).

14.2 Συστήματα αριθμών.

Στα μαθηματικά και στους καθημερινούς λογαριασμούς μας χρησιμοποιούμε τους απλούς αραβικούς αριθμούς από το 0 μέχρι το 9. Αυτό το σύστημα αριθμήσεως λέγεται ***δεκαδικό*** γιατί έχει δέκα διαφορετικά στοιχεία και η αρίθμηση ενός αριθμού γίνεται με τις δυνάμεις του 10, δηλαδή $10^0 = 1$, $10^2 = 100$ κλπ. Έτσι ένας αριθμός, π.χ. ο 735, αποτελείται από 7 εκατοντάδες, 3 δεκάδες και 5 μονάδες και μπορεί να γραφεί:

$$735 = 7 \times 10^2 + 3 \times 10^1 + 5 \times 10^0$$

Παρατηρούμε δηλαδή ότι ο κάθε αριθμός πολλαπλασιάζεται με μια αντίστοιχη δύναμη του 10. Αρχίζοντας από το τέλος του αριθμού με δύναμη 10^0, προχωράμε προς το πρώτο ψηφίο αυξάνοντας τη δύναμη του 10.

Αυτό το σύστημα αριθμήσεως δεν είναι μοναδικό, αλλά δεν είναι δυνατό να χρησιμοποιηθεί και στα λογικά κυκλώματα, επειδή χρησιμοποιεί πολλά νούμερα (0 μέχρι 9). Στους ηλεκτρονικούς υπολογιστές χρησιμοποιείται κυρίως το δυαδικό σύστημα, αλλά υπάρχει το οκταδικό και το δεκαεξαδικό σύστημα αριθμήσεως.

α) Το δυαδικό σύστημα αριθμήσεως.

Το δυαδικό σύστημα είναι το απλούστερο σύστημα γιατί χρησιμοποιεί μόνο δύο στοιχεία το 0 και το 1, με τα οποία σχηματίζονται όλοι οι αριθμοί. Στο σύστημα αυτό χρησιμοποιούνται τα στοιχεία 0 και 1 αρχίζοντας από το τέλος (από το δεξιό μέρος) του αριθμού. Στον πίνακα 14.2.1 π.χ. φαίνεται η αρίθμηση από το 0 μέχρι το 9 στο δεκαδικό και στο δυαδικό συστημα.

ΠΙΝΑΚΑΣ 14.2.1

Δεκαδικό	Δυαδικό
0	0000
1	0001
2	0010
3	0011
4	0100
5	0101
6	0110
7	0111
8	1000
9	1001

ΠΙΝΑΚΑΣ 14.2.2

Δεκαδικό	2^3	2^2	2^1	2^0
0	0	0	0	0
1	0	0	0	1
2	0	0	1	0
3	0	0	1	1
4	0	1	0	0
5	0	1	0	1
6	0	1	1	0
7	0	1	1	1
8	1	0	0	0
9	1	0	0	1

Στον πίνακα 14.2.2 παρατηρούμε ότι τα στοιχεία 0 και 1 αντιστοιχούν σε δυνάμεις του 2, αρχίζοντας από δεξιά με τη μηδενική δύναμη του 2. Δηλαδή εδώ υπάρχει αντιστοιχία με το δεκαδικό σύστημα όπου οι αριθμοί αυξάνουν με δυνάμεις του 10, ενώ στο δυαδικό αυξάνουν με δυνάμεις του 2.

Ο αριθμός 9 π.χ. στο δυαδικό σύστημα γράφεται 1001 που αντιστοιχεί σε δυνάμεις του 2 με $1 \times 2^3 + 0 \times 2^2 + 0 \times 2^1 + 1 \times 2^1$ δηλαδή και ο οποίος είναι:

$$1 \times 2^3 = 8,\ 0 \times 2^2 = 0,\ 0 \times 2^1 = 0,\ 1 \times 2^1 = 1$$

και το άθροισμά τους: $8 + 0 + 0 + 1 = 9$.

Ας δούμε με ποιό δεκαδικό αριθμό αντιστοιχεί ένας τυχαίος δυαδικός αριθμός, π.χ. ο 10011010. Μετρώντας τον αριθμό των στοιχείων (ας είναι N), βρίσκομε τη δύναμη του πρώτου δυαδικού αριθμού που είναι $N - 1$. Στο παράδειγμα έχομε οκτώ στοιχεία, επομένως η δύναμη του πρώτου στοιχείου θα είναι το 7, του δευτέρου το 6 κλπ.

Έτσι ο δυαδικός γίνεται:

$1 \times 2^7 + 0 \times 2^6 + 0 \times 2^5 + 1 \times 2^4 + 1 \times 2^3 + 0 \times 2^2 + 1 \times 2^1 + 0 \times 2^0$

ο οποίος είναι: $1 \times 2^7 = 128,\ 0 \times 2^6 = 0,\ 0 \times 2^5 = 0,\ 1 \times 2^4 = 16,\ 1 \times 2^3 = 8,$ $0 \times 2^2 = 0,\ 1 \times 2^1 = 2,\ 0 \times 2^0 = 0$

και το άθροισμά τους $128 + 0 + 0 + 16 + 8 + 0 + 2 + 0 = 154$. Δηλαδή ο δυαδικός αριθμός 10011010 ισούται με το δεκαδικό αριθμό 154.

Παρατηρούμε ότι σε σύγκριση με τους αριθμούς στο δεκαδικό σύστημα, στο δυαδικό οι αριθμοί σχηματίζονται με πολλά στοιχεία. Αυτό όμως δεν αποτελεί πρόβλημα για τον ηλεκτρονικό υπολογιστή γιατί είναι δυνατό να αντιστοιχήσομε το 1 με θετικό παλμό και το 0 με μηδενικό (μηδενική τάση), πράγμα που αποτελεί τη θετική λογική, ή να αντικαταστήσομε το 1 με τάση 0 και το 0 με θετικό παλμό έχοντας έτσι την αρνητική λογική.

Όποια λογική και αν χρησιμοποιεί ο υπολογιστής, μπορεί να διαβάσει με μεγάλη ταχύτητα ένα αριθμό με μεγάλο αριθμό στοιχείων.

Αν ο αριθμός είναι κλασματικός ή δεκαδικός ή μικτός, συνεχίζομε με τις αρνητικές δυνάμεις του 2. Έστω ότι το δεκαδικό τμήμα τυχαίου δυαδικού αριθμού είναι 1011, που αντιστοιχεί στον αριθμό:

$$1 \times 2^{-1} + 0 \times 2^{-2} + 1 \times 2^{-3} + 1 \times 2^{-4}$$

ο οποίος είναι: $1 \times 0{,}5 + 1 \times 0{,}25 + 0 \times 0{,}125 + 1 \times 0{,}0625 = 0{,}8125$ σε δεκαδικό σύστημα.

β) Μετατροπή από το δεκαδικό στο δυαδικό σύστημα.

Η μετατροπή ενός αριθμού του δεκαδικού συστήματος στο δυαδικό σύστημα γίνεται εύκολα αν διαιρούμε τον αριθμό συνέχεια δια του δύο και το υπόλοιπο που μένει από κάθε διαίρεση είναι ψηφίο του δυαδικού συστήματος. Για παράδειγμα μετατρέπομε τον αριθμό 185 του δεκαδικού συστήματος σε αριθμό του δυαδικού συστήματος, όπως φαίνεται παρακάτω.

185 : 2 =	92	και υπόλοιπο	1	
92 : 2 =	46	και υπόλοιπο	0	
46 : 2 =	23	και υπόλοιπο	0	
23 : 2 =	11	και υπόλοιπο	1	
11 : 2 =	5	και υπόλοιπο	1	
5 : 2 =	2	και υπόλοιπο	1	
2 : 2 =	1	και υπόλοιπο	0	
1 : 2 =	0	και υπόλοιπο	1	(που είναι το μεγαλύτερο σημαντικό ψηφίο)

Επομένως ο αντίστοιχος δυαδικός αριθμός είναι: $10111001_{(2)}$. Με την επαλήθευση, θα έχομε:

$$1 \times 2^7 + 0 \times 2^6 + 1 \times 2^5 + 1 \times 2^4 + 1 \times 2^3 + 0 \times 2^2 + 0 \times 2^1 + 1 \times 2^0 = 128 + 0 + 32 + 16 + 8 + 0 + 0 + 1 = 185_{(10)}.$$

Αν θέλομε να μετατρέψομε ένα δεκαδικό ή σύνθετο αριθμό του δεκαδικού συστήματος σε δυαδικό, χωρίζομε τον αριθμό στο ακέραιο μέρος και στο κλασματικό. Για το ακέραιο ακολουθούμε την παραπάνω σειρά εργασίας, ενώ για το κλασματικό χρησιμοποιούμε άλλη σειρά. Πολλαπλασιάζομε το κλασματικό μέρος επί 2 και το ακέραιο μέρος που προκύπτει (0 ή 1) είναι το μεγαλύτερο σημαντικό ψηφίο του δυαδικού αριθμού. Το νέο κλασματικό αριθμό τον πολλαπλασιάζομε πάλι επί 2 και το ακέραιο μέρος που προκύπτει (πάλι 0 ή 1) είναι το δεύτερο σημαντικό ψηφίο του δυαδικού. Αυτή την εργασία συνεχίζομε μέχρι τη μεγαλύτερη απαιτούμενη προσέγγιση ή μέχρι το τέλος τους αριθμού.

Για παράδειγμα θα μετατρέψομε το σύνθετο αριθμό 85,37 του δεκαδικού συ-

στήματος σε αριθμό του δυαδικού συστήματος, όπως φαίνεται παρακάτω: Υπολογίζομε το ακέραιο μέρος:

85 : 2 = 42 και υπόλοιπο 1
42 : 2 = 21 και υπόλοιπο 0
21 : 2 = 10 και υπόλοιπο 1
10 : 2 = 5 και υπόλοιπο 0
5 : 2 = 2 και υπόλοιπο 1
2 : 2 = 1 και υπόλοιπο 0
1 : 2 = 0 και υπόλοιπο 1 (που είναι το μεγαλύτερο σημαντικό ψηφίο του ακέραιου)

Επομένως ο ακέραιος στο δυαδικό σύστημα είναι $1010101_{(2)}$.
Υπολογίζομε το κλασματικό μέρος:

0,37 × 2 = 0,74 κλασματικό μέρος και 0 ακέραιο
0,74 × 2 = 0,48 κλασματικό μέρος και 1 ακέραιο
0,48 × 2 = 0,96 κλασματικό μέρος και 0 ακέραιο
0,96 × 2 = 0,92 κλασματικό μέρος και 1 ακέραιο
0,92 × 2 = 0,84 κλασματικό μέρος και 1 ακέραιο

Μπορούμε να συνεχίσομε για μεγαλύτερη ακρίβεια του κλασματικού μέρους ή να σταματήσομε κατά προσέγγιση. Ο τελευταίος αριθμός που βρίσκομε (0 ή 1), είναι ο μικρότερος σημαντικός αριθμός του κλασματικού μέρους. Επομένως το κλασματικό μέρος του δυαδικού αριθμού είναι: 01011 και ολόκληρος ο αριθμός $85,37_{(10)}$ του δεκαδικού συστήματος, στο δυαδικό σύστημα γράφεται: $1010101,01011_{(2)}$

Αν κάνομε την επαλήθευση, θα έχομε: $1 \times 2^6 + 0 \times 2^5 + 1 \times 2^4 + 0 \times 2^3 + 1 \times 2^2 + 0 \times 2^1 + 1 \times (^0 + 0 \times 2^{-1} + 1 \times 2^{-2} + 0 \times 2^{-3} + 1 \times 2^{-4} + 1 \times 2^{-5} = 64 + 0 + 16 + 0 + 4 + 0 + 1 + 0 + 0,25 + 0 + 0,0625 + 0,0312 = 85,344$ κατά προσέγγιση στο δεκαδικό σύστημα.

Η μετατροπή από το δυαδικό στο δεκαδικό σύστημα γίνεται όπως και η επαλήθευση στα παραπάνω παραδείγματα.

Ένας απλός τρόπος μετατροπής από το δεκαδικό στο δυαδικό σύστημα και αντίστροφα είναι με τη χρήση του πίνακα 14.2.3. Στην οριζόντια στήλη (α) τοποθετούμε τις δυνάμεις του 2 όπως φαίνεται στον πίνακα και στη στήλη (β) τα στοιχεία του δυαδικού αριθμού, αρχίζοντας από το τελευταίο προς το πρώτο. Στη στήλη (γ) γράφομε τους αριθμούς της στήλης (α) που αντιστοιχούν στο στοιχείο 1 της στήλης (β). Το άθροισμα των αριθμών της στήλης (γ) μας δίνει τον αριθμό του δεκαδικού συστήματος.

ΠΙΝΑΚΑΣ 14.2.3

	ακέραιος									κλασματικός			
α	256	128	64	32	16	8	4	2	1	0,5	0,25	0,125	0,0625
β		1	0	0	1	1	0	1	1	0	1	1	
γ		128			16	8		2	1		0,25	0,125	

Χρησιμοποιούμε και αντίστροφα τον πίνακα, δηλαδή από δεκαδικό αριθμό να σχηματίσομε το δυαδικό. Αν έχομε π.χ. τον αριθμό 82, τότε κάτω από το 64 θα βάλομε 1, γιατί 82>64. Στο 32 θα βάλομε 0, γιατί 64 + 32 = 96 που είναι μεγαλύτερο από το 82 (82<96). Στο 16 θα βάλομε 1, γιατί 64 + 16 = 80 που είναι μικρότερο από το 82 (82>80). Στο 8 θα βάλομε 0, γιατί 80 (δηλαδή το προηγούμενο άθροισμα) + 8 = 88 είναι μεγαλύτερο από το 82 (82<88). Στο 4 θα βάλομε πάλι 0, γιατί 80 + 4 = 84 είναι μεγαλύτερο από το 82 (82<84). Στο 2 θα βάλομε 1, γιατί 80 + 2 = 82, το οποίο είναι ίδιο με το δεκαδικό αριθμό. Τέλος στο 1 θα βάλομε 0, γιατί δεν υπάρχει πλεόνασμα αριθμού. Έτσι σχηματίζεται ο δυαδικός αριθμός 1010010, ο οποίος τοποθετείται στα κουτάκια της στήλης β.

γ) Το οκταδικό και δεκαεξαδικό σύστημα αριθμήσεως.

Με τον ίδιο τρόπο που εργασθήκαμε για τη μετατροπή του δεκαδικού αριθμού σε δυαδικό, μπορούμε επίσης να μετατρέψομε ένα δεκαδικό σε οκταδικό ή δεκαεξαδικό. Σε οκταδικό μετατρέπεται, αν διαιρούμε συνέχεια το δεκαδικό με το οκτώ. Το υπόλοιπο της κάθε διαιρέσεως αποτελεί τα στοιχεία του οκταδικού. Ο δεκαδικός αριθμός $763_{(10)}$ π.χ. μετατρέπεται στον οκταδικό, όπως στο παράδειγμα:

763 : 8 = 95 και υπόλοιπο 3
93 : 8 = 11 και υπόλοιπο 7
11 : 8 = 1 και υπόλοιπο 3
1 : 8 = 0 και υπόλοιπο 1

Επομένως ο οκταδικός αριθμός είναι ο $1373_{(8)}$.
Αν εκτελέσομε την επαλήθευση, θα έχομε:

$$1 \times 8^3 + 3 \times 8^2 + 7 \times 8^1 + 3 \times 8^0 = 512 + 192 + 56 + 3 = 763_{(10)}$$

Κατά τον ίδιο τρόπο γίνεται και η μετατροπή αριθμού του δεκαδικού συστήματος σε αριθμό του δεκαεξαδικού, με διαίρεση τώρα του δεκαδικού αριθμού με το δεκαέξι.

Με άλλο, απλούστερο τρόπο, γίνεται η μετατροπή του δυαδικού αριθμού σε οκταδικό, με διαίρεση του αριθμού ανα τρία στοιχεία. Οι μετατροπές αυτές γίνονται μέσα στον ηλεκτρονικό υπολογιστή με τα λογικά κυκλώματα, σε πολύ μεγάλες ταχύτητες.

14.3 Αριθμητικές πράξεις στο δυαδικό σύστημα.

Οι βασικές πράξεις πρόσθεση, αφαίρεση, πολλαπλασιασμός και διαίρεση εκτελούνται πολύ εύκολα στο δυαδικό σύστημα (binary system).

α) Πρόσθεση.

Η πρόσθεση στο δυαδικό σύστημα γίνεται όπως και στο δεκαδικό, από δεξιά προς τα αριστερά, με τον παρακάτω κανόνα.

A + B = F	
0 + 0 = 0	
0 + 1 = 1	
1 + 0 = 1	
1 + 1 = 0	(και 1 κρατούμενο)

Παράδειγμα έχομε τις παρακάτω προσθέσεις στο δυαδικό σύστημα και τις αντίστοιχές τους στο δεκαδικό, σύμφωνα με τον πίνακα 14.2.1 και τον πίνακα 14.2.3

1)
$$\begin{array}{r} 101_{(2)} \\ +\ 10_{(2)} \\ \hline 111_{(2)} \end{array} \qquad \text{στο δεκαδικό} \qquad \begin{array}{r} 5_{(10)} \\ +\ 2_{(10)} \\ \hline 7 \end{array}$$

2)
$$\begin{array}{r} 010111_{(2)} \\ +\ 011001_{(2)} \\ \hline 110000_{(2)} \end{array} \qquad \text{στο δεκαδικό} \qquad \begin{array}{r} 23_{(10)} \\ +\ 25_{(10)} \\ \hline 48_{(10)} \end{array}$$

β) Αφαίρεση.

Η αφαίρεση στο δυαδικό σύστημα γίνεται όπως και στο δεκαδικό, με τον παρακάτω κανόνα.

A − B = F	
0 − 0 = 0	
1 − 0 = 1	
1 − 1 = 0	
0 − 1 = 1	(με δανεισμό μονάδας από το προηγούμενο ψηφίο)

Παράδειγμα οι παρακάτω αφαιρέσεις:

1)
$$\begin{array}{r} 101010_{(2)} \\ -\ 01101_{(2)} \\ \hline 11101 \end{array} \qquad \text{στο δεκαδικό} \qquad \begin{array}{r} 42_{(10)} \\ -\ 13_{(10)} \\ \hline 29_{(10)} \end{array}$$

2)
$$\begin{array}{r} 1110110_{(2)} \\ -\ 1001011_{(2)} \\ \hline 0101011 \end{array} \qquad \text{στο δεκαδικό} \qquad \begin{array}{r} 118_{(10)} \\ -\ 75_{(10)} \\ \hline 43_{(10)} \end{array}$$

Η αφαίρεση μπορεί να γίνει και με πρόσθεση του αρνητικού αριθμού, όπως γίνεται και στο δεκαδικό σύστημα. Σε αυτή την περίπτωση εισάγεται από τα λογικά κυκλώματα και ο παράγοντας του αρνητικού προσήμου.

γ) Πολλαπλασιασμός.

Ο πολλαπλασιασμός στο δυαδικό σύστημα γίνεται όπως και στο δεκαδικό σύστημα αριθμών, με τον παρακάτω κανόνα:

$$0 \times 0 = 0$$
$$1 \times 0 = 0$$
$$0 \times 1 = 0$$
$$1 \times 1 = 1$$

Παράδειγμα ο παρακάτω πολλαπλασιασμός:

$$\begin{array}{r} 101101_{(2)} \\ \times\ 101_{(2)} \\ \hline 101101 \\ 000000 \\ 101101 \\ \hline 11100001_{(2)} \end{array}$$

στο δεκαδικό

$$\begin{array}{r} 45_{(10)} \\ \times\ 5_{(10)} \\ \hline 225_{(10)} \end{array}$$

δ) Διαίρεση.

Η διαίρεση στο δυαδικό σύστημα γίνεται όπως και στο δεκαδικό, σύμφωνα με τον κανόνα.

$$0 : 1 = 0$$
$$1 : 1 = 1$$

Διαίρεση με το 0 δεν γίνεται:

Παράδειγμα η παρακάτω διαίρεση:

$$\begin{array}{r|l} 11010 & 111 \\ -0111 & 11 \\ \hline 01100 & \\ -0111 & \\ \hline 101 & \text{(υπόλοιπο)} \end{array}$$

στο δεκαδικό

$$\begin{array}{r|l} 26 & 7 \\ 5 & 3 \end{array}$$

(υπόλοιπο 5)

Με τον ίδιο τρόπο γίνονται οι βασικές πράξεις και με σύνθετους αριθμούς, οι οποίοι αποτελούνται από ακέραιο και κλασματικό μέρος.

14.4 Κώδικες στο δυαδικό σύστημα.

Στους ηλεκτρονικούς υπολογιστές για να συμβολισθούν οι αριθμοί και τα γράμματα του αλφαβήτου χρησιμοποιούνται διάφοροι κώδικες, ανάλογα με την ταχύτητα λειτουργίας του υπολογιστή, το σύνολο των κυκλωμάτων που διαθέτει, την απαιτούμενη ακρίβεια κλπ. Χρησιμοποιούνται διάφοροι κώδικες, από τους οποίους για παράδειγμα και για συντομία θα αναφερθούν μόνο τρεις.

α) Κώδικας BCD.

Αυτός ο κώδικας παίρνει την ονομασία του από τα γράμματα BCD που είναι τα αρχικά των λέξεων Binary-Coded Decimal (κωδικοποιημένος δεκαδικός σε δυαδικό). Ονομάζεται και κώδικας 8-4-2-1 από τις δυνάμεις του 2, αλλά δεν είναι ο απλός κώδικας μετατροπής από το δεκαδικό στο δυαδικό.

Σ' αυτόν ο κάθε δεκαδικός αριθμός από 0 μέχρι 9 γράφεται με τον αντίστοιχό του απλό δυαδικό. Ο αριθμός 12 π.χ. αποτελείται από τα στοιχεία 1 και 2, τα οποία στον απλό δυαδικό αντιστοιχούν σε 1 = 0001 και 2 = 0010. Επομένως το 12 στο BCD θα γραφεί 00010010, ενώ στον απλό δυαδικό θα γραφόταν 1100.

Παρατηρούμε δηλαδή ότι στον κώδικα BCD ο κάθε δεκαδικός αριθμός αποτελείται από ψηφία του δυαδικού συστήματος.

Ο αριθμός 347 π.χ. στο BCD θα γραφεί: 0011 0100 0111

ενώ στο απλό δυαδικό θα γραφόταν: 101011011

Στο BCD χρησιμοποιούνται περισσότερα στοιχεία 0 και 1 από ό,τι στο απλό δυαδικό. Για τον υπολογιστή βέβαια αυτό δεν δημιουργεί πρόβλημα, γιατί τα στοιχεία 0 και 1 κινούνται με πολύ μεγάλη ταχύτητα.

β) Κώδικας «υπερβολής κατά τρία» (Excess-three code).

Στον κώδικα αυτόν προστίθενται τρεις αριθμοί στον αρχικό δυαδικό του κώδικα BCD από 0 μέχρι 9. Έτσι ο δεκαδικός αριθμός 4 στο BCD γράφεται 0100, ενώ στον κώδικα «υπερβολής κατά τρία» γράφεται 0111, δηλαδή όπως γράφεται το 7. Στον πίνακα 14.4.1 φαίνεται η διαφορά του κώδικα «υπερβολής κατά τρία» με τον κώδικα BCD για αριθμούς από 0 μέχρι 9.

ΠΙΝΑΚΑΣ 14.4.1

Δεκαδικός	BCD	Υπερβολής κατά τρία
0	0000	0011
1	0001	0100
2	0010	0101
3	0011	0110
4	0100	0111
5	0101	1000
6	0110	1001
7	0111	1010
8	1000	1011
9	1001	1100

Και σ' αυτό τον κώδικα το κάθε δεκαδικό στοιχείο αποτελείται από τέσσερα ψηφία του δυαδικού συστήματος. Ο αριμός 347 π.χ. στον κώδικα «υπερβολής κατά τρία» θα γραφεί:

0110 0111 1010

που είναι διαφορετικός από τον αντίστοιχο του κώδικα BCD.

γ) Κώδικας του Gray.

Ο κώδικας αυτός λέγεται και ***κυκλικός κώδικας,*** γιατί χρησιμοποιεί ένα δίσκο κωδικοποιήσεως. Κύριο χαρακτηριστικό του είναι ότι μεταξύ δύο διαδοχικών αριθμών έχομε αλλαγή μόνο ενός ψηφίου. Αυτός ο κώδικας καθιστά απλούστερη την κατασκευή του κυκλώματος εισόδου του υπολογιστή και χρησιμοποιείται κυρίως σε μετατροπή σημάτων αναλογικού υπολογιστή σε σήματα ψηφιακού υπολογιστή. Στον πίνακα 14.4.2 φαίνεται ο κώδικας του Gray σε σύγκριση με τον κώδικα BCD για δεκαδικά στοιχεία από 0 μέχρι 9.

Κατά τη λειτουργία του υπολογιστή είναι δυνατό να συμβούν λάθη λόγω θορύβου ή κακής επαφής ενός διακόπτη και, αντί να δοθεί στοιχείο 0, να δοθεί στοιχείο 1. Σ' αυτή τη περίπτωση το αποτέλεσμα θα είναι λανθασμένο στην έξοδο του υπολογιστή. Υπάρχουν ειδικοί κώδικες που ενεργούν παράλληλα με τον κυρίως κώδικα και προσθέτουν ή αφαιρούν στοιχεία συγκρίσεως 0 ή 1, για να ελέγχουν αν το αποτέλεσμα του υπολογιστή είναι σωστό. Οι κώδικες αυτοί λέγονται ***κώδικες αλήθειας*** ή ***κώδικες αναγνωρίσεως σφαλμάτων.***

ΠΙΝΑΚΑΣ 14.4.2

Δεκαδικός	BCD	Κώδικας Gray
0	0000	0000
1	0001	0001
2	0010	0011
3	0011	0010
4	0100	0110
5	0101	0111
6	0110	0101
7	0111	0100
8	1000	1100
9	1001	1101

14.5 Άλγεβρα του Boole.

Η άλγεβρα του Boole είναι μια ιδιόμορφη άλγεβρα που χρησιμοποιεί μαθηματικές εξισώσεις για τη λύση προβλημάτων σε λογικά κυκλώματα ή σε κυκλώματα με πολλούς διακόπτες, όπως είναι τα κυκλώματα των τηλεφωνικών δικτύων.

Ο Άγγλος μαθηματικός George Boole το 1847 στηριζόμενος στη θεωρία του Αριστοτέλη για τη δημιουργία και τη σύζευξη των προτάσεων του λόγου, διατύπωσε μαθηματικούς νόμους και κανόνες που μπορούσαν να εφαρμοσθούν στη λογική των προτάσεων, στο ότι μια πρόταση μπορεί να θεωρηθεί σωστή ή λανθασμένη με μια σειρά μαθηματικών σχέσεων.

Το έτος 1938 ο Claude Shannon διαπίστωσε ότι η άλγεβρα του Boole μπορούσε να χρησιμοποιηθεί στην λύση προβλημάτων, που παρουσίαζαν ηλεκτρικά κυκλώματα με μεγάλο αριθμό διακοπτών. Έτσι η άλγεβρα του Boole χρησιμοποιήθηκε για τα ηλεκτρικά κυκλώματα και σήμερα χρησιμοποιείται ως μέθοδος για τη σχεδίαση των κυκλωμάτων λογικής των ηλεκτρονικών υπολογιστών.

Πριν να προχωρήσομε στα αξιώματα της άλγεβρας του Boole, θα αναφέρομε τις τρεις βασικές λογικές καταστάσεις «ΚΑΙ» (AND), «ή» (OR), «ΟΧΙ» (NOT) με τη χρήση διακοπτών ή ηλεκτρονόμων σε απλά κυκλώματα.

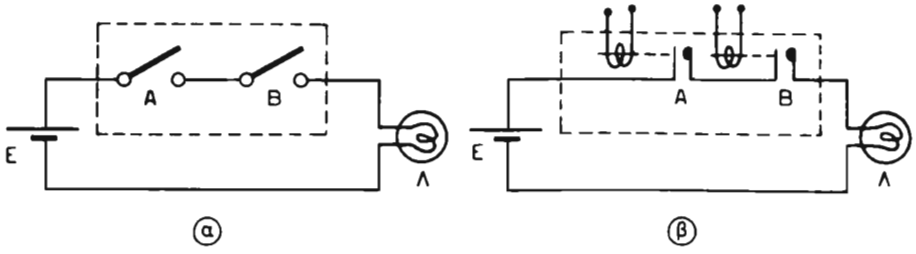
α) Λογικά κυκλώματα με διακόπτες.

Μπορούμε να σχηματίσομε απλά λογικά κυκλώματα με διακόπτες ON-OFF ή με ηλεκτρονόμους με επαφές.

Ένα απλό λογικό κύκλωμα με διακόπτες φαίνεται στο σχήμα 14.5α(α). Αποτελείται από δύο διακόπτες Α και Β που συνδέονται σε σειρά, από την πηγή συνεχούς ρεύματος Ε και από ένα φωτιστικό λαμπάκι. Μπορεί στο κύκλωμα να έχομε και περισσότερους διακόπτες (C,D,E κλπ.), αλλά για την απλούστευση του πράγματος χρησιμοποιούμε δύο. Στο σχήμα 14.5α(β) έχομε το ίδιο κύκλωμα, αλλά με ηλεκτρονόμους που μπορεί να διεγείρονται από άλλη διαφορετική πηγή.

Ο κάθε διακόπτης μπορεί να βρίσκεται σε μια από τις δύο καταστάσεις, ανοικτός (OFF) ή κλειστός (ON). Την κατάσταση OFF τη συμβολίζομε με το στοιχείο ***0*** και την κατάσταση ON με το στοιχείο ***1***. Επίσης το σβηστό λαμπάκι το συμβολίζομε με το στοιχείο ***0*** και το αναμμένο με το στοιχείο ***1***.

Μπορούμε να έχομε τέσσερις διαφορετικές καταστάσεις στους δύο διακόπτες



Σχ. 14.5α.
Λογικό κύκλωμα «ΚΑΙ» με διακόπτες.

και αντίστοιχες τέσσερις καταστάσεις στο λαμπάκι. Στην πρώτη κατάσταση ο διακόπτης Α είναι ανοικτός (0) και ο Β επίσης ανοιχτός (0). Το λαμπάκι δεν ανάβει (0), γιατί δεν διέρχεται ρεύμα από τους διακόπτες οι οποίοι είναι ανοιχτοί. Στη δεύτερη κατάσταση ο διακόπτης Α είναι ανοιχτός (0) και ο Β κλειστός (1). Το λαμπάκι δεν ανάβει (0), γιατί δεν διέρχεται ρεύμα από το διακόπτη Α. Στην τρίτη κατάσταση ο διακόπτης Α είναι κλειστός (1) και ο Β ανοιχτός (0). Το λαμπάκι δεν ανάβει (0), γιατί δεν διέρχεται ρεύμα από το διακόπτη Β. Στην τέταρτη κατάσταση ο διακόπτης Α είναι κλειστός (1) και ο Β επίσης κλειστός (1). Το λαμπάκι ανάβει (1), γιατί διέρχεται ρεύμα και από τους δύο διακόπτες. Τις τέσσερις αυτές καταστάσεις μπορούμε να παραστήσομε στον πίνακα 14.5.1, ο οποίος λέγεται ***πίνακας αλήθειας.***

ΠΙΝΑΚΑΣ 14.5.1

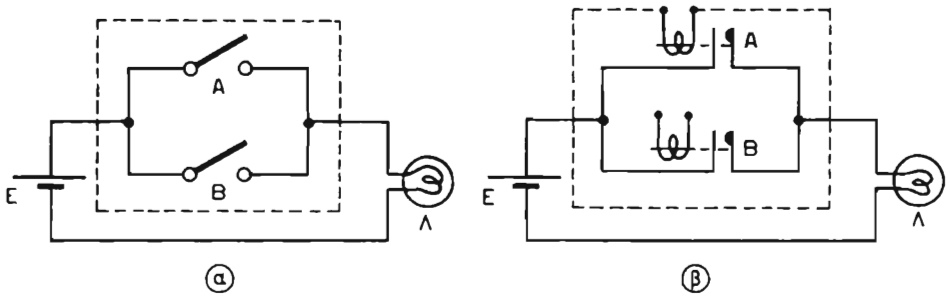
	Διακόπτες		Αποτέλεσμα
	Α	Β	Λαμπάκι
1η	0	0	0
2η	0	1	0
3η	1	0	0
4η	1	1	1

Αν είχαμε περισσότερους διακόπτες σε σειρά, θα είχαμε περισσότερες καταστάσεις. Τον ίδιο πίνακα 14.5.1 θα έχομε και με τη λειτουργία του κυκλώματος του σχήματος 14.5α(β) τροφοδοτώντας ή όχι τα πηνία των ηλεκτρονόμων, με αποτέλεσμα να κλείνουν ή να μην κλείνουν οι επαφές τους.

Το κύκλωμα των δύο σε σειρά διακοπτών λέγεται ***κύκλωμα «ΚΑΙ» (AND)*** γιατί πρέπει να είναι κλειστοί ***και*** οι δύο διακόπτες για να ανάψει το λαμπάκι. Ονομάζεται επίσης ***πύλη «ΚΑΙ» (AND).***

Το λογικό αποτέλεσμα της πύλης AND το συμβολίζομε με το γινόμενο των γραμμάτων των δύο διακοπτών ***Α.Β*** ή απλά ***ΑΒ,*** το οποίο διαβάζεται ***Α και Β.***

Ένα δεύτερο λογικό κύκλωμα με διακόπτες φαίνεται στο σχήμα 14.5β(α). Αποτελείται από δύο διακόπτες Α και Β που έχουν παράλληλη σύνδεση μεταξύ τους και συνδέονται σε σειρά με την πηγή Ε και το λαμπάκι Λ. Μπορούμε να έχομε και



Σχ. 14.5β.
Λογικό κύκλωμα «ή» με διακόπτες.

περισσότερους διακόπτες παράλληλα, αλλά για απλούστευση της λειτουργίας χρησιμοποιούνται μόνο δύο. Στο σχήμα 14.5β(β) φαίνεται το ίδιο κύκλωμα με ηλεκτρονόμους.

Σ' αυτό το κύκλωμα μπορούμε επίσης να παρατηρήσομε τέσσερις διαφορετικές καταστάσεις. Στην πρώτη κατάσταση ο διακόπτης Α είναι ανοικτός (0) και ο Β επίσης ανοικτός (0). Το λαμπάκι δεν ανάβει (0), γιατί δεν διέρχεται ρεύμα. Στη δεύτερη κατάσταση ο Α είναι ανοικτός (0) και ο Β κλειστός (1). Το λαμπάκι ανάβει (1), γιατί διέρχεται ρεύμα από το διακόπτη Β. Στην τρίτη κατάσταση ο Α είναι κλειστός (1) και ο Β ανοικτός (0). Το λαμπάκι ανάβει (1), γιατί διέρχεται ρεύμα από το διακόπτη Β. Στην τέταρτη κατάσταση ο Α είναι κλειστός (1) και ο Β επίσης κλειστός (1). Το λαμπάκι ανάβει (1), γιατί διέρχεται ρεύμα και από τους δύο διακόπτες. Τις τέσσερις αυτές καταστάσεις μπορούμε να περιγράψομε στον πίνακα αλήθειας 14.5.2.

ΠΙΝΑΚΑΣ 14.5.2

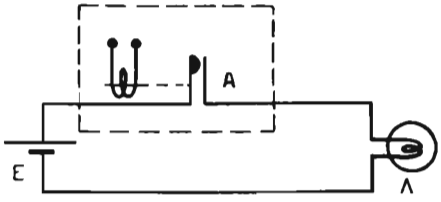
	Διακόπτες		Αποτέλεσμα
	Α	Β	Λαμπάκι
1η	0	0	0
2η	0	1	1
3η	1	0	1
4η	1	1	1

Τον ίδιο πίνακα έχομε και με τη λειτουργία του κυκλώματος 14.5β(β) με τους ηλεκτρονόμους.

Το κύκλωμα των δύο παράλληλων διακοπτών λέγεται ***κύκλωμα «ή» (OR),*** γιατί, για να ανάψει το λαμπάκι, αρκεί να κλείσει ***ή*** ο διακόπτης Α ***ή*** ο διακόπτης Β. Ονομάζεται επίσης ***πύλη «ή» (OR).***

Το λογικό αποτέλεσμα της πύλης το συμβολίζομε με το άθροισμα των γραμμάτων των διακοπτών ***A + B,*** το οποίο διαβάζεται ***Α ή Β.***

Ένα τρίτο κύκλωμα με ηλεκτρονόμο φαίνεται στο σχήμα 14.5γ. Αποτελείται από την πηγή Ε, το λαμπάκι Λ και τις επαφές Α του ηλεκτρονόμου. Ο ηλεκτρονόμος



Σχ. 14.5γ.
Λογικό κύκλωμα «ΟΧΙ» με ηλεκτρονόμο.

λειτουργεί αντίθετα από ό,τι οι προηγούμενοι [σχήματα 14.5α(β) και 14.5β(β)]. Όταν είναι σε ηρεμία, όταν δηλαδή δεν τροφοδοτείται, οι επαφές του είναι κλειστές, ενώ όταν τροφοδοτείται ανοίγουν. Έτσι μπορούμε να έχομε μόνο δύο καταστάσεις, σ' αυτή τη περίπτωση. Στην πρώτη ο ηλεκτρονόμος δεν τροφοδοτείται (0), οι επαφές του, είναι κλειστές και το λαμπάκι ανάβει (1). Στη δεύτερη κατάσταση ο ηλεκτρονόμος τροφοδοτείται (1) και το λαμπάκι δεν ανάβει (0), γιατί οι επαφές του ηλεκτρονόμου άνοιξαν και δεν περνά ρεύμα. Το κύκλωμα μπορούσε να ήτανε και με διακόπτη, ο οποίος στη θέση OFF να ήτανε κλειστός και στη θέση ON ανοικτός, δηλαδή αντίθετος. Με τον ηλεκτρονόμο, η λειτουργία του καθίσταται πιο πολύ κατανοητή.

Οι δυο καταστάσεις του κυκλώματος μπορούν να φανούν στον πίνακα αλήθειας 14.5.3.

ΠΙΝΑΚΑΣ 14.5.3

	Ηλεκτρονόμος	Αποτέλεσμα
	Α	Λαμπάκι
1η	0	1
2η	1	0

Αυτό το κύκλωμα λέγεται κύκλωμα αρνήσεως ***«ΟΧΙ» (NOT),*** γιατί δεν υπακούει κατά κάποιο τρόπο στην τροφοδότηση του ηλεκτρονόμου και αντιστρέφει το αποτέλεσμα, όπως φαίνεται και από τον πίνακα αλήθειας. Αυτό το κύκλωμα ονομάζεται ***πύλη «ΟΧΙ» (NOT).*** Έχει μια μόνο είσοδο και μια έξοδο και το λογικό της αποτέλεσμα συμβολίζεται με το γράμμα του διακόπτη (ηλεκτρονόμου) με μια παύλα ή ένα τόνο πάνω, δηλαδή $\overline{A}$ ή ***A'***. Οι σύγχρονες πύλες κατασκευάζονται με δίοδες πυριτίου ή τρανζίστορ και σε ολοκληρωμένα κυκλώματα. Συνδυασμός των τριων βασικών πυλών δίνουν μεγάλο αριθμό συνθετότερων πυλών, από τις οποίες θα γνωρίσομε σε επόμενη παράγραφο την πύλη NOR και την πύλη NAND.

Μετά την εξήγηση της λειτουργίας των βασικών πυλών, μπορούμε να κατασκευάσομε ένα γενικό πίνακα αλήθειας για τις πύλες AND, OR, NOT και για την ισότητα μεταξύ δυο στοιχείων (γραμμάτων) (πίνακας 14.5.4). Στη συνέχεια θα αναφερθούν μερικά από τα θεωρήματα της άλγεβρας Boole.

ΠΙΝΑΚΑΣ 14.5.4

A	B	A . B	A + B	$\overline{A}$ ή A΄	C = A
0	0	0	0	1	0
0	1	0	1	1	0
1	0	0	1	0	1
1	1	1	1	0	1

β) Θεωρήματα της άλγεβρας του Boole.

1. Θεώρημα της αντιμεταθέσεως.

α) A + B = B + A

β) A . B = B . A

2. Θεώρημα του συσχετισμού.

α) A + (B+C) = (A+B) +C. όπου C ένας τρίτος διακόπτης.

β) A . (B . C) = (A . B) . C

3. Θεώρημα του καταμερισμού.

α) A . (B+C) = A . B+A . C

β) A + B . C = (A+B) . (A+C)

4. Θεώρημα του επιμερισμού.

α) A . (A΄ + B) = A . B

β) A + A΄ . B = A + B

5. Θεώρημα της μοναδικότητας.

α) Το στοιχείο 1 είναι μοναδικό.

β) Το στοιχείο 0 είναι μοναδικό.

γ) Το A΄ του A είναι μοναδικό.

6. Θεώρημα του De Morgan.

α) $\overline{(A + B)} = \overline{A} + \overline{B}$ ή $(A + B)' = A' + B'$

β) $\overline{(A . B)} = \overline{A} . \overline{B}$ ή $(A . B)' = A' . B'$

Ισχύουν επίσης τα θεωρήματα: ***7.*** A + A΄ = 1 ***8.*** A . A΄ = 0

9. A + A = A ***10.*** A . A=A

11. A + 1 = 1 ***12.*** A . 1=A

13. A + 0 = A ***14.*** A . 0=0

Με χρήση των παραπάνω θεωρημάτων είναι δυνατό να επιτυγχάνεται επίλυση ή απλοποίηση δύσκολων κυκλωμάτων με πύλες, που χρησιμοποιούνται στους ηλεκτρονικούς υπολογιστές. Υπάρχει π.χ. ανάγκη να επιλυθεί το πρόβλημα ενός κυκλώματος με διακόπτες σε ένα τηλεφωνικό δίκτυο, το οποίο έχει τη μορφή F = BC + B + ABC΄ + ABC + A. Αυτή η εξίσωση μπορεί να απλοποιηθεί όπως φαίνεται παρακάτω:

$$
\begin{aligned}
F &= BC+B+ABC'+ABC+A \\
&= B(C+1)+A(BC'+BC+1) \\
&= B(C+1)+A[B(C'+C)+1] \\
&= B(C+1)+A[B\,.\,1+1] && \text{επειδή } \Theta-7 && A+A'=1 \\
&= B\,.\,1+A(B+1) && \text{επειδή } \Theta-11 && A+1=1 \\
&= B\,.\,1+A\,.\,1 && \text{επειδή } \Theta-11 && A+1=1 \\
&= B+A && \text{επειδή } \Theta-12 && A\,.\,1=A
\end{aligned}
$$

Έτσι η αρχική σύνθετη περίπτωση απλοποιείται σε μια απλή. Θα χρησιμοποιήσομε πάλι τα θεωρήματα σε επόμενη παράγραφο.

14.6 Ηλεκτρονικές πύλες λογικής.

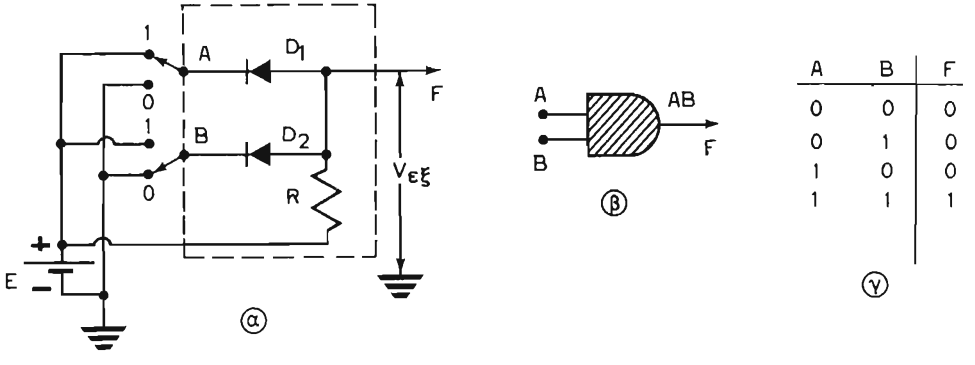
Οι πύλες που χρησιμοποιούνται σήμερα στους ηλεκτρονικούς υπολογιστές είναι κατασκευασμένες σε ολοκληρωμένα κυκλώματα που είναι δυνατό να περιέχουν μέχρι 20000 πύλες. Θα δούμε όμως πως σχηματίζονται οι ηλεκτρονικές πύλες με διακεκριμένα στοιχεία, τα οποία είναι αντιστάτες, δίοδες και τρανζίστορ.

α) Πύλη AND. Στο σχήμα 14.6α(α) φαίνεται το κύκλωμα μιας πύλης AND, στο (β) ο συμβολισμός της και στο (γ) ο πίνακας αλήθειας.

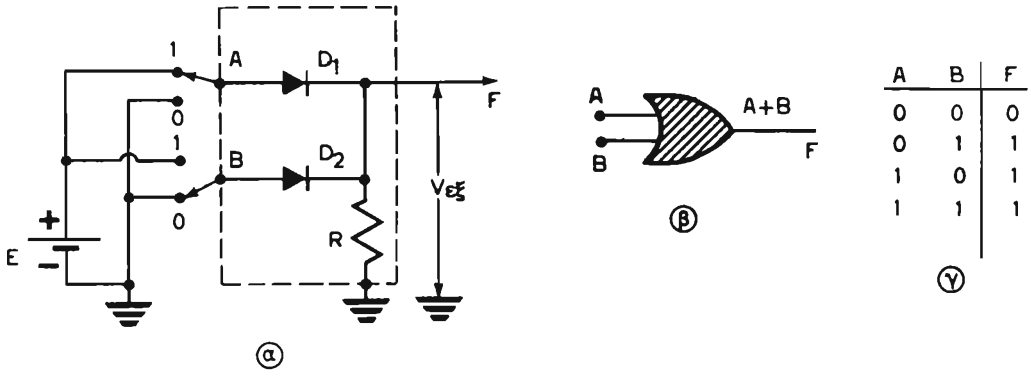
Στην πρώτη κατάσταση οι διακόπτες A και B είναι στη θέση 0, παίρνουν δυναμικό γής (—), οι δίοδες D_1 και D_2 βρίσκονται σε αγωγιμότητα και στην έξοδο έχομε δυναμικό 0. Σε μια δεύτερη κατάσταση ο A είναι στο 0 και ο B στο 1, η δίοδη D_1 είναι σε αγωγιμότητα και στην έξοδο έχομε 0. Σε τρίτη κατάσταση ο A είναι στο 1 και ο B στο 0, ο D_2 είναι σε αγωγιμότητα και στην έξοδο έχομε 0. Στην τέταρτη κατάσταση ο A και ο B είναι στο 1 και οι D_1 και D_2 παίρνουν θετικό δυναμικό και βρίσκονται σε αποκοπή. Η τάση της πηγής (+) μέσω του R εμφανίζεται στην έξοδο και έχομε τάση εξόδου (1).

Επομένως, για να λειτουργήσει η πύλη AND, πρέπει να έχει θετικό παλμό και στο A και στο B για να έχει θετικό παλμό στην έξοδο. Το αποτέλεσμα φαίνεται και στον πίνακα αλήθειας (γ).

β) Πύλη OR. Στο σχήμα 14.6β(α) φαίνεται το κύκλωμα μιας πύλης OR, στο (β) ο συμβολισμός της και στο (γ) ο πίνακας αλήθειας.



Σχ. 14.6α.
Κύκλωμα, συμβολισμός και πίνακας αλήθειας πύλης AND.



Σχ. 14.6β.
Κύκλωμα, συμβολισμός και πίνακας αλήθειας πύλης OR.

Παρατηρούμε και εδώ τις τέσσερις καταστάσεις. Στην πρώτη κατάσταση οι διακόπτες Α και Β είναι στη θέση 0, παίρνουν δυναμικό γης (—) και οι δίοδες D_1 και D_2 δεν άγουν, ενώ στην έξοδο έχομε δυναμικό 0. Στη δεύτερη κατάσταση ο Α είναι στο 0 και ο Β στο 1, το συν (+) της πηγής μέσω της D_2 που άγει εμφανίζεται στην έξοδο και έχομε τάση (1). Στην τρίτη κατάσταση ο Α είναι στο 1 και ο Β στο 0, το συν (+) της πηγής μέσω της D_1 που άγει εμφανίζεται στην έξοδο και έχομε τάση (1). Στην τέταρτη κατάσταση ο Α και ο Β είναι στο 1, το συν (+) της πηγής μέσω της D_1 και D_2 που είναι σε αγωγιμότητα εμφανίζεται στην έξοδο και έχομε τάση (1).

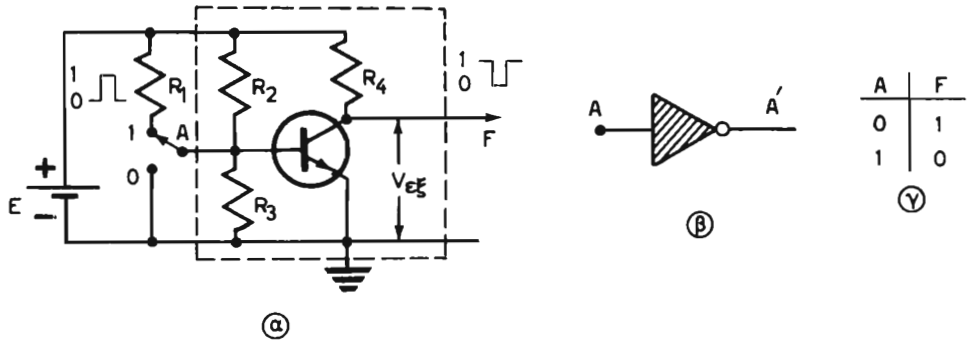
Επομένως, για να λειτουργήσει η πύλη OR, πρέπει να έχει θετικό παλμό ή στο Α ή στο Β ή και στα δύο, για να έχει θετικό παλμό στην έξοδο. Αν δεν έχει παλμό ούτε στο Α ούτε στο Β, δεν έχει ούτε και στην έξοδο. Το αποτέλεσμα φαίνεται και στον πίνακα αλήθειας (γ) ο οποίος παρατηρούμε ότι διαφέρει από τον πίνακα αλήθειας της πύλης AND.

γ) Πύλη NOT. Στο σχήμα 14.6γ(α) φαίνεται το κύκλωμα μιας πύλης NOT, στο (β) ο συμβολισμός της και στο (γ) ο πίνακας αλήθειας.

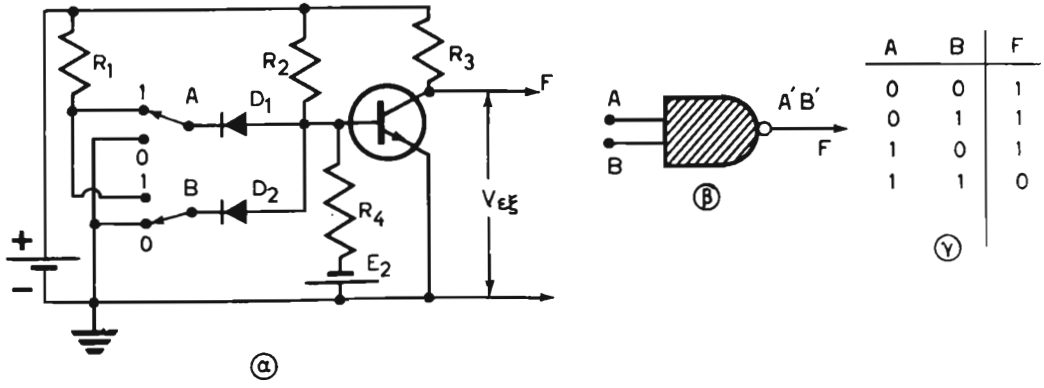
Στην πύλη NOT έχομε μόνο δύο καταστάσεις, στις οποίες γίνεται αντιστροφή. Στην πρώτη κατάσταση ο διακόπτης Α είναι στη θέση 1 και η βάση του τρανζίστορ παίρνει θετικό δυναμικό μέσω του R_1. Το τρανζίστορ έρχεται σε πολύ μεγάλη αγωγιμότητα και παρουσιάζει σχεδόν μηδενική αντίσταση. Στον R_4 σημειώνεται μεγάλη πτώση τάσεως και η τάση εξόδου είναι περίπου μηδενική (+ 0,3 V περίπου). Έτσι στο θετικό παλμό εισόδου (1) η έξοδος είναι 0, δηλαδή γίνεται αντιστροφή (άρνηση). Στη δεύτερη κατάσταση, ο διακόπτης Α είναι στο 0, η βάση του τρανζίστορ γειώνεται (μηδενικό δυναμικό) και το τρανζίστορ έρχεται σε αποκοπή. Δεν σημειώνεται πτώση τάσεως στον R_4, η τάση συλλέκτη γίνεται ίση με την τάση της πηγής και την ίδια τιμή έχει και η τάση εξόδου F. Έτσι για 0 τάση εισόδου στο Α έχομε τάση εξόδου (1), δηλαδή γίνεται πάλι αντιστροφή, όπως φαίνεται και στον πίνακα αλήθειας.

δ) Σύνθετη πύλη NAND. Η πύλη NAND «ΟΧΙ/ΚΑΙ» αποτελείται από μια πύλη AND και μια πύλη NOT που συνδέονται σε σειρά.

Στο σχήμα 14.6δ(α) φαίνεται το κύκλωμα μιας πύλης NAND, στο (β) ο συμβολισμός της και στο (γ) ο πίνακας αλήθειας.



Σχ. 14.6γ.
Κύκλωμα, συμβολισμός και πίνακας αλήθειας πύλης NOT.



Σχ. 14.6δ.
Κύκλωμα, συμβολισμός και πίνακας αλήθειας πύλης NAND.

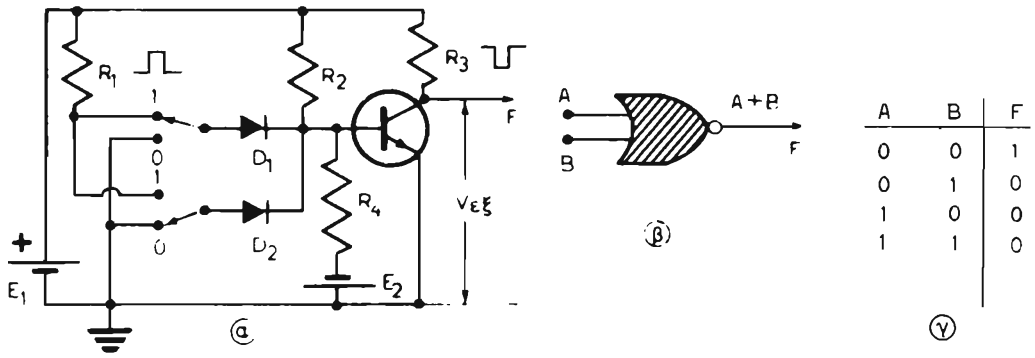
Οι τέσσερις καταστάσεις είναι όπως περιγράφηκαν στην παράγραφο 14.6α για την πύλη AND, μόνο που εδώ γίνεται αντιστροφή της καταστάσεως 0 σε κατάσταση 1, όπως φαίνεται και από τους πίνακες αλήθειας της AND και της NAND. Στην κατάσταση A = 0 και B = 1 στην έξοδο της AND υπάρχει 0, το οποίο είναι είσοδος στη NOT και αντιστρέφεται, με αποτέλεσμα στην έξοδο F να έχομε 1.

Η πηγή E_2 χρησιμεύει για να φέρνει σε τέλεια αποκοπή το τρανζίστορ, επειδή οι D_1 και D_2 έχουν μια διαφορά δυναμικού 0,2V περίπου όταν είναι στη θέση 0 οι A και B διακόπτες. Έτσι η E_2 εξουτερώνει αυτή τη μικρή τάση και φέρνει σε τέλεια αποκοπή το τρανζίστορ.

Έχομε πύλες NAND που σχηματίζονται μόνο από δύο τρανζίστορ που συνδέονται παράλληλα και έχουν κοινή αντίσταση συλλέκτη. Οι είσοδοι A και B συνδέονται στις βάσεις των τρανζίστορ η κάθε μία.

ε) Σύνθετη πύλη NOR. Η πύλη NOR («ΟΧΙ/ή») αποτελείται από μια πύλη OR και μια πύλη NOT που συνδέονται σε σειρά.

Στο σχήμα 14.6ε(α) φαίνεται το κύκλωμα μιας πύλης NOR, στο (β) ο συμβολισμός της και στο (γ) ο πίνακας αλήθειας.



A	B	F
0	0	1
0	1	0
1	0	0
1	1	0

Σχ. 14.6ε.
Κύκλωμα, συμβολισμός και πίνακας αλήθειας πύλης NOR.

Οι τέσσερις καταστάσεις είναι όπως έχουν περιγραφεί στην παράγραφο 14.6(β) της πύλης OR, μόνο που γίνεται αντιστροφή της καταστάσεως 0 σε κατάσταση 1, όπως φαίνεται και από τους αντίστοιχους πίνακες αλήθειας της πύλης OR και της πύλης NOR.

Υπάρχουν και άλλες μορφές σύνθετων πυλών που χρησιμοποιούνται στους σύγχρονους υπολογιστές και μικροϋπολογιστές. Επίσης οι πύλες AND, OR, NAND, NOR και άλλες σύνθετες είναι δυνατό να έχουν περισσότερες από δύο εισόδους, που δημιουργούν και αντίστοιχους πίνακες αλήθειας.

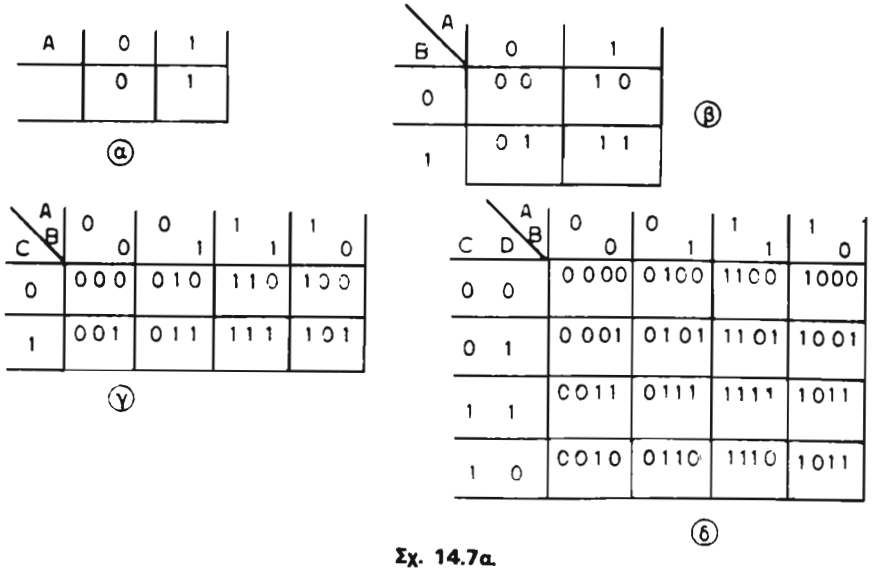
Στις πύλες μπορεί να ακολουθείται η θετική ή η αρνητική λογική, η οποία δεν έχει καμιά σχέση με το αρνητικό ή θετικό παλμό που θα χρησιμοποιηθεί στην είσοδο. Ο όρος ***αρνητική λογική*** σημαίνει ότι, από τις δύο τάσεις που δίνονται σε κάθε είσοδο (A ή B) και από τις τάσεις που εμφανίζονται στην έξοδο, η μικρότερη ορίζεται αυθαίρετα ως κατάσταση 1 και η μεγαλύτερη ως κατάσταση 0. Οι τάσεις αυτές πρέπει να είναι πάντοτε καθορισμένες και να έχουν την ίδια τιμή. Μπορεί π.χ. η μία τάση να είναι +5V (κατάσταση 0) και η άλλη 0V (κατάσταση 1).

Στη ***θετική λογική*** ορίζεται αυθαίρετα ως κατάσταση 1 η μεγαλύτερη τάση και ως κατάσταση 0 η μικρότερη. Π.χ. στη θετική λογική η μία τάση +5V είναι κατάσταση 1 και η τάση 0V κατάσταση 0. Στις παραπάνω πύλες χρησιμοποιήθηκε η θετική λογική.

14.7 Πίνακας του Καρνώ (Karnaugh).

Στο τέλος της παραγράφου 14.5 αναφέρθηκε ότι δύσκολα προβλήματα της λογικής και σύνθετες παραστάσεις είναι δυνατό να απλοποιηθούν με την εφαρμογή των θεωρημάτων της άλγεβρας του Boole. Μια άλλη μέθοδος που χρησιμοποιείται για την απλοποίηση των παραστάσεων είναι οι πίνακες του Καρνώ. Ο πίνακας σχηματίζεται ανάλογα με τις μεταβλητές που υπάρχουν. Αν υπάρχει μια μεταβλητή A, τότε υπάρχουν δυο τετραγωνάκια (2^1) [σχ. 14.7α(α)], τα οποία αντιστοιχούν στο 0 και 1. Στις δυο μεταβλητές A και B υπάρχουν τέσσερα τετραγωνάκια (2^2) [σχ. 14.7α(β)], στις τρείς μεταβλητές οκτώ (2^3) [σχ. 14.7α(γ)], στις τέσσερις μεταβλητές δεκαέξι τετραγωνάκια (2^4) [σχ. 14.7α(δ)] κλπ. Όσο περισσότερες γίνονται οι μεταβλητές τόσο πιό δύσκολη καθίσταται η χρήση του πίνακα.

Παρατηρούμε από το σχήμα ότι σε κάθε τετραγωνάκι υπάρχει ο κάθε δυνατός



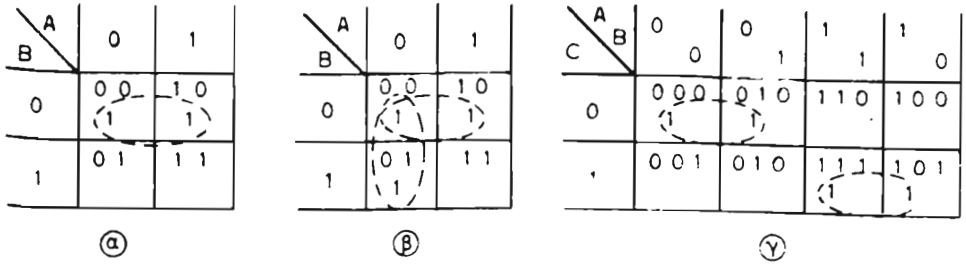
Σχ. 14.7α.
Πίνακες Karnough για διάφορες μεταβλητές.

συνδυασμός των καταστάσεων 0 και 1 για τις μεταβλητές.

Η χρήση του πίνακα, για απλοποίηση παραστάσεως, γίνεται όπως αναφέρεται στα παρακάτω παραδείγματα.

Παράδειγμα 1.

Να απλοποιηθεί η παράσταση: $F = A'B' + AB'$. Θα χρησιμοποιήσομε τον πίνακα (β) του σχήματος 14.7α, που αντιστοιχεί για δυο μεταβλητές. Σε κάθε τετραγωνάκι υπάρχει το αντίστοιχο 0 ή 1 της κάθε μεταβλητής. Δεχόμαστε ότι το A' ήτο B' ή το C' κλπ., αντιστοιχεί σε 0 και τα A ή B ή C κλπ. σε 1. Έτσι ο πρώτος όρος A' B' αντιστοιχεί σε 00. Στο τετραγωνάκι που αντιστοιχεί 00 τοποθετούμε μια μονάδα (1). Ο δεύτερος όρος AB' αντιστοιχεί σε τετραγωνάκι 10, όπου πάλι τοποθετούμε μια μονάδα. Ο πίνακας τώρα παίρνει τη μορφή του σχήματος 14.7β(α). Μπορούμε να συνδέσομε τα γειτονικά τετραγωνάκια οριζόντια ή κάθετα ανά δυο ή ανά τέσσερα ή ανά οκτώ, δηλαδή σε δυνάμεις του δύο. Ένα τετραγωνάκι μπορεί να ανήκει συγχρόνως σε μια κάθετη και σε μια οριζόντια ομάδα.



Σχ. 14.7β.
Εφαρμογές στους πίνακες του Karnough.

Όταν έχομε απλοποιημένη συνάρτηση, ο όρος που υφίσταται μεταβολή από το ένα τετραγωνάκι στο γειτονικό του δεν θα εμφανίζεται σ' αυτήν, ενώ ο όρος που παραμένει ίδιος θα εμφανίζεται και θα γράφεται. Στο παράδειγμα μεταβάλλεται από το ένα τετραγωνάκι στο άλλο το 1 και 0 ή Α και Α΄ ενώ το 0 και 0 ή Β΄ και Β΄ δεν αλλάζει [σχ. 14.7β(α)]. Η απλοποιημένη παράσταση λοιπόν είναι ίση με Β΄ (F = AB΄ + A΄B΄ = B΄).

Παράδειγμα 2.

Να απλοποιηθεί η παράσταση F = AB΄ + A΄B + A΄B΄. Θα χρησιμοποιήσομε πάλι τον πίνακα (β) του σχήματος 14.7α, γιατί έχει πάλι δυο μεταβλητές. Τοποθετώντας στα αντίστοιχα τετραγωνάκια το Α, Α΄, Β και Β΄, σχηματίζομε τον πίνακα του σχήματος 14.7β(β), από τον οποίο εξάγομε την απλοποιημένη σχέση F = Α΄ + Β΄ (επειδή Α΄ Β΄ και ΑΒ΄ δίνει Β΄ καθώς και Α΄Β΄ και Α΄Β δίνει Α΄).

Παράδειγμα 3.

Να απλοποιηθεί η παράσταση F = ABC + A΄B΄C΄ + AB΄C + A΄BC΄. Αυτή η παράσταση περιέχει τρεις μεταβλητές Α,Β και C και γι' αυτό θα χρησιμοποιηθεί ο πίνακας (γ) του σχήματος 14.7α. Ο πρώτος όρος περιέχει ABC που αντιστοιχεί σε 111 και θα τοποθετήσομε στο αντίστοιχο τετραγωνάκι τη μονάδα, όπως φαίνεται στο σχήμα 14.7β(γ). Ο δεύτερος όρος περιέχει Α΄Β΄C΄ που αντιστοιχούν σε 000 και θα τοποθετήσομε στο αντίστοιχο τετραγωνάκι τη μονάδα (στο ίδιο σχήμα). Ο τρίτος όρος περιέχει ΑΒ΄C που αντιστοιχεί σε 101. Θα τοποθετήσομε πάλι μονάδα στο αντίστοιχο τετραγωνάκι. Το ίδιο θα κάνομε για τον τελευταίο όρο Α΄BC΄ που αντιστοιχεί σε 010.

Συνδέομε τα τετραγωνάκια ανά ζεύγη όπως φαίνεται στο σχήμα (γ) και εμφανίζονται δυο όροι στην απλοποιημένη παράσταση, η οποία γίνεται F = Α΄C΄ + AC. Επειδή στο πρώτο ζεύγος έχομε Α΄Β΄C΄ και Α΄BC΄, μεταβάλεται το Β το οποίο διαγράφεται και ο πρώτος όρος γίνεται Α΄C΄, το δεύτερο ζεύγος είναι ABC και ΑΒ΄C. Διαγράφεται πάλι το Β και ο δεύτερος όρος γίνεται AC.

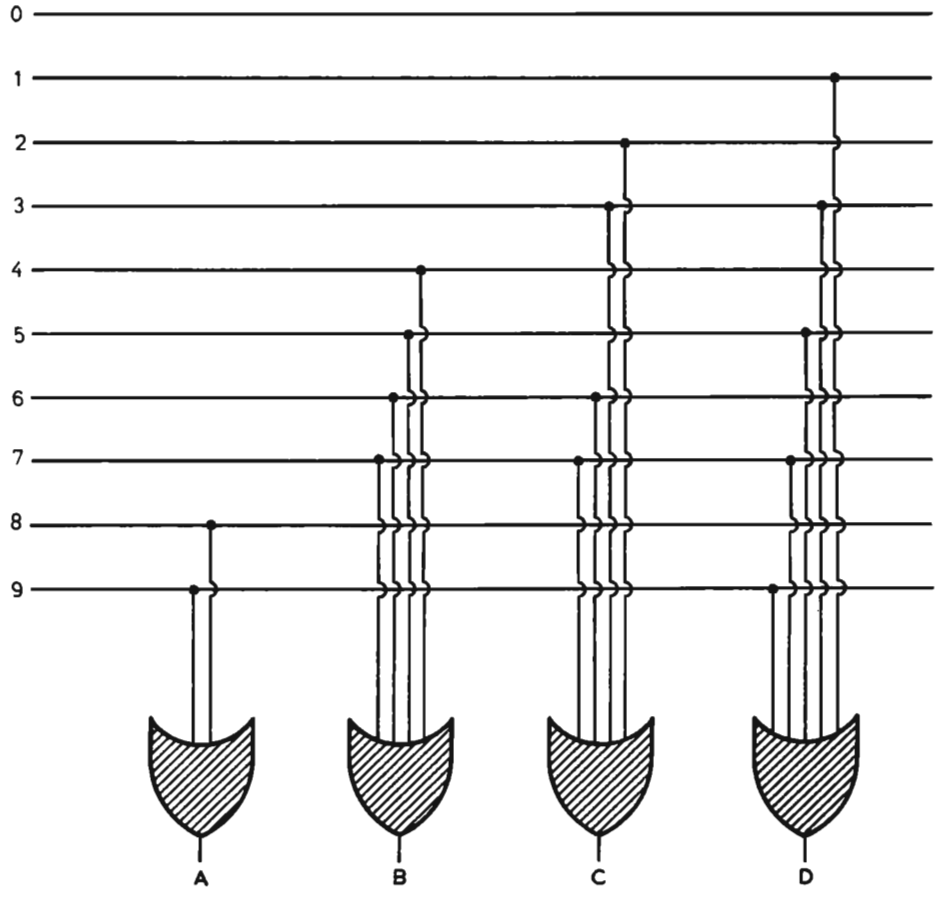
Αν από κάποιο όρο λείπει μια μεταβλητή, τότε πολλαπλασιάζομε τον όρο αυτό επί τη μεταβλητή που λείπει και επί την άρνησή της, δηλαδή π.χ. (Α+Α΄), το οποίο είναι ίσο με μονάδα. (Θεώρημα 7). Αν έχομε π.χ. AC + A΄BC + AB΄C, πολλαπλασιάζομε τον πρώτο όρο επί (Β+Β΄) χωρίς να μεταβάλλεται η τιμή του και ο όρος γίνεται πλήρης.

Την ίδια μέθοδο χρησιμοποιούμε και άμα έχομε τέσσερις μεταβλητές Α,Β,C,D με τον πίνακα (δ) του σχήματος 14.7α.

14.8 Εφαρμογές μεθόδων λογικής.

Οι πύλες που αναφέρθηκαν ήδη σε προηγούμενη παράγραφο, μπορούν να συνδεθούν σε ειδικά κυκλώματα που αποτελούν τμήματα του ηλεκτρονικού υπολογιστή. Τα κυκλώματα αυτά λέγονται ***συνδυαστικά*** και μπορεί να είναι κυκλώματα προσθέσεως, αφαιρέσεως, πολλαπλασιασμού, διαιρέσεως, καταχωρήσεως αποτελεσμάτων κλπ. Στο σχήμα 14.8(α) φαίνεται ένα κύκλωμα με τέσσερις πύλες OR (δυο ή περισσοτέρων εισόδων) που κωδικοποιεί το δεκαδικό σύστημα σε δυαδικό.

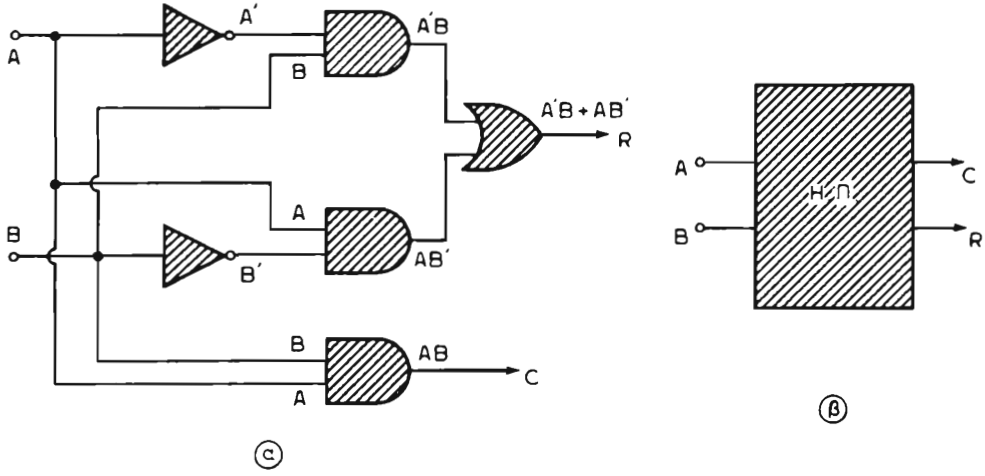
Το κύκλωμα αυτό αντιστοιχεί στον πίνακα 14.2.1 και είναι δυνατό να εξυπηρετήσει τον κώδικα BCD. Στην περίπτωση που θα έχομε τον απλό κώδικα δεκαδικό-



Σχ. 14.8α.
Κωδικοποιητής από δεκαδικό σε δυαδικό σύστημα.

δυαδικό, θα έχομε περισσότερες πύλες με περισσότερες εισόδους. Ένα αντίστοιχο κύκλωμα με πύλες AND και NOT μπορεί να μετατρέψει το δυαδικό σύστημα σε δεκαδικό.

Στο σχήμα 14.8β(α) φαίνεται ένα άλλο βασικό κύκλωμα που χρησιμοποιείται στον ηλεκτρονικό υπολογιστή για την πράξη της προσθέσεως. Αποτελείται από τις απλές πύλες AND, OR, NOT και ονομάζεται ***ημιαθροιστής.*** Στις εισόδους A και B εφαρμόζονται οι παλμοί που πρέπει να προστεθούν. Στην έξοδο R εμφανίζεται το αποτέλεσμα της προσθέσεως και στη δεύτερη έξοδο C το κρατούμενο που παρουσιάζεται κατά την πρόσθεση των δυο αριθμών. Στο σχήμα 14.8β(β) φαίνεται η βασική παράσταση του ημιαθροιστή, ενώ ο πίνακας 14.8.1 είναι ο πίνακας αλήθειας του.

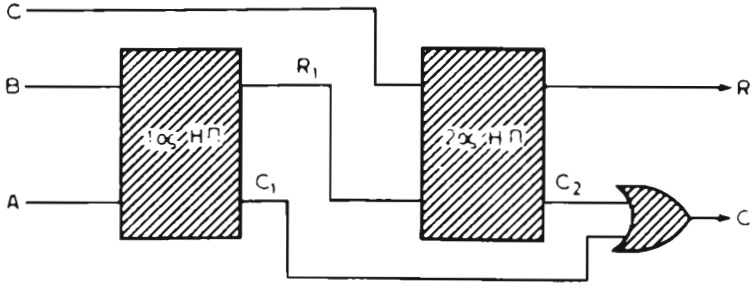


Σχ. 14.8β.
Κύκλωμα με πύλες ημιαθροιστή και η παράστασή του.

ΠΙΝΑΚΑΣ 14.8.1

Ημιαθροιστής			
A	B	R	C
0	0	0	0
0	1	1	0
1	0	1	0
1	1	0	1

Το κύκλωμα και ο πίνακας αντιστοιχούν στην πρόσθεση των παλμών 1 και 0, όπως αναφέρθηκε στην παράγραφο 14.3(α). Ο ημιαθροιστής χρησιμοποιείται στην περίπτωση δυο μεταβλητών. Για περισσότερες μεταβλητές χρησιμοποιούνται περισσότεροι ημιαθροιστές. Στο σχήμα 14.8γ φαίνεται το λογικό διάγραμμα ενός πλήρους αθροιστή για τρεις μεταβλητές. Στην έξοδο R_1 είναι το αποτέλεσμα του πρώτου ημιαθροιστή και στη C_1 το κρατούμενό του. Στην έξοδο R είναι το αποτέλεσμα του πλήρους αθροιστή και στο C_2 το κρατούμενο του, ενώ στην έξοδο C, εμφανίζεται το τελικό του κρατούμενο. Ο πίνακας 14.8.2 είναι ο πίνακας αλήθειας



Σχ. 14.8γ.
Λογικό διάγραμμα πλήρους αθροιστή.

του πλήρους αθροιστή και αντιστοιχεί στην πρόσθεση που αναφέρθηκε στην παράγραφο 14.3(α).

ΠΙΝΑΚΑΣ 14.8.2

Πλήρης αθροιστής

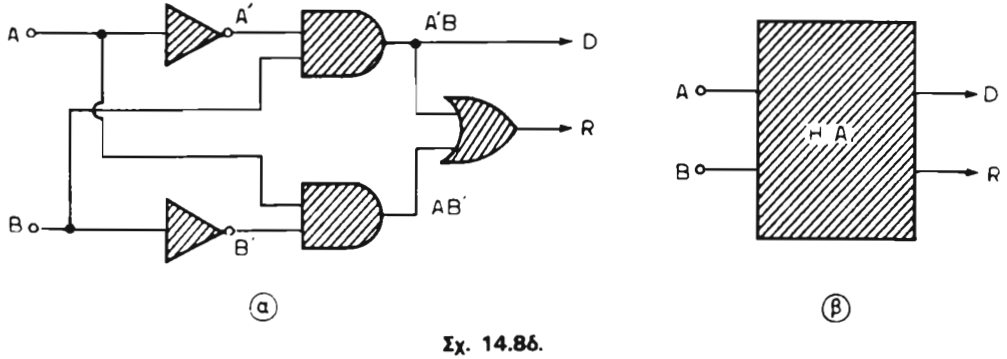
A	B	C	R	C
0	0	0	0	0
0	0	1	1	0
0	1	0	1	0
0	1	1	0	1
1	0	0	1	0
1	0	1	0	1
1	1	0	0	1
1	1	1	1	1

Με τον ίδιο τρόπο μπορούμε να κατασκευάσομε το κύκλωμα ενός αφαιρέτη, ο οποίος θα αποτελείται από ημιαφαιρέτες. Στο σχήμα 14.8δ φαίνεται το λογικό κύκλωμα και η παράσταση ενός ημιαφαιρέτη. Στο R αντιστοιχεί το αποτέλεσμα της αφαιρέσεως και στο D το ψηφίο που δανείσθηκε.

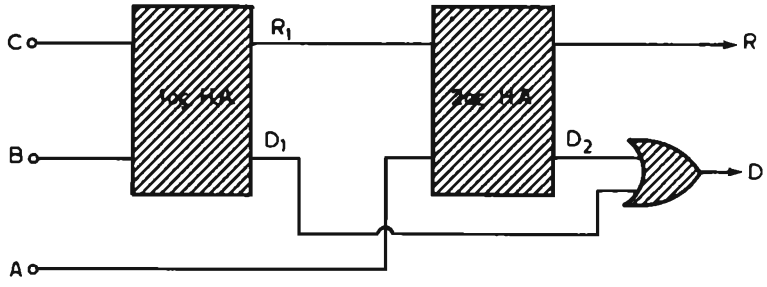
ΠΙΝΑΚΑΣ 14.8.3

Ημιαφαιρέτης			
A	B	R	D
0	0	0	0
0	1	1	1
1	0	1	0
1	1	0	0

Ο πίνακας 14.8.3 είναι ο πίνακας αλήθειας του ημιαφαιρέτη. Αντιστοιχεί στην αφαίρεση παλμών 0 και 1, όπως αναφέρθηκε στην παράγραφο 14.3(β). Αν έχομε περισσότερα στοιχεία στην αφαίρεση, τότε χρησιμοποιείται ένα συνδυαστικό κύκλωμα που αποτελείται από δυο ημιαφαιρέτες, όπως φαίνεται στο σχήμα 14.8ε και



Σχ. 14.8δ.
Κύκλωμα με πύλες ημιαφαιρέτη και η παράστασή του.



Σχ. 14.8ε.
Λογικό διάγραμμα πλήρους αφαιρέτη.

αποτελεί τον πλήρη αφαιρέτη. Ο πίνακας 14.8.4 είναι ο πίνακας αλήθειας του πλήρους αφαιρέτη.

ΠΙΝΑΚΑΣ 14.8.4

Πλήρης αφαιρέτης				
A	B	C	R	D
0	0	0	0	0
0	0	1	1	1
0	1	0	1	1
0	1	1	0	1
1	0	0	1	0
1	0	1	0	0
1	1	0	0	0
1	1	1	1	1

Κατά ανάλογο τρόπο μπορούν επίσης να σχηματισθούν τα συνδυαστικά κυκλώματα για τον πολλαπλασιασμό, διαίρεση, ρίζα, μνήμη καθώς και για ένα μεγάλο επίσης αριθμό αντίστοιχων πράξεων που χρησιμοποιούνται στους ηλεκτρονικούς υπολογιστές. Όλα αυτά τα κυκλώματα και η λειτουργία τους, καθώς τα κυκλώματα μνήμης και το διάγραμμα ροής ενός προγράμματος δεν είναι δυνατό να περιγραφούν στο κεφάλαιο αυτό, λόγω της περιορισμένης εκτάσεώς του.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΔΕΚΑΤΟ ΠΕΜΠΤΟ

ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΤΗΛΕΟΡΑΣΕΩΣ

15.1 Γενικά.

Η τηλεόραση είναι ένας ακόμα τομέας εφαρμογής των ηλεκτρονικών. Με την τηλεόραση μπορούμε να παρακολουθήσομε οπτικά, γεγονότα που μπορεί να συμβαίνουν την ίδια στιγμή σε πολύ μεγάλη απόσταση. Η πιο εντυπωσιακή περίπτωση ήτανε η μετάδοση των κινήσεων και δραστηριοτήτων του ανθρώπου επάνω στη σελήνη.

Η τηλεόραση χρησιμοποιείται ως μαζικό μέσο ψυχαγωγίας ή ενημερώσεως. Βρίσκεται σε όλα σχεδόν τα σπίτια, τους χώρους ψυχαγωγίας, τα πλοία κλπ. Μέσω της τηλεοράσεως μπορεί να μεταδίδεται η διεξαγωγή π.χ. μιας εγχείρησης προς τους φοιτητές ή οι παρατηρήσεις που γίνονται με ένα μικροσκόπιο.

Με κλειστά κυκλώματα τηλεοράσεως μπορούμε να ελέγχομε χώρους όπου είναι αδύνατη ή δύσκολη η παραμονή του ανθρώπου, όπως είναι οι χώροι με ραδιενέργεια, οι χώροι με πολύ υψηλές θερμοκρασίες ή ισχυρούς θορύβους κλπ. Με το ίδιο σύστημα είναι δυνατό να ελέγχονται τα διάφορα τμήματα ενός καταστήματος ή ενός εργοστασίου ή ακόμα η κυκλοφορία των οχημάτων στους δρόμους.

Η σύνδεση του πομπού με το δέκτη μπορεί να είναι ***ενσύρματη,*** να πραγματοποιείται δηλαδή μέσω αγωγών, ή ***ασύρματη,*** δηλαδή μέσω ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων. Οι συχνότητες επικοινωνίας είναι στην περιοχή των VHF και UHF. Για να είναι ευκολότερη η λήψη, η επικοινωνία έχει καθορισθεί να πραγματοποιείται σε ορισμένες συχνότητες που αποτελούν τα κανάλια εκπομπής και λήψεως, π.χ. το κανάλι 5, το 7, το 11, το 42, το 48 κλπ.

Στην τηλεόραση έχομε εκπομπή και λήψη εικόνας, αλλά και ήχου. Η συχνότητα εκπομπής του ήχου είναι διαφορετική από τη συχνότητα εκπομπής της εικόνας και στον ήχο εφαρμόζεται διαμόρφωση συχνότητας (FM), ενώ στην εικόνα εφαρμόζεται διαμόρφωση πλάτους (AM). Οι δυο συχνότητες του φέροντος διαφέρουν μεταξύ τους κατά 5,5 Mc/s στο ευρωπαϊκό σύστημα. Στο κανάλι 5 π.χ. η συχνότητα του φέροντος του ήχου είναι 180,75 Mc/s και η συχνότητα φέροντος της εικόνας 175,25 Mc/s, ενώ στο κανάλι 11 είναι αντίστοιχα 222,75 Mc/s και 217,25 Mc/s.

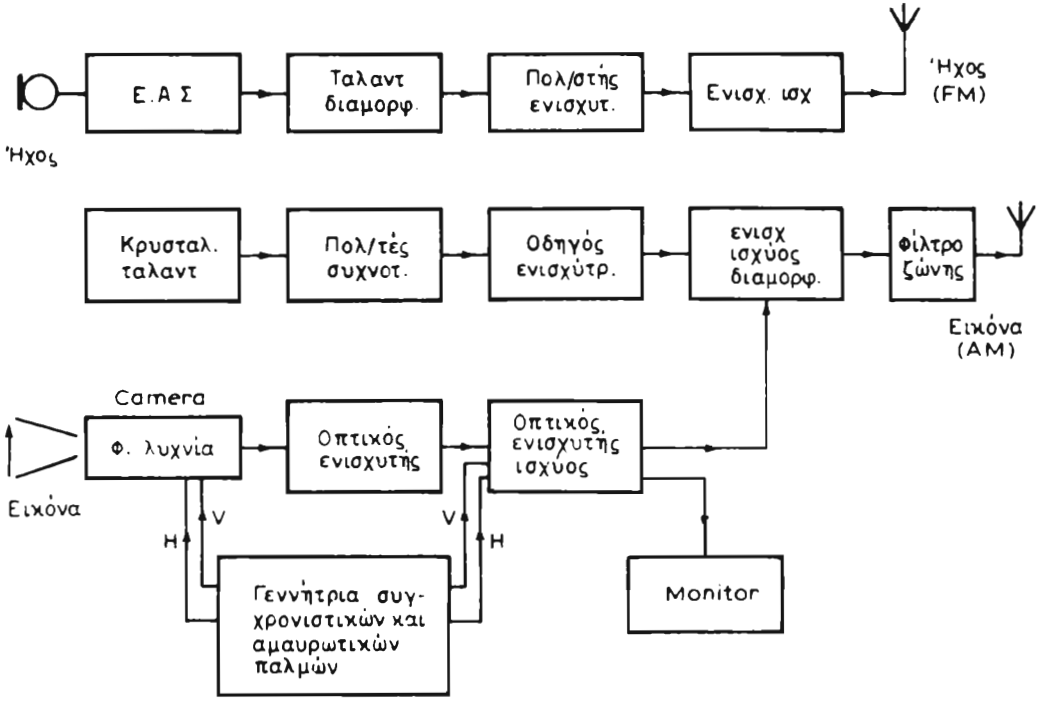
Έχομε λοιπόν δυο πομπούς. Ο ένας εκπέμπει τον ήχο και ο άλλος την εικόνα με κατάλληλο σύστημα κεραιών στον ίδιο ιστό. Οι κεραίες των πομπών είναι ανοικτού πεδίου, ενώ η κεραία του δέκτη είναι κατευθυνόμενης εκπομπής κυρίως και έχει συνήθως τη μορφή της παραλλαγής τύπου Yagi. Για την εκπομπή και τη λήψη χρησιμοποιείται καθορισμένη πόλωση του κύματος.

Στον τομέα της τηλεοράσεως ανήκει και το ***σύστημα Facsimile,*** με το οποίο στέλλονται ραδιοφωτογραφίες, γραπτά κείμενα, χάρτες περιοχών, μετεωρολογικοί

χάρτες κλπ. σταθερές εικόνες. Με το σύστημα αυτό στέλλονται και οι φωτογραφίες από τους μετεωρολογικούς δορυφόρους προς τη γη.

15.2 Πομπός τηλεοράσεως.

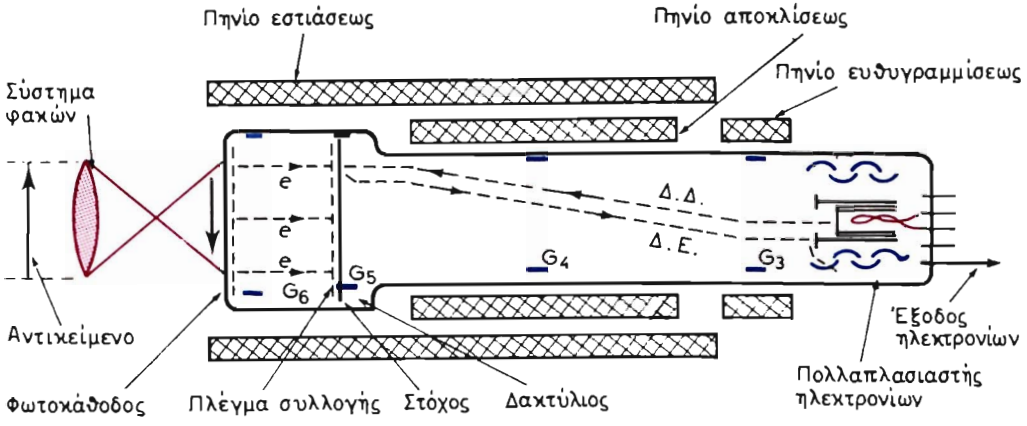
Ο πομπός τηλεοράσεως (Television) αποτελείται από δυο πομπούς, ο ένας από τους οποίους χρησιμοποιείται για την εκπομπή της εικόνας και ο άλλος για την εκπομπή του ήχου. Στο σχήμα 15.2α φαίνεται το βασικό διάγραμμα του συγκροτήματος εκπομπής.



Σχ. 15.2α
Βασικό διάγραμμα πομπού τηλεοράσεως.

Παρατηρούμε ότι το τμήμα ήχου είναι ένας απλός πομπός FM στον οποίο μπορεί να εφαρμόζεται και AFC, όπως αναφέρθηκε στο κεφάλαιο 8.

Ο πομπός εικόνας είναι ένας πομπός με κρυσταλλικό ταλαντωτή, πολλαπλασιαστές συχνότητας, οδηγό βαθμίδα και ενισχύτρια ισχύος Υ.Σ., στην οποία εφαρμόζεται διαμόρφωση πλάτους. Είναι δηλαδή ένας πομπός ΑΜ όπως αυτός που αναφέρθηκε στο κεφάλαιο 6. Αντί όμως το διαμορφώνον σήμα να είναι ήχος, είναι ένα ειδικό σήμα που αποτελείται από το σήμα της εικόνας, τους παλμούς συγχρονισμού κάθετης και οριζόντιας σαρώσεως και τους παλμούς αμαυρώσεως, που είναι απαραίτητοι για τη λειτουργία της τηλεοράσεως. Παρακάτω θα δούμε πως σχηματίζεται το σήμα της εικόνας και σε τι χρησιμεύουν οι παραπάνω παλμοί.



Σχ. 15.2β.
Παραστατικό διάγραμμα φωτογραφικής λυχνίας Image Orthicon.

α) Λυχνία λήψεως.

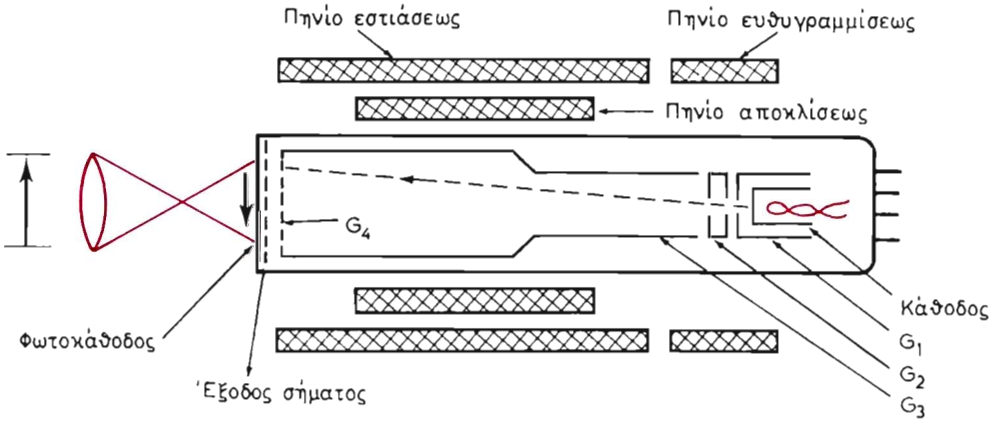
Στις σύγχρονες μηχανές λήψεως εικόνας (camera) χρησιμοποιούνται δυο κυρίως τύποι λυχνιών λήψεως, η ***Image Orthicon*** και η ***Vidicon.*** Στο σχήμα 15.2β φαίνεται η παράσταση του εσωτερικού μιας λυχνίας λήψεως Image Orthicon και τα εξωτερικά πηνία αποκλίσεως και ευθυγραμμίσεως της δέσμης σε τομή.

Η λυχνία λειτουργεί όπως περιγράφεται στη συνέχεια. Με ειδικό σύστημα φακών το αντικείμενο εστιάζεται επάνω στη φωτοκάθοδο που έχει επίστρωση φωτοευπαθούς ουσίας. Ανάλογα με την ένταση της φωτεινότητας της εικόνας, ελευθερώνονται ηλεκτρόνια στην εσωτερική επιφάνεια της φωτοκαθόδου. Όπου πέφτει ισχυρό φως ελευθερώνονται περισσότερα ηλεκτρόνια, ενώ στα σκοτεινά σημεία ελευθερώνονται λίγα. Τα ηλεκτρόνια που ελευθερώνονται κινούνται με μεγάλη ταχύτητα προς το στόχο, επειδή η φωτοκάθοδος βρίσκεται σε μεγάλο αρνητικό δυναμικό ως προς το στόχο. Ο στόχος είναι γυάλινη επιφάνεια που παρουσιάζει πολύ μεγάλη αντίσταση και έχει πάχος λίγα μικρά (μ). Μπροστά από την επιφάνεια του στόχου υπάρχει λεπτότατο μεταλλικό πλέγμα που έχει διαφάνεια 75% περίπου. Τα ηλεκτρόνια της φωτοκαθόδου διαπερνούν το πλέγμα και κτυπούν επάνω στο στόχο αποσπώντας από αυτό δευτερογενή ηλεκτρόνια. Η ποσότητα των δευτερογενών ηλεκτρονίων εξαρτάται από τη φωτεινότητα της δέσμης.

Τα δευτερογενή ηλεκτρόνια συλλέγονται από το πλέγμα, ενώ αφήνουν θετικά φορτισμένα στην επιφάνεια του στόχου τα σημεία από τα οποία αποσπάσθηκαν. Τα ίδια θετικά φορτία εμφανίζονται και στην εσωτερική επιφάνεια του στόχου.

Η εσωτερική επιφάνεια του στόχου ***σαρώνεται*** από μια λεπτή δέσμη ηλεκτρονίων, που λέγεται ***δέσμη διερευνήσεως (ΔΔ).*** Παράγεται από τη θερμαινόμενη κάθοδο της λυχνίας, εστιάζεται και κινείται με τα κατάλληλα δυναμικά των πλεγμάτων C_2, G_3, G_4, G_5 και τα πηνία εστιάσεως, αποκλίσεως και ευθυγραμμίσεως. Τα ηλεκτρόνια της δέσμης κινούνται με μικρή σχετικά ταχύτητα, για να μη προκαλούν δευτερογενή εκπομπή.

Τα σημεία του στόχου που είχαν φορτισθεί θετικά, επειδή έχασαν ηλεκτρόνια με τη πτώση των φωτινών ακτίνων, θα συγκρατήσουν ηλεκτρόνια από τη δέσμη



Σχ. 15.2γ.
Παραστατικό διάγραμμα φωτογραφικής λυχνίας Vidicon.

ηλεκτρονίων σαρώσεως. Τα ηλεκτρόνια που απομένουν από τη δέσμη σαρώσεως επιστρέφουν με τη δέσμη επιστροφής (ΔΕ) στον πολλαπλασιαστή ηλεκτρονίων. Εκεί το ρεύμα λαμβάνει μεγαλύτερη ένταση και στη συνέχεια οδηγείται σε ένα αντιστάτη και στο κοινό. Στον αντιστάτη δημιουργείται πτώση τάσεως αντιστρόφως ανάλογη προς τη συγκράτηση των ηλεκτρονίων της δέσμης διερευνήσεως, που είναι ανάλογη με τη φωτεινότητα της εικόνας.

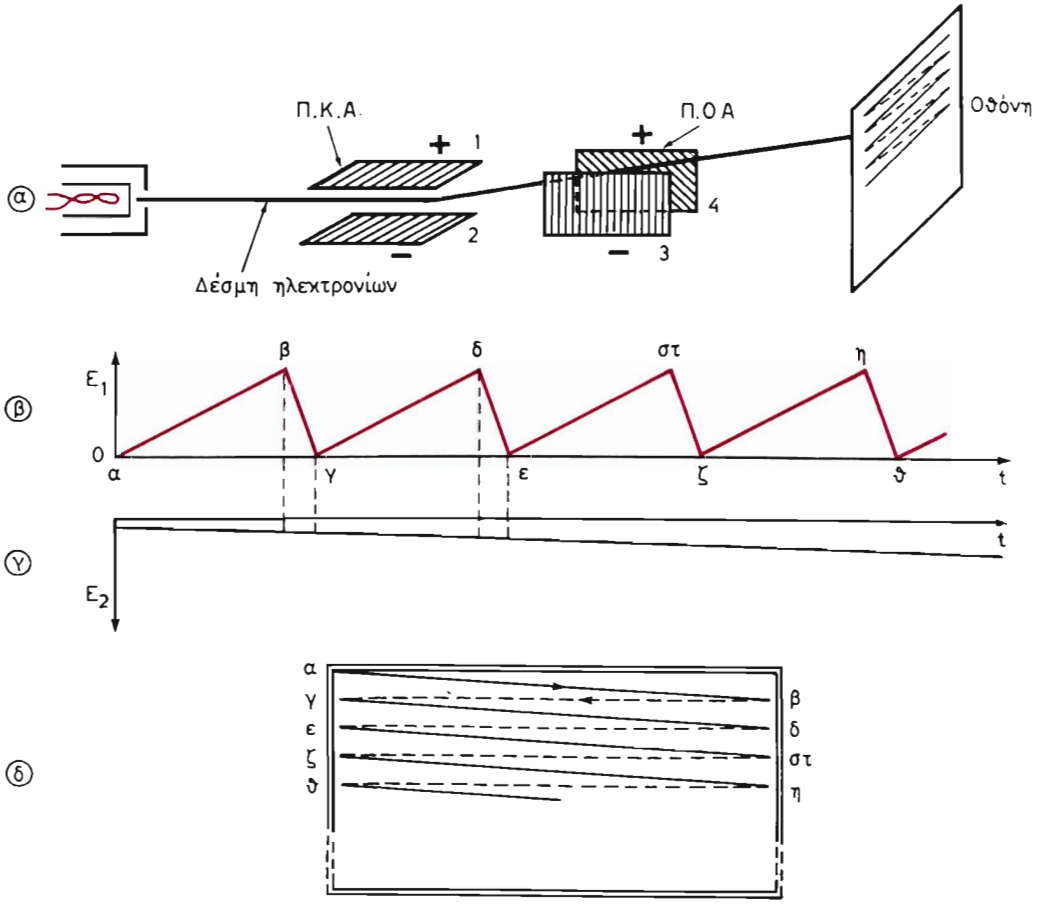
Έτσι δημιουργείται μια διαφορά δυναμικού που μεταβάλλεται σε συνάρτηση με τη φωτεινότητα της εικόνας. Ο τρόπος σαρώσεως του στόχου με τη δέσμη των ηλεκτρονίων περιγράφεται πιό κάτω.

Μια άλλη φωτογραφική λυχνία που χρησιμοποιείται στις σύγχρονες μηχανές λήψεως είναι η ***Vidicon (Vidicon camera tube).*** Στο σχήμα 15.2γ φαίνεται το παραστατικό διάγραμμα μιας Vidicon με τα πηνία αποκλίσεως. Στη Vidicon δεν υπάρχει δέσμη επιστροφής. Τα ηλεκτρόνια που ελευθερώνονται από τη φωτοευπαθή επιφάνεια συλλέγονται από το λεπτότατο πλέγμα που βρίσκεται πίσω από τη φωτοευπαθή κάθοδο και αποτελούν το σήμα εξόδου της λυχνίας.

β) Σύστημα διερευνήσεως της εικόνας.

Μια απλή μέθοδος διερευνήσεως της εικόνας είναι η ηλεκτροστατική, που μπορεί να πραγματοποιηθεί με πλακίδια κάθετης και οριζόντιας αποκλίσεως, όπως στην περίπτωση του παλμογράφου. Στο σχήμα 15.2δ φαίνεται η απόκλιση της ηλεκτρονικής δέσμης με την ηλεκτροστατική μέθοδο, για να γίνει κατανοητή η διερεύνηση της εικόνας (σάρωση).

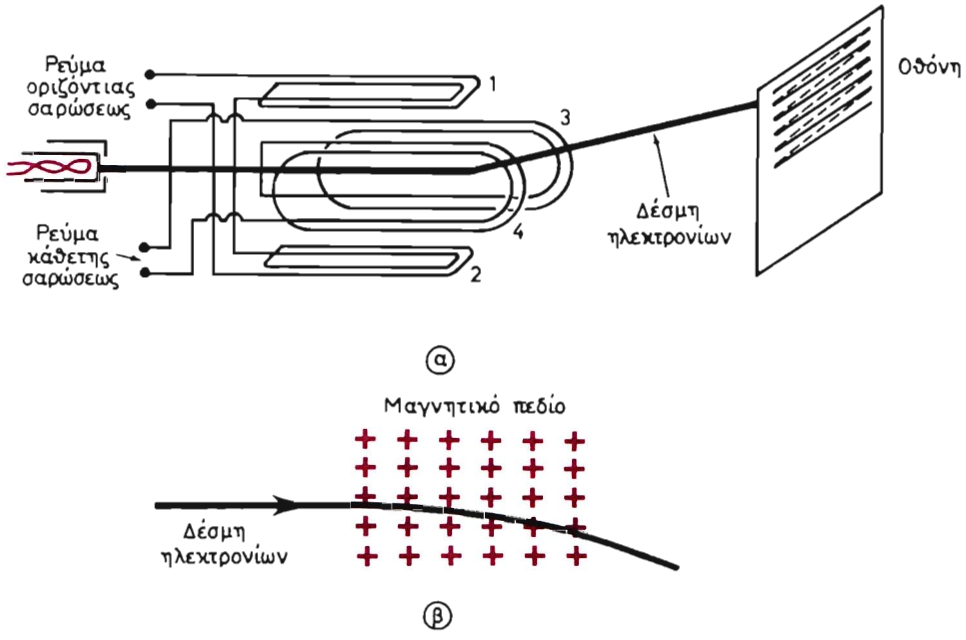
Στο σχήμα 15.2δ(α) φαίνεται παραστατικά το εσωτερικό μιας καθοδικής λυχνίας με το ηλεκτρονικό κανόνι, τη δέσμη ηλεκτρονίων, τα πλακίδια κάθετης αποκλίσεως (ΠΚΑ), τα πλακίδια οριζόντιας αποκλίσεως (ΠΟΑ) και την οθόνη. Στο σχήμα 15.2δ(β) φαίνεται η πριονωτή τάση με την οποία τροφοδοτούνται τα πλακίδια οριζόντιας αποκλίσεως. Στο σχήμα 15.2δ(γ) φαίνεται η μορφή της αρνητικής τάσεως που εφαρμόζεται στα πλακίδια κάθετης αποκλίσεως. Και αυτή η τάση είναι πριονωτή, μεγαλύτερης διάρκειας από τη (β), αλλά δεν φαίνεται στο σχήμα η πλήρης κυματομορφή. Στο σχήμα 15.2δ(δ) φαίνεται η οθόνη με την κίνηση της δέσμης των ηλεκτρονίων.



Σχ. 15.2δ.
Ηλεκτροστατική μέθοδος αποκλίσεως δέσμης ηλεκτρονίων.

Καθώς η τάση που εφαρμόζεται στα πλακίδια οριζόντιας αποκλίσεως αυξάνει γραμμικά από το α στο β [σχ. 15.2δ(β)], η δέσμη των ηλεκτρονίων αποκλίνει από το α στο β [σχ. 15.2δ(δ)] και καλύπτει όλο το μήκος της οθόνης με μικρή κλίση προς τα κάτω, λόγω της επιδράσεως της τάσεως κάθετης αποκλίσεως. Στη συνέχεια, η τάση μηδενίζεται από το β στο γ [σχ. 15.2δ(β)] και η δέσμη μετακινείται γρήγορα από το β στο γ [σχ. 15.2δ(δ)]. Η τάση αυξάνει πάλι γραμμικά από το γ στο δ [σχ. 15.2δ(β)] και η δέσμη κινείται από το γ στο δ [σχ. 15.2δ(δ)]. Παρατηρούμε ότι η δέσμη έχει μετακινηθεί πιό κάτω, με την επίδραση της τάσεως που εφαρμόζεται στα πλακίδια κάθετης αποκλίσεως.

Με αυτό τον τρόπο, διερευνάται όλη η επιφάνεια της οθόνης και, όταν η τελευταία οριζόντια γραμμή φθάσει στη κάτω άκρη της οθόνης, η αρνητική τάση των πλακιδίων κάθετης αποκλίσεως [σχ. 15.2δ(γ)] έχει φθάσει τη μέγιστη τιμή της και επιστρέφει στο μηδέν, με αποτέλεσμα να αρχίζει πάλι η διερεύνηση της οθόνης ξανά από το α [σχ. 15.2δ(δ)].



Σχ. 15.2ε.
Ηλεκτρομαγνητική μέθοδος αποκλίσεως δέσμης ηλεκτρονίων.

Το ίδιο αποτέλεσμα διερευνήσεως της οθόνης μπορούμε να έχομε και με ηλεκτρομαγνητική απόκλιση, με κατάλληλα πηνία, επειδή τα ηλεκτρόνια, όταν διέρχονται από μαγνητικό πεδίο, κάθετα προς τις μαγνητικές γραμμές του πεδίου, αλλάζουν πορεία. Στο σχήμα 15.2ε(α) φαίνεται η δημιουργία των μαγνητικών πεδίων για την οριζόντια και την κάθετη απόκλιση της δέσμης με τα ζεύγη των πηνίων. Τα πηνία 1 και 2 είναι για την οριζόντια απόκλιση και τα 3 και 4 για την κάθετη απόκλιση. Τα πηνία οριζόντιας αποκλίσεως έχουν μικρότερη αυτεπαγωγή από τα πηνία κάθετης αποκλίσεως, επειδή τροφοδοτούνται με πριονωτά ρεύματα μεγαλύτερης συχνότητας, όπως θα δούμε σε επόμενη παράγραφο.

Στο σχήμα 15.2ε(β) φαίνεται μαγνητικό πεδίο, του οποίου οι γραμμές κατευθύνονται από τον αναγνώστη προς τη σελίδα του βιβλίου. Μια δέσμη ηλεκτρονίων που κινείται όπως στο σχήμα, αλλάζει πορεία και γωνία, η οποία εξαρτάται από την ένταση του μαγνητικού πεδίου και την ταχύτητα κινήσεως των ηλεκτρονίων της δέσμης.

Είναι φανερό τώρα ότι, καθώς πραγματοποιείται η διερεύνηση της εικόνας με τη δέσμη ηλεκτρονίων, θα δεσμεύονται ηλεκτρόνια από τα φορτισμένα σημεία του στόχου, τα οποία θα αποτελούν και το σήμα εξόδου της λυχνίας εικόνας. Κάθε ολοκληρωμένη σάρωση αποτελεί μια πλήρη εικόνα.

Για να έχομε την έννοια της κινήσεως σε μια οθόνη, πρέπει να γίνεται εναλλαγή των εικόνων με ταχύτητα τουλάχιστον 24 εικόνων στο δευτερόλεπτο. Στον κινηματογράφο έχομε 24 εικόνες ανά δευτερόλεπτο, αλλά εκεί η κάθε εικόνα διαιρείται (χρονικά) σε δύο με ειδικό διάφραγμα, με αποτέλεσμα το σύνολο των εικόνων να είναι 48 ανά δευτερόλεπτο. Έτσι το μάτι δεν μπορεί να παρακολουθήσει την

εναλλαγή των εικόνων και βλέπει μια συνεχή σκηνή που μεταβάλλεται ομαλά χωρίς να τρεμοσβήνει.

Στην τηλεόραση έχομε 25 εικόνες στο δευτερόλεπτο, επειδή είναι το μισό των πενήντα περιόδων του ρεύματος και εξουδετερώνεται η κυμάτωση που μπορεί να έχει η συνεχής τάση τροφοδοσίας. Μπορούμε να διπλασιάσομε φαινομενικά τον αριθμό των εικόνων, αν διπλασιάσομε τα πεδία διερευνήσεως. Έτσι μειώνεται στο ελάχιστο το τρεμόσβημα της εικόνας και εξουδετερώνεται και η επίδραση της κυματώσεως.

Ο διπλασιασμός των πεδίων μπορεί να γίνει, αν η σάρωση γίνεται σε δυο πεδία. Στο πρώτο σαρώνονται οι μονές γραμμές και στο δεύτερο οι ζυγές, όπως φαίνεται στο σχήμα 15.2στ.

Η αρχή της σαρώσεως του πρώτου πεδίου γίνεται από το α και καταλήγει στο κ, το οποίο είναι στη μέση του κάτω μέρους της οθόνης (ή του στόχου). Από εκεί μεταφέρεται στο λ, που είναι η αρχή του δεύτερου πεδίου και βρίσκεται στη μέση του πάνω μέρους της οθόνης. Το τέλος του δεύτερου πεδίου είναι στο μ, από το οποίο η δέσμη μεταφέρεται στο α που είναι η αρχή του πρώτου πεδίου. Η μεταφορά της δέσμης από το τέλος του ενός πεδίου στην αρχή του άλλου γίνεται με το πριονωτό ρεύμα που τροφοδοτεί τα πηνία κάθετης σαρώσεως (αποκλίσεως).

Για να μπορεί η εικόνα να αποδίδει όλες τις λεπτομέρειες, πρέπει να έχει μεγάλο αριθμό γραμμών σαρώσεως. Στο Ευρωπαϊκό σύστημα, στο οποίο λειτουργεί και η ελληνική τηλεόραση, έχομε 625 γραμμές σε δύο πεδία, τα οποία έχουν 312,5 γραμμές το καθένα. Στο αμερικάνικο σύστημα έχομε 525 γραμμές σε δύο πεδία, στο αγγλικό 405 γραμμές σε δύο πεδία και στο γαλλικό 819 γραμμές σε δύο πεδία.

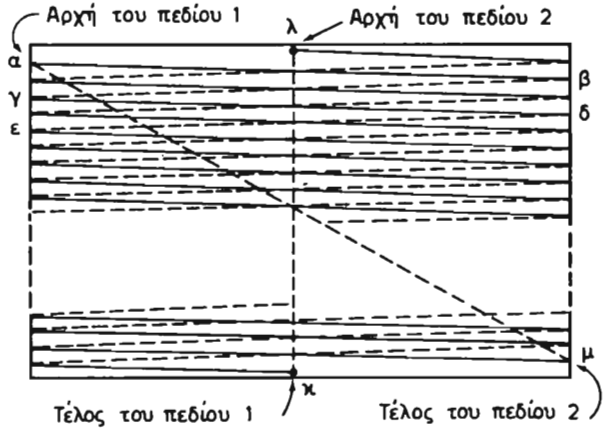
γ) Παλμοί συγχρονισμού και αμαυρώσεως.

Για την αναπαραγωγή της εικόνας στην οθόνη του δέκτη τηλεοράσεως πρέπει να κινείται σε συγχρονισμό η δέσμη ηλεκτρονίων της οθόνης του δέκτη, με τη δέσμη ηλεκτρονίων της λυχνίας εικόνας στον πομπό. Για το σκοπό αυτό, στέλνονται από τον πομπό ειδικοί παλμοί που λέγονται ***παλμοί συγχρονισμού.*** Υπάρχουν οι παλμοί συγχρονισμού ***κάθετης αποκλίσεως*** και οι παλμοί συγχρονισμού ***οριζόντιας αποκλίσεως.***

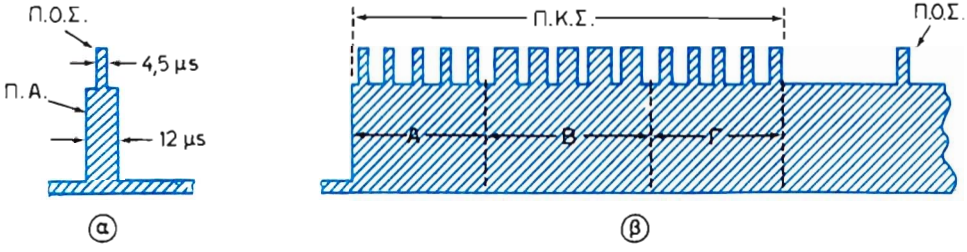
Συγχρόνως με τους παλμούς συγχρονισμού δίνονται επίσης και οι παλμοί αμαυρώσεως. Οι παλμοί αυτοί σκοπό έχουν να διακόπτουν τη δέσμη των ηλεκτρονίων στο χρόνο επιστροφής της κατά τη σάρωση από το β στο γ, από το δ στο ε κλπ., όπως φαίνεται στο σχήμα 15.2στ. Έτσι στην οθόνη δεν φαίνεται η επιστροφή της δέσμης από το τέλος στην αρχή. Αν δεν υπήρχαν οι παλμοί αμαυρώσεως, θα φαίνονταν στην οθόνη άσπρες οριζόντιες γραμμές μέσα στην εικόνα.

Οι παλμοί αμαυρώσεως είναι παλμοί τάσεως τετραγωνικής μορφής, διάρκειας περίπου 12 μsec, όπως φαίνεται στο σχήμα 15.2ζ(α). Μπορεί να είναι ***αρνητικοί*** και να εφαρμόζονται στο πλέγμα της καθοδικής λυχνίας ή ***θετικοί*** και να εφαρμόζονται στην κάθοδο της καθοδικής λυχνίας. Κατά το χρόνο εφαρμογής του παλμού αμαυρώσεως διακόπτεται η εκπομπή ηλεκτρονίων, λόγω αποκοπής της λυχνίας. Έτσι διακόπτεται η δέσμη κατά το χρόνο επιστροφής. Οι ίδιοι περίπου παλμοί εφαρμόζονται και κατά το χρόνο επιστροφής της δέσμης από το κ στο λ και από το μ στο α (σχ. 15.2στ).

Στο σχήμα 15.2ζ(α) φαίνεται ο παλμός αμαυρώσεως (ΠΑ) διάρκειας 12 μS πε-



Σχ. 15.2στ.
Διερεύνηση της εικόνας σε δύο πεδία.

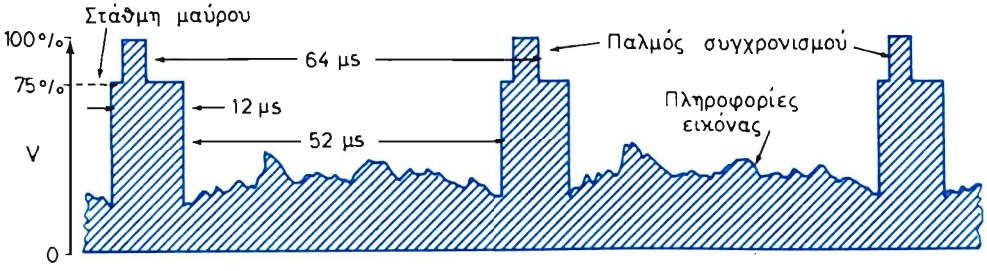


Σχ. 15.2ζ.
Παλμοί αμαυρώσεως και συγχρονισμού.
α) Οριζόντιας σαρώσεως. β) Κάθετης σαρώσεως.

ρίπου και στη κορυφή του ο παλμός οριζόντιου συγχρονισμού (ΠΟΣ) διάρκειας 4,5 μS περίπου. Δηλαδή ο παλμός συγχρονισμού οριζόντιας σαρώσεως δίνεται κατά το χρόνο επιστροφής της δέσμης, κατά τον οποίο υπάρχει επίσης και ο παλμός αμαυρώσεως. Στο δέκτη τηλεοράσεως, με ειδικό κύκλωμα διαχωρίζεται ο παλμός συγχρονισμού από τον παλμό αμαυρώσεως και οδηγούνται στις αντίστοιχες βαθμίδες.

Στο σχήμα 15.2ζ(β) φαίνεται ο παλμός αμαυρώσεως κατά το χρόνο επιστροφής της δέσμης από το κάτω μέρος της οθόνης, στο επάνω. Στο πάνω μέρος υπάρχουν οι παλμοί συγχρονισμού κάθετης σαρώσεως (ΠΚΣ), οι οποίοι αποτελούνται από πέντε εξισωτικούς παλμούς (Α), πέντε συγχρονιστικούς (Β) και πέντε εξισωτικούς (Γ). Στη συνέχεια δίνονται μερικοί παλμοί οριζόντιας σαρώσεως (ΠΟΣ). Ο χρόνος του συνόλου των παλμών κάθετης σαρώσεως είναι περίπου 500 μS, ενώ η διάρκεια του παλμού αμαυρώσεως είναι περίπου 1300 μS.

Στο δέκτη, οι παλμοί συγχρονισμού οριζόντιας σαρώσεως διαχωρίζονται με κύκλωμα διαφορίσεως από τους άλλους παλμούς και συγχρονίζουν τον ταλαντωτή οριζόντιας σαρώσεως. Οι παλμοί συγχρονισμού κάθετης σαρώσεως διαχωρίζον-



Σχ. 15.2η.
Οπτικό σήμα για δυο γραμμές πεδίου.

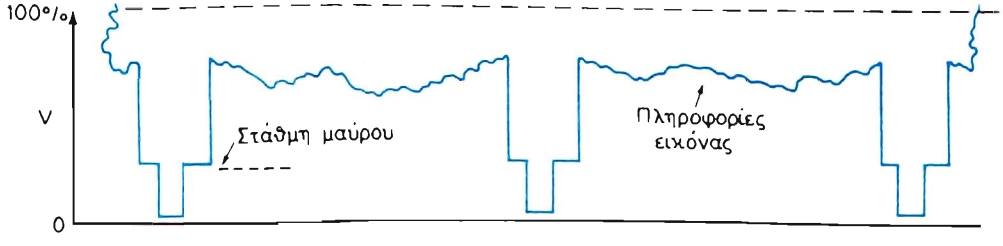
ται από τους άλλους με ειδικό κύκλωμα ολοκληρώσεως και συγχρονίζουν τον ταλαντωτή κάθετης σαρώσεως.

Οι πληροφορίες της εικόνας για κάθε γραμμή τοποθετούνται μεταξύ των παλμών αμαυρώσεως και συγχρονισμού της οριζόντιας σαρώσεως. Το σχήμα 15.2η δείχνει το οπτικό σήμα για δύο γραμμές σαρώσεως, στο οποίο φαίνονται οι παλμοί αμαυρώσεως και οριζόντιου συγχρονισμού, το σήμα εικόνας και η τάση περίπου των παλμών και του σήματος.

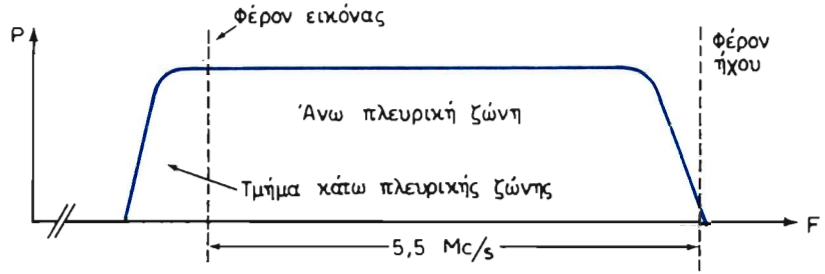
δ) Διαμόρφωση φέροντος εικόνας.

Το οπτικό σήμα που φαίνεται στο σχήμα 15.2η αποτελείται από τις πληροφορίες εικόνας και τους παλμούς αμαυρώσεως και συγχρονισμού. Όπως φαίνεται και στο βασικό κύκλωμα του σχήματος 15.2α, από τον τελικό οπτικό ενισχυτή ισχύος γίνεται διαμόρφωση πλάτους στο σήμα Υ.Σ. Αν η διαμόρφωση γίνεται με το σήμα, όπως είναι στο σχήμα 15.2η, η εκπομπή λέγεται ***αρνητική εκπομπή.*** Μπορεί όμως το οπτικό σήμα να εφαρμοσθεί ανεστραμμένο με τη στάθμη του μαύρου προς τα κάτω όπως φαίνεται στο σχήμα 15.2θ. Η εκπομπή λέγεται τότε ***θετική εκπομπή.*** Στο ευρωπαϊκό και το αμερικάνικο σύστημα η εκπομπή είναι αρνητική, ενώ στην Αγγλία είναι θετική.

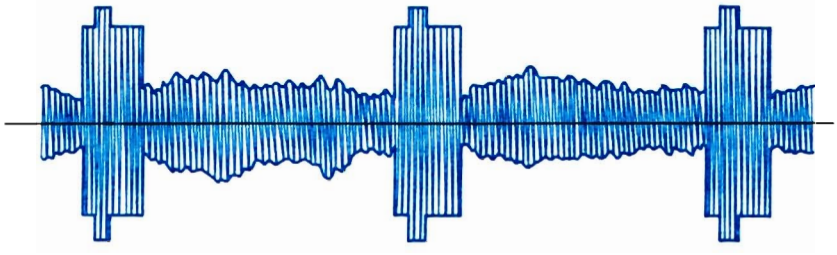
Αν και η διαμόρφωση γίνεται κατά πλάτος, η εκπομπή είναι σχεδόν μονοπλευρική όπως στο SSB περίπου, δηλαδή εκπέμπεται ολόκληρη η άνω πλευρική ζώνη, το φέρον και τμήμα της κάτω πλευρικής ζώνης, όπως φαίνεται στο σχήμα 15.2ι. Το φέρον του σήματος εικόνας, απέχει κατά 5,5 Mc από το φέρον κύμα του ήχου που βρίσκεται στα δεξιά του φάσματος εικόνας, δηλαδή η συχνότητα του φέροντος του ήχου είναι μεγαλύτερη κατά 5,5 Mc από το φέρον της εικόνας. Η διαφορά αυτή



Σχ. 15.2θ.
Οπτικό σήμα για δυο γραμμές στη θετική εκπομπή.



Σχ. 15.2ι.
Φάσμα εκπεμπόμενου κύματος εικόνας.



Σχ. 15.2ια.
Κυματομορφή εκπεμπόμενου σήματος για δύο γραμμές.

υπάρχει στο ευρωπαϊκό σύστημα ενώ στο Αμερικάνικο είναι 4,5 Mc.

Στην έξοδο της βαθμίδας ισχύος του πομπού φέροντος, πριν από την κεραία υπάρχει κατάλληλο φίλτρο διελεύσεως ζώνης συχνοτήτων (σχ. 15.2α), από το οποίο περνά η άνω πλευρική και τμήμα της κάτω πλευρικής εύρους περίπου επτά Mc/s (σχ. 15.2ι). Αυτό γίνεται για να περιορισθεί το απαιτούμενο μεγάλο φάσμα των δύο πλευρικών.

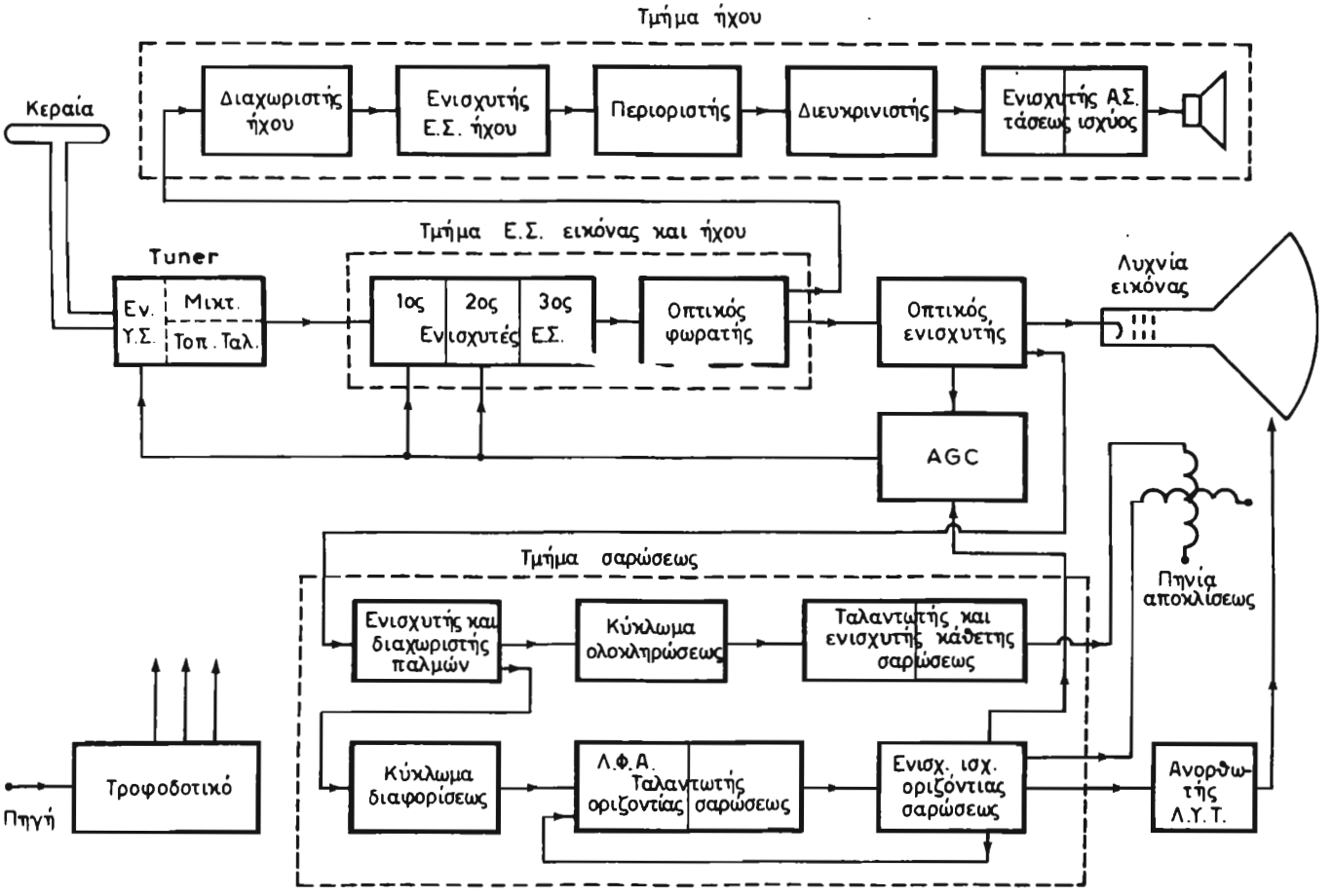
Στο σχήμα 15.2ια φαίνεται η κυματομορφή του διαμορφωμένου σήματος Υ.Σ., το οποίο αντιστοιχεί σε οπτικό σήμα δυο γραμμών, όπως του σχήματος 15.2η. Η κυματομορφή δεν αλλοιώνεται πολύ, γιατί εκπέμπεται το φέρον και τμήμα της κάτω πλευρικής, ενώ στην περίπτωση που θα είχαμε εκπομπή μόνο της μιας πλευρικής η κυματομορφή θα ήταν διαφορετική.

ε) Διαμόρφωση φέροντος ήχου.

Για τον ήχο υπάρχει άλλος πομπός που διαμορφώνεται κατά συχνότητα, με μια από τις μεθόδους που αναφέρθηκαν ήδη στο όγδοο κεφάλαιο, με απόκλιση συχνότητας ± 75 kc/s περίπου. Στο σχήμα 15.2α φαίνεται το βασικό **διάγραμμα** του πομπού σήματος ήχου και ολόκληρου του συγκροτήματος του πομπού τηλεοράσεως. Η ισχύς του πομπού του ήχου είναι ίδια περίπου με την ισχύ του πομπού εικόνας.

15.3 Δέκτης τηλεοράσεως.

Στο σχήμα 15.3α δίνεται το βασικό διάγραμμα ενός δέκτη τηλεοράσεως



Σχ. 15.3α.
Βασικό διάγραμμα δέκτη τηλεοράσεως.

(ασπρόμαυρης). Παρατηρούμε ότι το βασικό διάγραμμα χωρίζεται σε διάφορα τμήματα. Έχομε λοιπόν πρώτα το τμήμα επιλογής ενισχύσεως και μεταλλαγής της Υ.Σ. που θα λάβει η κεραία. Η κεραία είναι συνήθως τύπου Yagi-Uda (σχ. 11.8ζ) που γνωρίσαμε στο κεφάλαιο 11. Δεύτερο τμήμα είναι οι βαθμίδες ενισχύσεως ενδιάμεσης συχνότητας του ήχου και της εικόνας. Τρίτο τμήμα είναι το τμήμα ήχου, που περιέχει τον ενισχυτή Ε.Σ. ήχου, το διευκρινιστή και τους ενισχυτές ακουστικών συχνοτήτων. Τέταρτο τμήμα είναι ο οπτικός ενισχυτής (Video amplifier) με τη λυχνία εικόνας. Πέμπτο τμήμα είναι αυτό που περιέχει τους ταλαντωτές και τους ενισχυτές των παλμών κάθετης και οριζόντιας σαρώσεως. Από τον ενισχυτή ισχύος οριζόντιας σαρώσεως παράγεται η λίαν υψηλή τάση ΛΥΤ (18 kV) που τροφοδοτεί τη λυχνία εικόνας. Υπάρχει το κύκλωμα παραγωγής της τάσεως του AGC και το τροφοδοτικό που θα δώσει τις κατάλληλες τάσεις για τη λειτουργία των βαθμίδων. Ο δέκτης μπορεί να είναι με λυχνίες ή με τρανζίστορ ή με λυχνίες, τρανζίστορ και ολοκληρωμένα κυκλώματα. Παρακάτω αναφέρεται η χρησιμότητα και ή λειτουργία των διαφόρων τμημάτων.

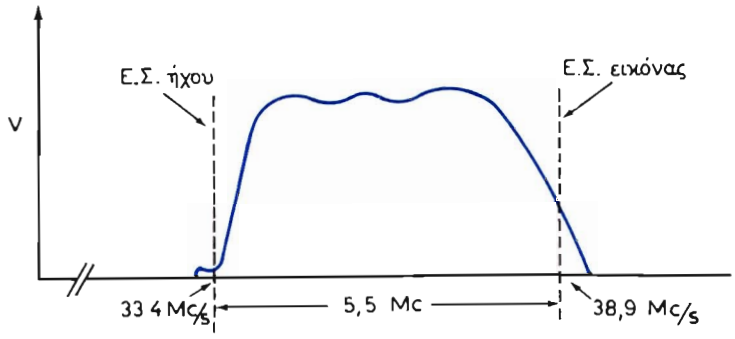
α) Tuner.

Στην είσοδο του δέκτη υπάρχει το τμήμα επιλογής των καναλιών με τα συντονιζόμενα κυκλώματα. Αυτό το τμήμα αποτελεί χωριστή διάταξη από τον υπόλοιπο δέκτη και ονομάζεται ***tuner.*** Περιέχει τον ενισχυτή Υ.Σ., τον τοπικό ταλαντωτή και το μίκτη-μεταλλάκτη, ο οποίος παράγει την ενδιάμεση συχνότητα του δέκτη, που περιέχει το σήμα εικόνας και το σήμα ήχου. Στο tuner μπορεί να υπάρχουν προσυντονισμένα κυκλώματα, τα οποία αντιστοιχούν στα κανάλια συντονισμού. Στην περιοχή των VHF περιέχει συνήθως ένδεκα κανάλια με προσυντονισμένα κυκλώματα. Η επιλογή μπορεί να πραγματοποιείται με περιστροφικό διακόπτη, ο οποίος καταλήγει σε τύμπανο που περιέχει τα προσυντονισμένα κυκλώματα. Αυτό το σύστημα είναι παλαιότερο. Σε νεότερο σύστημα η επιλογή γίνεται με διακόπτες - πλήκτρα που επιλέγουν τα προσυντονισμένα κυκλώματα. Ο προσυντονισμός επιτυγχάνεται με ποτενσιόμετρα που μεταβάλλουν την τάση των varactors, γίνεται η μεταβολή της χωρητικότητας και συντονισμός των κυκλωμάτων επιλογής και τοπικού ταλαντωτή. Στους υπερσύγχρονους δέκτες έγχρωμης εικόνας, χρησιμοποιούνται και τα TV control με τα οποία λειτουργούν πιο σύνθετα συστήματα συντονισμού. Κατά το συντονισμό μεταβάλλεται συγχρόνως το κύκλωμα επιλογής του ενισχυτή Υ.Σ. και το κύκλωμα του τοπικού ταλαντωτή. Η συχνότητα του τοπικού ταλαντωτή είναι μεγαλύτερη από τη συχνότητα του φέροντος, κατά την Ε.Σ. του δέκτη.

β) Ενισχυτές ενδιάμεσης συχνότητας.

Στην έξοδο του tuner εμφανίζεται η ενδιάμεση συχνότητα σήματος εικόνας και ήχου. Το πλάτος του φάσματος της Ε.Σ. είναι περίπου 5,5 Mc/s, στο ευρωπαϊκό σύστημα. Στο σχήμα 15.3β φαίνεται η καμπύλη αποκρίσεως των ενισχυτών Ε.Σ. Παρατηρούμε οτι τό εύρος είναι πολύ μεγάλο, για να μπορεί να περνά όλο το φάσμα των πλευρικών της εικόνας που περιέχει τις λεπτομέρειες.

Το φάσμα του σήματος εικόνας είναι περίπου 4 Mc/s (από 10 c/s μέχρι 4 Mc/s), αλλά στους ενισχυτές Ε.Σ. πρέπει να ενισχυθεί και η Ε.Σ. του ήχου, που θα εμφανισθεί από τη μίξη. Παίρνομε για παράδειγμα ότι ο δέκτης επιλέγει το 5 κανάλι, το οποίο έχει συχνότητα φέροντος εικόνας 175,25 Mc/s και συχνότητα φέροντος ή-



Σχ. 15.3β.
Καμπύλη αποκρίσεως ενισχυτών Ε.Σ.

χου 180,75 Mc/s. Στο κανάλι αυτό ο τοπικός ταλαντωτής παράγει 214,15 Mc/s. Έτσι η Ε.Σ. της εικόνας είναι 214,15 − 175,25 = 38,9 Mc/s, ενώ η Ε.Σ. του ήχου θα είναι 214,15 − 180,75 = 33,4 Mc/s, όσο δηλαδή απαιτείται στη ζώνη των ενισχυτών Ε.Σ. Σ' αυτή τη ζώνη ενισχύεται κανονικά και το φάσμα των πλευρικών της εικόνας.

Για να μπορέσομε να πετύχομε αυτό το μεγάλο εύρος, τα συντονιζόμενα κυκλώματα των ενισχυτών Ε.Σ. συντονίζουν σε διαφορετική συχνότητα το καθένα. Το κύκλωμα του πρώτου ενισχυτή συντονίζει στους 35 Mc/s περίπου, του δεύτερου στους 36,5 Mc περίπου και του τρίτου στους 38 Mc περίπου. Με τον τρόπο αυτό σχηματίζεται η τελική καμπύλη του σχήματος 15.3β, στην έξοδο του τελευταίου ενισχυτή Ε.Σ. Ο πρώτος και ο δεύτερος ενισχυτής Ε.Σ. ρυθμίζονται από το AGC για την απολαβή τους.

Το σήμα της Ε.Σ οδηγείται στο φωρατή εικόνας για να υποστεί φώραση και αποδιαμόρφωση ώστε να εμφανισθεί το σήμα εικόνας. Το σήμα εικόνας περιέχει τις πληροφορίες της εικόνας, τους παλμούς αμαυρώσεως και τους παλμούς συγχρονισμού κάθετης και οριζόντιας αποκλίσεως. Αυτό το σήμα οδηγείται στον ενισχυτή ευρείας περιοχής (video) για να ενισχυθεί.

Το σήμα Ε.Σ. ήχου δεν υφίσταται φώραση στο φωρατή εικόνας, γιατί έχει διαμόρφωση συχνότητας. Στο φωρατή πραγματοποιείται μίξη του φέροντος της εικόνας (Ε.Σ.) 38,9 Mc/s με το φέρον του ήχου (Ε.Σ.) 33,4 Mc/s και εμφανίζεται μια νέα ενδιάμεση συχνότητα ήχου με συχνότητα τη διαφορά των δύο, δηλαδή (38,9 − 33,4) Mc/s = 5,5 Mc/s. Αυτή η νέα Ε.Σ. ήχου οδηγείται στο διαχωριστή, όπου διαχωρίζεται από τις άλλες συχνότητες και οδηγείται στον ενισχυτή Ε.Σ. ήχου.

Σε πολλούς δέκτες γίνεται ενίσχυση και των 5,5 Mc/s από τον ενισχυτή video, οπότε το σήμα Ε.Σ. ήχου των 5,5 Mc/s λαμβάνεται από την έξοδο του ενισχυτή video και οδηγείται στον ενισχυτή Ε.Σ. ήχου.

γ) Τμήμα ήχου.

Το τμήμα ήχου αποτελείται από μια ή δυο βαθμίδες ενισχύσεως Ε.Σ. 5,5 Mc/s. Η δεύτερη βαθμίδα λειτουργεί και ως περιοριστής. Από τον περιοριστή το σήμα οδηγείται στο διευκρινιστή, για να επιτευχθεί η αποδιαμόρφωση και η ανάδειξη

της ακουστικής συχνότητας. Η λειτουργία του περιοριστή και του διευκρινιστή αναφέρθηκε ήδη στις παραγράφους 8.8 και 8.9.

Από την έξοδο του διευκρινιστή το σήμα οδηγείται στον ενισχυτή τάσεως Α.Σ. μέσω ποτενσιομέτρου, για τη ρύθμιση της εντάσεως του ήχου. Από τον ενισχυτή τάσεως οδηγείται στον ενισχυή ισχύος και από εκεί στο μεγάφωνο.

δ) Οπτικός ενισχυτής και λυχνία οθόνης.

Ο οπτικός ενισχυτής είναι ενισχυτής ευρείας περιοχής (video), για τον οποίο μιλήσαμε στις παραγράφους 4.17 (με λυχνίες) και 10.19(γ) (με τρανζίστορ). Αν ο ενισχυτής video δεν ενισχύει τους 5,5 Mc/s του ήχου, τότε έχει στην είσοδο κυματοπαγίδα απορρίψεως των 5,5 Mc/s. Αν ενισχύει και τους 5,5 Mc/s η κυματοπαγίδα τοποθετείται στην έξοδο του video μεταξύ αυτού και της καθοδικής λυχνίας.

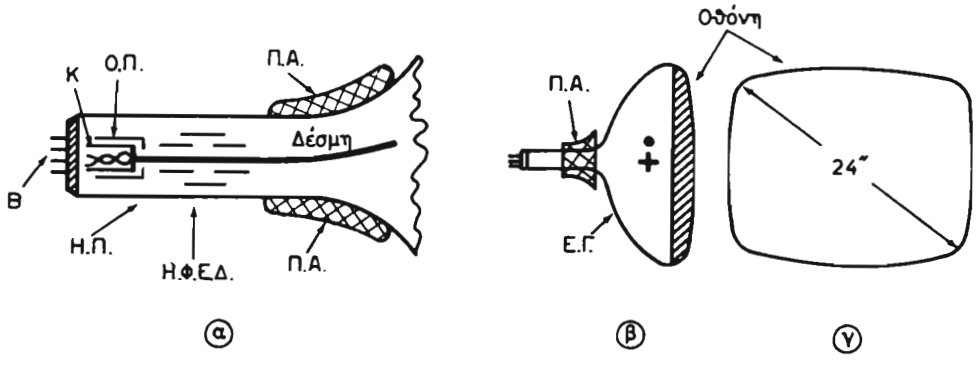
Η καθοδική λυχνία είναι ειδικής κατασκευής και έχει σκοπό να αναπαράγει την εικόνα που σχηματίσθηκε στη λυχνία εικόνας του πομπού και μεταδόθηκε από τον πομπό.

Το σχήμα 15.3γ δείχνει παραστατικά μια καθοδική λυχνία δέκτη τηλεοράσεως. Στο (α) φαίνεται η τομή του εσωτερικού της λυχνίας στην περιοχή παραγωγής, εστιάσεως και αποκλίσεως της ηλεκτρονικής δέσμης σαρώσεως, δηλαδή φαίνεται η τομή του «λαιμού» της λυχνίας. Το Β είναι η βάση της λυχνίας, με την οποία και συνδέεται στα εξωτερικά κυκλώματα. Το Κ είναι η κάθοδος που παράγει την ηλεκτρονική δέσμη. Το ΟΠ είναι το οδηγό πλέγμα που ρυθμίζει τον αριθμό των ηλεκτρονίων της δέσμης με το αρνητικό του δυναμικό. Αυτό το πλέγμα είναι ένας κύλινδρος που περιβάλλει την κάθοδο κλειστός στο μπροστινό μέρος και με μια μικρή οπή από την οποία εξέρχεται η δέσμη των ηλεκτρονίων.

Το ΗΦΕΔ είναι ο ηλεκτρονικός φακός εστιάσεως της δέσμης των ηλεκτρονίων. Αποτελείται από ένα σύνολο κυλίνδρων (που ονομάζονται και άνοδοι ή πλέγματα επιταχύνσεως), οι οποίοι τροφοδοτούνται με ειδικά θετικά δυναμικά και εστιάζουν τη δέσμη των ηλεκτρονίων στη φθορίζουσα επιφάνεια της οθόνης. Η κάθοδος το πλέγμα και οι κύλινδροι αποτελούν το ***ηλεκτρονικό πυροβόλο (ΗΠ).***

Το ΠΑ είναι τα δύο ζεύγη των πηνίων οριζόντιας και κάθετης αποκλίσεως, με τα οποία θα πραγματοποιηθεί η σάρωση της οθόνης, όπως αναφέρθηκε και στην προηγούμενη παράγραφο. Τα πηνία αυτά είναι ειδικής κατασκευής και μοιάζουν με χωνί που τοποθετείται στο λαιμό της λυχνίας. Στην τεχνική ορολογία ονομάζονται ***yoke.*** Επάνω στο yoke τοποθετούνται κατάλληλοι φερίτες, με τους οποίους ρυθμίζεται η γεωμετρική ορθότητα της εικόνας.

Στο σχήμα 15.3γ(β) φαίνεται η πλάγια μορφή της λυχνίας. Το ΠΑ είναι τα πηνία αποκλίσεως τοποθετημένα στο λαιμό της λυχνίας. Η λυχνία εξωτερικά στο κωνικό μέρος έχει επίστρωση από γραφίτη (ΕΓ), που συνδέεται με το σασί του δέκτη (γειώνεται). Στο εσωτερικό του κώνου έχει επίστρωση από αλουμίνιο, που λειτουργεί ως τελική άνοδος και συλλέγει τα ηλεκτρόνια της δέσμης μετά την πτώση τους στη φθορίζουσα επιφάνεια. Η επίστρωση αυτή συνδέεται εξωτερικά με ειδική υποδοχή (+), από την οποία επιτυγχάνεται η τροφοδότηση με τη λίαν υψηλή τάση (ΛΥΤ), που είναι από 5-30 kV, ανάλογα με το μέγεθος της λυχνίας. Η επίστρωση αλουμινίου συνδέεται εσωτερικά και με τον τελευταίο κύλινδρο, που αποτελεί την άνοδο επιταχύνσεως των ηλεκτρονίων της δέσμης. Έτσι τα ηλεκτρόνια αποκτούν μεγάλη κινητική ενέργεια και φθάνουν μέχρι τη φθορίζουσα επιφάνεια, την οποία διεγείρουν.



Σχ. 15.3γ.
Παράσταση τομής και εξωτερική μορφή καθοδικής λυχνίας.

Η εξωτερική επίστρωση γραφίτη και η εσωτερική αλουμινίου σχηματίζουν ένα πυκνωτή, ο οποίος επιδρά στην εξομάλυνση της ανορθωμένης ΛΥΤ. Κατά την αποσύνδεση της λυχνίας, αυτός «ο πυκνωτής» μπορεί να παραμείνει φορτισμένος με μεγάλη τάση, η οποία είναι επικίνδυνη και γι' αυτό πρέπει να εκφορτίζεται με βραχυκύκλωση της επιφάνειας του γραφίτη με την υποδοχή της ΛΥΤ.

Η εσωτερική επιφάνεια της οθόνης έχει επίστρωση ειδικής φθορίζουσας ουσίας, που για την ασπρόμαυρη τηλεόραση μπορεί να είναι σουλφίδια του ψευδαργύρου. Καθώς η δέσμη των ηλεκτρονίων πέφτει επάνω στη φθορίζουσα επιφάνεια, αυτή διεγείρεται και φωτοβολεί. Η ένταση της φωτοβολίας είναι ανάλογη με την ένταση της ηλεκτρονικής δέσμης. Καθώς η ένταση της δέσμης μεταβάλλεται με το σήμα της εικόνας που έρχεται από τον ενισχυτή video, μεταβάλλεται και η φωτεινότητα, σχηματίζοντας έτσι την εικόνα στην οθόνη της λυχνίας.

Στο σχήμα 15.3γ(γ) φαίνεται η πρόσοψη της οθόνης και ο τρόπος με τον οποίο δίνεται η διάσταση της οθόνης π.χ. 19" (ίντσες), 21", 23", 26" κλπ. Το πάχος του γυαλιού στην πρόσοψη είναι περίπου δυο εκατοστά του μέτρου, για να παρουσιάζει μεγάλη αντοχή στην εξωτερική πίεση λόγω του κενού της λυχνίας. Επίσης, η πρόσοψη είναι μολυβδύαλος, για να απορροφά τις τυχόν ακτινοβολίες πολύ υψηλών συχνοτήτων που είναι δυνατό να παραχθούν στο εσωτερικό της λυχνίας.

Η τροφοδότηση της λυχνίας με το σήμα εικόνας μπορεί να γίνει στο οδηγό πλέγμα με σήμα αρνητικής πολικότητας ή στην κάθοδο με σήμα θετικής πολικότητας. Η εφαρμογή του σήματος γίνεται συνήθως στην κάθοδο, ενώ το πλέγμα συνδέεται σε ένα σταθερό αρνητικό δυναμικό που μπορεί να ρυθμίζεται για τη μεταβολή της φωτεινότητας της λυχνίας. Αυτό το σήμα μπορεί να έχει τη μορφή του σχήματος 15.2η. Στις πληροφορίες εικόνας η κάθοδος είναι τόσο θετική, ώστε η λυχνία να λειτουργεί κανονικά. Στους παλμούς αμαυρώσεως γίνεται πολύ θετική ώστε να έρχεται στο σημείο αποκοπής και να αποκόπτεται η δέσμη ηλεκτρονίων. Έτσι η δέσμη αποκόπτεται στο χρόνο επιστροφής και δεν φαίνεται στην οθόνη σαν άσπρη οριζόντια γραμμή.

ε) Ταλαντωτές οριζόντιας και κάθετης σαρώσεως.

Στο διάγραμμα του σχήματος 15.3α, παρατηρούμε ότι από την έξοδο του οπτικού ενισχυτή ένα μέρος οδηγείται στον ενισχυτή και διαχωριστή παλμών. Ο δια-

χωριστής παλμών μπορεί να είναι λυχνία πολλών ηλεκτροδίων ή αντίστοιχη βαθμίδα με τρανζίστορ, η οποία έχει τέτοια πόλωση, ώστε να αποκόπτει τις πληροφορίες εικόνας και να ξεχωρίζει τους παλμούς συγχρονισμού οριζόντιας και κάθετης σαρώσεως. Αυτοί οι παλμοί ενισχύονται και με ειδικά κυκλώματα διαφορίσεως και ολοκληρώσεως, διαχωρίζονται και οδηγούνται στους αντίστοιχους ταλαντωτές.

Το κύκλωμα ολοκληρώσεως αναφέρθηκε ήδη στην παράγραφο 13.4. Αυτό διεγείρεται και λειτουργεί μόνο με τους παλμούς κάθετης σαρώσεως του σχήματος 15.2ζ(β), οι οποίοι σε σύγκριση με τους παλμούς οριζόντιας σαρώσεως είναι μεγάλης διάρκειας. Αυτοί οι παλμοί συγχρονίζουν τον ταλαντωτή κάθετης αποκλίσεως, ο οποίος μπορεί να είναι ένας δονητής φραγμού ή ένας διεγειρόμενος πολυδονητής μιας από τις μορφές που αναφέρθηκαν στο κεφάλαιο 13.

Ο ταλαντωτής παράγει περίπου τραπεζοειδή τάση συχνότητας 50 παλμών το δευτερόλεπτο, οι οποίοι θα δημιουργήσουν τα 50 μισά πεδία εικόνας στο δευτερόλεπτο. Η τάση αυτή ενισχύεται από τον ενισχυτή ισχύος παλμών κάθετης σαρώσεως και μέσω μετασχηματιστή εξόδου και προσαρμογής εφαρμόζεται στα πηνία κάθετης αποκλίσεως του yoke, όπου κινείται ρεύμα πριονωτής μορφής για την κάθετη σάρωση. Ο ταλαντωτής και ο ενισχυτής ισχύος έχουν μεταβλητούς αντιστάτες, με τους οποίους ρυθμίζεται η συχνότητα των ταλαντώσεων και η γραμμικότητα της εικόνας.

Όταν ο κάθετος ταλαντωτής δεν συγχρονίζεται από τους παλμούς συγχρονισμού, η εικόνα «κυλά» από κάτω προς τα πάνω ή και αντίθετα. Αν η συχνότητα των παλμών είναι μικρότερη ή μεγαλύτερη από 50 παλμούς, τότε μπορεί να σχηματίζονται δυο ή τρείς εικόνες η μία πάνω από την άλλη. Αν δεν λειτουργεί το τμήμα κάθετης σαρώσεως, στο δέκτη εμφανίζεται μια άσπρη έντονη οριζόντια γραμμή στη μέση της οθόνης.

Οι παλμοί συγχρονισμού οριζόντιας σαρώσεως οδηγούνται στον ταλαντωτή οριζόντιας σαρώσεως μέσω κυκλώματος διαφορίσεως. Το κύκλωμα διαφορίσεως και τη λειτουργία του γνωρίσαμε στην παράγραφο 13.3.

Ο ταλαντωτής οριζόντιας σαρώσεως είναι συνήθως ταλαντωτής με L και C ή διεγειρόμενος πολυδονητής. Η συχνότητα των ταλαντώσεων ρυθμίζεται από μια λυχνία φαινόμενης αντιστάσεως (ΛΦΑ) ή και από ένα συγκριτή φάσεως με δίοδες πυριτίου που αποτελούν σύστημα AFC.

Η μορφή των παραγόμενων παλμών είναι περίπου οξείς παλμοί, οι οποίοι θα δημιουργήσουν πριονωτά ρεύματα στα πηνία αποκλίσεως για την οριζόντια σάρωση της οθόνης Τα πηνία οριζόντιας αποκλίσεως του yoke, τροφοδοτούνται από τον ενισχυτή ισχύος παλμών οριζόντιας σαρώσεως μέσω ειδικού μετασχηματιστή εξόδου, ο οποίος εκτελεί και την προσαρμογή με τα πηνία.

Η συχνότητα των παλμών αυτών είναι 15625 παλμοί στο δευτερόλεπτο, γιατί, αν απαιτούνται 50 μισά πεδία στο δευτερόλεπτο με 312,5 γραμμές το κάθε μισό πεδίο, έχομε $312,5 \times 50 = 15625$ γραμμές ή παλμούς επειδή κάθε παλμός αντιστοιχεί σε μια οριζόντια γραμμή. Το ίδιο αποτέλεσμα έχομε, αν υπολογίσομε ότι απαιτούνται 25 πλήρη πεδία ανά δευτερόλεπτο. Με 625 γραμμές το κάθε πεδίο έχομε: $625 \times 25 = 15625$ γραμμές στο δευτερόλεπτο.

Ένα μέρος του σήματος εξόδου από τον ενισχυτή ισχύος επιστρέφει στην είσοδο του ταλαντωτή, για να γίνεται σύγκριση με τους παλμούς συγχρονισμού (σχ. 15.3α) και να πραγματοποιείται έτσι διόρθωση της συχνότητας των παραγόμενων παλμών οριζόντιας σαρώσεως.

Η σάρωση της οθόνης της καθοδικής λυχνίας επιτυγχάνεται με τον ίδιο τρόπο που αναφέρθηκε ήδη στην παράγραφο 15.2(β). Με την επίδραση λοιπόν των συγχρονιστικών παλμών, η σάρωση της οθόνης στο δέκτη θα γίνεται στον ίδιο ρυθμό και με την ίδια φάση όπως και στη λυχνία λήψεως στον πομπό, με αποτέλεσμα να παράγεται η ίδια εικόνα.

Αν ο ταλαντωτής οριζόντιας σαρώσεως δεν συγχρονίζεται με τους παλμούς συγχρονισμού τότε δημιουργούνται στην οθόνη ακατάστατες οριζόντιες ασπρόμαυρες γραμμές. Αν δεν λειτουργεί το τμήμα οριζόντιας σαρώσεως, η οθόνη μένει σκοτεινή γιατί δεν υπάρχει η λίαν υψηλή τάση (ΛΥΤ).

Η ΛΥΤ παράγεται στο μετασχηματιστή εξόδου του ενισχυτή ισχύος των γραμμών οριζόντιας σαρώσεως με ειδικό πηνίο υψηλής μονώσεως και με πολλές σπείρες. Η ΛΥΤ ανορθώνεται με κατάλληλη δίοδη λυχνία για πολύ υψηλές τάσεις ή με αντίστοιχο ανορθωτή πυριτίου. Η περίπου συνεχής αυτή τάση της τάξεως των 18 KV τροφοδοτεί την τελευταία άνοδο επιταχύνσεως της λυχνίας και την επίστρωση αλουμινίου της λυχνίας μέσω της ειδικής υποδοχής. Το καλώδιο ΛΥΤ και η υποδοχή καλύπτονται από μια ελαστική βεντούζα, για να αποφεύγεται η δημιουργία σπινθηρισμών. Σε πολλούς δέκτες η ΛΥΤ παράγεται και με τη βοήθεια κυκλώματος καταρράκτη, το οποίο γνωρίσαμε (παράγρ. 3.8).

Σε κάθε δέκτη υπάρχει και το τροφοδοτικό που θα δημιουργήσει τις κατάλληλες τάσεις για τη λειτουργία των διάφορων βαθμίδων του δέκτη. Το τροφοδοτικό παίρνει ενέργεια από το δίκτυο Ε.Ρ. ή από μπαταρίες. Στους δέκτες με λυχνίες παράγει τάσεις συνεχείς μέχρι 250V, ενώ στους δέκτες με τρανζίστορ παράγει τάσεις 12-30V περίπου.

Το AGC παράγεται σε βαθμίδα με λυχνία ή τρανζίστορ από τους παλμούς αμαυρώσεως, σε συνδυασμό με τους παλμούς από το τμήμα οριζόντιας σαρώσεως για τον έλεγχο και τη δημιουργία τάσεως AGC, η οποία εξαρτάται μόνο από τους παλμούς αμαυρώσεως και όχι από παρασιτικούς θορύβους.

στ) Γραμμικότητα της εικόνας.

Με αυτό τον όρο καθορίζομε αν η εικόνα είναι κανονική ή όχι. Μπορεί η εικόνα να παρουσιάζει έναν άνθρωπο με στενόμακρο κεφάλι και κοντά πόδια ή το αντίθετο. Στην πρώτη περίπτωση η απόσταση μεταξύ των οριζόντιων γραμμών στο επάνω μέρος της οθόνης, είναι μεγαλύτερη από ό,τι μεταξύ των γραμμών στο κάτω μέρος της. Στη δεύτερη περίπτωση συμβαίνει το αντίθετο. Επίσης μπορεί η οθόνη να μη γεμίζει στο επάνω ή στο κάτω μέρος ή και να υπερκαλύπτεται το ύψος της με αποτέλεσμα να «κόβει» τα πάνω ή τα κάτω αντικείμενα. Στις περιπτώσεις αυτές, πρέπει να ρυθμισθεί το τμήμα κάθετης σαρώσεως.

Η γεωμετρία της εικόνας μπορεί να ρυθμιστεί από τους φερίτες ή τους μαγνητικούς δακτύλιους που υπάρχουν επάνω στο yoke και επιδρούν στην κίνηση και την απόκλιση της δέσμης των ηλεκτρονίων.

ζ) Κλειστό κύκλωμα τηλεοράσεως.

Συχνά χρησιμοποιούνται κλειστά κυκλώματα τηλεοράσεως, όπως π.χ. στην περίπτωση παρακολουθήσεως της κινήσεως σε ένα κατάστημα ή για την παρακολούθηση μιας εγχειρήσεως από τους φοιτητές ή για την παρακολούθηση της λειτουργίας ενός μηχανήματος από απόσταση ή και για πολλές άλλες περιπτώσεις.

Η μηχανή λήψεως (camera) στις περιπτώσεις αυτές συνδέεται με το δέκτη με τη βοήθεια ενός καλωδίου, συνήθως ομοαξονικού. Υπάρχουν δυο περιπτώσεις μεταφοράς του σήματος. Στην πρώτη περίπτωση η camera έχει σήμα εξόδου Υ.Σ. διαμορφωμένο και με συχνότητα που αντιστοιχεί σε κάποιο κανάλι. Τότε το ομοαξονικό καλώδιο συνδέεται στην είσοδο κεραίας του δέκτη και ο δέκτης συντονίζεται στο αντίστοιχο κανάλι της camera, οπότε λειτουργούν όλες οι βαθμίδες του από το tuner μέχρι την οθόνη και τους ταλαντωτές κάθετης και οριζόντιας σαρώσεως.

Στη δεύτερη περίπτωση η camera παράγει μόνο σήμα εικόνας και παλμών, δηλαδή σήμα video. Αυτό το σήμα μεταφέρεται μέσω του ομοαξονικού καλωδίου στην είσοδο του ενισχυτή video του δέκτη, όπου ενισχύεται και οδηγείται το μεν σήμα εικόνας στην καθοδική λυχνία οι δε παλμοί συγχρονισμού στους αντίστοιχους ταλαντωτές κάθετης και οριζόντιας αποκλίσεως για συγχρονισμό. Οι βαθμίδες Υ.Σ. και Ε.Σ. δεν χρησιμοποιούνται, οπότε είναι δυνατό και να λείπουν από το δέκτη.

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΗ ΡΑΔΙΟΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΙΑ 1

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΠΡΩΤΟ

Βασικά κυκλώματα με αντιστάτη – πηνίο – πυκνωτή

1.1 Αντιστάτης – Πηνίο – Πυκνωτής 6
1.2 Σταθερά χρόνου 11
1.3 Ελεύθερη ταλάντωση 15
1.4 Πηνίο – Πυκνωτής – Αντιστάτης σε σειρά – Συντονισμός 17
1.5 Παράλληλος συντονισμός 24
1.6 Κυκλώματα σε σύζευξη 29
1.7 Παθητικά φίλτρα συχνοτήτων 34

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΔΕΥΤΕΡΟ

Ηλεκτρονικές λυχνίες

2.1 Γενικά 39
2.2 Εκπομπή ηλεκτρονίων από τα μέταλλα 40
2.3 Είδη θερμαινομένων καθόδων 41
2.4 Δίοδη λυχνία κενού 43
2.5 Τρίοδη λυχνία 47
2.6 Τέτροδη λυχνία 52
2.7 Πέντοδη λυχνία 54
2.8 Πέντοδη μεταβλητού μ. 56
2.9 Τέτροδη ισχύος δέσμης 57
2.10 Λυχνίες πολλών ηλεκτροδίων – Σύνθετες – Ειδικές 59
2.11 Λυχνίες αερίου 60

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΤΡΙΤΟ

Ανόρθωση – Εξομάλυνση – Τροφοδοτικά

3.1 Γενικά 65
3.2 Απλή ανόρθωση 66
3.3 Διπλή ανόρθωση 70
3.4 Ανόρθωση με γέφυρα ανορθωτών 74
3.5 Φίλτρα εξομαλύνσεως 76

ΙΔΡΥΜΑ ΕΥΓΕΝΙΔΟΥ 1956

3.6 Σταθεροποίηση τάσεως 83
3.7 Ηλεκτρονική σταθεροποίηση τάσεως 85
3.8 Διπλασιασμός – Πολλαπλασιασμός τάσεως 86
3.9 Μεταλλάκτες συνεχούς ρεύματος 88
3.10 Τροφοδοτικά ισχύος 90

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΤΕΤΑΡΤΟ

Ενίσχυση – Ενισχυτές

4.1 Γενικά 92
4.2 Γραφική ανάλυση της ενισχύσεως 92
4.3 Ισοδύναμο κύκλωμα του ενισχυτή 96
4.4 Πόλωση και αυτοπόλωση στους ενισχυτές 98
4.5 Γραμμική λειτουργία του ενισχυτή 100
4.6 Τάξεις λειτουργίας των ενισχυτών 101
4.7 Είδη ενισχυτών 104
4.8 Ενισχυτής τάσεως Α.Σ. 105
4.9 Καμπύλη αποκρίσεως του ενισχυτή 108
4.10 Ενισχυτής ισχύος Α.Σ. 109
4.11 Μέθοδοι συζεύξεως των ενισχυτών 114
4.12 Απολαβή των ενισχυτών 116
4.13 Παραμόρφωση στους ενισχυτές 117
4.14 Θόρυβος στους ενισχυτές 119
4.15 Ανάδραση τους ενισχυτές 121
4.16 Ενισχυτές υψηλών συχνοτήτων 124
4.17 Ενισχυτής ευρείας περιοχής 127
4.18 Ενισχυτής καθόδου 128
4.19 Ενισχυτής κοινού πλέγματος 129

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΠΕΜΠΤΟ

Ταλαντωτές

5.1 Γενικά 131
5.2 Συνθήκη ταλαντώσεων 131
5.3 Λειτουργία του ταλαντωτή 133
5.4 Αυτοπόλωση στον ταλαντωτή 134
5.5 Κυκλώματα ταλαντωτών με L και C 135
5.6 Σταθερότητα της συχνότητας των ταλαντωτών 140
5.7 Κρυσταλλικοί ταλαντωτές 141
5.8 Ταλαντωτές με R και C 143

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΕΚΤΟ

Πομποί σημάτων CW και AM

6.1 Γενικά 146
6.2 Πομποί συντηρουμένων κυμάτων 146
6.3 Διάγραμμα και λειτουργία πομπού CW 151
6.4 Συντονισμός του πομπού 154
6.5 Πολλαπλασιαστές συχνότητας 156
6.6 Εξουδετέρωση στους ενισχυτές Υ.Σ. 157
6.7 Πομποί διαμορφωμένων κυμάτων (κατά πλάτος) 159
6.8 Ισχύς διαμορφωμένου σήματος 163
6.9 Τρόποι διαμορφώσεως πλάτους – Διαμορφωτές 164

ΙΔΡΥΜΑ ΕΥΓΕΝΙΔΟΥ 1958

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΕΒΔΟΜΟ

Δέκτες σημάτων AM και CW

7.1 Γενικά 174
7.2 Απλοί δέκτες 174
7.3 Φώραση και φωρατές (detectors) 175
7.4 Αυτόδυνος δέκτης 177
7.5 Υπερετερόδινοι δέκτες 178
7.6 Μίξη και μεταλλαγή συχνότητας 179
7.7 Συχνότητα είδωλο 181
7.8 Ενισχυτές ενδιάμεσης συχνότητας 182
7.9 Ρυθμιστικές διατάξεις δεκτών 183
7.10 Διάγραμμα και λειτουργία υπερετερόδυνου δέκτη 191
7.11 Συντονισμός του δέκτη 193
7.12 Βασικά χαρακτηριστικά των δεκτών 194

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΟΓΔΟΟ

Πομποί και δέκτες σημάτων FM

8.1 Γενικά 196
8.2 Το διαμορφωμένο κατά συχνότητα σήμα 196
8.3 Μέθοδοι διαμορφώσεως συχνότητας 200
8.4 Αυτόματη ρύθμιση της συχνότητας των ταλαντωτών (Automatic Frequency Control, A.F.C.) 205
8.5 Προέμφαση – Αποέμφαση 206
8.6 Πομπός με διαμόρφωση συχνότητας 207
8.7 Δέκτες σημάτων με διαμόρφωση συχνότητας 209
8.8 Περιοριστής (Limiter) 209
8.9 Διευκρινιστής (Discriminator) 211

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΕΝΑΤΟ

Πομποί και δέκτες σημάτων SSB

9.1 Γενικά 216
9.2 Μορφή και εξίσωση του σήματος SSB 217
9.3 Ισοσταθμισμένοι διαμορφωτές 218
9.4 Επιλογή της μιας πλευρικής ζώνης 222
9.5 Πομπός SSB 228
9.6 Δέκτης σημάτων SSB 231
9.7 Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα του συστήματος SSB 233

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΔΕΚΑΤΟ

Κρυσταλλολυχνίες (Transistors)

10.1 Γενικά 235
10.2 Στοιχεία από την ηλεκτρονική θεωρία του στερεού σώματος 235
10.3 Καθαροί ημιαγωγοί 241
10.4 Ημιαγωγοί με προσμίξεις 242
10.5 Επαφή P-N 246
10.6 Η κρυσταλλοδίοδη επαφής 250
10.7 Η κρυσταλλοτρίοδη – Transistor 254
10.8 Ισοδύναμα κυκλώματα των τρανζίστορ και παράμετροι 263

ΙΔΡΥΜΑ ΕΥΓΕΝΙΔΟΥ 1956

10.9 Πόλωση και σταθεροποίηση της πολώσεως 268
10.10 Άλλα είδη κρυσταλλολυχνιών — Φωτοτρανζίστορ 271
10.11 Τα θυρίστορ 272
10.12 Τρανζίστορ Πεδίου (FET) 275
10.13 Ανόρθωση με κρυσταλλοδιόδους 284
10.14 Σταθεροποίηση τάσεως DC 285
10.15 Μεταλλάκτες συνεχούς ρεύματος με τρανζίστορ 288
10.16 Ενίσχυση — Ενισχυτής τάσεως Α.Σ. 290
10.17 Ενισχυτές ισχύος Α.Σ. 293
10.18 Ενισχυτές κοινής βάσεως και κοινού συλλέκτη 296
10.19 Ενισχυτές υψηλών συχνοτήτων 300
10.20 Ταλαντωτές 304
10.21 Δέκτες με τρανζίστορ 312
10.22 Τυπωμένα κυκλώματα — Ολοκληρωμένα κυκλώματα 316

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΕΝΔΕΚΑΤΟ

Κεραίες και γραμμές

11.1 Γενικά 323
11.2 Φαινόμενο ακτινοβολίας ηλεκτρομαγνητικού πεδίου — Κεραία 324
11.3 Κεραίες τύπου Hertz και τύπου Marconi 327
11.4 Χαρακτηριστικά μεγέθη των κεραιών 330
11.5 Γραμμές τροφοδοτήσεως κεραίας 335
11.6 Μέθοδοι συζεύξεως κεραίας με τη γραμμή 338
11.7 Συντονισμός και προσαρμογή της κεραίας 343
11.8 Κεραίες κατευθυνόμενης εκπομπής και λήψεως 345

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΔΩΔΕΚΑΤΟ

Διάδοση ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων

12.1 Γενικά 354
12.2 Ατμόσφαιρα — Ιονόσφαιρα 354
12.3 Διάδοση με κύματα πάνω από το έδαφος 356
12.4 Διάδοση με κύματα χώρου 358
12.5 Επίδραση της συχνότητας στον τρόπο διαδόσεως 361
12.6 Επίδραση της τροπόσφαιρας στη διάδοση των ΛΥΣ 362
12.7 Διάδοση μέσω δορυφόρων 364

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΔΕΚΑΤΟ ΤΡΙΤΟ

Στοιχεία χρονοκυκλωμάτων

13.1 Γενικά 366
13.2 Τετραγωνικοί παλμοί 366
13.3 Κύκλωμα διαφορίσεως 368
13.4 Κύκλωμα ολοκληρώσεως 370
13.5 Παραγωγή πριονωτών παλμών 371
13.6 Παραγωγή τετραγωνικών παλμών με ψαλιδιστή 373
13.7 Δονητής φραγμού 374
13.8 Αυτοδιεγειρόμενος πολυδονητής 376
13.9 Δονητής μιας καταστάσεως 379
13.10 Δονητής δύο καταστάσεων 381

ΙΔΡΥΜΑ ΕΥΓΕΝΙΔΟΥ 1956

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΔΕΚΑΤΟ ΤΕΤΑΡΤΟ

Στοιχεία λογικών κυκλωμάτων

14.1 Γενικά 384
14.2 Συστήματα αριθμών 384
14.3 Αριθμητικές πράξεις στο δυαδικό σύστημα 388
14.4 Κώδικες στο δυαδικό σύστημα 390
14.5 Άλγεβρα του Boole 392
14.6 Ηλεκτρονικές πύλες λογικής 397
14.7 Πίνακας του Καρνώ (Karnaugh) 400
14.8 Εφαρμογές μεθόδων λογικής 402

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΔΕΚΑΤΟ ΠΕΜΠΤΟ

Στοιχεία τηλεοράσεως

15.1 Γενικά 407
15.2 Πομπός τηλεοράσεως 408
15.3 Δέκτης τηλεοράσεως 416

COPYRIGHT ΙΔΡΥΜΑΤΟΣ ΕΥΓΕΝΙΔΟΥ