ΙΔΡΥΜΑ ΕΥΓΕΝΙΔΟΥ
1954

ΡΑΔΙΟΦΩΝΙΑ

(Ραδιοεπικοινωνία)

Χρήστου Ε. Παπακίτσου
ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΟΥ - ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΟΥ





1954

ΙΔΡΥΜΑ ΕΥΓΕΝΙΔΟΥ

ΧΡΥΣΟΥΝ ΜΕΤΑΛΛΙΟΝ ΑΚΑΔΗΜΙΑΣ ΑΘΗΝΩΝ

Α' ΕΚΔΟΣΗ 1993

ISBN: 960 - 337 - 001 - 0

ΠΡΟΛΟΓΟΣ ΙΔΡΥΜΑΤΟΣ ΕΥΓΕΝΙΔΟΥ

Ο Ευγένιος Ευγενίδης, ο ιδρυτής και χορηγός του «Ιδρύματος Ευγενίδου», πολύ **νωρίς προέβλεψε και** σχημάτισε την πεποίθηση ότι η άρτια κατάρτιση των τεχνικών μας, σε συνδυασμό με την εθνική αγωγή, θα ήταν αναγκαίος και αποφασιστικός παράγων για την πρόοδο του Έθνους μας.

Την πεποίθησή του αυτή ο Ευγενίδης εκδήλωσε με τη γενναιόφρονα πράξη ευεργεσίας, να κληροδοτήσει σεβαστό ποσό για τη σύσταση Ιδρύματος, που θα είχε ως σκοπό να συμβάλλει στην τεχνική εκπαίδευση των νέων της Ελλάδας.

Έτσι, το Φεβρουάριο του 1956 συστήθηκε το «Ίδρυμα Ευγενίδου», του οποίου τη διοίκηση ανέλαβε η αδελφή του Μαρ. Σίμου, σύμφωνα με την επιθυμία του διαθέτη. Το έργο του Ιδρύματος συνεχίζει από το 1981 ο κ. Νικόλαος Βερνίκος - Ευγενίδης.

Από το 1956 έως σήμερα η συμβολή του Ιδρύματος στην τεχνική εκπαίδευση πραγματοποιείται με διάφορες δραστηριότητες. Όμως απ' αυτές η σημαντικότερη, που κρίθηκε από την αρχή ως πρώτης ανάγκης, είναι η έκδοση βιβλίων για τους μαθητές των Τεχνικών και Επαγγελματικών Σχολών και Λυκείων.

Μέχρι σήμερα, με τη συνεργασία με τα Υπουργεία Εθνικής Παιδείας και Θρησκευμάτων και Εμπορικής Ναυτιλίας, εκδόθηκαν εκατοντάδες τόμοι βιβλίων, που έχουν διατεθεί σε πολλά εκατομμύρια αντίτυπα. Τα βιβλία αυτά κάλυπταν ή καλύπτουν ανάγκες των Κατωτέρων και Μέσων Τεχνικών Σχολών του Υπ. Παιδείας, τών Σχολών του Οργανισμού Απασχολήσεως Εργατικού Δυναμικού (ΟΑΕΔ), των Τεχνικών και Επαγγελματικών Λυκείων, των Τεχνικών Επαγγελματικών Σχολών και των Δημοσίων Σχολών Εμπορικού Ναυτικού.

Μοναδική φροντίδα του Ιδρύματος σ' αυτή την εκδοτική του προσπάθεια ήταν και είναι η συγγραφή και έκδοση βιβλίων ποιότητας, από άποψη όχι μόνον επιστημονική, παιδαγωγική και γλωσσική, αλλά και ως προς την εμφάνιση, ώστε το βιβλίο να αγαπηθεί από τους μαθητές.

Για την επιστημονική και παιδαγωγική αρτιότητα των βιβλίων τα κείμενα υποβάλλονται σε πολλές επεξεργασίες και βελτιώνονται πριν από κάθε νέα έκδοση συμπληρούμενα καταλλήλως.

Ιδιαίτερη σημασία απέδωσε το Ίδρυμα από την αρχή στη γλωσσική διατύπωση των βιβλίων, γιατί πιστεύει ότι και τα τεχνικά βιβλία, όταν είναι γραμμένα σε γλώσσα σωστή και ομοιόμορφη αλλά και κατάλληλη για τη στάθμη των μαθητών, μπορούν να συμβάλλουν στη γλωσσική κατάρτιση των μαθητών.

Έτσι, με απόφαση που ίσχυσε ήδη από το 1956, όλα τα βιβλία της Βιβλιοθήκης του Τεχνίτη, δηλαδή τα βιβλία για τις τότε Κατώτερες Τεχνικές Σχολές, όπως αργότερα και για τις Σχολές του ΟΑΕΔ, ήταν γραμμένα σε γλώσσα δημοτική, με βάση τη γραμματική του Τριανταφυλλίδη, ενώ όλα τα άλλα βιβλία ήταν γραμμένα στην απλή καθαρεύουσα. Σήμερα ακολουθείται η γραμματική που διδάσκεται στα σχολεία της δευτεροβάθμιας εκπαιδεύσεως. Η γλωσσική επεξεργασία των βιβλίων ανατίθε-

ται σε φιλολόγους του Ιδρύματος και έτσι εξασφαλίζεται η ενιαία σύνταξη και ορολογία κάθε κατηγορίας βιβλίων.

Η ποιότητα του χαρτιού, το είδος των τυπογραφικών στοιχείων, τα σωστά σχήματα, η καλαίσθητη σελιδοποίηση, το εξώφυλλο και το μέγεθος του βιβλίου, περιλαμβάνονται και αυτά στις φροντίδες του Ιδρύματος και συμβάλλουν στη σωστή «λειτουργικότητα» των βιβλίων.

Το Ίδρυμα θεώρησε ότι είναι υποχρέωσή του, σύμφωνα με το πνεύμα του ιδρυτή του, να θέση στη διάθεση του Κράτους όλη αυτή την πείρα του των 20 ετών, αναλαμβάνοντας το 1978 και την έκδοση των βιβλίων για τις νέες Τεχνικές Επαγγελματικές Σχολές και τα Τεχνικά και Επαγγελματικά Λύκεια, σύμφωνα πάντοτε με τα εγκεκριμένα Αναλυτικά Προγράμματα του Π.Ι. και του ΥΠΕΠΘ.

ΕΠΙΤΡΟΠΗ ΕΚΔΟΣΕΩΝ ΙΔΡΥΜΑΤΟΣ ΕΥΓΕΝΙΔΟΥ

Μιχαήλ Αγγελόπουλος, ομ. καθηγητής ΕΜΠ, Πρόεδρος.
Αλέξανδρος Σταυρόπουλος, ομ. καθηγητής Πανεπιστημίου Πειραιώς, Αντιπρόεδρος.
Ιωάννης Τεγόπουλος, καθηγητής ΕΜΠ.
Σταμάτης Παλαιοκρασάς, Ηλεκτρολόγος Μηχανικός, Σύμβουλος Παιδαγωγικού Ινστιτούτου.
Χρήστος Σιγάλας, Δ/ντής Σπ. Δευτ. Εκπαιδεύσεως ΥΠΕΠΘ.
Σύμβουλος εκδόσεων του Ιδρύματος **Κ. Α. Μανάφης**, καθηγ. Φιλ. Σχολής Παν/μίου Αθηνών.
Γραμματέας της Επιτροπής, **Γεώργιος Ανδρεάκος**.

Διατελέσαντα μέλη ή σύμβουλοι της Επιτροπής

Γεώργιος Κακριδής (1955-1959) Καθηγητής ΕΜΠ, *Άγγελος Καλογεράς* (1957-1970) Καθηγητής ΕΜΠ, *Δημήτριος Νιάνιας* (1957-1965) Καθηγητής ΕΜΠ, *Μιχαήλ Σπετσιέρης* (1956-1959), *Νικόλαος Βασιώτης* (1960-1967), *Θεόδωρος Κουζέλης* (1968-1976) Μηχ. Ηλ. ΕΜΠ, *Παναγιώτης Χατζηιωάννου* (1977-1982) Μηχ. Ηλ. ΕΜΠ, *Αλέξανδρος Ι. Παππάς* (1955-1983) Καθηγητής ΕΜΠ, *Χρυσόστομος Καβουνίδης* (1955-1984) Μηχ. Ηλ. ΕΜΠ, *Γεώργιος Ρούσσος* (1970-1987) Χημ.-Μηχ. ΕΜΠ, Δρ. *Θεοδόσιος Παπαθεοδοσίου* (1982-1984) Δ/ντής Σπουδών Δευτεροβάθμιας Εκπαιδεύσεως ΥΠΕΠΘ, *Ιγνάτιος Χατζηευστρατίου* (1985-1988) Μηχανολόγος, Δ/ντής Σπουδών Δευτεροβάθμιας Εκπαιδεύσεως ΥΠΕΠΘ, *Γεώργιος Σταματίου* (1988-1990) Ηλεκτρολόγος ΕΜΠ, Δ/ντής Σπουδών Δευτεροβάθμιας Εκπαιδεύσεως ΥΠΕΠΘ, *Σωτ. Γκλαβάς* (1989-1993) Φιλόλογος, Δ/ντής Σπουδών Δευτεροβάθμιας Εκπαιδεύσεως ΥΠΕΠΘ.

ΡΑΔΙΟΦΩΝΙΑ

(Ραδιοεπικοινωνία)

ΧΡΗΣΤΟΥ Ε. ΠΑΠΑΚΙΤΣΟΥ
ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΟΥ - ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟΥ

ΑΘΗΝΑ
1998

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η βαθιά διείσδυση της Ραδιοφωνίας και γενικότερα της Ραδιοεπικοινωνίας στην καθημερινή ζωή, την Επιστήμη και την Τεχνική επιβάλλει ικανοποιητική προετοιμασία των Τεχνικών, που καλούνται να υπηρετήσουν την περιοχή της Ραδιοτεχνικής. Η προετοιμασία αυτή αρχίζει από τη θεωρητική γνώση και ολοκληρώνεται με την εργαστηριακή κατάρτιση. Το βιβλίο αυτό αποσκοπεί στην προετοιμασία που αφορά στη θεωρητική γνώση.

Κατά τη συγγραφή του βιβλίου θεωρήθηκε ότι οι αναγνώστες του, Μαθητές και Μαθήτριες των ΤΕΛ, ΕΠΛ και ΤΕΣ, γνωρίζουν τις βασικές αρχές της Ηλεκτροτεχνίας και των Γενικών Ηλεκτρονικών. Με τη συγγραφή αυτή καταβάλλεται μια πρώτη προσπάθεια για την ολοκληρωμένη σπουδή της Ραδιοεπικοινωνίας, γι' αυτό δεν αναπτύσσονται επαρκώς πολλά πιο σύνθετα προβλήματα, όπως π.χ. η τεχνική των μετρικών, δεκατομετρικών, εκατοστομετρικών ραδιοκυμάτων, της Τηλεοράσεως, της Ραδιοεντοπίσεως κ.ά. Τα θέματα αυτά εξετάζονται συνήθως σε ιδιαίτερα βιβλία.

Ο συγγραφέας

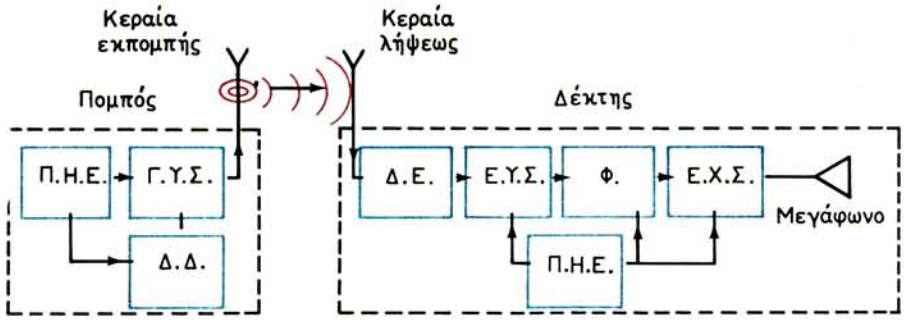
ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΠΡΩΤΟ

ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΗ ΡΑΔΙΟΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΑ

1.1 Γενικά.

Με τους τρόπους και τα μέσα μεταδόσεως πληροφοριών σε μεγάλες αποστάσεις χωρίς τη χρησιμοποίηση γραμμών μεταφοράς ενέργειας, δηλαδή με τη ***ραδιοσύνδεση***, ασχολείται η ραδιοηλεκτρολογία.

Η ραδιοσύνδεση οποιασδήποτε μορφής (ραδιοτηλεγραφική, ραδιοτηλεφωνική, ραδιοφωνική κλπ.) εξασφαλίζεται με τρεις βασικές διατάξεις: τον ***πομπό,*** το ***δέκτη*** και τις ***κεραίες*** εκπομπής και λήψεως της ηλεκτρομαγνητικής ενέργειας που παράγεται στον πομπό. Διάγραμμα γενικά ραδιοσυνδέσεως φαίνεται στο σχήμα 1.1.



Σχ. 1.1.
Διάγραμμα ραδιοσυνδέσεως.

Ο πομπός παράγει ρεύμα υψηλής συχνότητας που οδηγείται στην κεραία του. Γύρω από την κεραία δημιουργείται ηλεκτρομαγνητικό πεδίο, το οποίο διαδίδεται στο χώρο με τη μορφή κυμάτων (ηλεκτρομαγνητικών). Η ταχύτητα διαδόσεως των ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων στο κενό είναι όση και η ταχύτητα διαδόσεως του φωτός ($3 \cdot 10^8$ m/sec).

Για την πραγματοποίηση των ραδιοσυνδέσεων χρειάζονται ρεύματα υψηλών συχνοτήτων επειδή:

1) Με χαμηλή συχνότητα του ρεύματος η κεραία ακτινοβολεί πολύ μικρή ενέργεια. Το ποσό της ενέργειας που ακτινοβολείται από μια κεραία εξαρτάται από το μήκος της κεραίας, από το μέγεθος του ρεύματος που την διαρρέει και από τη συχνότητα αυτού του ρεύματος. Στην πράξη χρησιμοποιούμε υψηλές συχνότητες για να έχομε πομπούς μικρότερης ισχύος και κεραίες με μικρό μήκος.

2) Τα ηλεκτρομαγνητικά κύματα των υψηλών συχνοτήτων διαδίδονται καλύτερα στο χώρο.

3) Η ραδιοσύνδεση με χαμηλές συχνότητες παρενοχλείται από πολλές πηγές ενέργειας. Για τους λόγους αυτούς, η ραδιοσύνδεση εξασφαλίζεται σήμερα με ρεύματα συχνοτήτων της περιοχής 10^5-$3 \cdot 10^{10}$ Hz.

Ο πομπός (σχ. 1.1) αποτελείται από τις ακόλουθες βασικές διατάξεις: την πηγή ηλεκτρικής ενέργειας (ΠΗΕ), τη γεννήτρια (ταλαντωτή) του ρεύματος υψηλής συχνότητας (ΓΥΣ), τη διάταξη διαμορφώσεως (ΔΔ) και την κεραία.

Η πηγή ηλεκτρικής ενέργειας τροφοδοτεί τις διατάξεις εκπομπής με τις απαιτούμενες χαμηλές και υψηλές συνεχείς τάσεις.

Η γεννήτρια μετασχηματίζει την ενέργεια της τροφοδοτικής πηγής σε ενέργεια ρευμάτων υψηλής συχνότητας.

Η διάταξη διαμορφώσεως μεταβάλλει ένα χαρακτηριστικό της ταλαντώσεως υψηλής συχνότητας (το πλάτος, τη συχνότητα, τη φάση) στο ρυθμό του εκπεμπόμενου σήματος (ομιλίας, μουσικής κλπ.).

Για την ακτινοβολία της ενέργειας των ταλαντώσεων υψηλής συχνότητας χρησιμοποιείται η κεραία εκπομπής, η οποία έχει γεωμετρικές διαστάσεις που εξαρτώνται από τη συχνότητα λειτουργίας του πομπού.

Ο δέκτης (σχ. 1.1) αποτελείται από την κεραία λήψεως, τη διάταξη επιλογής (ΔΕ) των σταθμών εκπομπής, τον ενισχυτή υψηλής συχνότητας (ΕΥΣ), το φωρατή (Φ), τον ενισχυτή χαμηλής συχνότητας (ΕΧΣ), το μεγάφωνο ή τα ακουστικά και την πηγή ηλεκτρικής ενέργειας.

Τα ηλεκτρομαγνητικά κύματα, που εκπέμπονται από την κεραία του πομπού, φθάνουν στην κεραία του δέκτη και αναπτύσσουν σ' αυτή μια τάση από επαγωγή. Η τάση αυτή προκαλεί την κυκλοφορία κάποιου ρεύματος στην κεραία, το οποίο έχει συχνότητα ίση με τη συχνότητα του ρεύματος της κεραίας του πομπού και το πλάτος του είναι πολύ μικρό. Στην κεραία του δέκτη αναπτύσσονται συγχρόνως ρεύματα πολλών συχνοτήτων που προέρχονται από διαφορετικούς πομπούς, οι οποίοι μπορεί να εργάζονται στον ίδιο χρόνο.

Για να ξεχωρίσομε από τους πολλούς πομπούς εκείνον που μας ενδιαφέρει, υπάρχει στο δέκτη η διάταξη επιλογής. Στη διάταξη αυτή οδηγούνται τα ρεύματα που αναπτύσσονται στην κεραία από τους διαφορετικούς πομπούς και από όλα εκλέγεται το επιθυμητό. Ύστερα από την επιλογή αυτή, και επειδή το ρεύμα έχει μικρό πλάτος, χρησιμοποιείται διάταξη ενισχύσεώς του.

Το ενισχυμένο αυτό ρεύμα δεν είναι κατάλληλο για να διεγείρει ένα ακουστικό ή μεγάφωνο επειδή είναι υψηλής συχνότητας και δεν προκαλεί ακουστικό αποτέλεσμα. Για το λόγο αυτόν οδηγείται πρώτα στο φωρατή, όπου αναδεικνύεται ακουστικό σήμα. Στη συνέχεια, το σήμα αυτό ενισχύεται από έναν ενισχυτή χαμηλών (ακουστικών) συχνοτήτων και οδηγείται στο μεγάφωνο. Χωρίς ενίσχυση μπορεί να διεγείρει κατευθείαν τα ακουστικά.

Τέλος, η πηγή ηλεκτρικής ενέργειας εξασφαλίζει την τροφοδότηση των διαφόρων διατάξεων του δέκτη με τις απαιτούμενες για τη λειτουργία τους χαμηλές και υψηλές συνεχείς τάσεις.

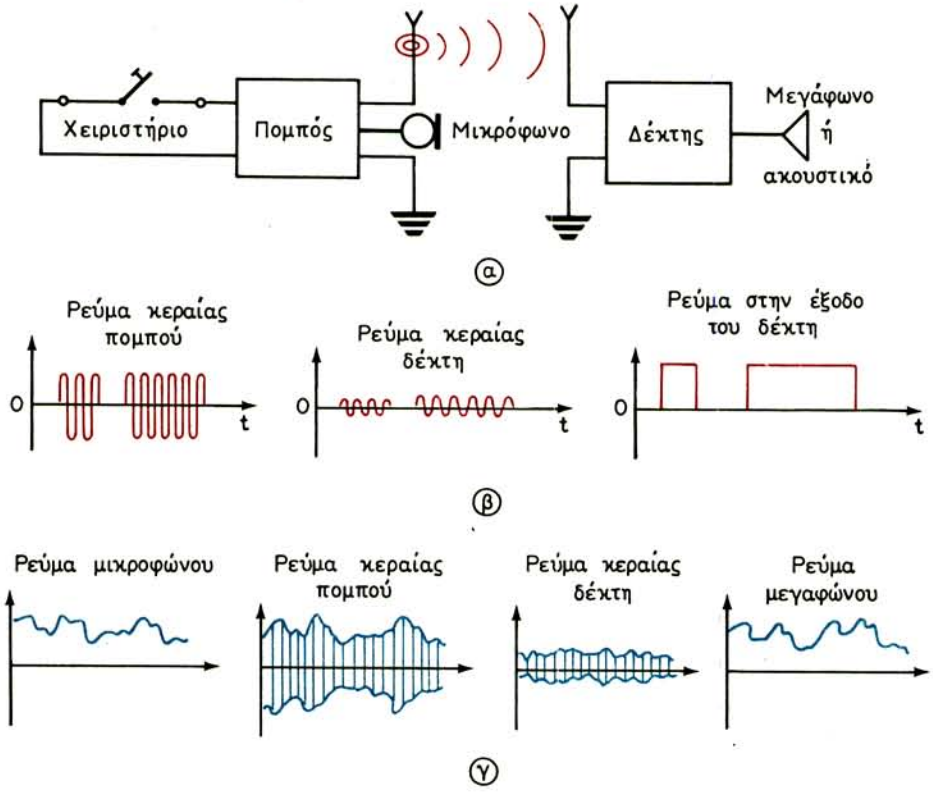
1.2 Αρχή ραδιοτηλεγραφικής και ραδιοτηλεφωνικής ή ραδιοφωνικής συνδέσεως.

Είδαμε ότι κάθε πομπός ακτινοβολεί, με τη βοήθεια της κεραίας του, ηλεκτρικές ταλαντώσεις ορισμένης συχνότητας, με τη μορφή ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων. Οι ταλαντώσεις αυτές μεταφέρουν κάποια πληροφορία είτε με τη μορφή διακοπών τους (με τη βοήθεια χειριστηρίου), είτε με τη μορφή μεταβολής κάποιου χαρακτηριστικού τους (πλάτους, συχνότητας, φάσεως) στο ρυθμό μιας ομιλίας ή μουσικής. Στην πρώτη περίπτωση μιλάμε για ***ραδιοτηλεγραφία*** και στη δεύτερη, για ***ραδιοτηλεφωνία ή ραδιοφωνία.***

Ας δούμε την αρχή των ραδιοτηλεγραφικών και των ραδιοτηλεφωνικών ή ραδιοφωνικών συνδέσεων που φαίνονται στο σχήμα 1.2.

Στη ραδιοτηλεγραφική σύνδεση, ο πομπός ακτινοβολεί στο χώρο ηλεκτρομαγνητική ενέργεια, η οποία ελέγχεται από ένα χειριστήριο [σχ. 1.2(α)]. Το χειριστήριο αποκαθιστά και διακόπτει το ρεύμα υψηλής συχνότητας που διαρρέει την κεραία. Επομένως η κεραία δεν διαρρέεται συνεχώς από ρεύμα, αλλά κατά περιόδους έτσι, ώστε να δημιουργούνται ***συρμοί ταλαντώσεων*** με διαφορετική διάρκεια. Οι συρμοί μικρής διάρκειας αντιστοιχούν στις «τελείες» και οι συρμοί μεγάλης διάρκειας, στις «παύλες» του γνωστού ***μορσικού αλφαβήτου.*** Στο σχήμα 1.2(β) φαίνεται η μορφή του ρεύματος στην κεραία του πομπού για δύο συνεχείς πιέσεις του χειριστηρίου: της ***βραχείας*** και της ***μακράς,*** όπως λέγονται. Η βραχεία πίεση δημιουργεί την τελεία και η μακρά την παύλα του μορσικού αλφαβήτου, που αντιστοιχούν στο γράμμα «Α».

Στην κεραία του δέκτη αναπτύσσεται ρεύμα υψηλής συχνότητας που έχει την ίδια μορφή με το ρεύμα της κεραίας του πομπού, αλλά είναι ασθενέστερο. Το ρεύμα αυτό, αφού ενισχυθεί, μετασχηματίζεται σε παλμούς συνεχούς ρεύματος, κατάλληλους για λήψη με τηλεγραφική συσκευή (αυτογραφική), ή σε ρεύμα ακουστικής συχνότητας (500-1000 Hz), για λήψη με ακουστικό ή μεγάφωνο. Ο μετασχηματισμός αυτός γίνεται με ειδικές διατάξεις που θα εξετασθούν αργότερα.



Σχ. 1.2.
Αρχή ραδιοτηλεγραφικής και ραδιοτηλεφωνικής συνδέσεως.

Με ανάλογο τρόπο γίνεται και η ραδιοτηλεφωνική ή ραδιοφωνική σύνδεση. Εδώ, το ρεύμα υψηλής συχνότητας διαρρέει συνεχώς την κεραία εκπομπής, αλλά κάποιο χαρακτηριστικό του (πλάτος, συχνότητα, φάση) μεταβάλλεται στο ρυθμό της ομιλίας ή της μουσικής. Με την πρόσπτωση ηχητικών κυμάτων στο μικρόφωνο του πομπού δημιουργείται μικροφωνικό ρεύμα [σχ. 1.2(γ)]. Ανάλογο ρεύμα μπορεί να δώσει και ένα ηλεκτρόφωνο (πικάπ) ή μαγνητόφωνο. Το ρεύμα αυτό ενεργεί στις ταλαντώσεις υψηλής συχνότητας του πομπού και μεταβάλλει, στο δικό του ρυθμό, ένα από τα πιο πάνω χαρακτηριστικά τους. Η λειτουργία αυτή ονομάζεται ***διαμόρφωση*** πλάτους, συχνότητας ή φάσεως, ανάλογα με το μεταβαλλόμενο χαρακτηριστικό της ταλαντώσεως.

Τα κύματα, που εκπέμπονται από την κεραία του πομπού, δημιουργούν στην κεραία του δέκτη ασθενές ρεύμα με μεταβαλλόμενο το ίδιο χαρακτηριστικό (πλάτος, συχνότητα, φάση) στο ρυθμό της ομιλίας ή μουσικής. Στη συνέχεια, το ρεύμα αυτό ενισχύεται και μετασχηματίζεται σε ρεύμα ακουστικής συχνότητας. Ο μετασχηματισμός αυτός ονομάζεται ***φώραση*** (αποδιαμόρφωση) και γίνεται με

ειδική διάταξη που λέγεται ***φωρατής.*** Τέλος, το ρεύμα ακουστικής συχνότητας, που προέρχεται από το φωρατή, μπορεί να διεγείρει άμεσα τα ακουστικά ή ύστερα από ενίσχυση, το μεγάφωνο του δέκτη για να δημιουργηθούν τα ηχητικά κύματα.

1.3 Μήκος κύματος εκπομπής.

Είδαμε ότι για να πραγματοποιηθεί μια ραδιοσύνδεση, ο πομπός εκπέμπει ηλεκτρομαγνητικά κύματα τα οποία διαδίδονται στο γύρω χώρο με την ταχύτητα του φωτός ($c=3 \cdot 10^8$ m/s). Τα κύματα χαρακτηρίζονται από τη συχνότητά τους που συμβολίζεται με το γράμμα f και εκφράζεται σε χερτζ (Hz) με πολλαπλάσια τα κιλοχέρτζ (kHz) και τα μεγαχέρτζ (MHz):

$$1 \text{ kHz}=10^3 \text{ Hz} \qquad \text{και} \qquad 1 \text{ MHz}=10^6 \text{ Hz}$$

Συνήθως, αντί της συχνότητας, χρησιμοποιούμε το ***μήκος κύματος***. Μήκος κύματος είναι η απόσταση που διατρέχει το κύμα σε χρόνο ίσο με την περίοδο του ρεύματος που διαρρέει την κεραία εκπομπής. Το μήκος κύματος συμβολίζεται με το γράμμα λ και εκφράζεται σε μέτρα (m). Εφόσον το κύμα διαδίδεται με την ταχύτητα του φωτός c, σε χρόνο ίσο με την περίοδο T διατρέχει απόσταση:

$$\lambda = cT$$

και επειδή είναι $T = 1/f$, έχομε:

$$\lambda = \frac{c}{f} = \frac{3 \cdot 10^8}{f} \text{ (m)}$$

όπου f σε Hz.

Ανάλογα με τις ιδιομορφίες που παρουσιάζουν τα κύματα κατά τη διάδοσή τους χωρίζονται στις ακόλουθες περιοχές:

Μακρά κύματα		λ=3000m και άνω	f=100 kHz και κάτω
Μεσαία κύματα		λ=3000-200 m	f=100-1 500 kHz
Βραχέα κύματα		λ=200-10 m	f=1,5-30 MHz
Υπερβραχέα κύματα και μικροκύματα	μετρικά	λ=10-1 m	f=30-300 MHz
	δεκατομετρικά	λ=1-0,1 m	f=300-3 000 MHz
	εκατοστομετρικά	λ=10-1 cm	f=3000-30 000 MHz
	χιλιοστομετρικά	λ=10-1 mm	f=30 000-300 000 MHz

Τα μακρά κύματα χρησιμοποιούνται κυρίως για την εκπομπή σημάτων ακριβούς ώρας και μετεωρολογικών ανακοινώσεων.

Η περιοχή των μεσαίων κυμάτων προορίζεται βασικά για τη ραδιοφωνία. Στην ίδια περιοχή εργάζονται επίσης σταθμοί πλοίων και ραδιοφάροι.

Το μήκος κύματος των 600 m χρησιμοποιείται στη ναυτιλία σαν διεθνές κύμα κλήσεως και κινδύνου. Στα κύματα των 580-750 m εκπέμπουν πολλοί σταθμοί πλοίων και λιμένων.

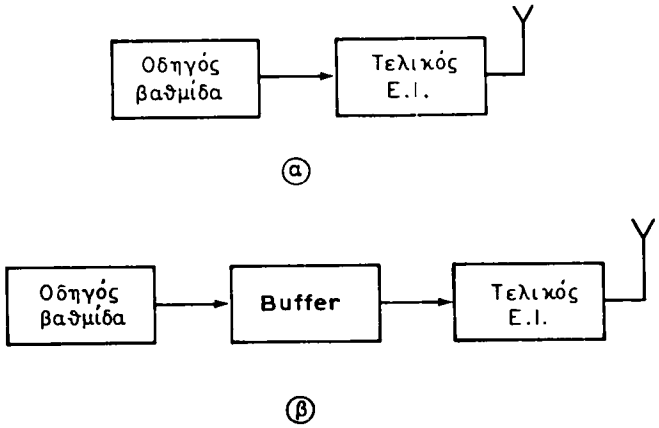
Η περιοχή των βραχέων κυμάτων χρησιμοποιείται για μακρινές ραδιοφωνικές, ραδιοτηλεγραφικές και ραδιοτηλεφωνικές συνδέσεις. Επίσης χρησιμοποιείται στη φωτοτηλεγραφία, στην ερασιτεχνική επικοινωνία κ.ά.

Τέλος, στην περιοχή των υπερβραχέων κυμάτων εργάζονται τηλεοπτικοί και τηλεπικοινωνιακοί σταθμοί, καθώς και σταθμοί ραδιοεντοπίσεως (ραντάρ).

1.4 Συγκρότηση πομπών συντηρουμένων κυμάτων.

Οι πομποί, ανάλογα με το μήκος κύματος λειτουργίας τους, διακρίνονται σε πομπούς μακρών, μεσαίων, βραχέων και υπερβραχέων κυμάτων. Η οργάνωσή τους έχει σχέση με το μήκος κύματος λειτουργίας, με τη φύση της συνδέσεως (τηλεγραφική, τηλεφωνική, ραδιοφωνική), με το είδος της διαμορφώσεως (πλάτους, συχνότητας, φάσεως), με τη ζητούμενη εμβέλεια, με τη σταθερότητα της συχνότητας λειτουργίας και τέλος, με τις συνθήκες εκμεταλλεύσεως (επίγειες, θαλάσσιες, εναέριες κλπ.).

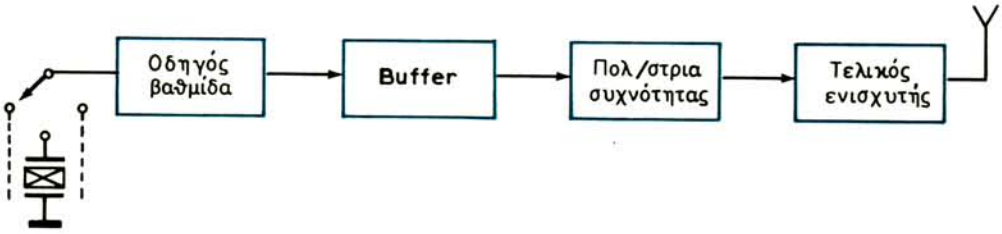
Ο κάθε πομπός παράγει ***συντηρούμενες κυμάνσεις***, δηλαδή κυμάνσεις που έχουν σταθερό πλάτος. Στη σύγχρονη τεχνική, ακόμη και για μικρή ισχύ, κατασκευάζονται πομποί με δύο, το λιγότερο, βαθμίδες: τον ***ταλαντωτή*** (οδηγός βαθμίδα) και τον τελικό ***ενισχυτή ισχύος*** [σχ. 1.3(α)]. Ένας συνθετότερος πομπός περιλαμβάνει μία ακόμη βαθμίδα που παρεμβάλλεται μεταξύ ταλαντωτή και ενισχυτή [σχ. 1.3(β)] και ονομάζεται ***βαθμίδα διαχωρισμού*** (Buffer). Η βαθμίδα διαχωρισμού απαλλάσσει τον ταλαντωτή από κάθε επίδραση της τελικής βαθμίδας, που έχει μεταβλητό φορτίο. Η βαθμίδα αυτή είναι περισσότερο απαραίτητη στους πομπούς βραχέων κυμάτων.



Σχ. 1.3.
Διαγράμματα πομπών με δύο και τρεις βαθμίδες.

Οι τηλεγραφικοί πομποί σχεδιάζονται να καλύπτουν συνεχείς περιοχές συχνοτήτων ή να εκπέμπουν σε πολλές προκαθορισμένες συχνότητες. Αυτό επιβάλλεται από λόγους καλής εμβέλειας, επειδή το μήκος κύματος, που χρησιμοποιείται για την άριστη σύνδεση δύο σημείων, εξαρτάται από τις εποχές του έτους και τις ώρες της ημέρας (αλλάζουν οι συνθήκες διαδόσεως των ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων). Για τη συνεχή κάλυψη μιας περιοχής συχνοτήτων επιβάλλεται η χρησιμοποίηση ταλαντωτή με αυτεπαγωγή και χωρητικότητα (ταλαντωτής LC). Για την εκπομπή, όμως, σε προκαθορισμένες συχνότητες χρησιμοποιούνται ταλαντωτές με κρύσταλλο. Οι ταλαντωτές με κρύσταλλο παράγουν ταλαντώσεις με σταθερή συχνότητα, πράγμα που είναι απαραίτητο, κυρίως για πομπούς βραχέων και υπερβραχέων κυμάτων.

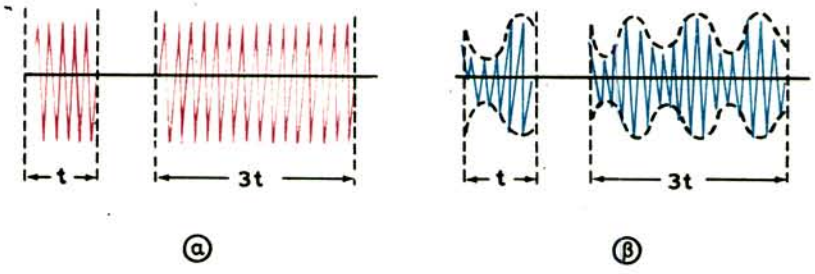
Το διάγραμμα ενός τέτοιου πομπού φαίνεται στο σχήμα 1.4. Οι κρύσταλλοι δονούνται σε μια συχνότητα της περιοχής των μεσαίων κυμάτων, η οποία ύστερα πολλαπλασιάζεται από μερικές βαθμίδες που συντονίζουν διαδοχικά σε κατάλληλες αρμονικές της παραγόμενης συχνότητας. Η αρχή του πολλαπλασιασμού της συχνότητας εξασφαλίζει σταθερότητα στη λειτουργία του πομπού. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι οι πολλαπλασιάστριες βαθμίδες εργάζονται με άλλη συχνότητα στην είσοδο και άλλη στην έξοδο. Έτσι, αποκλείονται οι παρασιτικές αναδράσεις και απομονώνεται ο ταλαντωτής από τις επόμενες βαθμίδες. Οι παρασιτικές αναδράσεις συντελούν στην ασταθή λειτουργία του ταλαντωτή.



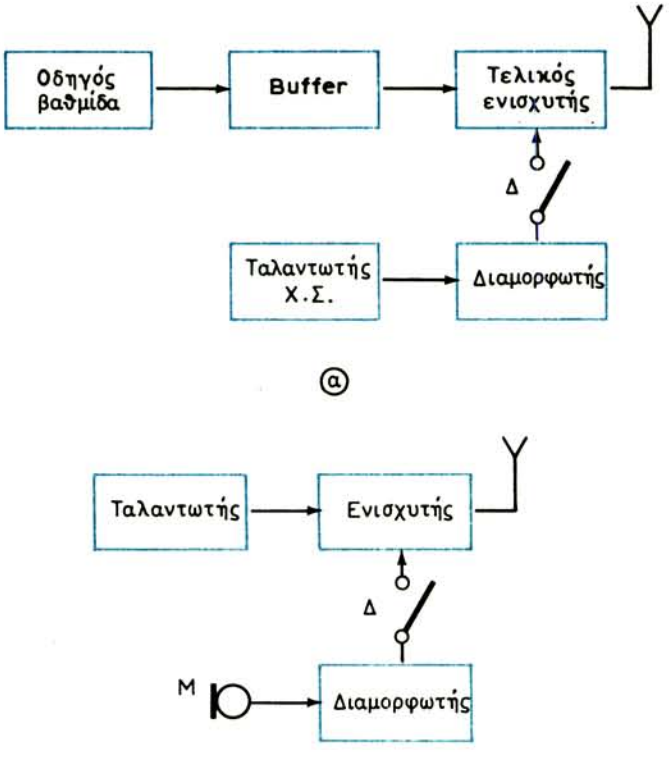
Σχ. 1.4.
Διάγραμμα πομπού συντηρουμένων κυμάτων με ταλαντωτή κρυστάλλου.

1.5 Συγκρότηση πομπών με διαμόρφωση πλάτους.

Η ραδιοτηλεγραφική σύνδεση μπορεί να πραγματοποιηθεί είτε με την εκπομπή συρμών συντηρουμένων κυμάτων ή, όπως λέγονται, κυμάτων τύπου A1, είτε με την εκπομπή συρμών διαμορφωμένων κυμάτων ή κυμάτων τύπου A2 (σχ. 1.5). Στη δεύτερη περίπτωση, η διαμόρφωση γίνεται με σήμα ακουστικής συχνότητας (500-1000 Hz). Η ραδιοτηλεφωνική ή ραδιοφωνική σύνδεση πραγματοποιείται αποκλειστικά με διαμορφωμένα κύματα, τα οποία δεν διακόπτονται (κύματα τύπου A3).



Σχ. 1.5.
Συρμοί συντηρουμένων (α) και διαμορφωμένων (β) κυμάτων.

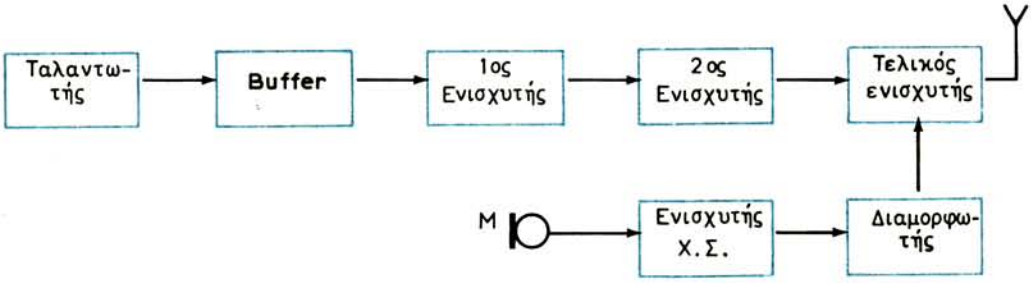


Σχ. 1.6.
Διαγράμματα πομπών τηλεγραφίας και τηλεφωνίας με διαμορφωτές.

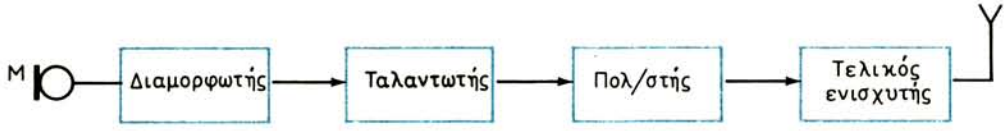
Η συγκρότηση ενός τηλεγραφικού πομπού που εργάζεται με διαμόρφωση πλάτους φαίνεται στο σχήμα 1.6(α). Το διαμορφωτικό σήμα παρέχεται από ένα ταλαντωτή χαμηλών συχνοτήτων και διοχετεύεται στο ***διαμορφωτή***. Με το διακόπτη Δ μπορούμε να απομονώσομε το διαμορφωτή και να εκπέμψομε συντηρούμενα κύματα.

Οι διαμορφωτές των τηλεφωνικών ή ραδιοφωνικών πομπών διεγείρονται από μικρόφωνο ή άλλη ηλεκτρακουστική συσκευή (ηλεκτρόφωνο, μαγνητόφωνο κλπ.). Το διάγραμμα ενός τηλεφωνικού πομπού με διαμόρφωση πλάτους φαίνεται στο σχήμα 1.6(β). Συνήθως, ο ίδιος πομπός χρησιμοποιείται και για την εκπομπή συντηρουμένων κυμάτων, οπότε ο διαμορφωτής αποσυνδέεται με τη βοήθεια του διακόπτη Δ.

Οι ραδιοφωνικοί πομποί εργάζονται σε μια συχνότητα που παρέχεται, κατά κανόνα, από ταλαντωτή κρυστάλλου. Είναι πομποί μεγάλης ισχύος, γι' αυτό περιλαμβάνουν περισσότερες ενισχυτικές βαθμίδες από τους προηγούμενους. Η γενική σύνθεση των βαθμίδων ενός ραδιοφωνικού πομπού με διαμόρφωση πλάτους φαίνεται στο διάγραμμα του σχήματος 1.7. Ο διαμορφωτής επενεργεί στον τελικό ενισχυτή του πομπού και η διαμόρφωση αυτή ονομάζεται ***υψηλής στάθμης***. Αν ο διαμορφωτής επενεργεί σε κάποια ενδιάμεση βαθμίδα του πομπού, η διαμόρφωση λέγεται χαμηλής στάθμης. Ο τελικός ενισχυτής των ραδιοφωνικών πομπών (ενισχυτής ισχύος) πρέπει να παρέχει μεγάλη ισχύ εξόδου με ελάχιστες παραμορφώσεις.



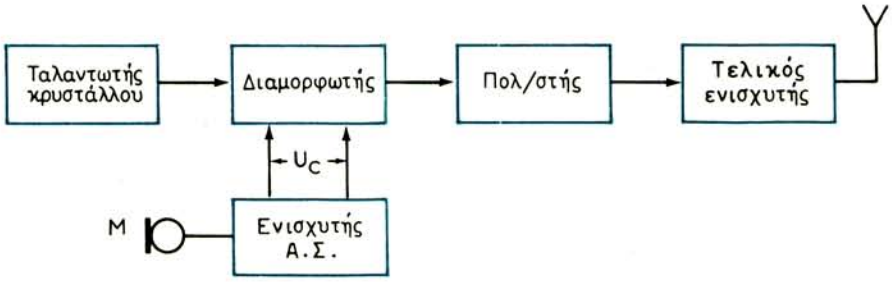
Σχ. 1.7.
Διάγραμμα ραδιοφωνικού πομπού με διαμόρφωση πλάτους.



Σχ. 1.8.
Διάγραμμα πομπού με διαμόρφωση συχνότητας.

1.6 Συγκρότηση πομπών με διαμόρφωση συχνότητας και φάσεως.

Οι πομποί με διαμόρφωση συχνότητας ακολουθούν την οργάνωση που φαίνεται στο σχήμα 1.8. Ο διαμορφωτής, εδώ, επενεργεί στον ταλαντωτή του πομπού και προκαλεί την απόκλιση της συχνότητάς του γύρω από μια τιμή της, που είναι γνωστή ως ***συχνότητα ηρεμίας.*** Ο ταλαντωτής του πομπού αυτού δεν μπορεί να



Σχ. 1.9.
Διάγραμμα πομπού με διαμόρφωση φάσεως.

είναι με κρύσταλλο, επειδή η συχνότητά του δεν μεταβάλλεται με την άμεση επίδραση ακουστικού σήματος.

Στην περίπτωση που απαιτείται σταθερότητα της συχνότητας ηρεμίας του πομπού χρησιμοποιείται η διαμόρφωση φάσεως, που λέγεται και ***έμμεση διαμόρφωση συχνότητας.*** Ο πομπός αυτός διαθέτει ταλαντωτή κρυστάλλου και το διάγραμμά του φαίνεται στο σχήμα 1.9. Η διαμορφωτική τάση ακουστικής συχνότητας U_c επενεργεί στο διαμορφωτή και αυτός, με τη σειρά του, μεταβάλλει τα όρια αποκλίσεως της φάσεως φ του σήματος του ταλαντωτή, με μια ταχύτητα η οποία καθορίζεται από τη συχνότητα ω του διαμορφωτικού σήματος. Επειδή η φάση φ είναι $\varphi=\omega t=2\pi ft$, η απόκλισή της προκαλεί απόκλιση της συχνότητας f και επομένως, διαμόρφωση συχνότητας.

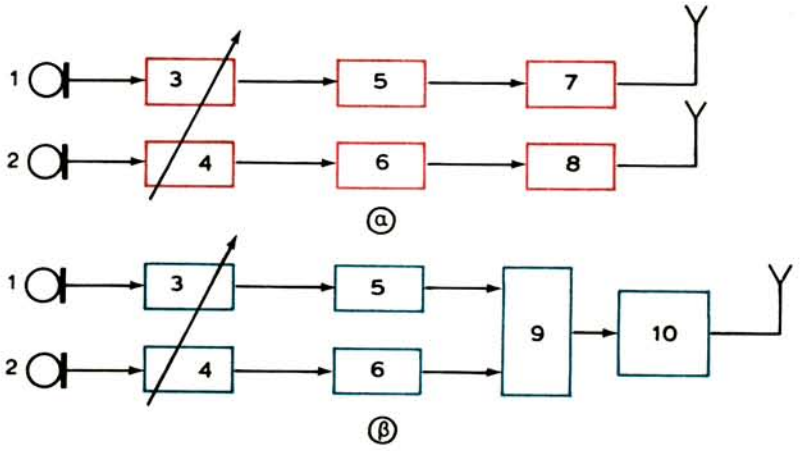
Οι πομποί με διαμόρφωση φάσεως είναι συνθετότεροι από τους πομπούς με διαμόρφωση συχνότητας γι' αυτό δεν εφαρμόζονται πολύ στην πράξη.

1.7 Σύνθεση στερεοφωνικών πομπών.

Για την εκπομπή ενός στερεοφωνικού προγράμματος ακολουθούνται γενικά δύο μέθοδοι:

1) Χρησιμοποιούνται δύο ξεχωριστά κανάλια, δηλαδή δύο πομποί με διαμόρφωση πλάτους (AM = Amplitude Modulation) ή με διαμόρφωση συχνότητας (FM = Frequency Modulation), που εργάζονται ανεξάρτητα από το μικρόφωνο ως την κεραία εκπομπής [σχ.1.10(α)].
2) Χρησιμοποιείται ένας πομπός FM, ο οποίος διαμορφώνεται με τα δύο κανάλια μέσα από ειδική διάταξη ***κωδικοποιήσεως*** [σχ.1.10(β)].

Είναι εύκολο να δούμε ότι τα στερεοφωνικά συστήματα, που εργάζονται με την πρώτη μέθοδο, απασχολούν δύο πομπούς (λύση αντιοικονομική), καλύπτουν μεγάλη περιοχή συχνοτήτων εκπομπής και μικραίνουν τον αριθμό των εκπεμπομένων προγραμμάτων στις διαθέσιμες για τη ραδιοφωνία περιοχές συχνοτήτων και, τέλος, χρειάζονται δύο ραδιόφωνα στη λήψη (οικονομική επιβάρυνση ακροατών).



Σχ. 1.10.

Διάγραμμα εκπομπής στερεοφωνικού προγράμματος.
α) με δύο πομπούς, β) με ένα πομπό, (1,2) μικρόφωνα δεξιού και αριστερού καναλιού, (3,4) προενισχυτές, (5,6) ενισχυτές ισχύος, (7,8) πομποί ΑΜ ή FM, (9) κωδικοποιητής, και (10) πομπός FM.

Μεγαλύτερο ενδιαφέρον έχουν τα συστήματα, που εργάζονται με τη δεύτερη μέθοδο και ονομάζονται ***συστήματα κωδικοποιημένης στερεοφωνίας.*** Από αυτά, μεγαλύτερη σημασία απόκτησαν τα λεγόμενα ***συμβιβασμένα συστήματα***, δηλαδή εκείνα που δίνουν τη δυνατότητα μονοφωνικής λήψεως στερεοφωνικού προγράμματος με κοινό ραδιόφωνο και στερεοφωνικής λήψεως με ειδικό ραδιόφωνο. Υψηλή πιστότητα εξασφαλίζουν τα συστήματα που εκπέμπουν με διαμόρφωση συχνότητας στην περιοχή των 87,5-108 MHz.

Η λειτουργία των κωδικοποιημένων συστημάτων στηρίζεται στην αρχή της «προσθαφαιρέσεως» των σημάτων του αριστερού και δεξιού καναλιού. Για την εξασφάλιση της «συμβιβαστότητας» εκπέμπεται συνήθως το ολικό σήμα: ***«αριστερό + δεξιό»*** (Α + Δ). Ένα συνηθισμένο ραδιόφωνο μπορεί να πάρει το άθροισμα αυτών των σημάτων (Α + Δ) και να το αποδώσει μονοφωνικά. Για στερεοφωνική απόδοση, η εκπομπή συμπληρώνεται με δεύτερο σήμα που παράγεται από τη διαφορά των δύο προηγουμένων (Α − Δ). Η διαφορά αυτή «φορτώνεται» σε μια υπερακουστική συχνότητα (16-100 kHz), που λέγεται ***υποφέρουσα*** και που διαμορφώνει τη ***φέρουσα*** του πομπού.

Ας περιγράψομε τώρα, σύντομα, το στερεοφωνικό σύστημα που χρησιμοποιείται στη χώρα μας.

Σύμφωνα με αυτό, η φέρουσα συχνότητα του πομπού, που εργάζεται στην περιοχή 87,5-108 MHz, διαμορφώνεται κατά συχνότητα από το σήμα «συμβιβαστότητας», δηλαδή το σήμα του αθροίσματος του αριστερού και δεξιού κανα-

λιού (Α + Δ). Το σήμα της στερεοφωνικής πληροφορίας, δηλαδή η διαφορά των σημάτων των στερεοκαναλιών (Α − Δ), διαμορφώνει κατά πλάτος μια υποφέρουσα συχνότητα 38 kHz, η οποία ύστερα καταργείται. Οι πλευρικές συχνότητες, που παραμένουν, διαμορφώνουν κατά συχνότητα τη φέρουσα του πομπού. Για την αποκατάσταση στο δέκτη της υποφέρουσας συχνότητας, εκπέμπεται το λεγόμενο σήμα ***«πιλότος»*** με συχνότητα 19 kHz. Ένας μονοφωνικός δέκτης αναδεικνύει το σήμα (Α + Δ) άμεσα με τη βοήθεια του αποδιαμορφωτή του. Για τη λήψη του στερεοφωνικού σήματος χρειάζεται μια προσθήκη στο δέκτη ή ειδικός στερεοφωνικός δέκτης, που θα αναδείξει από την αποκαταστημένη υποφέρουσα το σήμα διαφοράς (Α − Δ). Τα σήματα (Α + Δ) και (Α − Δ) προσθέτονται και αφαιρούνται, στη συνέχεια, σε μια διάταξη ***«μήτρας»*** και οδηγούνται ξεχωριστά στα ακουστικά κανάλια (διαύλους) του δέκτη. Σε επόμενη παράγραφο θα δούμε τη συγκρότηση του στερεοφωνικού δέκτη.

1.8 Αρχή λειτουργίας δεκτών.

Προορισμός μιας διατάξεως λήψεως που απλά λέγεται ***δέκτης,*** είναι ο διαχωρισμός (επιλογή) ενός ραδιοτηλεγραφικού ή ραδιοφωνικού σήματος υψηλής συχνότητας, από τα πολλά που ενεργούν στην κεραία του δέκτη, και ο μετασχηματισμός του σε σήμα ακουστικής συχνότητας. Ο μετασχηματισμός αυτός είναι απαραίτητος για τη λειτουργία μιας ηλεκτρακουστικής συσκευής (ακουστικού ή μεγαφώνου).

Γενικά, υπάρχουν τρεις κατηγορίες δεκτών:

α) Δέκτες που προορίζονται για τη λήψη συντηρουμένων κυμάτων.

β) Δέκτες που προορίζονται για τη λήψη κυμάτων με διαμόρφωση πλάτους.

γ) Δέκτες που προορίζονται για τη λήψη κυμάτων με διαμόρφωση συχνότητας.

Οι πρώτοι δέκτες ονομάζονται ***ραδιοτηλεγραφικοί*** και οι άλλοι δύο ***ραδιοτηλεφωνικοί*** ή ***ραδιοφωνικοί.*** Ειδικότερα, οι ραδιοφωνικοί δέκτες που προορίζονται για τη λήψη μουσικής λέγονται ***ραδιόφωνα.***

Ανάλογα με τη μορφή του λαμβανόμενου σήματος, οι δέκτες έχουν διαφορετική αρχή λειτουργίας.

Βασική λειτουργία των ραδιοτηλεγραφικών δεκτών είναι η ***ετεροδύνωση.*** Με την ετεροδύνωση, μια συντηρούμενη κύμανση υψηλής συχνότητας μετασχηματίζεται (υποβιβάζεται) σε κύμανση ακουστικής συχνότητας.

Βασική λειτουργία των ραδιοφωνικών ή ραδιοτηλεφωνικών δεκτών που προορίζονται για τη λήψη σημάτων με διαμόρφωση πλάτους είναι η ***φώραση*** ή αποδιαμόρφωση. Με τη λειτουργία αυτή γίνεται «αποκάλυψη του σήματος ακουστικής συχνότητας που περιέχεται στο διαμορφωμένο σήμα με τη μορφή μεταβολών του πλάτος του.

Τέλος, βασική λειτουργία των ραδιοφωνικών δεκτών που προορίζονται για τη λήψη σημάτων με διαμόρφωση συχνότητας είναι η ***διευκρίνιση*** ή «φώραση συχνότητας». Μ' αυτή τη λειτουργία, οι μεταβολές συχνότητας του διαμορφωμένου σήματος μετατρέπονται σε μεταβολές πλάτους, που είναι απαραίτητες για τη λειτουργία των ακουστικών ή μεγαφώνων.

Στις επόμενες παραγράφους εξετάζομε τη σύνθεση των δεκτών των τριών κατηγοριών.

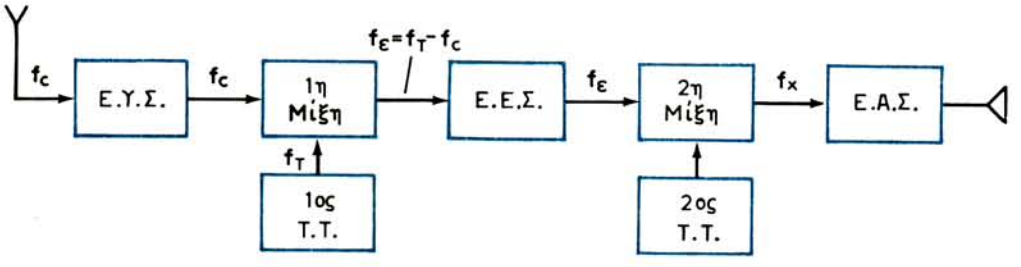
1.9 Διάγραμμα υπερετερόδυνου δέκτη συντηρουμένων κυμάτων.

Η συγκρότηση ενός δέκτη για τη λήψη συντηρουμένων κυμάτων φαίνεται στο σχήμα 1.11. Ένας δέκτης που έχει αυτή τη σύνθεση ονομάζεται ***υπερετερόδυνος.*** Η ονομασία του θα δικαιολογηθεί κατά την περιγραφή της λειτουργίας του, που γίνεται στη συνέχεια.

Το σήμα υψηλής συχνότητας με αμείωτο πλάτος (συντηρούμενο) και με συχνότητα f_c, που αναπτύσσεται στην κεραία του δέκτη, εφαρμόζεται στην πρώτη βαθμίδα του, που ονομάζεται ***ενισχυτής υψηλής συχνότητας*** (Ε.Υ.Σ.). Η βαθμίδα αυτή ενισχύει την τάση υψηλής συχνότητας (Υ.Σ.), που έχει μικρό πλάτος, και τη διοχετεύει με μεγαλύτερο πλάτος, στη δεύτερη βαθμίδα που χαρακτηρίζεται σα βαθμίδα ***1ης μίξεως.***

Στη βαθμίδα μίξεως εφαρμόζεται και μια δεύτερη τάση, που παράγεται από ταλαντωτή και έχει συχνότητα f_T παραπλήσια της συχνότητας f_c του σήματος. Ο ταλαντωτής αυτός ονομάζεται ***τοπικός ταλαντωτής*** (ΤΤ) ή ***ετερόδυνο.*** Από την ανάμιξη των δύο συντηρουμένων τάσεων (κεραίας και ετερόδυνου) προκύπτει μια τρίτη τάση, της οποίας το πλάτος αυξομειώνεται στο ρυθμό της διαφοράς των συχνοτήτων των δύο μιγνυομένων τάσεων, δηλαδή στο ρυθμό της διαφοράς $f_T - f_c$. Η λειτουργία αυτή της βαθμίδας μίξεως ονομάζεται ***ετεροδύνωση.***

Η μεταβολή του πλάτους της τάσεως, που προκύπτει από την ετεροδύνωση, αναδεικνύεται από την ίδια βαθμίδα μίξεως με μια διεργασία φωράσεως. Η συχνότητα της τάσεως αυτής ρυθμίζεται ώστε να μην είναι ακουστική (εκλογή



Σχ. 1.11.
Διάγραμμα υπερετερόδυνου ραδιοτηλεγραφικού δέκτη.

της συχνότητας f_T ώστε η διαφορά $f_T - f_c$ να μην είναι ακουστική), αλλά κάποια υψηλή που χαρακτηρίζεται ως ***ενδιάμεση συχνότητα*** του δέκτη $f_\varepsilon = f_T - f_c$.

Η τάση της ενδιάμεσης συχνότητας (ΕΣ) ενισχύεται από τον ενισχυτή ενδιάμεσης συχνότητας (ΕΕΣ), που ακολουθεί τη βαθμίδα μίξεως και οδηγείται στην είσοδο της επόμενης βαθμίδας για να υποβληθεί σε μια δεύτερη ετεροδύνωση. Η νέα αυτή ετεροδύνωση γίνεται με τη βοήθεια ενός δεύτερου τοπικού ταλαντωτή (ετερόδυνου), που παράγει τάση με συχνότητα f_2, γειτονική προς την ενδιάμεση συχνότητα f_ε. Το προϊόν της δεύτερης ετεροδυνώσεως είναι κύμανση με πλάτος που αυξομειώνεται στο ρυθμό της διαφοράς $f_\varepsilon - f_2$. Φροντίζομε ώστε η διαφορά αυτή να βρίσκεται στην ακουστική περιοχή, π.χ. να είναι 1000 Hz. Η μεταβολή αυτή του πλάτους με συχνότητα $f_x = f_\varepsilon - f_2 = 1000$ Hz αναδεικνύεται, ύστερα από δεύτερη φώραση και οδηγείται στην είσοδο μιας βαθμίδας προενισχύτριας τάσεως ΧΣ. Η ενισχυμένη τάση ακουστικής συχνότητας ενισχύεται κατά ισχύ από την τελική βαθμίδα του δέκτη, στης οποίας την έξοδο συνδέεται το μεγάφωνο ή τα ακουστικά.

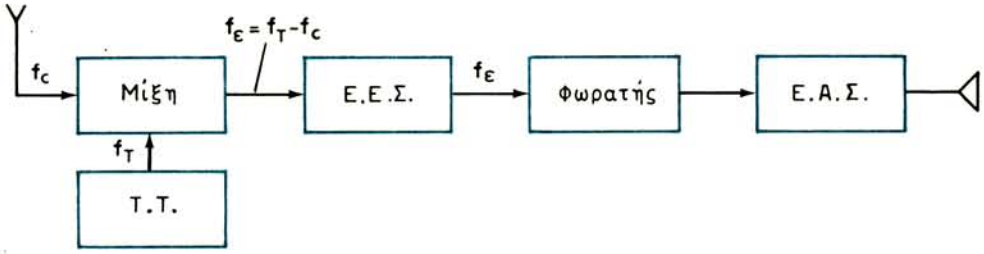
Σημειώνομε ότι ο δεύτερος τοπικός ταλαντωτής του δέκτη είναι γνωστός σαν BFO (Beat Frequency Oscillator=ταλαντωτής συχνότητας διακροτημάτων).

Ο δέκτης που περιγράψαμε λέγεται υπερετερόδυνος, επειδή το ακουστικό σήμα παράγεται με δύο ετεροδυνώσεις. Υπήρχαν κάποτε δέκτες που χαρακτηρίζονταν απλώς ***ετερόδυνοι,*** επειδή από την πρώτη ετεροδύνωση προέκυπτε κατευθείαν ακουστικό σήμα.

1.10 Διάγραμμα δέκτη σημάτων με διαμόρφωση πλάτους.

Ο δέκτης της προηγούμενης παραγράφου είναι κατάλληλος και για τη λήψη σημάτων με διαμόρφωση πλάτους, αρκεί να καταργηθεί ο δεύτερος τοπικός ταλαντωτής. Η κατάργησή του επιβάλλεται από το γεγονός ότι το λαμβανόμενο σήμα είναι διαμορφωμένο, δηλαδή περιέχει το σήμα ακουστικής συχνότητας με τη μορφή μεταβολών του πλάτους του. Αρκεί, λοιπόν, η φώραση για ν' αναδείξει το σήμα ακουστικής συχνότητας.

Από την πλευρά της οργανώσεως των δεκτών των διαφόρων κατηγοριών υπάρχουν ορισμένες διαφορές μεταξύ τους, που εξαρτώνται από τη μορφή του λαμβανόμενου σήματος (συντηρούμενο, διαμορφωμένο από μια συχνότητα ή από ομιλία και μουσική). Ένας τηλεγραφικός δέκτης εφαρμόζει, όμως είδαμε, την αρχή της διπλής ετεροδυνώσεως. Το λαμβανόμενο σήμα υπόκειται σε δύο υποβιβασμούς της φέρουσας συχνότητάς του. Ο ένας οδηγεί σε ενδιάμεση συχνότητα και ο άλλος, σε ακουστική. Ο δεύτερος υποβιβασμός δεν χρειάζεται όταν το σήμα είναι διαμορφωμένο από μια ακουστική συχνότητα. Η δεύτερη ετεροδύνωση αντικαθίσταται, τότε, από τη φώραση, οπότε ο δέκτης γίνεται κατάλληλος και για τη λήψη ραδιοτηλεφωνικών σημάτων (λήψη ομιλίας).



Σχ. 1.12.
Διάγραμμα ραδιοφώνου ΑΜ.

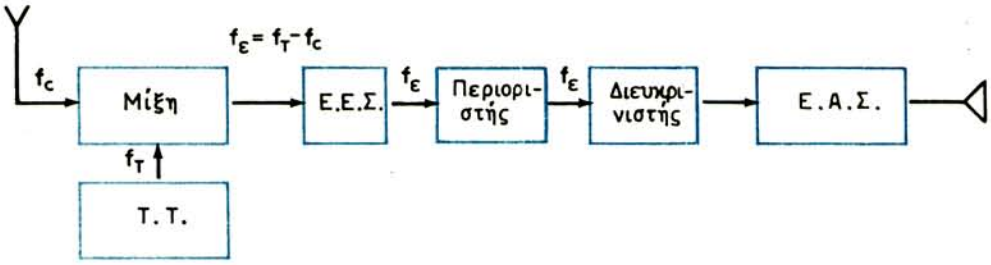
Για τη λήψη σημάτων διαμορφωμένων από μουσική χρησιμοποιούνται οι ραδιοφωνικοί δέκτες, δηλαδή τα κοινά ραδιόφωνα.

Βασική επιδίωξη των ραδιοφώνων δεν είναι η ενίσχυση και φώραση μιας μοναδικής συχνότητας, αλλά ενός ολόκληρου διαμορφωμένου κύματος, του οποίου το φάσμα περιέχει τη φέρουσα συχνότητα και δύο πλευρικές ζώνες συχνοτήτων. Το εύρος αυτού του φάσματος, προκειμένου για διαμόρφωση από μουσική, είναι 9 kHz και πρέπει να ενισχύεται ομοιόμορφα από τις βαθμίδες του δέκτη για να έχομε πιστή αναπαραγωγή της μουσικής εκτελέσεως.

Διάγραμμα ραδιοφώνου για τη λήψη σημάτων με διαμόρφωση πλάτους φαίνεται στο σχήμα 1.12. Τα ραδιόφωνα, κυρίως των μεσαίων κυμάτων, εργάζονται σε ισχυρά ηλεκτρομαγνητικά πεδία, που δημιουργούνται από ισχυρούς ραδιοφωνικούς πομπούς. Γι' αυτό δεν διαθέτουν συνήθως βαθμίδα ενισχύσεως της τάσεως υψηλής συχνότητας. Το σήμα, που αναπτύσσεται στην κεραία, ενεργεί κατευθείαν στη βαθμίδα μίξεως. Στην ίδια βαθμίδα εφαρμόζεται και το σήμα του τοπικού ταλαντωτή (ΤΤ), για να γίνει η γνωστή ετεροδύνωση. Το προϊόν της ετεροδυνώσεως, που είναι η παραγωγή του σήματος με ενδιάμεση συχνότητα fe, αφού ενισχυθεί από τον αντίστοιχο ενισχυτή, οδηγείται στη βαθμίδα φωράσεως· εκεί αναδεικνύεται το φάσμα των ακουστικών συχνοτήτων με το οποίο έγινε η διαμόρφωση στον πομπό. Το σήμα αυτό ενισχύεται κατά τάση και ισχύ από τους αντίστοιχους ενισχυτές και διεγείρει τελικά το μεγάφωνο του δέκτη. Σημειώνομε, ότι η ενδιάμεση συχνότητα των δεκτών για λήψη σημάτων με διαμόρφωση πλάτους κυμαίνεται από 450 έως 470 kHz (συνήθως 465 kHz).

1.11 Διάγραμμα δέκτη σημάτων με διαμόρφωση συχνότητας.

Οι δέκτες με διαμόρφωση πλάτους αναπαράγουν, μαζί με την ωφέλιμη πληροφορία και παρασιτικούς θορύβους, όπως είναι οι βιομηχανικοί θόρυβοι ή βιομηχανικά παράσιτα, οι ατμοσφαιρικοί θόρυβοι ή απλώς παράσιτα κλπ. Οι παρασιτικοί θόρυβοι καταργούνται μόνο με τη χρησιμοποίηση πομπών και δεκτών που λειτουργούν με διαμόρφωση συχνότητας.



Σχ. 1.13.
Διάγραμμα δέκτη σημάτων διαμορφωμένων κατά συχνότητα.

Ένας κοινός δέκτης, που προορίζεται για τη λήψη σημάτων με διαμόρφωση πλάτους, δεν μπορεί να λειτουργήσει με σήμα διαμορφωμένο κατά συχνότητα. Η βαθμίδα που δεν ανταποκρίνεται στη νέα μορφή διαμορφώσεως είναι η φωράτρια. Ο φωρατής αναδεικνύει τις μεταβολές πλάτους της φέρουσας συχνότητας, που προκαλούνται στο ρυθμό του ακουστικού σήματος. Στη διαμόρφωση συχνότητας, το ακουστικό σήμα μεταφέρεται με τη μορφή μεταβολής της συχνότητας του φέροντος σήματος και επομένως, για να λειτουργήσει η φώραση, πρέπει οι μεταβολές συχνότητας να μετατραπούν σε μεταβολές πλάτους. Η μεταμόρφωση αυτή επιτυγχάνεται με κατάλληλη διάταξη που ονομάζεται ***διευκρινιστής*** (discriminator).

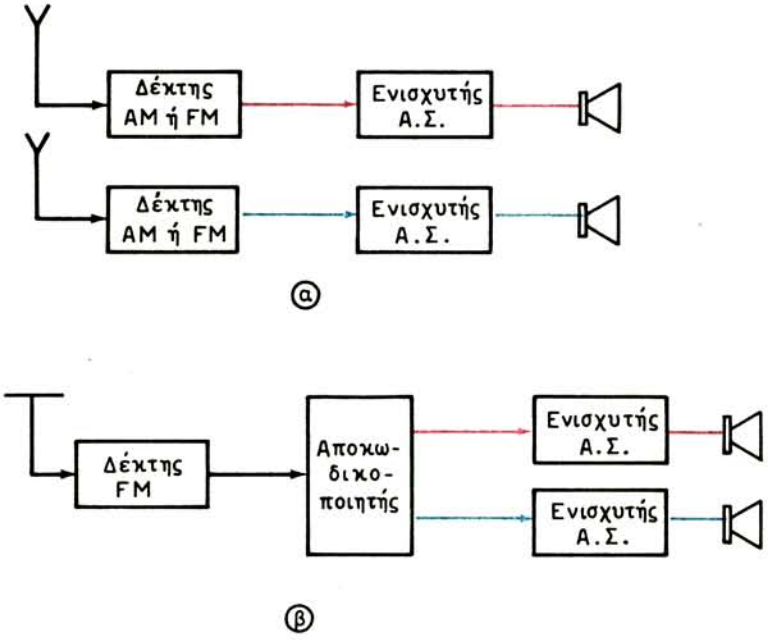
Το διάγραμμα ενός δέκτη σημάτων με διαμόρφωση συχνότητας φαίνεται στο σχήμα 1.13. Οι διαφορές μεταξύ αυτού και των προηγουμένων διαγραμμάτων είναι κυρίως δύο: η αντικατάσταση του φωρατή με το διευκρινιστή και η παρεμβολή μεταξύ του ενισχυτή ενδιάμεσης συχνότητας και του διευκρινιστή ενός ***περιοριστή***. Προορισμός του περιοριστή είναι η κατάργηση των παρασιτικών θορύβων. Ας πούμε δυο λόγια για το θέμα αυτό.

Οι ατμοσφαιρικοί και βιομηχανικοί θόρυβοι επιδρούν στο πλάτος του φέροντος κύματος. Ο περιοριστής «ψαλιδίζει» αμφίπλευρα το πλάτος του φέροντος κύματος και έτσι, σταθερό και απαλλαγμένο από την επίδραση των θορύβων, εφαρμόζεται στο διευκρινιστή. Ο περιορισμός του πλάτους του φέροντος κύματος δεν δημιουργεί παραμόρφωση του ακουστικού σήματος, αφού αυτό μεταφέρεται με τη μορφή μεταβολών συχνότητας και όχι πλάτους.

Πριν κλείσομε την παράγραφο πρέπει να πούμε ότι οι σύγχρονοι δέκτες σημάτων με διαμόρφωση συχνότητας εκπέμπουν στην περιοχή των 87,5-108 MHz και έχουν ενδιάμεση συχνότητα 10,7 MHz.

1.12 Σύνθεση στερεοφωνικών δεκτών.

Η σύνθεση ενός στερεοφωνικού δέκτη εξαρτάται από το χαρακτήρα εκπομπής του αντίστοιχου προγράμματος, δηλαδή:



Σχ. 1.14.
Διάγραμμα στερεοφωνικής λήψεως.
α) Με δύο δέκτες ΑΜ ή FM. β) Με ένα δέκτη FM και αποκωδικοποιητή.

1) Αν κάθε κανάλι εκπέμπεται από ανεξάρτητο πομπό, η λήψη του προγράμματος γίνεται με δύο δέκτες, ο καθένας από τους οποίους συντονίζει στις αντίστοιχες φέρουσες συχνότητες των πομπών [σχ. 1.14(α)].
2) Αν τα δύο κανάλια εκπέμπονται από ένα πομπό FM, δηλαδή με το σύστημα της κωδικοποιημένης στερεοφωνίας, η λήψη γίνεται με ένα δέκτη. Όμως, ο δέκτης αυτός πρέπει να διαθέτει αποκωδικοποιητική διάταξη για την ανάδειξη και το διαχωρισμό των δύο καναλιών [σχ. 1.14(β)].

Για τη λήψη στερεοφωνικού προγράμματος με δύο δέκτες δεν χρειάζεται ιδιαίτερη ανάλυση, γι' αυτό θ' ασχοληθούμε με τη λήψη του κωδικοποιημένου στερεοφωνικού προγράμματος.

Στην παράγραφο 1.7 είπαμε ότι για τη μετάδοση κωδικοποιημένης στερεοφωνίας η φέρουσα ενός πομπού διαμορφώνεται κατά συχνότητα από το σήμα (Α + Δ) και από τις πλευρικές συχνότητες της υποφέρουσας (38 kHz), που είναι διαμορφωμένη κατά πλάτος από το σήμα (Α − Δ). Η ίδια η υποφέρουσα καταργείται, αλλά εκπέμπεται το ειδικό «πιλοτόσημα» των 19 kHz. Στη λήψη, με φώραση συχνότητας (διευκρίνιση), αναδεικνύεται το σήμα (Α + Δ) και το σήμα των πλευρικών συχνοτήτων της υποφέρουσας.

Για την ανάδειξη, τώρα, του σήματος (Α − Δ) πρέπει πρώτα να αποκατα-

σταθεί η υποφέρουσα συχνότητα των 38 kHz. Γι' αυτόν το σκοπό, ο δέκτης διαθέτει έναν τοπικό ταλαντωτή, που εργάζεται στα 19 kHz και ελέγχεται από το πιλοτόσημα των 19 kHz. Στη συνέχεια, η συχνότητα του ταλαντωτή διπλασιάζεται για να εξισωθεί με την υποφέρουσα (38 kHz) και εφαρμόζεται σε φωρατή πλάτους μαζί με τις πλευρικές της. Ο φωρατής αυτός αναδεικνύει το σήμα της διαφοράς (Α − Δ).

Τα σήματα (Α + Δ) και (Α − Δ), που έχουν αναδειχθεί με τον παραπάνω τρόπο, πρέπει να χωρισθούν σε αριστερό (Α) και δεξιό (Δ), από τη διάταξη μήτρας του αποκωδικοποιητή. Εδώ, τα δύο σήματα προσθέτονται και αφαιρούνται, οπότε παίρνομε:

$$(A+\Delta) + (A - \Delta) = 2A \text{ (αριστερό σήμα)}$$

$$(A+\Delta) - (A - \Delta) = A+\Delta - A+\Delta = 2\Delta \text{ (δεξιό σήμα)}$$

Τα σήματα αυτά ενισχύονται από τα ξεχωριστά ακουστικά κανάλια και οδηγούνται στα μεγάφωνα για ν' αποδοθεί το στερεοφωνικό πρόγραμμα.

Σημειώνομε ότι οι αποκωδικοποιητές, όσο και οι κωδικοποιητές, κατασκευάζονται σήμερα εύκολα με τη χρησιμοποίηση ολοκληρωμένων κυκλωμάτων.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΔΕΥΤΕΡΟ

ΕΝΙΣΧΥΣΗ ΑΚΟΥΣΤΙΚΩΝ ΣΥΧΝΟΤΗΤΩΝ

2.1 Γενικά.

Η ενίσχυση ηλεκτρικών ταλαντώσεων (σημάτων) με συχνότητες 16-20 000 Hz (ακουστικές συχνότητες) γίνεται με τους ***ενισχυτές χαμηλών*** ή ***ακουστικών συχνοτήτων***. Οι ενισχυτές χαμηλών συχνοτήτων χρησιμοποιούνται στις διατάξεις εκπομπής και λήψεως σημάτων, που γνωρίσαμε, στην τηλεόραση, στα συστήματα αυτόματου ελέγχου και σε πολλές άλλες περιοχές της ηλεκτρονικής.

Οι ενισχυτές ακουστικών σημάτων διακρίνονται σε δύο βασικά τμήματα: τον ***προενισχυτή*** και τον ***τελικό ενισχυτή*** ή ***ενισχυτή ισχύος.***

Ο προενισχυτής προορίζεται για την ενίσχυση της τάσεως ακουστικού σήματος που προέρχεται από μικρόφωνο, κεφαλή μαγνητοφώνου ή ηλεκτροφώνου (πικάπ) και οποιαδήποτε άλλη ηλεκτρακουστική συσκευή. Ο προενισχυτής κατασκευάζεται σήμερα με τρανζίστορ και κυρίως με ολοκληρωμένα κυκλώματα και, εκτός από τις ενισχυτικές του βαθμίδες, περιέχει μια σειρά από άλλες διατάξεις, που ρυθμίζουν ποσοστικά και ποιοτικά το ενισχυόμενο σήμα. Η τάση εξόδου του προενισχυτή πρέπει να είναι ικανή να διεγείρει τον επόμενο τελικό ενισχυτή.

Ο τελικός ενισχυτής προορίζεται για την ενίσχυση, κατά ισχύ, του σήματος εξόδου του προενισχυτή έως τη στάθμη που χρειάζεται να λειτουργήσει το μεγάφωνο ή τα μεγάφωνα. Ο τελικός ενισχυτής κατασκευάζεται επίσης με ολοκληρωμένα κυκλώματα και τρανζίστορ.

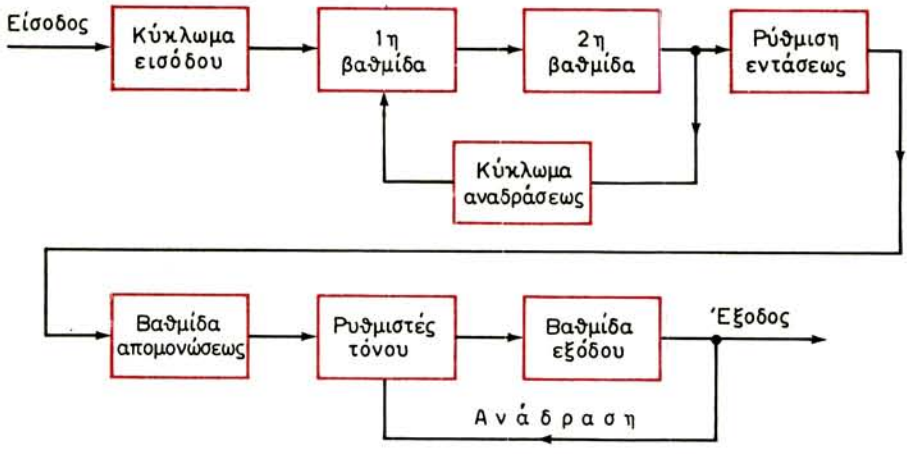
Ο προενισχυτής και ο τελικός ενισχυτής μπορεί να αποτελούνται από μία ή περισσότερες ***ενισχυτικές βαθμίδες***. Κάθε βαθμίδα κατασκευάζεται με ένα τρανζίστορ ή τμήμα ολοκληρωμένου κυκλώματος, που είναι συνδεσμολογημένο κατάλληλα με άλλα ηλεκτρικά στοιχεία (αντιστάσεις, πυκνωτές, μετασχηματιστές κλπ.), ώστε να εξασφαλισθεί η ανάδειξη των ενισχυτικών τους ικανοτήτων.

Τέλος, ανάλογα με το χαρακτήρα του φορτίου των ενισχυτικών βαθμίδων, οι ενισχυτές διακρίνονται σε ενισχυτές με αντιστάσεις, με αυτεπαγωγή, με μετασχηματιστή κλπ.

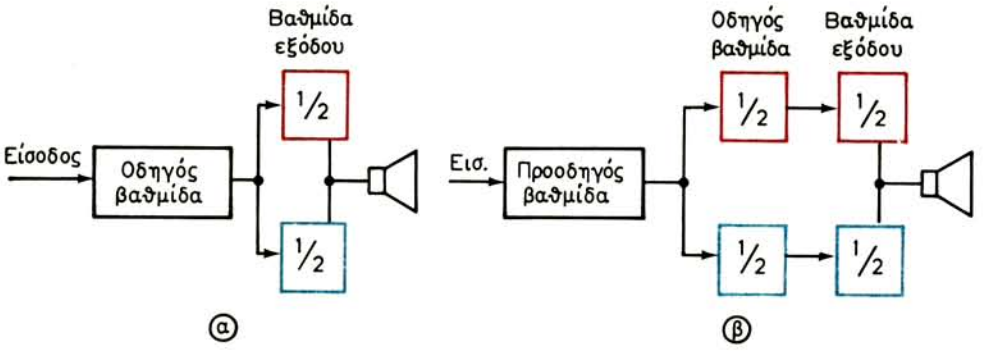
2.2 Διαγράμματα προενισχυτών και τελικών ενισχυτών.

Η γενική συγκρότηση ενός προενισχυτή φαίνεται στο διάγραμμα του σχήματος 2.1. Στο διάγραμμα αυτό περιλαμβάνονται τόσο οι ενισχυτικές βαθμίδες, όσο και τα ρυθμιστικά κυκλώματα του ήχου. Έτσι, το σήμα από την ηλεκτρακουστική συσκευή οδηγείται στην πρώτη ενισχυτική βαθμίδα μέσα από κύκλωμα εισόδου που εξασφαλίζει την προσαρμογή της αντιστάσεως της ηλεκτρακουστικής συσκευής προς την αντίσταση εισόδου της βαθμίδας. Ακολουθεί μια δεύτερη ενισχυτική βαθμίδα, ενώ μεταξύ αυτής και της πρώτης συνδεσμολογείται ένα κύκλωμα αρνητικής αναδράσεως (γι' αυτό θα μιλήσομε αργότερα) για τη βελτίωση της ποιότητας του ήχου. Μεταξύ της εξόδου της δεύτερης ενισχυτικής βαθμίδας και της τελικής βαθμίδας του προενισχυτή συνδέονται οι ρυθμιστές της εντάσεως και του τόνου του ήχου. Μεταξύ των ρυθμιστών της εντάσεως του ήχου και του τόνου του παρεμβάλλεται μια απομονώτρια βαθμίδα που εξασφαλίζει ανεξαρτησία στις ρυθμίσεις των δύο αυτών χαρακτηριστικών του ήχου. Η απομονώτρια αποτελείται από τρανζίστορ συνδεσμολογημένο με κοινό συλλέκτη, που παρουσιάζει μεγάλη αντίσταση εισόδου και μικρή εξόδου. Τέλος, μία ακόμη ενισχυτική βαθμίδα, που διαθέτει συνήθως αρνητική ανάδραση, ενισχύει το σήμα που θα διεγείρει τον τελικό ενισχυτή ισχύος της διατάξεως.

Η συγκρότηση του ενισχυτή ισχύος είναι πιο απλή από τη συγκρότηση του προενισχυτή. Οι ενισχυτές μικρής ισχύος (έως 10 W) έχουν συνήθως δύο βαθμίδες [σχ. 2.2(α)]: την οδηγό βαθμίδα (driver stage) και τη βαθμίδα εξόδου σε συμμετρική διάταξη. Στους ενισχυτές με ισχύ μεγαλύτερη από 15 W προστίθεται μια ακόμη προοδηγός (pre-driver) βαθμίδα [σχ. 2.2(β)], ενώ η οδηγός βαθμίδα παίρνει τη μορφή συμμετρικής διατάξεως.



Σχ. 2.1.
Διάγραμμα προενισχυτή ακουστικών σημάτων.



Σχ. 2.2.
Διαγράμματα τελικών ενισχυτών ακουστικών σημάτων.

Η οδηγός ή προοδηγός βαθμίδα διεγείρεται από τον προενισχυτή και εξασφαλίζει, με τη σειρά της, τη διέγερση του τελικού ενισχυτή με δύο σήματα που διαφέρουν φασικά μεταξύ τους κατά 180°. Πολλές φορές η βαθμίδα αυτή αντικαθίσταται από ένα μετασχηματιστή αναστροφής φάσεως.

Τέλος, ο τελικός ενισχυτής ισχύος με τη συμμετρική διάταξη (Push-Pull) τροφοδοτεί το μεγάφωνο ή τα μεγάφωνα με τη βοήθεια μετασχηματιστή προσαρμογής ή άμεσα χωρίς μετασχηματιστή. Συνδεσμολογίες ενισχυτών ισχύος, καθώς και προενισχυτών, θα γνωρίσομε σε επόμενες παραγράφους.

2.3 Χαρακτηριστικά ενισχυτών ακουστικών σημάτων.

Τα βασικά χαρακτηριστικά των ενισχυτικών διατάξεων, που προορίζονται για την ενίσχυση ακουστικών σημάτων, είναι τα ακόλουθα:

1) Η απολαβή. Ο συντελεστής ενισχύσεως ενός ενισχυτή προσδιορίζεται από το λόγο της τάσεως εξόδου $U_{εξ}$ του ενισχυτή προς την τάση εισόδου του $U_{εισ}$ (για ενισχυτές τάσεως) ή από το λόγο της ισχύος εξόδου $P_{εξ}$ προς την ισχύ εισόδου $P_{εισ}$ (για ενισχυτές ισχύος). Στην πράξη, ο λογάριθμος του συντελεστή ενισχύσεως πολλαπλασιάζεται επί 20 (για τάση) ή επί 10 (για ισχύ) και το αποτέλεσμα χαρακτηρίζεται σαν ***απολαβή G*** (Gain) της ενισχυτικής διατάξεως. Η απολαβή εκφράζεται σε ντεσιμπέλ (decibels, σύμβολο dB) και είναι:

$$G = 20 \log A_v \text{ (dB)} \qquad \text{όπου } A_v = \frac{U_{εξ}}{U_{εισ}} \text{ για τάση} \tag{2.1}$$

$$G = 10 \log A_w \text{ (dB)} \qquad \text{όπου } A_w = \frac{P_{εξ}}{P_{εισ}} \text{ για ισχύ} \tag{2.2}$$

Οι πιο πάνω εκφράσεις δικαιολογούνται από το γεγονός ότι ο ήχος προκαλεί

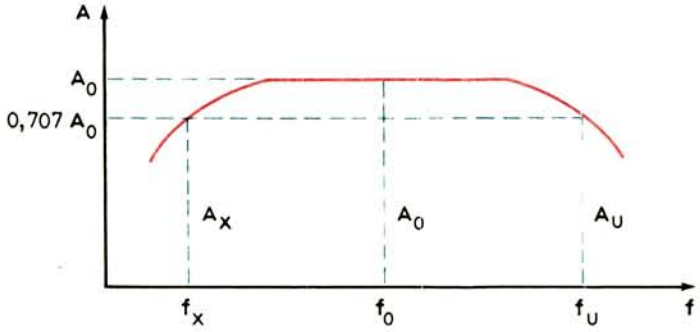
ερεθισμό των οργάνων της ακοής που είναι **ανάλογος** προς το λογάριθμο της ισχύος που τα διεγείρει.

Για ενισχυτικές βαθμίδες, που συνδέονται σε σειρά, η ολική ενίσχυση ισούται με το γινόμενο των συντελεστών ενισχύσεως των επιμέρους βαθμίδων και η ολική απολαβή, με το άθροισμα των απολαβών τους, δηλαδή:

$$A_o = A_1 \cdot A_2 \ldots A_n$$

$$G_o = G_1 + G_2 + \ldots + G_n \text{ (dB)} \qquad (2.3)$$

2) Η απόκριση. Η συμπεριφορά του ενισχυτή ως προς την απολαβή σε όλες τις συχνότητες του ενισχυόμενου ακουστικού σήματος ονομάζεται ***απόκριση.*** Η απόκριση του ενισχυτή επηρεάζεται από τη δράση των στοιχείων του (αντιστάσεων, πυκνωτών, αυτεπαγωγών). Ο συντελεστής ενισχύσεως A του ενισχυτή στις διάφορες συχνότητες f της ακουστικής περιοχής (20-20 000 Hz) δίνεται από μια καμπύλη (σχ. 2.3) που ονομάζεται ***καμπύλη αποκρίσεως*** του ενισχυτή. Οι δύο συχνότητες f_x (χαμηλή) και f_u (υψηλή), για τις οποίες ο συντελεστής ενισχύσεως είναι ίσος με τα 70,7% του συντελεστή A_o μιας μέσης συχνότητας f_o, ορίζουν την περιοχή συχνοτήτων που ενισχύει ο ενισχυτής. Ο υποβιβασμός του συντελεστή ενισχύσεως στα 70,7%, δηλαδή ο υποβιβασμός κατά 29,3%, αντιστοιχεί σε ελάττωση της απολαβής του ενισχυτή κατά 3 dB.



Σχ. 2.3.
Καμπύλη αποκρίσεως ενισχυτή ακουστικών σημάτων.

3) Η ωφέλιμη ισχύς εξόδου. Η ισχύς του σήματος που εμφανίζεται στην αντίσταση φορτίου του ενισχυτή ονομάζεται ***ωφέλιμη ισχύς*** P_o και δίνεται από τη σχέση:

$$P_o = \frac{U_{o\varepsilon\nu}^2}{R_L} = \frac{U_o^2}{2R_L} \qquad (2.4)$$

όπου $U_{o\varepsilon\nu}$ η ενεργός τιμή της τάσεως εξόδου του ενισχυτή ($U_{o\varepsilon\nu} = U_o / \sqrt{2}$), U_o

η μέγιστη τιμή (πλάτος) της ίδιας τάσεως και R_L η αντίσταση φορτίου. Η ωφέλιμη ισχύς εξόδου είναι βασικό χαρακτηριστικό των ενισχυτών ισχύος.

4) Ο βαθμός αποδόσεως. Ο βαθμός αποδόσεως του ενισχυτή ορίζεται από το λόγο της ωφέλιμης ισχύος εξόδου P_o προς τη συνεχή ισχύ P που παρέχει στον ενισχυτή η τροφοδοτική πηγή, δηλαδή:

$$n = \frac{P_o}{P} \cdot 100\% \qquad (2.5)$$

Ο βαθμός αποδόσεως έχει μεγαλύτερη σημασία στον υπολογισμό των ενισχυτών ισχύος, που απορροφούν σημαντική ισχύ από τις τροφοδοτικές πηγές.

5) Οι παραμορφώσεις. Ονομάζομε ***παραμόρφωση*** κάθε αλλοίωση που προκαλεί ένας ενισχυτής στα χαρακτηριστικά του σήματος που εφαρμόζεται στην είσοδό του. Η σημαντικότερη από τις παραμορφώσεις, που δημιουργεί ο ενισχυτής, είναι η λεγόμενη ***αρμονική*** ή ***«μη γραμμική»*** παραμόρφωση.

Βασική αιτία που προκαλεί την παραμόρφωση αυτή είναι η καμπυλότητα (μη γραμμικότητα) των χαρακτηριστικών των ενισχυτικών στοιχείων (τρανζίστορ κλπ.) των ενισχυτών. Το ρεύμα εξόδου των ενισχυτικών στοιχείων, που εργάζονται σε καμπύλα τμήματα των χαρακτηριστικών τους, περιέχει αρμονικές συνιστώσες οι οποίες δεν ενεργούν στην είσοδο του ενισχυτή.

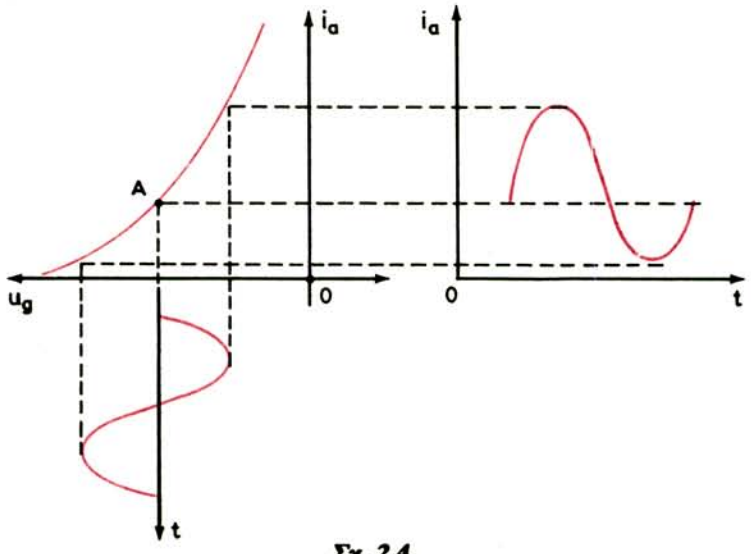
Το μέγεθος της αρμονικής παραμορφώσεως εκτιμάται από το συντελεστή γ, ο οποίος ισούται με το λόγο της ενεργού τιμής του ρεύματος που σχηματίζεται από τη δεύτερη και ανώτερες αρμονικές, προς την ενεργό τιμή του ρεύματος της βασικής συχνότητας (πρώτης αρμονικής) του σήματος, δηλαδή:

$$\gamma = \frac{\sqrt{I_2^2 + I_3^2 + I_4^2 + \cdots}}{I_1}$$

Συνήθως, τα πλάτη των μεγαλυτέρων αρμονικών από την τρίτη είναι μικρά και μπορούν οι αρμονικές αυτές ν' αμεληθούν. Έτσι, ο συντελεστής αρμονικών παραμορφώσεων γ δίνεται από τη σχέση:

$$\gamma = \frac{\sqrt{I_2^2 + I_3^2}}{I_1} \cdot 100\% \qquad (2.6)$$

Στο σχήμα 2.4 φαίνεται η χαρακτηριστική λειτουργίας ενισχυτή και η μεταβολή του ρεύματος εξόδου του i_α που προκαλείται από τη μεταβολή μιας ημιτονικής τάσεως u_g που εφαρμόζεται στην είσοδό του. Με εκλογή του σημείου λειτουργίας του ενισχυτή επάνω στο καμπύλο τμήμα της χαρακτηριστικής του (σημείο Α), φαίνεται πώς παραμορφώνεται το ρεύμα εξόδου i_α σε σχέση με την τάση στην είσοδό του u_g. Το ρεύμα αυτό δεν είναι ημιτονικό (η τάση u_g είναι ημιτονική) και επομένως περιέχει αρμονικές. Ο υπολογισμός των πλατών των



Σχ. 2.4.

Η χαρακτηριστική λειτουργία ενισχυτή και η παραμόρφωση του ρεύματος εξόδου εξαιτίας της καμπυλότητάς της.

αρμονικών γίνεται με μερικούς τρόπους, η εξέταση των οποίων βρίσκεται έξω από τους σκοπούς αυτού του βιβλίου.

Ένα άλλο είδος παραμορφώσεων, που δημιουργεί ο ενισχυτής, είναι οι ***παραμορφώσεις συχνότητας,*** που προκύπτουν από την αδυναμία του να έχει την ίδια απόκριση σε όλες τις συχνότητες του ενισχυόμενου σήματος (σχ. 2.3).

Το μέγεθος των παραμορφώσεων συχνότητας εκτιμάται από το συντελεστή M που ισούται με το λόγο του συντελεστή ενισχύσεως A_o στις μέσες συχνότητες προς το συντελεστή ενισχύσεως A στις ακραίες συχνότητες της περιοχής (σχ. 2.3).

$$M = \frac{A_o}{A}$$

Η ανομοιομορφία ενισχύσεως στην περιοχή των χαμηλών και υψηλών συχνοτήτων δεν είναι ίδια, γι' αυτό οι παραμορφώσεις συχνότητας εκτιμούνται τόσο στην περιοχή των χαμηλών συχνοτήτων (M_x), όσο και στην περιοχή των υψηλών συχνοτήτων ($M_υ$).

$$M_x = \frac{A_o}{A_x} \qquad (2.7)$$

$$M_υ = \frac{A_o}{A_υ} \qquad (2.8)$$

Ο ολικός συντελεστής παραμορφώσεων συχνότητας ενός πολυβαθμικού ενισχυτή ισούται με το γινόμενο των συντελεστών των επί μέρους βαθμίδων:

$$M_o = M_1 \cdot M_2 \cdot M_3 \ldots \qquad (2.9)$$

Οι παραμορφώσεις συχνότητας δεν γίνονται αντιληπτές από την ακοή μας, όταν οι συντελεστές τους βρίσκονται στα όρια $M_x = M_υ = 1,25\text{-}1,3$. Οι τιμές αυτές αντιστοιχούν σε μεταβολή της απολαβής κατά 2-3 dB.

Τέλος, τα στοιχεία ενός ενισχυτή (αυτεπαγωγές, χωρητικότητες) δημιουργούν φασικές διαφορές μεταξύ των τάσεων εισόδου και εξόδου του, πέρα από τη διαφορά φάσεως που δημιουργεί το ενισχυτικό στοιχείο (τρανζίστορ). Οι φασικές αυτές διαφορές δεν είναι ίσες για όλες τις συχνότητες της περιοχής που ενισχύει ο ενισχυτής. Η ανισότητα αυτή των φασικών διαφορών ονομάζεται ***παραμόρφωση φάσεως.***

Η παραμόρφωση φάσεως δεν ακούγεται, αλλά φαίνεται στην εικόνα ενός δέκτη τηλεοράσεως. Γι' αυτό, λαμβάνεται υπόψη κατά την κατασκευή των ενισχυτών εικόνας των τηλεοράσεων και γενικά των τηλεοπτικών διατάξεων (ραντάρ κλπ.).

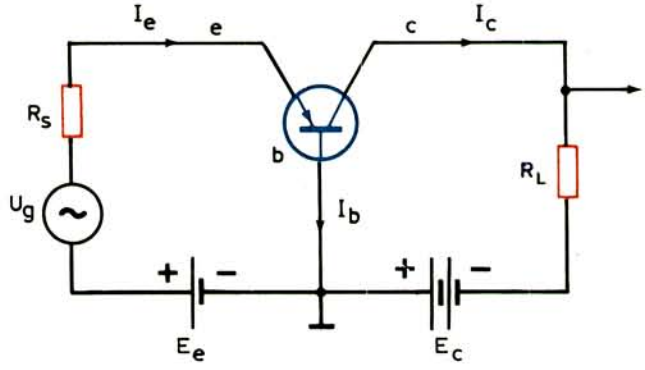
2.4 Δυναμική λειτουργία τρανζίστορ.

Είπαμε ότι οι ενισχυτές κατασκευάζονται με τρανζίστορ και ολοκληρωμένα κυκλώματα. Βασικά ενισχυτικά στοιχεία των ολοκληρωμένων κυκλωμάτων είναι επίσης τα τρανζίστορ, που παρουσιάζονται με τις τρεις γνωστές συνδεσμολογίες τους, δηλαδή: με κοινή βάση, κοινό εκπομπό και κοινό συλλέκτη.

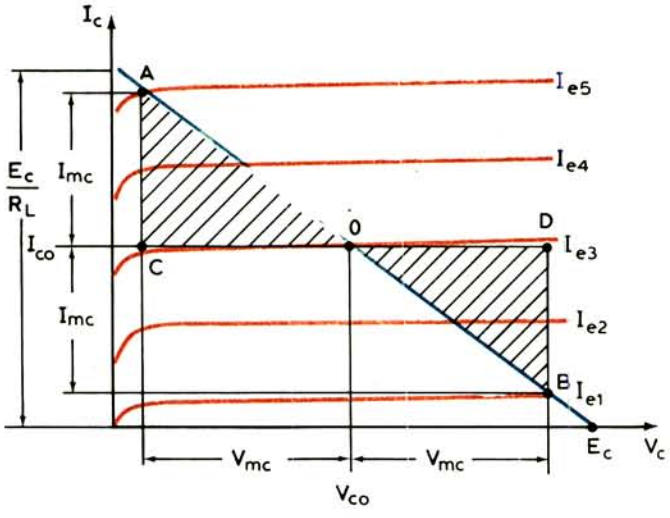
Η ενισχυτική ικανότητα των παραπάνω συνδεσμολογιών στηρίζεται στη δυνατότητα μεταβολής των ρευμάτων βάσεως, εκπομπού και συλλέκτη με τη βοήθεια κάποιας τάσεως U_g, που εφαρμόζεται στο κύκλωμα εισόδου τους. Η ανάδειξη των ενισχυτικών ικανοτήτων τους γίνεται με τη σύνδεση μιας αντιστάσεως φορτίου R_L, στο κύκλωμα εξόδου τους. Μια τέτοια συνδεσμολογία τρανζίστορ με κοινή βάση φαίνεται στο σχήμα 2.5 όπου R_s είναι η εσωτερική αντίσταση της πηγής του σήματος U_g.

Η λειτουργία του τρανζίστορ με αντίσταση φορτίου στην έξοδό του και εναλλασσόμενη τάση στην είσοδό του ονομάζεται ***δυναμική***. Η δυναμική λειτουργία του τρανζίστορ περιγράφεται από τις ***δυναμικές χαρακτηριστικές*** του. Οι τελευταίες, χαράσσονται επάνω στις στατικές χαρακτηριστικές του τρανζίστορ, που δίνει ο κατασκευαστής, και η μορφή τους εξαρτάται από το είδος και το μέγεθος της αντιστάσεως φορτίου. Την πιο απλή μορφή έχουν οι δυναμικές χαρακτηριστικές που χαράσσονται όταν το φορτίο είναι ωμική αντίσταση.

Η γραφική μέθοδος μελέτης της λειτουργίας και προσδιορισμού των παραμέτρων των κυκλωμάτων με τρανζίστορ χρησιμοποιείται πολύ στην πράξη. Οι



Σχ. 2.5.
Βασικό κύκλωμα ενισχυτή τρανζίστορ με κοινή βάση.



Σχ. 2.6.
Στατικές χαρακτηριστικές συλλέκτη και ευθεία φορτίου του τρανζίστορ.

βασικότερες παράμετροι των κυκλωμάτων αυτών είναι οι συντελεστές ενισχύσεως ρεύματος, τάσεως και ισχύος, καθώς και οι αντιστάσεις εισόδου και εξόδου.

Εξετάζομε τη δυναμική λειτουργία του τρανζίστορ με κοινή βάση του σχήματος 2.5. Οι στατικές χαρακτηριστικές εξόδου (συλλέκτη) του τρανζίστορ φαίνονται στο σχήμα 2.6.

Η δυναμική χαρακτηριστική εξόδου του κυκλώματος (σχ. 2.5) περιγράφεται από την εξίσωση:

$$V_c = E_c - R_L I_c \qquad (2.10)$$

Τα σημεία τομής της δυναμικής χαρακτηριστικής με τους άξονες των συντεταγμένων των στατικών χαρακτηριστικών του συλλέκτη βρίσκονται μηδενίζοντας διαδοχικά τα μεγέθη V_c και I_c ($V_c = 0$ και $I_c = 0$).

Για $V_c = 0$ έχομε:

$$I_c = \frac{E_c}{R_L}$$

και για $I_c = 0$:

$$V_c = E_c$$

Ενώνοντας τα σημεία που αντιστοιχούν στις τιμές των παραπάνω μεγεθών (σχ. 2.6) έχομε τη δυναμική χαρακτηριστική εξόδου του τρανζίστορ, που ονομάζεται και ***ευθεία φορτίου.***

Εκλέγομε το σημείο 0, που βρίσκεται επάνω στην ευθεία φορτίου του τρανζίστορ και που αντιστοιχεί σε συνεχή τάση πολώσεως του συλλέκτη V_{co}. Με αντίσταση φορτίου R_L, το ρεύμα συλλέκτη που αντιστοιχεί στο σημείο 0 είναι I_{co}. Το ρεύμα I_{co} ονομάζεται ***ρεύμα ηρεμίας*** και το σημείο 0, ***σημείο λειτουργίας*** του τρανζίστορ.

Αν εφαρμόσομε μια εναλλασσόμενη τάση στην είσοδο του τρανζίστορ, το ρεύμα εκπομπού I_e μεταβάλλεται. Η μεταβολή αυτή προκαλεί αντίστοιχη μεταβολή του ρεύματος συλλέκτη I_c και το σημείο λειτουργίας 0 μετατοπίζεται κατά μήκος της ευθείας φορτίου AB. Για ενίσχυση χωρίς παραμορφώσεις, το σημείο λειτουργίας δεν πρέπει, κατά τη μετατόπισή του, να βγαίνει έξω από τα όρια του τμήματος της ευθείας φορτίου, για το οποίο οι μεταβολές του ρεύματος συλλέκτη είναι κατευθείαν ανάλογες προς τις μεταβολές του ρεύματος εκπομπού. Για να συμβεί αυτό, το σημείο λειτουργίας 0 εκλέγεται στο μέσο της ευθείας φορτίου AB, στο οποίο αντιστοιχεί συνεχής τάση πολώσεως συλλέκτη:

$$V_{co} = 0{,}5\ E_c$$

Η ισχύς, που αποδίδεται από το τρανζίστορ στο φορτίο, με ημιτονικό σήμα στην είσοδο, είναι:

$$P_o = \frac{1}{2} U_{mc} \cdot I_{mc} = \text{εμβ. } \triangle \text{ AOC} = \text{εμβ. } \triangle \text{ BOD} \qquad (2.11)$$

η ισχύς που καταναλώνεται στο κύκλωμα συλλέκτη:

$$P_\alpha = V_{co} \cdot I_{co} \qquad (2.12)$$

και ο συντελεστής ενισχύσεως ρεύματος:

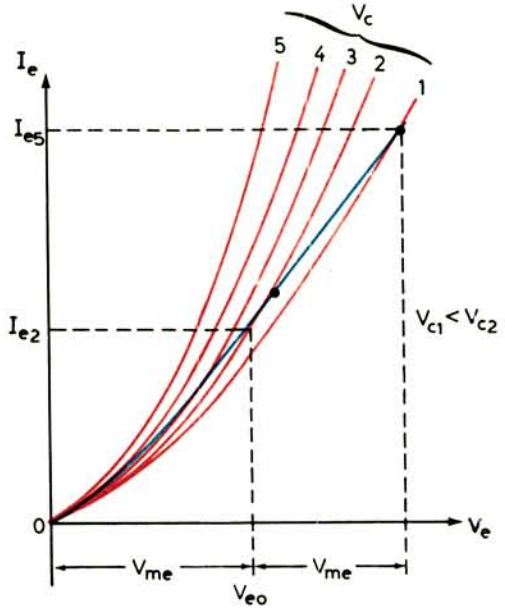
$$A_I = \frac{I_{mc}}{I_{me}} = \frac{I_{mc}}{I_{e5} - I_{e3}} \qquad (2.13)$$

όπου U_{mc} το πλάτος της εναλλασσόμενης τάσεως στο συλλέκτη, I_{mc} το πλάτος του ρεύματος συλλέκτη και I_{me} το πλάτος του ρεύματος εκπομπού.

Για τον προσδιορισμό του πλάτους της εναλλασσόμενης τάσεως στην είσοδο U_{me}, της αντιστάσεως εισόδου του τρανζίστορ R_g, της ισχύος που καταναλώνεται στην είσοδο P_g και των συντελεστών ενισχύσεως τάσεως και ισχύος, χρειάζεται και το σμήνος των στατικών χαρακτηριστικών εισόδου (εκπομπού) του τρανζίστορ (σχ. 2.7). Στο σμήνος των χαρακτηριστικών αυτών χαράσσεται η δυναμική χαρακτηριστική εισόδου, από την οποία μπορούμε να υπολογίσομε τα υπόλοιπα στοιχεία της δυναμικής λειτουργίας του τρανζίστορ.

Η δυναμική χαρακτηριστική εισόδου συνδέει την τάση εισόδου U_e με το ρεύμα εισόδου I_e στη δυναμική λειτουργία του τρανζίστορ. Αυτή, χαράσσεται με μεταφορά, στο σμήνος των στατικών χαρακτηριστικών εισόδου, σημείων (I_e, V_c) από τη δυναμική χαρακτηριστική εξόδου. Με τη σύνδεση των σημείων αυτών παίρνομε τη δυναμική χαρακτηριστική εισόδου (σχ. 2.7).

Στη δυναμική χαρακτηριστική εισόδου φαίνεται το μέγεθος U_{me}. Γνωρίζοντάς το, μπορούμε να υπολογίσομε την ισχύ εισόδου, με ημιτονική μορφή σήματος, από τη σχέση:



Σχ. 2.7.

Στατικές χαρακτηριστικές εκπομπού και δυναμική χαρακτηριστική εισόδου του τρανζίστορ.

$$P_g = \frac{1}{2} U_{me} \cdot I_{me} \qquad (2.14)$$

Εξάλλου έχομε:

συντελεστή ενισχύσεως τάσεως $$A_v = \frac{U_{mc}}{U_{me}} \qquad (2.15)$$

συντελεστή ενισχύσεως ισχύος $$A_w = \frac{P_o}{P_g} \qquad (2.16)$$

και αντίσταση εισόδου $$R_g = \frac{U_{me}}{I_{me}} \qquad (2.17)$$

Όπως φαίνεται από το σχήμα 2.7 η δυναμική χαρακτηριστική εισόδου δεν είναι γραμμική. Το γεγονός αυτό προκαλεί παραμορφώσεις κατά την ενίσχυση. Για την ελάττωση των παραμορφώσεων αυτών, το πλάτος του εναλλασσόμενου ρεύματος εισόδου I_{me} πρέπει να είναι μικρό.

Όταν το τρανζίστορ εργάζεται με τις συνθήκες που περιγράψαμε, δηλαδή όταν το σημείο λειτουργίας του εκλέγεται έτσι, ώστε, κατά τη μετατόπισή του επάνω στη δυναμική χαρακτηριστική εξόδου, να μη βγαίνει έξω από τα όρια του γραμμικού της τμήματος, λέμε ότι το τρανζίστορ λειτουργεί σε ***τάξη Α.*** Η τάξη Α δίνει ενίσχυση χωρίς παραμορφώσεις και χρησιμοποιείται στους ενισχυτές ακουστικών συχνοτήτων.

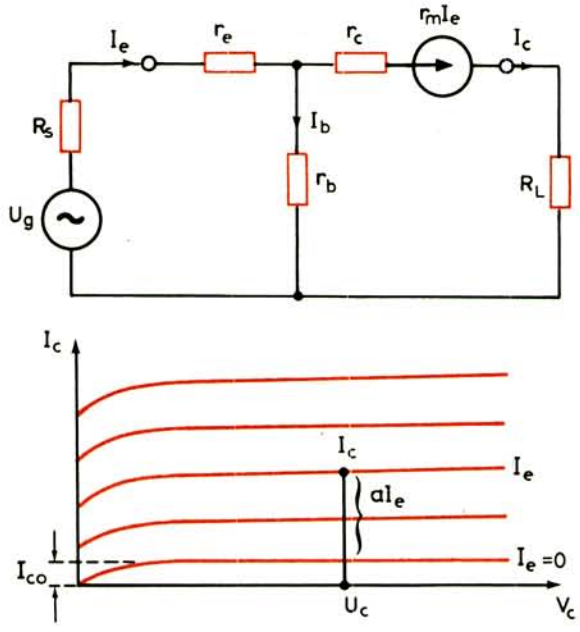
2.5 Ισοδύναμα κυκλώματα βαθμίδων με τρανζίστορ.

Κατά την ανάλυση ενισχυτικών βαθμίδων με τρανζίστορ χρησιμοποιούνται πολύ τα ισοδύναμα ηλεκτρικά κυκλώματα των ιδίων των τρανζίστορ. Στην περιοχή των χαμηλών συχνοτήτων, κατάλληλο κύκλωμα αντικαταστάσεως του τρανζίστορ με κοινή βάση του σχήματος 2.5 είναι το τύπου Τ. Έτσι, το κύκλωμα του σχήματος 2.5 για τη δυναμική του λειτουργία, παίρνει τη μορφή του κυκλώματος του σχήματος 2.8(α), όπου r_e, r_b, r_c και r_m είναι κάποιες χαρακτηριστικές αντιστάσεις του τρανζίστορ. Οι αντιστάσεις αυτές μπορούν εύκολα να υπολογισθούν από τα σμήνη των χαρακτηριστικών εξόδου και εισόδου:

$$I_c = f(V_c) \quad \text{με } I_e = \text{σταθ.}$$

$$I_e = f(V_e) \quad \text{με } I_c = \text{σταθ.}$$

Πραγματικά, όπως φαίνεται από το σχήμα 2.8(α) ισχύουν οι σχέσεις:



Σχ. 2.8.

Ισοδύναμο κύκλωμα τρανζίστορ με κοινή βάση (α) και οι χαρακτηριστικές εξόδου (β).

$$\left(\frac{\Delta V_c}{\Delta I_c}\right)_{I_e} = r_c + r_b \qquad \left(\frac{\Delta V_c}{\Delta I_e}\right)_{I_c} = r_b + r_m$$

$$\left(\frac{\Delta V_e}{\Delta I_e}\right)_{I_c} = r_e + r_b \qquad \left(\frac{\Delta V_e}{\Delta I_c}\right)_{I_e} = r_b$$

Από το σύστημα των εξισώσεων αυτών καθορίζονται οι χαρακτηριστικές αντιστάσεις του τρανζίστορ στο σημείο λειτουργίας που διαλέξαμε.

Το σμήνος των χαρακτηριστικών εξόδου φαίνεται στο σχήμα 2.8(β). Αν οι χαρακτηριστικές αυτές θεωρηθούν ιδανικές (χωρίς καμπύλα τμήματα), όλο το σμήνος καθορίζεται πλήρως από τρία μεγέθη, δηλαδή:

1) Από το ρεύμα I_{co} που ορίζει η «ευθυγραμμισμένη» χαρακτηριστική, για $I_e = 0$, στον κατακόρυφο άξονα.
2) Από την κλίση των χαρακτηριστικών προς τον οριζόντιο άξονα, που ισούται με το αντίστροφο του αθροίσματος των αντιστάσεων $r_c + r_b$.
3) Από το συντελεστή ενισχύσεως ρεύματος με βραχυκυκλωμένη την έξοδο του τρανζίστορ:

$$\alpha = \left(\frac{\Delta I_c}{\Delta I_e}\right)_{V_c}$$

Το ρεύμα, τώρα, του συλλέκτη είναι:

$$I_c = I_{co} + \frac{V_c}{r_c + r_b} + \alpha I_e \qquad (2.18)$$

Τα μεγέθη r_m, r_c και α, όπως θα δούμε αμέσως, συνδέονται μεταξύ τους.

Για το ισοδύναμο κύκλωμα του σχήματος 2.8(α) και με βραχυκυκλωμένη την έξοδο, μπορούμε να γράψομε:

$$r_m I_e = r_c I_c - r_b I_b$$

$$I_b = i_e - I_c$$

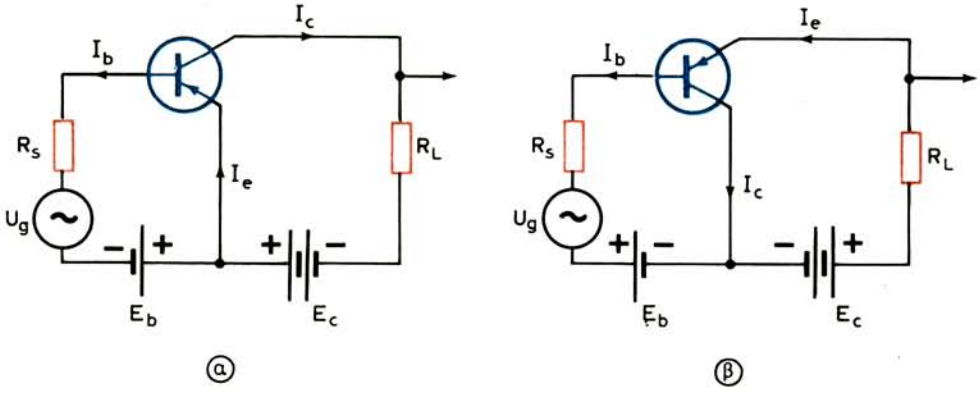
από όπου η ενίσχυση ρεύματος είναι:

$$\alpha = \frac{I_c}{I_e} = \frac{r_m + r_b}{r_c + r_b}$$

Οι αντιστάσεις r_m και r_c έχουν μεγάλες τιμές (εκατοντάδες χιλιάδες ωμ ή ακόμη και μεγγώμ), ενώ η αντίσταση r_b είναι μικρή (συνήθως μερικών εκατοντάδων ωμ). Γι' αυτό μπορούμε, με μεγάλο βαθμό ακρίβειας, να γράψομε:

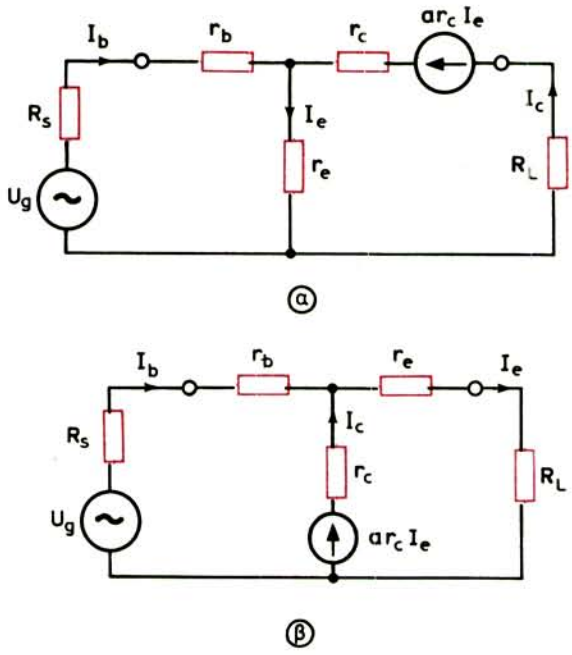
$$\alpha = \frac{r_m}{r_c} \quad \text{ή} \quad r_m = \alpha r_c \qquad (2.19)$$

Εκτός από τις βαθμίδες με κοινή βάση, στην πράξη χρησιμοποιούνται και οι βαθμίδες με κοινό εκπομπό και κοινό συλλέκτη. Τα κυκλώματα των βαθμίδων αυτών φαίνονται στο σχήμα 2.9(α) και (β) και στα ισοδύναμά τους, στο σχήμα 2.10 (α) και (β), αντίστοιχα.



Σχ. 2.9.

Συνδεσμολογίες τρανζίστορ: α) με κοινό εκπομπό και β) με κοινό συλλέκτη.



Σχ. 2.10.
Τα ισοδύναμα των κυκλωμάτων του σχήματος 2.9, αντίστοιχα.

Όπως φαίνεται από τα κυκλώματα των τρανζίστορ και τα ισοδύναμά τους, ισχύει πάντοτε η ισότητα:

$$I_e = I_c + I_b \tag{2.20}$$

Εξάλλου, για ιδανικές χαρακτηριστικές εξόδου του κυκλώματος με κοινή βάση και επειδή η αντίσταση r_c είναι μεγάλη, η σχέση (2.18) παίρνει τη μορφή:

$$I_c = I_{co} + \alpha I_e \tag{2.21}$$

Ακολουθώντας την ίδια μεθοδολογία και για το κύκλωμα με κοινό εκπομπό, μπορούμε να έχομε:

$$I_c = I'_{co} + \beta I_b \tag{2.22}$$

όπου β ο συντελεστής ενισχύσεως ρεύματος του τρανζίστορ με κοινό εκπομπό:

$$\beta = \left(\frac{\Delta I_c}{\Delta I_b}\right)_{V_c} \qquad \text{ή} \qquad \beta = \frac{I_c}{I_b} \tag{2.23}$$

Οι συντελεστές α και β συνδέονται μεταξύ τους με τη σχέση:

$$\alpha = \frac{\beta}{1+\beta} \quad \text{ή} \quad \beta = \frac{\alpha}{1-\alpha} \tag{2.24}$$

Σημειώνομε ότι το μέγεθος α ονομάζεται και συντελεστής μεταφοράς ρεύματος σε κύκλωμα με κοινή βάση και το μέγεθος β, συντελεστής μεταφοράς ρεύματος σε κύκλωμα με κοινό εκπομπό. Στη συνθήκη βραχυκυκλωμένου κυκλώματος συλλέκτη, τα μεγέθη αυτά είναι προσεγγιστικά ίσα με τους συντελεστές ενισχύσεως ρεύματος των αντιστοίχων βαθμίδων. Ο συντελεστής α κυμαίνεται μεταξύ 0,95-0,99. Υποθέτοντας ότι είναι α≈1, θα έχομε:

$$I'_{co} >> I_{co} \text{ και } \beta >> \alpha$$

2.6 Ενισχυτές τάσεως με τρανζίστορ.

Από τις τρεις συνδεσμολογίες των τρανζίστορ, κατάλληλες για ενίσχυση τάσεως είναι δύο: η συνδεσμολογία με κοινή βάση και η συνδεσμολογία με κοινό εκπομπό. Η συνδεσμολογία με κοινό συλλέκτη χρησιμοποιείται σε πολυβαθμικούς ενισχυτές, όπου δεν δίνει άμεση ενίσχυση τάσεως, αλλά παίζει βοηθητικό ρόλο.

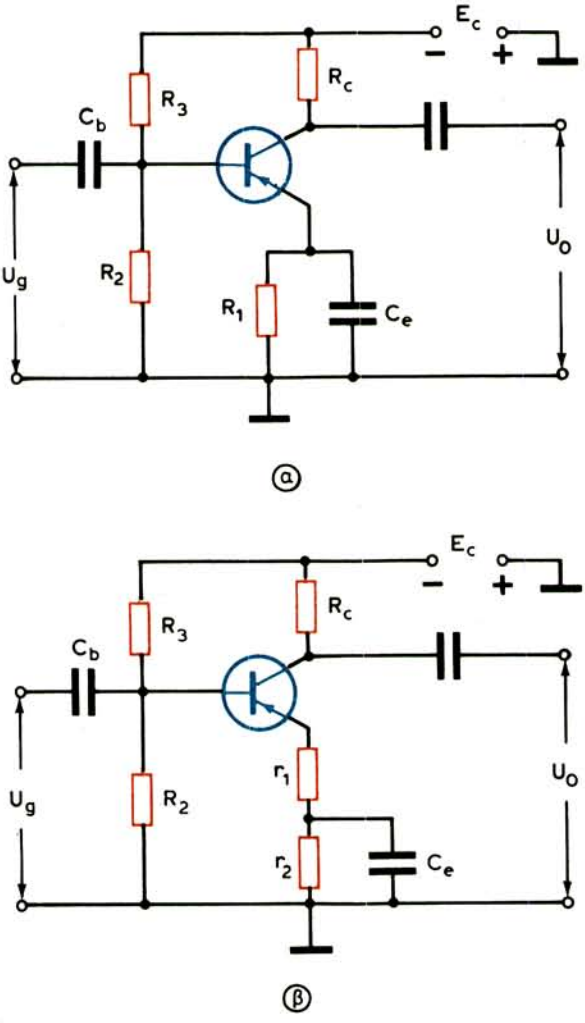
Για ενίσχυση τάσεως ακουστικών συχνοτήτων καταλληλότερη είναι η βαθμίδα με κοινό εκπομπό, επειδή έχει υψηλότερη αντίσταση εισόδου και χαμηλότερη αντίσταση εξόδου σε σύγκριση με τη βαθμίδα κοινής βάσεως.

Κύκλωμα ενισχυτικής βαθμίδας με κοινό εκπομπό φαίνεται στο σχήμα 2.11α. Η αναγκαία τάξη λειτουργίας της βαθμίδας εξασφαλίζεται με την εκλογή της τροφοδοτικής τάσεως E_c και των αντιστάσεων R_1,R_2, και R_3.

Κατά την εκλογή των αντιστάσεων πρέπει να εξασφαλισθεί ικανοποιητικά η σταθερότητα λειτουργίας της βαθμίδας τόσο σε περίπτωση αντικαταστάσεως του τρανζίστορ, όσο και σε περίπτωση μεταβολής της θερμοκρασίας. Αυτό μπορεί να γίνει με εξασφάλιση μικρού ***συντελεστή αστάθειας S,*** για τον οποίο θα μιλήσομε σε άλλη θέση. Το πείραμα δείχνει ότι, σε συνθήκες αστάθειας της θερμοκρασίας (στους 50°C), μερικοί τύποι τρανζίστορ μπορούν να εξασφαλίσουν ικανοποιητική σταθερότητα μόνο με S≤5.

Στο σχήμα 2.11(β). φαίνεται κύκλωμα βαθμίδας, που είναι ανάλογο του κυκλώματος του σχήματος 2.11(α). Εδώ, η αντίσταση R_1 στο κύκλωμα εκπομπού χωρίστηκε σε δύο τμήματα: στις r_1 και r_2, ενώ παραλληλίζεται μόνο η r_2 με μία μεγάλη χωρητικότητα C_e. Στο κύκλωμα αυτό, η πόλωση εκπομπού του τρανζίστορ καθορίζεται από την αντίσταση $R_1=r_1+r_2$ και ταυτόχρονα η r_1 εξασφαλίζει μία ***ανάδραση*** ρεύματος. Για το θέμα της αναδράσεως στους ενισχυτές θα μιλήσομε στην παράγραφο 2.8.

Ας επιχειρήσομε να υπολογίσομε τα βασικά χαρακτηριστικά, που μας παρέ-



Σχ. 2.11.

Κυκλώματα ενισχυτικών βαθμίδων με τρανζίστορ κοινού εκπομπού.

χουν τις ενισχυτικές ικανότητες της βαθμίδας του σχήματος 2.11(α).

Συμβολίζοντας με R_o την ολική αντίσταση φορτίου του συλλέκτη (παίρνοντας υπόψη και τα στοιχεία εισόδου της επόμενης βαθμίδας) και εφαρμόζοντας τους κανόνες του Κίρκωφ στο ισοδύναμο κύκλωμα του σχήματος 2.10(α) υπολογίζομε την αντίσταση εισόδου της βαθμίδας:

$$R_g = r_b + \frac{r_e(r_c + R_o)}{r_c(1 - \alpha) + R_o}$$

Στην πράξη, η αντίσταση φορτίου R_o είναι μικρή σε σύγκριση με την αντίσταση συλλέκτη r_c, οπότε η παραπάνω σχέση απλοποιείται στην ακόλουθη:

$$R_g = r_b + \frac{r_e \cdot r_c}{r_c(1-\alpha)} = r_b + \frac{r_e}{1-\alpha} \qquad (2.25)$$

Ο συντελεστής ενισχύσεως τάσεως ορίζεται πάντοτε από το λόγο της τάσεως εξόδου προς την τάση εισόδου (σχέση 2.1):

$$A_v = \frac{U_o}{U_g} = \frac{R_o \cdot I_c}{U_g}$$

και για να τον υπολογίσομε μας χρειάζεται ο προσδιορισμός της τιμής του ρεύματος συλλέκτη I_c.

Αν δεχθούμε ότι:

$$\alpha r_c >> r_e$$

$$R_o << r_c\,(1-\alpha)$$

$$R_s << R_g$$

ο συντελεστής ενισχύσεως τάσεως A_o, για μια μέση συχνότητα της ακουστικής περιοχής, δίνεται από την απλή σχέση:

$$A_o = \delta \cdot \frac{R_o}{R_g} \qquad (2.26)$$

όπου ο συντελεστής δ υπολογίζεται από τη σχέση (2.24).

Η ενίσχυση στην περιοχή των χαμηλοτέρων ακουστικών συχνοτήτων επηρεάζεται από τις χωρητικότητες C_e και C_b.

Η χωρητικότητα C_e εκλέγεται έτσι, ώστε για μια χαμηλή συχνότητα ω_x να ικανοποιείται η ανισότητα:

$$\omega_x C_e R_1 >> 1$$

Εξάλλου, αν η πηγή του σήματος έχει εσωτερική αντίσταση R_S, η σταθερά χρόνου του κυκλώματος εισόδου θα είναι:

$$\tau_b = C_b\,(R_g + R_s) \qquad (2.27)$$

Έτσι, ο συντελεστής ενισχύσεως για μια χαμηλή ακουστική συχνότητα ω_x δίνεται από την απλή σχέση:

$$A_X = \frac{A_o}{\sqrt{1 + \left(\frac{1}{\omega_x \tau_b}\right)^2}} \tag{2.28}$$

Ο συντελεστής παραμορφώσεων συχνότητας M_x θα είναι (σχέση 2.7):

$$M_x = \frac{A_o}{A_x} = \sqrt{1 + \left(\frac{1}{\omega_x \tau_b}\right)^2} \tag{2.29}$$

Η ενίσχυση στην περιοχή των υψηλοτέρων ακουστικών συχνοτήτων επηρεάζεται από τη χωρητικότητα εξόδου της βαθμίδας, τη χωρητικότητα εισόδου της επόμενης, τη χωρητικότητα καλωδιώσεων κλπ., που όλες μαζί συγκροτούν μια ισοδύναμη χωρητικότητα C_o παράλληλη στο φορτίο R_o.

Η σταθερά χρόνου του κυκλώματος εξόδου θα είναι:

$$\tau_c = C_o R_o \tag{2.30}$$

Ο συντελεστής ενισχύσεως για μια υψηλή ακουστική συχνότητα $\omega_υ$ δίνεται από τη σχέση:

$$A_υ = \frac{A_o}{\sqrt{1 + (\omega_υ \tau_c)^2}} \tag{2.31}$$

οπότε ο συντελεστής παραμορφώσεων συχνότητας $M_υ$ θα είναι (σχέση 2.8):

$$M_υ = \frac{A_o}{A_υ} = \sqrt{1 + (\omega_υ \tau_c)^2} \tag{2.32}$$

Στην περίπτωση που είναι:

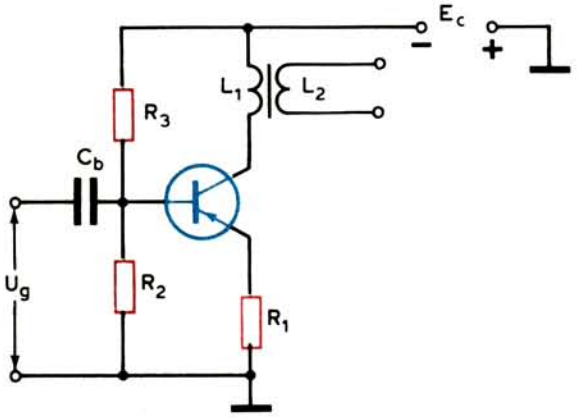
$$\frac{1}{\omega_x \tau_b} = 1 \qquad \text{και} \qquad \omega_υ \tau_c = 1$$

θα έχομε:

$$A_x = A_υ = \frac{A_o}{\sqrt{2}} = 0{,}707\, A_o \qquad \text{και} \qquad M_x = M_υ = \sqrt{2} = 1{,}41$$

Ακόμη είναι:

$$\tau_b = \frac{1}{\omega_x} \qquad \text{και} \qquad C_b = \frac{1}{\omega_x (R_g + R_s)}$$



Σχ. 2.12.
Κύκλωμα ενισχυτικής βαθμίδας με μετασχηματιστή στην έξοδο.

Στο σχήμα 2.12 φαίνεται μια βαθμίδα ενισχύσεως με μετασχηματιστή στην έξοδό της. Με τη χρησιμοποίηση μετασχηματιστή μπορούμε να έχομε καλή προσαρμογή των αντιστάσεων εξόδου της βαθμίδας και εισόδου της επόμενης, καθώς και ουσιαστική αύξηση της ενισχύσεως. Ο μετασχηματιστής, ως στοιχείο συζεύξεως μεταξύ βαθμίδων, εργάζεται με μεγάλη αντίσταση εξόδου της προηγούμενης βαθμίδας και μικρή αντίσταση εισόδου της επόμενης.

Η απόκριση της βαθμίδας του σχήματος 2.12 στην περιοχή των χαμηλοτέρων ακουστικών συχνοτήτων δίνεται από τη σχέση:

$$A_x = \frac{A_o}{\sqrt{1 + \left(\frac{R_i}{\omega_x L_1}\right)^2}}$$

όπου L_1 είναι η αυτεπαγωγή του πρωτεύοντος του μετασχηματιστή και R_i, μια ισοδύναμη αντίσταση, που σχηματίζεται από την παράλληλη σύνδεση της αντιστάσεως εξόδου της βαθμίδας και της αντιστάσεως εισόδου της επόμενης βαθμίδας, που ανάγεται στο πρωτεύον του μετασχηματιστή.

Για την περιοχή των υψηλοτέρων ακουστικών συχνοτήτων έχομε:

$$A_u = \frac{A_o}{\sqrt{1 + \left(\frac{\omega_u L_s}{R_o + r_2'}\right)^2}}$$

όπου L_s η ολική αυτεπαγωγή σκεδάσεως καὶ r_2' η αντίσταση του δευτερεύοντος του μετασχηματιστή, που ανάγεται στο πρωτεύον.

Η ενίσχυση για τις μεσαίες συχνότητες της ακουστικής περιοχής δίνεται από τη σχέση 2.26.

2.7 Ενισχυτές ισχύος με τρανζίστορ.

Οι τελικές βαθμίδες των ενισχυτών ακουστικών συχνοτήτων, που εξασφαλίζουν μεγάλη ισχύ στο φορτίο, κατασκευάζονται με μετασχηματιστή, όταν χρειάζεται να προσαρμοσθεί μια υψηλή αντίσταση εξόδου της βαθμίδας με τη χαμηλή αντίσταση του φορτίου (μεγαφώνου).

Για την εξασφάλιση μεγάλης ισχύος εξόδου, τα τρανζίστορ των τελικών βαθμίδων πρέπει να εργάζονται με μεγάλα σήματα εισόδου, δηλαδή με σήματα που πλησιάζουν τα οριακά επιτρεπόμενα. Με τέτοια σήματα, το σημείο λειτουργίας των τρανζίστορ μετατοπίζεται και σε καμπύλα τμήματα των χαρακτηριστικών εισόδου και εξόδου και, με τέτοιες συνθήκες, λέμε ότι η βαθμίδα εργάζεται σε ***τάξη Β.*** Οι υπολογισμοί των βαθμίδων που εργάζονται σε τάξη Β γίνονται με μέθοδο γραφική και αναλυτική με τη βοήθεια των χαρακτηριστικών εισόδου και εξόδου των τρανζίστορ. Οι μέθοδοι που χρησιμοποιούνται για μικρά σήματα διεγέρσεως των τρανζίστορ (τάξη Α) δεν είναι στην περίπτωση αυτή κατάλληλες.

Οι ενισχυτές ισχύος μπορούν να κατασκευασθούν με ένα ή δύο τρανζίστορ σε συμμετρική διάταξη (ενισχυτές *Push-Pull*).

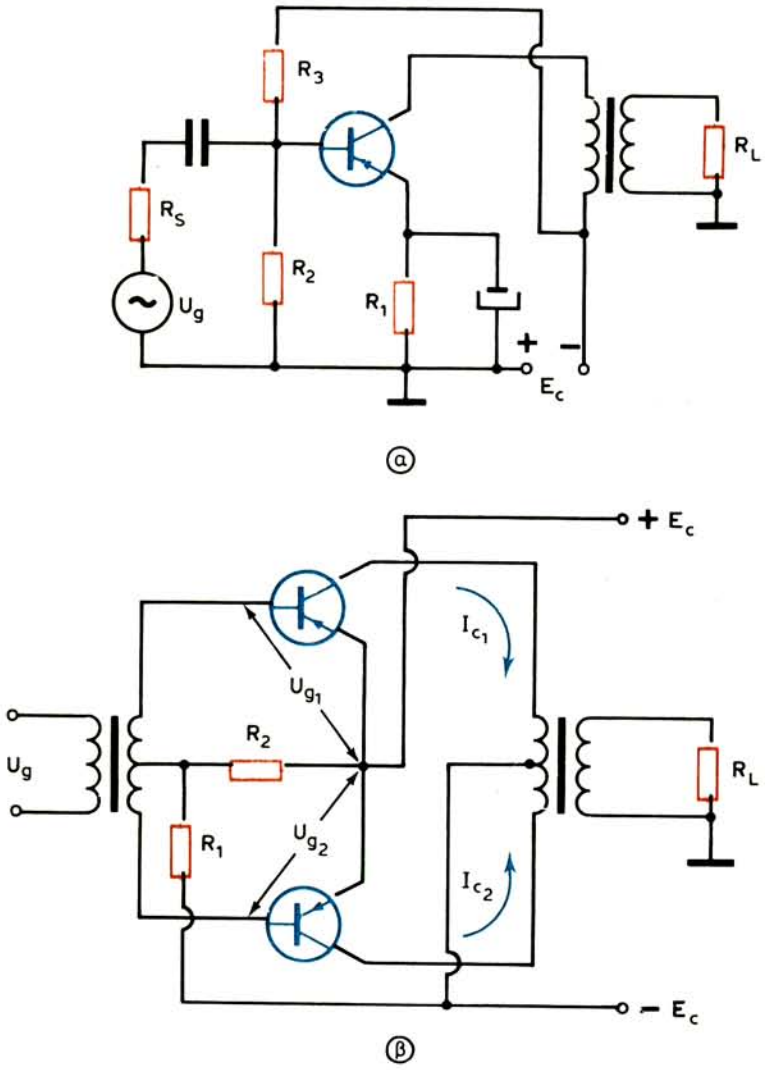
Οι ενισχυτές με ένα τρανζίστορ [σχ. 2.13(α)] εργάζονται μόνο σε τάξη Α, η οποία δεν μπορεί να δώσει βαθμό αποδόσεως μεγαλύτερο από 50%, εξασφαλίζει, όμως, ενίσχυση χωρίς παραμορφώσεις.

Οι συμμετρικοί ενισχυτές [σχ. 2.13(β)] εργάζονται σε τάξη Β, που μπορεί να δώσει βαθμό αποδόσεως γύρω στα 75%, με κάποιες όμως παραμορφώσεις.

Εκτός από τις τάξεις Α και Β, υπάρχει και η ενδιάμεση ***τάξη ΑΒ***, που χρησιμοποιείται στους συμμετρικούς ενισχυτές και δίνει μικρότερη ισχύ εξόδου, χαμηλότερο βαθμό αποδόσεως και λιγότερες παραμορφώσεις σε σύγκριση με την τάξη Β.

Οι ενισχυτές ισχύος μπορούν να συνδεσμολογηθούν με οποιονδήποτε από τους τρεις γνωστούς τρόπους. Το κύκλωμα με κοινή βάση παρέχει μικρές αρμονικές παραμορφώσεις, αλλά και μικρή ενίσχυση ισχύος. Το κύκλωμα με κοινό εκπομπό παρέχει τη μεγαλύτερη ενίσχυση ισχύος, αλλά και μεγάλες συγκριτικά παραμορφώσεις. Το κύκλωμα με κοινό συλλέκτη, που μάλλον χρησιμοποιείται σπάνια, με χαμηλή τροφοδοτική τάση εξασφαλίζει: την ίδια περίπου ενίσχυση με το κύκλωμα κοινής βάσεως, μερικώς, μικρότερες παραμορφώσεις απ' ό,τι το κύκλωμα με κοινό εκπομπό και αντίσταση εισόδου αρκετά υψηλή.

Θα περιγράψομε σύντομα τη λειτουργία του ενισχυτή με τη συμμετρική διάταξη των τρανζίστορ.



Σχ. 2.13.
Ενισχυτές ισχύος.
α) Με ένα τρανζίστορ. β) Με δύο τρανζίστορ σε συμμετρική διάταξη.

Τα δύο τρανζίστορ του κυκλώματος είναι όμοια και όλα τα υπόλοιπα στοιχεία του συνδέονται συμμετρικά ως προς την τροφοδοτική πηγή. Για τη λειτουργία του ενισχυτή οι τάσεις διεγέρσεως U_{g1} και U_{g2} πρέπει να είναι ίσες κατά μέγεθος και αντίθετες κατά φάση. Τις συνθήκες αυτές τις εξασφαλίζει ο μετασχηματιστής εισόδου με τη μεσαία του λήψη. Ο μετασχηματιστής αυτός ονομάζεται και ***μετασχηματιστής αναστροφής φάσεως.***

Με πλήρη συμμετρία (όμοια τρανζίστορ, ίσες συνεχείς τάσεις στους συλλέκτες, μεσαία λήψη στο πρωτεύον του μετασχηματιστή εξόδου κλπ.), οι συνεχείς συνιστώσες των ρευμάτων των συλλεκτών είναι ίσες. Επειδή τα ρεύματα αυτά κυκλοφορούν στο πρωτεύον του μετασχηματιστή εξόδου προς αντίθετες κατευθύνσεις, προκαλούν αντίθετες μαγνητίσεις του πυρήνα του μετασχηματιστή, που αμοιβαία αντισταθμίζονται. Έτσι ο μετασχηματιστής εξόδου εργάζεται χωρίς συνεχές ρεύμα μαγνητίσεως, πράγμα που απλοποιεί την κατασκευή του.

Οι εναλλασσόμενες συνιστώσες των ρευμάτων των συλλεκτών των δύο τρανζίστορ είναι επίσης ίσες, αλλά αντίθετες κατά φάση (οι τάσεις διεγέρσεως είναι αντιφασικές), δηλαδή έχομε:

$$i_{c1} = -i_{c2}$$

Όμως και αυτά τα ρεύματα κυκλοφορούν στο πρωτεύον προς αντίθετες κατευθύνσεις και επομένως η εναλλασσόμενη μαγνητική ροή, που δημιουργούν στον πυρήνα του μετασχηματιστή και η οποία προκαλεί την εμφάνιση τάσεως στο δευτερεύον, εξαρτάται από τη διαφορά τους.

Επομένως το ολικό ρεύμα πρωτεύοντος θα είναι:

$$i_{co} = i_{c1} - (-i_{c2}) = i_{c1} + i_{c2}$$

και επειδή $i_{c1} = i_{c2}$, παίρνομε:

$$i_{co} = 2i_c$$

Η τελευταία σχέση δείχνει ότι η ισχύς, που παρέχουν τα δύο τρανζίστορ στο δευτερεύον του μετασχηματιστή εξόδου, είναι διπλάσια από την ισχύ που παρέχει το ένα τρανζίστορ.

Οι συμμετρικοί ενισχυτές εργάζονται, όπως είπαμε, σε τάξη Β ή και σε τάξη ΑΒ. Στις τάξεις αυτές τα ρεύματα των συλλεκτών των τρανζίστορ έχουν παλμική μορφή, δηλαδή είναι παραμορφωμένα. Τέτοια ρεύματα αναλύονται σε μια συνεχή συνιστώσα και σε μερικές εναλλασσόμενες με συχνότητες που σχηματίζουν αριθμητική πρόοδο (f, 2f, 3f κλπ.). Οι συχνότητες αυτές ονομάζονται ***αρμονικές*** και από αυτές ωφέλιμη είναι η πρώτη αρμονική. Οι υπόλοιπες δημιουργούν τις αρμονικές (μη γραμμικές) παραμορφώσεις, των οποίων το μέγεθος εξαρτάται από τον αριθμό και τα πλάτη των αρμονικών (εκτός της πρώτης).

Μπορεί ν' αποδειχθεί ότι οι συμμετρικοί ενισχυτές καταργούν τις αρμονικές άρτιας τάξεως (2η, 4η κλπ.) και έτσι ελαττώνονται σημαντικά οι παραμορφώσεις (σχέση 2.6). Επίσης, καταργούνται οι βόμβοι που οφείλονται σε κυμάτωση της τροφοδοτικής τάσεως.

Συνοψίζοντας, μπορούμε να πούμε ότι τα βασικά πλεονεκτήματα των συμ-

μετρικών ενισχυτών, σε σύγκριση με τους απλούς, είναι τα ακόλουθα:

- Διπλάσια ισχύς εξόδου.
- Ελάττωση των παραμορφώσεων.
- Κατάργηση των βόμβων.
- Απουσία συνεχούς ρεύματος μαγνητίσεως του πυρήνα του μετασχηματιστή εξόδου.

Ας πούμε τώρα δύο λόγια για το θέμα της προσαρμογής της αντιστάσεως εξόδου R_α του ενισχυτή προς την αντίσταση R_β του μεγαφώνου.

Είπαμε ότι προορισμός του μετασχηματιστή εξόδου είναι η παραπάνω προσαρμογή. Αυτό γίνεται με κατάλληλη εκλογή του λόγου μετασχηματισμού n του μετασχηματιστή. Ο τελευταίος συνδέεται με τις αντιστάσεις R_α και R_β με τη σχέση:

$$R_\alpha = n^2 R_\beta \tag{2.33}$$

όπου $n = n_1/n_2$ (n_1 και n_2 αριθμός σπειρών πρωτεύοντος και δευτερεύοντος αντίστοιχα).

Στην περίπτωση των συμμετρικών ενισχυτών, η τελευταία σχέση παίρνει τη μορφή:

$$2R_\alpha = n^2 R_\beta \tag{2.34}$$

Κλείνομε την παράγραφο με δύο παρατηρήσεις:

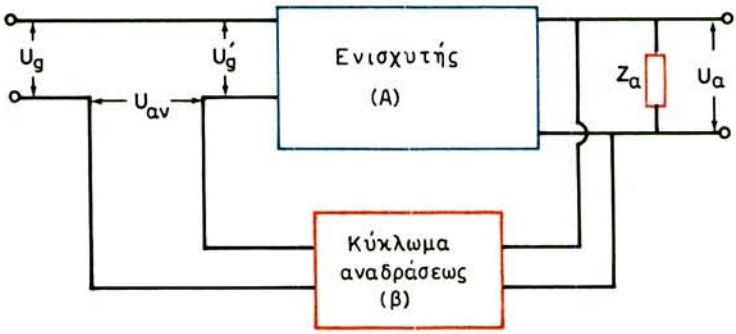
1) Ο μετασχηματιστής εισόδου στους ενισχυτές ισχύος δεν είναι απαραίτητος. Όπως θα δούμε, η αναστροφή φάσεως που χρειάζεται για τη λειτουργία των συμμετρικών ενισχυτών μπορεί να επιτευχθεί με δύο τρανζίστορ ή ακόμη και με ένα.
2) Δεν είναι επίσης απαραίτητος και ο μετασχηματιστής προσαρμογής στην έξοδο. Υπάρχουν σήμερα τρανζίστορ και συνδυασμοί τους, καθώς και ολοκληρωμένα κυκλώματα, κατάλληλα για την τροφοδότηση μεγαφώνων χωρίς μετασχηματιστή εξόδου.

Συνδεσμολογίες τέτοιων ενισχυτών θα δούμε στις παραγράφους 2.10 και 2.11.

2.8 Η ανάδραση στους ενισχυτές – Ενισχυτής με κοινό συλλέκτη.

Η επιστροφή μιας τάσεως ή και ρεύματος από την έξοδο του ενισχυτή στην είσοδό του ονομάζεται ***ανάδραση*** ή ***ανασύζευξη.*** Η ανάδραση μπορεί να είναι παρασιτική και επομένως ανεπιθύμητη ή τεχνητή, δηλαδή επιθυμητή, οπότε γίνεται με τη βοήθεια ειδικών ***κυκλωμάτων αναδράσεως*** (σχ. 2.14).

Αν η τάση αναδράσεως $U_{\alpha\nu}$ συμπίπτει φασικά με την τάση του σήματος U_g, έχομε ***θετική ανάδραση.*** Στην περίπτωση αυτή, η τάση στην είσοδο του τρανζίστορ θα είναι:



Σχ. 2.14.
Διάγραμμα αναδράσεως σε ενισχυτή.

$$U'_g = U_g + U_{\alpha\nu} \tag{2.35}$$

Αν οι τάσεις $U_{\alpha\nu}$ και U_g είναι αντιφασικές (διαφορά φάσεως μεταξύ τους 180°), έχομε ***αρνητική ανάδραση*** και είναι:

$$U'_g = U_g - U_{\alpha\nu} \tag{2.36}$$

Το μέγεθος που δείχνει πόσο ποσοστό της τάσεως εξόδου επιστρέφει στην είσοδο του ενισχυτή, ονομάζεται ***συντελεστής αναδράσεως*** και προσδιορίζεται από τη σχέση:

$$\beta = \frac{U_{\alpha\nu}}{U_\alpha} \tag{2.37}$$

Ο συντελεστής β είναι συνήθως πολύ μικρότερος από τη μονάδα.

Οι συντελεστές ενισχύσεως των βαθμίδων με ανάδραση παρέχονται από τις σχέσεις:

για θετική
$$A' = \frac{U_\alpha}{U_g} = \frac{U_\alpha}{U'_g - U_{\alpha\nu}} \tag{2.38}$$

και για αρνητική
$$A' = \frac{U_\alpha}{U_g} = \frac{U_\alpha}{U'_g + U_{\alpha\nu}} \tag{2.39}$$

Διαιρούμε αριθμητή και παρονομαστή των σχέσεων αυτών με U_α και επειδή είναι $A = U_\alpha/U'_g$ και $\beta = U_{\alpha\nu}/U_\alpha$, έχομε:

$$A' = \frac{A}{1 - \beta A} \qquad \text{για θετική} \tag{2.40}$$

και $$A' = \frac{A}{1 + \beta A} \quad \text{για αρνητική} \qquad (2.41)$$

από όπου προκύπτει ότι ο συντελεστής ενισχύσεως A΄ της βαθμίδας, με θετική ανάδραση μεγαλώνει και με αρνητική μικραίνει, σε σύγκριση με το συντελεστή ενισχύσεως A χωρίς ανάδραση.

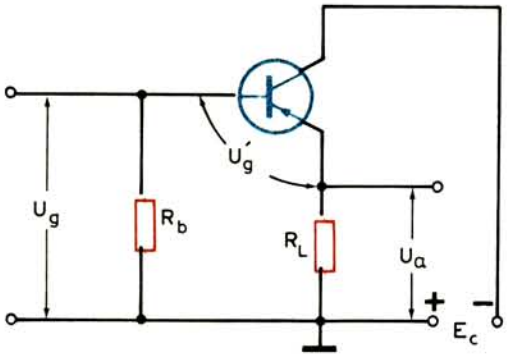
Η αρνητική ανάδραση, αν και υποβιβάζει το συντελεστή ενισχύσεως, χρησιμοποιείται ευρέως στους ενισχυτές ακουστικών σημάτων, επειδή ελαττώνει όλα τα είδη παραμορφώσεων. Μεγαλύτερη εφαρμογή της αρνητικής αναδράσεως γίνεται στους ενισχυτές που εργάζονται στις τάξεις AB και B, όπου οι αρμονικές παραμορφώσεις είναι μεγάλες. Ο συντελεστής παραμορφώσεως γ΄ για ενισχυτή με αρνητική ανάδραση συνδέεται με το συντελεστή παραμορφώσεως γ (σχέση 2.6) του ίδιου ενισχυτή, χωρίς ανάδραση με τη σχέση:

$$\gamma' = \frac{\gamma}{1 + \beta A} \qquad (2.42)$$

Η θετική ανάδραση χρησιμοποιείται σε ενισχυτές υψηλών συχνοτήτων, όταν θέλομε να μετατραπούν σε ταλαντωτές.

Στους ενισχυτές ακουστικών σημάτων δημιουργούνται πολλές φορές παρασιτικές θετικές αναδράσεις, οι οποίες ακούγονται στο μεγάφωνο. Για την κατάργησή τους, κάθε στοιχείο του κυκλώματος (τροφοδοτική πηγή, αντίσταση), που μπορεί να δημιουργήσει παρασιτική θετική ανάδραση, παραλληλίζεται με έναν πυκνωτή μεγάλης σχετικά χωρητικότητας.

Ένας ενισχυτής που εργάζεται με αρνητική ανάδραση είναι ο ενισχυτής με κοινό συλλέκτη (σχ. 2.15). Σ' αυτό τον ενισχυτή η τάση εισόδου U_g εφαρμόζεται μεταξύ βάσεως και κοινού συλλέκτη (γης), ενώ η τάση εξόδου αναπτύσσεται στα άκρα της αντιστάσεως φορτίου, που συνδέεται στον εκπομπό.



Σχ. 2.15.
Ενισχυτής με κοινό συλλέκτη.

Όπως φαίνεται από το κύκλωμα, έχομε:

$$U_g = U_g' + U_\alpha \qquad \text{ή} \qquad U_g' = U_g - U_\alpha$$

δηλαδή πρόκειται για ενισχυτή με αρνητική ανάδραση (σχέση 2.36).

Η τάση αναδράσεως $U_{\alpha v}$ είναι ίση με την τάση εξόδου U_α και επομένως έχομε συντελεστή αναδράσεως β (σχέση 2.37) ίσο με:

$$\beta = \frac{U_{\alpha v}}{U_\alpha} = \frac{U_\alpha}{U_\alpha} = 1$$

δηλαδή αρνητική ανάδραση 100%.

Ο συντελεστής ενισχύσεως A΄, ύστερα από την ανάδραση είναι (σχέση 2.41):

$$A' = \frac{A}{1 + \beta A} = \frac{A}{1 + A} < 1$$

πράγμα που σημαίνει ότι ο ενισχυτής αυτός δεν είναι κατάλληλος για ενίσχυση τάσεως.

Μπορεί ν' αποδειχθεί ότι ο ενισχυτής με κοινό συλλέκτη είναι κατάλληλος για ενίσχυση ρεύματος. Ακόμη, είναι ενισχυτής που παρουσιάζει μεγάλη αντίσταση εισόδου και μικρή αντίσταση εξόδου και επομένως μπορεί να χρησιμοποιηθεί για προσαρμογή αντιστάσεων.

2.9 Σταθεροποίηση λειτουργίας τρανζίστορ.

Από τη θεωρία των τρανζίστορ γνωρίζομε ότι όλες οι παράμετροί τους εξαρτώνται από τη θερμοκρασία και επομένως, με τη μεταβολή της, εμφανίζεται ***θερμική αστάθεια*** κατά τη λειτουργία των διαφόρων κυκλωμάτων. Η θερμική αστάθεια εκφράζεται με το συντελεστή:

$$S = \frac{\Delta I_c}{\Delta I_{co}} \tag{2.43}$$

όπου ΔI_c η μεταβολή του ρεύματος συλλέκτη με σήμα (σε δυναμική λειτουργία), που προκαλείται από μεταβολή της θερμοκρασίας, και ΔI_{co} η μεταβολή με τη θερμοκρασία του ρεύματος συλλέκτη σε ηρεμία (στατική λειτουργία).

Όσο μικρότερος είναι ο συντελεστής S, τόσο σε μικρότερο βαθμό επιδρά η μεταβολή της θερμοκρασίας στη λειτουργία της βαθμίδας, δηλαδή τόσο μεγαλύτερη είναι η σταθερότητα λειτουργίας της (ο συντελεστής σταθερότητας σ είναι αντίστροφος του συντελεστή αστάθειας S, δηλαδή $\sigma = 1/S$).

Στις βαθμίδες ενισχύσεως ακουστικών συχνοτήτων χρησιμοποιείται συχνότερα, όπως είδαμε, η συνδεσμολογία με κοινό εκπομπό, που δίνει το μεγαλύτερο συντελεστή ενισχύσεως. Η συνδεσμολογία αυτή «υποφέρει» από σημαντική θερμική αστάθεια και για την ελάττωσή της παίρνονται ειδικά μέτρα ***θερμικής σταθεροποιήσεως.*** Το σημείο λειτουργίας του τρανζίστορ σταθεροποιείται με τη βοήθεια της αρνητικής αναδράσεως στο συνεχές ρεύμα και με ειδικά κυκλώματα πολώσεως. Τέτοια κυκλώματα συναντήσαμε στις βαθμίδες των σχημάτων 2.11, 2.12 και 2.13(α).

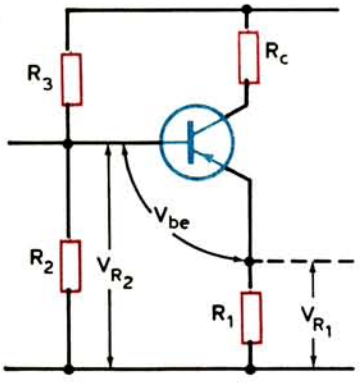
Η θέση του σημείου λειτουργίας στη χαρακτηριστική του τρανζίστορ στις βαθμίδες αυτές εξαρτάται από το συσχετισμό των αντιστάσεων R_2 και R_3 και της αντιστάσεως R_1 στο κύκλωμα εκπομπού (σχ. 2.16).

Το μέγεθος του ρεύματος της βάσεως, που καθορίζει το σημείο λειτουργίας εξαρτάται από την τάση V_{be} μεταξύ βάσεως και εκπομπού. Η τάση αυτή αριθμητικά ισούται με τη διαφορά των πτώσεων τάσεως στις αντιστάσεις R_2 και R_1:

$$V_{be}=V_{R2} - V_{R1} \qquad (2.44)$$

Αν με την επίδραση της θερμοκρασίας μεγαλώσει το ρεύμα της βάσεως, μεγαλώνει ταυτόχρονα και το ρεύμα που περνάει από την αντίσταση πολώσεως R_3, καθώς και το ρεύμα που περνάει από την αντίσταση R_1. Με την αύξηση του ρεύματος στο κύκλωμα πολώσεως, μεγαλώνει και η πτώση τάσεως στην R_3, πράγμα που οδηγεί σε ελάττωση της συνεχούς τάσεως που εφαρμόζεται στη βάση και, επομένως, σε ελάττωση του ρεύματος της βάσεως.

Με την αύξηση της πτώσεως τάσεως στην αντίσταση R_1, η τάση V_{be} ελαττώνεται (σχέση 2.44), πράγμα που επίσης οδηγεί σε ελάττωση του ρεύματος της βάσεως.



Σχ. 2.16.
Σταθεροποίηση λειτουργίας τρανζίστορ.

Ο συντελεστής αστάθειας S για το κύκλωμα αυτό, μπορεί να υπολογισθεί από την επόμενη σχέση:

$$S = 1 + \frac{\alpha R_2}{(1-\alpha)\, R_2 + R_1'} \tag{2.45}$$

Για τα τρανζίστορ που χρησιμοποιούνται στις ενισχυτικές βαθμίδες, ο συντελεστής μεταφοράς ρεύματος είναι $\alpha \approx 0{,}96\text{-}0{,}98$, οπότε η σχέση (2.45) μπορεί να απλοποιηθεί στην επόμενη:

$$S = 1 + \frac{R_2}{R_1'} \tag{2.46}$$

όπου:

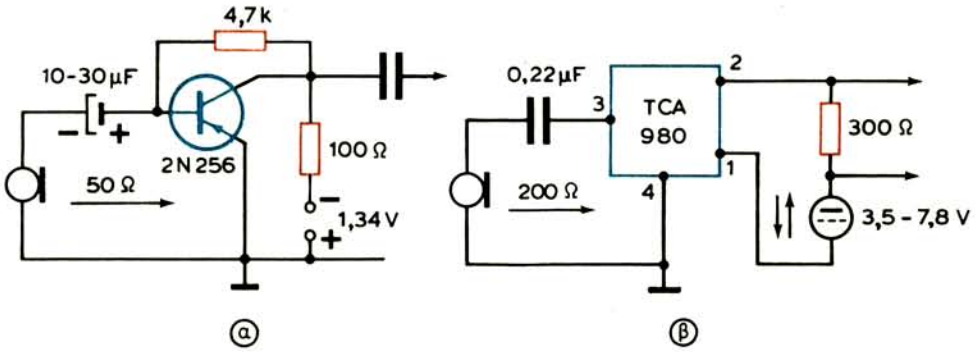
$$R_1' = \frac{R_1}{R_3}\,(R_2 + R_3)$$

Είναι εύκολο να παρατηρήσομε ότι όσο μικρότερη είναι η αντίσταση R_2 και μεγαλύτερη η αντίσταση R_1 στο κύκλωμα εκπομπού, τόσο μικρότερος είναι ο συντελεστής αστάθειας και μεγαλύτερος ο συντελεστής σταθερότητας λειτουργίας της βαθμίδας.

Πρέπει να σημειώσομε, οτι το κύκλωμα σταθεροποιήσεως R_2 και R_3 μιας βαθμίδας είναι συμπληρωματικό φορτίο του συλλέκτη της προηγούμενης βαθμίδας. Με την ελάττωση των αντιστάσεων R_2 και R_3, η ισοδύναμη αντίσταση φορτίου του συλλέκτη της προηγούμενης βαθμίδας ελαττώνεται, πράγμα που προκαλεί πτώση του συντελεστή ενισχύσεως αυτής της βαθμίδας.

2.10 Συνδεσμολογίες προενισχυτών.

Οι προενισχυτές (ενισχυτές τάσεως) ακουστικών σημάτων διεγείρονται από διάφορες πηγές, όπως είναι τα μικρόφωνα, οι κεφαλές των πικάπ και των μαγνητοφώνων και ακόμη τα ραδιόφωνα (από την έξοδο του φωρατή τους). Από την άποψη στάθμης σήματος εξόδου, οι πηγές αυτές μπορούν να διαιρεθούν σε δύο κατηγορίες: σε πηγές με χαμηλή και σε πηγές με υψηλή στάθμη εξόδου. Επίσης, διακρίνονται σε πηγές με χαμηλή και υψηλή εσωτερική αντίσταση. Η σύνδεση των πηγών αυτών στην είσοδο της πρώτης βαθμίδας του προενισχυτή, που συνήθως είναι τρανζίστορ με κοινό εκπομπό, δεν μπορεί γενικά να γίνει άμεσα. Χρειάζεται κάποιο κύκλωμα προσαρμογής της εσωτερικής αντιστάσεως της πηγής του ακουστικού σήματος προς την αντίσταση εισόδου του προενισχυτή. Παρουσιάζομε στη συνέχεια μερικές τέτοιες συνδεσμολογίες.



Σχ. 2.17.
Προενισχυτές χαμηλής αντιστάσεως εισόδου.
α) Με τρανζίστορ. β) Με ολοκληρωμένο κύκλωμα.

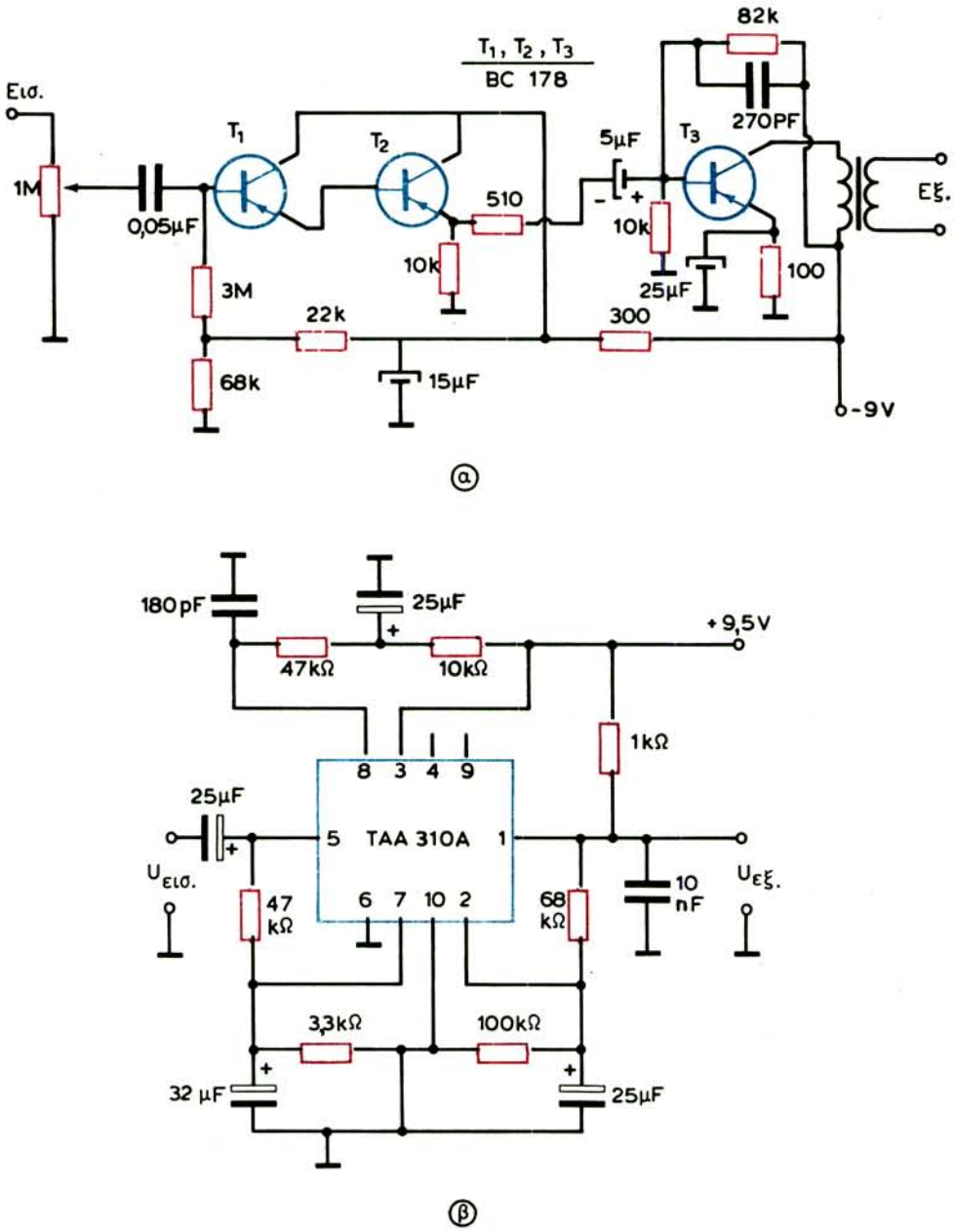
Για τη σύνδεση μικροφώνου χαμηλής αντιστάσεως (30-50 Ω) πρέπει να χρησιμοποιηθεί μετασχηματιστής προσαρμογής ή ειδική συνδεσμολογία με δύο ή περισσότερα τρανζίστορ. Υπάρχουν όμως τρανζίστορ, όπως το 2N256, και ολοκληρωμένα κυκλώματα, όπως το TCA 980, που έχουν χαμηλή αντίσταση εισόδου και επομένως ένα μικρόφωνο με χαμηλή επίσης εσωτερική αντίσταση μπορεί να συνδεθεί άμεσα. Οι συνδεσμολογίες αυτές φαίνονται στο σχήμα 2.17. Το ολοκληρωμένο κύκλωμα TCA 980 [σχ. 2.17(β)] μπορεί να λειτουργήσει με οποιαδήποτε πολικότητα της τροφοδοτικής πηγής.

Δύο συνδεσμολογίες προενισχυτών υψηλής αντιστάσεως εισόδου με τρανζίστορ και ολοκληρωμένο κύκλωμα φαίνονται στο σχήμα 2.18. Ας πούμε δυο λόγια για τις συνδεσμολογίες αυτές.

Στο κύκλωμα του σχήματος 2.18(α), τα τρανζίστορ T_1 και T_2 (BC 178), που είναι συνδεσμολογημένα με κοινό συλλέκτη και έχουν άμεση (γαλβανική) σύζευξη μεταξύ τους, συγκροτούν την πρώτη βαθμίδα του προενισχυτή. Η συνδεσμολογία αυτή εξασφαλίζει, όπως είπαμε, υψηλή αντίσταση εισόδου (περίπου 500 kΩ) και επιτρέπει να συνδεθεί άμεσα στην είσοδο της βαθμίδας μια κρυσταλλική ή κεραμική κεφαλή πικάπ.

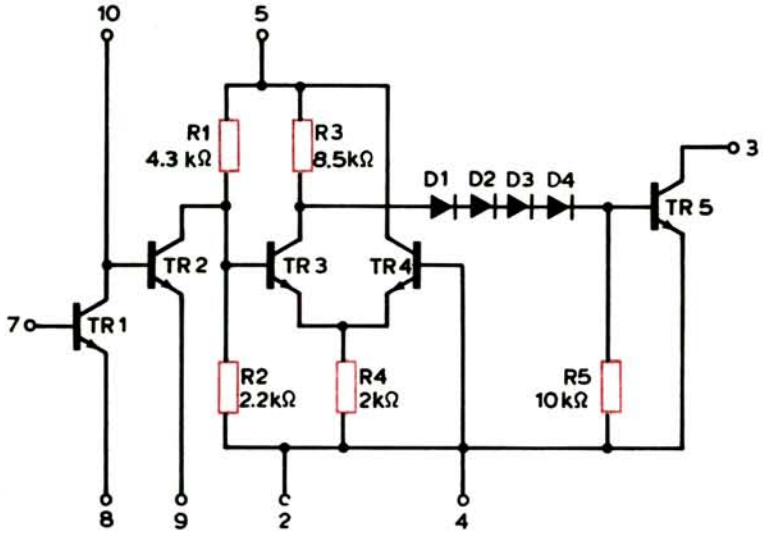
Η δεύτερη βαθμίδα του προενισχυτή με το τρανζίστορ T_3 (BC 178) έχει φορτίο το πρωτεύον ενός μετασχηματιστή προσαρμογής. Το δευτερεύον αυτού του μετασχηματιστή διεγείρει τη βαθμίδα ισχύος, που ακολουθεί, με τάσεις οι οποίες διαφέρουν φασικά μεταξύ τους κατά 180° (ο ενισχυτής ισχύος είναι συμμετρικός).

Το ολοκληρωμένο κύκλωμα TAA 310A [σχ. 2.18(β)] περιλαμβάνει πέντε τρανζίστορ (σχ. 2.19). Το πρώτο τρανζίστορ (TR1) με την εξωτερική αντίσταση των 47 kΩ στη βάση του [σχ. 2.18(β)] έχει αντίσταση εισόδου 50 kΩ και μπορεί να συνδεθεί άμεσα ένα κρυσταλλικό μικρόφωνο ή κρυσταλλικό πικάπ. Αν η

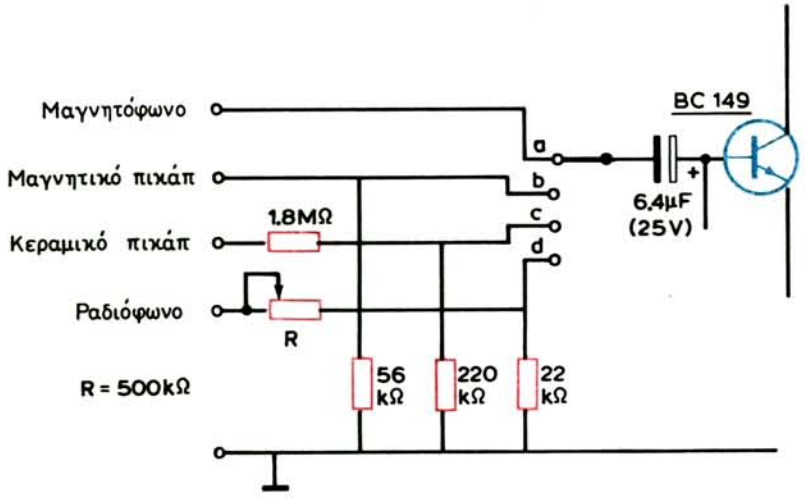


Σχ. 2.18.

Προενισχυτές υψηλής αντιστάσεως εισόδου.
α) Με τρανζίστορ. β) Με ολοκληρωμένο κύκλωμα.



Σχ. 2.19.
Ισοδύναμο κύκλωμα του ολοκληρωμένου TAA310A.



Σχ. 2.20.
Μεταγωγή ακουστικών πηγών στην είσοδο προενισχυτή.

αντίσταση των 47 kΩ αντικατασταθεί με μία των 8 kΩ περίπου, πρέπει να συνδεθεί στην είσοδο του προενισχυτή ένα δυναμικό μικρόφωνο ή ηλεκτρόφωνο (πικάπ).

Τα τρανζίστορ TR3 και TR4 συγκροτούν ένα διαφορικό ενισχυτή, που τροφοδοτεί την τελική βαθμίδα με το τρανζίστορ TR5.

Ο προενισχυτής αυτός έχει απολαβή γύρω στα 70 dB με θόρυβο μικρότερο από 4 dB στην περιοχή συχνοτήτων 30 Hz έως 15 kHz.

Στην πράξη παρουσιάζεται η ανάγκη λειτουργίας ενός ενισχυτή που να δέχεται σήματα από μερικές ακουστικές πηγές. Το πρόβλημα λύνεται με τη μεταγωγή των κυκλωμάτων που απαιτούνται για την προσαρμογή της πηγής στην είσοδο του προενισχυτή, σε κάθε περίπτωση. Η αρχή μιας τέτοιας συνδεσμολογίας φαίνεται στο σχήμα 2.20. Η τιμή του ποτενσιομέτρου R (σε σύνδεση ροοστάτη) ρυθμίζεται ανάλογα με τη στάθμη του σήματος εισόδου. Η συνδεσμολογία προσαρμόζεται και στην είσοδο ολοκληρωμένου κυκλώματος.

2.11 Συνδεσμολογίες ενισχυτών ισχύος.

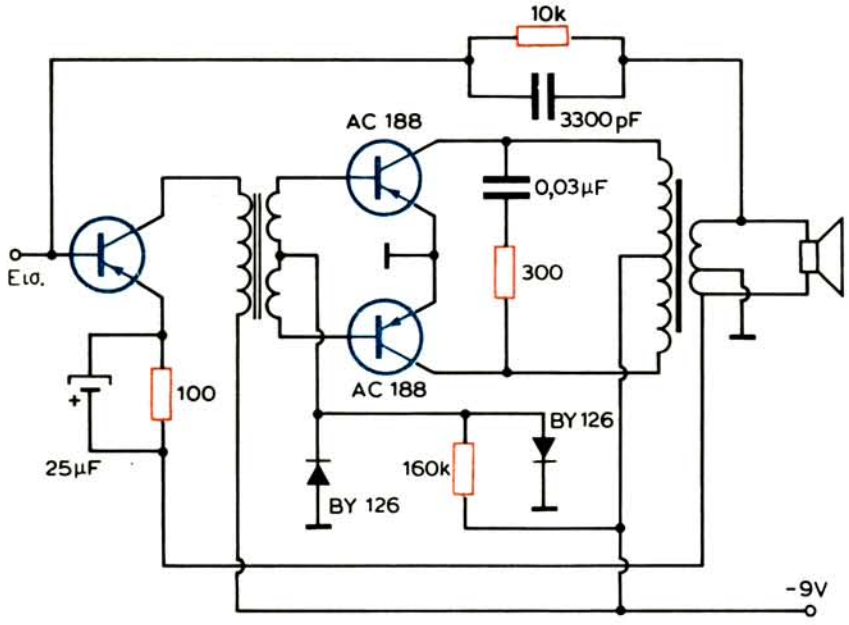
Οι σύγχρονοι ενισχυτές ισχύος κατασκευάζονται με ολοκληρωμένα κυκλώματα ή με συνδυασμό ολοκληρωμένων κυκλωμάτων και τρανζίστορ. Ως προς τη συνδεσμολογία ανήκουν στην κατηγορία των συμμετρικών διατάξεων που λειτουργούν χωρίς μετασχηματιστή αναστροφής φάσεως στην είσοδό τους και χωρίς μετασχηματιστή προσαρμογής στην έξοδό τους. Ωστόσο, υπάρχουν ακόμη συνδεσμολογίες ενισχυτών ισχύος με τρανζίστορ που διαθέτουν τέτοιους μετασχηματιστές. Ως προς την ισχύ εξόδου υπάρχει μεγάλη ποικιλία ενισχυτών. Ενισχυτές με ισχύ 2×15 W, 2×25 W, 2×40 W, 2×80 W είναι πολύ συνηθισμένοι. Υπάρχουν όμως και ενισχυτές με ισχύ από 1-15 W. Παρουσιάζομε μερικές συνδεσμολογίες.

Στο σχήμα 2.21 φαίνεται ένας ενισχυτής ισχύος με τα τρανζίστορ AC 188 που διαθέτει μετασχηματιστή αναστροφής φάσεως στην είσοδο και μετασχηματιστή προσαρμογής στην έξοδο. Η τάση πολώσεως στις βάσεις των τρανζίστορ παίρνεται από το διαιρέτη τάσεως που σχηματίζουν οι δύο δίοδες BY 126 με την αντίσταση 160 kΩ. Οι δίοδες αυτές, που συνδέονται παράλληλα και ετεροπολικά, εξασφαλίζουν τη θερμική σταθεροποίηση των τρανζίστορ της βαθμίδας.

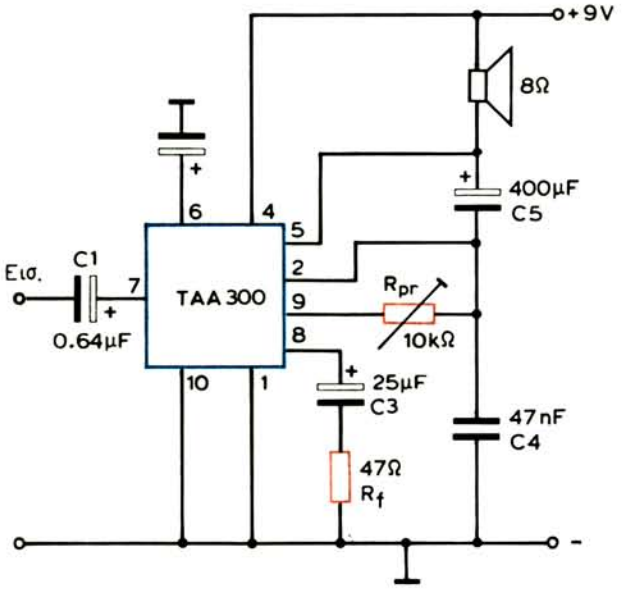
Μεταξύ της τελικής βαθμίδας και της προηγούμενης (της τελικής του προενισχυτή) υπάρχει διπλή αρνητική ανάδραση με τα στοιχεία 10 kΩ, 3300 pF και 100 Ω, 25 μF.

Ο ενισχυτής παρέχει ισχύ εξόδου 1 W περίπου σε αντίσταση μεγαφώνου 8 Ω. Η περιοχή ενισχυομένων συχνοτήτων περιορίζεται μεταξύ των 120 και 11000 Hz (πτώση 3dB από τη μέγιστη απολαβή σ' αυτές τις ακραίες συχνότητες).

Ενισχυτής με τις ίδιες επιδόσεις με τον προηγούμενο (ισχύς εξόδου 1 W) φαίνεται στο σχήμα 2.22. Χρησιμοποιεί το ολοκληρωμένο TAA 300, του οποίου



Σχ. 2.21.
Ενισχυτής ισχύος με τρανζίστορ και μετασχηματιστές στην είσοδο και έξοδο.



Σχ. 2.22.
Ενισχυτής ισχύος με το ολοκληρωμένο TAA300.

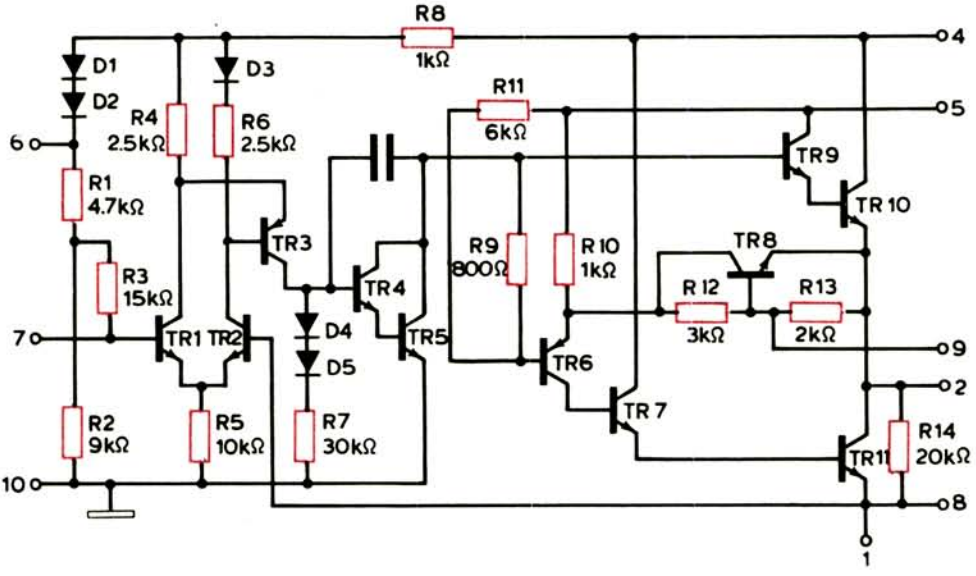
το ισοδύναμο κύκλωμα φαίνεται στο σχήμα 2.23. Ενισχύει μεγαλύτερη περιοχή συχνοτήτων, 120-26000 Hz, από τον προηγούμενο ενισχυτή. Αυτό οφείλεται κυρίως στην απουσία μετασχηματιστών στην είσοδο και έξοδο.

Αναφέρομε τώρα την κατηγορία ενισχυτών με τρανζίστορ χωρίς μετασχηματιστές στην είσοδο και έξοδο.

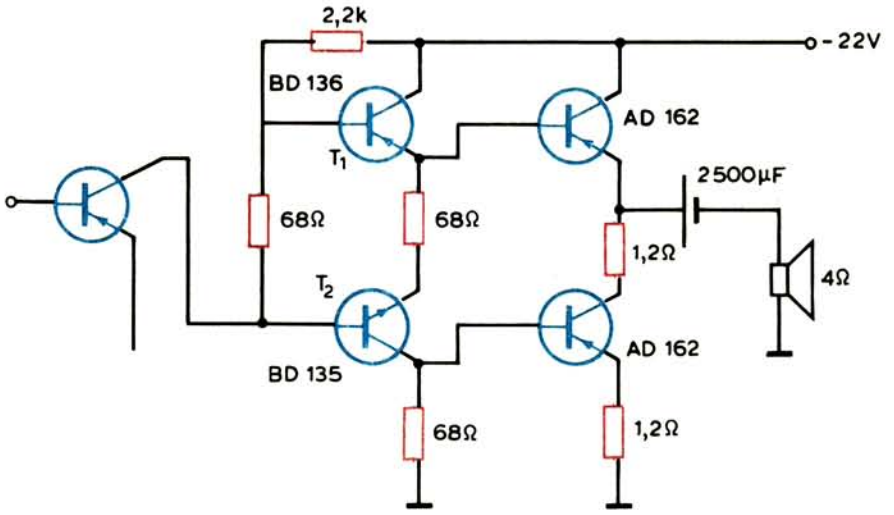
Στο σχήμα 2.24 φαίνεται συνδεσμολογία ενισχυτή ισχύος που οδηγείται από τα τρανζίστορ T_1 (BD 136) και T_2 (BD 135) με διαφορετική αγωγιμότητα. Οι τάσεις εξόδου των τρανζίστορ T_1, T_2 διεγείρουν αντιφασικά τον τελικό ενισχυτή με τα τρανζίστορ AD 162. Τα τρανζίστορ αυτά συνδέονται σε σειρά για το συνεχές ρεύμα και εργάζονται αντιπαράλληλα σε κοινό φορτίο (μεγάφωνο) για το εναλλασσόμενο. Ο ενισχυτής παρέχει ισχύ εξόδου 8 W σε μεγάφωνο 4 Ω στην περιοχή συχνοτήτων 15Hz έως 35 kHz.

Ο ενισχυτής του σχήματος 2.25 συγκροτείται από τον τελεστικό ενισχυτή TLO 71 και τα συμπληρωματικά τρανζίστορ εξόδου BD 249/250. Η ιδιομορφία του κυκλώματος βρίσκεται στην τροφοδοσία του, που γίνεται με δύο ετεροπολικές πηγές των 18 V. Η ισχύς εξόδου του ενισχυτή είναι 40 W περίπου σε αντίσταση μεγαφώνου 4 Ω.

Σημειώνομε ότι οι δίοδες 1N 4001 προστατεύουν τα τρανζίστορ εξόδου από τασικούς παλμούς.

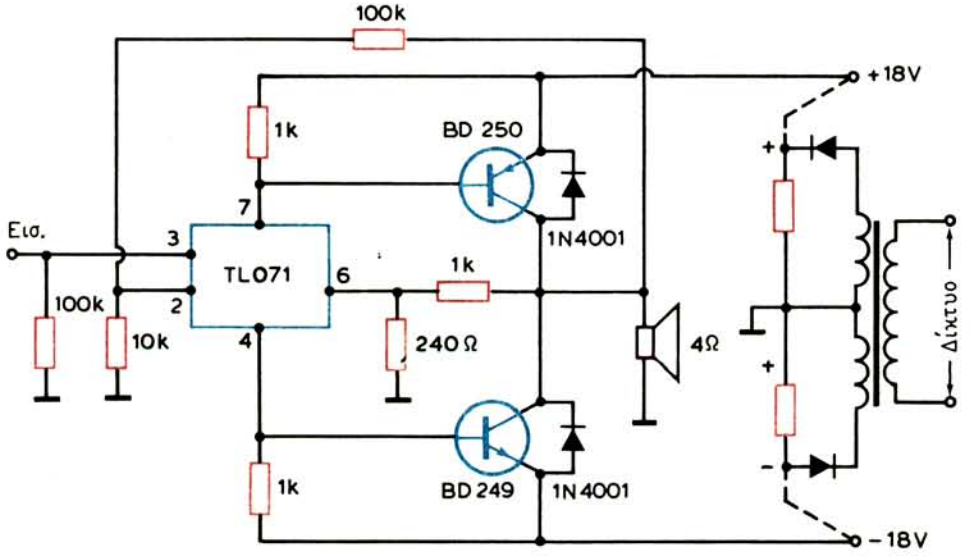


Σχ. 2.23.
Το ισοδύναμο κύκλωμα του ολοκληρωμένου TAA300.



Σχ. 2.24.

Ενισχυτής ισχύος με τρανζίστορ χωρίς μετασχηματιστές εισόδου και εξόδου.



Σχ. 2.25.

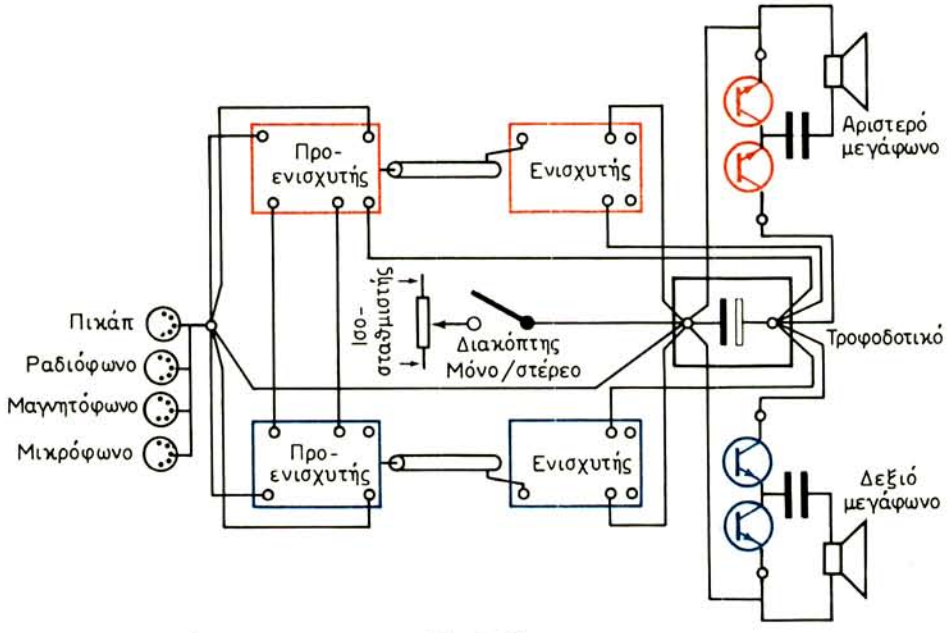
Υβριδικός ενισχυτής ισχύος (με τρανζίστορ και ολοκληρωμένο κύκλωμα).

2.12 Στερεοφωνικοί προενισχυτές και ενισχυτές ισχύος.

Οι στερεοφωνικοί ενισχυτές, γενικά, προορίζονται για την αναπαραγωγή μουσικής εκτελέσεως, ή και ομιλίας έτσι, ώστε ο ακροατής να καταλαβαίνει την πραγματική κατανομή όλων των ηχητικών πηγών (μουσικών οργάνων), που βρίσκονται σε οριζόντιο επίπεδο. Τα ακουστικά σήματα που διεγείρουν τους στερεοφωνικούς ενισχυτές παίρνονται από τους δίσκους και τις μαγνητικές ταινίες με τη βοήθεια των αντιστοίχων στερεοφωνικών κεφαλών. Οι στερεοφωνικοί ενισχυτές διεγείρονται ακόμη από μικρόφωνα κατά την παραγωγή των στερεοφωνικών δίσκων ή κατά τη μαγνητική εγγραφή σε ταινίες.

Η οργάνωση ενός στερεοφωνικού ενισχυτή φαίνεται στο σχήμα 2.26. Αποτελείται από δύο κανάλια ενισχύσεως, που μεταφέρουν τα δύο σήματα ξεχωριστά σε δύο μεγάφωνα ή σε δύο ομάδες μεγαφώνων. Τα κανάλια ενισχύσεως περιέχουν τις ίδιες ακριβώς βαθμίδες που μπορούν να συναρμολογηθούν σ' ένα ή περισσότερα σασί. Τα κυκλώματα των στερεοφωνικών ενισχυτών δεν παρουσιάζουν καμιά ιδιομορφία, γι' αυτό μια στερεοφωνική διάταξη μπορεί να συγκροτηθεί από δύο μονοφωνικές, που παρέχουν ή ρυθμίζονται να παρέχουν την ίδια ισχύ στην έξοδο. Ωστόσο, ορισμένοι χειρισμοί είναι πιο προσιτοί στον ακροατή, όταν η στερεοφωνική διάταξη είναι ενιαία.

Ο στερεοφωνικός προενισχυτής διαθέτει μεταγωγέα για τις πηγές εισόδου, διακόπτη μονοφωνικής και στερεοφωνικής λειτουργίας («Μόνο/Στέρεο»), μο-



Σχ. 2.26.
Οργάνωση στερεοφωνικού ενισχυτή.

νοχειριζόμενους ρυθμιστές εντάσεως και τόνου του ήχου για τα δύο κανάλια και ρυθμιστή ισοσταθμίσεως μεταξύ των δύο καναλιών.

Ο μεταγωγέας εισόδου του στερεοφωνικού προενισχυτή διαφέρει από το μεταγωγέα του μονοφωνικού μόνο ως προς το ότι διαθέτει περισσότερες επαφές, επειδή πρέπει να κατευθύνει τα σήματα στα δύο κανάλια.

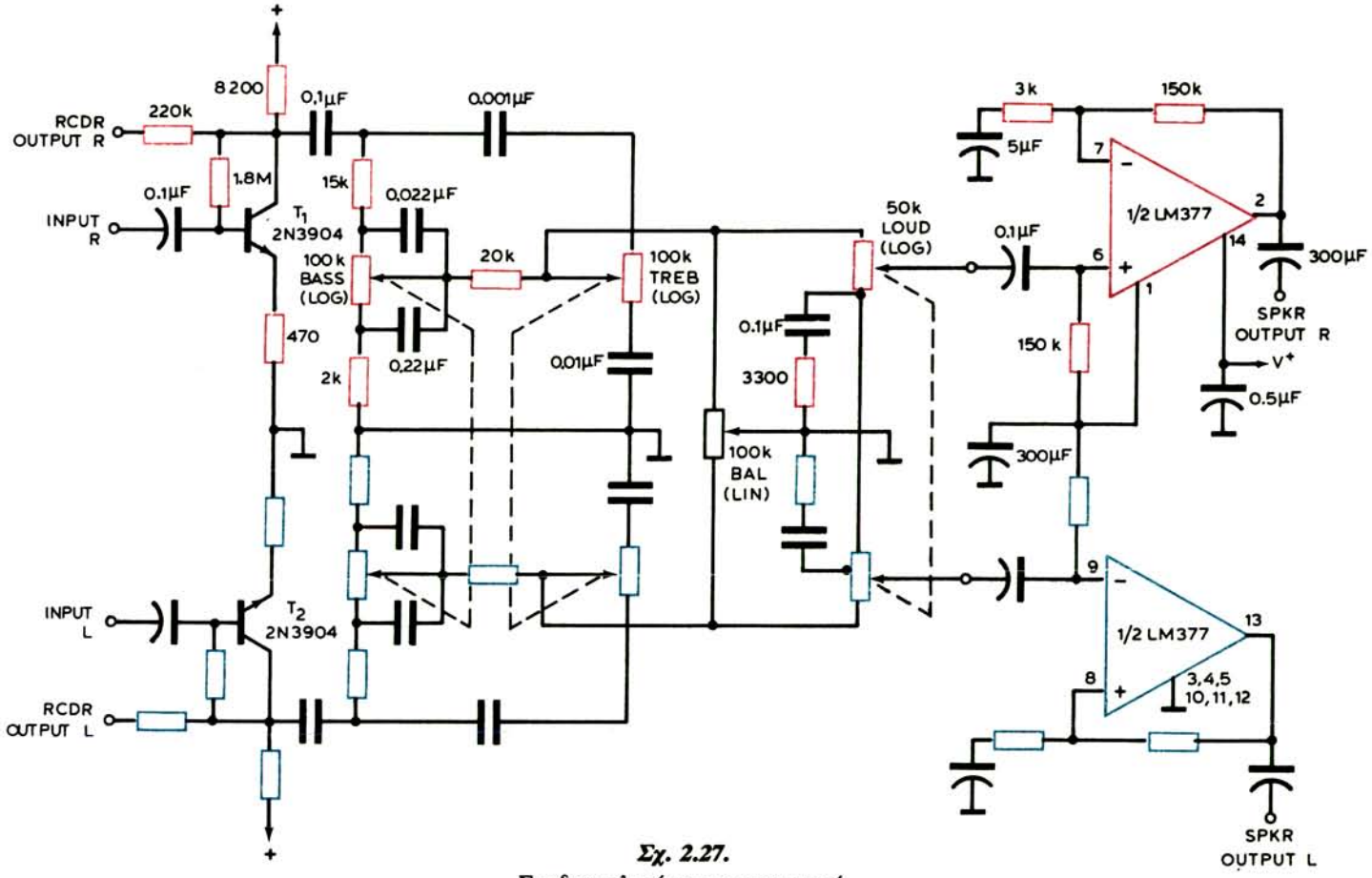
Η ρύθμιση της εντάσεως του ήχου γίνεται ή με ένα διπλό ποτενσιόμετρο, ώστε να εξασφαλίζεται ο μονοχειρισμός και για τα δύο κανάλια, ή με ξεχωριστό ποτενσιόμετρο για κάθε κανάλι. Διπλά ποτενσιόμετρα χρησιμοποιούνται και για τη ρύθμιση του τόνου.

Ο ρυθμιστής ισοσταθμίσεως προορίζεται για την απομάκρυνση των διαφορών στο συντελεστή ενισχύσεως, επομένως και στη στάθμη των σημάτων, που μπορούν να δημιουργηθούν σε οποιαδήποτε βαθμίδα των καναλιών από την είσοδο έως τα μεγάφωνα. Ο ρυθμιστής αυτός μας δίνει τη δυνατότητα για ταυτόχρονη αύξηση της ενισχύσεως στο ένα κανάλι και ελάττωσή της στο άλλο, χωρίς να μεταβάλλεται η ολική ισχύς που παρέχουν τα δύο κανάλια.

Συνδεσμολογίες ρυθμιστών εντάσεως ήχου (ενισχύσεως), ηχητικού τόνου και ισοσταθμίσεως υπάρχουν πάρα πολλές. Μερικές από αυτές θα παρουσιάσομε στην παράγραφο 2.13.

Μια συνδεσμολογία στερεοφωνικού ενισχυτή, από τις πολλές που μας προσφέρει η τεχνική των ολοκληρωμένων κυκλωμάτων, φαίνεται στο σχήμα 2.27. Αυτή δέχεται σήματα από κεραμικές κεφαλές πικάπ, από στερεοφωνικό ραδιόφωνο FM και από ραδιόφωνο AM (μονοφωνική αναπαραγωγή). Συνδυάζεται με τη συνδεσμολογία του σχήματος 2.28, που περιλαμβάνει το μεταγωγέα εισόδου και έναν προενισχυτή για στερεοφωνική μαγνητική κεφαλή αναπαραγωγής. Ο ενισχυτής εξόδου κατασκευάζεται με το ολοκληρωμένο LM 377 και ο προενισχυτής με τα τρανζίστορ 2N3904. Ανάμεσά τους συνδέονται ρυθμιστές εντάσεως (loudness), ο ρυθμιστής ισοσταθμίσεως (balance) και οι ρυθμιστές τόνου (tone) για τις χαμηλές (bass=μπάσα) και τις υψηλές (treble=πρίμα) συχνότητες. Για μαγνητική εγγραφή προβλέπονται έξοδοι από τα τρανζίστορ T_1 και T_2 (RCDR OUT PUT R και L). Η ισχύς εξόδου του ενισχυτή φθάνει τα 3 W για κάθε κανάλι με τροφοδοτική τάση 24 V. Η αντίσταση των μεγαφώνων είναι 8 Ω.

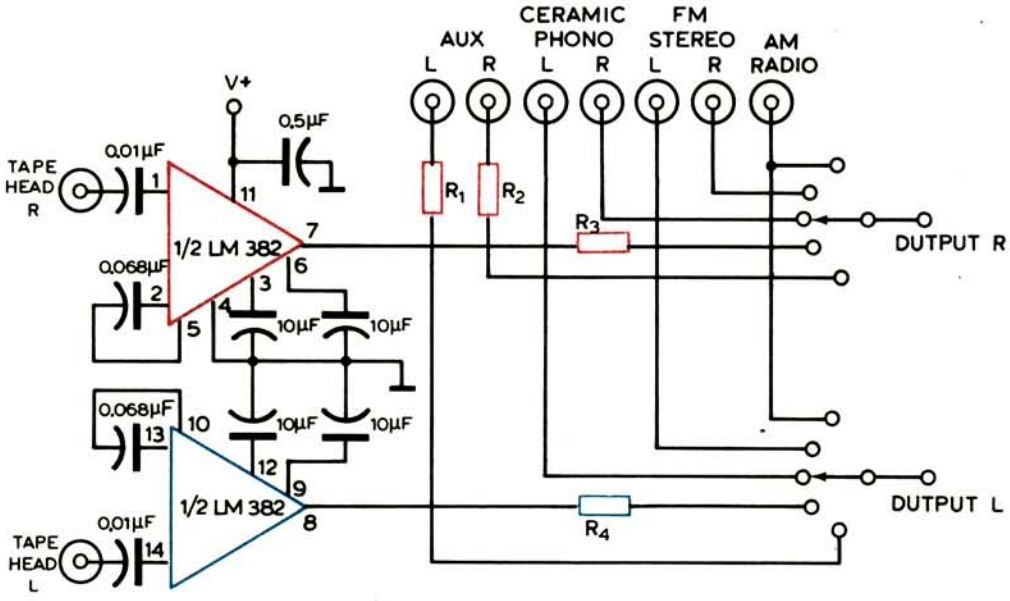
Η πρόσθετη συνδεσμολογία του σχήματος 2.28 συγκροτείται από το ολοκληρωμένο LM382 και προορίζεται για την ενίσχυση του σήματος που προέρχεται από μια στερεοφωνική κεφαλή μαγνητοφώνου (είσοδοι TAPE HEAD R και L). Επίσης, η συνδεσμολογία αυτή περιέχει, όπως είπαμε και το μεταγωγέα εισόδου του ενισχυτή του σχήματος 2.27 για τις πηγές: κεραμικό μικρόφωνο ή πικάπ (CERAMIC PHONO), στερεοφωνικό ραδιόφωνο FM (FM STEREO) και ραδιόφωνο (AM RADIO). Η βοηθητική είσοδος (AUX) προορίζεται για σήματα υψηλής κυρίως στάθμης.



Σχ. 2.27.

Συνδεσμολογία στερεοφωνικού.

INPUT R=δεξιά είσοδος, INPUT L =αριστερή είσοδος, OUTPUT R= δεξιά έξοδος, OUTPUT L=αριστερή έξοδος (SPKR=μεγάφωνα), BASS=μπάσα, TREB=πρίμα, LOUND=ένταση (LPG=λογαριθμικό), BAL=ισοστάθμιση (LIN=γραμμικό), RCDR=εγγραφέας (recorder).



Σχ. 2.28.

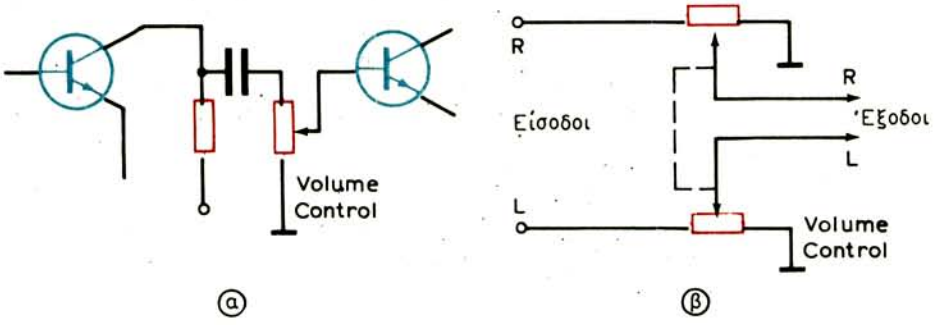
Στερεοφωνικός ενισχυτής για αναπαραγωγή από μαγνητική ταινία.

2.13 Ρυθμιστές ήχου και κυκλώματα ισοσταθμίσεως.

Είδαμε σε προηγούμενες συνδεσμολογίες ότι οι ενισχυτές, μονοφωνικοί και στερεοφωνικοί, διαθέτουν ειδικές διατάξεις για τη ρύθμιση βασικών χαρακτηριστικών του ήχου, που παράγει το μεγάφωνο. Τα χαρακτηριστικά αυτά είναι η ένταση του ήχου και η χροιά του ή, όπως συνήθως λέγεται, ο τόνος του.

Η ένταση του ήχου, που παράγεται από ένα μεγάφωνο, εξαρτάται από την ισχύ που παρέχει ο ενισχυτής στο μεγάφωνο και αυξομειώνεται με ρύθμιση του συντελεστή ενισχύσεως, δηλαδή της απολαβής του ενισχυτή. Η ρύθμιση της απολαβής και συνεπώς της εντάσεως του ήχου ή του όγκου φωνής (volume control) γίνεται με ποτενσιόμετρο που συνδέεται ανάμεσα στην πρώτη και στη δεύτερη βαθμίδα του προενισχυτή [σχ. 2.29(α)]. Στους στερεοφωνικούς ενισχυτές χρησιμοποιούνται δύο ποτενσιόμετρα (ένα για κάθε κανάλι) που συμμεταβάλλονται [σχ. 2.29(β)] ή ένα διπλό (δύο σε κοινό άξονα). Με τη μετακίνηση του δρομέα του ποτενσιομέτρου, αυξομειώνεται η τάση διεγέρσεως της βαθμίδας, επομένως και η ισχύς εξόδου του ενισχυτή.

Η ρύθμιση του τόνου (tone control) γίνεται με αυξομείωση του πλάτους των συνιστωσών του σήματος που ανήκουν στις χαμηλές και υψηλές συχνότητες της ακουστικής περιοχής. Με άλλα λόγια, η ρύθμιση αυτή γίνεται με τροποποίηση (ανύψωση ή πτώση) της καμπύλης αποκρίσεως του ενισχυτή (σχ. 2.3) στην

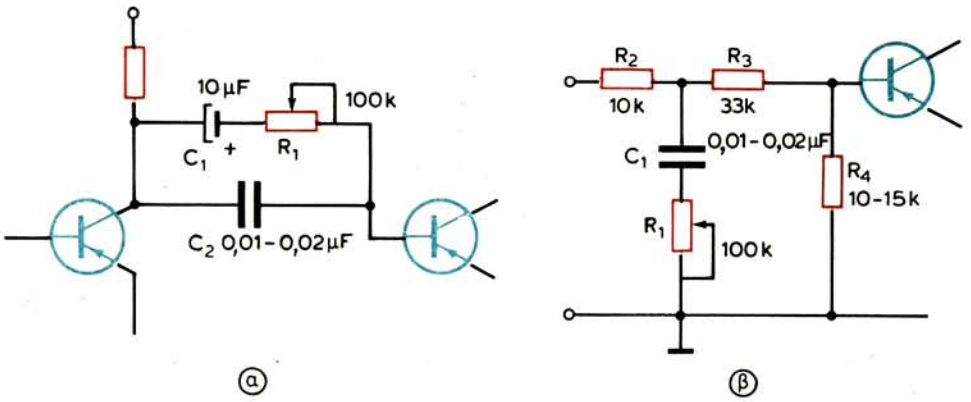


Σχ. 2.29.
Ρυθμιστές εντάσεως ήχου.

περιοχή των χαμηλών και υψηλών ακουστικών συχνοτήτων. Οι ρυθμιστές τόνου είναι κυκλώματα, που αποτελούνται από ποτενσιόμετρα και πυκνωτές και συνδέονται ανάμεσα στις βαθμίδες του ενισχυτή ή στις «αλυσίδες» αρνητικής αναδράσεως των βαθμίδων.

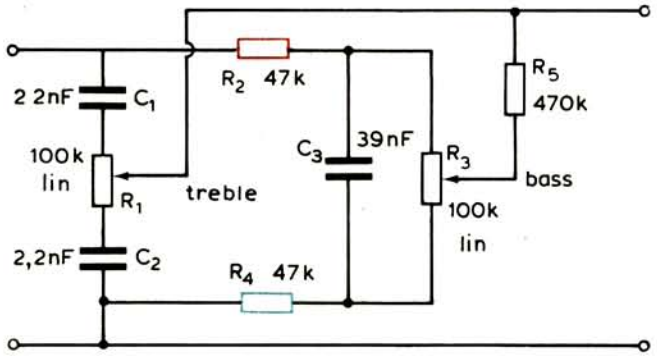
Στο σχήμα 2.30 φαίνονται δύο απλά κυκλώματα ρυθμίσεως του τόνου. Στο σχήμα 2.30(α) υπάρχουν δύο ζευκτικοί δρόμοι μεταξύ των βαθμίδων: ο ένας μέσα από τον πυκνωτή C_2 και ο άλλος μέσα από την αλυσίδα C_1R_1. Από τις τιμές των πυκνωτών, είναι εύκολο να δούμε ότι οι χαμηλές συχνότητες προτιμούν το δρόμο C_1R_1. Με ρύθμιση της αντιστάσεως R_1, αυξομειώνομε την ολική αντίσταση αυτής της διαδρομής και επομένως ελαττώνομε ή αυξάνομε το πλάτος του σήματος στις χαμηλές συχνότητες. Αντίθετα, στο σχήμα 2.30(β) ρυθμίζεται το πλάτος του σήματος στις υψηλές συχνότητες, οι οποίες διαρρέουν περισσότερο ή λιγότερο προς τη γη, ανάλογα με τη θέση του δρομέα του ποτενσιομέτρου R_1.

Ένας συνθετότερος ρυθμιστής τόνου, που συνδέεται μεταξύ των βαθμίδων του προενισχυτή, φαίνεται στο σχήμα 2.31. Επειδή οι χωρητικότητες των πυκνωτών C_1 και C_2 είναι μικρές (δεν περνούν από αυτούς χαμηλές συχνότητες) στα άκρα του ποτενσιομέτρου R_1 εμφανίζονται κυρίως συνιστώσες του σήματος με υψηλές συχνότητες. Αντίθετα, στα άκρα του ποτενσιομέτρου R_3 εμφανίζονται κυρίως οι χαμηλές συχνότητες, επειδή οι υψηλές βραχυκυκλώνονται από τον πυκνωτή C_3. Εκτός από αυτό, η σύνθεση του κυκλώματος και οι τιμές των εξαρτημάτων του εξασφαλίζουν μια ελάττωση του σήματος στις μεσαίες συχνότητες κατά 10 φορές περίπου. Έτσι, με τα ποτενσιόμετρα R_1 και R_3 μπορούμε να ρυθμίζομε ανεξάρτητα τη μεταφορά των χαμηλών και υψηλών συχνοτήτων, εξασφαλίζοντας τόσο την ανύψωσή τους, όσο και την πτώση τους σε σχέση με τις μεσαίες συχνότητες. Η αντίσταση R_5 ελαττώνει την αλληλεπίδραση μεταξύ των ρυθμιστών.



Σχ. 2.30.

Απλά κυκλώματα ρυθμιστών τόνου.
α) Ρύθμιση των χαμηλών συχνοτήτων. β) Ρύθμιση των υψηλών συχνοτήτων.



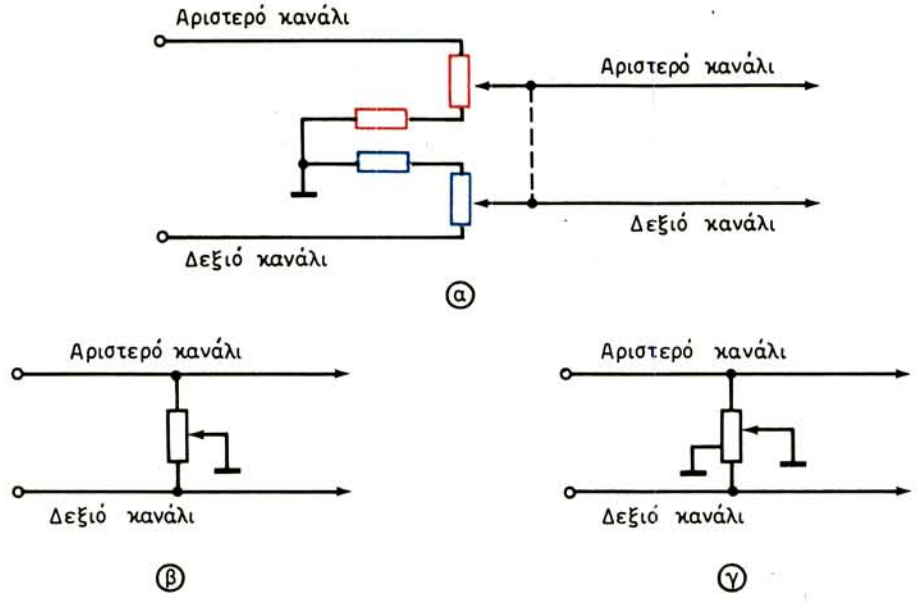
Σχ. 2.31.

Ρυθμιστής τόνου για τις χαμηλές και υψηλές συχνότητες (bass-treble).

Ο τόνος στους στερεοφωνικούς ενισχυτές ρυθμίζεται με απλά και σύνθετα κυκλώματα, που συνδέονται και στα δύο κανάλια. Η ιδιομορφία των ρυθμιστών αυτών βρίσκεται στο ότι χρησιμοποιούνται διπλά ποτενσιόμετρα για την ταυτόχρονη ρύθμιση τόσο των χαμηλών, όσο και των υψηλών συχνοτήτων στα δύο κανάλια.

Θα δούμε τώρα τη ρύθμιση της ισοσταθμίσεως (balance control) του σήματος στα δύο κανάλια του στερεοφωνικού ενισχυτή.

Υπάρχουν πολλές συνδεσμολογίες ρυθμιστών ισοσταθμίσεως, μερικές από τις οποίες φαίνονται στο σχήμα 2.32. Ο ρυθμιστής του σχήματος 2.32(α) διαθέτει δύο συμμεταβαλλόμενα ποτενσιόμετρα ή ένα διπλό. Στο σχήμα 2.32(β) χρησιμοποιείται ένα ποτενσιόμετρο με γειωμένο δρομέα και στο σχήμα



Σχ. 2.32.
Ρυθμιστές ισοσταθμίσεως.

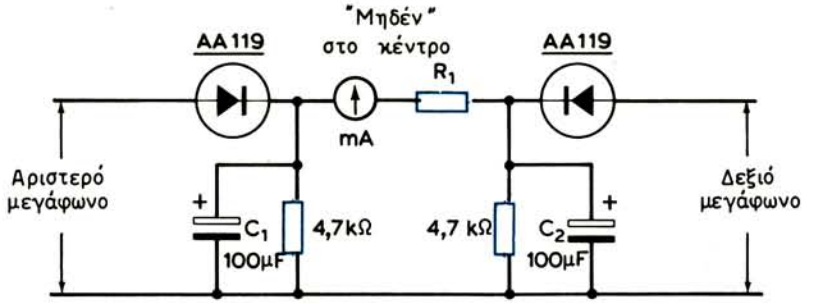
2.32(γ) ένα ποτενσιόμετρο με γειωμένη μεσαία λήψη και γειωμένο δρομέα. Τα ποτενσιόμετρα όλων των ρυθμιστών ισοσταθμίσεως είναι γραμμικά.

Ο πρώτος ρυθμιστής [σχ. 2.32(α)] με ίσες τιμές ποτενσιομέτρων και σταθερών αντιστάσεων, επιτρέπει την επέμβαση μόνο στο μισό του σήματος. Επομένως, η θέση της ισοσταθμίσεως αντιστοιχεί σε εξασθένιση του σήματος κατά 25%, δηλαδή κατά 3 dB. Η περιοχή ρυθμίσεως είναι αρκετή, αφού επιτρέπει τη μεταβολή της ισχύος του ενός καναλιού, σε σχέση προς την ισχύ του άλλου, κατά ±6 dB.

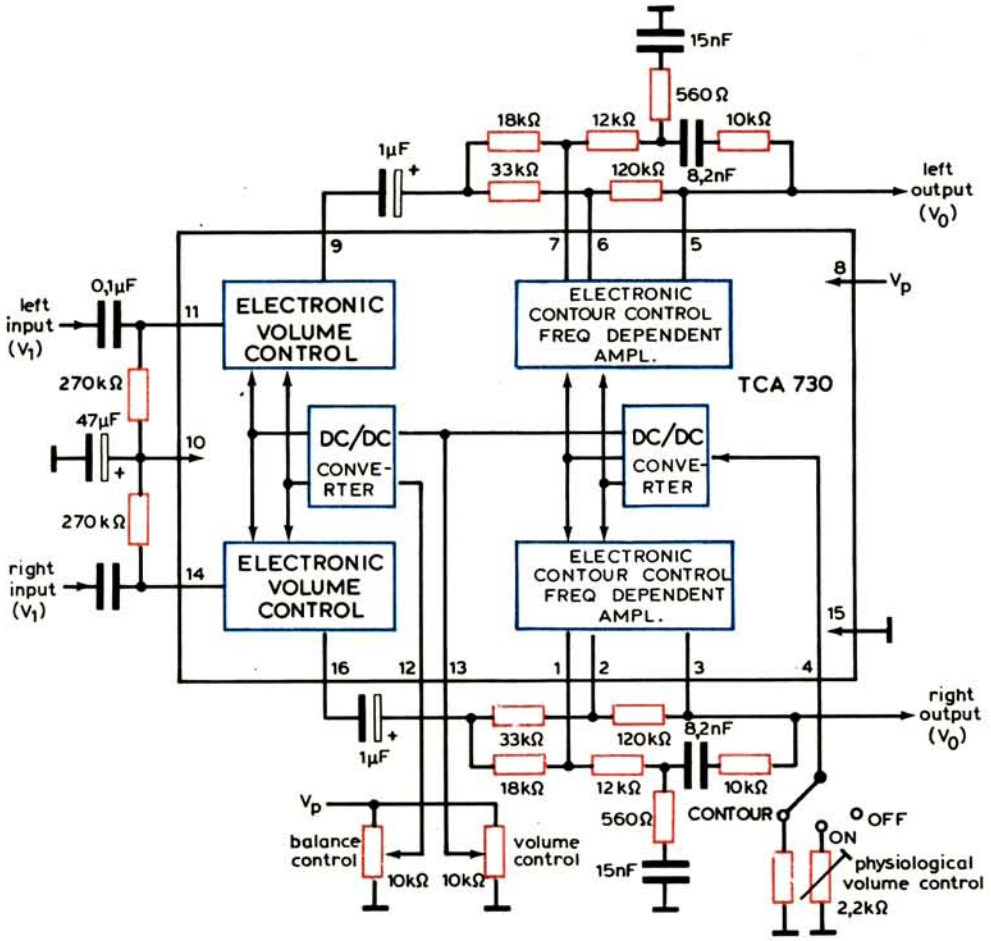
Ο δεύτερος ρυθμιστής [σχ. 2.32(β)] είναι οικονομικός, αλλά έχει το μειονέκτημα της αποπροσαρμογής των αντιστάσεων εισόδου των βαθμίδων στις οποίες συνδέονται. Πραγματικά, όταν ο δρομέας του ποτενσιομέτρου δεν είναι στη θέση της μισής αντιστάσεως, οι αντιστάσεις εισόδου των βαθμίδων των δύο καναλιών είναι άνισες, πράγμα που επιδρά στη μορφή της καμπύλης αποκρίσεως των ενισχυτών.

Ο τρίτος, τέλος, ρυθμιστής με γειωμένη τη μεσαία λήψη του ποτενσιομέτρου [σχ. 2.32(γ)] βελτιώνει το μειονέκτημα του δεύτερου. Με αυτόν, οι στάθμες των σημάτων στα δύο κανάλια έχουν μικρότερες διαφορές.

Για τον έλεγχο της ισοσταθμίσεως χρησιμοποιείται ενδεικτικό όργανο (μιλλιαμπερόμετρο) με το «μηδέν» στο κέντρο της κλίμακας. Ο έλεγχος αυτός είναι πλήρης, όταν το όργανο συνδεθεί στην έξοδο των ενισχυτών με τη βοήθεια του κυκλώματος του σχήματος 2.33 ή κάποιου ανάλογου. Με τις δίοδες, ανορ-



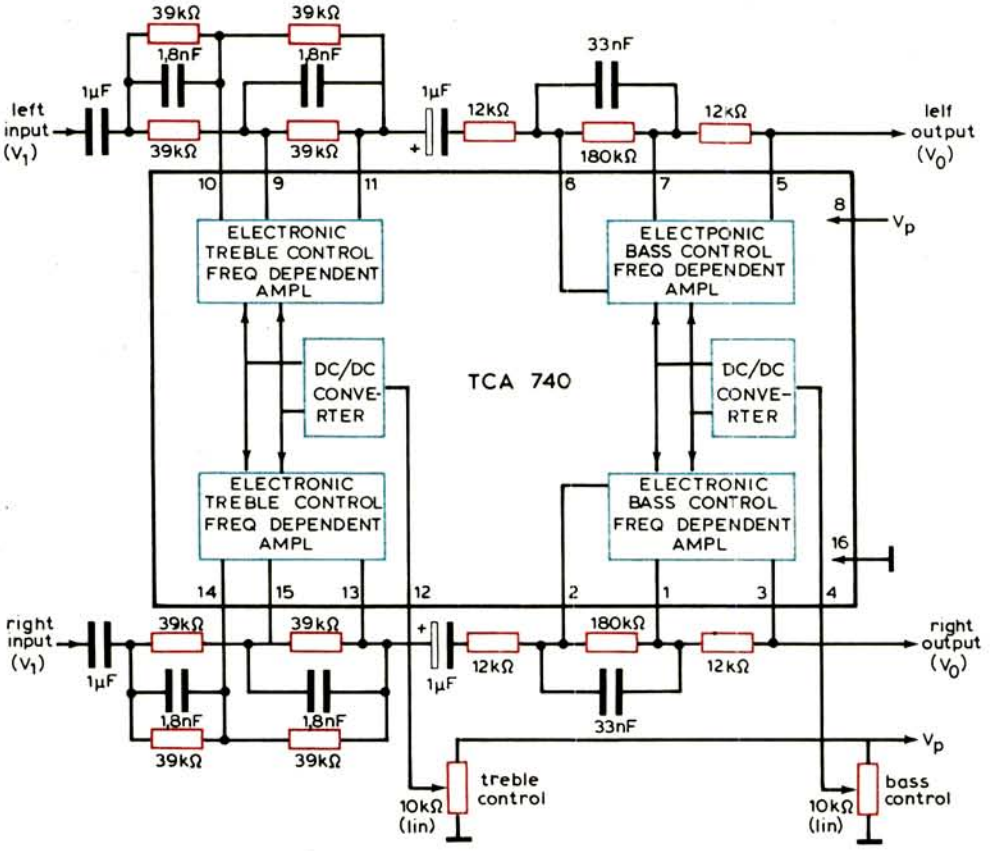
Σχ. 2.33.
Ενδεικτικό όργανο ισοσταθμίσεως.



Σχ. 2.34.
Ηλεκτρονική ρύθμιση της εντάσεως του ήχου και της ισοσταθμίσεως με το ολοκληρωμένο TCA730.

θώνονται τμήματα των σημάτων εξόδου των δύο καναλιών και στα άκρα των αντιστάσεων 4,7 kΩ εμφανίζονται συνεχείς τάσεις. Όταν οι τάσεις αυτές είναι ίσες, δεν υπάρχει διαφορά δυναμικού στα άκρα του οργάνου και συνεπώς αυτό δεν διαρρέεται από ρεύμα. Η αντίσταση R_1 προστατεύει το όργανο και έχει συνήθως τιμή 10 kΩ (για όργανο του 1 mA).

Τέλος, για τους στερεοφωνικούς ενισχυτές, ενδιαφέρουσες συνδεσμολογίες ρυθμιστών εντάσεως, τόνου και ισοσταθμίσεως παρέχει η ολοκληρωμένη ηλεκτρονική τεχνική. Οι ρυθμίσεις είναι ηλεκτρονικές και γίνονται μέσα από μεταλλάκτες DC/DC που περιέχονται στα ολοκληρωμένα κυκλώματα μαζί με τις ρυθμιζόμενες ενισχυτικές βαθμίδες. Παρουσιάζομε σχηματικά δύο τέτοιες συνδεσμολογίες.



Σχ. 2.35.

Ηλεκτρονική ρύθμιση του τόνου με το ολοκληρωμένο TCA740.

Η πρώτη, με το ολοκληρωμένο TCA 730 (σχ. 2.34), περιέχει τους ρυθμιστές εντάσεως ήχου (volume control) και ισοσταθμίσεως (balance control) και για τα δύο κανάλια.

Η δεύτερη, με το ολοκληρωμένο TCA 740 (σχ. 2.35), περιέχει τους ρυθμιστές τόνου, τόσο στην περιοχή των χαμηλών συχνοτήτων (bass control), όσο και στην περιοχή των υψηλών συχνοτήτων (treble control).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΤΡΙΤΟ

ΕΝΙΣΧΥΣΗ ΥΨΗΛΩΝ ΣΥΧΝΟΤΗΤΩΝ

3.1 Γενικά.

Η ενίσχυση σημάτων μιας συχνότητας (100 kHz και άνω) ή μιας μικρής συνήθως περιοχής συχνοτήτων γίνεται με τους ***ενισχυτές υψηλών συχνοτήτων.*** Η ενίσχυση σήματος μιας συχνότητας συναντάται στους ραδιοτηλεγραφικούς πομπούς και δέκτες. Η περίπτωση ενισχύσεως σήματος μιας ζώνης συχνοτήτων συναντάται στους ραδιοτηλεφωνικούς και ραδιοφωνικούς πομπούς και δέκτες.

Ένας ενισχυτής υψηλής συχνότητας μπορεί να ενισχύσει σήμα μιας συχνότητας ή μιας ζώνης συχνοτήτων, μόνον όταν τα φορτία των βαθμίδων του είναι ***συντονισμένα κυκλώματα.*** Ανάλογα με τις απαιτήσεις ως προς την επιλογή μιας συχνότητας ή περιοχής συχνοτήτων, τα συντονισμένα κυκλώματα είναι απλά ή σύνθετα. Στην κατηγορία των συνθέτων συντονισμένων κυκλωμάτων ανήκουν τα ***συζευγμένα κυκλώματα*** και τα ***φίλτρα περιοχής συχνοτήτων.*** Οι ενισχυτές, που χρησιμοποιούν ως φορτίο κάποιο συντονισμένο κύκλωμα, ονομάζονται ***συντονισμένοι ενισχυτές.***

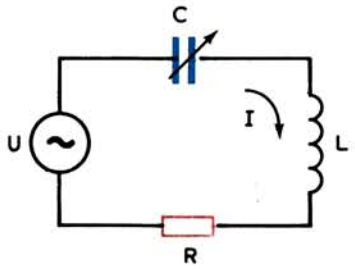
Στην πράξη συναντώνται κάποτε και ενισχυτές υψηλών συχνοτήτων που έχουν μία βαθμίδα με φορτίο ωμική αντίσταση. Η βαθμίδα αυτή δεν έχει τις ιδιότητες των συντονισμένων και ονομάζεται ***απεριοδική.***

Πριν ασχοληθούμε με τις βαθμίδες ενισχύσεως των υψηλών συχνοτήτων, θα μελετήσομε τις ιδιότητες των συντονισμένων φορτίων τους.

3.2 Απλά συντονισμένα κυκλώματα βαθμίδων.

Το πιο απλό κύκλωμα που εμφανίζει ιδιότητες συντονισμού είναι αυτό που φαίνεται στο σχήμα 3.1. Τρία στοιχεία (R, L και C), με αντιστάσεις R, jωL και 1/jωc τροφοδοτούνται σε σειρά από μία πηγή με εναλλασσόμενη τάση U, συχνότητας ω. Η σύνθετη αντίσταση του κυκλώματος αυτού είναι:

$$Z = R + j\omega L + \frac{1}{j\omega C} = R + j\left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right) \qquad (3.1)$$



Σχ. 3.1.
Κύκλωμα συντονισμού σειράς.

Στην περίπτωσή μας ενδιαφέρον παρουσιάζει η συνθήκη ισότητας των δύο αντιστάσεων: $X_L=\omega L$ και $X_C=1/\omega C$. Η συνθήκη αυτή ονομάζεται ***συντονισμός*** και πραγματοποιείται για συχνότητα της πηγής $\omega=\omega_o$, που λέγεται ***συχνότητα συντονισμού.***

Επομένως, στο συντονισμό έχομε:

$$\omega_o L = \frac{1}{\omega_o C} \tag{3.2}$$

από όπου παίρνομε:

$$\omega_o^2 = \frac{1}{LC} \qquad \text{ή} \qquad f_o = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \tag{3.3}$$

Η συχνότητα f_o (ή ω_o) που ορίζεται από τα στοιχεία L και C ενός κυκλώματος, σύμφωνα με τη σχέση (3.3), ονομάζεται ***ιδιοσυχνότητα*** ή ***φυσική συχνότητα*** του κυκλώματος. Συντονισμό, λοιπόν, σε ένα κύκλωμα σειράς θα έχομε, όταν η συχνότητα f της πηγής γίνεται ίση με την ιδιοσυχνότητα f_o του κυκλώματος.

Κατά το συντονισμό σειράς έχομε (σχέση 3.1):

$$\omega L - \frac{1}{\omega C} = 0 \qquad \text{και} \qquad Z = R$$

Το ρεύμα I παίρνει μία μέγιστη τιμή I_o, αφού η αντίσταση του κυκλώματος είναι η ελάχιστη δυνατή και λέγεται ***ρεύμα συντονισμού:***

$$I_o = \frac{U}{R} \tag{3.4}$$

Οι τάσεις στα άκρα της αυτεπαγωγής και της χωρητικότητας κατά το συντονισμό δίνονται από τις σχέσεις:

$$jU_L = j\omega_o L I_o \qquad \text{και} \qquad -jU_C = -j\frac{1}{\omega_o C} I_o$$

Επειδή είναι (σχέσεις 3.2 και 3.4): $\omega_o L \frac{U}{R} = \frac{1}{\omega_o C} \cdot \frac{U}{R}$

θα έχομε: $$jU_L = -jU_C = jQU \tag{3.5}$$

όπου ο λόγος $$Q = \frac{\omega_o L}{R} = \frac{1}{\omega_o C R}$$

ονομάζεται ***συντελεστής ποιότητας*** του κυκλώματος.

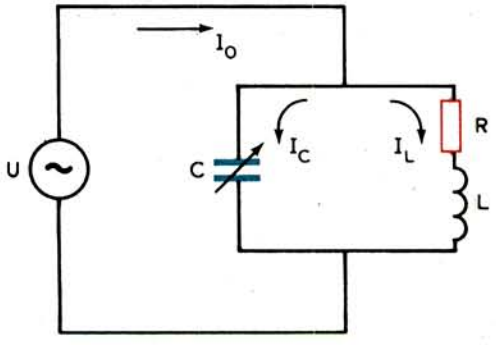
Έτσι, κατά το συντονισμό σειράς οι τάσεις στα στοιχεία L και C είναι ίσες, αντίθετες και Q φορές μεγαλύτερες από την τάση της πηγής U. Το τελευταίο ονομάζεται φαινόμενο ***υπερτάσεως.***

Η τάση στα άκρα της ωμικής αντιστάσεως R είναι:

$$U_R = RI_o = R \cdot \frac{U}{R} = U$$

όση δηλαδή και η τάση της πηγής (οι τάσεις U_L και U_C είναι ίσες και αντίθετες και επομένως αλληλοεξουδετερώνονται).

Ένα άλλο απλό κύκλωμα συντονισμού παίρνομε αν η πηγή τροφοδοτεί παράλληλα τα στοιχεία L και C (σχ. 3.2). Η σύνθετη αντίσταση του παράλληλου αυτού συνδυασμού θα είναι:



Σχ. 3.2.
Κύκλωμα παράλληλου συντονισμού.

$$Z = \frac{Z_L \cdot Z_C}{Z_L + Z_C} = \frac{(R + j\omega L) \cdot \left(-j\dfrac{1}{\omega C}\right)}{R + j\omega L - j\dfrac{1}{\omega C}} = \frac{(R + j\omega L) \cdot \left(-j\dfrac{1}{\omega C}\right)}{R + j\left(\omega L - \dfrac{1}{\omega C}\right)}$$

Τα πηνία που χρησιμοποιούνται στα ραδιοτεχνικά κυκλώματα έχουν πολύ μικρή ωμική αντίσταση σε σύγκριση με την επαγωγική. Έτσι, αν είναι $R<<\omega L$, μπορεί η R να παραληφθεί από τον αριθμητή της τελευταίας σχέσεως, οπότε έχομε:

$$Z = \frac{j\omega L\left(-j\dfrac{1}{\omega C}\right)}{R + j\left(\omega L - \dfrac{1}{\omega C}\right)} = \frac{\dfrac{L}{C}}{R + j\left(\omega L - \dfrac{1}{\omega C}\right)} \qquad (3.6)$$

Για συχνότητα πηγής $\omega=\omega_o$ θα είναι (σχέση 3.2):

$$\omega_o L = \frac{1}{\omega_o C} \qquad \text{ή} \qquad \omega_o L - \frac{1}{\omega_o C} = 0$$

και επομένως: $$Z = R_o = \frac{L}{RC}$$

Η τελευταία σχέση παίρνει τις μορφές:

$$R_o = \frac{L}{RC} = \frac{\omega_o L}{R\omega_o C} = Q\frac{1}{\omega_o C} = Q\omega_o L \qquad (3.7)$$

δηλαδή, κατά το συντονισμό του κυκλώματος του σχήματος 3.2, που λέγεται ***παράλληλος συντονισμός,*** η ολική αντίσταση του κυκλώματος γίνεται Q φορές μεγαλύτερη από την αντίσταση του κάθε κλάδου χωριστά. Αυτό, ονομάζεται φαινόμενο ***υπεραντιστάσεως.*** Η αντίσταση αυτή έχει ωμικό χαρακτήρα.

Το ρεύμα συντονισμού I_o γίνεται ελάχιστο και ίσο με:

$$I_o = \frac{U}{R_o} = \frac{U}{Q\omega_o L} \qquad (3.8)$$

Το ρεύμα αυτό είναι συμφασικό με την τάση της πηγής.

Τα ρεύματα των κλάδων L και C είναι περίπου ίσα με τιμή: $$I_L \approx I_C = \frac{U}{\omega_o L}$$

και επειδή (σχέση 3.8) $U=Q\omega_o LI_o$, παίρνομε:

$$I_L \approx I_C = \frac{Q\omega_o LI_o}{\omega_o L} = QI_o \qquad (3.9)$$

Έτσι κατά τον παράλληλο συντονισμό, στους κλάδους L και C εμφανίζονται ρεύματα Q φορές μεγαλύτερα από το ελάχιστο ρεύμα συντονισμού I_o. Αυτό ονομάζεται φαινόμενο ***υπερεντάσεως*** και λαμβάνεται υπόψη κατά την εκλογή του σύρματος με το οποίο τυλίγονται τα πηνία.

3.3 Καμπύλες συντονισμού και ζώνη διελεύσεως κυκλώματος.

Η σύνθετη αντίσταση των κυκλωμάτων συντονισμού, όπως φαίνεται από τις σχέσεις (3.1) και (3.6), εξαρτάται από τη συχνότητα της πηγής ω και μεταβάλλεται με τη μεταβολή της συχνότητας αυτής.

Για ένα κύκλωμα σειράς, η αντίσταση κατά το συντονισμό του έχει ωμικό χαρακτήρα και ελάχιστη τιμή R.

Αν η συχνότητα της πηγής γίνει μεγαλύτερη από τη συχνότητα συντονισμού ($\omega>\omega_o$) η επαγωγική αντίσταση ωL γίνεται μεγαλύτερη από τη χωρητική $1/\omega C$ και το κύκλωμα είναι σαν να αποτελείται από την ωμική αντίσταση συνδεμένη σε σειρά με μια ισοδύναμη επαγωγική. Στην περίπτωση αυτή λέμε ότι το κύκλωμα έχει ***επαγωγική*** συμπεριφορά. Αντίθετα, για συχνότητες μικρότερες από τη συχνότητα συντονισμού ($\omega<\omega_o$), η χωρητική αντίσταση είναι μεγαλύτερη από την επαγωγική και το κύκλωμα έχει ***χωρητική*** συμπεριφορά.

Κατά τη μελέτη ενισχυτικών βαθμίδων υψηλών συχνοτήτων μεγαλύτερο ενδιαφέρον παρουσιάζει η περιοχή συχνοτήτων που βρίσκεται κοντά στη συχνότητα συντονισμού των κυκλωμάτων τους. Στα όρια μιας στενής περιοχής συχνοτήτων, η μεταβολή των αντιστάσεων ωL και $1/\omega C$ είναι μικρή, όμως η διαφορά των αντιστάσεων αυτών $\omega L-1/\omega C$ μεταβάλλεται σε πλατιά όρια, μαζί της δε και η σύνθετη αντίσταση του κυκλώματος Z.

Θα μελετήσομε λεπτομερέστερα τη μεταβολή της Z σε συνάρτηση με τη συχνότητα ω.

Η διαφορά $X=\omega L-1/\omega C$ μπορεί να μετασχηματισθεί ως ακολούθως:

$$X = \left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right) = \left(\frac{\omega\omega_o L}{\omega_o} - \frac{\omega_o L}{\omega\omega_o LC}\right) = \omega_o L\left(\frac{\omega}{\omega_o} - \frac{1}{\omega\omega_o LC}\right)$$

και επειδή $\omega_o = 1/\sqrt{LC}$ και $LC = \omega_o^2$, έχομε:

$$X = \sqrt{\frac{L}{C}} \cdot \left(\frac{\omega}{\omega_o} - \frac{\omega_o}{\omega}\right) = \varrho\left(\frac{f}{f_o} - \frac{f_o}{f}\right)$$

όπου $\omega = 2\pi f$ και ο παράγοντας: $\rho = \sqrt{\frac{L}{C}}$

ονομάζεται ***χαρακτηριστική αντίσταση*** του κυκλώματος.

Ύστερα από αυτά, η σύνθετη αντίσταση της σχέσεως (3.1) παίρνει τη μορφή:

$$Z = R + j\rho \left(\frac{f}{f_o} - \frac{f_o}{f} \right)$$

Ο όρος της παρενθέσεως της τελευταίας σχέσεως μετασχηματίζεται ως εξής:

$$\frac{f}{f_o} - \frac{f_o}{f} = \frac{f^2 - f_o^2}{ff_o} = \frac{(f + f_o)(f - f_o)}{ff_o}$$

Για μικρές αποκλίσεις της συχνότητας της πηγής f από την ιδιοσυχνότητα του κυκλώματος f_o μπορούμε, με μεγάλη προσέγγιση, να θεωρήσομε ότι το άθροισμα $(f + f_o)$ είναι ίσο με το διπλάσιο της συχνότητας f, δηλαδή: $f + f_o \approx 2f$.

οπότε έχομε: $$\frac{f}{f_o} - \frac{f_o}{f} \approx \frac{2f(f - f_o)}{ff_o} = \frac{2(f - f_o)}{f_o} = \frac{\Delta f}{f_o}$$

όπου το $\Delta f = 2(f - f_o)$ παρέχει το εύρος της περιοχής συχνοτήτων για αποκλίσεις της συχνότητας της πηγής κατά $(f - f_o)$ δεξιά και αριστερά από τη συχνότητα συντονισμού.

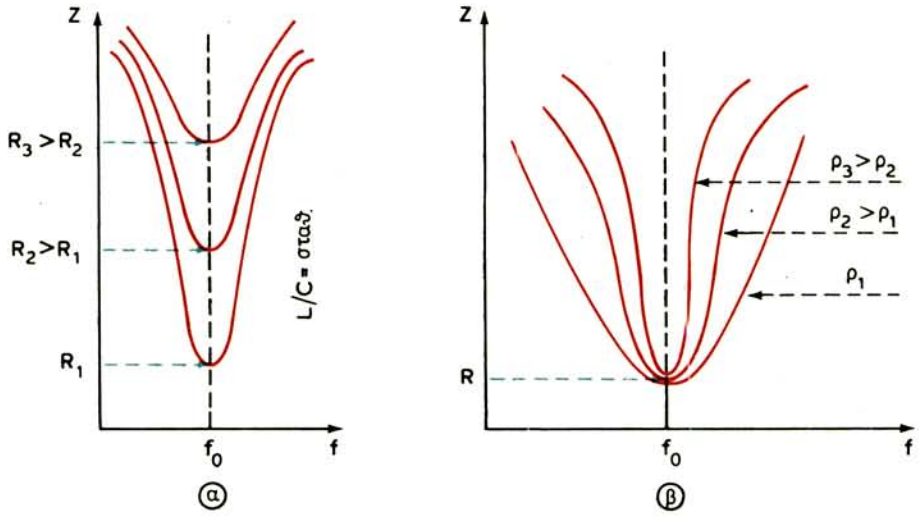
Τελικά, η σύνθετη αντίσταση του κυκλώματος δίνεται από τη σχέση:

$$Z = R + j\rho \frac{\Delta f}{f_o} \qquad \text{ή} \qquad |Z| = \sqrt{R^2 + \rho^2 \left(\frac{\Delta f}{f_o} \right)^2} \qquad (3.10)$$

Από τη σχέση αυτή βλέπομε ότι η αντίσταση του κυκλώματος, για συχνότητες που βρίσκονται έξω από τη συχνότητα συντονισμού, εξαρτάται από την ωμική αντίσταση R, τη χαρακτηριστική αντίσταση ρ (ή το λόγο L/C) και από την απόκλιση $(f - f_o)$ ή Δf.

Για κύκλωμα με ορισμένη ωμική αντίσταση και σταθερό λόγο L/C η σύνθετη αντίσταση Z θα γίνεται μεγαλύτερη όσο μεγαλύτερη θα είναι η απομάκρυνση από τη συχνότητα συντονισμού (για μεγαλύτερα Δf). Αν διατηρηθεί σταθερός ο λόγος L/C, αλλά μεγαλώσει η ωμική αντίσταση R, η Z θα γίνει μεγαλύτερη από την προηγούμενη για ίδια απόκλιση Δf. Αυτό φαίνεται από τις καμπύλες μεταβολής της αντιστάσεως Z σε συνάρτηση με τη συχνότητα f [σχ. 3.3(α)] που χαράχθηκαν για διάφορες ωμικές αντιστάσεις R και σταθερό λόγο L/C.

Αν, τώρα, διατηρηθεί σταθερή η ωμική αντίσταση R και μεγαλώσει ο λόγος L/C (δηλαδή η ρ), η Z, έξω από το συντονισμό και για ίδια Δf, επίσης μεγαλώ-



Σχ. 3.3.

Καμπύλες μεταβολής της σύνθετης αντιστάσεως κυκλώματος συντονισμού σειράς.

νει. Στο συντονισμό παραμένει πάντοτε η ίδια R. Στο σχήμα 3.3(β) φαίνεται η μεταβολή της Z για διάφορους λόγους L/C και ίδιο γινόμενο LC, ώστε να είναι ίδια η συχνότητα συντονισμού.

Η μεταβολή της αντιστάσεως Z που προκαλείται από μεταβολή της συχνότητας f, προκαλεί αντίστοιχες μεταβολές στο ρεύμα που διαρρέει το κύκλωμα. Το ρεύμα έχει τη μέγιστη τιμή του κατά το συντονισμό και ελαττώνεται, όσο ο αποσυντονισμός αυξάνεται.

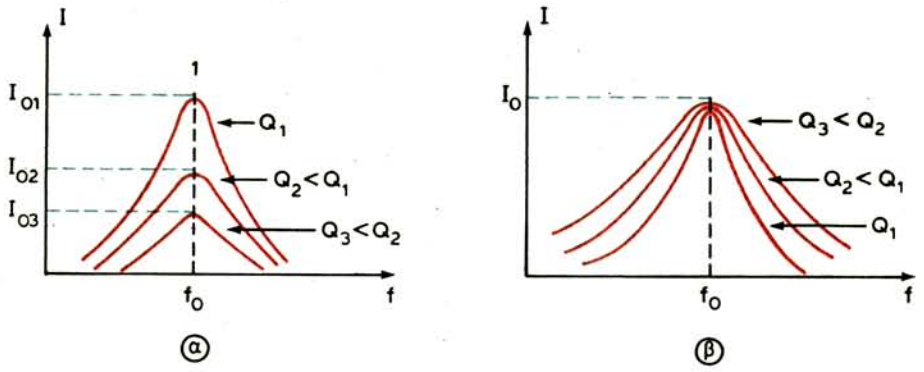
Η καμπύλη που δίνει τη μεταβολή του ρεύματος, η οποία προκαλείται με μεταβολή της συχνότητας, ονομάζεται ***καμπύλη συντονισμού*** του κυκλώματος. Η εξίσωσή της είναι:

$$I = \frac{U}{Z} = \frac{U}{R + j\rho\,\Delta f/f_o} \qquad (3.11)$$

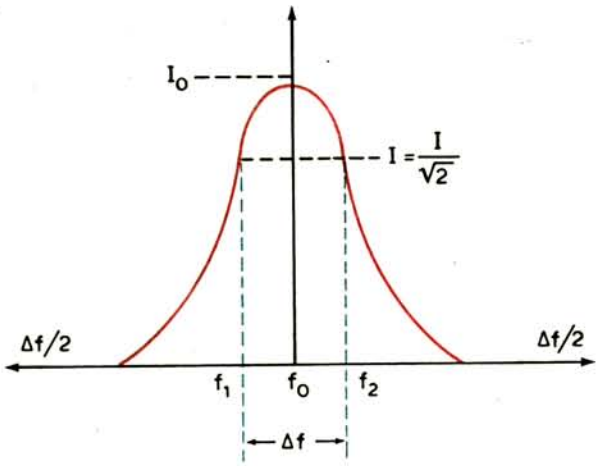
δηλαδή αντίστροφη από την εξίσωση (3.10).

Οι καμπύλες συντονισμού του κυκλώματος σειράς φαίνονται στο σχήμα 3.4. Οι καμπύλες αυτές είναι αντίστροφες ως προς τις αντίστοιχες καμπύλες μεταβολής της σύνθετης αντιστάσεως Z του σχήματος 3.3.

Ονομάζομε ***ζώνη διελεύσεως Δf*** ενός κυκλώματος συντονισμού το εύρος του φάσματος των συχνοτήτων, που ορίζεται από δύο συχνότητες f_1 και f_2 δεξιά και αριστερά της συχνότητας συντονισμού f_o, για τις οποίες ο λόγος του ρεύματος I προς το ρεύμα συντονισμού I_o είναι (σχ. 3.5):



Σχ. 3.4.
Καμπύλες συντονισμού κυκλώματος σειράς.



Σχ. 3.5.
Ζώνη διελεύσεως κυκλώματος σειράς.

$$\left| \frac{I}{I_o} \right| = \frac{1}{\sqrt{2}} = 0{,}707 \qquad (3.12)$$

Λαμβάνοντας υπόψη τις σχέσεις (3.4) και (3.11), έχομε:

$$\frac{I}{I_o} = \frac{U/(R + j\varrho\Delta f/f_o)}{U/R} = \frac{R}{R + j\varrho\Delta f/f_o} = \frac{1}{1 + j\varrho\Delta f/Rf_o}$$

και επειδή είναι: $\frac{\varrho}{R} = \frac{\sqrt{L/C}}{R} = Q$ παίρνομε: $\frac{I}{I_o} = \frac{1}{1 + jQ\frac{\Delta f}{f_o}}$

ή
$$\left|\frac{I}{I_o}\right| = \frac{1}{\sqrt{1 + Q^2\left(\frac{\Delta f}{f_o}\right)^2}} \qquad (3.13)$$

Από τις σχέσεις (3.12) και (3.13), έχομε: $\frac{1}{2} = \frac{1}{1 + Q^2(\Delta f/f_o)^2}$

οπότε:
$$Q\frac{Df}{f_o} = 1$$

και
$$\Delta f = f_2 - f_1 = 2(f - f_o) = \frac{f_o}{Q} \qquad (3.14)$$

Η τελευταία σχέση είναι χρήσιμη στους υπολογισμούς ραδιοτεχνικών κυκλωμάτων.

Εξετάζομε τώρα την περίπτωση κυκλώματος παράλληλου συντονισμού.

Η σχέση (3.6), με υπόψη και τη σχέση (3.10), παίρνει τη μορφή:

$$Z = \frac{L/C}{R + j(\omega L - 1/\omega C)} = \frac{L/C}{R + j\varrho\Delta f/f_o}.$$

Διαιρούμε αριθμητή και παρονομαστή με την R και έχομε:

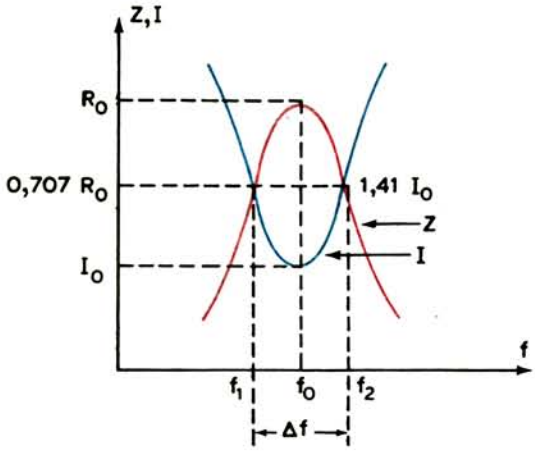
$$Z = \frac{L/RC}{1 + j\frac{\varrho}{R}\left(\frac{\Delta f}{f_o}\right)} = \frac{R_o}{1 + jQ\frac{\Delta f}{f_o}} \qquad (3.15)$$

Έτσι, η αντίσταση έξω από τη συχνότητα συντονισμού ελαττώνεται με αύξηση του Δf, ενώ για Δf = 0 είναι Z = R_o. Η καμπύλη της αντιστάσεως Z που χαράσσεται από τη σχέση (3.15) φαίνεται στο σχήμα 3.6.

Το ρεύμα για συχνότητα f διαφορετική από τη συχνότητα συντονισμού δίνεται από τη σχέση:

$$I = \frac{U}{Z} = U \cdot \frac{1 + jQ\Delta f/f_o}{R_o} \qquad (3.16)$$

και επομένως η καμπύλη μεταβολής του είναι αντίστροφη της Z, όπως φαίνεται και στο σχήμα 3.6.



Σχ. 3.6.
Καμπύλες συντονισμού και ζώνη διελεύσεως παράλληλου κυκλώματος.

Το μέτρο της αντιστάσεως Z είναι (σχέση 3.15):

$$|Z| = \frac{R_o}{\sqrt{1 + Q^2(\Delta f/f_o)^2}} \qquad (3.17)$$

και η ζώνη διελεύσεως καθορίζεται από τις συχνότητες f_1 και f_2 για τις οποίες έχομε:

$$Q\frac{\Delta f}{f_o} = 1 \quad \text{και} \quad Z = \frac{R_o}{\sqrt{2}} = 0{,}707\ R_o$$

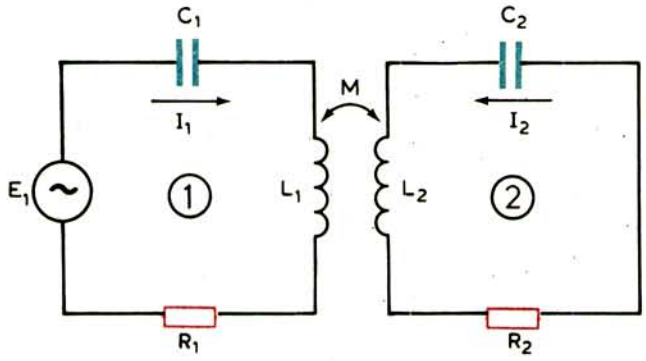
Το ρεύμα για τις ίδιες συχνότητες είναι:

$$I = \frac{U}{0{,}707\ R_o} = \frac{I_o}{0{,}707} = \sqrt{2}\ I_o = 1{,}41\ I_o$$

3.4 Συντονισμένα κυκλώματα σε σύζευξη.

Δύο συντονισμένα κυκλώματα που βρίσκονται σε τέτοια θέση μεταξύ τους ή έχουν κοινά ηλεκτρικά στοιχεία, ώστε ένα μέρος της ηλεκτρικής ενέργειας του ενός να εμφανίζεται στο άλλο, καλούνται ***συζευγμένα κυκλώματα***. Όταν τα κυκλώματα δεν συνδέονται ηλεκτρικά μεταξύ τους, μιλάμε για ***μαγνητική σύζευξη*** (σχ. 3.7).

Από την Ηλεκτροτεχνία είναι γνωστό ότι οι εξισώσεις του πρωτεύοντος και δευτερεύοντος κυκλώματος του σχήματος 3.7 έχουν τη μορφή:



Σχ. 3.7.
Συζευγμένα κυκλώματα.

$$E_1 = Z_1 I_1 + j\omega M I_2$$

$$O = Z_2 I_2 + j\omega M I_1$$

Από την εξίσωση του δευτερεύοντος έχομε:

$$I_2 = \frac{-j\omega M I_1}{Z_2} \tag{3.18}$$

Εισάγομε την τιμή αυτή στην εξίσωση του πρωτεύοντος και λύνομε ως προς I_1, οπότε παίρνομε:

$$I_1 = \frac{E_1}{Z_1 + \dfrac{\omega^2 M^2}{Z_2}} \tag{3.19}$$

Η σχέση αυτή δείχνει ότι η ολική σύνθετη αντίσταση του πρωτεύοντος έχει την τιμή:

$$Z_{o1} = Z_1 + \frac{\omega^2 M^2}{Z_2} \tag{3.20}$$

δηλαδή στην αντίσταση του πρωτεύοντος Z_1 προστίθεται και ένα μέγεθος αντιστάσεως, που προέρχεται από το δευτερεύον εξαιτίας της συζεύξεως.

Το μέγεθος αυτό:

$$Z_\sigma = \frac{\omega^2 M^2}{Z_2} \tag{3.21}$$

ονομάζεται ***σύνθετη αντίσταση από σύζευξη*** και η παρουσία της στο πρωτεύον προκαλεί ελάττωση του ρεύματος I_1.

Αν στη σχέση (3.18) αντικαταστήσομε την τιμή του ρεύματος I_1 από τη σχέση (3.19) παίρνομε:

$$I_2 = \frac{-j\omega M E_1}{Z_1 Z_2 + \omega^2 M^2} \tag{3.22}$$

Υποθέτομε τώρα ότι τα δύο κυκλώματα συντονίζουν στην ίδια συχνότητα ω. Στο συντονισμό τους, η αντίσταση του πρωτεύοντος γίνεται ίση με την ωμική του αντίσταση R_1 και του δευτερεύοντος ίση με την R_2. Η σύνθετη αντίσταση της σχέσεως (3.21) παίρνει την τιμή:

$$Z_\sigma = R_\sigma = \frac{\omega^2 M^2}{R_2} \tag{3.23}$$

Εφόσον ο παρονομαστής της σχέσεως αυτής έγινε ο ελάχιστος δυνατός, η αντίσταση Z_σ πήρε τη μέγιστη τιμή της, για ορισμένο, φυσικά, συντελεστή αμοιβαίας επαγωγής M. Η Z_σ έχει ωμικό χαρακτήρα (R_σ) και προστίθεται σε σειρά με την αντίσταση του πρωτεύοντος R_1, με αποτέλεσμα την ελάττωση του ρεύματος συντονισμού I_1, που παίρνει τώρα την τιμή:

$$I_1 = \frac{E_1}{R_1 + \dfrac{\omega^2 M^2}{R_2}} \tag{3.24}$$

Αντίθετα, ο συντονισμός των κυκλωμάτων προκαλεί αύξηση του ρεύματος δευτερεύοντος I_2 και έχομε:

$$I_2 = \frac{-j\omega M E_1}{R_1 R_2 + \omega^2 M^2} \tag{3.25}$$

Μπορούμε να αυξήσομε το ρεύμα πρωτεύοντος αν ελαττώσομε τον αριθμητή της σχέσεως (3.23). Πραγματικά, για ένα πολύ μικρό συντελεστή αμοιβαίας επαγωγής M, η αντίσταση R_σ μπορεί να γίνει τόσο μικρή, ώστε να αμεληθεί συγκρινόμενη με την R_1, και το ρεύμα πρωτεύοντος I_1 να μην επηρεάζεται από την παρουσία του δευτερεύοντος ($I_1 = E_1/R_1$). Όμως, στην περίπτωση αυτή ελαττώνεται σημαντικά το ρεύμα I_2, αφού η τάση που επάγεται στο δευτερεύον ($E_2 = -j\omega M I_1$) γίνεται μικρή.

Όταν είναι $R_\sigma << R_1$, λέμε ότι έχομε ***πολύ χαλαρή*** σύζευξη.

Με αύξηση του συντελεστή αμοιβαίας επαγωγής M (προσέγγιση των πηνίων

L_1 και L_2) το ρεύμα πρωτεύοντος ελαττώνεται, ενώ το ρεύμα δευτερεύοντος μεγαλώνει. Η αντίσταση R_σ δεν μπορεί πια να αμεληθεί, αλλά εφόσον παραμένει μικρότερη από την R_1, δηλαδή $R_\sigma<R_1$, η σύζευξη χαρακτηρίζεται απλώς ***χαλαρή***.

Για κάποια τιμή συντελεστή M, η αντίσταση συζεύξεως R_σ γίνεται ίση με την ωμική αντίσταση του πρωτεύοντος R_1. Η σύζευξη για την οποία έχομε:

$$R_\sigma = R_1 = \frac{\omega^2 M^2}{R_2} \tag{3.26}$$

ονομάζεται ***κρίσιμη***. Στην κρίσιμη σύζευξη παρατηρείται σαφής υποβιβασμός του ρεύματος πρωτεύοντος, αλλά επιτυχία του μέγιστου δυνατού (μέγιστου των μεγίστων) ρεύματος δευτερεύοντος.

Το ρεύμα πρωτεύοντος για την κρίσιμη σύζευξη δίνεται από τη σχέση:

$$I_{1k} = \frac{E_1}{2R_1} \tag{3.27}$$

Το ρεύμα δευτερεύοντος δίνεται από τη σχέση (3.25), αλλά επειδή είναι (σχέση 3.26):

$$\omega^2 M^2 = R_1 R_2 \qquad \text{και} \qquad \omega M = \sqrt{R_1 \cdot R_2}$$

θα έχομε:

$$I_{2k} = \frac{-j\sqrt{R_1 R_2}}{2R_1 R_2} \qquad E_1 = \frac{-jE_1}{2\sqrt{R_1 R_2}} \tag{3.28}$$

Η σύζευξη που είναι μεγαλύτερη από την κρίσιμη, ονομάζεται ***έντονη*** ή ***υπερκρίσιμη*** και συνοδεύεται από υποβιβασμό του ρεύματος δευτερεύοντος. Στην έντονη σύζευξη έχομε:

$$R_\sigma = \frac{\omega^2 M^2}{R_2} > R_1 \qquad \text{και} \qquad R_2 < \frac{\omega^2 M^2}{R_1}$$

Αποδεικνύεται ότι ο συντελεστής της κρίσιμης συζεύξεως k_c είναι ίσος με:

$$k_c = \frac{1}{\sqrt{Q_1 Q_2}} \tag{3.29}$$

όπου Q_1 και Q_2 οι συντελεστές ποιότητας των κυκλωμάτων πρωτεύοντος και δευτερεύοντος, αντίστοιχα.

3.5 Καμπύλες συντονισμού συζευγμένων κυκλωμάτων.

Εξετάζομε τώρα τα φαινόμενα που σημειώνονται όταν το πρωτεύον δύο συζευγμένων κυκλωμάτων τροφοδοτείται από πηγή με σταθερή τάση, αλλά μεταβλητή συχνότητα.

Υποθέτομε ότι τα κυκλώματα έχουν την ίδια ιδιοσυχνότητα f_0 και ότι η συχνότητα της πηγής είναι, κατ' αρχήν, μικρότερη από την f_0 ($f<f_0$).

Για τιμή συζεύξεως μεγαλύτερη ή ίση με την κρίσιμη και εφόσον δεν έχομε συντονισμό, η αντίσταση συζεύξεως Z_σ δεν είναι ωμική και δίνεται από τη σχέση (3.21):

$$Z_\sigma = \frac{\omega^2 M^2}{Z_2} = \frac{\omega^2 M^2}{R_2 + j(\omega L_2 - 1/\omega C_2)}$$

Επειδή η συχνότητα της πηγής είναι μικρότερη από τη συχνότητα συντονισμού ($f<f_0$), η Z_2 έχει χωρητική συμπεριφορά ($1/\omega C_2 > \omega L_2$) και μπορεί να πάρει τη μορφή: $Z_2 = R_2 - jX_2$, και επομένως η Z_σ θα είναι:

$$Z_\sigma = \frac{\omega^2 M^2}{R_2 - jX_2} \tag{3.30}$$

ή με πολλαπλασιασμό αριθμητή και παρονομαστή επί τον συζυγή του παρονομαστή:

$$Z_\sigma = \frac{\omega^2 M^2 (R_2 + jX_2)}{(R_2 - jX_2)(R_2 + jX_2)} = \frac{\omega^2 M^2 R_2 + j\omega^2 M^2 X_2}{R_2^2 + X_2^2}$$

Έτσι, η σύνθετη αντίσταση συζεύξεως αναλύεται σε δυο συνιστώσες: την πραγματική (ωμική):

$$R_\sigma = \frac{\omega^2 M^2}{Z_2^2} \cdot R_2 \tag{3.31}$$

και τη φανταστική:

$$X_\sigma = j \frac{\omega^2 M^2}{Z_2^2} \cdot X_2 \tag{3.32}$$

όπου $Z_2^2 = R_2^2 + X_2^2$.

Η πραγματική συνιστώστα προστίθεται σε σειρά με την ωμική αντίσταση του πρωτεύοντος και η φανταστική, που έχει επαγωγικό χαρακτήρα, σε σειρά με την ωL_1. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα να εμφανίζεται το πρωτεύον με μεγαλύτερη

αυτεπαγωγή και να συντονίζει τώρα σε μια συχνότητα f_1 χαμηλότερη από την αρχική συχνότητα συντονισμού f_o, που δίνεται από τη σχέση:

$$f_1 = \frac{1}{2\pi \sqrt{L_{01}C_1}} \tag{3.33}$$

όπου L_{01} η ολική (ισοδύναμη) αυτεπαγωγή πρωτεύοντος, που προέρχεται από το άθροισμα της αρχικής L_1 και εκείνης που εισάγεται από το δευτερεύον ($L_\sigma = X_\sigma/\omega$), λόγω της συζεύξεως, δηλαδή: $L_{01} = L_1 + L_\sigma = L_1 + X_\sigma/\omega$.

Υποθέτομε τώρα ότι η συχνότητα της πηγής είναι η μεγαλύτερη από την ιδιοσυχνότητα των δύο κυκλωμάτων ($f > f_0$). Στην περίπτωση αυτή, η Z_2 έχει επαγωγική συμπεριφορά και οι σχέσεις (3.30) και (3.32) παίρνουν τις μορφές:

$$Z_\sigma = \frac{\omega^2 M^2}{R_2 + jX_2} \tag{3.34}$$

$$X_\sigma = -j \frac{\omega^2 M^2}{Z_2^2} \cdot X_2 \tag{3.35}$$

Η ωμική συνιστώσα της Z_σ παραμένει η ίδια (σχέση 3.31), ενώ η φανταστική (σχέση 3.35) αποκτά χωρητική συμπεριφορά. Η τελευταία, εισάγεται στο πρωτεύον και προστίθεται σε σειρά με την αρχική χωρητική αντίσταση $1/\omega C_1$. Η ολική χωρητικότητα του πρωτεύοντος εμφανίζεται τώρα μικρότερη (πυκνωτές σε σειρά) και είναι:

$$C_{01} = \frac{C_1 \cdot C_\sigma}{C_1 + C_\sigma}$$

όπου $C_\sigma = 1/\omega X_\sigma$, η χωρητικότητα που εισάγεται στο πρωτεύον, εξαιτίας της συζεύξεως με το δευτερεύον. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα να συντονίζει το πρωτεύον σε νέα συχνότητα f_2 υψηλότερη από την αρχική f_0, που δίνεται από τη σχέση:

$$f_2 = \frac{1}{2\pi \sqrt{L_1 C_{o1}}} \tag{3.36}$$

Έτσι και στις δύο περιπτώσεις η παρουσία του δευτερεύοντος προκαλεί την εισαγωγή στο πρωτεύον μιας ωμικής αντιστάσεως (σχέση 3.31) και μιας φανταστικής, η οποία για $f < f_0$ έχει επαγωγικό χαρακτήρα (σχέση 3.32) και για $f > f_0$, χωρητικό χαρακτήρα (σχέση 3.35).

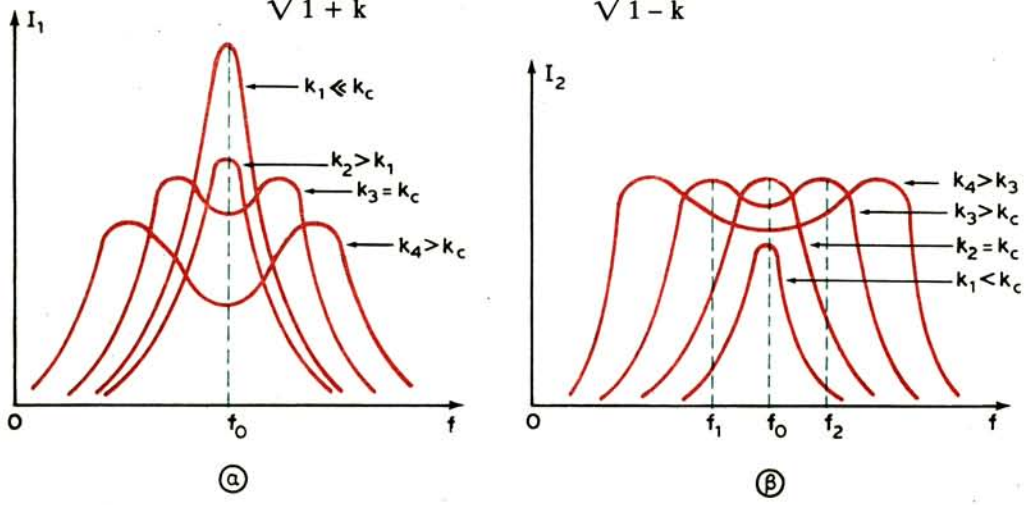
Για μια πολύ χαλαρή σύζευξη, η επίδραση των πιο πάνω αντιστάσεων μπορεί

να αμεληθεί και το ρεύμα πρωτεύοντος θα εξαρτάται μόνο από την αντίσταση Z_1. Η μεταβολή του ρεύματος αυτού, σε συνάρτηση με τη συχνότητα της πηγής, θα έχει τη μορφή μιας συνηθισμένης καμπύλης συντονισμού σειράς. Όσο η σύζευξη πλησιάζει προς την κρίσιμη, η εισαγωγή της R_σ στο πρωτεύον θα ελαττώνει το ρεύμα στην κοινή συχνότητα συντονισμού f_0 και η X_σ (σε συνδυασμό με την R_σ), το ρεύμα εκτός συντονισμού. Πέρα από την κρίσιμη σύζευξη, το ρεύμα πρωτεύοντος στην f_0 υποβιβάζεται σημαντικά (επειδή είναι $R_\sigma > R_1$), ενώ παράλληλα εμφανίζονται δύο μέγιστα, που αντιστοιχούν στις συχνότητες f_1 και f_2 (σχέσεις 3.33 και 3.36), λόγω της δράσεως της X_σ. Η εικόνα αυτή φαίνεται στο σχήμα 3.8(α).

Ανάλογα φαινόμενα παρατηρούνται και στο δευτερεύον. Η αύξηση της συζεύξεως μέχρι την κρίσιμη, δημιουργεί μεγαλύτερο ρεύμα δευτερεύοντος στη συχνότητα f_0. Στην κρίσιμη ακριβώς σύζευξη το I_2 παίρνει τη μέγιστη τιμή του. Για συζεύξεις μεγαλύτερες από την κρίσιμη, εισέρχονται στο δευτερεύον τα στοιχεία ωL_1 και $1/\omega C_1$ της Z_1 (σχέση 3.22). Έτσι, αποκτούν άλλες τιμές τα στοιχεία του δευτερεύοντος και εμφανίζονται τα δύο μέγιστα ρεύματος, δεξιά και αριστερά από το ρεύμα συντονισμού στην f_0. Η εικόνα αυτή φαίνεται στο σχήμα 3.8(β).

Μπορεί να αποδειχθεί ότι οι συχνότητες f_1 και f_2, για τις οποίες εμφανίζονται τα μέγιστα ρεύματος στο πρωτεύον και δευτερεύον, συνδέονται με την κοινή συχνότητα f_o και το συντελεστή της συζεύξεως k με τις σχέσεις:

$$f_1 = \frac{f_o}{\sqrt{1+k}} \quad \text{και} \quad f_2 \frac{f_o}{\sqrt{1-k}} \qquad (3.37)$$



Σχ. 3.8.
Καμπύλες συντονισμού δύο συζευγμένων κυκλωμάτων.
α) Πρωτεύοντος. β) Δευτερεύοντος.

Οι συχνότητες αυτές, που η τιμή τους εξαρτάται από το βαθμό της συζεύξεως, ονομάζονται ***πλευρικές συχνότητες συζεύξεως.*** Όσο η σύζευξη γίνεται εντονότερη, τα δύο μέγιστα των πλευρικών συχνοτήτων απομακρύνονται συμμετρικά από την κοινή συχνότητα συντονισμού. Η απομάκρυνση των μεγίστων του πρωτεύοντος συνοδεύεται από σαφή πτώση τους, ενώ του δευτερεύοντος παραμένουν ισοϋψή. Στην πράξη, μεγαλύτερο ενδιαφέρον παρουσιάζουν οι καμπύλες συντονισμού του δευτερεύοντος και ιδιαίτερα για τιμές συζεύξεως γύρω από την κρίσιμη.

Σημειώνομε ότι, αν τα κυκλώματα έχουν διαφορετικό συντελεστή ποιότητας Q, τα δύο μέγιστα δεν έχουν το ίδιο ύψος.

3.6 Ζώνη διελεύσεως συζευγμένων κυκλωμάτων.

Η ζώνη διελεύσεως Δf δύο συζευγμένων κυκλωμάτων καθορίζεται από το εύρος της καμπύλης συντονισμού του δευτερεύοντος. Το εύρος αυτό περιορίζεται από δύο συχνότητες f_1 και f_2 για τις οποίες το ρεύμα δευτερεύοντος I_2 γίνεται ίσο με 70,7% του μέγιστου ρεύματος I_{2m} που εμφανίζεται κατά το συντονισμό:

$$I_2 = \frac{I_{2m}}{\sqrt{2}} = 0{,}707\ I_{2m}$$

Μπορεί να αποδειχθεί ότι στην περίπτωση ομοίων κυκλωμάτων που συντονίζουν στην ίδια συχνότητα, η ζώνη διελεύσεως παίρνει τη μέγιστη τιμή της, όταν ο συντελεστής της συζεύξεως k γίνει 2,41 φορές μεγαλύτερος από τον κρίσιμο k_c ($k = 2{,}41\ k_c$).

Η μέγιστη ζώνη διελεύσεως εκφράζεται από τη σχέση:

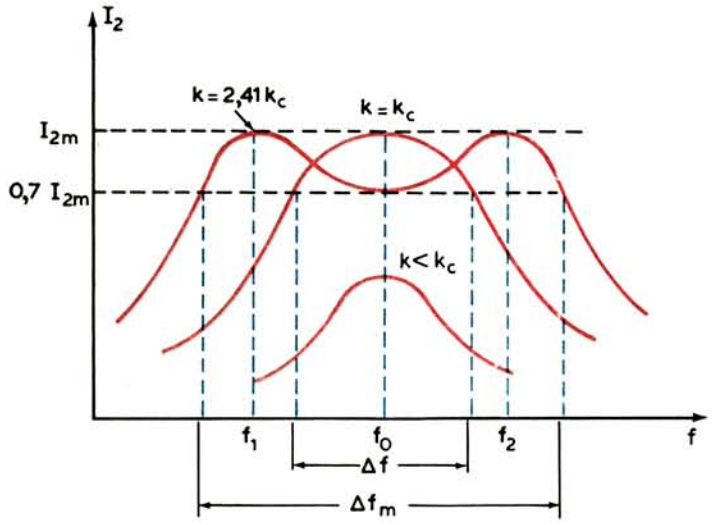
$$\Delta f_m = 3{,}1\ \frac{f_o}{Q} \tag{3.38}$$

δηλαδή είναι 3 φορές περίπου μεγαλύτερη από τη ζώνη διελεύσεως ενός απλού κυκλώματος (σχέση 3.14). Γι' αυτή την τιμή της συζεύξεως, τα τρία μέγιστα (σχ. 3.9) τα οποία αντιστοιχούν στις συχνότητες f_1, f_o και f_2 πέφτουν στη στάθμη $I_2 = 0{,}707\ I_{2m}$. Η αύξηση της συζεύξεως, πέρα από την τιμή αυτή, οδηγεί σε ελάττωση της ζώνης διελεύσεως.

Όταν ο συντελεστής της συζεύξεως είναι ίσος με τον κρίσιμο ($k = k_c$), η ζώνη διελεύσεως υπολογίζεται από τη σχέση:

$$(\Delta f)_c = \sqrt{2}\ f_o/Q = 1{,}41\ f_o/Q \tag{3.39}$$

Με ελάττωση της συζεύξεως, η Δf επίσης ελαττώνεται και με πολύ χαλαρή σύζευξη, μπορεί να γίνει μικρότερη από εκείνη του απλού κυκλώματος. Π.χ., με



Σχ. 3.9.
Ζώνες διελεύσεως συζευγμένων κυκλωμάτων.

$k = 0{,}1\ k_c$, η ζώνη διελεύσεως γίνεται:

$$\Delta f = 0{,}65\ f_o/Q$$

Έτσι, η μορφή της καμπύλης συντονισμού και η ζώνη διελεύσεως δύο συζευγμένων κυκλωμάτων εξαρτώνται από το βαθμό της συζεύξεως και μπορούν να ρυθμισθούν σε μεγάλα όρια με κατάλληλη εκλογή του συντελεστή της συζεύξεως k. Αν ο συντελεστής αυτός βρίσκεται μεταξύ των τιμών $k=k_c$ και $k= 2{,}41\ k_c$, η καμπύλη συντονισμού του δευτερεύοντος είναι πρακτικά τραπεζοειδής, με την προϋπόθεση ότι τα δύο μέγιστα των πλευρικών συχνοτήτων συζεύξεως είναι συμμετρικά. Σε περίπτωση ασυμμετρίας περιοριζόμαστε στην κρίσιμη σύζευξη, για την οποία δεν εμφανίζονται μέγιστα από πλευρικές συχνότητες συζεύξεως. Η μεγαλύτερη συμμετρία στην καμπύλη συντονισμού του δευτερεύοντος, επιτυγχάνεται όταν τα δύο κυκλώματα είναι όμοια κατασκευαστικά, δηλαδή έχουν ίδια πηνία και πυκνωτές.

Στην τεχνική της λήψεως (ραδιόφωνα), τα συστήματα συμμετρικών συζευγμένων κυκλωμάτων ονομάζονται ***φίλτρα*** και τέτοια είναι οι λεγόμενοι ***μετασχηματιστές ενδιάμεσης συχνότητας,*** που θα εξετάσομε πιο κάτω. Στη ραδιοφωνία, ο συντελεστής συζεύξεως μεταξύ των κυκλωμάτων αυτών ρυθμίζεται έτσι, ώστε να έχομε ομοιόμορφη διέλευση συχνοτήτων με εύρος $\Delta f = 9$ kHz.

3.7 Απλά και σύνθετα ζευκτικά φίλτρα.

Εξετάσαμε ως τώρα τη μαγνητική ή επαγωγική σύζευξη και είδαμε ότι η

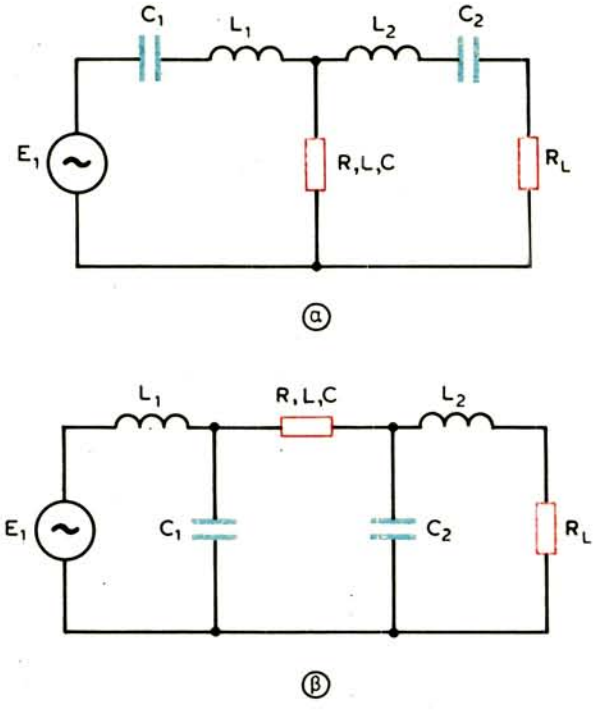
ανταλλαγή ενέργειας μεταξύ των κυκλωμάτων, στην περίπτωση αυτή, γίνεται μέσα από το συντελεστή αμοιβαίας επαγωγής M.

Όταν η μεταφορά ηλεκτρικής ενέργειας από ένα κύκλωμα σε κάποιο άλλο γίνεται μέσα από ένα στοιχείο R, L, C μιλάμε για ***ηλεκτρική σύζευξη.*** Στην ηλεκτρική σύζευξη, το στοιχείο R, L, C μπορεί να συνδεθεί παράλληλα προς τα κυκλώματα, δηλαδή να είναι κοινό στοιχείο των κυκλωμάτων [σχ. 3.10(α)] ή σε σειρά με αυτά [σχ. 3.10(β)]. Ανάλογα με το στοιχείο που χρησιμοποιείται, μπορούμε να διακρίνομε συζεύξεις με ωμική αντίσταση, με αυτεπαγωγή και με χωρητικότητα σε παράλληλη σύνδεση ή συζεύξεις με τα ίδια στοιχεία σε σύνδεση σειράς.

Ο βαθμός αλληλεπιδράσεως μεταξύ δύο κυκλωμάτων χαρακτηρίζεται από το συντελεστή της συζεύξεως k, ο οποίος στην περίπτωση της επαγωγικής συζεύξεως δίνεται από την απλή σχέση:

$$k = \frac{M}{\sqrt{L_1 L_2}} \tag{3.40}$$

Πολλαπλασιάζοντας αριθμητή και παρονομαστή της σχέσεως αυτής επί την



Σχ. 3.10.
Κυκλώματα με ηλεκτρική σύζευξη.

κυκλική συχνότητα ω, παίρνομε:

$$k = \frac{\omega M}{\sqrt{\omega L_1 \cdot \omega L_2}}$$

Θέτομε:

$X_m = \omega M$ (αντίσταση αμοιβαίας επαγωγής)
$X_1 = \omega L_1$ (αυτεπαγωγική αντίσταση πρωτεύοντος)
$X_2 = \omega L_2$ (αυτεπαγωγική αντίσταση δευτερεύοντος)

οπότε έχομε μια γενική έκφραση του συντελεστή k, που είναι κατάλληλη για κάθε μορφή συζεύξεως κυκλωμάτων, δηλαδή:

$$k = \frac{X_m}{\sqrt{X_1 X_2}} \tag{3.41}$$

όπου: X_m η αντίσταση του στοιχείου συζεύξεως και X_1, X_2, οι αντιστάσεις των συζευγμένων κυκλωμάτων που έχουν τον ίδιο χαρακτήρα με την X_m.

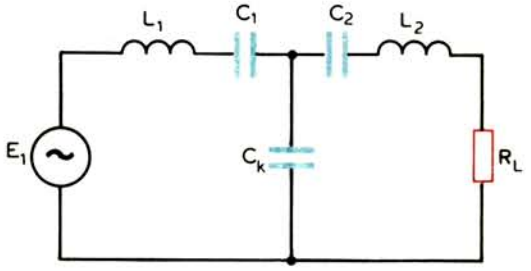
Έτσι π.χ., για χωρητική σύζευξη με κοινό πυκνωτή (σχ. 3.11), έχομε:

$$X_m = \frac{1}{\omega C_k}, \qquad X_1 \frac{1}{\omega \cdot \dfrac{C_1 C_k}{C_1 + C_k}}, \qquad X_2 \frac{1}{\omega \dfrac{C_2 C_k}{C_2 + C_k}}$$

και (σχέση 3.41):

$$k = \sqrt{\frac{C_1 \cdot C_2}{(C_1 + C_k)(C_2 + C_k)}}$$

Με ανάλογο τρόπο υπολογίζονται οι συντελεστές συζεύξεως και των άλλων



Σχ. 3.11.
Χωρητική σύζευξη μεταξύ κυκλωμάτων.

κυκλωμάτων που προκύπτουν από το σχήμα 3.10.

Τα κυκλώματα των σχημάτων 3.10 και 3.11 αποτελούν δείγματα μιας οικογένειας ηλεκτρικών κυκλωμάτων, που ονομάζονται ***φίλτρα*** και που γενικά προορίζονται για το διαχωρισμό εναλλασσομένων ρευμάτων διαφόρων συχνοτήτων. Τα ηλεκτρικά φίλτρα κατασκευάζονται με πηνία και πυκνωτές και η λειτουργία τους στηρίζεται στην ιδιότητα των στοιχείων αυτών να παρουσιάζουν διαφορετικές αντιστάσεις στα εναλλασσόμενα ρεύματα των διαφόρων συχνοτήτων.

Ανάλογα με την περιοχή συχνοτήτων, στις οποίες εργάζονται τα φίλτρα, αυτά διακρίνονται σε φίλτρα:

α) Διελεύσεως χαμηλών συχνοτήτων

β) διελεύσεως υψηλών συχνοτήτων

γ) διελεύσεως ζώνης συχνοτήτων και

δ) αποκοπής ή φραγμού ζώνης συχνοτήτων.

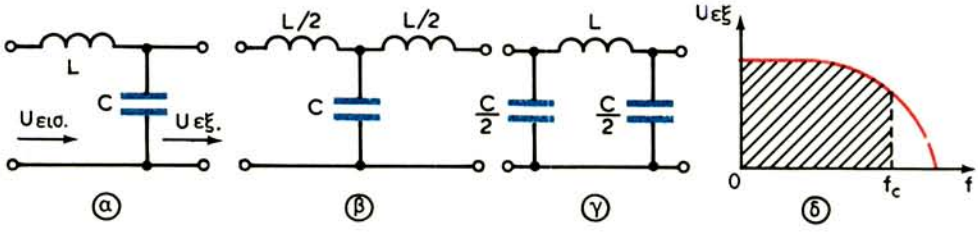
Κατασκευαστικά τα φίλτρα όλων των κατηγοριών διακρίνονται σε φίλτρα τύπου Γ, τύπου Τ και τύπου Π.

Η λεπτομερειακή εξέταση των φίλτρων δεν εμπίπτει στους σκοπούς αυτού του βιβλίου, γι' αυτό εδώ θα δώσομε μόνο μερικές πληροφορίες για τη σύνθεση και τη λειτουργία τους.

α) Φίλτρα διελεύσεως χαμηλών συχνοτήτων.

Οι μορφές τους φαίνονται στο σχήμα 3.12(α) τύπου Γ, 3.12(β) τύπου Τ και 3.12(γ) τύπου Π.

Το πηνίο L, που βρίσκεται σε σειρά στη ροή του σήματος, εμφανίζει μικρή αντίσταση ωL στις χαμηλές συχνότητες. Ο πυκνωτής C συνδέεται παράλληλα και προβάλλει στις ίδιες συχνότητες τη μεγάλη αντίσταση 1/ωC (η συχνότητα βρίσκεται στον παρονομαστή). Έτσι, τα ρεύματα των χαμηλών συχνοτήτων περνούν εύκολα από το πηνίο και δεν μπορούν να διαρρεύσουν από τον πυκνωτή. Αντίθετα, στις υψηλές συχνότητες το πηνίο παρουσιάζει μεγάλη αντίσταση και ο πυκνωτής μικρή. Οι υψηλές συχνότητες δεν περνούν εύκολα από το πηνίο, ενώ διαρρέουν εύκολα από τον πυκνωτή και επομένως δεν μπορούν να εμφανισθούν στην έξοδο του φίλτρου.



Σχ. 3.12.

Φίλτρα διελεύσεως χαμηλών συχνοτήτων.

Η λειτουργία των φίλτρων χαμηλών συχνοτήτων παριστάνεται από την καμπύλη του σχήματος 3.12(δ), που ονομάζεται ***καμπύλη διελεύσεως***. Από την καμπύλη αυτή φαίνεται ότι τα φίλτρα χαμηλών συχνοτήτων επιτρέπουν τη διέλευση όλων των συχνοτήτων που περιλαμβάνονται μεταξύ της μηδενικής και κάποιας άλλης f_c που ονομάζεται ***συχνότητα αποκοπής.***

Η συχνότητα αποκοπής των φίλτρων του σχήματος 3.12 υπολογίζεται από τη σχέση:

$$f_c = \frac{1}{\pi\sqrt{LC}}, \qquad \left(\frac{L}{2}+\frac{L}{2} = L,\ \frac{C}{2}+\frac{C}{2} = C\right)$$

και τα στοιχεία, από τις σχέσεις: $L = \frac{R_o}{\pi f_c}$ και $C = \frac{1}{\pi f_c R_o}$

όπου: $R_o = \sqrt{\frac{L}{C}}$

είναι η ***χαρακτηριστική αντίσταση*** του φίλτρου.

β) Φίλτρα διελεύσεως υψηλών συχνοτήτων.

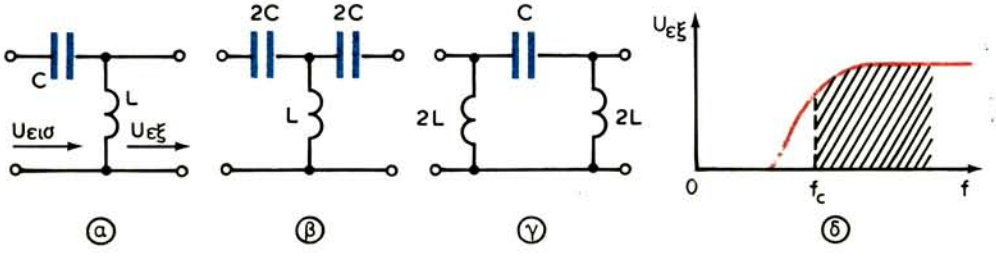
Στα φίλτρα αυτά οι πυκνωτές συνδέονται σε σειρά στη ροή του σήματος, ενώ τα πηνία παράλληλα (σχ. 3.13).

Στις χαμηλές συχνότητες ο πυκνωτής προβάλλει μεγάλη αντίσταση και δεν επιτρέπει τη διέλευσή τους. Στις ίδιες συχνότητες το πηνίο παρουσιάζει μικρή αντίσταση και τις βραχυκυκλώνει. Επομένως, στην έξοδο του φίλτρου δεν εμφανίζονται οι χαμηλές συχνότητες.

Αντίθετα, το φίλτρο επιτρέπει τη διέλευση των υψηλών συχνοτήτων, επειδή ο πυκνωτής σε αυτές παρουσιάζει μικρή αντίσταση και το πηνίο μεγάλη, ώστε δεν μπορούν να διαρρεύσουν.

Η περιοχή διελεύσεως των φίλτρων περιορίζεται μεταξύ της συχνότητας αποκοπής f_c και της άπειρης [σχ. 3.13(δ)].

Για τα φίλτρα αυτά ισχύουν οι σχέσεις: $f_c = \frac{1}{4\pi\sqrt{LC}}$



Σχ. 3.13.
Φίλτρα διελεύσεως υψηλών συχνοτήτων.

$$L = \frac{R_o}{4\pi f_c}, \qquad C = \frac{1}{4\pi f_c R_o} \qquad \text{και} \qquad R_o = \sqrt{L/C}$$

γ) Φίλτρα διελεύσεως ζώνης συχνοτήτων.

Περιλαμβάνουν ένα κύκλωμα συντονισμού σειράς και ένα παράλληλου συντονισμού, που συνδέονται όπως φαίνεται στα σχήματα 3.14.

Τα κυκλώματα L_1C_1 και L_2C_2 έχουν την ίδια ιδιοσυχνότητα ($L_1C_1 = L_2C_2$). Για μια συχνότητα σήματος που είναι ίση με την ιδιοσυχνότητα f_o των κυκλωμάτων, δηλαδή στο συντονισμό τους, ο κλάδος L_1C_1 παρουσιάζει μικρή αντίσταση (συντονισμός σειράς) και ο κλάδος L_2C_2, μεγάλη αντίσταση (παράλληλος συντονισμός). Έτσι, το φίλτρο επιτρέπει τη διέλευση της συχνότητας συντονισμού και των πλευρικών της. Για κάθε άλλη συχνότητα, που απέχει αρκετά από τη συχνότητα συντονισμού, ο κλάδος L_1C_1 παρουσιάζει μεγάλη αντίσταση και ο κλάδος L_2C_2 μικρή, οπότε το φίλτρο δεν επιτρέπει τη διέλευσή της.

Η ζώνη διελεύσεως του φίλτρου περιορίζεται μεταξύ δύο συχνοτήτων αποκοπής f_c' και f_c'' [(σχ. 3.14(δ)] και το εύρος της ζώνης αυτής εξαρτάται από το Q των κυκλωμάτων.

Για τα φίλτρα αυτά έχομε τις σχέσεις (με γνωστές τις συχνότητες αποκοπής f_c' και f_c''):

$$f_o = \sqrt{f_c' f_c''} = \frac{1}{2\pi\sqrt{L_1C_1}} = \frac{1}{2\pi\sqrt{L_2C_2}}$$

$$L_1 = \frac{R_o}{\pi(f_c'' - f_c')}, \qquad C_1 = \frac{f_c'' - f_c'}{4\pi R_0 f_c' f_c''}$$

$$L_2 = \frac{R_o(f_c'' - f_c')}{4\pi f_c'' f_c'}, \qquad C_2 = \frac{1}{\pi R_o(f_c'' - f_c')}$$

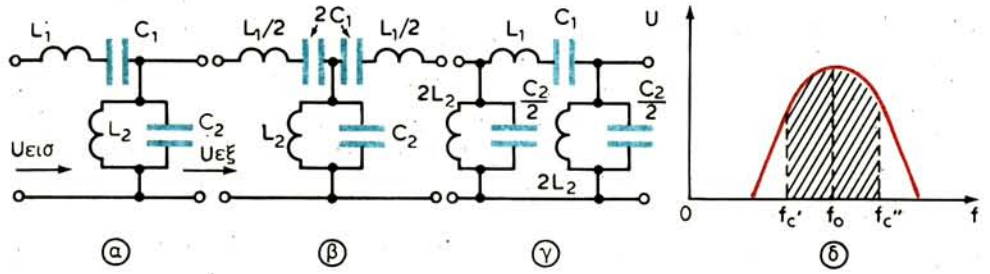
$$\text{και } R_o = \sqrt{\frac{L_2}{C_1}} = \sqrt{\frac{L_1}{C_2}}$$

που ισχύει μόνο για τη συχνότητα συντονισμού.

δ) Φίλτρα φραγμού ζώνης συχνοτήτων.

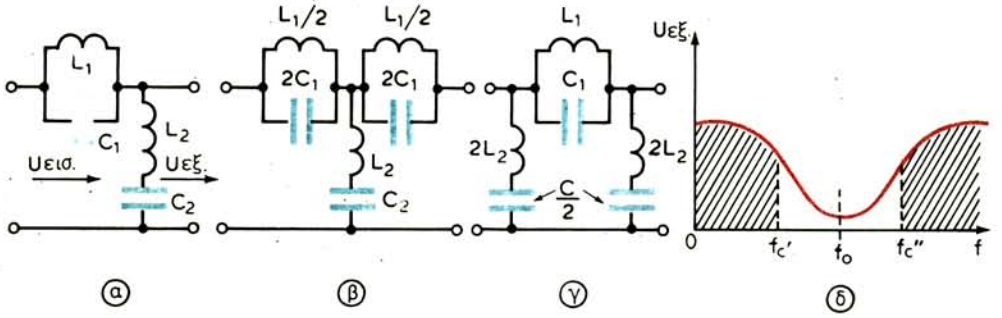
Τα φίλτρα αυτά είναι αντίστροφα των προηγουμένων (σχ. 3.15), δηλαδή το κύκλωμα παράλληλου συντονισμού βρίσκεται στον κλάδο σειράς και το κύκλωμα συντονισμού σειράς, στον παράλληλο κλάδο. Τα κυκλώματα έχουν και εδώ την ίδια ιδιοσυχνότητα.

Για τη συχνότητα συντονισμού f_o, ο κλάδος σειράς προβάλλει μεγάλη αντίσταση και ο παράλληλος κλάδος μικρή. Έτσι, η συχνότητα αυτή με τις πλευρικές της δεν μπορεί να περάσει από το φίλτρο. Όμως, περνούν οι συχνότητες που



Σχ. 3.14.

Φίλτρα διελεύσεως ζώνης συχνοτήτων.



Σχ. 3.15.

Φίλτρα φραγμού ζώνης συχνοτήτων.

απέχουν αρκετά από τη συχνότητα συντονισμού και για τις οποίες ο κλάδος σειράς παρουσιάζει μικρή αντίσταση και ο παράλληλος μεγάλη.

Η ζώνη φραγμού περιορίζεται μεταξύ των συχνοτήτων f_c' και f_c'' [σχ. 3.15(δ)] και το εύρος της εξαρτάται από το Q των κυκλωμάτων.

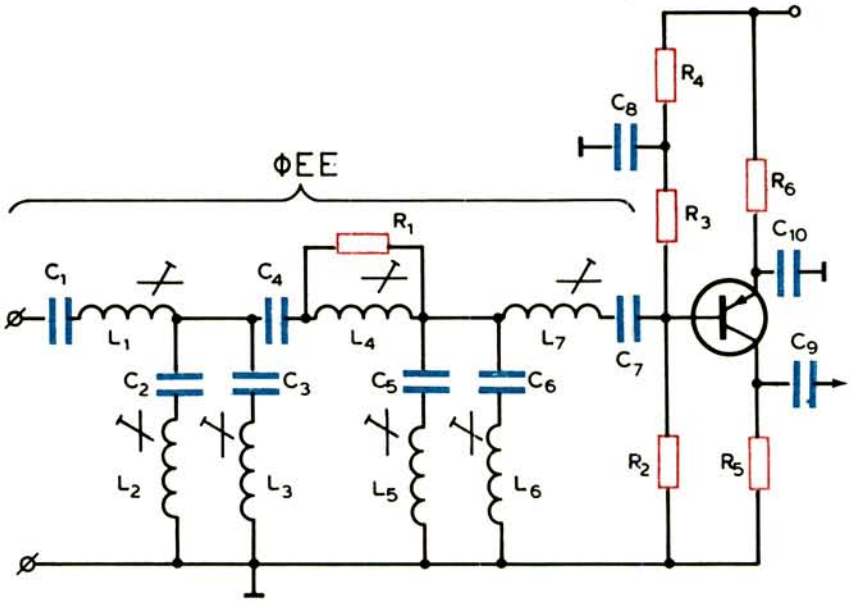
Για τα φίλτρα φραγμού ζώνης συχνοτήτων έχομε:

$$L_1 = \frac{R_o\,(f_c'' - f_c')}{\pi f_c' f_c''} \qquad C_1 = \frac{1}{4\pi R_o (f_c'' - f_c')}$$

$$L_2 = \frac{R_o}{4\pi (f_c'' - f_c')} \qquad C_2 = \frac{f_c'' - f_c'}{\pi R_o f_c' f_c''}$$

Η συχνότητα συντονισμού f_o και η χαρακτηριστική αντίσταση R_o δίνονται από τις σχέσεις των προηγουμένων φίλτρων.

Σημειώνομε ότι ένα φίλτρο εργάζεται σε συνθήκες προσαρμογής, όταν η αντίσταση του φορτίου του ισούται με την χαρακτηριστική του.



Σχ. 3.16.
Φίλτρο εντοπισμένης επιλογής συνδεμένο στην είσοδο βαθμίδας.

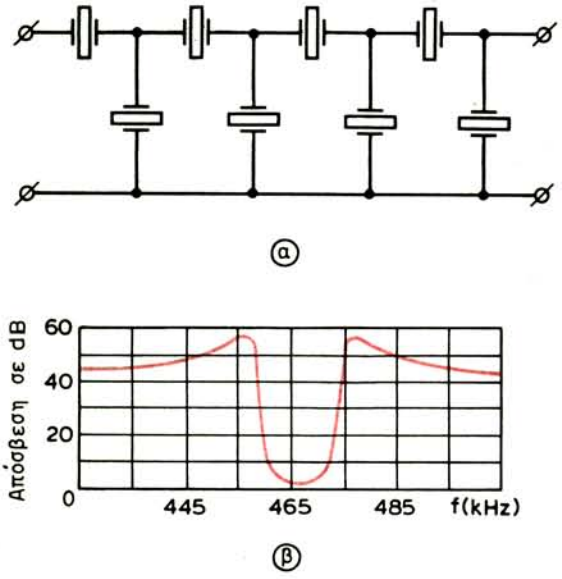
Τα φίλτρα που είδαμε λέγονται απλά φίλτρα. Με συνδυασμούς απλών φίλτρων παίρνομε συνθετότερα, που έχουν ιδιαίτερες επιδόσεις σε συγκεκριμένες περιπτώσεις. Ένα τέτοιο φίλτρο φαίνεται στο σχήμα 3.16, που είναι γνωστό σαν ***φίλτρο εντοπισμένης επιλογής (ΦΕΕ).*** Τα ΦΕΕ μορφοποιούν την καμπύλη αποκρίσεως ενός ενισχυτή υψηλών συχνοτήτων με την απαιτούμενη επιλεκτικότητα.

Το φίλτρο του σχήματος 3.16 αποτελείται από 7 κυκλώματα συντονισμένα σε διάφορες συχνότητες. Τα κυκλώματα L_2 C_2, L_3 C_3, L_5 C_5, και L_6 C_6, συντονίζουν σε ανεπιθύμητες συχνότητες και λέγονται ***κυματοπαγίδες.*** Τα κυκλώματα L_1 C_1, L_4 C_4 και L_7 C_7, είναι συντονισμένα σε συχνότητες της επιθυμητής ζώνης διελεύσεως.

Κλείνομε την παράγραφο με την παρουσίαση ενός πιεζοηλεκτρικού (κρυσταλλικού) φίλτρου, που αποτελείται από 8 κρυστάλλους, που συνδέονται όπως στο σχήμα 3.17(α). Το φίλτρο έχει ιδιότητες συντονισμένου κυκλώματος με πολύ οξεία καμπύλη συντονισμού, σχήμα 3.17(β). Ο συντελεστής ποιότητας Q του ισοδύναμου ηλεκτρικού κυκλώματος του κρυστάλλου φθάνει τις μερικές χιλιάδες.

3.8 Εκλογή τρανζίστορ και μορφής συνδεσμολογίας τους.

Η σύγχρονη ηλεκτρονική τεχνική διαθέτει πληθώρα τρανζίστορ, ολοκληρω-



Σχ. 3.17.
Πιεζοηλεκτρικό φίλτρο με την καμπύλη διελεύσεώς του.

μένων κυκλωμάτων και μεθόδων σχεδιασμού συνδεσμολογιών, που προορίζονται για τη λειτουργία στις υψηλές συχνότητες. Η εκλογή των τρανζίστορ και της συνδεσμολογίας τους έχει ουσιαστική σημασία για την ενίσχυση υψηλών συχνοτήτων.

Τα σύγχρονα τρανζίστορ υποδιαιρούνται στους επόμενους τύπους: στα ***τρανζίστορ επαφής (διπολικά τρανζίστορ)***, στα ***πεδιακά τρανζίστορ (FET) επαφής*** και στα ***πεδιακά τρανζίστορ με μονωμένη πύλη.***

Τα διπολικά τρανζίστορ λειτουργούν σε πολύ πλατιά ζώνη συχνοτήτων και παρέχουν πολύ υψηλές ισχείς, σε σύγκριση με τα πεδιακά τρανζίστορ. Για τους λόγους αυτούς χρησιμοποιούνται περισσότερο στις υψηλές συχνότητες από όσο τα τρανζίστορ των άλλων τύπων.

Όμως και τα πεδιακά τρανζίστορ έχουν τα πλεονεκτήματά τους. Τα πεδιακά τρανζίστορ επαφής, π.χ., παρέχουν τη δυνατότητα αυτόματης ρυθμίσεως της ενισχύσεως και μπορούν να εργασθούν σε πολύ πλατιά δυναμική περιοχή. Τα πλεονεκτήματα αυτά έχουν μεγάλη σημασία όταν χρησιμοποιούνται τρανζίστορ σε διάφορους τύπους διατάξεων λήψεως.

Μολονότι θεωρητικά στους ενισχυτές υψηλών συχνοτήτων με ολοκληρωμένα κυκλώματα το μήκος των συνδετικών αγωγών είναι μικρό και επομένως, χαμηλή η αυτεπαγωγή, που καθορίζεται από τη μονολιθική σύνθεση, πρακτικά, έχουν κάποια πλεονεκτήματα τα υβριδικά μικροκυκλώματα, στα οποία τα τρανζίστορ και τα άλλα στοιχεία συνδέονται μεταξύ τους με ξεχωριστούς αγωγούς. Με τη

χρησιμοποίηση υβριδικών μικροκυκλωμάτων είναι σημαντικά πιο απλή η απομάκρυνση των παρασιτικών φαινομένων και διευκολύνεται η εκλογή των παθητικών στοιχείων και των τρανζίστορ.

Τα τρανζίστορ στους ενισχυτές υψηλών συχνοτήτων μπορούν να συνδεθούν με κοινό εκπομπό, κοινή βάση και κοινό συλλέκτη. Η συνδεσμολογία κοινού εκπομπού έχει το πλεονέκτημα του μεγάλου συντελεστή ενισχύσεως, ωστόσο σε μερικές περιπτώσεις είναι πλεονεκτικότερη η συνδεσμολογία με κοινή βάση. Άλλο πλεονέκτημα της συνδέσεως κοινού εκπομπού είναι η απλότητα προσαρμογής των αντιστάσεων εισόδου και εξόδου χωρίς τη χρησιμοποίηση ειδικών κυκλωμάτων. Τα κυκλώματα με κοινή βάση χρησιμοποιούνται για τρανζίστορ που έχουν ασθενή ανάδραση μεταξύ συλλέκτη και εκπομπού, οπότε δεν χρειάζεται εξουδετέρωση.

Κατά την προμελέτη της προσαρμογής των βαθμίδων με κοινή βάση, αν εκλεγεί η αντίσταση της πηγής του σήματος να είναι μεγαλύτερη από την αντίσταση εισόδου του τρανζίστορ και η αντίσταση φορτίου, μικρότερη από την αντίσταση εξόδου του, μπορούμε να έχομε έναν αρκετά σταθερό συντελεστή ενισχύσεως της βαθμίδας, ιδιαίτερα για τρανζίστορ που έχουν $\alpha_o < 1$, όπου:

$$\alpha_o = \alpha\left(1+j\frac{f}{f_\alpha}\right) \quad \text{ή} \quad \alpha = \frac{\alpha_o}{1+\left(j\frac{f}{f_\alpha}\right)} \quad \text{και} \quad |\alpha| = \frac{\alpha_o}{\sqrt{1+\left(\frac{f}{f_\alpha}\right)^2}} \tag{3.42}$$

Στις σχέσεις αυτές είναι: α_o η τιμή του α στις χαμηλές συχνότητες f ($f<f_\alpha$) και f_α η οριακή συχνότητα ή συχνότητα αποκοπής, για την οποία το μέτρο του α πέφτει σε σύγκριση με το α_o κατά $\sqrt{2}$ φορές, δηλαδή κατά 3 dB.

Σε τέτοιες συνθήκες λειτουργίας, βασική παράμετρος του τρανζίστορ είναι ο συντελεστής μεταφοράς ρεύματος h_{fb} (h_{21b}), με τον οποίο συνδέεται κατευθείαν ο συντελεστής ενισχύσεως της βαθμίδας. Το μέγεθος αυτό δεν μεταβάλλεται ουσιαστικά από τρανζίστορ σε τρανζίστορ, από τη θερμοκρασία και από τη διάρκεια «ζωής» του.

Το κύκλωμα με κοινή βάση χρησιμοποιείται επίσης και για άλλους τύπους τρανζίστορ που έχουν $\alpha_o > 1$. Για τέτοια τρανζίστορ, η σύνδεση κοινής βάσεως είναι αναγκαία για την αποφυγή αστάθειας στις υψηλές συχνότητες και δυνατότητας αυτοταλαντώσεως. Τέλος, το κύκλωμα με κοινή βάση είναι καταλληλότερο, όταν απαιτείται μεγάλη σταθερότητα του σημείου λειτουργίας, επειδή για την επιτυχία σταθερότητας χρειάζεται χαμηλή αντίσταση του κυκλώματος βάσεως και υψηλή αντίσταση του κυκλώματος εκπομπού στο συνεχές ρεύμα.

Η βαθμίδα με τρανζίστορ κοινής βάσεως εξασφαλίζει ενίσχυση ισχύος, αφού μεταφέρεται το ρεύμα του σήματος από την είσοδο, που έχει χαμηλή σύνθετη αντίσταση, στην έξοδο, που έχει υψηλή σύνθετη αντίσταση. Γι' αυτό, η

προσαρμογή των αντιστάσεων μεταξύ των βαθμίδων είναι απαραίτητη. Για τα τρανζίστορ, που έχουν $\alpha_o < 1$, ο συντελεστής ενισχύσεως ισχύος της βαθμίδας με κοινή βάση είναι μικρότερος από το λόγο της ενεργού αγωγιμότητας της πηγής του σήματος G_s ($G_s = 1/R_s$) προς την ενεργό αγωγιμότητα του φορτίου G_L ($G_L = 1/R_L$). Έτσι, η αντίσταση ενός συντονισμένου φορτίου πρέπει να είναι υψηλή, πράγμα που συνεπάγεται στενή ζώνη διελεύσεως και κρίσιμο συντονισμό.

Οι βασικές παράμετροι, που χαρακτηρίζουν τα κυκλώματα των τρανζίστορ με κοινή βάση και κοινό εκπομπό, διακρίνονται από το συντελεστή:

$$\left.\begin{array}{l} \\ (1-\alpha), \\ \\ \end{array}\right| \begin{array}{rcrcr} h_{ib} & \approx & (1-\alpha)h_{ie} & \text{ή} & h_{11b} \approx (1-\alpha)h_{11e} \\ h_{ob} & \approx & (1-\alpha)h_{oe} & \text{ή} & h_{22b} \approx (1-\alpha)h_{22e} \\ -\alpha = h_{fb} & \approx & (1-\alpha)h_{fe} & \text{ή} & -\alpha = h_{21b} \approx (1-\alpha)h_{21e} \end{array} \left|\begin{array}{l} \\ \\ \\ \end{array}\right. \qquad (3.43)$$

Ο συντελεστής αυτός είναι πολύ μικρότερος από τη μονάδα στις χαμηλές συχνότητες, αλλά γίνεται συγκρίσιμος με τη μονάδα για συχνότητες που πλησιάζουν ή ξεπερνούν τη χαρακτηριστική συχνότητα:

$$f_\tau = \frac{g_m}{j\omega C_b} \qquad \text{ή} \qquad f_\tau = \frac{g_{21}}{j\omega C_{11}} \qquad (3.44)$$

όπου $g_m = g_{21}$ η ενεργός αγωγιμότητα ορθής φοράς και $C_b = C_{11}$ η χωρητικότητα εισόδου του τρανζίστορ.

Επομένως, κοντά στο ανώτατο όριο της περιοχής συχνοτήτων, στην οποία το τρανζίστορ θα χρησιμοποιηθεί, η εκλογή του κυκλώματος συνδέσεώς του, δεν εξαρτάται από το συντελεστή ενισχύσεως ή το μέγεθος της αντιστάσεως φορτίου, αλλά αποκλειστικά από τους φασικούς συσχετισμούς και από τη συνθετότητα του απαιτούμενου κυκλώματος εξουδετερώσεως.

Σημειώνομε ότι η σχέση (3.42) για κύκλωμα τρανζίστορ με κοινό εκπομπό παίρνει τη μορφή:

$$\left.\begin{array}{l} \beta = \dfrac{\beta_o}{1 + j\dfrac{f}{f_\beta}} \qquad \text{ή} \qquad |\beta| = \dfrac{\beta_o}{\sqrt{1 + \left(\dfrac{f}{f_\beta}\right)^2}} \\ \\ \text{όπου είναι:} \quad \beta_o = \dfrac{\alpha_o}{1-\alpha_o} \quad \text{και} \quad f_\beta = f_\alpha (1-\alpha_o) \end{array}\right\} \qquad (3.45)$$

3.9 Σύζευξη βαθμίδων ενισχυτών υψηλών συχνοτήτων.

Τα κυκλώματα που εξασφαλίζουν τη σύζευξη των βαθμίδων ενός ενισχυτή

υψηλών συχνοτήτων, καθώς και τα κυκλώματα εισόδου και εξόδου του ενισχυτή, πρέπει να ικανοποιούν τις επόμενες απαιτήσεις:

1) Να έχουν την απαραίτητη ολική αντίσταση.
2) Να επιλέγουν την επιθυμητή συχνότητα ή ζώνη συχνοτήτων.
3) Να εξασφαλίζουν την τροφοδότηση των τρανζίστορ με τις αναγκαίες συνεχείς τάσεις (πολώσεις).

Αν οι ενισχυτικές βαθμίδες χρειάζονται εξουδετέρωση, τα ίδια κυκλώματα πρέπει να παίζουν το ρόλο στοιχείων εξωτερικών αναδράσεων για την αντιστάθμιση των εσωτερικών αναδράσεων των τρανζίστορ.

Μερικά ζευκτικά κυκλώματα, που εξασφαλίζουν την προσαρμογή των αντιστάσεων εξόδου του ενός τρανζίστορ και εισόδου του άλλου, φαίνονται στο σχήμα 3.18.

Το κύκλωμα 3.18(α) είναι απλό συντονισμένο και εξασφαλίζει την προσαρμογή των αντιστάσεων εξόδου του πρώτου και εισόδου του δεύτερου τρανζίστορ με τη μέθοδο του αυτομετασχηματισμού. Για το κύκλωμα αυτό έχομε:

$$\omega_o^2 = \frac{1}{LC}$$

Το κύκλωμα 3.18(β) διαθέτει χωρητικό διαιρέτη και είναι σχεδόν ισοδύναμο του 3.18(α). Εδώ είναι:

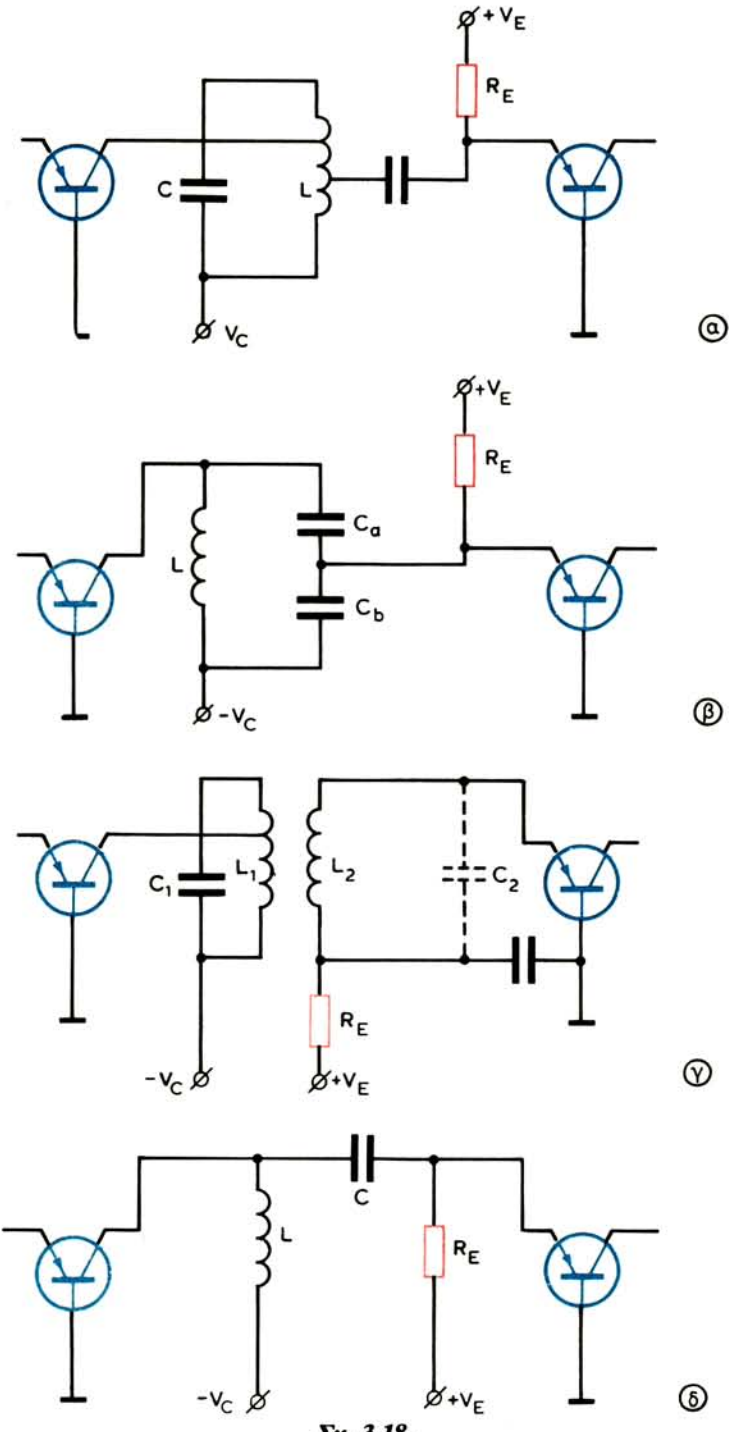
$$\omega_o^2 = \frac{C_a + C_b}{LC_a C_b}$$

Το κύκλωμα 3.18(γ) μετασχηματίζει τις αντιστάσεις με εκλογή των σπειρών των δύο περιελίξεων. Εδώ έχομε:

$$\omega_o^2 = \frac{1}{L_1 C_1} = \frac{1}{L_2 C_2}$$

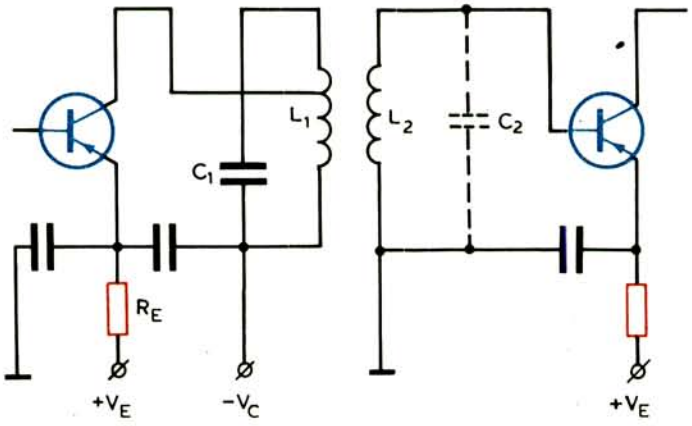
Το κύκλωμα 3.18(δ) τέλος, είναι συντονισμού σειράς και εξασφαλίζει προσαρμογή των αντιστάσεων χωρίς τη χρησιμοποίηση διαιρέτη. Ο μετασχηματισμός των αντιστάσεων στηρίζεται στο ότι, σε ένα κύκλωμα με υψηλό συντελεστή ποιότητας Q, μία μικρή αντίσταση απωλειών R_α, που συνδέεται σε σειρά με τη χωρητική X_c, είναι ισοδύναμη στα όρια μιας στενής ζώνης συχνοτήτων, με αντίσταση X_c^2/R_α, που παραλληλίζει τη χωρητικότητα. Για το κύκλωμα αυτό:

$$\omega_o^2 = \frac{1}{LC}$$

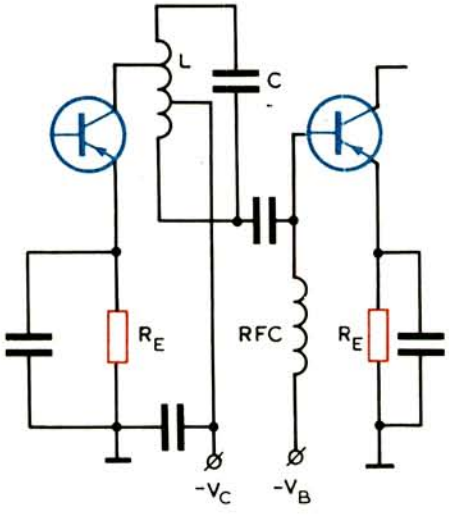


Σχ. 3.18.

Ζευκτικά κυκλώματα μετασχηματισμού αντιστάσεων ενισχυτών υψηλών συχνοτήτων με τρανζίστορ κοινής βάσεως.



(α)



(β)

Σχ. 3.19.

Ζευκτικά κυκλώματα μετασχηματισμού αντιστάσεων σε ενισχυτές με κοινό εκπομπό.

Τα στοιχεία πολώσεως των κυκλωμάτων του σχήματος 3.18 είναι ιδιαίτερα κατάλληλα για συνδεσμολογίες με κοινή βάση. Με αυτά εξασφαλίζεται υψηλή αντίσταση στο συνεχές ρεύμα του εκπομπού και χαμηλή αντίσταση στο συνεχές ρεύμα της βάσεως, πράγμα που είναι απαραίτητο για τη σταθερότητα του σημείου λειτουργίας. Επίσης, μικρή είναι και η αντίσταση στο συνεχές ρεύμα του συλλέκτη έτσι, ώστε η μεταβολή της τάσεως συλλέκτη σε εξάρτηση από το ρεύμα εκπομπού να είναι ελάχιστη.

Στις συνδεσμολογίες των τρανζίστορ με κοινό εκπομπό μπορούν να χρησιμοιηθούν οι ίδιες μέθοδοι μετασχηματισμού των αντιστάσεων, αλλά τα κυκλώματα πολώσεως είναι διαφορετικά. Στο σχήμα 3.19 φαίνονται δύο τέτοιες συνδεσμολογίες με κοινό εκπομπό, που χρησιμοποιούνται πολύ στην πράξη.

Το πρώτο από αυτά [σχ. 3.19(α)], με γειωμένη τη βάση για το συνεχές ρεύμα, εξασφαλίζει πολύ καλή σταθερότητα του σημείου λειτουργίας, όπως και τα κυκλώματα του σχήματος 3.18, όμως θέλει δύο πηγές τροφοδοτήσεως.

Στο δεύτερο [σχ. 3.19(β)], η τάση τροφοδοτήσεως της βάσεως V_B μπορεί να εξασφαλισθεί από την πηγή τροφοδοτήσεως του συλλέκτη μέσα από διαιρέτη τάσεως, που έχει χαμηλή αντίσταση. Το κύκλωμα αυτό είναι κατάλληλο για ηλεκτρονική ρύθμιση του συντελεστή ενισχύσεως (RFC) με εφαρμογή της ρυθμιστικής τάσεως στη βάση.

Για τα κυκλώματα του σχήματος 3.19, έχομε:

$$(\alpha) \qquad \omega_o^2 = \frac{1}{L_1C_1} = \frac{1}{L_2C_2} \qquad (\beta) \qquad \omega_o^2 = \frac{1}{LC}$$

Ας σημειωθεί ότι οι ιδιότητες των ζευκτικών κυκλωμάτων των σχημάτων 3.18 και 3.19, σχετικά με τις μορφές των καμπυλών αποκρίσεως και το εύρος των ζωνών διελεύσεώς τους, έχουν εξετασθεί αναλυτικά στις παραγράφους 3.2 έως και 3.6.

3.10 Ισοδύναμο κύκλωμα τρανζίστορ στις υψηλές συχνότητες.

Βασική μέθοδος μελέτης της λειτουργίας των ενισχυτών με τρανζίστορ είναι η μέθοδος των ισοδυνάμων κυκλωμάτων. Το ίδιο το τρανζίστορ σαν ενισχυτικό στοιχείο του κυκλώματος παριστάνεται με τη μορφή γραμμικού τετραπόλου, για του οποίου την ανάλυση χρησιμοποιούνται κυρίως οι παράμετροι Y.

Στο σχήμα 3.20 φαίνεται το καταλληλότερο ισοδύναμο κύκλωμα για υψηλές συχνότητες τύπου Π. Σ' αυτό φαίνονται οι αγωγιμότητες Y_{11}, Y_{12}, Y_{22} και η πηγή ρεύματος που «απομιμείται» τις ενισχυτικές ιδιότητες του τρανζίστορ.

Το ρεύμα της ισοδύναμης πηγής ισούται με το γινόμενο $Y_{21}U_{be}$, στο οποίο η αγωγιμότητα Y_{21}, που καθορίζεται σαν ο λόγος της μεταβολής του ρεύματος συλλέκτη προς τη μεταβολή της τάσεως βάσεως εκπομπού με βραχυκυκλωμένη έξοδο, δεν είναι άλλη από την κλίση του τρανζίστορ S και επομένως:

$$Y_{21}U_{be} = SU_{be}$$

Σημειώνομε ότι η κλίση S είναι μέγεθος μιγαδικό και εκφράζεται από τη σχέση:

$$S = Y_{21} = \frac{S_o}{1+j(f_o/f_s)} \qquad (3.46)$$

όπου $S_o = y_{21}$ η αγωγιμότητα σε χαμηλή συχνότητα, f_o η συχνότητα λειτουργίας και f_s η οριακή συχνότητα. Με τον όρο «οριακή συχνότητα» εννοούμε τη συχνότητα για την οποία το απόλυτο μέγεθος της κλίσεως S ελαττώνεται κατά 3dB, δηλαδή $\sqrt{2} = 1{,}41$ φορές.

Στο ισοδύναμο κύκλωμα του σχήματος 3.20 η αγωγιμότητα Y_{12} χαρακτηρίζει την ανάδραση (ανάστροφη σύζευξη) μεταξύ εισόδου και εξόδου του ενισχυτικού στοιχείου. Η ανάδραση αυτή πραγματοποιείται μέσα από τον παράλληλο συνδυασμό της αγωγιμότητας g_{12} (ενεργός τιμή) και της χωρητικότητας C_{12}. Πρέπει να πούμε ότι η αγωγιμότητα αναδράσεως στα τρανζίστορ είναι σημαντική και εξαιτίας αυτού εμφανίζεται αστάθεια στη λειτουργία των ενισχυτών. Ακόμη, κατά την εκτίμηση των ενισχυτικών ιδιοτήτων των βαθμίδων, πρέπει να λάβομε υπόψη το μιγαδικό χαρακτήρα της κλίσεως S του τρανζίστορ και την εξάρτησή της από τη συχνότητα.

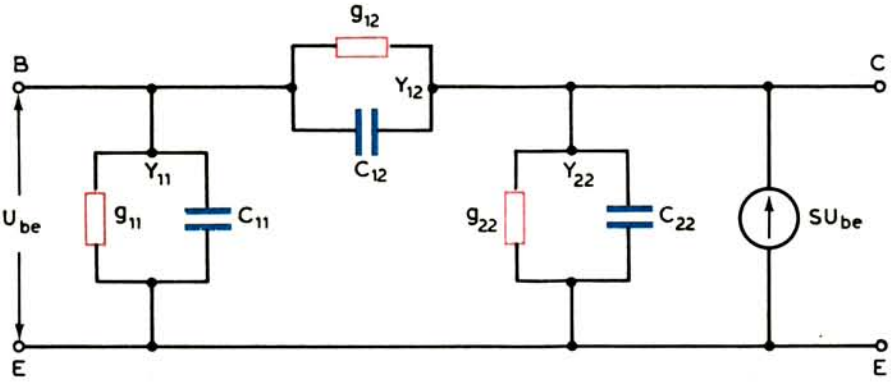
Όλα τα στοιχεία του ισοδύναμου κυκλώματος του τρανζίστορ μπορούν να υπολογισθούν από τις αγωγιμότητες στις χαμηλές συχνότητες y_{11}, y_{12}, y_{21} (ή S), y_{22} και από τις παραμέτρους στις υψηλές συχνότητες, όπως είναι: η χωρητικότητα επαφής του συλλέκτη C_c, η κατανεμημένη αντίσταση της περιοχής της βάσεως r_b' και η οριακή συχνότητα f_s.

Τα στοιχεία αυτά είναι:

$$\left.\begin{aligned}
&\text{Η ενεργός αγωγιμότητα εισόδου:} && g_{11} = \frac{Y_{11}+\alpha^2/r_b'}{1+\alpha^2}\\
&\text{Η ενεργός αγωγιμότητα αναδράσεως:} && g_{12} = \frac{Y_{12}+\alpha\omega_o C_c}{1+\alpha^2}\\
&\text{Η ενεργός αγωγιμότητα εξόδου:} && g_{22} \approx Y_{22} + \frac{\alpha\omega_o C_c r_b' Y_{21}}{1+\alpha^2}\\
&\text{Η κλίση της χαρακτηριστικής:} && S = |Y_{21}| = \frac{S_o}{\sqrt{1+\alpha^2}}
\end{aligned}\right\} \quad (3.47)$$

$$\left.\begin{aligned}
&\text{Η χωρητικότητα εισόδου:} && C_{11} \approx \frac{1-Y_{11}r_b'}{\omega_s r_b'(1+\alpha^2)}\\
&\text{Η χωρητικότητα αναδράσεως:} && C_{12} \approx \frac{C_c}{1+\alpha^2}\\
&\text{Η χωρητικότητα εξόδου:} && C_{22} \approx \frac{C_c(1+r_b'Y_{21})}{1+\alpha^2}
\end{aligned}\right\} \quad (3.48)$$

όπου $\alpha = f_o/f_s$ ο συντελεστής χρησιμοποιήσεως της συχνότητας.



Σχ. 3.20.
Ισοδύναμο κύκλωμα τρανζίστορ τύπου Π.

Με τη βοήθεια των στοιχείων των σχέσεων (3.47) και (3.48) μπορούμε να αναλύσομε συγκεκριμένα ενισχυτικά κυκλώματα υψηλών συχνοτήτων.

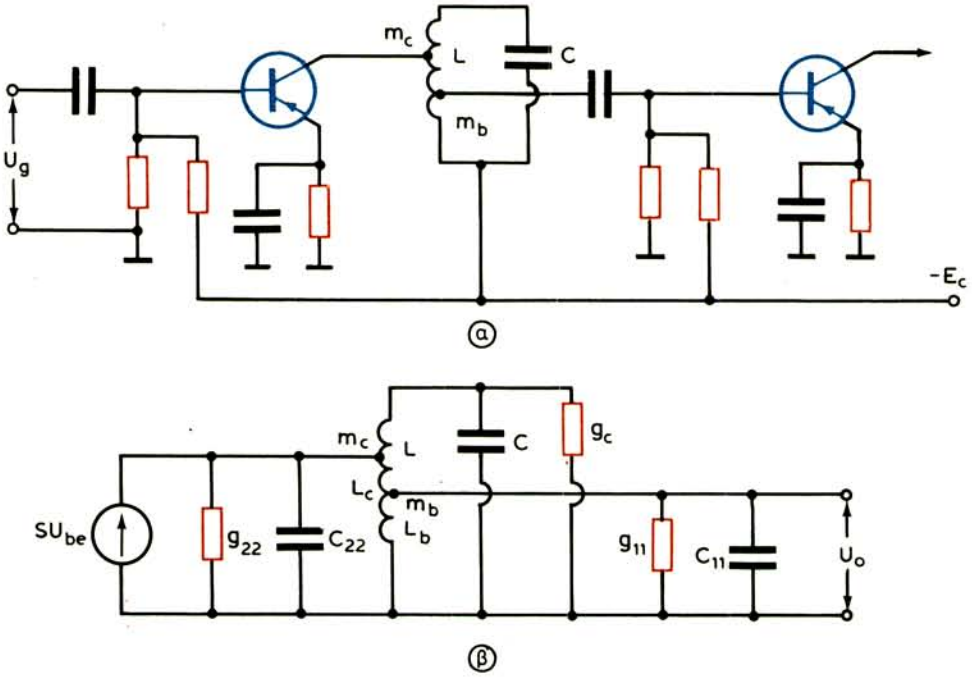
3.11 Συντονισμένος ενισχυτής με τρανζίστορ.

Εξετάζομε τον ενισχυτή του σχήματος 3.21(α), του οποίου το ισοδύναμο κύκλωμα φαίνεται στο σχήμα 3.21(β). Για την απλοποίηση της αναλύσεώς του δεν θα λάβομε καταρχήν υπόψη μας την επίδραση της εσωτερικής αναδράσεως, που γίνεται μέσα από την αγωγιμότητα Y_{12}. Θεωρούμε, δηλαδή, ότι η ανάδραση αυτή εξουδετερώνεται με τη βοήθεια αντίθετης εξωτερικής αναδράσεως.

Στο ισοδύναμο του σχήματος 3.21(β) παριστάνεται το κύκλωμα του συλλέκτη με την πηγή ρεύματος SU_{be} και την αγωγιμότητα εξόδου του τρανζίστορ Y_{22}, που αποτελείται από την ενεργό αγωγιμότητα g_{22} και τη χωρητικότητα C_{22}. Στο κύκλωμα του συλλέκτη συνδέεται ένα τμήμα του συντονισμένου κυκλώματος LC και της αγωγιμότητας g_c, που χαρακτηρίζει τις απώλειες στο κύκλωμα. Η επίδραση του κυκλώματος εισόδου του τρανζίστορ της επόμενης βαθμίδας παριστάνεται με την αγωγιμότητα Y_{11}, που αποτελείται από την αγωγιμότητα g_{11} και τη χωρητικότητα C_{11}. Τα στοιχεία αυτά συνδέονται, επίσης, σε τμήμα του κυκλώματος LC. Οι συντελεστές m_c και m_b χαρακτηρίζουν τα τμήματα της αυτεπαγωγής L που συνδέονται στο συλλέκτη και στη βάση και ονομάζονται ***συντελεστές μετασχηματισμού,*** δηλαδή είναι:

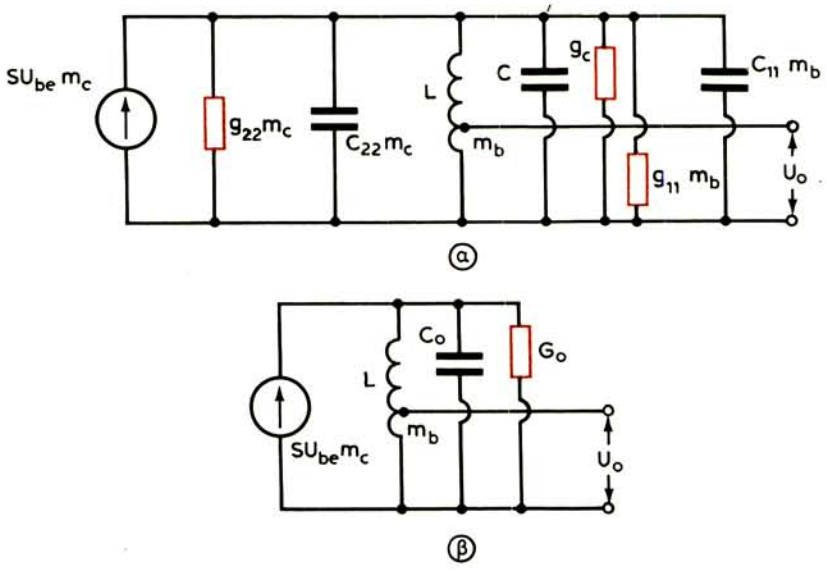
$$m_c = \frac{L_c}{L} \qquad \text{και} \qquad m_b = \frac{L_b}{L} \tag{3.49}$$

Για την απλοποίηση του ισοδύναμου κυκλώματος υπολογίζομε ότι όλα τα στοιχεία που συνδέονται στην πηγή, βρίσκονται παράλληλα στο πηνίο του συντονισμένου κυκλώματος, όπως φαίνεται στο σχήμα 3.22(α). Αν, τώρα, συν-



Σχ. 3.21.

Συντονισμένος ενισχυτής (α) και το ισοδύναμό του κύκλωμα για τις εναλλασσόμενες συνιστώσες του σήματος (β).



Σχ. 3.22.

Απλοποιημένα κυκλώματα του ισοδύναμου του σχήματος. 3.21(β).

δέσομε όλες τις αγωγιμότητες και χωρητικότητες, παίρνομε το τελικό ισοδύναμο του σχήματος 3.22(β).

Στο τελικό ισοδύναμο έχομε ολική χωρητικότητα του κυκλώματος:

$$C_o = C + m_c C_{22} + m_b C_{11} \tag{3.50}$$

και ολική αγωγιμότητα:

$$G_o = g_c + m_c g_{22} + m_b g_{11} \tag{3.51}$$

Το κύκλωμα του σχήματος 3.22β δίνει όλα τα στοιχεία για την εκτίμηση των ενισχυτικών και επιλογικών ιδιοτήτων του ενισχυτή. Ο συντελεστής ενισχύσεως της βαθμίδας προσδιορίζεται από τη σχέση:

$$A_o = \frac{U_o}{U_{be}}$$

Η τάση εξόδου U_o είναι μικρότερη από την τάση U_{co}, στα άκρα του κυκλώματος LC, κατά m_b φορές, δηλαδή:

$$U_o = m_b \cdot U_{co}$$

Η τάση U_{co}, κατά το συντονισμό του κυκλώματος LC, υπολογίζεται από το γινόμενο του ρεύματος $SU_{be}\, m_c$ επί την αντίσταση συντονισμού του κυκλώματος $R_o = 1/G_o$ και είναι:

$$U_{co} = SU_{be}\, m_c\, R_o$$

και επομένως: $$U_o = m_b\, U_{co} = m_b \cdot m_c \cdot SU_{be} \cdot R_o$$

Ύστερα από τα παραπάνω, έχομε:

$$A_o = \frac{U_o}{U_{be}} = m_b \cdot m_c \cdot S \cdot R_o$$

Σύμφωνα με τη σχέση (3.46) το μέγεθος S είναι μιγαδικό και συνεπώς το μέτρο του συντελεστή ενισχύσεως A_o ισούται με:

$$A_o = |S|\, m_b \cdot m_c \cdot R_o = |S|\, m_b \cdot m_c \frac{1}{G_o} \tag{3.52}$$

όπου (σχέση 3.47): $$|S| = S_o / \sqrt{1 + \alpha^2}$$

είναι το μέτρο της κλίσεως, το οποίο για συχνότητα λειτουργίας f_o, μακρινή από την οριακή f_s, μπορεί να είναι $|S| \approx S_o = y_{21}$.

Για την εξασφάλιση της μέγιστης ενισχύσεως, οι συντελεστές μετασχηματισμού πρέπει να έχουν τις επόμενες τιμές:

$$m_c = \sqrt{\frac{G_o - g_c}{2g_{22}}} \qquad \text{και} \qquad m_b = \sqrt{\frac{G_o - g_c}{2g_{11}}} \tag{3.53}$$

Οι επιλογικές ικανότητες της βαθμίδας εκτιμούνται από το συντελεστή ποιότητας Q του κυκλώματος LC, που είναι:

$$Q = \frac{R_o}{\rho} = \frac{1}{\rho G_o}$$

όπου: $$\rho = \sqrt{\frac{L}{C}}$$

είναι η χαρακτηριστική αντίσταση του συντονισμένου κυκλώματος.

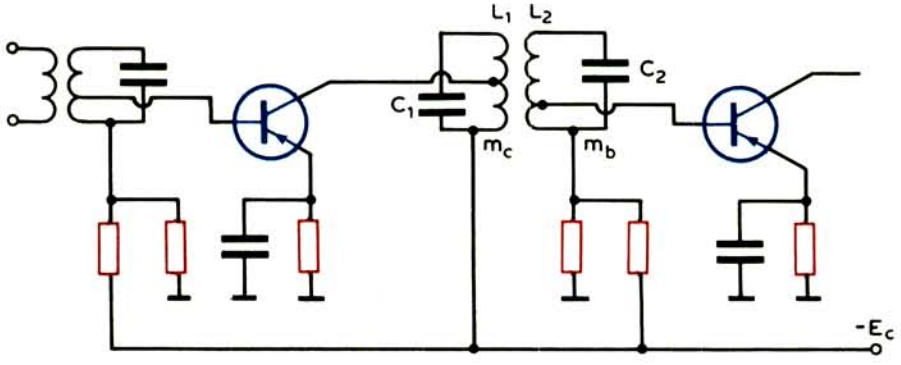
3.12 Ενισχυτής ζώνης συχνοτήτων.

Ας εξετάσομε τώρα έναν ενισχυτή ζώνης συχνοτήτων με δύο συντονισμένα κυκλώματα σε μαγνητική σύζευξη (σχ. 3.23). Πρόκειται για κλασική περίπτωση ***ενισχυτή ενδιάμεσης συχνότητας*** ραδιοφώνου, που είναι συντονισμένος σε κεντρική συχνότητα f_o=465 kHz (ενδιάμεση συχνότητα ραδιοφώνου AM) με ζώνη διελεύσεως $\Delta f = f_2 - f_1$=9 kHz ($f_1 = f_o$ – 4,5 kHz και $f_2 = f_o$+4,5 kHz).

Ακολουθώντας τη μέθοδο των ισοδυνάμων κυκλωμάτων, όπως στην προηγούμενη παράγραφο, μπορούμε να καταλήξομε σε μια σχέση προσδιορισμού του συντελεστή ενισχύσεως της βαθμίδας, που είναι ανάλογη προς τη σχέση (3.52) και έχει τη μορφή:

$$A_o = |S| m_c \cdot m_b \cdot R_o \cdot K_o \tag{3.54}$$

όπου K_o συντελεστής μεταφοράς τάσεως από το πρωτεύον στο δευτερεύον των



Σχ. 3.23.

Ενισχυτής ζώνης συχνοτήτων με δύο συντονισμένα κυκλώματα σε μαγνητική σύζευξη.

συζευγμένων κυκλωμάτων που δίνεται από τη σχέση:

$$K_o = \frac{n}{n^2 + 1} \tag{3.55}$$

Η παράμετρος συζεύξεως n υπολογίζεται από τη σχέση:

$$n = k \sqrt{Q_1 Q_2}$$

όπου, Q_1 και Q_2 οι συντελεστές ποιότητας των κυκλωμάτων πρωτεύοντος και δευτερεύοντος αντίστοιχα και k ο συντελεστής συζεύξεως.

Στην περίπτωση ομοίων κυκλωμάτων ($Q_1=Q_2=Q$) θα έχομε:

$$n = k\,Q = k \frac{f_o}{\Delta f} \tag{3.56}$$

όπου, f_o η κοινή συχνότητα συντονισμού των δύο κυκλωμάτων και Δf η ζώνη διελεύσεώς τους.

Οι συντελεστές μετασχηματισμού m_c και m_b μπορούν να υπολογισθούν από τις σχέσεις:

$$m_c \approx \sqrt{\frac{G_o - g_{c1}}{g_{22}}} \qquad \text{και} \qquad m_b \approx \sqrt{\frac{G_o - g_{c2}}{g_{11}}}$$

Εδώ είναι $G_o=1/R_o$ η αγωγιμότητα στο συντονισμό του κυκλώματος και g_{c1}, g_{c2} οι αγωγιμότητες απωλειών των κυκλωμάτων.

Είδαμε, ως τώρα, τις ενισχυτικές ικανότητες της βαθμίδας. Οι επιλογικές της ικανότητες εκτιμούνται από τη μορφή της καμπύλης αποκρίσεως του ενισχυτή, που είναι μια από εκείνες που φαίνονται στο σχήμα 3.9.

Ας βρούμε τη μορφή αυτής της καμπύλης για την περίπτωση του ραδιοφώνου ΑΜ, που είπαμε στην αρχή της παραγράφου.

Για f_o=465 kHz και Δf=9 kHz, έχομε:

$$Q = \frac{f_o}{\Delta f} = \frac{465}{9} \approx 51$$

Από τη σχέση (3.29) προκύπτει: $k_c = \dfrac{1}{\sqrt{Q_1 \cdot Q_2}} = \dfrac{1}{Q} = \dfrac{1}{51} \approx 0{,}02$

Εξάλλου είναι (σχέση 3.37): $f_1 = 465 - 4{,}5 = 460{,}5$ kHz

και: $$1 + k = \frac{465^2}{(460{,}5)^2} \approx 1{,}02$$

Επομένως: $k = 1,02 - 1 = 0,02$

δηλαδή είναι $k=k_c$.

Η καμπύλη που αντιστοιχεί στην ισότητα αυτή φαίνεται στο σχήμα 3.9.

Για το παράδειγμά μας έχομε ακόμη (σχέση 3.56)

$$n = kQ = 0,02 \cdot 51 \approx 1$$

και (σχέση 3.55): $$K_o = \frac{n}{n^2+1} = \frac{1}{1^2+1} = \frac{1}{2}$$

πράγμα που σημαίνει ότι η ενίσχυση είναι η μισή από αυτή που έχομε με ένα συντονισμένο κύκλωμα. Στην πράξη θυσιάζομε την ενίσχυση, για να κερδίσομε το μεγάλο Δf.

Σημειώνομε ότι κατά την κρίσιμη σύζευξη έχομε πάντοτε n=1 και επομένως ο συντελεστής μεταφοράς K_o είναι ίσος με 0,5. Αυτή είναι και η μεγαλύτερή του τιμή (σχέση 3.55).

3.13 Σταθερότητα λειτουργίας ενισχυτών.

Κατά την ανάλυση του ισοδύναμου κυκλώματος του σχήματος 3.20 δεν υπολογίσαμε την αγωγιμότητα αναδράσεως Y_{12} του τρανζίστορ, της οποίας η δράση μπορεί να προκαλέσει αυτοταλάντωση του ενισχυτή.

Η αγωγιμότητα αναδράσεως Y_{12} επηρεάζει κατά μέγεθος και σημείο την ενεργό αγωγιμότητα εισόδου του τρανζίστορ, η οποία, για μια συχνότητα που βρίσκεται κοντά στη συχνότητα συντονισμού, αποκτά αρνητική τιμή. Σε πραγματικές συνθήκες λειτουργίας του ενισχυτή είναι αμφίβολο αν μπορεί να επιτευχθεί ακριβής συντονισμός όλων των βαθμίδων του σε μία και την ίδια συχνότητα. Είναι όμως πιθανό, μία από τις βαθμίδες να είναι ελαφρά αποσυντονισμένη, οπότε δημιουργούνται συνθήκες κατάλληλες, ώστε να αποκτήσει η αγωγιμότητα εισόδου αρνητική τιμή και επομένως ο ενισχυτής να αυτοταλαντωθεί.

Σαν πρώτο μέτρο για τη σταθερότητα λειτουργίας μιας βαθμίδας με τρανζίστορ συνιστάται: ο συντελεστής ενισχύσεως να μην υπερβαίνει το συντελεστή «ενισχύσεως σταθερότητας» που δίνεται από τη σχέση:

$$A_{\sigma\tau} = 6,3\sqrt{\frac{S}{f_o C_{12}}} \qquad (3.57)$$

όπου, S σε μA/V, f σε MH_z και C σε pF.

Δεύτερο μέτρο για την αποφυγή αυτοταλαντώσεως μιας βαθμίδας και επομένως για την εξασφάλιση σταθερής λειτουργίας της είναι η εφαρμογή της λεγόμενης ***εξουδετερώσεως*** της εσωτερικής αναδράσεως. Η εξουδετέρωση στη-

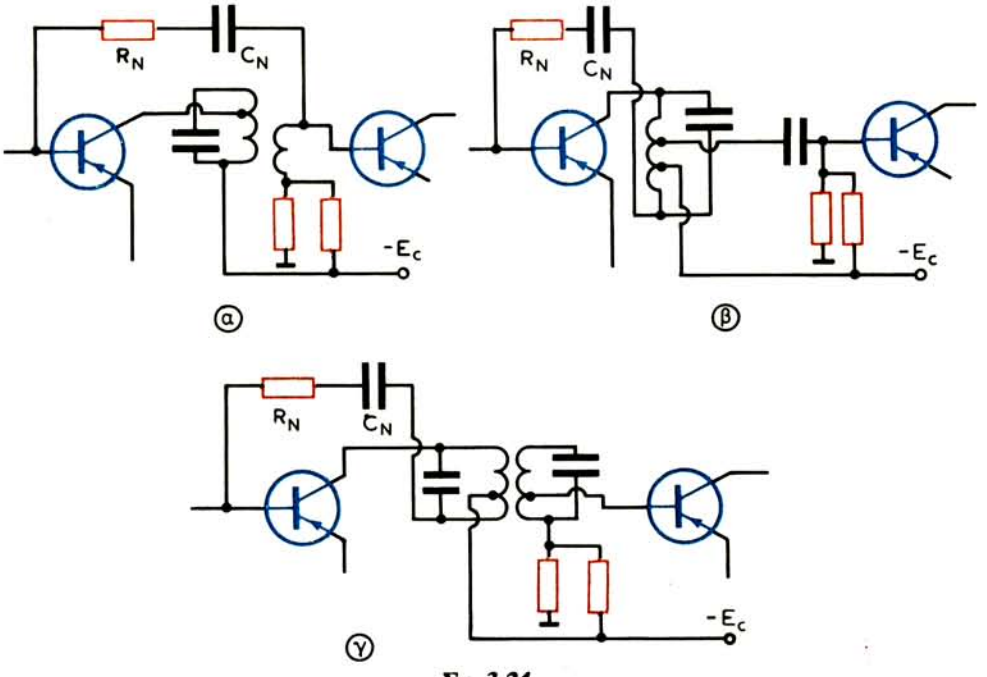
ρίζεται στην πραγματοποίηση μιας νέας εξωτερικής αναδράσεως ίσης σε τιμή και αντίθετης σε σημείο προς την εσωτερική ανάδραση.

Το κύκλωμα εξουδετερώσεως πρέπει να αποτελείται από τα ίδια στοιχεία, όπως εκείνα της εσωτερικής αναδράσεως Y_{12} του σχήματος 3.20, δηλαδή από ένα παράλληλο κύκλωμα με χωρητικότητα C_N και αγωγιμότητα g_N. Αλλά, η χρησιμοποίηση παράλληλου κυκλώματος αναδράσεως δημιουργεί ανεπιθύμητη γαλβανική σύνδεση της εξόδου με την είσοδο της βαθμίδας, γι' αυτό καταλληλότερο είναι το κύκλωμα με στοιχεία C_N και R_N σε σειρά. Οι τιμές των στοιχείων είναι:

$$C_N \approx \frac{0{,}9\ C_c}{m} \qquad \text{και} \qquad R_N \approx \frac{1{,}1\ m}{\omega_S\ C_c}$$

όπου $m = m_b / m_c$.

Στο σχήμα 3.24 φαίνονται βαθμίδες ενισχυτών υψηλών συχνοτήτων με κυκλώματα εξουδετερώσεως. Στο σχήμα 3.24(α) το κύκλωμα εξουδετερώσεως συνδέεται στο δευτερεύον πηνίο και έτσι εξασφαλίζεται η στροφή της φάσεως του σήματος εξουδετερώσεως κατά 180°. Στα σχήματα 3.24(β) και 3.24(γ), η στροφή της φάσεως εξασφαλίζεται με τη σύνδεση των κυκλωμάτων εξουδετερώσεως στα κάτω άκρα των αντιστοίχων κυκλωμάτων συντονισμού.



Σχ. 3.24.

Ενισχυτές υψηλών συχνοτήτων με κυκλώματα εξουδετερώσεως.

3.14 Κασκοδικοί ενισχυτές.

Η σταθερότητα των ενισχυτών με τρανζίστορ μπορεί να εξασφαλισθεί όχι μόνο με τη χρησιμοποίηση κυκλωμάτων εξουδετερώσεως της εσωτερικής αναδράσεως, αλλά και με τη βοήθεια των λεγομένων ***κασκοδικών βαθμίδων.***

Στον κασκοδικό (από τη λέξη cascade = καταρράκτης) ενισχυτή, όπως φαίνεται στο απλοποιημένο κύκλωμα του σχήματος 3.25, χρησιμοποιούνται δύο τρανζίστορ: το πρώτο συνδέεται με κοινό εκπομπό και το δεύτερο με κοινή βάση. Το φορτίο συνδέεται στο συλλέκτη του δεύτερου τρανζίστορ. Στις κασκοδικές συνδεσμολογίες, για διάκριση από τις προηγούμενες, η εσωτερική ανάδραση μεταξύ εξόδου και εισόδου γίνεται μέσα από δύο σε σειρά τρανζίστορ και γι' αυτό η αγωγιμότητα εσωτερικής αναδράσεως ελαττώνεται σημαντικά (από 100 ως 1000 φορές) ενώ η σταθερότητα λειτουργίας μεγαλώνει (από 10 ως 30 φορές).

Στην κασκοδική σύνδεση των τρανζίστορ, η είσοδος του ενισχυτή έχει τις ιδιότητες της βαθμίδας με κοινό εκπομπό και η έξοδος, τις ιδιότητες της βαθμίδας με κοινή βάση. Με άλλα λόγια η αντίσταση εισόδου του κασκοδικού ενισχυτή αντιστοιχεί στην αντίσταση εισόδου της βαθμίδας με κοινό εκπομπό και η αντίσταση εξόδου, στην αντίσταση εξόδου της βαθμίδας με κοινή βάση, που είναι αρκετά υψηλή (εκατοντάδες kΩ). Η μεγάλη αντίσταση εξόδου του κασκοδικού ενισχυτή εξασφαλίζει πλήρη σύζευξη μεταξύ ενός συντονισμένου κυκλώματος και της αντιστάσεως αυτής και παρέχει μεγάλη σταθερότητα ενισχύσεως της βαθμίδας.

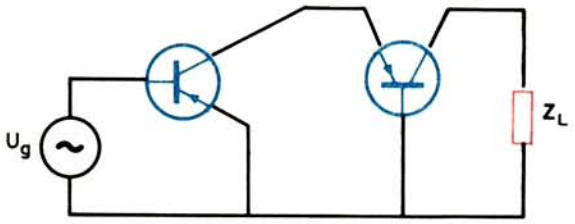
Το κύκλωμα ενός κασκοδικού ενισχυτή ζώνης συχνοτήτων φαίνεται στο σχήμα 3.26. Το σημείο λειτουργίας του πρώτου τρανζίστορ σταθεροποιείται με τη βοήθεια του τασικού διαιρέτη R_2, R_3 και του κυκλώματος R_1 C_1. Η αρνητική πόλωση της βάσεως του δεύτερου τρανζίστορ παρέχεται με τη βοήθεια του διαιρέτη R_2, R_3 και του αποζευκτικού φίλτρου $R_\alpha C_\alpha$. Φορτίο του δεύτερου τρανζίστορ είναι το φίλτρο ζώνης, του οποίου το δευτερεύον διεγείρει την επόμενη βαθμίδα μέσα από το χωρητικό διαιρέτη C', C''.

Για την εκτίμηση των ενισχυτικών ικανοτήτων του κασκοδικού ενισχυτή προσδιορίζονται πρώτα οι παράμετροι του τετραπόλου, που συγκροτούν τα δύο τρανζίστορ μαζί (σχ. 3.25). Οι παράμετροι αυτού του τετραπόλου συνδέονται με τις παραμέτρους των τρανζίστορ με τις σχέσεις:

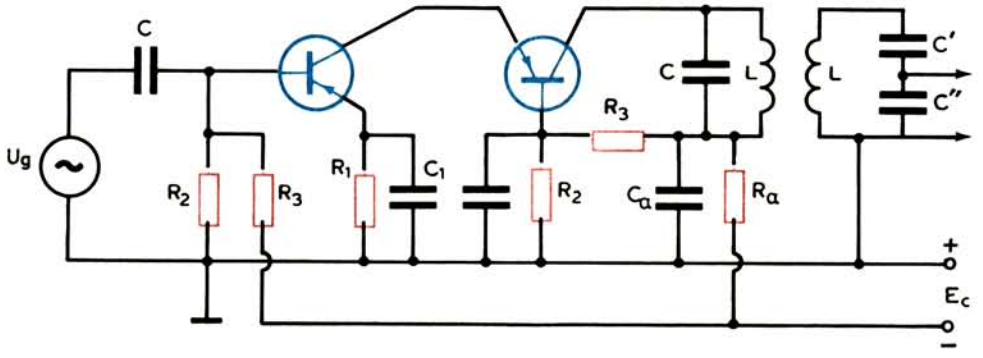
$$Y_{11} \approx Y_{11e} \quad , \qquad Y_{12} \approx Y_{12e} \quad \frac{Y_{12b}}{Y_{21b}}$$

$$Y_{21} \approx Y_{21e} \quad , \qquad Y_{22} \approx Y_{22b} - \frac{Y_{21b} \cdot Y_{12b}}{Y_{11b}}$$

Με την προϋπόθεση ότι είναι $Y_{12} = 0$ (δηλαδή δεν υπάρχει εσωτερική ανά-



Σχ. 3.25.
Απλοποιημένο κύκλωμα κασκοδικού ενισχυτή.



Σχ. 3.26.
Κασκοδικός ενισχυτής ζώνης συχνοτήτων.

δραση), ο συντελεστής ενισχύσεως του κασκοδικού ενισχυτή στη συχνότητα συντονισμού του φορτίου του (σχ. 3.26), δίνεται από τη σχέση:

$$A_o = |Y_{21}| \cdot m \cdot R_o \cdot K_o = |S| \cdot m \cdot R_o \cdot K_o$$

όπου:

$$m = \frac{C'}{C' + C''}$$

και K_o ο γνωστός συντελεστής μεταφοράς, που δίνεται από τη σχέση (3.55).

3.15 Απώλειες στα ζευκτικά κυκλώματα των βαθμίδων.

Οι απώλειες στα ζευκτικά συντονισμένα κυκλώματα μπορούν να ελαττώσουν σημαντικά το συντελεστή ενισχύσεως μιας βαθμίδας με τρανζίστορ. Σε πολλές περιπτώσεις οι απώλειες αυτές μπορούν να χρησιμεύσουν σαν φορτίο, απαραίτητο για την εξασφάλιση σταθερότητας στη λειτουργία του ενισχυτή, χωρίς να γίνει εξουδετέρωση. Όμως, αν χρειάζεται να έχομε το μέγιστο δυνατό συντελεστή ενισχύσεως, οι απώλειες στα ζευκτικά στοιχεία των βαθμίδων είναι ανεπιθύμητες και πρέπει να οδηγηθούν στο ελάχιστο. Θα δείξομε πιο κάτω ότι

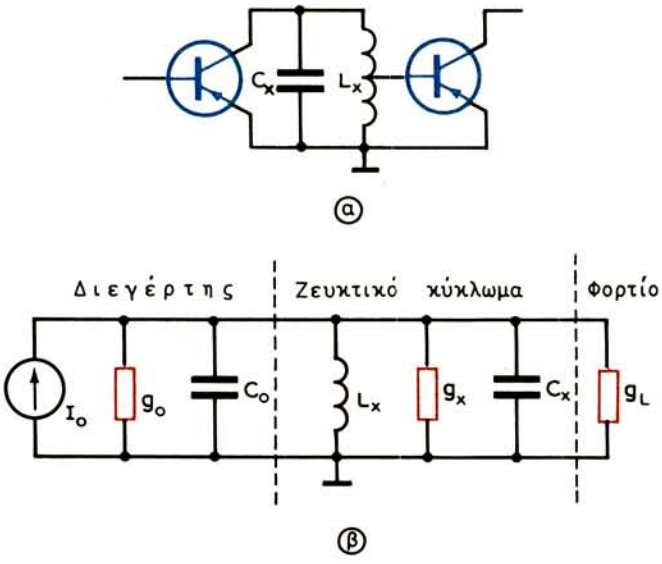
οι απώλειες αυτές συνδέονται άμεσα με το λόγο των τιμών του συντελεστή ποιότητας Q για «φορτισμένο» και «αφόρτιστο» συντονισμένο κύκλωμα.

Η αντίσταση εισόδου του τρανζίστορ στις υψηλές συχνότητες είναι συνήθως σύνθετη, αλλά έχει χαμηλό συντελεστή Q και εξαιτίας αυτού, για ενισχυτή με στενή ζώνη διελεύσεως, μπορεί να παρασταθεί με μια σταθερή ωμική αντίσταση. Η επίδραση της φανταστικής συνιστώσας της ίδιας αντιστάσεως μπορεί κατ' αρχήν να θεωρηθεί αμελητέα. Η αντίσταση εξόδου μπορεί να παρασταθεί με ισοδύναμο κύκλωμα, που αποτελείται από μια ωμική αντίσταση παραλληλισμένη από μια χωρητικότητα.

Ένα κύκλωμα συντονισμού, που διεγείρεται από τρανζίστορ, με το ισοδύναμό του φαίνεται στο σχήμα 3.27. Εδώ, το συντονισμένο κύκλωμα αποτελείται από την αυτεπαγωγή L_x και τη χωρητικότητα C_x, στο οποίο συνδέεται παράλληλα η αγωγιμότητα g_x, που αντιπροσωπεύει το σύνολο των απωλειών στο ζευκτικό κύκλωμα.

Η αντίσταση εξόδου του τρανζίστορ παριστάνεται με την αγωγιμότητα g_o και τη χωρητικότητα C_o, που συνδέονται παράλληλα στο κύκλωμα συντονισμού. Η ενεργός αγωγιμότητα του φορτίου g_L συνδέεται επίσης παράλληλα στο συντονισμένο κύκλωμα.

Ο βαθμός αποδόσεως για το κύκλωμα αυτό, δηλαδή ο λόγος της ισχύος P_L, που απορροφά το φορτίο, προς την ισχύ P_o, που παρέχει ο διεγέρτης (το τρανζίστορ), δίνεται από τη σχέση:



Σχ. 3.27.
Βαθμίδα με ένα ζευκτικό κύκλωμα.

$$\frac{P_L}{R_o} = \left(1 - \frac{Q_L}{Q_\alpha}\right)^2 \frac{4g_o g_L}{(g_o + g_L)^2} \tag{3.58}$$

Εδώ, Q_α είναι η τιμή του Q για «αφόρτιστη» αυτεπαγωγή, που προσδιορίζεται από τη σχέση:

$$Q_\alpha = \frac{1}{\omega_o L_x g_x}$$

από την οποία φαίνεται ότι στην τιμή του Q_α δεν λαμβάνονται υπόψη οι αντιστάσεις πολώσεως ή άλλα στοιχεία του τρανζίστορ.

Ο συντελεστής Q_L χαρακτηρίζει το «φορτισμένο» κύκλωμα συντονισμού και είναι:

$$Q_L = \frac{f_o}{\Delta f} = \frac{1}{\omega_o L_x (g_o + g_x + g_L)}$$

Το πρώτο μέρος της σχέσεως (3.58) απεικονίζει τις απώλειες εξαιτίας της σκεδάσεως στην αυτεπαγωγή του πηνίου και το δεύτερο, τη συνθήκη προσαρμογής. Όπως αποδεικνύεται από τη σχέση αυτή, ο συντελεστής ενισχύσεως ισχύος ελαττώνεται όσο η τιμή του Q_L πλησιάζει την τιμή του Q_α ($Q_L < Q_\alpha$).

Η σχέση (3.58) δείχνει ακόμη ότι ο μέγιστος συντελεστής ισχύος για ορισμένο λόγο Q_L/Q_α επιτυγχάνεται με προσαρμογή των αντιστάσεων φορτίου και εξόδου του τρανζίστορ ($g_o = g_L$), χωρίς να ληφθεί υπόψη η σκέδαση. Η συνθήκη αυτή ικανοποιείται, όταν είναι:

$$C_x + C_o = \frac{2g_o}{\omega_o(1/Q_L - 1/Q_\alpha)} \tag{3.59}$$

Από τη σχέση (3.59) μπορούμε να βρούμε την άριστη τιμή μιας εξωτερικής συμπληρωματικής χωρητικότητας, σε περίπτωση που είναι αναγκαία για την ικανοποίηση της συνθήκης προσαρμογής.

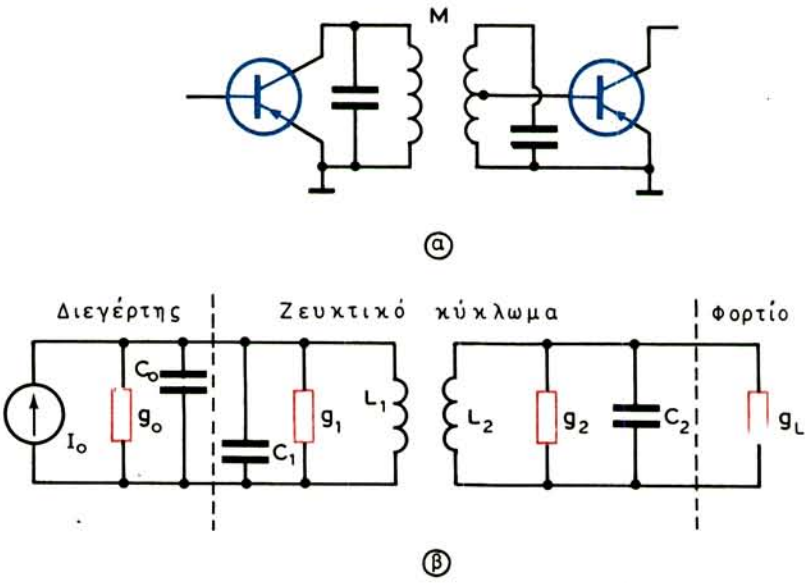
Στο σχήμα 3.28 φαίνεται μια βαθμίδα με δύο συζευγμένα κυκλώματα [σχ. 3.28(α)] και το ισοδύναμό της [σχ. 3.28(β)]. Ο βαθμός αποδόσεως για το κύκλωμα αυτό είναι:

$$\frac{P_L}{P_o} = \left(\frac{2n}{1 + n^2}\right)^2 \cdot \left(1 - \frac{Q_{L1}}{Q_{\alpha 1}}\right)\left(1 - \frac{Q_{L2}}{Q_{\alpha 2}}\right) \tag{3.60}$$

όπου $n = k/k_c$ ο λόγος του συντελεστή συζεύξεως προς την κρίσιμη τιμή του.

Εδώ είναι:

$$Q_{L1} = \frac{1}{\omega_o L_1 (g_1 + g_2)}, \qquad Q_{L2} = \frac{1}{\omega_o L_2 (g_2 + g_L)} \tag{3.61}$$



Σχ. 3.28.
Βαθμίδα με δύο συζευγμένα κυκλώματα.

και

$$Q_{\alpha 1} = \frac{1}{\omega_o L_1 g_1}, \qquad Q_{\alpha 2} = \frac{1}{\omega_o L_2 g_2} \tag{3.62}$$

Στην περίπτωση της κρίσιμης συζεύξεως ($k=k_c$), η σχέση (3.60) παίρνει τη μορφή:

$$\frac{P_L}{P_o} = \left(1 - \frac{Q_{L1}}{Q_{\alpha 1}}\right) \cdot \left(1 - \frac{Q_{L2}}{Q_{\alpha 2}}\right) \tag{3.63}$$

Στο μέτρο που ισχύουν τα ισοδύναμα κυκλώματα εισόδου και εξόδου του τρανζίστορ, οι σχέσεις (3.58), (3.59) και (3.63) ισχύουν και για τους υπολογισμούς ενισχυτών με πλατιά ζώνη διελεύσεως με την προϋπόθεση ότι οι τιμές του Q στις εξισώσεις (3.61) και (3.62) προσδιορίζονται με συχνότητα:

$$\omega_o = \sqrt{\frac{1}{LC} \cdot \frac{1}{1 + k^2}}$$

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΤΕΤΑΡΤΟ

ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΤΑΛΑΝΤΩΣΕΩΝ

4.1 Γενικά.

Η παραγωγή ηλεκτρικών ταλαντώσεων πραγματοποιείται με τους ταλαντωτές. ***Ταλαντωτής*** είναι μια ηλεκτρονική διάταξη που μετασχηματίζει την ενέργεια των πηγών συνεχούς ρεύματος σε ενέργεια εναλλασσόμενης μορφής, δηλαδή σε ενέργεια ηλεκτρικών ταλαντώσεων. Ανάλογα με τη συχνότητα των παραγομένων ηλεκτρικών ταλαντώσεων, οι ταλαντωτές διακρίνονται σε ταλαντωτές υψηλών ή πολύ υψηλών συχνοτήτων και σε ταλαντωτές ακουστικών συχνοτήτων.

Βασικό στοιχείο των ταλαντωτών υψηλής συχνότητας είναι το κύκλωμα ταλαντώσεων, που αποτελείται από μια αυτεπαγωγή L και μια χωρητικότητα C σε κατάλληλη συνδεσμολογία. Οι ταλαντωτές με τέτοιο κύκλωμα ταλαντώσεων ονομάζονται ***ταλαντωτές LC*** και χρησιμοποιούνται σε όλες τις διατάξεις εκπομπής και λήψεως.

Στις ακουστικές συχνότητες ένας ταλαντωτής όπως ο παραπάνω, θα απαιτούσε για τη λειτουργία του πολύ μεγάλα L και C των οποίων η κατασκευή παρουσιάζει τεχνικές δυσκολίες. Στην περίπτωση αυτή χρησιμοποιούνται οι λεγόμενοι ***ταλαντωτές RC***, που κατασκευάζονται αποκλειστικά με αντιστάσεις και πυκνωτές.

Οι ταλαντωτές LC και RC παράγουν ταλαντώσεις ημιτονικής συνήθως μορφής. Η μορφή των ταλαντώσεων αυτών μπορεί να αλλάξει και να γίνει π.χ. τετραγωνική ή άλλη. Η μορφοποίηση επιτυγχάνεται με τη βοήθεια ειδικών κυκλωμάτων. Ωστόσο, υπάρχουν και ειδικοί ταλαντωτές που παράγουν ευκολότερα ταλαντώσεις μη ημιτονικής μορφής. Οι ταλαντωτές αυτοί ονομάζονται ***πολυδονητές*** (ταλαντωτές πολλών δονήσεων).

Όλοι οι ταλαντωτές χρειάζονται ακόμη ένα τρανζίστορ και μια πηγή ηλεκτρικής ενέργειας συνεχούς μορφής για την τροφοδότησή τους. Ο τρόπος συνδεσμολογίας τρανζίστορ, κυκλώματος ταλαντώσεων και πηγής ηλεκτρικής ενέργειας είναι αντικείμενο των επομένων παραγράφων. Εκεί θα δούμε ακόμη ότι η έναρξη των ταλαντώσεων σε ένα κύκλωμα είναι μάλλον απλή. Δυσκολότερο και κύριο πρόβλημα είναι η συντήρηση των ταλαντώσεων.

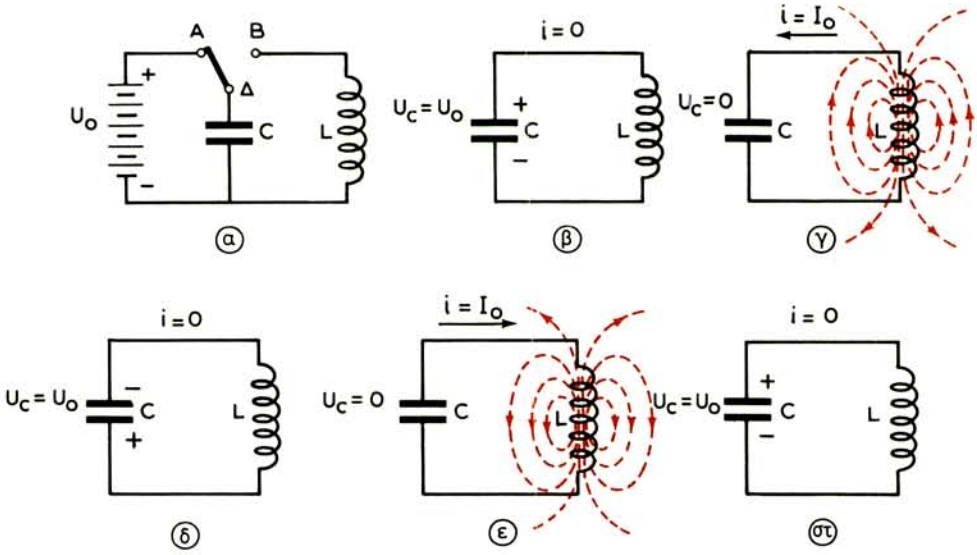
Για τη συντήρησή τους πρέπει να μεταβάλλεται περιοδικά το ρεύμα εξόδου του τρανζίστορ. Από όσα, όμως, γνωρίζομε ως τώρα, η μεταβολή του ρεύματος εξόδου ενός τρανζίστορ γίνεται με εφαρμογή κάποιας διεγέρσεως (σήματος) στην είσοδό του. Το σήμα αυτό λαμβάνεται από το κύκλωμα εξόδου του τρανζίστορ με τη βοήθεια μιας θετικής αναδράσεως. Έτσι, οι ταλαντωτές είναι συστήματα ***αυτοδιεγειρόμενα***. Όλοι οι ταλαντωτές που θα εξεταστούν εδώ είναι αυτοδιεγειρόμενοι.

4.2 Το κύκλωμα ταλαντώσεων.

Ένα κύκλωμα ταλαντώσεων, που αποτελείται από πηνίο με αυτεπαγωγή L και πυκνωτή με χωρητικότητα C, φαίνεται στο σχήμα 4.1. Υποθέτομε στην αρχή ότι το πηνίο δεν έχει ωμική αντίσταση και ο πυκνωτής δεν δημιουργεί απώλειες στο διηλεκτρικό του. Συνδέομε τώρα, με τη βοήθεια του διακόπτη Δ [(σχ. 4.1(α)], τον πυκνωτή C παράλληλα στην πηγή, στη συνέχεια μεταθέτομε το διακόπτη από τη θέση A στη θέση B και μελετούμε τα φαινόμενα που εμφανίζονται στο κύκλωμα.

Με το διακόπτη στη θέση A, ο πυκνωτής φορτίζεται ως την τάση της πηγής και αποθηκεύεται σε αυτόν ενέργεια με τη μορφή ηλεκτρικού πεδίου, που παρέχεται από τη σχέση:

$$W_{co} = \frac{CU_o^2}{2} \qquad (4.1)$$



Σχ. 4.1.
Το κύκλωμα ταλαντώσεων και η δράση του.

Ο φορτισμένος πυκνωτής μεταφέρεται στη θέση Β και αρχίζει να εκφορτίζεται μέσα από το πηνίο [(σχ. 4.1(δ)]. Κατά την εκφόρτιση το ρεύμα i, που περνά από την αυτεπαγωγή, δημιουργεί μαγνητικό πεδίο, το οποίο με τη σειρά του, επάγει στο πηνίο ΗΕΔ, που αντιτίθεται στην αύξηση του ρεύματος (κανόνας του Lenz). Εξαιτίας αυτού, ο πυκνωτής δεν εκφορτίζεται ακαριαία, αλλά σε κάποιο χρόνο κατά τη διάρκεια του οποίου η τάση U_c βαθμιαία πέφτει ως το μηδέν.

Με την εκφόρτιση του πυκνωτή, το ρεύμα στο κύκλωμα μεγαλώνει και για $U_c=0$ παίρνει τη μέγιστη τιμή του $i=I_o$ [σχ. 4.1(γ)]. Παράλληλα, ελαττώνεται η ενέργεια του ηλεκτρικού πεδίου του πυκνωτή και μετατρέπεται σε αυξανόμενη ενέργεια μαγνητικού πεδίου στο πηνίο. Κατά τη χρονική στιγμή που είναι $U_c = 0$ και $i = I_0$, όλη η ενέργεια που αρχικά είχε αποθηκευθεί στον πυκνωτή, μετατρέπεται σε ενέργεια μαγνητικού πεδίου και δίνεται από τη σχέση:

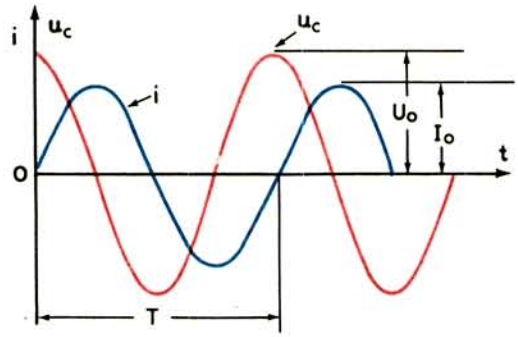
$$W_{Lo} = \frac{LI_o^2}{2} \qquad (4.2)$$

Το ρεύμα, αφού πήρε τη μέγιστη τιμή του, αρχίζει να ελαττώνεται. Μαζί του εξασθενεί και το μαγνητικό πεδίο που δημιουργεί στο πηνίο την αυτεπαγωγική ΗΕΔ, η οποία τώρα αντιτίθεται στην ελάττωση του ρεύματος. Έτσι, το ρεύμα φθάνει βαθμηδόν στη μηδενική τιμή του, ενώ εξακολουθεί να έχει την αρχική φορά του, δηλαδή να κινείται από τον οπλισμό του πυκνωτή που ήταν φορτισμένος αρνητικά, στον οπλισμό που ήταν φορτισμένος θετικά. Αυτό σημαίνει ότι ο πυκνωτής επαναφορτίζεται, η τάση μεταξύ των οπλισμών του μεγαλώνει, αλλά έχει τώρα πολικότητα αντίθετη της αρχικής. Όταν το ρεύμα i μηδενισθεί, η τάση U_c φθάνει τη μέγιστη τιμή της U_o [σχ. 4.1(δ)] και όλη η ενέργεια του μαγνητικού πεδίου (σχέση 4.2) μετατρέπεται σε ενέργεια ηλεκτρικού πεδίου (σχέση 4.1).

Στη συνέχεια, ο πυκνωτής εκφορτίζεται ξανά μέσα από το πηνίο, αλλά το ρεύμα έχει αντίθετη φορά [σχ. 4.1(ε)]. Ύστερα επαναφορτίζεται στην τάση U_o με την αρχική του πολικότητα [σχ. 4.1(στ)] και τα φαινόμενα επαναλαμβάνονται.

Οι διαδοχικές φορτίσεις και εκφορτίσεις του πυκνωτή μέσα από το πηνίο δημιουργούν ταλαντώσεις, που χαρακτηρίζονται σαν ***ελεύθερες,*** επειδή καμιά πηγή ενέργειας δεν επιδρά στο κύκλωμα, εκτός από εκείνη που αρχικά φόρτισε τον πυκνωτή.

Οι παραστατικές καμπύλες των μεταβολών της τάσεως και του ρεύματος, που περιγράψαμε, φαίνονται στο σχήμα 4.2. Ο χρόνος που μεσολάβησε από τη στιγμή που άρχισε η πρώτη εκφόρτιση του πυκνωτή ως τη στιγμή που επαναφορτίσθηκε με την αρχική πολικότητα, δηλαδή ο χρόνος ενός πλήρους κύκλου



Σχ. 4.2.

Παραστατικές καμπύλες μεταβολών ρεύματος και τάσεως σε κύκλωμα ταλαντώσεων.

μεταβολών του ρεύματος στο κύκλωμα και της τάσεως στον πυκνωτή, ονομάζεται ***περίοδος των ταλαντώσεων T.***

Για τον υπολογισμό της περιόδου T θυμόμαστε ότι το ρεύμα I_o, που διαρρέει το κύκλωμα και η τάση U_o του πυκνωτή συνδέονται με τη σχέση:

$$U_o = \frac{1}{\omega C} I_o$$

Επειδή οι ενέργειες του μαγνητικού πεδίου του πηνίου (σχέση 4.2) και του ηλεκτρικού πεδίου του πυκνωτή (σχέση 4.1) είναι ίσες, έχομε:

$$\frac{LI_o^2}{2} = \frac{CU_o^2}{2} = \frac{I_o^2}{2\omega^2 C}$$

Από τις σχέσεις αυτές παίρνομε:

$$\frac{LI_o^2}{2} = \frac{I_o^2}{2\omega^2 C} \quad \text{ή} \quad L = \frac{1}{\omega^2 C}$$

και $$\omega = 2\pi f = \frac{1}{\sqrt{LC}} \quad \text{ή} \quad f = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \qquad (4.3)$$

Η συχνότητα των ελευθέρων ταλαντώσεων, που ορίζεται από τα στοιχεία του κυκλώματος L και C, σύμφωνα με τη σχέση (4.3) ονομάζεται, όπως γνωρίζομε, ***ιδιοσυχνότητα*** ή ***φυσική συχνότητα*** και συμβολίζεται με ω_o (κυκλική συχνότητα) ή f_o (συχνότητα ταλαντώσεων).

Επειδή η συχνότητα και η περίοδος συνδέονται με τη σχέση $f=1/T$, θα έχομε:

$$T=2\pi\sqrt{L\,C} \qquad (4.4)$$

Η επαγωγική αντίσταση του πηνίου στη συχνότητα f_o, που είναι ίση με τη χωρητική αντίσταση, ονομάζεται ***χαρακτηριστική αντίσταση*** του κυκλώματος ή ***κυματική αντίσταση*** και συμβολίζεται με το γράμμα ρ. Η τιμή της είναι:

$$\rho = \omega_o L = \frac{1}{\omega_o C} = \frac{U_o}{I_o} = \sqrt{\frac{L}{C}} \qquad (4.5)$$

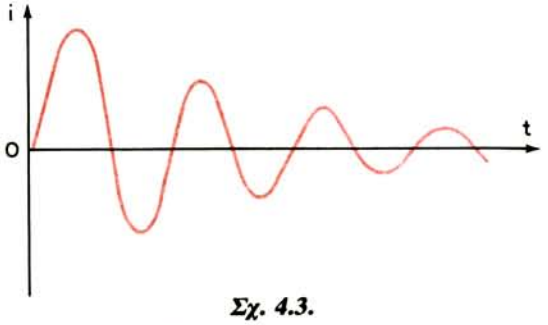
Τέλος, επειδή δεχθήκαμε ότι στο κύκλωμα ταλαντώσεων δεν έχομε απώλειες ενέργειας, τα πλάτη της τάσεως U_o και του ρεύματος I_o διατηρούνται σταθερά κατά τις διαδοχικές φορτίσεις και εκφορτίσεις του πυκνωτή. Τέτοιες ταλαντώσεις, δηλαδή ταλαντώσεις με σταθερό πλάτος τάσεως ή ρεύματος, ονομάζονται ***συντηρούμενες*** ή ***αμείωτου πλάτους*** ταλαντώσεις.

4.3 Απόσβεση ταλαντώσεων.

Δεχθήκαμε ως τώρα ότι στο κύκλωμα ταλαντώσεων δεν υπήρχε ωμική αντίσταση. Στην πράξη, όμως, το πηνίο παρουσιάζει μια, έστω και μικρή, ωμική αντίσταση και ο πυκνωτής δημιουργεί κάποιες απώλειες στο διηλεκτρικό του. Σ' ένα τέτοιο κύκλωμα η ηλεκτρική ενέργεια, που αρχικά αποθηκεύεται στον πυκνωτή, ελαττώνεται βαθμηδόν μετατρεπόμενη σε θερμότητα στην ωμική αντίσταση του πηνίου και στο διηλεκτρικό του πυκνωτή, σε κάθε εκφόρτιση και φόρτισή του. Ως αποτέλεσμα των απωλειών αυτών, το πλάτος των ταλαντώσεων ελαττώνεται ή, όπως λέμε, φθίνει (σχ. 4.3). Μια τέτοια ταλάντωση ονομάζεται ***αποσβενόμενη*** ή ***φθίνουσα.***

Αν στη διάρκεια μιας οποιασδήποτε ημιπεριόδου το ρεύμα στο κύκλωμα έχει πλάτος I_o, η ενέργεια που καταναλώνεται στην ημιπερίοδο αυτή είναι:

$$W_R = \frac{RI_o^2}{2} \cdot \frac{T}{2}$$



Σχ. 4.3.
Φθίνουσα ταλάντωση.

όπου R η ενεργός αντίσταση του κυκλώματος που αντιπροσωπεύει το σύνολο των απωλειών.

Κατά την ίδια ημιπερίοδο, στο πηνίο αποθηκεύεται ενέργεια: $W_L = \frac{LI_o^2}{2}$

Ο λόγος της ενέργειας, που καταναλώνεται στην ενεργό αντίσταση του κυκλώματος (αντίσταση απωλειών), προς την ενέργεια, που αποθηκεύεται στο πηνίο, χαρακτηρίζει την ελάττωση του πλάτους των ταλαντώσεων:

$$\frac{W_R}{W_L} = \frac{RI_o^2}{2LI_o^2} \cdot T = \frac{R}{2L} \cdot T = \alpha T \tag{4.6}$$

Ο λόγος

$$\alpha = \frac{R}{2L} \tag{4.7}$$

ονομάζεται ***συντελεστής αποσβέσεως*** και έχει διαστάσεις:

$$[\alpha] = \left[\frac{R}{2L}\right] = \frac{\Omega}{V \,.\, sec/A} = \frac{\Omega}{\Omega \,.\, sec} = sec^{-1}$$

Έτσι, ο συντελεστής αποσβέσεως εκφράζει την ελάττωση του πλάτους των ταλαντώσεων ανά μονάδα χρόνου.

Επειδή η περίοδος και η κυκλική συχνότητα συνδέονται με τη σχέση $T = 2\pi/\omega_o$ έχομε (σχέση 4.6):

$$\frac{W_R}{W_L} = \frac{R}{2L} \cdot \frac{2\pi}{\omega_o} = \pi \cdot \frac{R}{\omega_o L}$$

Το μέγεθος

$$\delta = \frac{R}{\omega_o L} \tag{4.8}$$

ονομάζεται ***απόσβεση*** του κυκλώματος και είναι καθαρός αριθμός.

Όσο μικρότερη είναι η αντίσταση απωλειών R, σε σύγκριση με την $\omega_o L$, τόσο αργότερα αποσβένονται οι ταλαντώσεις και επομένως τόσο καλύτερο είναι το κύκλωμα.

Συνήθως, εκτιμούμε την ποιότητα ενός κυκλώματος από το ***συντελεστή ποιότητας Q,*** που είναι μέγεθος αντίστροφο της αποσβέσεως, δηλαδή:

$$Q = \frac{1}{\delta} = \frac{\omega_o L}{R}$$

ή ακόμη: $$Q = \frac{\omega_o L}{R} = \frac{1}{\omega_o CR} = \frac{\varrho}{R} = \frac{\sqrt{L/C}}{R}$$

Η ιδιοσυχνότητα του κυκλώματος εξαρτάται από το μέγεθος της αντιστάσεως απωλειών και δίνεται από τη σχέση:

$$f_o = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{1}{LC} - \alpha^2} \tag{4.9}$$

Για $\alpha^2 << 1/LC$, ξαναβρίσκομε τη γνωστή σχέση (4.3). Αν, όμως, είναι $\alpha^2 >> 1/LC$, έχομε κύκλωμα με μεγάλες απώλειες και η ηλεκτρική ενέργεια, στο τέλος της εκφορτίσεως του πυκνωτή, μετατρέπεται σε θερμότητα. Σ' αυτή την περίπτωση, ο πυκνωτής δεν επαναφορτίζεται και η ταλάντωση, που δημιουργείται κατά την εκφόρτιση, ονομάζεται ***απεριοδική***. Για απεριοδική ταλάντωση, η συχνότητα δεν έχει νόημα και η σχέση (4.9) δεν ισχύει.

Ας εξετάσομε λίγο την ανισότητα $\alpha^2 > \frac{1}{LC}$

Τοποθετούμε στην ανισότητα αυτή την τιμή του συντελεστή αποσβέσεως από τη σχέση (4.7) και, ύστερα από απλούς μετασχηματισμούς, παίρνομε:

$$R > 2\sqrt{\frac{L}{C}} \quad \text{ή} \quad R > 2\varrho$$

και επειδή είναι $Q=\varrho/R$ θα είναι και $Q < \frac{1}{2}$

Όταν ισχύουν οι τελευταίες ανισότητες, ο πυκνωτής εκφορτίζεται απεριοδικά. Αντίθετα, αν είναι:

$$R < 2\varrho \quad \text{ή} \quad Q > \frac{1}{2}$$

στο κύκλωμα παράγονται ταλαντώσεις, οι οποίες θέλουν συντήρηση.

Για τη συντήρηση των ταλαντώσεων πρέπει να προσφέρομε στο κύκλωμα ενέργεια ίση με εκείνη που καταναλώνεται σε κάθε περίοδό τους. Την ενέργεια για την αναπλήρωση των απωλειών στο κύκλωμα την προσφέρει μια πηγή, με τρόπους που θα γνωρίσομε παρακάτω.

Σημειώνομε ότι, αν η πηγή αναπληρώσεως των απωλειών στο κύκλωμα είναι

εναλλασσόμενου ρεύματος, οι ταλαντώσεις ονομάζονται ***διασμένες***, επειδή η πηγή «επιβάλλει» στο κύκλωμα τη δική της συχνότητα. Με τα κυκλώματα αυτά ασχοληθήκαμε στο προηγούμενο κεφάλαιο (συντονισμένα κυκλώματα σειράς, παράλληλα κλπ.).

4.4 Αρχή λειτουργίας ταλαντωτών.

Ο ταλαντωτής αποτελείται από τρία βασικά στοιχεία:

1) Το κύκλωμα ταλαντώσεων.
2) Την πηγή ηλεκτρικής ενέργειας (συνεχούς μορφής), που συντηρεί τις ταλαντώσεις στο κύκλωμα.
3) Το στοιχείο (τρανζίστορ) που ρυθμίζει την προσφορά της ενέργειας από την πηγή στο κύκλωμα.

Στην ουσία, ο ταλαντωτής είναι ενισχυτής υψηλής συχνότητας, ο οποίος όμως διεγείρεται από ένα μέρος της τάσεως εξόδου του (αυτοδιέγερση). Αυτό μπορεί να γίνει μόνο αν δημιουργηθεί μια θετική ανάδραση με τη βοήθεια ειδικού κυκλώματος αναδράσεως.

Οι ταλαντώσεις αρχίζουν αμέσως μόλις εφαρμοσθεί η συνεχής τάση τροφοδοτήσεως του τρανζίστορ, μέσα όμως από ένα κύκλωμα ταλαντώσεως LC. Η ύπαρξη του πυκνωτή δεν επιτρέπει την ακαριαία αποκατάσταση της συνεχούς τάσεως στο ηλεκτρόδιο του τρανζίστορ, που τροφοδοτείται, επειδή ο πυκνωτής χρειάζεται κάποιο χρόνο για να φορτισθεί. Ακόμη, η ύπαρξη της αυτεπαγωγής δεν επιτρέπει την ακαριαία αποκατάσταση του συνεχούς ρεύματος του τρανζίστορ, σύμφωνα με το γνωστό νόμο του Lenz.

Έτσι, από τη στιγμή εφαρμογής της συνεχούς τάσεως σ' έναν ενισχυτή υψηλής συχνότητας, που δεν διεγείρεται από κάποιο σήμα, μέχρι την αποκατάσταση της τελικής τιμής του ρεύματος ηρεμίας, μεσολαβεί μεταβατική περίοδος, κατά τη διάρκεια της οποίας το ρεύμα αυτό είναι μεταβαλλόμενο. Το μεταβαλλόμενο ρεύμα δημιουργεί μεταβαλλόμενη τάση στα άκρα του κυκλώματος LC και επομένως οι ταλαντώσεις έχουν ξεκινήσει.

Για τη συντήρηση των ταλαντώσεων αυτών, παίρνομε μία τάση από την έξοδο του τρανζίστορ, δηλαδή από το κύκλωμα ταλαντώσεων, και την εφαρμόζομε στην είσοδό του (ανάδραση), μέσα από ένα κύκλωμα αναδράσεως. Το τρανζίστορ τώρα διεγείρεται από κάποιο σήμα και, κάτω από ορισμένες προϋποθέσεις, το ρεύμα του αποκτά μία εναλλασσόμενη συνιστώσα, που έχει συχνότητα ίση με την ιδιοσυχνότητα του κυκλώματος ταλαντώσεων. Με τον τρόπο αυτό, οι ταλαντώσεις μπορούν να συντηρηθούν.

Οι προϋποθέσεις συντηρήσεως των ταλαντώσεων, που ονομάζονται και ***συνθήκες αυτοταλαντώσεως,*** είναι δύο:

1) Η τάση αναδράσεως να είναι αρκετή, ώστε η εναλλασσόμενη συνιστώσα του ρεύματος εξόδου του τρανζίστορ, από τη μια μεριά, να αναπληρώνει τις απώ-

λειες ενέργειας στα ενεργά στοιχεία της συνδεσμολογίας και, από την άλλη, να δημιουργεί ωφέλιμη ισχύ εξόδου. Οι δύο, φυσικά, μορφές ισχύος (ωφέλιμη και απωλειών) παρέχονται από την τροφοδοτική πηγή. Όταν οι απώλειες δεν αναπληρώνονται, οι ταλαντώσεις διακόπτονται.

2) Η φασική απόκλιση που δημιουργεί το τρανζίστορ, μεταξύ των τάσεων εισόδου και εξόδου, πρέπει να αντισταθμίζεται από τα στοιχεία του κυκλώματος αναδράσεως. Με τη συνθήκη αυτή, οι φάσεις των τάσεων αναδράσεως και ταλαντώσεων συμπίπτουν και οι τάσεις αυτές προστίθενται. Αν οι τάσεις είναι αντιφασικές, τότε αφαιρούνται και οι ταλαντώσεις διακόπτονται. Η σύμπτωση των φάσεων εξασφαλίζεται με τη θετική ανάδραση.

Για θετική ανάδραση, ο συντελεστής ενισχύσεως μιας βαθμίδας με ανάδραση A′, ο συντελεστής ενισχύσεως της ίδιας βαθμίδας χωρίς ανάδραση A και ο συντελεστής του κυκλώματος αναδράσεως β συνδέονται με τη σχέση (2.40):

$$A' = \frac{A}{1 - \beta A}$$

Η ανάδραση μπορεί να εκλεγεί έτσι, ώστε το πλάτος της τάσεως αναδράσεως $U_{\alpha\nu}$ να είναι ίσο με το πλάτος της τάσεως διεγέρσεως U_g (σχήμα 4.4), δηλαδή:

$$U_{\alpha\nu} = U_g$$

Επειδή είναι (σχέση 2.37) $U_{\alpha\nu} = \beta U_\alpha$ και $U_\alpha = AU_g$, θα έχομε:

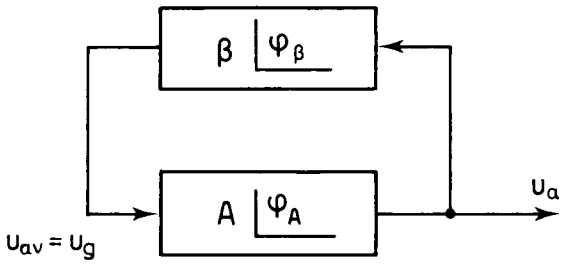
$$U_{\alpha\nu} = \beta A U_g$$

και επομένως η ισότητα $U_{\alpha\nu} = U_g$ ικανοποιείται με τη συνθήκη:

$$\beta A = 1 \qquad (4.10)$$

Η σχέση (4.10) ονομάζεται ***συνθήκη αυτοδιεγέρσεως*** της βαθμίδας.

Τα μεγέθη A και β είναι μιγαδικά και μπορούν να εκφρασθούν μέσα από τα μέτρα τους |A| και |β| και τα ορίσματά τους (γωνίες) φ_A και φ_β:



Σχ. 4.4.
Διάγραμμα θετικής αναδράσεως σε ταλαντωτή.

$$A = |A|e^{j\varphi_A} \qquad \text{και} \qquad \varphi = |\beta|e^{j\varphi_B}$$

Τα ορίσματα φ_A και φ_β είναι οι φασικές διαφ... που εισάγουν αντίστοιχα τα κυκλώματα ενισχυτή και αναδράσεως, μ... ιων τάσεων ε... όδου και εξόδου τους.

Με την εισαγωγή των τελευταίων εκφράσεων για τους συντελεστές A και β στη σχέση (4.10) έχομε:

$$|A| \cdot |\beta| \, e^{j(\varphi_A + \varphi_\beta)} = 1$$

Από τη σχέση αυτή έχομε:

$$1)\ |A| \cdot |\beta| = 1 \qquad \text{ή} \qquad |\beta| = \frac{1}{|A|} \tag{4.11}$$

$$2)\ \varphi_A + \varphi_\beta = 0, 2\pi, 4\pi \ldots \tag{4.12}$$

Η πρώτη εξίσωση ονομάζεται ***συνθήκη ισοσταθμίσεως των πλατών*** και η δεύτερη ***συνθήκη ισοσταθμίσεως των φάσεων.***

Τα μεγέθη A, β, φ_A, φ_β είναι συναρτήσεις της συχνότητας, πράγμα που σημαίνει ότι η αυτοδιέγερση του ταλαντωτή μπορεί να γίνει μόνο σε ορισμένη συχνότητα. Από τις σχέσεις (4.11) και (4.12) μπορούν να προσδιορισθούν το πλάτος και η συχνότητα των παραγομένων ταλαντώσεων.

Σημειώνομε ότι στην πράξη η αυτοταλάντωση γίνεται με συνθήκη πλατών:

$$\beta A \geq 1 \qquad \text{ή} \qquad \beta A' = 1 \tag{4.13}$$

4.5 Συνδεσμολογίες ταλαντωτών.

Τα κυκλώματα των αυτοδιεγειρομένων ταλαντωτών, ανάλογα με τον τρόπο πραγματοποιήσεως της αναδράσεως, διακρίνονται σε κυκλώματα με επαγωγική, αυτεπαγωγική και χωρητική ανάδραση.

α) Ταλαντωτής με επαγωγική ανάδραση.

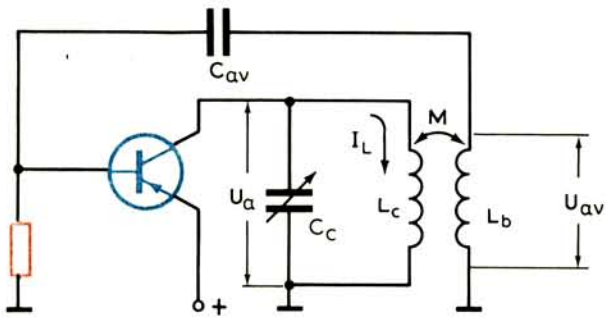
Το κύκλωμα ενός τέτοιου ταλαντωτή φαίνεται στο σχήμα 4.5. Στο συλλέκτη του τρανζίστορ συνδέεται το κύκλωμα ταλαντώσεων L_c C_c και η τάση αναδράσεως λαμβάνεται επαγωγικά με την αυτεπαγωγή L_b. Για την εξασφάλιση θετικής αναδράσεως, οι περιελίξεις των πηνίων L_c και L_b είναι αντίρροπες.

Στη συχνότητα ταλαντώσεων ω η αντίσταση του πηνίου L_c θα είναι $j\omega L_c$ (θεωρούμε αμελητέα την ωμική του αντίσταση) και επομένως έχομε:

$$U_\alpha = j\omega L_c \, I_L$$

Η τάση $U_{\alpha\nu}$ που αναπτύσσεται επαγωγικά στο πηνίο L_b δίνεται από τη γνωστή σχέση:

$$U_{\alpha\nu} = - j\omega M \, I_L$$



Σχ. 4.5.
Ταλαντωτής με επαγωγική ανάδραση ή ταλαντωτής Meissner.

Έτσι, ο συντελεστής αναδράσεως είναι:

$$\beta = \frac{U_{\alpha\nu}}{U_\alpha} = -\frac{j\omega M I_L}{j\omega L_c I_L} = -\frac{M}{L_c} = \frac{|M|}{L_c} \quad e^{j\pi} = \frac{|M|}{L_c} \angle \varphi_\beta = 180°$$

Εξάλλου έχομε (σχέση 3.52 με $m_b=1$, $m_c=1$):

$$A = |S|R_o e^{j\pi} = |S|R_o \angle \varphi_A = 180°$$

όπου S η κλίση του τρανζίστορ και R_o η αντίσταση του κυκλώματος L_c C_c στη συχνότητα των ταλαντώσεων.

Επομένως είναι (σχέση 4.13): $$|\beta A| = \frac{|M|}{L_c} \cdot |S| \cdot R_o > 1$$

και (σχέση 4.12): $$\varphi_A + \varphi_\beta = 180° + 180° = 360°$$

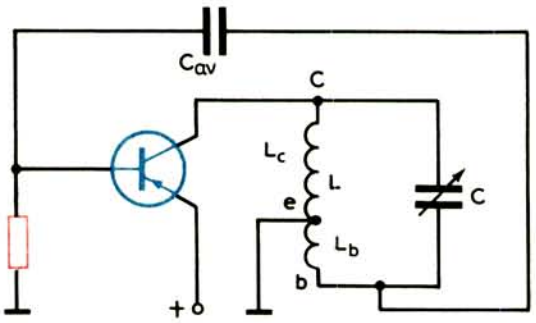
πράγμα που σημαίνει ότι ικανοποιούνται οι συνθήκες αυτοταλαντώσεως της συνδεσμολογίας.

Ο ταλαντωτής του σχήματος 4.5 λέγεται και ταλαντωτής Meissner.

β) Ταλαντωτής με αυτεπαγωγική ανάδραση.

Στην πράξη χρησιμοποιείται πλατιά ο ταλαντωτής με αυτεπαγωγική ανάδραση (σχ. 4.6), που ονομάζεται και ταλαντωτής Hartley.

Στην περίπτωση αυτή, το πηνίο L χωρίζεται σε δύο τμήματα από τη λήψη στο σημείο e. Το τμήμα ec ανήκει στο κύκλωμα του συλλέκτη του τρανζίστορ και το τμήμα eb στο κύκλωμα της βάσεως. Τα δύο τμήματα του πηνίου L διαρρέονται από αντίρροπα ρεύματα, οπότε οι τάσεις στα άκρα τους διαφέρουν φασικά κατά 180°. Έτσι, εξασφαλίζεται η θετική ανάδραση που είναι απαραίτητη για την αυτοδιέγερση του ταλαντωτή.



Σχ. 4.6.
Ταλαντωτής με αυτεπαγωγική ανάδραση ή ταλαντωτής Hartley.
($L = L_c + L_b$).

Ο συντελεστής αναδράσεως για το κύκλωμα του σχήματος 4.6 έχει τη μορφή:

$$\beta = -\frac{I_L \omega L_b}{I_L \omega L_c} = -\frac{L_b}{L_c} = \frac{L_b}{L_c} \Big| \varphi_\beta = 180°$$

και επομένως: $\beta_\Lambda = \frac{L_b}{L_c} \cdot |S| R_o > 1$

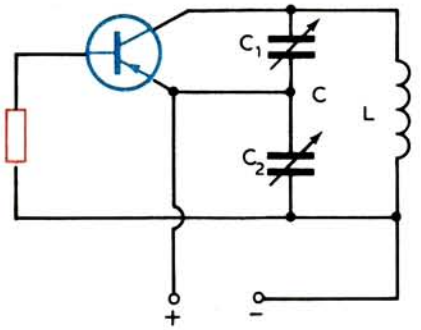
γ) Ταλαντωτής με χωρητική ανάδραση.

Στο σχήμα 4.7 φαίνεται το κύκλωμα ταλαντωτή με χωρητική ανάδραση, που είναι γνωστό ως ταλαντωτής Colpitts. Εδώ, η θετική ανάδραση εξασφαλίζεται με τη λήψη του εκπομπού, η οποία γίνεται μεταξύ των πυκνωτών C_1 και C_2. Τα ρεύματα που διαρρέουν τους πυκνωτές C_1 και C_2 είναι αντίρροπα.

Για το κύκλωμα αυτό έχομε:

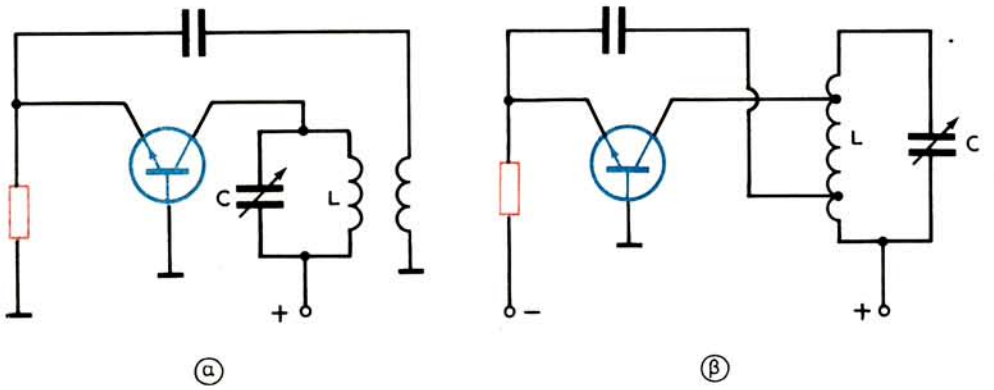
$$\beta = \frac{I_L \cdot \frac{1}{\omega C_2}}{I_L \cdot \frac{1}{\omega C_1}} = \frac{C_1}{C_2}$$

Οι ταλαντωτές που παρουσιάσαμε έχουν το τρανζίστορ σε σύνδεση κοινού εκπομπού. Στις πολύ υψηλές συχνότητες, ο συντελεστής ενισχύσεως ρεύματος του τρανζίστορ αποκτά άεργη συνιστώσα και οι ταλαντωτές με κοινό εκπομπό έχουν χαμηλή σταθερότητα συχνότητας σε σύγκριση με τους ταλαντωτές κοινής βάσεως. Κυκλώματα ταλαντωτών με τρανζίστορ κοινής βάσεως φαίνονται στο σχήμα 4.8.



Σχ. 4.7.
Ταλαντωτής με χωρητική ανάδραση ή ταλαντωτής Colpitts.

$$\left(C = \frac{C_1 C_2}{C_1 + C_2} \right)$$



Σχ. 4.8.
Ταλαντωτές κοινής βάσεως με αναδράσεις: α) επαγωγική, β) αυτεπαγωγική, γ) χωρητική.

Τέλος, στο σχήμα 4.9 φαίνονται δύο κυκλώματα ταλαντωτών με τρανζίστορ σε συνδεσμολογία κοινού συλλέκτη. Στο σχήμα 4.9(α), η τάση αναδράσεως εφαρμόζεται στη βάση και στο σχήμα 4.9(β), στον εκπομπό.

Κλείνομε την παράγραφο με την παρατήρηση ότι η συχνότητα των παραγομένων ταλαντώσεων για όλους τους προηγούμενους ταλαντωτές υπολογίζεται από τη γνωστή σχέση:

$$f = \frac{1}{2\pi\sqrt{L\,C}}$$

Η σχέση αυτή είναι προσεγγιστική, γιατί δεν λαμβάνει υπόψη την επίδραση των υπολοίπων πραγματικών και φανταστικών στοιχείων του κυκλώματος και του τρανζίστορ. Η συχνότητα ταλαντώσεων, π.χ. του ταλαντωτή με αυτεπαγωγική ανάδραση (σχ. 4.6), δίνεται από τη σχέση:

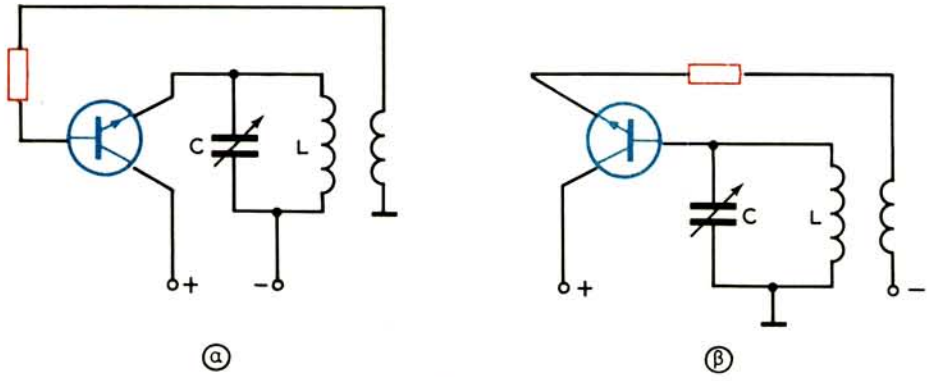
$$f = \frac{1}{2\pi}\sqrt{\frac{1}{C(L_c + L_b + 2M) - (L_c L_b - M^2)/A}}$$

και του ταλαντωτή με χωρητική ανάδραση (σχ. 4.7), από τη σχέση:

$$f = \frac{1}{2\pi}\sqrt{\frac{1}{LC} + \frac{1}{AC_1C_2}}$$

όπου $C = \dfrac{C_1C_2}{C_1 + C_2}$

Στις σχέσεις αυτές είναι: $A = r_b r_c + r_b r_e + r_e r_c - r_m r_b$



Σχ. 4.9.

Κυκλώματα ταλαντωτών κοινού συλλέκτη με επαγωγική ανάδραση.
α) Στη βάση. β) Στον εκπομπό.

4.6 Τάξεις λειτουργίας ταλαντωτών.

Στους ταλαντωτές υψηλών συχνοτήτων μπορούμε να διακρίνομε δύο τάξεις λειτουργίας: την τάξη Α και την τάξη Γ. Η εκλογή μιας τάξεως λειτουργίας εξαρτάται από τον απαιτούμενο βαθμό αποδόσεως του ταλαντωτή σε συνάρτηση με τις επιτρεπόμενες αρμονικές παραμορφώσεις. Με μικρό βαθμό αποδόσεως του ταλαντωτή, μικρό ποσοστό ενέργειας συνεχούς μορφής μετασχηματίζεται σε ενέργεια εναλλασσόμενης μορφής, που αποδίδεται σαν ωφέλιμη στο φορτίο. Ο μικρός βαθμός αποδόσεως αντισταθμίζεται από το χαμηλό συντελεστή αρμονικών παραμορφώσεων. Αυτά είναι χαρακτηριστικά της τάξεως Α.

Η τάξη Γ έχει μεγάλο βαθμό αποδόσεως αλλά και υψηλό συντελεστή αρμονικών παραμορφώσεων.

Γενικά, μπορούμε να πούμε ότι:

1) Η τάξη Α, ή μια τάξη κοντινή στην Α, χρησιμοποιείται όταν απαιτείται υψηλή σταθερότητα συχνότητας με πολύ καλή μορφή ταλαντώσεων στην έξοδο του ταλαντωτή.
2) Η τάξη Γ χρησιμοποιείται όταν χρειάζεται ταλαντωτής μεγάλης ισχύος, ο οποίος όμως θα δίνει στην έξοδό του ταλαντώσεις που δεν θα έχουν ημιτονική μορφή. Ο ταλαντωτής της τάξεως Γ εξασφαλίζει μεγάλο βαθμό μετασχηματισμού ενέργειας της πηγής συνεχούς ρεύματος σε ενέργεια ηλεκτρικών ταλαντώσεων.

Η λειτουργία του ταλαντωτή σε τάξη Α εξασφαλίζεται με τις επόμενες παραδοχές.

1) Το πλάτος του ρεύματος εκπομπού I_e δεν πρέπει να ξεπερνάει την τιμή του συνεχούς ρεύματος πολώσεως του εκπομπού I_E. Με μεγάλο πλάτος του ρεύματος I_e, το τρανζίστορ, στη διάρκεια ενός τμήματος της περιόδου, οδηγείται σε αποκοπή και το πλάτος των ταλαντώσεων περιορίζεται.
2) Το πλάτος της τάσεως συλλέκτη U_{cb} δεν πρέπει να υπερβαίνει τη στάθμη της συνεχούς τάσεως μεταξύ συλλέκτη και βάσεως V_{cb}. Με πολύ μεγάλο πλάτος αυτής της τάσεως, το ρεύμα συλλέκτη, κατά τη διάρκεια ενός τμήματος της περιόδου, φθάνει στον κόρο, με αποτέλεσμα να προκαλείται ισχυρή απόσβεση και περιορισμός του πλάτους των ταλαντώσεων.

Αν δεχθούμε $I_e = I_E / \sqrt{2}$, η τάση στο φορτίο και η ισχύς, για την τάξη Α, δίνονται από τις σχέσεις:

$$U_{cb} = \frac{R_L I_E}{|\alpha|} = \frac{\sqrt{2}\, I_e R_L}{|\alpha|}$$

$$P_L = R_L I_e^2 = \frac{R_L I_E^2}{2}$$

όπου: α ο συντελεστής ενισχύσεως ρεύματος από τη σχέση (3.42) και R_L το

πραγματικό μέρος της αντιστάσεως φορτίου.

Στην τάξη Γ η αντίσταση φορτίου R_L εκλέγεται πολύ μεγαλύτερη από την τιμή που αντιστοιχεί στην τάξη Α, οπότε στον εκπομπό εφαρμόζεται τάση κατά τη διάρκεια σημαντικού τμήματος της περιόδου των ταλαντώσεων και το ρεύμα εκπομπού έχει παλμικό χαρακτήρα.

Βασικά χαρακτηριστικά της τάξεως Γ είναι τα ακόλουθα:

1) Το ρεύμα I_e έχει τη μορφή παλμών, που αποτελούνται από τη βασική συνιστώσα I_{e1} με συχνότητα f_1 και από μια σειρά αρμονικών συνιστωσών I_{e2}, I_{e3} κλπ., με συχνότητες $f_2=2f_1$, $f_3=3f_1$ κλπ.
2) Καθεμιά από τις αρμονικές συνιστώσες του I_e μεταβάλλεται ανάλογα με το συντελεστή ενισχύσεως του ρεύματος α, έτσι ώστε το αI_{e1} να είναι η βασική συνιστώσα του ρεύματος συλλέκτη $I_{c1}=\alpha I_{e1}$.
3) Από όλες τις αρμονικές συνιστώσες αI_e, μόνο η συνιστώσα αI_{e1} έχει σημασία στην ανάδραση, δηλαδή υποτίθεται ότι γι' αυτήν η τάση στο κύκλωμα ταλαντώσεων παραμένει ημιτονική. Η ενεργός αντίσταση φορτίου στην τάξη Γ και η ενεργός αντίσταση φορτίου στην τάξη Α, με ίδια στοιχεία στο κύκλωμα αναδράσεως, συνδέονται με τη σχέση:

$$R_{L(\Gamma)} = \frac{I_E}{I_{e1}} \cdot R_{L(A)}$$

όπου I_{e1} το πλάτος της βασικής αρμονικής του ρεύματος εκπομπού στην τάξη Γ και I_E το πλάτος του ημιτονικού ρεύματος εκπομπού στην τάξη Α.

Επειδή το κύκλωμα ταλαντώσεων του ταλαντωτή, που εργάζεται σε τάξη Γ, είναι συντονισμένο στην πρώτη αρμονική ή θεμελιώδη, όπως λέμε, του ρεύματος εξόδου, η αντίστασή του για τη θεμελιώδη είναι πολύ μεγάλη και στα άκρα της εμφανίζεται η μέγιστη τάση.

Για τη δεύτερη αρμονική και τις ανώτερες, η αντίσταση του κυκλώματος είναι μικρή και επομένως μικρή θα είναι και η τάση που εμφανίζεται στα άκρα της. Παρ' όλα αυτά, ένας πομπός π.χ. που χρησιμοποιεί ταλαντωτή με αρμονικές, μπορεί να ακτινοβολεί μια ισχύ αρμονικών, η οποία σε κοντινές αποστάσεις ενεργεί στους δέκτες σαν θόρυβος. Αν, π.χ., ο πομπός εργάζεται στη συχνότητα των 500 kHz, μπορεί να ακτινοβολεί ενέργεια και στις συχνότητες των 1 MHz, 1,5 MHz κλπ. Στις συχνότητες όμως αυτές (των 1 MHz, 1,5 MHz) ενδέχεται να εργάζονται άλλοι πομποί, οι οποίοι θα παρενοχλούνται. Για την κατάργηση της ακτινοβολίας αρμονικών, ο ταλαντωτής του πομπού ακολουθείται από βαθμίδες ενισχύσεως, που διαθέτουν συντονισμένα κυκλώματα καλής ποιότητας και φίλτρα απορρίψεως αρμονικών.

Πρέπει να σημειώσομε ότι σε πολλές περιπτώσεις οι αρμονικές χρησιμοποιούνται για τον πολλαπλασιασμό της συχνότητας ενός ταλαντωτή. Μπορούμε,

π.χ., να συντονίσομε το κύκλωμα εξόδου μιας ενισχύτριας βαθμίδας, που ακολουθεί τον ταλαντωτή, στη δεύτερη αρμονική του. Μια τέτοια βαθμίδα ονομάζεται ***πολλαπλασιάστρια συχνότητας*** (εδώ διπλασιάστρια).

Ο πολλαπλασιασμός συχνότητας εφαρμόζεται στους πομπούς βραχέων κυμάτων. Συνήθως, ο ταλαντωτής εργάζεται σε χαμηλή συχνότητα της περιοχής των μακρών ή μεσαίων κυμάτων και οι επόμενες βαθμίδες πραγματοποιούν διαδοχικούς πολλαπλασιασμούς αυτής της συχνότητας. Οι πολλαπλασιάστριες ενισχυτικές βαθμίδες εργάζονται σε τάξη Γ και πολλές φορές στην ξένη βιβλιογραφία συναντώνται ως ταλαντωτές με εξωτερική διέγερση.

4.7 Σταθεροποίηση λειτουργίας ταλαντωτών.

Για την εξασφάλιση σταθερής ραδιοσυνδέσεως, μεγάλη σημασία έχει η καλή λειτουργία των ταλαντωτών των διατάξεων εκπομπής και λήψεως. Οι ταλαντωτές είναι αποδεκτοί όταν παράγουν ταλαντώσεις με σταθερό πλάτος και σταθερή συχνότητα. Η αστάθεια του πλάτους των ταλαντώσεων που παράγει ο ταλαντωτής, π.χ. του πομπού, προκαλεί αυξομείωση του σήματος στην είσοδο του δέκτη, ενώ η αστάθεια της παραγόμενης συχνότητας μπορεί να οδηγήσει σε διακοπή της ραδιοσυνδέσεως. Ανάλογα φαινόμενα παρατηρούνται και με ασταθή λειτουργία του τοπικού ταλαντωτή ενός δέκτη.

Ας δούμε τα αίτια ασταθούς λειτουργίας των ταλαντωτών και τα μέτρα που λαμβάνονται για τη σταθεροποίησή της.

α) Σταθεροποίηση πλάτους.

Ο περιορισμός του πλάτους των ταλαντώσεων οφείλεται σε δύο κυρίως αιτίες: στη λειτουργία του εκπομπού του τρανζίστορ σε συνθήκες αποκοπής του ρεύματος πολώσεως I_E και στη λειτουργία του συλλέκτη σε συνθήκες κόρου της συνεχούς τάσεως τροφοδοτήσεως του V_c. Η σταθεροποίηση των τροφοδοτικών τάσεων του τρανζίστορ εξασφαλίζει, στην πλειονότητα των περιπτώσεων, αρκετά καλή σταθερότητα του πλάτους των ταλαντώσεων. Κάποια αστάθεια στο πλάτος των ταλαντώσεων προκαλούν και οι μεταβολές του φορτίου του ταλαντωτή. Οι μεταβολές του φορτίου επιδρούν και στην παραγόμενη συχνότητα, πράγμα που θα δούμε στη συνέχεια.

β) Σταθεροποίηση συχνότητας.

Τα αίτια, που προκαλούν μεταβολή της συχνότητας ενός ταλαντωτή, οφείλονται τόσο στα εξαρτήματα του ταλαντωτή και στις συνθήκες λειτουργίας τους, όσο και στη μεταβολή των παραμέτρων του ίδιου του τρανζίστορ, εξαιτίας κυρίως της θερμοκρασίας. Τα αίτια αυτά είναι τα ακόλουθα.

1) Οι μηχανικές δονήσεις των υλικών του ταλαντωτή και κυρίως των μεταβλητών πυκνωτών. Τέτοιες δονήσεις μπορούν να γίνουν σε πομποδέκτες αεροπλάνων, πλοίων και γενικά κινουμένων οχημάτων. Στις περιπτώσεις

αυτές οι πομποδέκτες στηρίζονται σε ελαστικά αποσβέσεως των δονήσεων.

2) Η μεταβολή της θερμοκρασίας των εξαρτημάτων του ταλαντωτή. Η μεταβολή της θερμοκρασίας προκαλεί αντίστοιχη μεταβολή των γεωμετρικών διαστάσεων και, επομένως, των ηλεκτρικών χαρακτηριστικών των εξαρτημάτων, με αποτέλεσμα τη μεταβολή της συχνότητας.
Για τη σταθεροποίηση της συχνότητας στην περίπτωση αυτή, χρησιμοποιούνται εξαρτήματα που κατασκευάζονται από ειδικά κράματα υλικών, τα οποία δεν υπόκεινται σε θερμική διαστολή ή συστολή. Ακόμη, συνδέονται στο κύκλωμα ταλαντώσεων πυκνωτές αντισταθμίσεως, των οποίων η χωρητικότητα ελαττώνεται με την αύξηση της θερμοκρασίας και αντίστροφα (στους κοινούς πυκνωτές συμβαίνει το αντίθετο). Σε ειδικές περιπτώσεις το κύκλωμα ταλαντώσεων ή ολόκληρος ο ταλαντωτής τοποθετείται σε θερμοστάτη.

3) Η μεταβολή της πιέσεως και της υγρασίας του αέρα. Για την απομάκρυνση αυτής της επιδράσεως κατασκευάζονται στεγανά κιβώτια ταλαντωτών, μέσα στα οποία τοποθετούνται, ακόμη, και υλικά απορροφήσεως της υγρασίας.

4) Η επίδραση των βαθμίδων που ακολουθούν τον ταλαντωτή, είναι μια σοβαρή αιτία μεταβολής της συχνότητάς του.
Ο ταλαντωτής και η βαθμίδα που τον ακολουθεί συγκροτούν δύο κυκλώματα σε σύζευξη. Το δευτερεύον κύκλωμα (η ενισχυτική βαθμίδα) εισάγει στο πρωτεύον (στον ταλαντωτή) τη σύνθετη αντίσταση συζεύξεως που τροποποιεί τα στοιχεία L και C του κυκλώματος ταλαντώσεων. Αυτό προκαλεί μεταβολή τόσο της παραγόμενης συχνότητας, όσο και του πλάτους των ταλαντώσεων, λόγω της μεταβολής του φορτίου του ταλαντωτή.
Η ελάττωση της επιδράσεως αυτής γίνεται με χαλαρή σύζευξη μεταξύ του κυκλώματος ταλαντώσεων και του κυκλώματος εισόδου της επόμενης βαθμίδας.

5) Η μεταβολή των παραμέτρων του τρανζίστορ λόγω μεταβολής της πολώσεώς του και της θερμοκρασίας. Όλες οι παράμετροι του τρανζίστορ επηρεάζουν την παραγόμενη συχνότητα, όμως βασικότερες είναι οι επόμενες.
   α) Η χωρητικότητα εξόδου C_o που συνδέεται παράλληλα στη χωρητικότητα του κυκλώματος ταλαντώσεων C. Η χωρητικότητα C πρέπει να είναι σημαντικά μεγαλύτερη από τη χωρητικότητα C_o, ώστε η παραγόμενη συχνότητα να μην εξαρτάται από την C_o.
   β) Η αντίσταση εισόδου του τρανζίστορ R_g που συνδέεται σε σειρά με την αντίσταση του κυκλώματος αναδράσεως $R_{αν}$. Για την εξασφάλιση σταθερότητας στην παραγόμενη συχνότητα, θα πρέπει η $R_{αν}$ να είναι αρκετά μεγάλη (συνηθισμένη τιμή $R_{αν} \geqslant 100\ \Omega$).

γ) Η οριακή συχνότητα του τρανζίστορ f_s, που πρέπει να είναι πολύ υψηλή σε σύγκριση με τη συχνότητα των παραγομένων ταλαντώσεων.

Τέλος, πρέπει να σημειώσομε ότι κάποια στοιχεία του κυκλώματος αναδράσεως επηρεάζουν την παραγόμενη συχνότητα, όπως π.χ., το φανταστικό μέρος της αντιστάσεως του κυκλώματος αναδράσεως. Το φανταστικό μέρος της αντιστάσεως αυτής πρέπει να ισούται με μηδέν. Για τα κυκλώματα των σχημάτων 4.5 και 4.6, η τελευταία συνθήκη ικανοποιείται, αν η χωρητικότητα αναδράσεως $C_{αν}$ βρίσκεται σε συντονισμό με την αυτεπαγωγή σκεδάσεως του πηνίου L_b.

4.8 Ταλαντωτές με κρύσταλλο.

Η σταθεροποίηση της συχνότητας ενός ταλαντωτή γίνεται μόνο με τη χρησιμοποίηση μερικών κρυστάλλων, όπως είναι ο χαλαζίας και η τουρμαλίνη, που έχουν ιδιότητες κυκλώματος ταλαντώσεων με πολύ μεγάλο συντελεστή ποιότητας Q.

Όταν στο πλακίδιο ενός κρυστάλλου εφαρμόσομε πιέσεις, εμφανίζεται στα άκρα του διαφορά δυναμικού. Η εμφάνιση τέτοιας τάσεως ονομάζεται ***πιεζοηλεκτρικό φαινόμενο.***

Για τους κρυστάλλους του είδους αυτού ισχύει και το αντίθετο φαινόμενο, δηλαδή, αν στα άκρα τους εφαρμόσομε εναλλασσόμενη τάση, τότε εκτελούν μηχανικές δονήσεις. Το φαινόμενο ονομάζεται ***ηλεκτροσυστολή.***

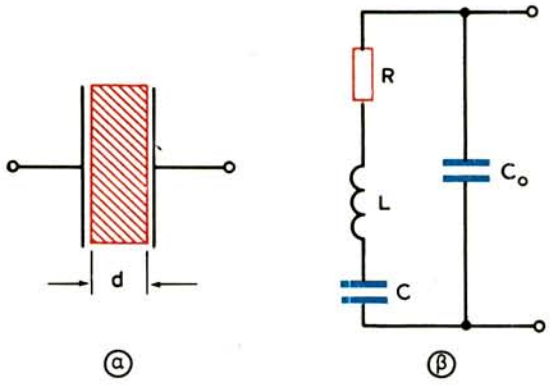
Οι μηχανικές δονήσεις του κρυστάλλου γίνονται με απόλυτα καθορισμένη συχνότητα, που εξαρτάται από το πάχος του πλακιδίου και υπολογίζεται από τη σχέση:

$$f_o = \frac{2,84}{d} \text{ (σε MHz)}$$

όπου d το πάχος του πλακιδίου σε mm.

Το πλακίδιο του κρυστάλλου ταλαντώνεται πάντοτε στην ιδιοσυχνότητά του f_o, ανεξάρτητα από τη συχνότητα της εναλλασσόμενης τάσεως, που εφαρμόζεται στα άκρα του. Το πλάτος των μηχανικών ταλαντώσεων του κρυστάλλου παίρνει τη μέγιστη τιμή του, όταν η συχνότητα της εφαρμοζόμενης τάσεως εξισώνεται με την ιδιοσυχνότητα του πλακιδίου του. Αυτό σημαίνει ότι η συχνότητα της εφαρμοζόμενης τάσεως επιδρά μόνο στο πλάτος των μηχανικών ταλαντώσεων και ποτέ στη συχνότητά τους.

Στην πράξη, το πλακίδιο του κρυστάλλου τοποθετείται μεταξύ δύο μεταλλικών οπλισμών, που αποτελούν και τους ακροδέκτες του [σχ. 4.10(α)]. Το όλο σύστημα πλακιδίου και οπλισμών στηρίξεως είναι ισοδύναμο του ηλεκτρικού κυκλώματος του σχήματος 4.10(β). Τα ισοδύναμα στοιχεία L και C σε σειρά ορίζουν τη συχνότητα δονήσεως του πλακιδίου και η ωμική αντίσταση R, την ενέργεια που καταναλώνεται για τη συντήρηση των δονήσεών του. Η χωρητικό-



Σχ. 4.10.
Ο κρύσταλλος (α) και το ισοδύναμό του κύκλωμα (β).

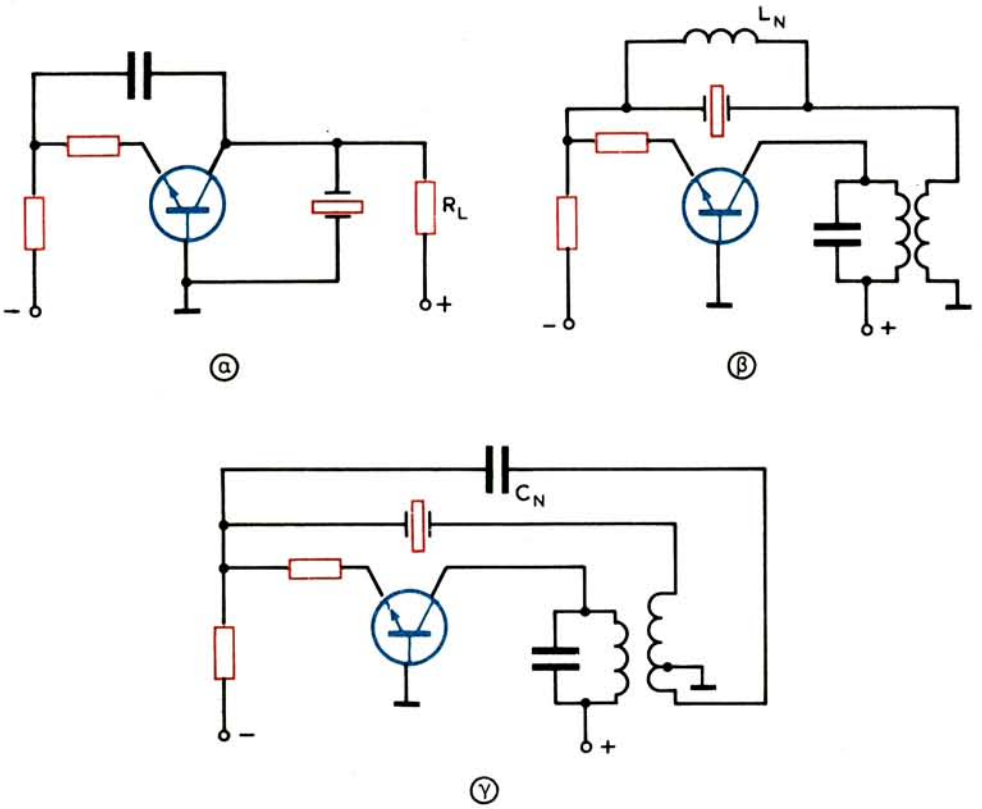
τητα C_o σχηματίζεται από τους οπλισμούς στηρίξεως του πλακιδίου, με μονωτικό το ίδιο το πλακίδιο, και ονομάζεται συνήθως ***στατική χωρητικότητα*** του κρυστάλλου.

Τυπικά κυκλώματα ταλαντωτών με κρύσταλλο φαίνονται στο σχήμα 4.11. Στο σχήμα [4.11(α)] ο κρύσταλλος εργάζεται σαν κύκλωμα παράλληλου συντονισμού και αντικαθιστά το κύκλωμα ταλαντώσεων LC. Στο σχήμα [4.11(β)] ο κρύσταλλος εργάζεται σαν κύκλωμα συντονισμού σειράς και αντικαθιστά τη φανταστική αντίσταση $X_{αν}$ του κυκλώματος αναδράσεως.

Όταν ο κρύσταλλος συνδέεται στο κύκλωμα αναδράσεως [σχ. 4.11(β)] πρέπει να αποτραπεί η δημιουργία ταλαντώσεων, που θα καθορίζονται από στοιχεία αναδράσεως εκτός του κρυστάλλου. Π.χ., σε υψηλές συχνότητες, οι παρασιτικές ενδοχωρητικότητες του τρανζίστορ μπορούν μόνες τους να δημιουργούν αρκετή ανάδραση για την εμφάνιση ταλαντώσεων. Με σκοπό την αντιστάθμιση της αναδράσεως, που δημιουργεί η παρασιτική χωρητικότητα εκπομπού-συλλέκτη και, κυρίως, η παρασιτική στατική χωρητικότητα του κρυστάλλου, μπορεί να χρησιμοποιηθεί αυτεπαγωγή εξουδετερώσεως L_N που συνδέεται παράλληλα στον κρύσταλλο [σχ. 4.11(β)] ή το κύκλωμα εξουδετερώσεως, που εικονίζεται στο σχήμα 4.11(γ).

Ο ταλαντωτής με κρύσταλλο πρέπει να έχει φορτίο κατάλληλο για τη λειτουργία του τρανζίστορ σε τάξη Α. Αυτό ελαττώνει τη δυνατότητα δημιουργίας ταλαντώσεων λόγω της επιδράσεως παρασιτικών στοιχείων αναδράσεως.

Θυμίζομε ότι το τρανζίστορ πρέπει να εκλεγεί έτσι, ώστε να έχει οριακή συχνότητα f_s σημαντικά μεγαλύτερη από τη συχνότητα f των παραγομένων ταλαντώσεων. Συνήθως εκλέγεται $f \leqslant 0{,}5\ f_s$.



Σχ. 4.11.
Κυκλώματα ταλαντωτών με κρύσταλλο.

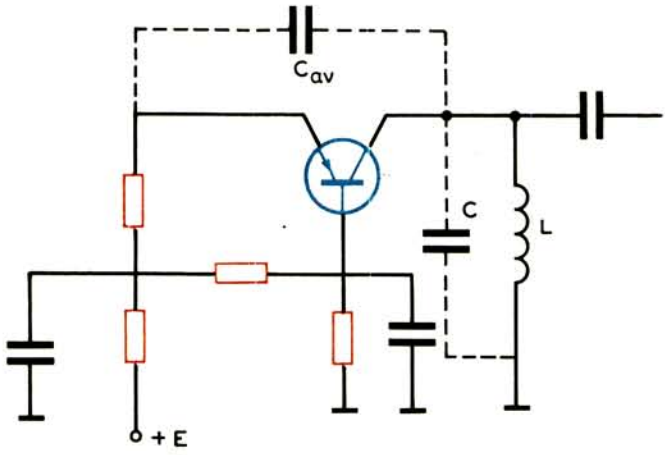
4.9 Ταλαντωτές υπερυψηλών συχνοτήτων.

Στην περιοχή των υπερυψηλών συχνοτήτων (άνω των 30 MHz) χρησιμοποιούνται ταλαντωτές που διαφέρουν ουσιαστικά από τους προηγούμενους.

Στην κατώτερη περιοχή των συχνοτήτων αυτών (μέχρι τα 300 MHz) συναντώνται ταλαντωτές που χρησιμοποιούν τα γνωστά κυκλώματα ταλαντώσεων LC, όπως αυτό που φαίνεται στο σχήμα 4.12.

Για την εξασφάλιση σταθερής συχνότητας στην υψηλή αυτή περιοχή, το τρανζίστορ είναι συνδεσμολογημένο με κοινή βάση. Οι τάσεις πολώσεως του εκπομπού και της βάσεως δίνονται μέσα από διαιρέτες με αποζευκτικούς πυκνωτές για να διατηρούνται σταθερές.

Το πηνίο ταλαντώσεων L συντονίζει με την ενδοχωρητικότητα συλλέκτη-βάσεως, η οποία μαζί με τη χωρητικότητα καλωδιώσεων συγκροτεί τη χωρητικότητα C. Η ανάδραση πραγματοποιείται μέσα από την ενδοχωρητικότητα συλ-



Σχ. 4.12.
Ταλαντωτής υπερυψηλών συχνοτήτων.

λέκτη-εκπομπού και αν δεν επαρκεί, συνδέεται και η εξωτερική χωρητικότητα $C_{αν}$.

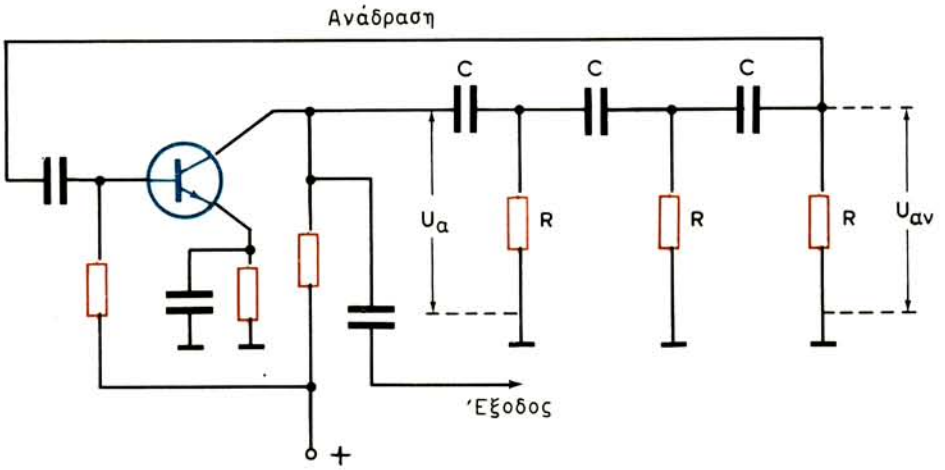
Για συχνότητες μεγαλύτερες από τα 300 MHz, αντί για κυκλώματα ταλαντώσεων LC χρησιμοποιούνται συντονισμένες γραμμές που έχουν ιδιότητες συντονισμένων κυκλωμάτων LC. Για συχνότητες ακόμη μεγαλύτερες, π.χ. μεγαλύτερες από τα 3000 MHz, χρησιμοποιούνται οι ειδικές ταλαντώτριες λυχνίες ***κλύστρον και μάγνετρον.*** Η εξέταση των τελευταίων αυτών ταλαντωτών ξεφεύγει από το σκοπό αυτού του βιβλίου.

4.10 Ταλαντωτές RC.

Οι ταλαντωτές LC είναι κατάλληλοι για την παραγωγή ταλαντώσεων της περιοχής των ραδιοσυχνοτήτων. Στις ακουστικές συχνότητες ένας ταλαντωτής LC είναι πρακτικά δύσκολο να πραγματοποιηθεί εξαιτίας της μεγάλης απαιτούμενης αυτεπαγωγής. Στην περίπτωση αυτή χρησιμοποιούνται οι λεγόμενοι ***ταλαντωτές RC,*** δηλαδή ταλαντωτές που κατασκευάζονται αποκλειστικά με αντιστάσεις και πυκνωτές.

Ένα κύκλωμα ταλαντωτή RC φαίνεται στο σχήμα 4.13. Πρόκειται για έναν ενισχυτή ακουστικών συχνοτήτων που αυτοδιεγείρεται με εφαρμογή θετικής αναδράσεως μέσα από το δικτύωμα των τριών ζευγαριών RC (κύκλωμα αναδράσεως).

Γνωρίζομε ότι το τρανζίστορ, συνδεσμολογημένο με κοινόν εκπομπό, δημιουργεί διαφορά φάσεως 180° μεταξύ των τάσεων εισόδου και εξόδου του. Η τάση εξόδου του τρανζίστορ $U_α$ εφαρμόζεται στην είσοδο του κυκλώματος αναδράσεως και η φάση της μετατοπίζεται άλλες 180° λόγω της δράσεως των



Σχ. 4.13.
Κύκλωμα ταλαντωτή RC.

αντιστάσεων R και των πυκνωτών C. Επομένως είναι:

$$\varphi_{\alpha} + \varphi_{\beta} = 180° + 180° = 360°$$

οπότε ικανοποιείται η συνθήκη ισοσταθμίσεως φάσεων (σχέση 4.12).

Επειδή το δικτύωμα RC μετατοπίζει τη φάση της τάσεως αναδράσεως $U_{αν}$, οι ταλαντωτές RC ονομάζονται και ***ταλαντωτές μετατοπίσεως φάσεως.***

Το κύκλωμα αναδράσεως RC μετατοπίζει τη φάση κατά 180° για μία μόνο συχνότητα που είναι και η συχνότητα των παραγομένων ταλαντώσεων. Για κάθε άλλη συχνότητα η μετατόπιση φάσεως δεν είναι 180° και επομένως δεν έχομε ταλαντώσεις, αφού δεν ικανοποιείται η συνθήκη (4.12). Αυτό σημαίνει ότι η παραγόμενη συχνότητα είναι μόνο μία και αναγκαστικά ημιτονική.

Το σύστημα δεν ταλαντώνεται επίσης αν τα ζευγάρια RC είναι λιγότερα από τρία. Γνωρίζομε ότι ένας πυκνωτής και μία αντίσταση σε σειρά δημιουργούν διαφορά φάσεως μικρότερη από 90° και επομένως με δυο ζευγάρια RC δεν μπορούμε να φθάσομε τις 180°. Στην περίπτωση του κυκλώματος του σχήματος 4.13 κάθε ζευγάρι RC δημιουργεί διαφορά φάσεως 60° (ίσες αντιστάσεις και ίσοι πυκνωτές).

Ας δούμε τώρα πώς ικανοποιείται η συνθήκη ισοσταθμίσεως των πλατών (σχέση 4.11).

Εφαρμόζοντας τους κανόνες του Κίρκοφ για το κύκλωμα αναδράσεως του σχήματος 4.13, μπορούμε να βρούμε:

$$\frac{U_{\alpha}}{U_{\alpha\nu}} = \frac{1}{R^3}(R^3 + 5RX^2 + 6R^2X + X^3) = 1 + 5\left(\frac{X}{R}\right)^2 + 6\frac{X}{R} + \left(\frac{X}{R}\right)^3$$

ή $$\frac{U_\alpha}{U_{\alpha v}} = 1 + 5\alpha^2 + 6\alpha + \alpha^3 \qquad (4.14)$$

όπου: $$\alpha = -j\frac{X}{R} = -j\frac{1}{\omega CR} \qquad (4.15)$$

Το φανταστικό μέρος της σχέσεως (4.14) είναι $6\alpha+\alpha^3$, οπότε έχομε:

$$\alpha(6 + \alpha^2) = 0, \qquad \alpha^2 = -6 \qquad \text{ή} \qquad \alpha = -j\sqrt{6}$$

από όπου προκύπτει: $$\frac{X}{R} = -j\sqrt{6} = -j\frac{1}{\omega RC}$$

και: $$f = \frac{1}{2\pi\sqrt{6}\,RC} \qquad (4.16)$$

Εξάλλου, το πραγματικό μέρος της σχέσεως (4.14) είναι: $\frac{U_\alpha}{U_{\alpha v}} = 1 + 5\alpha^2$

και επειδή $\alpha^2 = -6$, έχομε:

$$\frac{U_\alpha}{U_{\alpha v}} = 1 + 5(-6) = 1 - 30 = -29 \qquad (4.17)$$

Επομένως είναι: $$\beta = \frac{U_{\alpha v}}{U_\alpha} = -\frac{1}{29} = \frac{1}{29}\underline{\lfloor \varphi_\beta = 180^\circ}$$

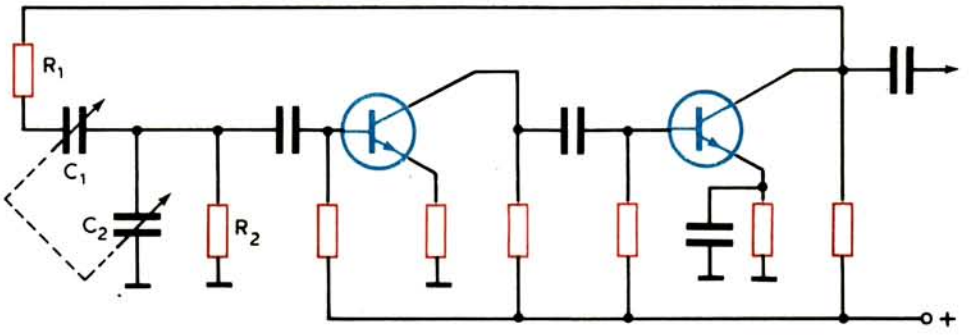
επειδή το σημείο (–) σημαίνει ότι το κύκλωμα αναδράσεως δημιουργεί διαφορά φάσεως 180° μεταξύ των τάσεων U_α και $U_{\alpha v}$.

Σύμφωνα με τη σχέση (4.11) έχομε: $$A \cdot \beta = A \cdot \left(-\frac{1}{29}\right) = 1$$

και $$A = -29 = 29\underline{\lfloor \varphi_A = 180^\circ}$$

ράγμα που σημαίνει ότι, για την ικανοποίηση της συνθήκης ισοσταθμίσεως των πλατών και επομένως την αυτοταλάντωση της βαθμίδας, πρέπει ο συντελεστής ενισχύσεως του τρανζίστορ να είναι A>29.

Σημειώνομε ότι η αλλαγή της συχνότητας των παραγομένων ταλαντώσεων γίνεται με τη μεταβολή όλων των πυκνωτών ή όλων των αντιστάσεων ταυτόχρονα.



Σχ. 4.14.

Ταλαντωτής RC με κύκλωμα αναδράσεως μηδενικής φασικής μετατοπίσεως.

Ένα άλλο κύκλωμα ταλαντωτή RC, που χρησιμοποιείται πολύ στην πράξη, φαίνεται στο σχήμα 4.14. Εδώ το κύκλωμα αναδράσεως δεν προκαλεί φασική μετατόπιση επειδή οι δύο ενισχυτικές βαθμίδες μαζί δημιουργούν διαφορά φάσεως 360° (ή 0°). Έτσι, η τάση εισόδου της πρώτης βαθμίδας είναι συμφασική με την τάση εξόδου της δεύτερης, από την οποία αντλείται και η τάση αναδράσεως.

Η μηδενική μετατόπιση φάσεως από το κύκλωμα αναδράσεως γίνεται μόνο στη συχνότητα των ταλαντώσεων. Στη συχνότητα αυτή τα σε σειρά στοιχεία R_1C_1 και τα παράλληλα R_2C_2 δημιουργούν ίσες και αντίθετες φασικές μετατοπίσεις που αλληλοεξουδετερώνονται. Για κάθε άλλη συχνότητα, οι φασικές μετατοπίσεις δεν είναι ίσες και δεν ικανοποιείται η συνθήκη θετικής αναδράσεως.

Για το κύκλωμα αναδράσεως του ταλαντωτή του σχήματος 4.14, έχομε:

$$\beta = \frac{U_{\alpha v}}{U_\alpha} = \frac{R_2}{R_2 + (1 + j\omega R_2 C_2)\left(R_1 + \dfrac{1}{j\omega C_1}\right)}$$

Η συνθήκη αυτοταλαντώσεως ικανοποιείται για τη συχνότητα:

$$f = \frac{1}{2\pi\sqrt{R_1 C_1 R_2 C_2}}$$

με συντελεστή ενισχύσεως των δύο βαθμίδων μαζί: $A = 1 + \dfrac{R_1}{R_2} + \dfrac{C_2}{C_1}$

Στην πράξη συνήθως είναι: $R_1 = R_2 = R$ και $C_1 = C_2 = C$

οπότε έχομε: $$f = \frac{1}{2\pi RC} \quad (4.18)$$

και $$A = 3 \quad (4.19)$$

Σημειώνομε ότι η μέγιστη συχνότητα ταλαντώσεων των ταλαντωτών RC είναι σημαντικά μικρότερη από την f_{max} των ταλαντωτών LC, αλλά αρκετά μεγάλη για την κάλυψη της περιοχής των ακουστικών συχνοτήτων, στην οποία χρησιμοποιούνται αυτοί οι ταλαντωτές. Με πυκνωτές π.χ. των 20 pF και αντιστάσεις των 100 kΩ, ο ταλαντωτής του σχήματος 4.13 παράγει ταλαντώσεις με συχνότητα 32,5 kHz περίπου (σχέση 4.16) και ο ταλαντωτής του σχήματος 4.14, με συχνότητα 80 kHz περίπου (σχέση 4.18).

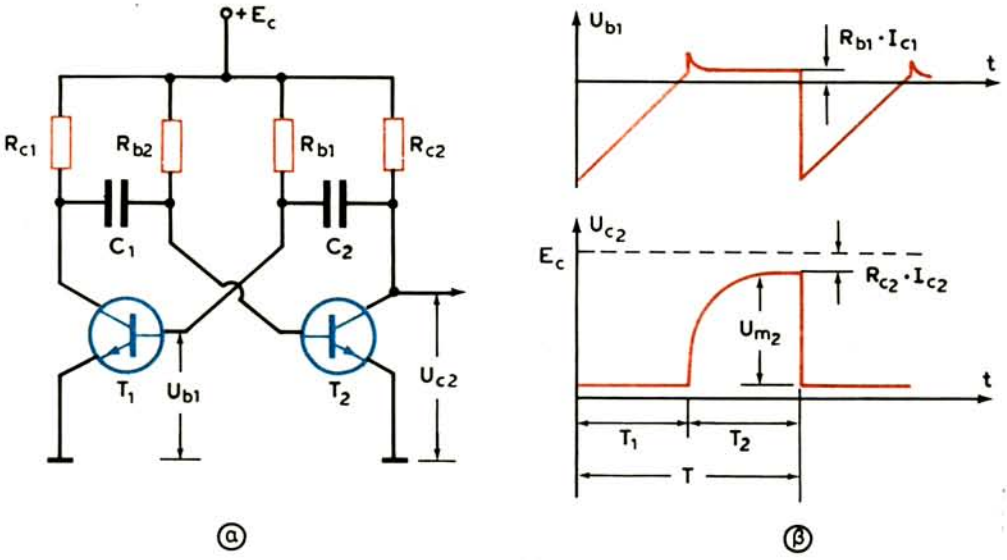
4.11 Ο πολυδονητής.

Για την παραγωγή ταλαντώσεων ορθογώνιας μορφής χρησιμοποιούνται οι λεγόμενοι ***πολυδονητές.*** Στην ουσία, πρόκειται για απεριοδικούς ενισχυτές δύο βαθμίδων, των οποίων οι έξοδοι συνδέονται με τις εισόδους (η έξοδος κάθε μιας συνδέεται με την είσοδο της άλλης). Η σύνδεση αυτή προκαλεί «ανατροπή» στη λειτουργία των βαθμίδων έτσι, ώστε να εργάζονται αλληλοδιαδόχως.

Ανάλογα με τον τύπο των βαθμίδων και τις τιμές των εξαρτημάτων τους, οι πολυδονητές διακρίνονται σε συμμετρικούς και ασύμμετρους. Οι συμμετρικοί πολυδονητές αποτελούνται από δύο ίδιες βαθμίδες, που έχουν τρανζίστορ συνδεσμολογημένα συνήθως με κοινό εκπομπό και οι ασύμμετροι, από βαθμίδα με κοινή βάση και βαθμίδα με κοινό συλλέκτη.

Ένας πολυδονητής με χωρητική σύζευξη μεταξύ συλλεκτών και βάσεων των αντιστοίχων τρανζίστορ φαίνεται στο σχήμα 4.15. Τα τρανζίστορ είναι ανοικτά (αγώγιμα) εναλλάξ και οι ανατρεπτικές μεταβατικές διεργασίες διεξάγονται αρκετά γρήγορα λόγω της υπάρξεως των πυκνωτών της διασταυρωμένης συζεύξεως. Ας δούμε σύντομα πώς γίνεται η ανατροπή της καταστάσεως λειτουργίας των δύο τρανζίστορ του πολυδονητή του σχήματος 4.15.

Επειδή το κύκλωμα δεν μπορεί ποτέ να είναι απόλυτα συμμετρικό, δεν υπάρχει περίπτωση ισότητας των αντιστοίχων ρευμάτων και τάσεων στα ηλεκτρόδια των δύο τρανζίστορ. Με βάση αυτό το γεγονός, υποθέτομε ότι κάποια χρονική στιγμή το ρεύμα συλλέκτη του τρανζίστορ T_1 ελαττώνεται. Στην περίπτωση αυτή, το δυναμικό του συλλέκτη του T_1 μεγαλώνει και ένας θετικός παλμός, μέσα από τον πυκνωτή C_1, περνάει στη βάση του τρανζίστορ T_2. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα, το ρεύμα του τρανζίστορ T_2 να μεγαλώνει και η τάση του συλλέκτη του να ελαττώνεται. Μέσα από τον πυκνωτή C_2 ένας αρνητικός παλμός εφαρμόζεται στη βάση του τρανζίστορ T_1 για να ελαττωθεί ακόμα πιο πολύ το ρεύμα συλλέκτη, επομένως, να αυξηθεί η τάση του και να δώσει θετικό παλμό στη βάση του τρανζίστορ T_2.



Σχ. 4.15.

Πολυδονητής με χωρητική σύζευξη συλλεκτών και βάσεων (α) και κυματομορφές τάσεων (β).

Η διεργασία μεταβολής των τάσεων και των ρευμάτων των τρανζίστορ γίνεται ταχύτατα και σε πολύ μικρό χρονικό διάστημα (σε κλάσμα του μικροδευτερολέπτου) το τρανζίστορ T_1 βρίσκεται σε αποκοπή, ενώ το τρανζίστορ T_2, σε πλήρη αγωγιμότητα.

Στη συνέχεια, ο πυκνωτής C_2 εκφορτίζεται μέσα από την αντίσταση R_{b1} και το αρνητικό δυναμικό της βάσεως του τρανζίστορ T_1 ελαττώνεται. Το τρανζίστορ T_1 αποκτά αγωγιμότητα, η τάση στο συλλέκτη του ελαττώνεται και αρνητικός, τώρα, παλμός εφαρμόζεται στη βάση του τρανζίστορ T_2. Το ρεύμα συλλέκτη του τρανζίστορ T_2 ελαττώνεται, η τάση του μεγαλώνει και θετικός παλμός εφαρμόζεται στο τρανζίστορ T_1. Έτσι, το τρανζίστορ T_1 γίνεται όλο και περισσότερο αγώγιμο, ενώ το τρανζίστορ T_2 οδηγείται στην αποκοπή.

Τώρα, αρχίζει η διεργασία εκφορτίσεως του πυκνωτή C_1, μέσα από την αντίσταση R_{b2}, η οποία θα προκαλέσει νέα ανατροπή της καταστάσεως των τρανζίστορ κ.ο.κ.

Οι κυματομορφές των τάσεων εισόδου του τρανζίστορ T_1 (U_{b1}) και εξόδου του τρανζίστορ T_2 (U_{c2}) φαίνονται στο σχήμα 4.15.

Για συμμετρικό πολυδονητή έχομε:

$$R_{c1}=R_{c2}=R_c$$

$$R_{b1}=R_{b2}=R_b$$

$$C_1=C_2=C$$

και η περίοδος των ταλαντώσεων T [σχ. 4.15(δ)] δίνεται από τη σχέση:

$$T = T_1 + T_2 = 2R_bC\, ln \frac{2E_c + R_bI_c}{E_c + R_bI_c}$$

όπου $T_1=T_2$.

Η περίοδος των ταλαντώσεων του πολυδονητή εξαρτάται από τη θερμοκρασία τόσο λιγότερο όσο μικρότερη είναι η αντίσταση R_b και όσο μεγαλύτερη η ανισότητα: $E_c>>R_b I_c$

Με ικανοποίηση της ανισότητας αυτής, έχομε: $T=2R_bC \cdot ln2$

Η συχνότητα των ταλαντώσεων $f=1/T$ ρυθμίζεται με τη μεταβολή μιας από τις αντιστάσεις R_b.

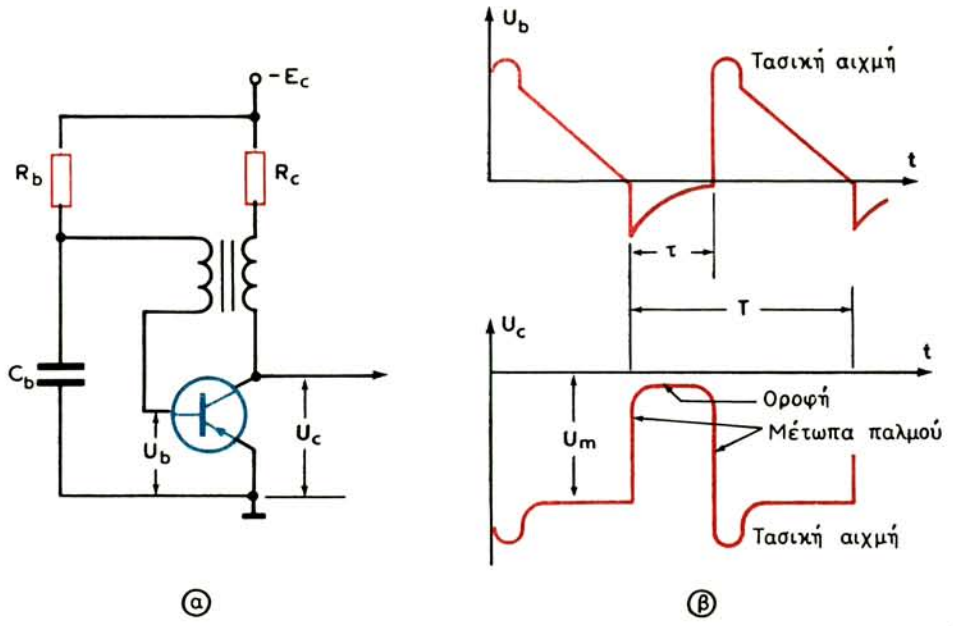
4.12 Ο δονητής φραγμού.

Ο δονητής φραγμού είναι αυτοδιεγειρόμενος ταλαντωτής με πολύ ισχυρή θετική ανάδραση μέσα από μετασχηματιστή. Με το δονητή φραγμού μπορούμε να πάρομε παλμούς που έχουν μορφή περίπου ορθογώνια και πλάτος σχεδόν ίσο με την τάση τροφοδοτήσεως του συλλέκτη E_c. Αν υπάρχει και τρίτη ανυψωτική περιέλιξη στο μετασχηματιστή, μπορούμε να πάρομε παλμούς με πλάτος μεγαλύτερο από την E_c.

Η συνθήκη αυτοταλαντώσεως του δονητή φραγμού με μετασχηματιστή δεν εξαρτάται μόνο από τις παραμέτρους του τρανζίστορ και την αντίσταση φορτίου, αλλά και από το λόγο μετασχηματισμού του μετασχηματιστή. Μπορούν να κατασκευασθούν δονητές φραγμού, στους οποίους το τρανζίστορ συνδέεται όχι μόνο με κοινό εκπομπό, αλλά και με κοινή βάση και κοινό συλλέκτη. Ανάλογα με τη σύνδεση του τρανζίστορ και τη θέση του χρονοκυκλώματος RC, υπάρχουν μερικές παραλλαγές δονητών φραγμού που έχουν ποιοτικές και ποσοτικές διαφορές μεταξύ τους.

Ένας δονητής φραγμού με τρανζίστορ κοινού εκπομπού φαίνεται στο σχήμα 4.16(α). Η θετική ανάδραση πραγματοποιείται μεταξύ συλλέκτη και βάσεως και το χρονοκύκλωμα RC συνδέεται στη βάση. Για τη σταθεροποίηση της συχνότητας των παραγομένων ταλαντώσεων, η αντίσταση R_b στα τρανζίστορ PNP πρέπει να συνδέεται μεταξύ της βάσεως και του αρνητικού πόλου της τροφοδοτικής πηγής του συλλέκτη. Αυτός ο ταλαντωτής λέγεται δονητής φραγμού με αρνητική πόλωση.

Η αντίσταση R_c συνδέεται, για να περιορισθεί η μέγιστη τιμή του ρεύματος συλλέκτη κατά την παραγωγή παλμών με σχετικά μεγάλη διάρκεια (μικρό λόγο T/τ), επίσης για να ελαττωθεί η εξάρτηση των χρονικών χαρακτηριστικών των παλμών από την τροφοδοτική τάση E_c και από τις παραμέτρους του τρανζίστορ και για να ελαττωθεί το ρεύμα μαγνητίσεως του μετασχηματιστή, που δημιουργεί τασικές αιχμές στη βάση του συλλέκτη του τρανζίστορ [σχ. 4.16(δ)]. Η



Σχ. 4.16.
Ο δονητής φραγμού (α) και οι κυματομορφές του (β).

περιοριστική αντίσταση R_c του ρεύματος συλλέκτη μπορεί να μη συνδεθεί όταν είναι μικρή η διάρκεια παλμού (μεγάλος λόγος T/τ), οπότε η ισχύς που καταναλώνει το τρανζίστορ είναι μικρή.

Ας δούμε πώς λειτουργεί ο δονητής φραγμού [σχ. 4.16(α)].

Υποθέτομε ότι το τρανζίστορ είναι ανοικτό (άγει). Λόγω της ισχυρής θετικής αναδράσεως, η τάση στη βάση έχει αρνητική πολικότητα και επομένως το ρεύμα της βάσεως μεγαλώνει απότομα, δημιουργώντας στο τρανζίστορ κατάσταση κόρου. Η διεργασία τότε, που συνδέεται με τη μορφοποίηση του μετώπου του παλμού, διακόπτεται και αρχίζει η σταδιακή μορφοποίηση της οροφής του τασικού παλμού στο συλλέκτη του τρανζίστορ.

Ο πυκνωτής C_b, μέσα από τη μικρή αντίσταση εισόδου του κορεσμένου τρανζίστορ, φορτίζεται πολύ γρήγορα έως την τάση που ενεργεί στην περιέλιξη της βάσεως του μετασχηματιστή. Το ρεύμα βάσεως ελαττώνεται τότε σχεδόν έως το μηδέν και το κύκλωμα βάσεως πρακτικά διακόπτεται.

Κατά την ελάττωση του ρεύματος της βάσεως, ελαττώνεται και το ρεύμα του συλλέκτη. Στη συνέχεια το ρεύμα συλλέκτη μεγαλώνει εκθετικά με σταθερά χρόνου, που καθορίζεται από την αυτεπαγωγή του μετασχηματιστή και την αντίσταση του συλλέκτη. Με την αύξηση του ρεύματος συλλέκτη, η φόρτιση του πυκνωτή C_b διακόπτεται και το τρανζίστορ βρίσκεται σε αγώγιμη κατάσταση. Όταν το τρανζίστορ φθάσει στην κατάσταση κόρου, η μορφοποίηση της

οροφής του παλμού τελειώνει. Στη συνέχεια, το ρεύμα συλλέκτη ελαττώνεται, προκαλώντας αύξηση της τάσεως στο συλλέκτη και της τάσεως στη βάση. Αρχίζει, τότε, η διεργασία αποκοπής του τρανζίστορ και η συνδεόμενη με αυτήν μορφοποίηση της πτώσεως του παλμού.

Στο σχήμα 4.16(δ) φαίνονται οι κυματομορφές των τάσεων εισόδου και εξόδου του δονητή φραγμού. Η περίοδος των ταλαντώσεων υπολογίζεται από τη σχέση:

$$T = R_b C_b \cdot In \left(1 + \frac{V_c}{R_b I_c + E_c} \right)$$

όπου V_c είναι η τάση του πυκνωτή στο τέλος του παλμού.

Επειδή είναι: $E_c >> R_b I_c$ και $V_c < E_c$

τελικά προκύπτει: $T \approx R_b C_b$

Η περίοδος των ταλαντώσεων ρυθμίζεται με τη μεταβολή της αντιστάσεως R_b. Η ρύθμιση με μεταβολή της χωρητικότητας C_b δεν συνηθίζεται, επειδή αυτή επιδρά και στη διάρκεια του παλμού.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΠΕΜΠΤΟ

ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΗ ΚΑΙ ΦΩΡΑΣΗ

5.1 Γενικά.

Είδαμε στο πρώτο κεφάλαιο ότι η ραδιοτηλεγραφική σύνδεση μπορεί να πραγματοποιηθεί με την εκπομπή συρμών συντηρουμένων ή διαμορφωμένων κυμάτων, που διακόπτονται με μορσικό ρυθμό. Η ραδιοτηλεφωνική και ραδιοφωνική σύνδεση γίνεται αποκλειστικά με διαμορφωμένα κύματα, τα οποία ακτινοβολούνται από την κεραία του πομπού συνεχώς, δηλαδή χωρίς διακοπές.

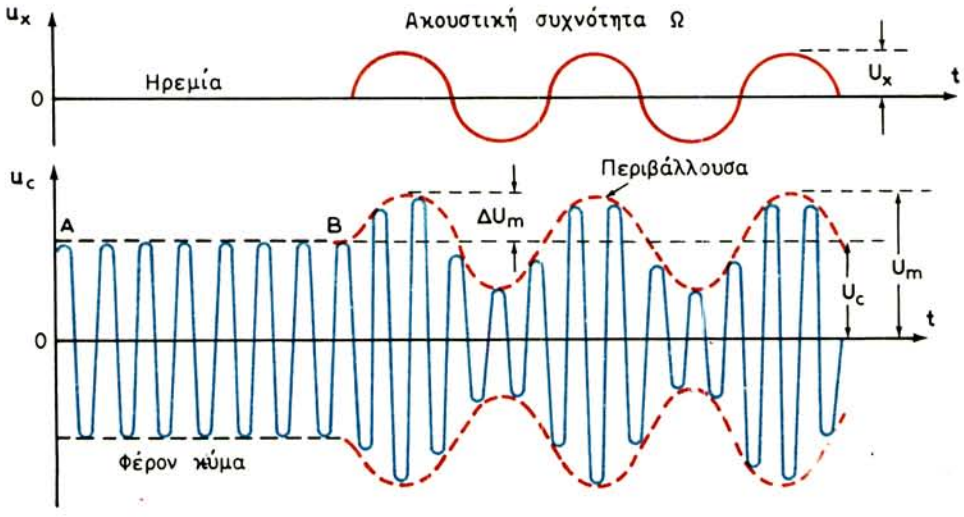
Γνωρίζομε ακόμη, ότι οι χαμηλές συχνότητες της ομιλίας ή της μουσικής δεν οδηγούν στο φαινόμενο της ακτινοβολίας. Για τη μεταφορά των συχνοτήτων αυτών σε μεγάλες αποστάσεις χρειάζεται ταλάντωση υψηλής συχνότητας, της οποίας ένα χαρακτηριστικό (πλάτος, συχνότητα ή φάση) μεταβάλλεται στο ρυθμό της ομιλίας ή της μουσικής. Τη διεργασία αυτής της μεταβολής την ονομάσαμε ***διαμόρφωση.***

Στη λήψη, τώρα, η χαμηλή συχνότητα, που μεταφέρθηκε από την υψηλή ***φέρουσα συχνότητα,*** πρέπει να αποκαλυφθεί, για να προκαλέσει τη λειτουργία των ακουστικών ή των μεγαφώνων. Τη νέα αυτή διεργασία, με την οποία η ακουστική συχνότητα ξεχωρίζεται από την υψηλή συχνότητα, την ονομάσαμε ***φώραση*** (αποκάλυψη) ή ***αποδιαμόρφωση.***

Η διαμόρφωση και η φώραση είναι οι βασικότερες λειτουργίες κάθε μορφής ραδιοσυνδέσεως. Με τις λειτουργίες αυτές και τις διατάξεις πραγματοποιήσεώς τους θα ασχοληθούμε στις επόμενες παραγράφους.

5.2 Διαμόρφωση πλάτους.

Η διαμόρφωση πλάτους (AM = Amplitude Modulation) είναι η πρώτη μορφή διαμορφώσεως που χρησιμοποιήθηκε στις ραδιοσυνδέσεις. Σ' αυτή, το πλάτος της ταλαντώσεως υψηλής συχνότητας μεταβάλλεται στο ρυθμό μιας ή πολλών ακουστικών συχνοτήτων, ενώ η συχνότητα και η φάση της ταλαντώσεως παραμένουν σταθερές. Η μορφή μιας διαμορφωμένης κατά πλάτος ταλαντώσεως ή ενός κύματος από μια ακουστική συχνότητα φαίνεται στο σχήμα 5.1. Το φέρον



Σχ. 5.1.
Μορφή διαμορφωμένου κατά πλάτος κύματος.

κύμα [τμήμα AB στο σχήμα 5.1(β)] έχει πλάτος σταθερό U_c και περιγράφεται από την εξίσωση: $u_c = U_c$ ημ ωt
όπου ω η κυκλική του συχνότητα και $\omega t = 2\pi ft$ η φάση του.

Με την επίδραση της ταλαντώσεως: $u_\chi = U_\chi$ ημ Ωt
ακουστικής συχνότητας Ω [σχ. 5.1(α)], το πλάτος του φέροντος κύματος μεταβάλλεται κατά ΔU_m και η μεταβολή αυτή έχει τη μορφή:

$$U_m = U_c + \Delta U_m \text{ ημ } \Omega t \qquad \text{και} \qquad U_m = U_c \left(1 + \frac{\Delta U_m}{U_c} \text{ ημ } \Omega t \right) \tag{5.1}$$

Ο λόγος της μεταβολής του πλάτους του φέροντος κύματος ΔU_m προς το σταθερό του πλάτους U_c ονομάζεται ***συντελεστής διαμορφώσεως m.*** Ο συντελεστής διαμορφώσεως:

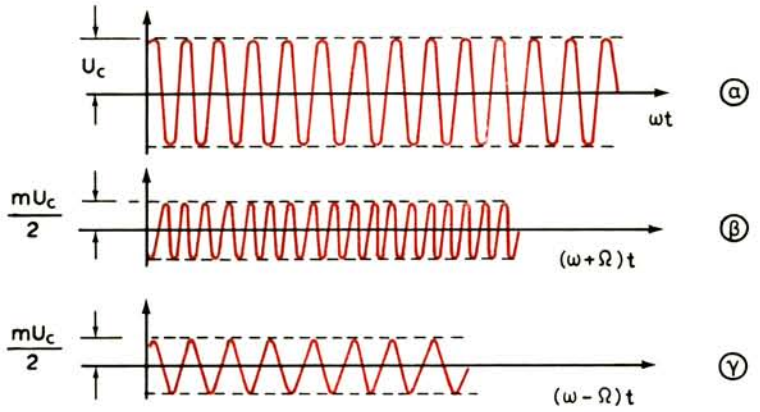
$$m = \frac{\Delta U_m}{U_c} \tag{5.2}$$

δείχνει το βαθμό μεταβολής του πλάτους του φέροντος κύματος ή, όπως συνήθως λέγεται, το ***βάθος διαμορφώσεως*** και εκφράζεται σε ποσοστά.

Με την εισαγωγή του m στη σχέση (5.2) παίρνομε:

$$U_m = U_c (1 + m \text{ ημ } \Omega t)$$

Η στιγμιαία τιμή του διαμορφωμένου κατά πλάτος κύματος μπορεί τώρα να δοθεί από τη σχέση: $u = U_c (1 + m \text{ ημ } \Omega t) \text{ ημ } \omega t$ ή $u = U_c \text{ ημ } \omega t + mU_c \text{ ημ } \Omega t \cdot \text{ημ } \omega t$



Σχ. 5.2.
Οι τρεις συνιστώσες κυμάνσεις του διαμορφωμένου κατά πλάτος κύματος.

Από την τριγωνομετρία γνωρίζομε ότι:

$$\text{ημ } \Omega t \cdot \text{ημ } \omega t = \frac{1}{2} \text{συν } (\omega - \Omega)t - \frac{1}{2} \text{συν } (\omega+\Omega)t$$

οπότε η εξίσωση του διαμορφωμένου κατά πλάτος κύματος λαμβάνει τελικά τη μορφή:

$$u = U_c \text{ημ } \omega t + \frac{mU_c}{2} \text{συν } (\omega - \Omega)t - \frac{mU_c}{2} \text{συν } (\omega + \Omega)t \qquad (5.3)$$

Η σχέση (5.3) δείχνει ότι το διαμορφωμένο κύμα αποτελείται από τρεις συντηρούμενες ταλαντώσεις:

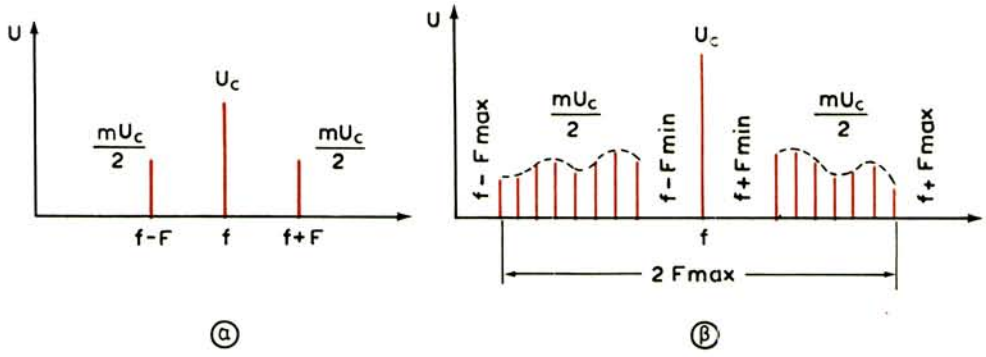
1) Την U_c ημωt με συχνότητα ω και πλάτος U_c [σχ. 5.2(α)].

2) Την $\frac{mU_c}{2}$ συν $(\omega - \Omega)t$ με συχνότητα $(\omega - \Omega)$ και πλάτος $mU_c / 2$ [σχ. 5.2(β)].

3) Την $\frac{mU_c}{2}$ συν $(\omega + \Omega)t$ με συχνότητα $(\omega + \Omega)$ και πλάτος $mU_c / 2$ [σχ. 5.2(β)].

Η συχνότητα ω (f) της πρώτης ταλαντώσεως είναι η γνωστή ***φέρουσα συχνότητα,*** ενώ οι συχνότητες $(\omega + \Omega)$ ή $(f + F)$ και $(\omega - \Omega)$ ή $(f - F)$ είναι δύο νέες συχνότητες, που ονομάζονται ***πλευρικές συχνότητες:*** $(f + F)$ άνω πλευρική και $(f - F)$ κάτω πλευρική.

Το διαμορφωμένο κύμα μπορεί να παρασταθεί με το λεγόμενο ***φάσμα συχνοτήτων,*** που αποτελείται από τη φέρουσα και τις δύο πλευρικές [σχ. 5.3(α)].



Σχ. 5.3.
Φάσματα συχνοτήτων διαμορφωμένου κατά πλάτος κύματος.

Στην περίπτωση που η διαμόρφωση γίνεται με πλήθος ακουστικών συχνοτήτων (διαμόρφωση με ομιλία ή μουσική), το διαμορφωμένο κύμα αποτελείται από τη φέρουσα συχνότητα f και δύο ***πλευρικές ζώνες συχνοτήτων*** [σχ. 5.3(β)]. Η κάτω πλευρική ζώνη περιέχει το φάσμα συχνοτήτων από $(f - F_{max})$ έως $(f - F_{min})$ και η άνω πλευρική το φάσμα από $(f + F_{min})$ έως $(f + F_{max})$. Το εύρος ολόκληρου του φάσματος των συχνοτήτων καθορίζεται από τη διαφορά των δύο ακραίων πλευρικών συχνοτήτων, δηλαδή είναι:

$$\Delta F = (f + F_{max}) - (f - F_{max}) = 2F_{max} \qquad (5.4)$$

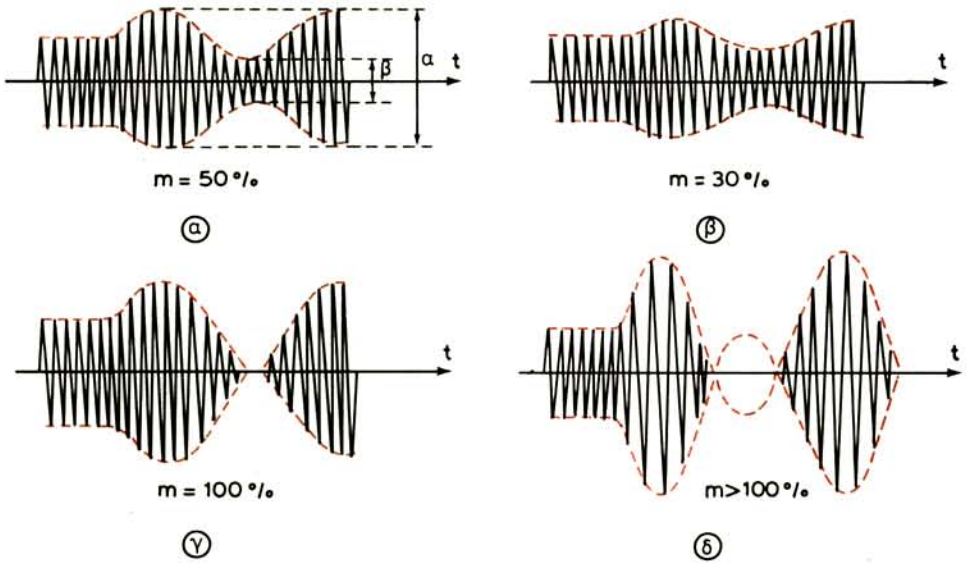
Αν π.χ. έχομε φέρον κύμα συχνότητας 500 kHz και διαμορφώνεται από όλες τις χαμηλές συχνότητες της περιοχής 0,1-4,5 kHz (περίπτωση ραδιοφωνίας), το διαμορφωμένο κύμα αποτελείται από τη φέρουσα συχνότητα των 500 kHz και τις δύο πλευρικές ζώνες. Η κάτω πλευρική ζώνη περιέχει το φάσμα συχνοτήτων από 500 − 4,5 = 495,5 kHz μέχρι 500 − 0,1 = 499,9 kHz και η άνω, το φάσμα από 500 + 0,1 = 500,1 kHz μέχρι 500 + 4,5 = 504,5 kHz. Το εύρος ολόκληρου του φάσματος συχνοτήτων είναι:

$$\Delta F = 2F_{max} = 2 \cdot 4{,}5 = 9 \text{ kHz}$$

Αν το κύμα των 500 kHz διαμορφώνεται από μία χαμηλή συχνότητα, π.χ. 1 kHz, το εύρος του φάσματος θα είναι 2 kHz και θα περιέχει τη φέρουσα συχνότητα των 500 kHz, την κάτω πλευρική συχνότητα των 500 − 1 = 499 kHz και την άνω πλευρική των 500 + 1 = 501 kHz.

Σημειώνομε, τέλος, ότι το βάθος διαμορφώσεως εξαρτάται από το πλάτος της διαμορφωτικής τάσεως. Στο σχήμα 5.4 φαίνονται διαμορφωμένα κύματα με διαφορετικούς συντελεστές διαμορφώσεως m.

Αν το πλάτος της διαμορφωτικής τάσεως είναι πολύ μεγάλο, το βάθος διαμορφώσεως ξεπερνά το 100% [σχ. 5.4(δ)]. Η διαμόρφωση αυτή ονομάζεται



Σχ. 5.4.

Μορφές διαμορφωμένων κατά πλάτος κυμάτων με διάφορους συντελεστές διαμορφώσεως.

υπερδιαμόρφωση και δημιουργεί παραμόρφωση της ακουστικής συχνότητας, που γίνεται αντιληπτή στο δέκτη. Ο μεγαλύτερος συντελεστής διαμορφώσεως χωρίς παραμόρφωση είναι m = 100%.

Στη ραδιοφωνία, ο συντελεστής διαμορφώσεως δεν είναι ίδιος για όλες τις συχνότητες της ομιλίας ή της μουσικής. Ο μέσος συντελεστής διαμορφώσεως στην περίπτωση αυτή, κυμαίνεται μεταξύ 30-90%.

Ο συντελεστής διαμορφώσεως m μπορεί να υπολογισθεί με τη μέτρηση του μέγιστου πλάτους α και του ελάχιστου β [σχ. 5.4(α)] του διαμορφωμένου κύματος σε εκατοστά ή χιλιοστά, οπότε έχομε:

$$m = \frac{\alpha - \beta}{\alpha + \beta} \cdot 100\% \qquad (5.5)$$

5.3 Ισχύς διαμορφωμένου κατά πλάτος κύματος.

Η ισχύς του διαμορφωμένου κύματος είναι μεγαλύτερη από την ισχύ του φέροντος κύματος, αφού στην ισχύ του φέροντος προστίθεται και η ισχύς των πλευρικών συχνοτήτων. Η συνεισφορά σε ισχύ των πλευρικών συχνοτήτων στο διαμορφωμένο κύμα εξαρτάται από το συντελεστή διαμορφώσεως m.

Η ισχύς του φέροντος κύματος P_c ενός πομπού (ισχύς χωρίς διαμόρφωση) εκφράζεται από τη σχέση:

$$P_c = \frac{U_c I_c}{2}$$

όπου U_c και I_c οι μέγιστες τιμές της τάσεως και του ρεύματος, αντίστοιχα, στην έξοδο του πομπού.

Εξάλλου, η ισχύς των πλευρικών συχνοτήτων P_s σύμφωνα με τη σχέση (5.3) θα είναι:

$$P_s = P_{s1} + P_{s2} = 2U_s I_s = 2 \cdot \frac{1}{2} \left(\frac{mU_c}{2} \right) \left(\frac{mI_c}{2} \right) = \frac{m^2}{2} \left(\frac{U_c I_c}{2} \right) = \frac{m^2}{2} P_c$$

όπου U_s, και I_s οι ενεργές τιμές των αντιστοίχων μεγεθών των πλευρικών συχνοτήτων.

Έτσι, για την ισχύ του διαμορφωμένου κύματος P_m, έχομε:

$$P_m = P_c + P_s = P_c + \frac{m^2}{2} P_c = P_c \left(1 + \frac{m^2}{2} \right) \qquad (5.6)$$

από όπου φαίνεται ότι η ισχύς του διαμορφωμένου κύματος είναι $(1+m^2/2)$ φορές μεγαλύτερη από την ισχύ του φέροντος κύματος.

Με βάθος διαμορφώσεως 100% ή συντελεστή m = 1, η ισχύς P_m είναι:

$$P_m = 1{,}5\, P_c \qquad (5.7)$$

και η ισχύς P_s των πλευρικών συχνοτήτων:

$$P_s = \frac{m^2}{2} P_c = 0{,}5\, P_c \qquad (5.8)$$

Από τις τελευταίες σχέσεις προκύπτει ότι με βάθος διαμορφώσεως 100% η ισχύς των πλευρικών είναι το $^1/_3$ της όλης ισχύος του διαμορφωμένου κύματος ή το $^1/_2$ της ισχύος του φέροντος κύματος. Η ισχύς των πλευρικών συχνοτήτων παρέχεται από την πηγή της διαμορφωτικής τάσεως, που ονομάζεται ***διαμορφωτής***.

Αν π.χ. έχομε φέρον κύμα με ισχύ P_c = 10 kW και επιθυμούμε να διαμορφωθεί 100% (m = 1), θα πρέπει ο διαμορφωτής να παρέχει την ισχύ των πλευρικών συχνοτήτων ίση με P_s = 5 kW. Η ισχύς του διαμορφωμένου κύματος θα είναι P_m = 10 + 5 = 15 kW.

Σημειώνομε ότι στη λήψη παρουσιάζει ενδιαφέρον το σήμα των πλευρικών συχνοτήτων, που περιέχει την ακουστική συχνότητα. Το ωφέλιμο σήμα στην έξοδο του φωρατή του δέκτη εξαρτάται από την ισχύ των πλευρικών σημάτων του διαμορφωμένου κύματος. Όσο μεγαλύτερη είναι η ισχύς των πλευρικών

σημάτων και όσο μεγαλύτερος ο συντελεστής διαμορφώσεως m, τόσο ισχυρότερο θα είναι το σήμα στην έξοδο του φωρατή του δέκτη. Ο φορέας του ωφέλιμου ακουστικού σήματος, δηλαδή το σήμα της φέρουσας συχνότητας, απορρίπτεται στην έξοδο του φωρατή του δέκτη.

5.4 Εκπομπή πλευρικών ζωνών.

Είπαμε ότι το ωφέλιμο σήμα στη λήψη είναι το σήμα των πλευρικών συχνοτήτων. Αυτό σημαίνει ότι θα μπορούσαμε να εκπέμψομε μόνο τις δύο πλευρικές ζώνες ή τη μία πλευρική ζώνη, χωρίς τη φέρουσα· τότε η συνιστώσα που λείπει θα αποκατασταθεί στο δέκτη, ώστε το διαμορφωμένο κύμα να αποκτήσει τη φυσιογνωμία του. Στην πράξη, η δυνατότητα αυτή υπάρχει και είναι γνωστή σαν ***ραδιοεπικοινωνία SSB***(single side band = μία πλευρική ζώνη), σε διάκριση από την ***ραδιοεπικοινωνία DSB*** (double side band = δύο πλευρικές ζώνες).

Οι δυνατές περιπτώσεις ραδιοεπικοινωνίας SSB είναι οι ακόλουθες:

1) Εκπομπή μιας πλευρικής ζώνης με πλήρες φέρον κύμα.
2) Εκπομπή μιας πλευρικής ζώνης με ***υποτυπώδες φέρον.***
3) Εκπομπή μιας πλευρικής ζώνης χωρίς φέρον.
4) Εκπομπή δυο πλευρικών ζωνών χωρίς φέρον.

Η εκπομπή της μιας πλευρικής ζώνης με ολόκληρη τη φέρουσα δεν παρουσιάζει ιδιαίτερο ενδιαφέρον στην πράξη, εκτός του ότι περιορίζεται η ζώνη διελεύσεως των πομπών και των δεκτών, οπότε μπορούν να λειτουργήσουν περισσότερα κανάλια ραδιοεπικοινωνίας σε ορισμένη περιοχή συχνοτήτων (μεσαία, βραχέα κλπ.).

Μεγαλύτερο ενδιαφέρον παρουσιάζουν οι εκπομπές με καταργημένο φέρον κύμα, το οποίο, όπως είδαμε, έχει τα $^2/_3$ της ισχύος του διαμορφωμένου κύματος. Η κατάργηση του φέροντος συνεπάγεται οικονομία ισχύος, την οποία μπορούμε να διαθέσομε στις πλευρικές ζώνες, που περιέχουν και το ωφέλιμο ακουστικό σήμα.

Από τις εκπομπές με καταργημένο φέρον ξεχωριστή θέση κατέχει η εκπομπή με μία πλευρική ζώνη: την άνω (USB = upper side band) ή την κάτω (LSB = lower side band). Η εκπομπή της μιας πλευρικής ζώνης χωρίς φέρουσα εξασφαλίζει, εκτός από την οικονομία ισχύος, την ελάττωση της ζώνης διελεύσεως των καναλιών ραδιοεπικοινωνίας κατά 2 φορές. Η ελάττωση της ζώνης διελεύσεως ενός καναλιού υποβιβάζει σημαντικά τη στάθμη θορύβων των διατάξεων εκπομπής και λήψεως.

Το σημαντικότερο μειονέκτημα των εκπομπών χωρίς φέρουσα είναι η δυσκολία πραγματοποιήσεως της λήψεως. Για να επιτευχθεί η λήψη πρέπει να ανασυγκροτηθεί στο δέκτη το διαμορφωμένο κύμα. Η ανασυγκρότηση αυτή γίνεται με την παραγωγή της φέρουσας στο δέκτη από ένα ταλαντωτή. Ο ταλαντωτής

αυτός πρέπει να παράγει συχνότητα ίση με την καταργούμενη και να εργάζεται σύγχρονα και συμφασικά με τον ταλαντωτή του πομπού.

Για να αποφύγομε αυτές τις δυσκολίες, οδηγούμαστε πολλές φορές στην εκπομπή της μιας πλευρικής ζώνης με υποτυπώδη φέρουσα, δηλαδή με φέρουσα, της οποίας το πλάτος περιορίζεται στο ελάχιστο.

Η κατάργηση της φέρουσας ή η ελάττωση του πλάτους της γίνεται με ειδικές διατάξεις που θα γνωρίσομε παρακάτω.

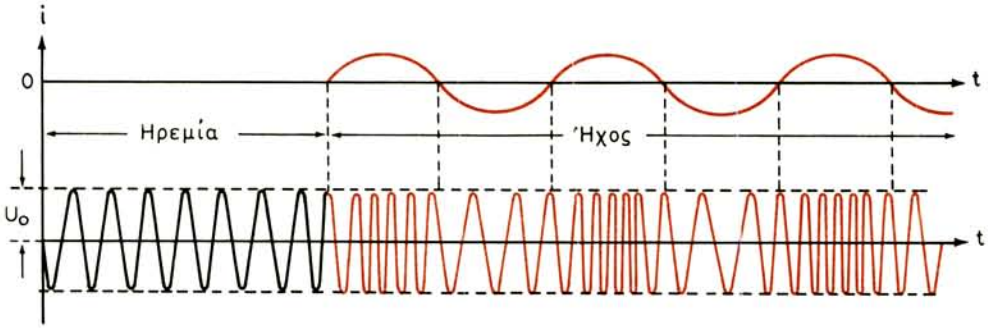
5.5 Διαμόρφωση συχνότητας και φάσεως.

Στη σύγχρονη τεχνική των ραδιοεπικοινωνιών χρησιμοποιούνται πολλοί πομποί και δέκτες που εργάζονται με ***διαμόρφωση συχνότητας.*** Η διαμόρφωση συχνότητας (FM = frequency modulation) έχει σημαντικά πλεονεκτήματα με τα οποία θα ασχοληθούμε αργότερα.

Στη διαμόρφωση συχνότητας το πλάτος του φέροντος κύματος παραμένει σταθερό, ενώ μεταβάλλεται η συχνότητά του, ανάλογα με το πλάτος του διαμορφωτικού ακουστικού σήματος (σχ. 5.5). Με την επίδραση της θετικής εναλλαγής του ακουστικού σήματος η υψηλή συχνότητα μεγαλώνει και με την επίδραση της αρνητικής εναλλαγής μικραίνει.

Η διαμόρφωση, εδώ, μπορεί να εκτιμηθεί από τη μέγιστη απόκλιση της συχνότητας Δf_{max} από την τιμή της ***ηρεμίας*** της f_o. Η απόκλιση της συχνότητας Δf εξαρτάται από το πλάτος του ακουστικού σήματος. Όσο μεγαλύτερο είναι το πλάτος του ακουστικού σήματος, τόσο μεγαλύτερη είναι και η απόκλιση Δf.

Η ταχύτητα της αποκλίσεως, δηλαδή ο αριθμός των αποκλίσεων της συχνότητας στο δευτερόλεπτο, εξαρτάται από τη συχνότητα του ακουστικού σήματος. Αν π.χ. η συχνότητα του ακουστικού σήματος είναι 1000 Hz, η συχνότητα ηρεμίας θα αποκλίνει 1000 φορές στο δευτερόλεπτο.



Σχ. 5.5.
Κύμα διαμορφωμένο κατά συχνότητα.

Ονομάζομε ***βάθος διαμορφώσεως*** ενός κύματος διαμορφωμένου κατά συχνότητα το λόγο της επιτυγχανόμενης αποκλίσεως συχνότητας Δf προς τη μέγιστη επιτρεπόμενη Δf_{max}, δηλαδή:

$$n = \frac{\Delta f}{\Delta f_{max}} \cdot 100\% \tag{5.9}$$

Η μέγιστη επιτρεπόμενη απόκλιση Δf_{max} αντιστοιχεί σε συντελεστή διαμορφώσεως πλάτους $m = 100\%$, που δίνει απαραμόρφωτο κύμα. Η μέγιστη επιτρεπόμενη απόκλιση συχνότητας είναι $\Delta f_{max} = \pm 75$ kHz.

Ας ασχοληθούμε σύντομα με την εξίσωση ενός διαμορφωμένου κατά συχνότητα κύματος.

Η στιγμιαία τιμή της διαμορφωτικής τάσεως ακουστικής συχνότητας, που έχει συνημιτονική μορφή, δίνεται από τη σχέση:

$$u_m = U_m \, \text{συν} \, \Omega t \tag{5.10}$$

Εξάλλου, η εξίσωση της αδιαμόρφωτης τάσεως υψηλής συχνότητας έχει τη μορφή:

$$u_c = U_c \, \text{ημ} \, (\omega_o t + \varphi_o) = U_c \, \text{ημ} \, \theta \tag{5.11}$$

όπου:

$$\theta = \omega_o t + \varphi_o \tag{5.12}$$

είναι η ολική φασική της γωνία και φ_o η αρχική της φάση.

Στη διαμόρφωση συχνότητας, η συχνότητα του αδιαμόρφωτου σήματος μεταβάλλεται ανάλογα με το διαμορφωτικό σήμα της σχέσεως (5.10), κατά το νόμο:

$$\omega = \omega_o + kU_m \, \text{συν} \, \Omega t = \omega_o + \Delta\omega \, \text{συν} \, \Omega t \tag{5.13}$$

ή

$$f = \frac{\omega}{2\pi} = f_o + \frac{kU_m}{2\pi} \, \text{συν} \, \Omega t = f_o + \Delta f \, \text{συν} \, \Omega t \tag{5.14}$$

όπου:

$$\Delta f = \frac{kU_m}{2\pi} \tag{5.15}$$

η απόκλιση συχνότητας και k συντελεστής που καθορίζει τη μέγιστη απόκλιση Δf_{max} για ένα μέγιστο πλάτος U_m.

Με την εισαγωγή της (5.13) στην (5.12) προκύπτει:

$$\theta = \omega_o t + \frac{\Delta\omega}{\Omega} \, \text{ημ} \, \Omega t + \varphi_o = \omega_o t + m_\omega \, \text{ημ} \, \Omega t + \varphi_o \tag{5.16}$$

Το μέγεθος m_ω ή m_f ονομάζεται ***δείκτης διαμορφώσεως συχνότητας*** και

δίνεται από το λόγο της μέγιστης αποκλίσεως της συχνότητας Δf_{max} ($\Delta\omega_{max}$) προς τη διαμορφωτική F (Ω) ή τη μέγιστη διαμορφωτική F_{max}, όταν η διαμόρφωση προέρχεται από πλήθος ακουστικών συχνοτήτων, δηλαδή:

$$m_f = \frac{\Delta f_{max}}{F} \qquad \text{ή} \qquad m_f = \frac{\Delta f_{max}}{F_{max}} \tag{5.17}$$

Από τη σχέση (5.14) φαίνεται ότι η συχνότητα του διαμορφωμένου κύματος θα μεταβάλλεται από $f_o - \Delta f_{max}$ έως $f_o + \Delta f_{max}$, δηλαδή κατά $2\Delta f_{max}$.

Εκτός από τη διαμόρφωση συχνότητας (FM), χρησιμοποιείται ευρύτατα και η ***διαμόρφωση φάσεως*** (PM = phase modulation), η οποία εξελίσσεται σε διαμόρφωση συχνότητας, γι' αυτό ονομάζεται και ***έμμεση διαμόρφωση συχνότητας.***

Στη διαμόρφωση φάσεως μεταβάλλεται η γωνία φ ανάλογα με το διαμορφωτικό σήμα της σχέσεως (5.10), κατά το νόμο:

$$\varphi = \varphi_o + kU_m \text{ συν } \Omega t = \varphi_o + m_\varphi \text{ συν } \Omega t \tag{5.18}$$

Το μέγεθος:

$$m_\varphi = kU_m \tag{5.19}$$

ονομάζεται ***δείκτης διαμορφώσεως φάσεως.***

Με την εισαγωγή της σχέσεως (5.18) στην (5.12) παίρνομε:

$$\theta = \omega_o t + m_\varphi \text{ συν } \Omega t + \varphi_o \tag{5.20}$$

και στιγμιαία τιμή συχνότητας:

$$\omega = \omega_o - \Omega m_\varphi \text{ ημ } \Omega t = \omega_o - \Delta\omega \text{ ημ } \Omega t$$

Συγκρίνοντας τις σχέσεις (5.16) και (5.20) για την όλη φασική γωνία, παρατηρούμε ότι έχουν την ίδια μορφή και διαφέρουν μόνο ως προς την εξάρτηση των δεικτών διαμορφώσεως από το πλάτος U_m και τη συχνότητα F του διαμορφωτικού ακουστικού σήματος. Στη διαμόρφωση συχνότητας ο δείκτης m_f εξαρτάται τόσο από το πλάτος, όσο και από τη συχνότητα του διαμορφωτικού σήματος (σχέσεις 5.15 και 5.17), ενώ στη διαμόρφωση φάσεως ο δείκτης m_φ εξαρτάται μόνο από το πλάτος U_m (σχέση 5.19).

Οι στιγμιαίες τιμές των διαμορφωμένων σημάτων κατά συχνότητα και φάση δίνονται από τις σχέσεις:

$$\begin{aligned} &\text{(FM): } u = U_c \text{ συν } (\omega_o t + m_f \text{ ημ } \Omega t + \varphi_o) \\ &\text{(PM): } u = U_c \text{ συν}(\omega_o t + m_\varphi \text{ συν } \Omega t + \varphi_o) \end{aligned} \tag{5.21}$$

Όπως αποδεικνύεται από λεπτομερή ανάλυση, το φάσμα αυτών των ταλαντώσεων περιέχει άπειρο πλήθος αρμονικών συνιστωσών, των οποίων οι συχνότητες είναι συνδυασμοί της μορφής:

$$f_k = f_o + k\Omega$$

όπου: $k = 0, \pm1, \pm2, \pm3, \ldots,$

και τα πλάτη τους προσδιορίζονται από τη συνάρτηση Bessel διαφόρων τάξεων.

Έτσι έχομε:

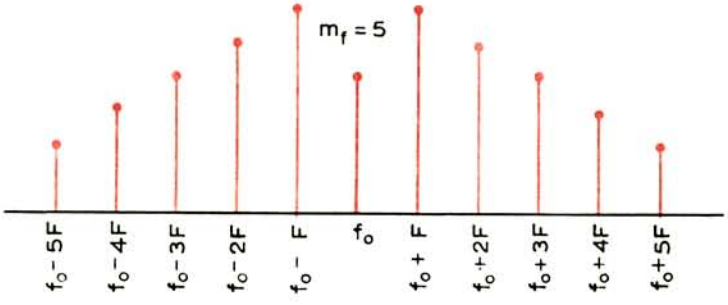
για	$k = 0$	$f_k = f_o$
	$k = \pm1$	$f_k = f_o \pm F$
	$k = \pm2$	$f_k = f_o \pm 2F$
	$k = \pm3$	$f_k = f_o \pm 3F$

Το φάσμα ενός κύματος διαμορφωμένου κατά συχνότητα από μία διαμορφωτική ακουστική συχνότητα F και για ορισμένο δείκτη m_f, φαίνεται στο σχήμα 5.6. Το φάσμα, όπως βλέπομε, περιέχει τη φέρουσα συχνότητα f_o και μεγάλο αριθμό πλευρικών συχνοτήτων, τοποθετημένων συμμετρικά ως προς αυτήν.

Σημειώνομε ότι με μεταβολή του πλάτους και της συχνότητας του ακουστικού σήματος μεταβάλλεται, μαζί με το δείκτη m_f και το εύρος του φάσματος συχνοτήτων. Όσο μεγαλύτερος είναι ο δείκτης m_f, τόσο περισσότερες συνιστώσες περιέχει το φάσμα. Παράλληλα μεταβάλλονται και τα πλάτη τόσο των πλευρικών συχνοτήτων, όσο και της φέρουσας. Όταν αυξάνεται ο δείκτης m_f, το πλάτος της φέρουσας ελαττώνεται και μπορεί να γίνει μικρότερο από τα πλάτη μερικών πλευρικών συχνοτήτων.

Παρ' όλο ότι τα πλευρικά ζευγάρια συχνοτήτων, που βρίσκονται έξω από την περιοχή της μέγιστης αποκλίσεως έχουν πολύ μικρά πλάτη (μικρότερα του 2% του φέροντος) και δεν επιδρούν στη ραδιοσύνδεση, το φάσμα συχνοτήτων είναι αρκετά μεγάλο. Έτσι, η διαμόρφωση συχνότητας μπορεί να χρησιμοποιηθεί στην περιοχή των υπερβραχέων κυμάτων, δηλαδή άνω των 20 MHz.

Κλείνομε την παράγραφο με δύο λόγια για την ισχύ του κύματος με διαμόρφωση συχνότητας.



Σχ. 5.6.

Φάσμα κύματος διαμορφωμένου κατά συχνότητα.

Οι πομποί με διαμόρφωση συχνότητας λειτουργούν με σταθερή ισχύ. Οι πλευρικές συνιστώσες, που προκύπτουν κατά τη διαμόρφωση, απορροφούν την ισχύ τους από το φέρον κύμα έτσι, ώστε σε κάθε στιγμή το άθροισμα των ισχύων φέροντος και πλευρικών είναι σταθερό.

Στη διαμόρφωση πλάτους η ισχύς του φέροντος κύματος είναι πάντοτε μεγαλύτερη από την ισχύ των πλευρικών και κατά τη διαμόρφωση δεν μεταβάλλεται. Για m = 100%, τα $^2/_3$ της ισχύος που ακτινοβολείται ανήκουν στο φέρον κύμα που, όπως είπαμε, δεν χρησιμοποιείται στο δέκτη για την αναπαραγωγή του ακουστικού σήματος.

Στη διαμόρφωση συχνότητας, η ισχύς του φέροντος κύματος εξαρτάται από το δείκτη διαμορφώσεως m_f και στο χρόνο της διαμορφώσεως είναι πάντοτε μικρότερη από την αρχική.

Συμπεραίνοντας, μπορούμε να πούμε ότι με τη διαμόρφωση συχνότητας εκμεταλλευόμαστε καλύτερα τις δυνατότητες των διατάξεων εκπομπής, μεγαλώνει η ωφέλιμη ισχύς στην έξοδό τους και έχομε μεγαλύτερο βαθμό αποδόσεως, σε σύγκριση με τη διαμόρφωση πλάτους.

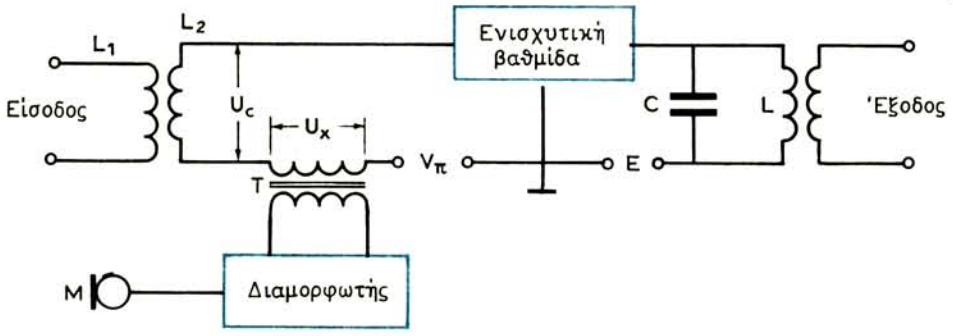
5.6 Διαμορφωτές πλάτους.

Η διαμόρφωση πλάτους πραγματοποιείται σε μία από τις ενισχυτικές βαθμίδες του πομπού, με εφαρμογή της διαμορφωτικής τάσεως είτε στην είσοδο της βαθμίδας, είτε στην έξοδό της. Ανάλογα με τη βαθμίδα του πομπού, στην οποία γίνεται η διαμόρφωση, διακρίνομε τη ***διαμόρφωση χαμηλής στάθμης,*** σε ενδιάμεση βαθμίδα του πομπού, και τη ***διαμόρφωση υψηλής στάθμης,*** στην τελική βαθμίδα του πομπού.

Στην περίπτωση της διαμορφώσεως χαμηλής στάθμης, όλες οι ενισχυτικές βαθμίδες που ακολουθούν τη βαθμίδα διαμορφώσεως, πρέπει να εργάζονται σε τάξη Α για να μην εισάγουν παραμορφώσεις στο διαμορφωμένο κύμα και επομένως, στο μεταφερόμενο από αυτό ακουστικό σήμα.

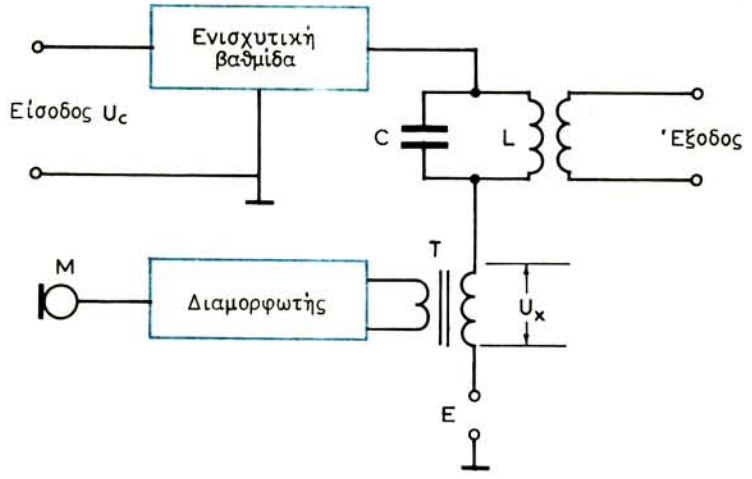
Στο σχήμα 5.7 φαίνεται κύκλωμα διαμορφώσεως πλάτους από την είσοδο μιας ενισχυτικής βαθμίδας του πομπού. Στην είσοδο της βαθμίδας και μέσα από το μετασχηματιστή Τ, που συνήθως ονομάζεται ***μετασχηματιστής διαμορφώσεως,*** εφαρμόζεται η διαμορφωτική τάση U_χ που παρέχει ο ***διαμορφωτής*** (modulator). Ο διαμορφωτής είναι γενικά, ενισχυτής ακουστικών συχνοτήτων. Στην είσοδο της βαθμίδας εφαρμόζεται επίσης και η τάση υψηλής συχνότητας U_c (φέρον σήμα) μέσα από τα συζευγμένα πηνία L_1 L_2.

Το διαμορφωτικό σήμα U_χ μεταβάλλει περιοδικά την τάση πολώσεως της βαθμίδας V_π και εξαιτίας αυτού μεταβάλλεται το πλάτος του ρεύματος εξόδου της. Το ρεύμα αυτό δημιουργεί μεταβαλλόμενη τάση στο κύκλωμα εξόδου LC, στο ρυθμό μεταβολής της πολώσεως, δηλαδή στο ρυθμό του σήματος ακουστικής συχνότητας, σύμφωνα με τις σχέσεις (5.1).



Σχ. 5.7.

Κύκλωμα διαμορφώσεως πλάτους από την είσοδο ενισχυτικής βαθμίδας.



Σχ. 5.8.

Κύκλωμα διαμορφώσεως πλάτους από την έξοδο ενισχυτικής βαθμίδας.

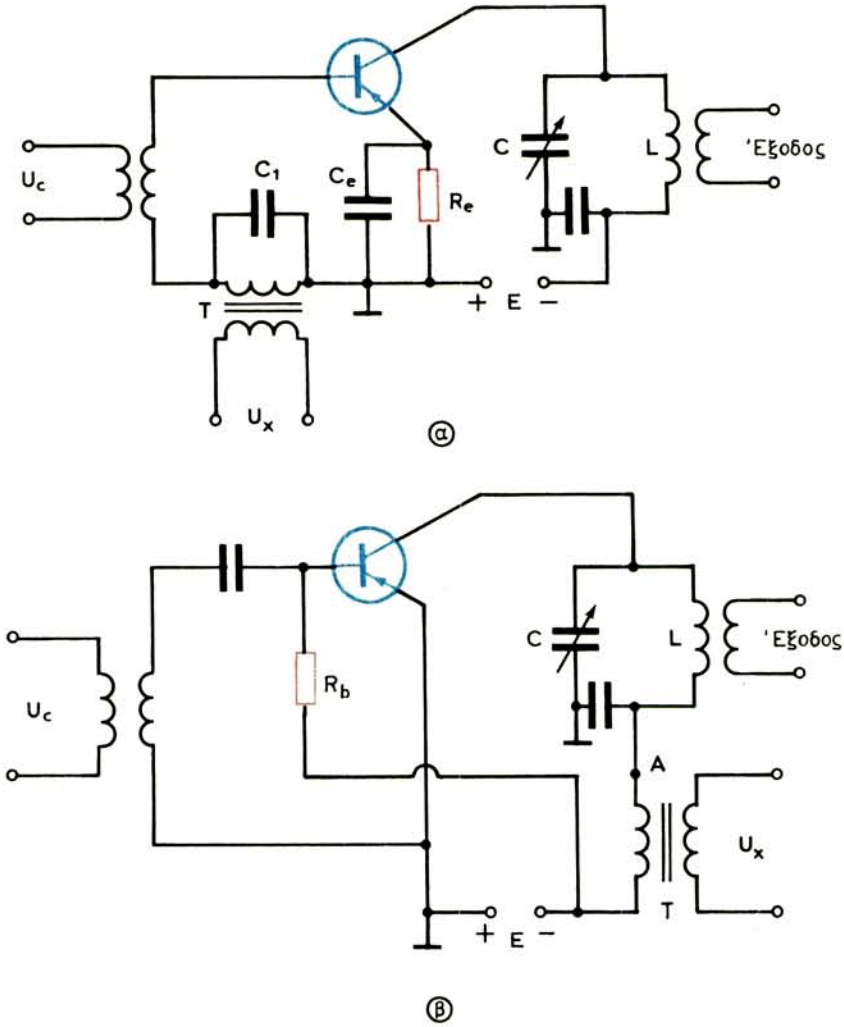
Η διαμόρφωση από την είσοδο μιας βαθμίδας έχει το πλεονέκτημα της χρήσεως μικρού διαμορφωτή, επειδή χρειάζεται μικρή ισχύς ακουστικού σήματος για τη μεταβολή της πολώσεως της βαθμίδας. Έχει, όμως, το μειονέκτημα του χαμηλού βαθμού αποδόσεως και της εμφανίσεως σημαντικών παραμορφώσεων.

Ένα κύκλωμα διαμορφώσεως πλάτους από την έξοδο μιας βαθμίδας φαίνεται στο σχήμα 5.8. Η τάση ακουστικής συχνότητας U_χ αναπτύσσεται στο δευτερεύον του μετασχηματιστή διαμορφώσεως T, που συνδέεται σε σειρά με την πηγή τροφοδοτήσεως της βαθμίδας E. Η τροφοδοτική αυτή τάση μεταβάλλεται από $E - U_\chi$ ($E > U_\chi$) έως $E + U_\chi$ στο ρυθμό του ακουστικού σήματος, μαζί της δε και στον ίδιο ρυθμό, μεταβάλλεται και το πλάτος του ρεύματος εξόδου της

βαθμίδας. Έτσι, διαμορφώνεται η ταλάντωση υψηλής συχνότητας U_c, που εφαρμόζεται στην είσοδο της βαθμίδας.

Η διαμόρφωση από την έξοδο της βαθμίδας παρέχει υψηλό βαθμό αποδόσεως και αυξημένη ωφέλιμη ισχύ εξόδου, αφού στην ισχύ της βαθμίδας προστίθεται και η ισχύς του διαμορφωτή. Το μειονέκτημα είναι ότι χρειάζεται μεγαλύτερο διαμορφωτή (με μεγαλύτερη ισχύ) από τον προηγούμενο, για τον ίδιο βαθμό διαμορφώσεως.

Στο σχήμα 5.9 φαίνονται δύο συνδεσμολογίες διαμορφώσεως πλάτους σε ενισχυτικές βαθμίδες ισχύος, που έχουν τρανζίστορ με κοινό εκπομπό.



Σχ. 5.9.

Συνδεσμολογίες διαμορφώσεως πλάτους από τη βάση (α) και από το συλλέκτη (β) ενισχυτή ισχύος με τρανζίστορ.

Στην πρώτη συνδεσμολογία [σχ. 5.9(α)] η διαμόρφωση γίνεται με μεταβολή της τάσεως στη βάση και αντιστοιχεί στο κύκλωμα του σχήματος 5.7. Για να υπάρχει σταθερή πόλωση της βάσεως, συνδέεται στον εκπομπό η αντίσταση R_e. Ο πυκνωτής C_e, που παραλληλίζει αυτή την αντίσταση, έχει μεγάλη χωρητικότητα, ώστε να βραχυκυκλώνει το διαμορφωμένο σήμα· αυτό συντελεί στο να παραμένει σταθερή η πόλωση «ηρεμίας» και να μη σημειώνεται απώλεια σήματος στην αντίσταση R_e.

Η διαμορφωτική τάση U_x εφαρμόζεται μέσα από μετασχηματιστή. Για την αποφυγή απωλειών του σήματος U_c, το δευτερεύον αυτού του μετασχηματιστή παραλληλίζεται με τον πυκνωτή C_1.

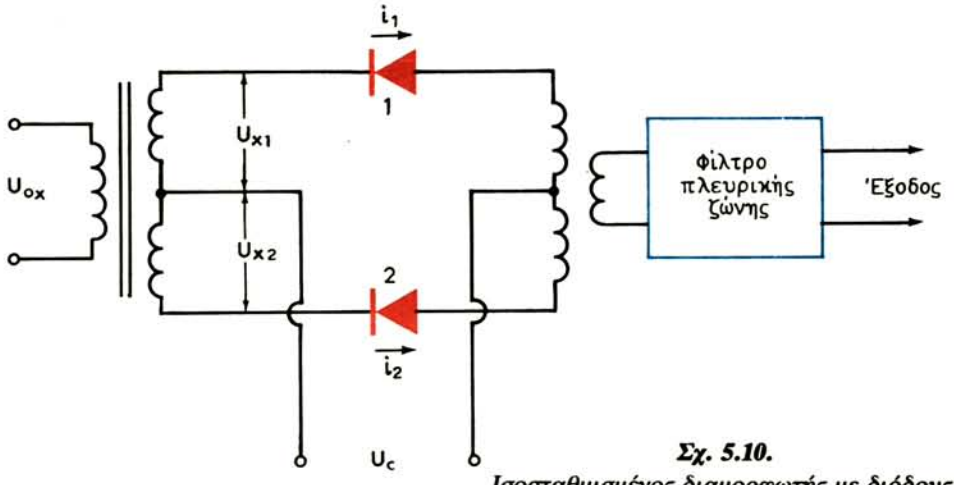
Στη δεύτερη συνδεσμολογία [σχ. 5.9(β)] η διαμόρφωση γίνεται από το συλλέκτη και είναι αντίστοιχη εκείνης του κυκλώματος του σχήματος 5.8. Εδώ η πόλωση στη βάση παρέχεται από την πηγή Ε μέσα από την αντίσταση R_b. Αν η αντίσταση αυτή μετατεθεί από το «πλην» της τροφοδοτικής πηγής στο σημείο Α, η διαμόρφωση θα πραγματοποιείται ταυτόχρονα από το συλλέκτη και τη βάση.

Σημειώνομε ότι η ταυτόχρονη διαμόρφωση από το συλλέκτη και τη βάση εξασφαλίζει μικρότερη παρασιτική διαμόρφωση συχνότητας, που πάντοτε εμφανίζεται κατά τη διαμόρφωση πλάτους.

5.7 Ισοσταθμισμένοι διαμορφωτές.

Για την κατάργηση του φέροντος σήματος και την εμφάνιση στην έξοδο του διαμορφωτή των δύο πλευρικών ζωνών του διαμορφωμένου κύματος, χρησιμοποιείται ο λεγόμενος ***ισοσταθμισμένος διαμορφωτής.*** Αυτός αποτελείται από δύο μη γραμμικά στοιχεία, που μπορεί να είναι δίοδοι ή ενισχυτικές βαθμίδες με τρανζίστορ σε τάξη λειτουργίας Β ή Γ (όχι Α).

Στο σχήμα 5.10 φαίνεται ένας ισοσταθμισμένος διαμορφωτής με διόδους,



Σχ. 5.10.
Ισοσταθμισμένος διαμορφωτής με διόδους.

συνδεσμολογημένες σε σειρά και ετεροπολικά για το διαμορφωτικό σήμα U_χ και παράλληλα, αλλά ομοιοπολικά, για το φέρον σήμα U_c.

Στις διόδους εφαρμόζονται οι διαμορφωτικές τάσεις $U_{\chi 1}$ και $U_{\chi 2}$, που είναι ίσες και αντιφασικές και η τάση του φέροντος σήματος είναι U_c.

Το άθροισμα των τάσεων σε κάθε δίοδο θα είναι:

$$u_1 = U_\chi \, \eta\mu \, \Omega t + U_c \, \eta\mu \, \omega t \tag{5.22}$$

$$u_2 = -U_\chi \, \eta\mu \, \Omega t + U_c \, \eta\mu \, \omega t \tag{5.23}$$

Το ρεύμα κάθε μη γραμμικού στοιχείου έχει, προσεγγιστικά, τη μορφή:

$$i = \alpha + \beta u + \gamma u^2 \tag{5.24}$$

δηλαδή αποτελείται από τη συνεχή συνιστώσα α, τη συνιστώσα βu, που είναι ανάλογη προς την τάση και τη συνιστώσα γu^2, που είναι ανάλογη προς το τετράγωνο της τάσεως.

Με την εισαγωγή της σχέσεως (5.22) στην (5.24) βρίσκομε το ρεύμα i_1 της διόδου (1), που είναι:

$$\begin{aligned} \iota_1 &= \alpha + \beta \, (U_\chi \, \eta\mu \, \Omega t + U_c \, \eta\mu \, \omega t) + \gamma \, (U_\chi \, \eta\mu \, \Omega t + U_c \, \eta\mu \, \omega t)^2 = \\ &= \alpha + \beta \, (U_\chi \, \eta\mu \, \Omega t + U_c \, \eta\mu \, \omega t) + \gamma \, (U_\chi^2 \, \eta\mu^2 \, \Omega t + U_c^2 \, \eta\mu^2 \, \omega t) + \\ &\quad + 2\gamma U_\chi \, U_c \, \eta\mu \, \Omega t \cdot \eta\mu \, \omega t \end{aligned}$$

Ως προς το ρεύμα i_2, με εισαγωγή της σχέσεως (5.23) στην (5.24), θα έχομε:

$$\begin{aligned} i_2 &= \alpha + \beta \, (-U_\chi \, \eta\mu \, \Omega t + U_c \, \eta\mu \, \omega t) + \gamma \, (U_\chi^2 \, \eta\mu^2 \, \Omega t + U_c^2 \, \eta\mu^2 \, \omega t) - \\ &\quad - 2\gamma U_\chi U_c \, \eta\mu \, \Omega t \, . \, \eta\mu \, \omega t \end{aligned}$$

Η τάση στο δευτερεύον του κυκλώματος εξόδου του διαμορφωτή θα είναι ανάλογη προς τη διαφορά των ρευμάτων i_1 και i_2, η οποία είναι:

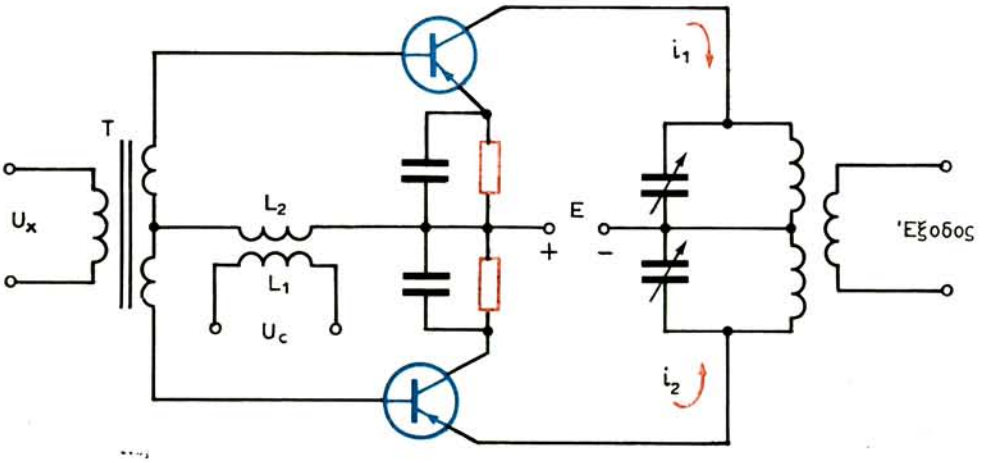
$$\begin{aligned} i_1 - i_2 &= 2\beta U_\chi \, \eta\mu \, \Omega t + 4\gamma U_\chi \, U_c \, \eta\mu \, \Omega t \cdot \eta\mu \, \omega t = \\ (\alpha) \quad &= 2\beta U_\chi \, \eta\mu \, \Omega t + \\ (\beta) \quad &+ 2\gamma \, U_\chi \, U_c \, \sigma\upsilon\nu \, (\omega - \Omega) t - \\ (\gamma) \quad &- 2\gamma \, U_\chi \, U_c \, \sigma\upsilon\nu \, (\omega + \Omega) t \end{aligned} \tag{5.25}$$

Έτσι, στην έξοδο του ισοσταθμισμένου διαμορφωτή εμφανίζεται η τάση (α) ακουστικής συχνότητας Ω και οι τάσεις (β) και (γ) των πλευρικών συχνοτήτων $(\omega - \Omega)$ και $(\omega + \Omega)$, αντίστοιχα. Τάση με τη φέρουσα συχνότητα ω δεν υπάρχει.

Το φίλτρο, που συνδέεται στην έξοδο του διαμορφωτή, επιλέγει τη μία από τις δύο πλευρικές ζώνες συχνοτήτων: την άνω ή την κάτω. Η τάση με την ακουστική συχνότητα Ω δεν επιλέγεται, αλλά ούτε ακτινοβολείται.

Ένα κύκλωμα ισοσταθμισμένου διαμορφωτή με τρανζίστορ φαίνεται στο σχήμα 5.11. Πρόκειται για δύο ενισχυτές ισχύος σε συμμετρική διάταξη με ταυτόχρονη διαμόρφωση από τη βάση. Το φέρον σήμα U_c εφαρμόζεται, μέσα από τα πηνία L_1 και L_2, και ενεργεί συμφασικά στις δύο βάσεις. Η διαμορφωτική τάση U_x ενεργεί στις δύο βάσεις με διαφορά φάσεως 180° εξαιτίας της μεσαίας λήψεως του δευτερεύοντος του μετασχηματιστή Τ.

Επειδή οι συνιστώσες των ρευμάτων της φέρουσας συχνότητας στα κυκλώματα των συλλεκτών είναι συμφασικά και αντίθετα κατά φορά, αλληλοεξουδετερώνονται και δεν αναπτύσσουν τάση στην έξοδο του διαμορφωτή. Οι συνιστώσες, όμως, των ρευμάτων των πλευρικών συχνοτήτων είναι αντίθετες και αντιφασικές και επομένως προστίθενται. Η επιλογή της μιας πλευρικής ζώνης γίνεται και εδώ με φίλτρο.

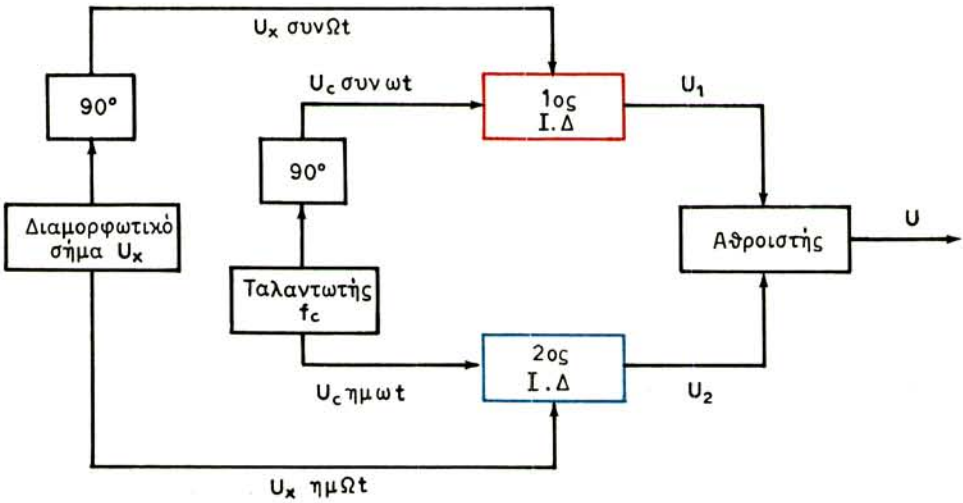


Σχ. 5.11.
Ισοσταθμισμένος διαμορφωτής με τρανζίστορ.

Σημειώνομε ότι, αν θέλομε στην έξοδο του διαμορφωτή να εμφανισθεί και υποτυπώδες φέρον σήμα, δημιουργούμε μικρή ασυμμετρία στα κυκλώματα των δύο κλάδων των διαμορφωτών. Η υποτυπώδης τάση της φέρουσας προκύπτει από τη διαφορά των δύο ανίσων ρευμάτων εξόδου αυτής της συχνότητας.

Ενδιαφέρον παρουσιάζει η κατάπνιξη του φέροντος σήματος και η ανάδειξη του σήματος της μιας πλευρικής ζώνης, χωρίς τη χρησιμοποίηση φίλτρου. Στη μέθοδο αυτή χρησιμοποιούνται δύο ισοσταθμισμένοι διαμορφωτές, που τροφοδοτούνται με σήματα που διαφέρουν κατά 90°. Ένα τέτοιο διάγραμμα φαίνεται στο σχήμα 5.12.

Το σήμα της φέρουσας συχνότητας οδηγείται στον πρώτο ισοσταθμισμένο διαμορφωτή, αφού μετατεθεί κατά 90° και στο δεύτερο, απευθείας, χωρίς μετά-



Σχ. 5.12.
Διάγραμμα αναδείξεως μιας πλευρικής ζώνης.

θεση της φάσεώς του. Το ίδιο και το σήμα ακουστικής συχνότητας: στον πρώτο διαμορφωτή οδηγείται με μετάθεση της φάσεώς του κατά 90° και στον δεύτερο απευθείας.

Για τον πρώτο διαμορφωτή θα έχομε:

$$U_\chi \text{ συν } \Omega t \cdot U_c \text{ συν } \omega t = k \text{ συν } \Omega t \cdot \text{συν } \omega t$$

όπου για απλότητα λογαριασμών υποθέτομε ότι είναι: $U_\chi \cdot U_c = k$ και αρχική φάση $\varphi = 0$.

Για το δεύτερο διαμορφωτή θα είναι:

$$U_\chi \text{ ημ } \Omega t \cdot U_c \text{ ημ } \omega t = k \text{ ημ } \Omega t \cdot \text{ημ } \omega t$$

Στις εξόδους των διαμορφωτών θα έχομε, αντίστοιχα:

$$U_1 = k \text{ συν } \Omega t \cdot \text{συν } \omega t = \frac{k}{2} \text{ συν } (\omega - \Omega)\, t + \frac{k}{2} \text{ συν } (\omega + \Omega)\, t$$

$$U_2 = \quad k \text{ ημ } \Omega t \cdot \text{ημ } \omega t = \frac{k}{2} \text{ συν } (\omega - \Omega)\, t - \frac{k}{2} \text{ συν } (\omega + \Omega)\, t$$

Τα δύο σήματα οδηγούνται στον αθροιστή και στην έξοδό του εμφανίζεται το άθροισμα:

$$U = U_1 + U_2 = k \text{ συν } (\omega - \Omega)\, t$$

που είναι σήμα της κάτω πλευρικής ζώνης χωρίς τη φέρουσα.

Αν η μετάθεση της φάσεως κατά 90° του διαμορφωτικού σήματος U_x ισχύσει για το δεύτερο διαμορφωτή, καταργείται η κάτω πλευρική ζώνη και αναδεικνύεται η άνω, επειδή θα είναι:

$$U_1 = k\,\eta\mu\,\Omega t \cdot \sigma\upsilon\nu\,\omega t = \frac{k}{2}\,\eta\mu\,(\Omega + \omega)\,t + \frac{k}{2}\,\eta\mu\,(\Omega - \omega)\,t =$$

$$= \frac{k}{2}\,\eta\mu\,(\omega + \Omega)\,t - \frac{k}{2}\,\eta\mu\,(\omega - \Omega)\,t$$

$$U_2 = k\,\eta\mu\,\omega t \cdot \sigma\upsilon\nu\,\omega t = \frac{k}{2}\,\eta\mu(\omega + \Omega)\,t + \frac{k}{2}\,\eta\mu\,(\omega - \Omega)\,t$$

και επομένως: $U = U_1 + U_2 = k\,\eta\mu\,(\omega + \Omega)\,t$

5.8 Διαμορφωτές συχνότητας και φάσεως.

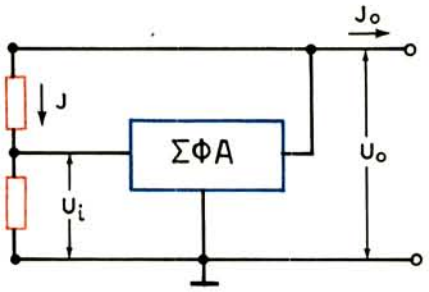
Στη διαμόρφωση συχνότητας, ο διαμορφωτής ενεργεί κατευθείαν στον ταλαντωτή του πομπού, μεταβάλλοντας ένα από τα στοιχεία (L ή C) του κυκλώματος ταλαντώσεων, που ορίζουν τη συχνότητα ηρεμίας f_o.

Η διαμόρφωση συχνότητας εξασφαλίζεται με διάφορα κυκλώματα, που έχουν και διαφορετική αρχή λειτουργίας, όπως κυκλώματα με μικρόφωνο πυκνωτή, με δίοδο μεταβλητής χωρητικότητας (varicap), με στοιχείο (τρανζίστορ) φαινόμενης αντιστάσεως κ.ά. Περισσότερο στην πράξη χρησιμοποιείται το στοιχείο φαινόμενης αντιστάσεως (ΣΦΑ) με το οποίο και θα ασχοληθούμε.

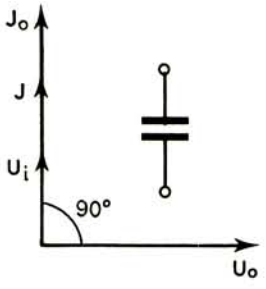
Στην ουσία πρόκειται για τρανζίστορ κατάλληλα συνδεσμολογημένο, ώστε να συμπεριφέρεται σαν χωρητικότητα ή αυτεπαγωγή. Το τρανζίστορ αυτό συνδέεται παράλληλα στο κύκλωμα ταλαντώσεων του ταλαντωτή και ανάλογα με το χαρακτήρα συμπεριφοράς του (χωρητικό ή αυτεπαγωγικό) προκαλεί μεταβολή του C ή L του κυκλώματος αυτού, με αποτέλεσμα να μεταβάλλεται η παραγόμενη συχνότητα.

Το κύκλωμα ενός στοιχείου φαινόμενης αντιστάσεως, σε γενική μορφή, φαίνεται στο σχήμα 5.13. Μεταξύ εξόδου και εισόδου του στοιχείου συνδέεται μια αντίσταση Z_1 και μεταξύ εισόδου και γης μια άλλη Z_2. Η Z_1 εκλέγεται πάντοτε να είναι πολύ μεγαλύτερη από τη Z_2 (συνήθως είναι $Z_1 >> 5\,Z_2$) και η μία από τις δύο είναι φανταστική (χωρητική ή επαγωγική). Υπάρχουν τέσσερις δυνατοί συνδυασμοί αντιστάσεων Z_1 και Z_2:

$Z_1 = X_c$	$Z_2 = R$
$Z_1 = X_L$	$Z_2 = R$
$Z_1 = R$	$Z_2 = X_c$
$Z_1 = R$	$Z_2 = X_L$



Σχ. 5.13.
Διάγραμμα στοιχείου φαινόμενης αντιστάσεως.



Σχ. 5.14.
Διανυσματικό διάγραμμα μεγεθών στοιχείου φαινόμενης αντίστασης με χωρητική συμπεριφορά.

Από τους συνδυασμούς αυτούς θα εξετάσομε τον πρώτο, δηλαδή όταν είναι $Z_1 = X_c$ και $Z_2 = R$.

Στην έξοδο του στοιχείου εμφανίζεται η τάση U_o (σχ. 5.13), η οποία προκαλεί την κυκλοφορία ενός ρεύματος J μέσα από τη χωρητική αντίσταση $Z_1 = X_c = 1/\omega C$ και την ωμική αντίσταση $Z_2 = R$. Εφόσον είναι $1/\omega C >> R$ το ρεύμα J θα προπορεύεται από την τάση U_o κατά 90° περίπου (βλ. διανυσματικό διάγραμμα του σχήματος 5.14) και θα δίνεται από τη σχέση:

$$J = \frac{U_o}{X_c} = \omega C U_o$$

Το ρεύμα αυτό διαρρέει την αντίσταση R και δημιουργεί τη συμφασική πτώση τάσεως U_i με τιμή:

$$U_i = RJ = \omega CRU_o$$

Η τάση U_i εφαρμόζεται σαν διέγερση στο στοιχείο και προκαλεί την εμφάνι-

ση εναλλασσόμενου ρεύματος εξόδου J_o, που είναι συμφασικό με την τάση U_i και εκφράζεται από τη σχέση:

$$J_o = SU_i = \omega SCRU_o$$

όπου: S είναι η κλίση της χαρακτηριστικής του στοιχείου.

Όπως φαίνεται στο διανυσματικό διάγραμμα του σχήματος 5.14, μεταξύ της τάσεως U_o και του ρεύματος J_o υπάρχει διαφορά φάσεως 90° και προπορεύεται το ρεύμα. Αυτό σημαίνει ότι το στοιχείο συμπεριφέρεται σαν χωρητική αντίσταση με τιμή που προκύπτει από την τελευταία σχέση και είναι:

$$X_c = \frac{U_o}{J_o} = \frac{1}{\omega SCR}$$

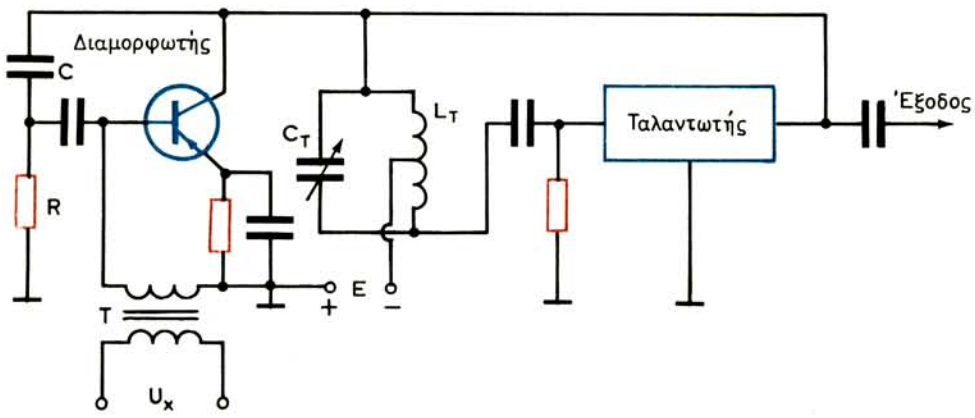
Το στοιχείο έχει ισοδύναμη χωρητικότητα:

$$C_i = SCR \qquad (5.26)$$

από όπου φαίνεται ότι η τιμή της μπορεί να μεταβληθεί με μεταβολή της κλίσεως S της χαρακτηριστικής του στοιχείου. Στην πράξη, η μεταβολή αυτή γίνεται με τη βοήθεια της διαμορφωτικής τάσεως ακουστικής συχνότητας, που εφαρμόζεται στην είσοδο του στοιχείου.

Με την ίδια μεθοδολογία μπορούν να εξετασθούν και οι υπόλοιποι συνδυασμοί των αντιστάσεων Z_1 και Z_2 του στοιχείου.

Ένα κύκλωμα διαμορφώσεως συχνότητας με τρανζίστορ φαινόμενης αντιστάσεως χωρητικής συμπεριφοράς φαίνεται στο σχήμα 5.15. Η τάση υψηλής συχνότητας U_o, που παράγεται στο κύκλωμα L_T C_T του ταλαντωτή, εφαρμόζεται στα



Σχ. 5.15.

Κύκλωμα διαμορφώσεως συχνότητας με τρανζίστορ φαινόμενης αντιστάσεως χωρητικής συμπεριφοράς.

άκρα του συστήματος RC και στα άκρα του τρανζίστορ. Η διαμορφωτική τάση ακουστικής συχνότητας U_χ, μέσα από το μετασχηματιστή Τ, εφαρμόζεται στην είσοδο του τρανζίστορ και προκαλεί μεταβολή της τάσεως πολώσεως της βάσεώς του. Η μεταβολή της πολώσεως δημιουργεί αντίστοιχη μεταβολή της κλίσεως S της χαρακτηριστικής του τρανζίστορ, επομένως και της ισοδύναμης χωρητικότητάς του C_i.

Επειδή η χωρητικότητα αυτή συνδέεται παράλληλα στη χωρητικότητα C_T του ταλαντωτή, μεταβάλλεται και η τελευταία, με αποτέλεσμα να προκαλείται μεταβολή της παραγόμενης συχνότητας στο ρυθμό της συχνότητας του διαμορφωτικού ακουστικού σήματος. Έτσι, ο ταλαντωτής παράγει τάση διαμορφωμένη κατά συχνότητα.

Μπορούμε να συνδέσομε τη σχετική μεταβολή της συχνότητας $\Delta\omega / \omega_o$ με την απαιτούμενη σχετική μεταβολή της χωρητικότητας ή της αυτεπαγωγής του κυκλώματος ταλαντώσεων του ταλαντωτή.

Συμβολίζοντας με C_o την αρχική χωρητικότητα C_T ($C_o = C_T$) του κυκλώματος ταλαντώσεων και με ΔC τη μεταβολή της και θεωρώντας ότι η παραγόμενη συχνότητα ω_o δεν επηρεάζεται από άλλα στοιχεία του κυκλώματος, θα έχομε:

$$\omega_o = \frac{1}{\sqrt{LC_o}}$$

$$\omega_o + \Delta\omega = \frac{1}{\sqrt{L(C_o + \Delta C)}} = \frac{1}{\sqrt{LC_o}\sqrt{1 + \frac{\Delta C}{C_o}}} = \frac{\omega_o}{\sqrt{1 + \frac{\Delta C}{C_o}}}$$

όπου $L = L_T$.

Διαιρώντας την τελευταία σχέση με ω_o, προκύπτει:

$$1 + \frac{\Delta\omega}{\omega_o} = \frac{1}{\sqrt{1 + \frac{\Delta C}{C_o}}}$$

από όπου:

$$\frac{\Delta C}{C_o} = -\frac{\frac{2\Delta\omega}{\omega_o} + \left(\frac{\Delta\omega}{\omega_o}\right)^2}{\left(1 + \frac{\Delta\omega}{\omega_o}\right)^2} \qquad (5.27)$$

και

$$\frac{\Delta\omega}{\omega_o} = \frac{1}{\sqrt{1 + \frac{\Delta C}{C_o}}} - 1 \qquad (5.28)$$

Η θετική αύξηση της χωρητικότητας $\Delta C > 0$ αντιστοιχεί σε αρνητική αύξηση της συχνότητας $\Delta\omega$ και αντίστροφα.

Κατά την εκπομπή ομιλίας και μουσικής με διαμόρφωση συχνότητας στα υπερβραχέα κύματα, η σχετική μεταβολή της συχνότητας είναι πολύ μικρή και συγκρινόμενη με τη μονάδα μπορεί να παραληφθεί. Έτσι, η σχέση (5.27) παίρνει τη μορφή:

$$\frac{\Delta C}{C_o} = -\frac{2\Delta\omega}{\omega_o} + \left(\frac{\Delta\omega}{\omega_o}\right)^2 = -\frac{\Delta\omega}{\omega_o}\left(2 + \frac{\Delta\omega}{\omega_o}\right)$$

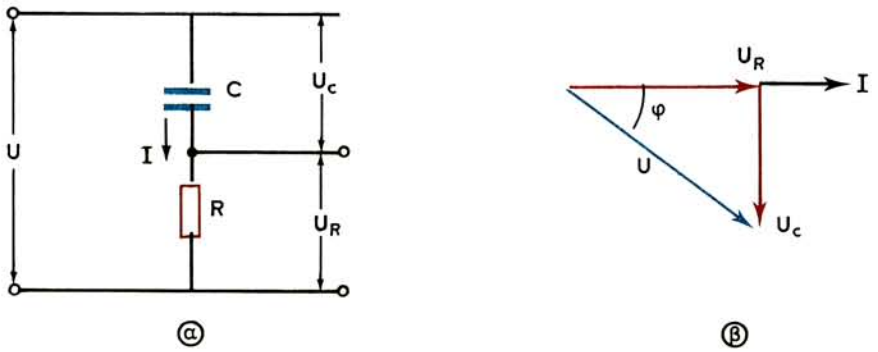
ή
$$\frac{\Delta C}{C_o} = -\frac{2\Delta\omega}{\omega_o} \qquad (5.29)$$

από την οποία έχομε:
$$\frac{\Delta\omega}{\omega_o} = -\frac{1}{2}\frac{\Delta C}{C_o} \qquad (5.30)$$

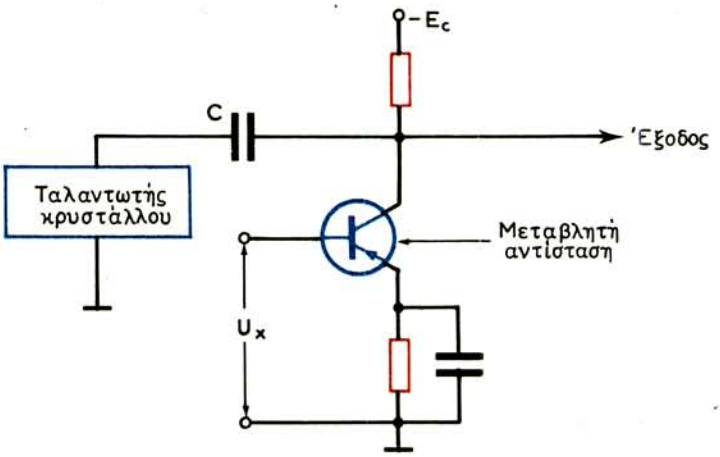
Από τις σχέσεις (5.29) και (5.30) φαίνεται ότι με μικρές σχετικές μεταβολές της συχνότητας, η $\Delta\omega$ και η ΔC συνδέονται μεταξύ τους γραμμικά. Επομένως, για να έχομε γραμμική διαμόρφωση συχνότητας, η μεταβολή της χωρητικότητας του κυκλώματος ταλαντώσεων (ή της αυτεπαγωγής) πρέπει να γίνεται με νόμο, που να συμπίπτει με το νόμο μεταβολής της διαμορφωτικής τάσεως.

Οι πομποί με διαμόρφωση συχνότητας δεν μπορούν να διαθέτουν ταλαντωτή με κρύσταλλο, γι' αυτό παρουσιάζουν το μειονέκτημα της μεταβολής της συχνότητας ηρεμίας από διάφορες αιτίες. Αν χρειάζεται σταθερότητα της κεντρικής φέρουσας συχνότητας, χρησιμοποιείται η διαμόρφωση φάσεως (έμμεση διαμόρφωση συχνότητας), που επιτρέπει τη χρήση ταλαντωτή κρυστάλλου.

Η αρχή λειτουργίας ενός διαμορφωτή φάσεως φαίνεται στο σχήμα 5.16. Αν στα άκρα ενός κυκλώματος σειράς RC εφαρμοσθεί εναλλασόμενη τάση U, το



Σχ. 5.16.
Μεταβολή φάσεως μεταξύ τάσεων.



Σχ. 5.17.
Κύκλωμα διαμορφωτή φάσεως.

ρεύμα I θα προπορεύεται από την τάση αυτή κατά γωνία φ (σχ. 5.16), που δίνεται από τη σχέση:

$$\varepsilon\varphi\ \varphi = \frac{U_C}{U_R} = \frac{X_C I}{RI} = \frac{X_C}{R} = \frac{1}{\omega CR}\ .$$

Από τη σχέση αυτή, φαίνεται ότι με μεταβολή της αντιστάσεως R (ή της χωρητικότητας C) μπορεί να μεταβληθεί η φασική γωνία φ. Αν η αντίσταση μεταβληθεί στο ρυθμό του διαμορφωτικού ακουστικού σήματος, στον ίδιο ρυθμό θα μεταβάλλεται και η γωνία φ μεταξύ της τάσεως U (τάσεως εισόδου) και της τάσεως U_R (τάσεως εξόδου). Έτσι μπορούμε να έχομε διαμόρφωση φάσεως.

Σαν μεταβλητή αντίσταση στο ρυθμό του διαμορφωτικού σήματος U_x μπορεί να χρησιμοποιηθεί η αντίσταση εξόδου ενός τρανζίστορ, που συνδέεται όπως στο σχήμα 5.17. Η διαμορφωτική τάση U_x ενεργεί στη βάση του τρανζίστορ.

Οι πομποί με διαμόρφωση φάσεως έχουν το μειονέκτημα της ανάγκης αλλαγής κρυστάλλου για κάθε συχνότητα εκπομπής. Επίσης, η απόκλιση συχνότητας, που προκαλείται με τη μεταβολή της φάσεως, είναι πολύ μικρότερη από εκείνη που προκύπτει με άμεση διαμόρφωση συχνότητας. Για την αύξηση της αποκλίσεως συχνότητας χρησιμοποιείται μεγαλύτερος αριθμός βαθμίδων πολλαπλασιασμού συχνότητας από ό,τι στους πομπούς διαμορφώσεως συχνότητας.

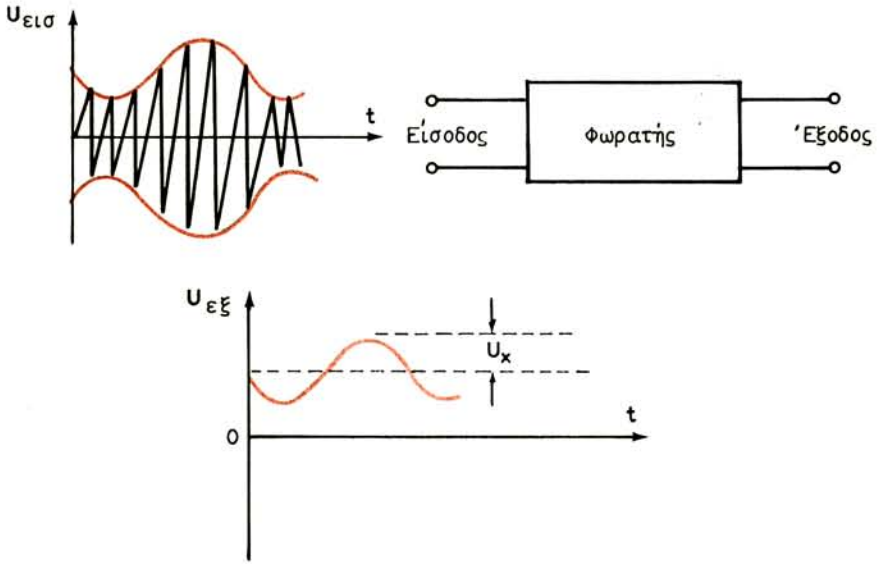
5.9 Η λειτουργία της φωράσεως πλάτους.

Η διεργασία μετασχηματισμού διαμορφωμένων ταλαντώσεων σε φάσμα συχνοτήτων ωφέλιμου σήματος ονομάζεται ***φώραση*** ή ***αποδιαμόρφωση.*** Η διάτα-

ξη με την οποία επιτυγχάνεται η διεργασία της φωράσεως ονομάζεται ***φωρατής*** (detector). Με τη φώραση λαμβάνονται στο δέκτη σήματα, των οποίων η μορφή επαναλαμβάνει τη μορφή των διαμορφωτικών ακουστικών σημάτων. Ανάλογα με το είδος της διαμορφώσεως έχομε φώραση πλάτους, συχνότητας, φάσεως κ.ά. Η λειτουργία της φωράσεως οποιουδήποτε είδους στηρίζεται στη χρησιμοποίηση ηλεκτρονικού στοιχείου, που δεν έχει γραμμική χαρακτηριστική, δηλαδή στοιχείου, του οποίου το ρεύμα εξόδου δεν εξαρτάται γραμμικά από την τάση εισόδου.

Ας δούμε πρώτα την αρχή λειτουργίας των φωρατών πλάτους. Με τη φώραση συχνότητας και φάσεως θα ασχοληθούμε στην παράγραφο 5.15.

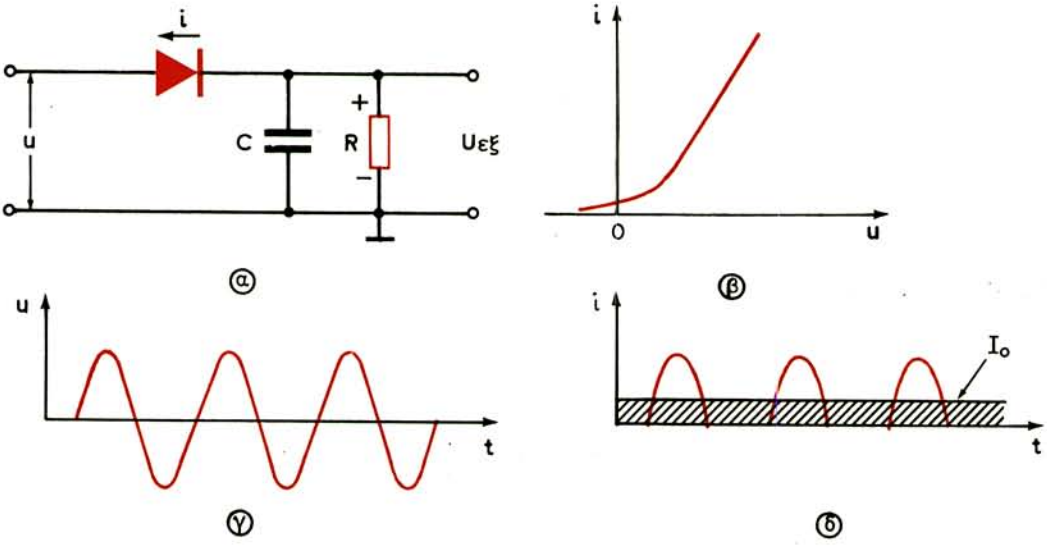
Αν στην είσοδο του φωρατή του σχήματος 5.18 εφαρμοσθεί σήμα υψηλής συχνότητας διαμορφωμένο κατά πλάτος, στην έξοδο της διατάξεως θα εμφανισθεί ταλάντωση χαμηλής συχνότητας.



Σχ. 5.18.
Διάγραμμα φωράσεως πλάτους.

Για τη φώραση χρησιμοποιούνται δίοδοι [σχ. 5.19(α)] ή τρανζίστορ, δηλαδή στοιχεία που έχουν μονόπλευρη (μονοπολική) αγωγιμότητα και μη γραμμική χαρακτηριστική [σχ. 5.19(β)].

Ο διοδικός φωρατής του σχήματος 5.19 είναι ο πιο απλός και πιο συνηθισμένος φωρατής πλάτους. Αν στην είσοδο του φωρατή (μεταξύ ανόδου και γης) εφαρμοσθεί τάση υψηλής συχνότητας με σταθερό πλάτος U_c και της μορφής [σχ. 5.19(γ)]:



Σχ. 5.19.

Κύκλωμα διοδικού φωρατή (α), στατική χαρακτηριστική διόδου (β), τάση στην είσοδο του φωρατή (γ), ρεύμα διόδου (δ).

$$u = U_c \text{ ημ } \omega t$$

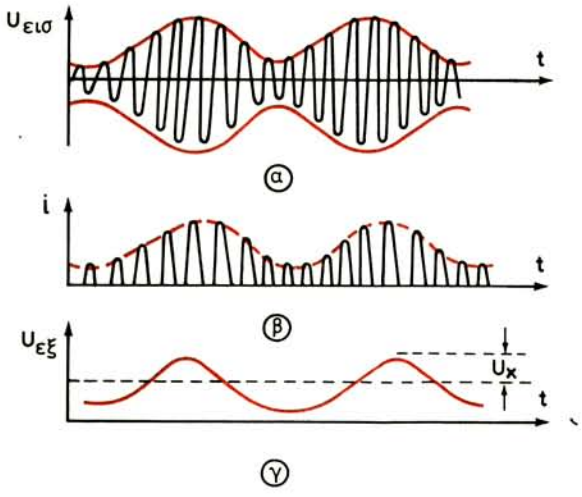
η δίοδος θα διαρρέεται από ρεύμα παλμών με πλάτος χρονικά αμετάβλητο [σχ. 5.19(δ)]. Το παλμικό ρεύμα i, που διαρρέει τη δίοδο, μπορεί να παρασταθεί με τη μορφή του αθροίσματος:

$$i = I_o + I_1 \text{ ημ } \omega t + I_2 \text{ ημ } 2\omega t + I_3 \text{ ημ } 3\omega t + \ldots. \qquad (5.31)$$

όπου I_o είναι η συνεχής συνιστώσα, I_1 το πλάτος της πρώτης αρμονικής και I_2, I_3 κλπ. τα πλάτη των ανωτέρων αρμονικών του ρεύματος.

Με την εφαρμογή στην είσοδο του φωρατή διαμορφωμένης τάσεως $U_{εισ}$ υψηλής συχνότητας [σχ. 5.20(α)], η δίοδος διαρρέεται από ρεύμα παλμών i. Το πλάτος των παλμών αυτών μεταβάλλεται κατά το νόμο μεταβολής του πλάτους του διαμορφωμένου σήματος [σχ. 5.20(β)], δηλαδή κατά το νόμο μεταβολής του διαμορφωτικού ακουστικού σήματος. Με τη βοήθεια του φίλτρου RC, που συνδέεται στην έξοδο του φωρατή, η τάση στα άκρα της αντιστάσεως φορτίου μπορεί να απαλλαγεί από τις συνιστώσες υψηλής συχνότητας και να πάρει τη μορφή του σχήματος 5.20(γ).

Η τάση στην έξοδο του φωρατή δεν περιέχει πρακτικά συνιστώσες υψηλής συχνότητας, όταν η αντίσταση του πυκνωτή του φίλτρου RC είναι πολύ μικρή για ρεύματα υψηλών συχνοτήτων και πολύ μεγάλη για ρεύμα χαμηλής συχνότητας, σε σύγκριση με την αντίσταση φορτίου R, δηλ. όταν ισχύει η ανισότητα:



Σχ. 5.20.
Κυματομορφές τάσεων και ρευμάτων κατά τη φώραση διαμορφωμένου σήματος.

$$\frac{1}{\omega C} << R << \frac{1}{\Omega C} \tag{5.32}$$

Στην περίπτωση αυτή, οι συνιστώσες υψηλής συχνότητας του ρεύματος της διόδου βραχυκυκλώνονται από τον πυκνωτή και δεν δημιουργούν σημαντική τάση στα άκρα της αντιστάσεως φορτίου R.

Οι φωρατές χαρακτηρίζονται:

1) Από το ***συντελεστή μεταφοράς τάσεως*** K_d, που είναι ίσος με το λόγο του πλάτους της τάσεως χαμηλής συχνότητας στην έξοδο του φωρατή U_Ω προς τη μεταβολή του πλάτους του φέροντος κύματος $\Delta U_m = mU_c$, δηλαδή (βλ. σχέση 5.1):

$$K_d = \frac{U_\Omega}{\Delta U_m} = \frac{U_\Omega}{mU_c} \tag{5.33}$$

όπου U_c το πλάτος του φέροντος σήματος και m ο συντελεστής διαμορφώσεως.

2) Από την ***αντίσταση εισόδου*** R_i, που καθορίζεται ως ο λόγος της τάσεως υψηλής συχνότητας U_m, που εφαρμόζεται στο φωρατή, προς το αντίστοιχο ρεύμα I_m που τον διαρρέει, δηλαδή:

$$R_i = \frac{U_m}{I_m} \tag{5.34}$$

Η αντίσταση εισόδου του φωρατή παραλληλίζει την αντίσταση εξόδου της προηγούμενης βαθμίδας και επομένως υποβιβάζει την τιμή της.

3) Από το ***συντελεστή αρμονικών παραμορφώσεων γ,*** που παριστάνεται από τη σχέση:

$$\gamma = \frac{\sqrt{U_{\Omega 2}^2 + U^2{}_{\Omega 3} + \ldots}}{U_{\Omega 1}} \qquad (5.35)$$

4) Από το ***συντελεστή διηθήσεως δ*** της τάσεως υψηλής συχνότητας, που δίνεται από το λόγο του πλάτους της τάσεως αυτής στην έξοδο του φωρατή $U_{\omega.\varepsilon\xi}$ προς το πλάτος της στην είσοδο $U_{\omega.\varepsilon\iota\sigma}$ δηλαδή:

$$\delta = \frac{U_{\omega.\varepsilon\xi}}{U_{\omega.\varepsilon\iota\sigma}} \qquad (5.36)$$

Ο συντελεστής αυτός πρέπει να είναι όσο το δυνατό μικρότερος, επειδή η διέλευση τάσεως υψηλής συχνότητας στις ενισχυτικές βαθμίδες ακουστικής συχνότητας που ακολουθούν το φωρατή, μπορεί να προκαλέσει την αυτοταλάντωση του δέκτη.

5.10 Γραμμική φώραση πλάτους.

Αν δεχθούμε ότι η χαρακτηριστική μιας διόδου είναι ευθύγραμμη (ιδανική χαρακτηριστική), το ρεύμα που διαρρέει τη δίοδο είναι γραμμική συνάρτηση της τάσεως που εφαρμόζεται στα άκρα της.

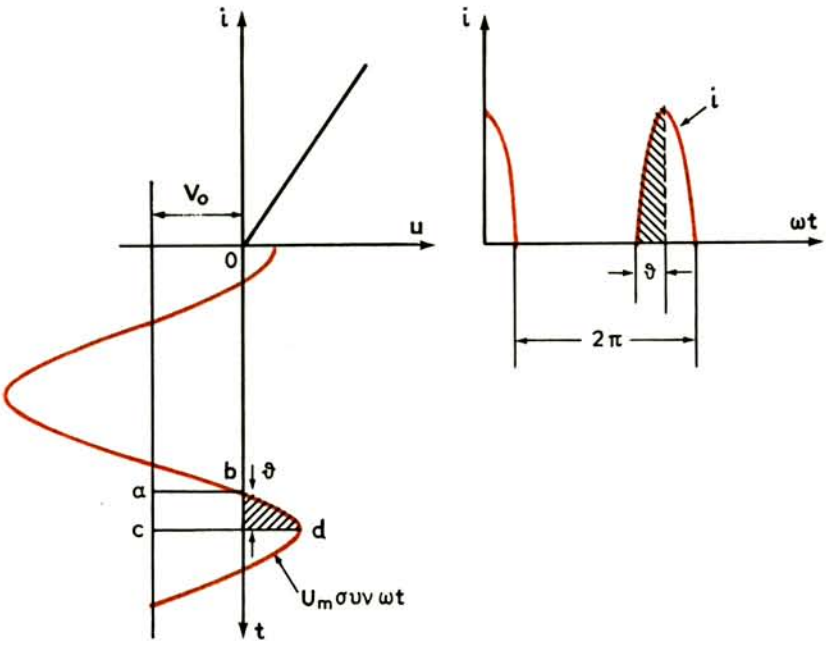
Υποθέτομε ότι η δίοδος του σχήματος 5.19(α) έχει ευθύγραμμη χαρακτηριστική και εφαρμόζεται στην είσοδο του φωρατή μια τάση της μορφής (σχ. 5.21):

$$u = U_m \text{ συν } \omega t$$

Η συνεχής συνιστώσα του ρεύματος της διόδου I_o (σχέση 5.31) δημιουργεί στα άκρα της αντιστάσεως φορτίου R πτώση τάσεως V_o, της οποίας η πολικότητα φαίνεται στο σχήμα 5.19(α). Η τάση αυτή ελαττώνει το δυναμικό της ανόδου της διόδου και μετατοπίζει το σημείο λειτουργίας της (σημείο 0 στο σχήμα 5.21) προς τα αριστερά. Η στιγμιαία τιμή της τάσεως, που εφαρμόζεται τώρα στη δίοδο, καθορίζεται από τη σχέση:

$$u = U_m \text{ συν } \omega t - V_o = U_m \left(\text{συν } \omega t - \frac{V_o}{U_m} \right) \qquad (5.37)$$

Η μετατόπιση του σημείου λειτουργίας προς τα αριστερά αναγκάζει τη δίοδο να άγει στη διάρκεια ενός τμήματος θετικής εναλλαγής της τάσεως εισόδου, δηλαδή η γωνία αγωγιμότητας της διόδου θ είναι μικρότερη των 90°.



Σχ. 5.21.
Διεργασία φωράσεως αδιαμόρφωτου ημιτονικού σήματος.

Από το σχήμα 5.21 προκύπτει ότι:

$$\text{συν}\,\theta = \frac{ab}{cd} = \frac{V_o}{U_m} \qquad (5.38)$$

γι' αυτό η σχέση (5.37) μπορεί να πάρει τη μορφή:

$$u = U_m\,(\text{συν}\,\omega t - \text{συν}\,\theta)$$

Η στιγμιαία τιμή του ρεύματος που διαρρέει το φωρατή θα είναι:

$$i = S \cdot u = SU_m\,(\text{συν}\,\omega t - \text{συν}\,\theta)$$

όπου S η κλίση της χαρακτηριστικής της διόδου.

Μπορεί να αποδειχθεί ότι η μέση τιμή (συνεχής συνιστώσα) του ρεύματος της διόδου είναι:

$$I_o = \frac{SU_m}{\pi}\,(\text{ημ}\,\theta - \theta\,\text{συν}\,\theta) \qquad (5.39)$$

και επομένως η πτώση τάσεως V_o στην αντίσταση φορτίου R ισούται με:

$$V_o = RI_o = \frac{SRU_m}{\pi} (\eta\mu\,\theta - \theta\,\sigma\upsilon\nu\,\theta) \qquad (5.40)$$

Η σχέση (5.38) μπορεί τώρα να πάρει τη μορφή:

$$\frac{\eta\mu\,\theta - \theta\,\sigma\upsilon\nu\,\theta}{\sigma\upsilon\nu\,\theta} = \frac{\pi}{SR} \qquad (5.41)$$

ή

$$\varepsilon\varphi\,\theta - \theta = \frac{\pi}{SR} \qquad (5.42)$$

Έτσι, η γωνία αγωγιμότητας θ καθορίζεται μόνο από την αντίσταση του φορτίου R και την κλίση της διόδου S και δεν εξαρτάται από το πλάτος της εφαρμοζόμενης τάσεως.

Στην περίπτωση διαμορφωμένου σήματος, στο φωρατή θα ενεργεί τάση με πλάτος:

$$U_m = U_c + mU_c\,\sigma\upsilon\nu\,\Omega t = U_c\,(1 + m\,\sigma\upsilon\nu\,\Omega t)$$

Εισάγοντας τη σχέση αυτή στην (5.39), παίρνομε τη μεταβολή της μέσης τιμής του ρεύματος της διόδου:

$$\Delta I_o = \frac{SU_c}{\pi} (\eta\mu\,\theta - \theta\,\sigma\upsilon\nu\,\theta) + \frac{S\,.\,mU_c}{\pi} (\eta\mu\,\theta - \theta\,\sigma\upsilon\nu\,\theta)\,\sigma\upsilon\nu\,\Omega t \qquad (5.43)$$

Το πρώτο μέλος του δεξιού τμήματος της εξισώσεως αυτής, που δεν εξαρτάται από τη συχνότητα, είναι η συνεχής συνιστώσα και το δεύτερο, η εναλλασσόμενη συνιστώσα του ρεύματος της διόδου, δηλαδή η βασική αρμονική του διαμορφωτικού σήματος με συχνότητα Ω.

Η έλλειψη υψηλοτέρων αρμονικών ακουστικής συχνότητας στη σύνθεση του ρεύματος της διόδου δείχνει και έλλειψη αρμονικών παραμορφώσεων. Η φώραση αυτή ονομάζεται ***γραμμική φώραση*** και μπορεί να εξασφαλισθεί, όταν το πλάτος της τάσεως, που εφαρμόζεται στο φωρατή, είναι σχετικά μεγάλο (μεγαλύτερο από 0,3 V). Στην περίπτωση αυτή, το αρχικό καμπυλόγραμμο τμήμα της χαρακτηριστικής της διόδου [σχ. 5.19(β)] μπορεί να παραλειφθεί και η χαρακτηριστική να θεωρηθεί ευθύγραμμη.

Από τη σχέση (5.43) προκύπτει ότι το πλάτος της πρώτης αρμονικής του ρεύματος της διόδου είναι:

$$I_{\Omega 1} = \frac{S\,.\,mU_c}{\pi} (\eta\mu\,\theta - \theta\,\sigma\upsilon\nu\,\theta)$$

και επομένως στην αντίσταση φορτίου R θα έχομε πλάτος τάσεως ακουστικής συχνότητας ίσο με:

$$U_\Omega = R \cdot I_{\Omega 1} = R \frac{S \cdot mU_c}{\pi} (\eta\mu\,\theta - \theta\,\sigma\upsilon\nu\,\theta)$$

Από τη σχέση (5.41) έχομε: $\frac{SR}{\pi} (\eta\mu\,\theta - \theta\,\sigma\upsilon\nu\,\theta) = \sigma\upsilon\nu\,\theta$

οπότε τελικά είναι: $U_\Omega = mU_c\,\sigma\upsilon\nu\,\theta = U_m\,\sigma\upsilon\nu\,\theta$ (5.44)

Σύμφωνα με τη σχέση (5.33), ο συντελεστής μεταφοράς τάσεως του γραμμικού φωρατή, είναι ίσος με:

$$K_d = \frac{U_\Omega}{mU_c} = \sigma\upsilon\nu\,\theta \qquad (5.45)$$

από όπου προκύπτει το συμπέρασμα ότι ο συντελεστής K_d είναι ανεξάρτητος από το πλάτος της εφαρμοζόμενης στο φωρατή τάσεως.

Ο συντελεστής K_d εξαρτάται από τη συχνότητα των διαμορφωτικών σημάτων. Πραγματικά, η αντίσταση φορτίου του φωρατή είναι σύνθετη και μόνο στα όρια περιορισμένης ζώνης συχνοτήτων, για την οποία ισχύει η ανισότητα $R<<1/\Omega_\upsilon C$, μπορεί να θεωρηθεί πραγματική και ίση με R.

Η σύνθετη αντίσταση του φορτίου RC του φωρατή για τις υψηλότερες συχνότητες Ω_υ του διαμορφωτικού σήματος είναι:

$$Z = \frac{R\left(\frac{1}{j\Omega_\upsilon C}\right)}{R + \left(\frac{1}{j\Omega_\upsilon C}\right)} = \frac{R}{1 + j\Omega_\upsilon CR}$$

η: $$|Z| = \frac{R}{\sqrt{1 + (\Omega_\upsilon CR)^2}}$$

Επομένως, η αντίσταση φορτίου για τις συχνότητες αυτές, είναι μικρότερη από την R, με αποτέλεσμα να είναι χαμηλότερη η τάση U_Ω και μικρότερος ο συντελεστής K_d.

Από λεπτομερή ανάλυση της λειτουργίας του φωρατή αποδεικνύεται ότι ο συντελεστής αρμονικών παραμορφώσεων στην περιοχή των υψηλοτέρων συχνοτήτων του ακουστικού σήματος υπολογίζεται από τη σχέση:

$$M_v = \sqrt{1 + (\Omega_v C R_o)^2} \qquad (5.46)$$

όπου εδώ είναι: $$R_o = \frac{R_d \cdot R}{R_d + R}$$

και R_d η εσωτερική αντίσταση της διόδου.

Ας δούμε τώρα το θέμα της αντιστάσεως εισόδου R_i του φωρατή που, όπως είπαμε, παραλληλίζει και επομένως υποβιβάζει την αντίσταση εξόδου της προηγούμενης βαθμίδας.

Από το ισοδύναμο κύκλωμα του σχήματος 5.22 έχομε:

$$U_m = U_d + U_\Omega$$

Για να πλησιάζει η τάση εξόδου την τιμή της τάσεως εισόδου, θα πρέπει η πτώση τάσεως στα άκρα της διόδου U_d να είναι ασήμαντη ή, πράγμα ισοδύναμο, να ισχύει η ανισότητα $R >> R_d$. Στην περίπτωση αυτή έχομε:

$$U_\Omega \approx U_m \qquad \text{ή (σχέση 5.44):} \qquad \frac{U_\Omega}{U_m} = \frac{U_\Omega}{mU_c} = \text{συν}\,\theta \approx 1$$

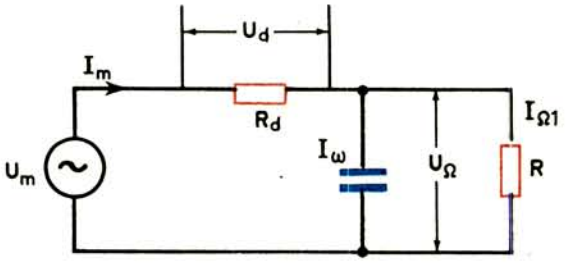
Η συνθήκη αυτή ικανοποιείται με μικρές γωνίες αγωγιμότητας θ. Όταν π.χ. $\theta \leqslant 10\text{-}20°$ θα είναι:

$$\frac{U_\Omega}{U_m} = \text{συν}\,\theta \geqslant 0{,}9$$

Ακόμη χρειάζεται αντίσταση φορτίου $R \approx 100\ R_d$.

Η ισχύς, που απορροφά το κύκλωμα του φωρατή από την πηγή του σήματος,

ισούται με: $$\frac{U_m I_m}{2}$$



Σχ. 5.22.
Ισοδύναμο κύκλωμα φωρατή.

όπου: U_m και I_m οι μέγιστες τιμές των αντιστοίχων μεγεθών.

Εξάλλου, η ισχύς που αποδίδεται στο φορτίο είναι: $U_\Omega \cdot I_{\Omega 1}$

Με $R >> R_d$ όλη η ισχύς, που παρέχει η πηγή του σήματος, εμφανίζεται πρακτικά σαν ωφέλιμη στο φορτίο, δηλαδή:

$$\frac{U_m I_m}{2} \approx U_\Omega I_{\Omega 1}$$

Διαιρούμε το αριστερό και δεξιό μέρος της τελευταίας με U_m^2 και έχομε:

$$\frac{1}{2} \cdot \frac{I_m}{U_m} \approx \frac{U_\Omega}{U_m} \cdot \frac{I_{\Omega 1}}{U_m}$$

Αλλά, είναι: $\frac{I_m}{U_m} = \frac{1}{R_i}$ (σχέση 5.34), $\frac{U_\Omega}{U_m} \approx 1$ και $\frac{I_{\Omega 1}}{U_m} = \frac{1}{R}$

οπότε: $$\frac{1}{2} \cdot \frac{1}{R_i} = 1 \cdot \frac{1}{R}$$

δηλαδή η ζητούμενη αντίσταση εισόδου R_i ισούται με: $R_i = \frac{1}{2} R$

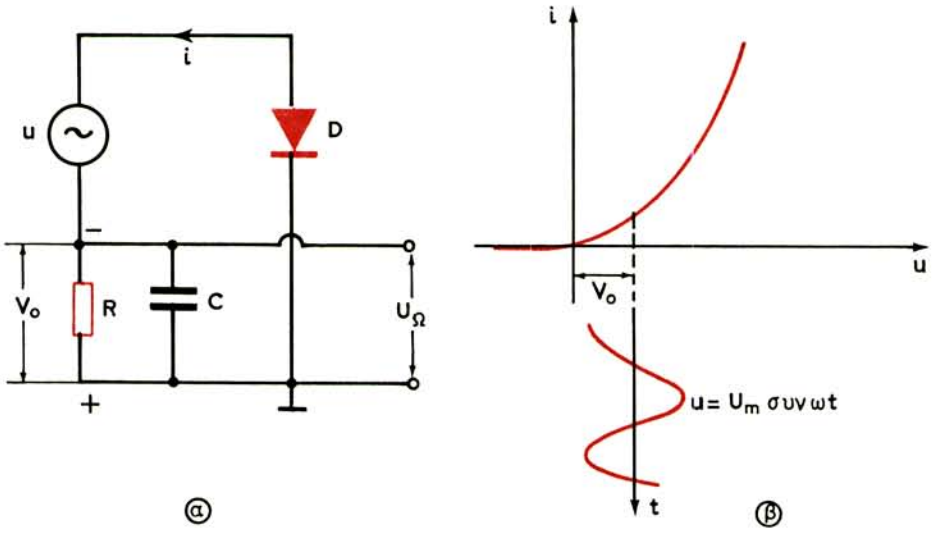
Έτσι, ο γραμμικός φωρατής έχει τα επόμενα βασικά χαρακτηριστικά:

1) Το ρεύμα, που διαρρέει το φωρατή, μεταβάλλεται κατευθείαν ανάλογα προς το πλάτος της εφαρμοζόμενης τάσεως του σήματος.
2) Ο συντελεστής μεταφοράς τάσεως δεν εξαρτάται από το πλάτος της εφαρμοζόμενης τάσεως του σήματος.
3) Η αντίσταση εισόδου του φωρατή εξαρτάται από την αντίσταση του φορτίου του.

5.11 Φώραση του νόμου του τετραγώνου.

Για τη φώραση σημάτων, που έχουν πλάτος μικρότερο από 0,3 V, χρησιμοποιείται κατά κανόνα μόνο το κάτω καμπυλόγραμμο τμήμα της χαρακτηριστικής της διόδου [σχ. 5.23(β)]. Στα όρια αυτού του τμήματος, η εξάρτηση του ρεύματος i, που διαρρέει το φωρατή, από την εφαρμοζόμενη τάση του σήματος u μπορεί να δοθεί προσεγγιστικά από το πολυώνυμο δεύτερου βαθμού:

$$i = I_o + \alpha u + \beta u^2 \qquad (5.47)$$



Σχ. 5.23.
Φώραση του νόμου του τετραγώνου.

όπου: I_o είναι η συνιστώσα του ρεύματος της διόδου.

Η μετατόπιση του σημείου λειτουργίας προς τα δεξιά [σχ. 5.23(β)] γίνεται με την πτώση τάσεως $V_o = RI_o$, αφού τροποποιηθεί το κύκλωμα του σχήματος 5.19(α) και πάρει τη μορφή του σχήματος 5.23(α).

Με την εισαγωγή της αδιαμόρφωτης τάσεως $u = U_m$συν ωt στη σχέση (5.47), θα έχομε:

$$i = I_o + \alpha U_m \text{ συν } \omega t + \beta (U_m \text{ συν } \omega t)^2 = I_o + \alpha U_m \text{συν } \omega t + \beta U_m^2 \text{ συν}^2 \omega t$$

και επειδή είναι:

$$\text{συν}^2 \omega t = \frac{1}{2} + \frac{1}{2} \text{ συν } 2\omega t \qquad (5.48)$$

προκύπτει: $i = I_o + \alpha U_m \text{ συν } \omega t + \dfrac{\beta U_m^2}{2} + \dfrac{\beta U_m^2}{2} \text{ συν } 2\omega t$

Έτσι, το ρεύμα της διόδου, εκτός από τη συνεχή συντιστώσα I_o, περιέχει και τις επόμενες:

$I_\omega = \alpha U_m$ συνιστώστα ρεύματος με υψηλή συχνότητα ω

$I_{2\omega} = \dfrac{\beta U_m^2}{2}$ συνιστώστα ρεύματος με υψηλή συχνότητα 2ω

$$I_\Omega = \frac{6U_m^2}{2}$$ ωφέλιμη συνιστώστα ρεύματος

αφού οι δύο προηγούμενες διαρρέουν από τον πυκνωτή C του φίλτρου RC του φωρατή:

Για διαμορφωμένο σήμα: $U_m = U_c\ (1 + m\ \text{συν}\ \Omega t)$
η ωφέλιμη συνιστώστα του ρεύματος θα είναι:

$$I_\Omega = \frac{6U_c^2}{2}(1 + m\ \text{συν}\ \Omega t)^2 = \frac{6}{2}\ U_c^2\ (1+m^2\ \text{συν}^2\ \Omega t\ +\ 2m\ \text{συν}\ \Omega t)$$

ή, αν λάβομε υπόψη τη σχέση (5.48):

$$I_\Omega = \frac{6}{2}\ U_c^2\ \left(\ 1 + \frac{m^2}{2} + 2m\ \text{συν}\ \Omega t + \frac{m^2}{2}\ \text{συν}\ 2\Omega t\ \right) \qquad (5.49)$$

Το ρεύμα αυτό περιέχει τις συνιστώσες:

$I_{\Omega 1} = 6mU_c^2\ \text{συν}\ \Omega t$ με τη συχνότητα Ω (πρώτη αρμονική) της διαμορφωτικής τάσεως,

$I_{\Omega 2} = \frac{6}{4}m^2U_c^2\ \text{συν}\ 2\Omega t$ με τη συχνότητα 2Ω (δεύτερη αρμονική) της διαμορφωτικής τάσεως,

$\frac{6}{4}\ m^2U_c^2$ = σταθερό μέγεθος που προσαυξάνει τη συνεχή συνιστώσα I_o του ρεύματος της διόδου.

Με έλλειψη διαμορφώσεως (m = 0), δηλαδή όταν στο φωρατή ενεργεί μόνο το σήμα της φέρουσας συχνότητας, η προσαύξηση του ρεύματος της διόδου ισούται με $6U_c^2/2$.

Η παρουσία στο ρεύμα της διόδου της συνιστώσας $I_{\Omega 2}$ συνεπάγεται παραμόρφωση της δεύτερης αρμονικής που, σύμφωνα με τη σχέση (5.35), ισούται με:

$$\gamma = \frac{I_{\Omega 2}}{I_{\Omega 1}} = \frac{\frac{6}{4}\ m^2U_c^2}{6mU_c^2} = \frac{m}{4}$$

δηλαδή 25% του συντελεστή διαμορφώσεως m.

Επειδή, όπως είδαμε, η ωφέλιμη συνιστώσα του ρεύματος της διόδου είναι ανάλογη προς το τετράγωνο του πλάτους της τάσεως εισόδου, η φώραση αυτή ονομάζεται ***φώραση του τετραγώνου***. Κάθε πραγματικός φωρατής, ανεξάρτητα από τον τύπο του κυκλώματος, είναι φωρατής τετραγώνου, όταν στην είσοδό του εφαρμόζεται μικρή τάση (κάτω από 0,3 V).

Ο φωρατής τετραγώνου παρουσιάζει σειρά από ουσιαστικά μειονεκτήματα, που περιορίζουν τη χρησιμοποίησή του. Ανάμεσά τους συγκαταλέγονται οι

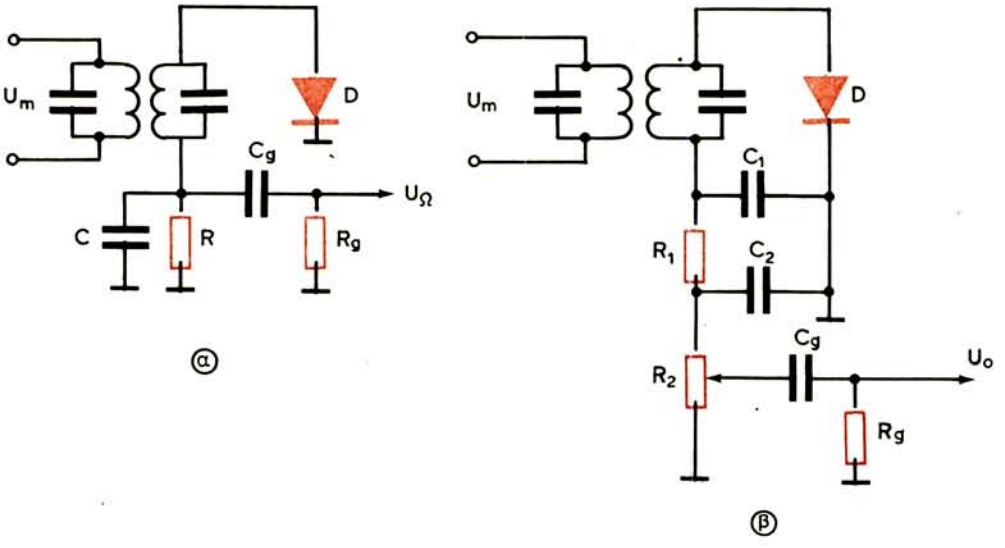
σημαντικές αρμονικές παραμορφώσεις, που είναι ανάλογες προς το βάθος διαμορφώσεως, η μικρή αντίσταση εισόδου και η εξάρτηση του συντελεστή μεταφοράς από το πλάτος του εφαρμοζόμενου στην είσοδο σήματος.

5.12 Κυκλώματα διοδικών φωρατών.

Τα πιο απλά κυκλώματα φωρατών πλάτους κατασκευάζονται με διόδους. Δύο τέτοια κυκλώματα φαίνονται στο σχήμα 5.24. Το διαμορφωμένο σήμα U_m εφαρμόζεται στις διόδους μέσα από συζευγμένα κυκλώματα που είναι συντονισμένα στη φέρουσα συχνότητα. Προκειμένου για δέκτες γενικά, τα συζευγμένα αυτά κυκλώματα συγκροτούν τα φίλτρα ή τους λεγόμενους ***μετασχηματιστές ενδιάμεσης συχνότητας,*** που είναι συντονισμένοι στην ενδιάμεση φέρουσα συχνότητα του δέκτη.

Στο σχήμα 5.24(α) χρησιμοποιείται το απλό φίλτρο RC, που γνωρίσαμε ως τώρα. Δραστικότερο είναι το διπλό φίλτρο R_1C_1 και R_2C_2 του φωρατή του σχήματος 5.24(β). Εδώ, η αντίσταση R του απλού φίλτρου χωρίζεται στις δύο αντιστάσεις R_1 και R_2. Ο χωρισμός αυτός βελτιώνει τη διήθηση (φιλτράρισμα) της ταλαντώσεως υψηλής συχνότητας και ελαττώνει τις αρμονικές παραμορφώσεις.

Τέλος, η αντίσταση R_g των δύο κυκλωμάτων αντιπροσωπεύει την αντίσταση εισόδου της επόμενης βαθμίδας, ενώ ο πυκνωτής C_g δεν επιτρέπει στη συνεχή συνιστώσα του ρεύματος της διόδου να εμφανισθεί στην R_g.



Σχ. 5.24.
Κυκλώματα διοδικών φωρατών πλάτους.

Οι αρμονικές παραμορφώσεις στο διοδικό φωρατή συνδέονται στενά με την εκλογή της αντιστάσεως φορτίου R και της χωρητικότητας C [σχ. 5.24(α)], καθώς και της αντιστάσεως R_g της επόμενης ενισχυτικής βαθμίδας. Οι αρμονικές παραμορφώσεις, που συνδέονται με τη χωρητικότητα C και την αντίσταση R, εμφανίζονται μόνο στην περιοχή των πιο υψηλών συχνοτήτων του διαμορφωτικού σήματος. Αν η σταθερά χρόνου του φορτίου του φωρατή είναι μεγάλη, η εκφόρτιση του πυκνωτή C μέσα από την αντίσταση R αργοπορεί σε σχέση με τις μεταβολές του πλάτους της τάσεως υψηλής συχνότητας, που προκαλούνται από τη διαμόρφωση.

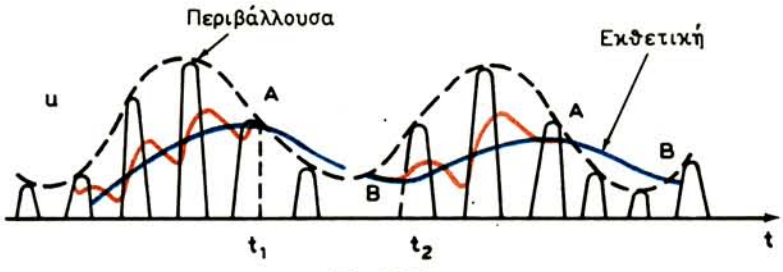
Η μεταβολή της τάσεως u στην έξοδο του φωρατή δεν γίνεται σύμφωνα με την περιβάλλουσα του διαμορφωμένου σήματος, αλλά σύμφωνα με την εκθετική καμπύλη εκφορτίσεως του πυκνωτή AB (σχ. 5.25). Η διαφορά στη μορφή περιβάλλουσας και εκθετικής καμπύλης εκφορτίσεως του πυκνωτή είναι η αιτία εμφανίσεως μη γραμμικών παραμορφώσεων. Στον ενδιάμεσο χρόνο από t_1 έως t_2 η τάση του πυκνωτή C είναι μεγαλύτερη από την τάση της περιβάλλουσας, επειδή ο πυκνωτής δεν προφθαίνει να εκφορτισθεί, γι' αυτό και η δίοδος παραμένει κλειστή (μη αγώγιμη).

Όσο μεγαλύτερος είναι ο συντελεστής διαμορφώσεως m και όσο υψηλότερη η συχνότητα της διαμορφωτικής τάσεως, τόσο σημαντικότερες θα είναι οι μη γραμμικές παραμορφώσεις. Μπορεί να αποδειχθεί, ότι παραμορφώσεις αυτής της μορφής δεν γίνονται αισθητές, αν οι τιμές R και C ικανοποιούν την ανισότητα:

$$RC < \frac{\sqrt{1 - m^2}}{m\Omega_v} \tag{5.50}$$

Αν εκλεγεί η αντίσταση φορτίου R, η χωρητικότητα του πυκνωτή C υπολογίζεται από τη σχέση:

$$C < \frac{\sqrt{1 - m^2}}{mR\Omega_v} \tag{5.51}$$



Σχ. 5.25.
Λειτουργία φωρατή με σύνθετο φορτίο.

Στους πρακτικούς υπολογισμούς δεχόμαστε ότι στις υψηλότερες συχνότητες $\Omega_υ$ του διαμορφωτικού σήματος ο συντελεστής διαμορφώσεως m δεν είναι μεγαλύτερος από 0,6-0,8. Γι' αυτό οι σχέσεις (5.50) και (5.51) μπορούν να πάρουν τη μορφή:

$$RC < \frac{0{,}7 \sim 1{,}5}{\Omega_υ} \tag{5.52}$$

$$C < \frac{0{,}7 \sim 1{,}5}{\Omega_υ R} \tag{5.53}$$

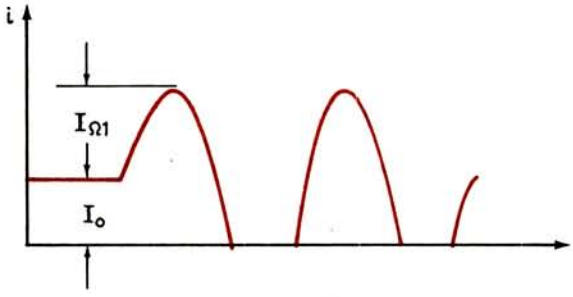
Στην περιοχή των χαμηλοτέρων συχνοτήτων $\Omega_χ$ του διαμορφωτικού σήματος, οι αρμονικές παραμορφώσεις εξαρτώνται από την εκλογή της αντιστάσεως εισόδου R_g της επόμενης ενισχυτικής βαθμίδας. Η αντίσταση αυτή παραλληλίζει την αντίσταση φορτίου R, οπότε η ισοδύναμη αντίσταση φορτίου R_L γίνεται:

$$R_L = \frac{R \cdot R_g}{R + R_g}$$

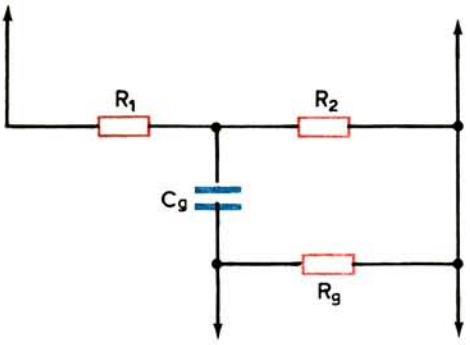
Η αντίσταση R_g εκλέγεται έτσι, ώστε η ισοδύναμη αντίσταση φορτίου R_L να μη γίνεται σημαντικά μικρότερη από την R.

Με μεγάλο υποβιβασμό της R, εξαιτίας του παραλληλισμού της από την R_g, το πλάτος της συνιστώσας του ρεύματος χαμηλής συχνότητας $I_{Ω1}$ μπορεί να γίνει μεγαλύτερο από τη συνεχή συνιστώσα I_o του ρεύματος (σχ. 5.26) και να αποκόπτονται τμήματα των κάτω εναλλαγών του. Η παραμόρφωση του ακουστικού σήματος είναι φανερή.

Το κύκλωμα του φωρατή του σχήματος 5.24(6) επιτρέπει να διατηρηθεί σε αρκετά μεγάλη τιμή η ολική αντίσταση φορτίου και να περιορισθεί η δράση της αντιστάσεως εισόδου της επόμενης βαθμίδας. Ταυτόχρονα, διατηρείται υψηλή και η αντίσταση εισόδου του φωρατή.



Σχ. 5.26.
Παραμόρφωση ακουστικού σήματος.



Σχ. 5.27.
Ισοδύναμο κύκλωμα φορτίου διοδικού φωρατή.

Το ισοδύναμο κύκλωμα του φορτίου του φωρατή φαίνεται στο σχήμα 5.27,

από το οποίο έχομε: $$R_L = R_1 + \frac{R_2 R_g}{R_2 + R_g}$$

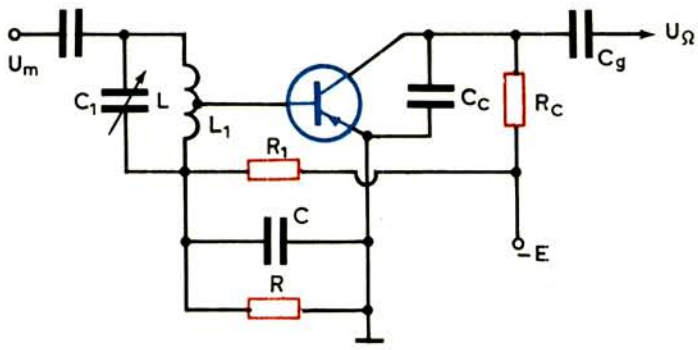
Η αντίσταση R_g παραλληλίζει μόνο την αντίσταση R_2. Η τιμή της R_g πρέπει να είναι 6-8 φορές μεγαλύτερη από τη τιμή της R_2. Η ωφέλιμη τάση ακουστικής συχνότητας λαμβάνεται από την αντίσταση R_2. Επειδή αυτό οδηγεί σε ελάττωση του συντελεστή μεταφοράς τάσεως, η αντίσταση R_1 πρέπει να είναι μικρότερη από την R_2. Στην πράξη συνήθως είναι: $R_1 = \frac{4}{5} R_2$

και $R_g = 8\ R_2 = 10\ R_1$.

5.13 Κυκλώματα φωρατών με τρανζίστορ.

Η διεργασία της φωράσεως μπορεί να πραγματοποιηθεί και με τρανζίστορ. Ανάλογα με τη θέση που κατέχει το φίλτρο RC μπορούμε να διακρίνομε ***φώραση από τη βάση*** (με κοινό εκπομπό), ***φώραση από το συλλέκτη*** (με κοινό εκπομπό ή βάση) και ***φώραση από τον εκπομπό*** (με κοινό συλλέκτη). Οι δύο πρώτοι τύποι φωρατών, εκτός από τη φώραση, πραγματοποιούν και ενίσχυση, είτε του ακουστικού σήματος (φώραση από τη βάση), είτε του διαμορφωμένου σήματος (φώραση από το συλλέκτη).

Στο σχήμα 5.28 φαίνεται κύκλωμα φωρατή με το φίλτρο RC στη βάση. Η διαμορφωμένη τάση εφαρμόζεται στην είσοδο μέσα από την αυτεπαγωγή L_1, που είναι τμήμα της ολικής αυτεπαγωγής L. Με τη σύνδεση αυτή εξασφαλίζεται η προσαρμογή της μικρής αντιστάσεως εισόδου του φωρατή προς την υψηλή



Σχ. 5.28.
Κύκλωμα φωρατή με φίλτρο στη βάση του τρανζίστορ.

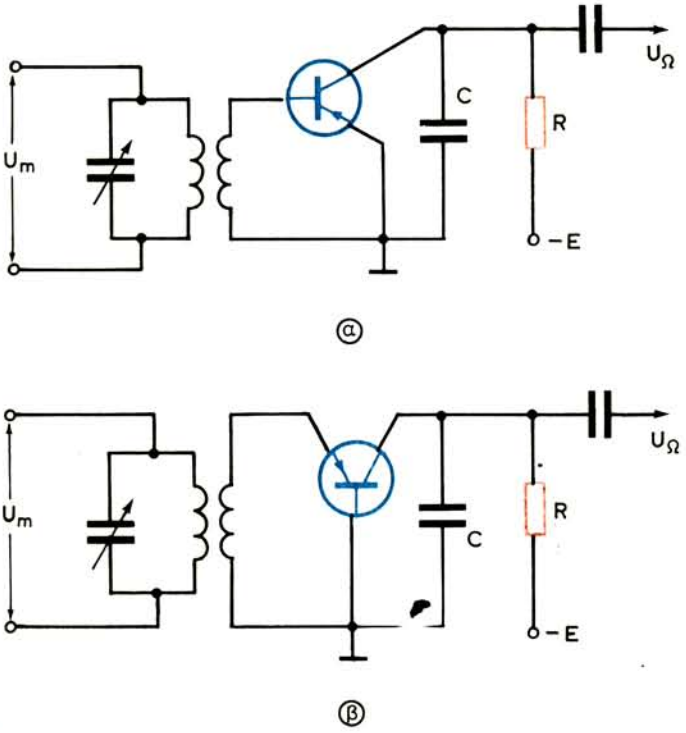
αντίσταση του συντονισμένου κυκλώματος LC_1. Η αντίσταση R_1 μαζί με την αντίσταση του φίλτρου R εξασφαλίζουν την πόλωση της βάσεως.

Παρατηρώντας το κύκλωμα του σχήματος 5.28, είναι εύκολο να διαπιστωθεί ότι η λειτουργία της φωράσεως εξασφαλίζεται από δύο μόνο ηλεκτρόδια, τη βάση και τον εκπομπό, που σχηματίζουν μια δίοδο. Με κατάλληλο υπολογισμό του φίλτρου RC, οι συνιστώσες υψηλής συχνότητας του ρεύματος της βάσεως βραχυκυκλώνονται από τον πυκνωτή C, ενώ η συνιστώσα ακουστικής συχνότητας σχηματίζει στα άκρα της R το ωφέλιμο σήμα. Το σήμα αυτό ενεργεί σαν τάση διεγέρσεως στη βάση του τρανζίστορ και ενισχυμένο εμφανίζεται στην αντίσταση φορτίου R_c. Έτσι, το τρανζίστορ λειτουργεί τόσο σαν φωρατής, όσο και σαν ενισχυτής του ακουστικού σήματος.

Η ενισχυμένη τάση U_Ω οδηγείται, μέσα από τον πυκνωτή Cg, στην επόμενη ενισχυτική βαθμίδα. Ο πυκνωτής C_c προορίζεται για τη διαρροή συνιστωσών υψηλής συχνότητας, που μπορούν να εμφανισθούν στο κύκλωμα εξόδου (συλλέκτη), αφού και αυτές, σε μικρότερο ποσοστό από την ωφέλιμη συνιστώσα, ενεργούν στη βάση.

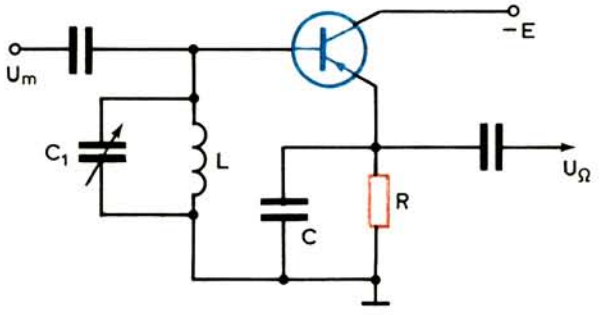
Δύο κυκλώματα φωράσεως από το συλλέκτη, που ενισχύουν ταυτόχρονα και το διαμορφωμένο σήμα, φαίνονται στο σχήμα 5.29. Το ένα [σχ. 5.29(α)] έχει κοινό τον εκπομπό και το άλλο [σχ. 5.29(β)], κοινή τη βάση.

Τα κυκλώματα εργάζονται χωρίς τάση πολώσεως μεταξύ βάσεως και εκπομπού. Αυτό σημαίνει ότι ρεύμα στο συλλέκτη του τρανζίστορ θα έχομε μόνο κατά την ορθή πόλωση βάσεως εκπομπού από το διαμορφωμένο σήμα. Με άλλα λόγια, το σημείο λειτουργίας του τρανζίστορ βρίσκεται στην αρχή των συντεταγμένων της χαρακτηριστικής $I_c = f(V_{bc})$ και το ρεύμα συλλέκτη έχει παλμικό χαρακτήρα, αφού το τρανζίστορ άγει μόνο στη μία ημιπερίοδο της εφαρμοζόμενης τάσεως. Με το φίλτρο RC ξεχωρίζεται, σύμφωνα με όσα ξέρομε, η ωφέλιμη συνιστώσα ακουστικής συχνότητας U_Ω.



Σχ. 5.29.

Κυκλώματα φωρατών με φίλτρο στο συλλέκτη του τρανζίστορ. (α) Με κοινό εκπομπό. (β) Με κοινή βάση.



Σχ. 5.30.

Κύκλωμα φωρατή με φίλτρο στον εκπομπό και με κοινό το συλλέκτη του τρανζίστορ.

Τέλος, στο σχήμα 5.30 φαίνεται κύκλωμα φωρατή με το φίλτρο RC συνδεμένο στον εκπομπό και με κοινόν το συλλέκτη. Ο φωρατής αυτός δεν παρέχει ενίσχυση τάσεως, όμως μπορεί να εργάζεται χωρίς παραμορφώσεις από υπερδιέγερση με ισχυρά σήματα. Άλλο πλεονέκτημα του φωρατή είναι η μεγάλη

αντίσταση εισόδου του, που του επιτρέπει να συνδέεται σε ολόκληρη την αυτεπαγωγή του συντονισμένου κυκλώματος LC_1, χωρίς να υποβιβάζεται η αντίσταση του τελευταίου.

Σημειώνομε ότι, εκτός από ειδικές περιπτώσεις, οι φωρατές με τρανζίστορ δεν χρησιμοποιούνται σε σύγχρονους δέκτες με πολύ καλές βαθμίδες ενισχύσεως. Στους δέκτες χρησιμοποιούνται, σχεδόν αποκλειστικά, φωρατές με διόδους.

5.14 Φώραση μιας πλευρικής ζώνης.

Στην παράγραφο 5.4 μιλήσαμε για τη ραδιοεπικοινωνία με μια πλευρική ζώνη (SSB) και στην 5.7, για τους τρόπους καταργήσεως της φέρουσας και της μιας πλευρικής ζώνης. Στα συστήματα αυτά η φέρουσα, που καταργείται στον πομπό, αναπαράγεται στο δέκτη με τη βοήθεια τοπικού ταλαντωτή. Τα δύο σήματα, δηλαδή το σήμα της μιας πλευρικής ζώνης και το σήμα του τοπικού ταλαντωτή της φέρουσας, οδηγούνται στην είσοδο ενός φωρατή από αυτούς που γνωρίσαμε (σχ. 5.31).

Εξετάζομε τη φώραση ενός σήματος που αποτελείται από το άθροισμα της φέρουσας ταλαντώσεως U_cημωt και της άνω πλευρικής ζώνης U_mημ $(\omega+\Omega)$ t, όπου Ω η συχνότητα της διαμορφωτικής τάσεως. Υποθέτομε ακόμη ότι είναι $U_m < U_c$, σημειώνοντας ότι στο δέκτη υπάρχει η δυνατότητα μιας οποιασδήποτε σχέσεως, μεταξύ U_m και U_c.

Υπολογίζοντας ότι στη φώραση πλάτους βασική σημασία έχει η μορφή της περιβάλλουσας της τελικής ταλαντώσεως, που θα ενεργήσει στην είσοδο του φωρατή, προσθέτομε τις τάσεις φέρουσας και πλευρικής ζώνης:

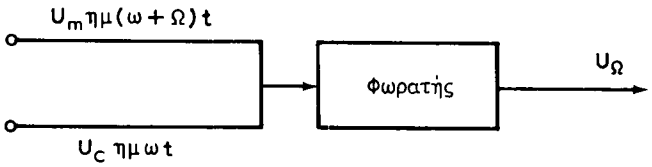
$$u = U_c \text{ ημ } \omega t + U_m \text{ ημ } (\omega + \Omega)\, t =$$

$$= U_c \text{ ημ } \omega t + U_m \text{ (συν } \Omega t \cdot \text{ ημ } \omega t + \text{ ημ } \Omega t \cdot \text{ συν } \omega t) =$$

$$= (U_c + U_m \text{ συν } \Omega t) \text{ ημ } \omega t + U_m \text{ ημ } \Omega t \cdot \text{ συν } \omega t$$

Συμβολίζοντας με:

$$A = U_c + U_m \text{ συν } \Omega t \quad \text{και} \quad B = U_m \text{ ημ } \Omega t$$



Σχ. 5.31.
Διάγραμμα φωράσεως μιας πλευρικής ζώνης.

θα έχομε: $u = A\,\eta\mu\,\omega t + B\,\sigma\upsilon\nu\,\omega t$

Αλλά από την τριγωνομετρία γνωρίζομε ότι:

$$A\,\eta\mu\,\omega t + B\,\sigma\upsilon\nu\,\omega t = \sqrt{A^2+B^2}\,\eta\mu\,(\omega t+\varphi)$$

και επομένως είναι:

$$u = \sqrt{(U_c+U_m\,\sigma\upsilon\nu\,\Omega t)^2 + (U_m\,\eta\mu\,\Omega t)^2}\,\eta\mu\,(\omega t+\varphi) =$$

$$= U_c\sqrt{1+\frac{2U_m}{U_c}\,\sigma\upsilon\nu\,\Omega t+\left(\frac{U_m}{U_c}\right)^2}\,\eta\mu\,(\omega t+\varphi)$$

ή θέτοντας $m = U_m / U_c$

$$u = U_c\sqrt{1+2m\,\sigma\upsilon\nu\,\Omega t + m^2}\,\eta\mu\,(\omega t+\varphi) = U_\Omega\,\eta\mu\,(\omega t+\varphi)$$

όπου είναι:

$$U_\Omega = U_c\sqrt{1+m^2+2m\,\sigma\upsilon\nu\,\Omega t} \tag{5.54}$$

η ωφέλιμη περιβάλλουσα του τελικού σήματος

και $$\varphi = \text{τοξ}\,\sigma\varphi\,\frac{m\,\eta\mu\,\Omega t}{1+m\,\sigma\upsilon\nu\,\Omega t} \tag{5.55}$$

η φάση της.

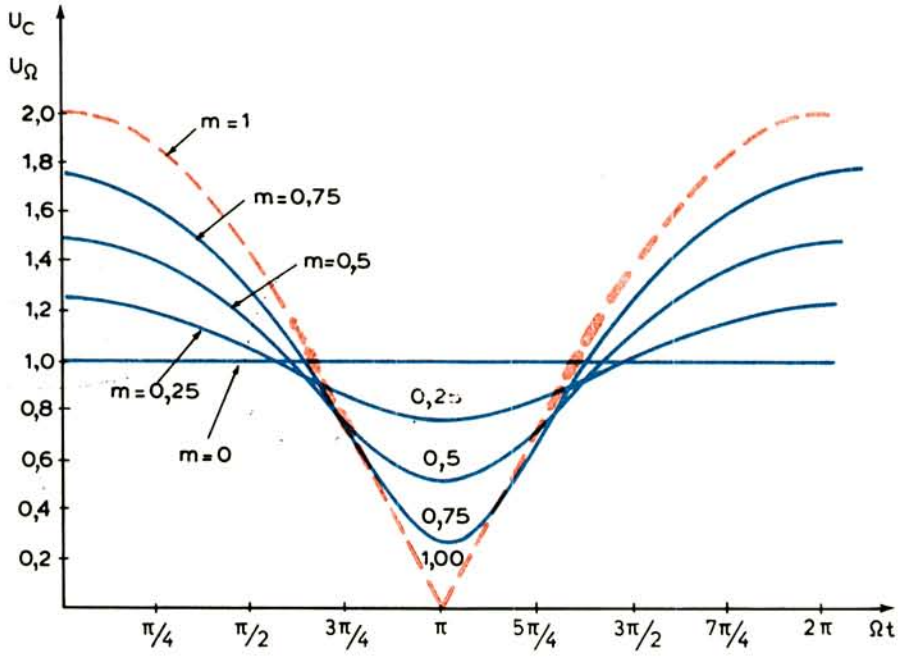
Η μορφή της περιβάλλουσας για διάφορους λόγους $m=U_m/U_c$ φαίνεται στο σχήμα 5.32. Με $m \leqslant 0{,}5$ η μορφή της περιβάλλουσας πλησιάζει τη συνημιτονική. Μπορεί να αποδειχθεί ότι με $m=0{,}5$ το πλάτος της αρμονικής με συχνότητα $2\,\Omega$ (δεύτερη αρμονική) είναι ίσο με 10% του πλάτους της βασικής διαμορφωτικής συχνότητας Ω. Με $m=1$ η περιβάλλουσα αποκτά την παραμορφωμένη μορφή που φαίνεται στο σχήμα 5.32.

Στην περίπτωση της γραμμικής φωράσεως, όπου η τάση εξόδου έχει τη μορφή της περιβάλλουσας της διαμορφωμένης τάσεως εισόδου, ο λόγος $m=U_m / U_c$ πρέπει να είναι σημαντικά μικρότερος από τη μονάδα για να μην εμφανίζονται σημαντικές παραμορφώσεις.

Στη φώραση του τετραγώνου, η τάση εξόδου είναι ανάλογη του τετραγώνου της περιβάλλουσας και όχι της ρίζας της (βλ. σχέση 5.54), δηλαδή:

$$kU_\Omega^2 = kU_c\,(1+m^2+2m\,\sigma\upsilon\nu\,\Omega t) \tag{5.56}$$

Από τη σχέση αυτή φαίνεται ότι κατά τη φώραση της μιας πλευρικής ζώνης με το νόμο του τετραγώνου, αναπαράγεται στην έξοδο του φωρατή η περιβάλλουσα του διαμορφωμένου σήματος χωρίς παραμόρφωση της διαμορφωτικής τάσεως με συχνότητα Ω.



Σχ. 5.32.
Μορφές ωφέλιμου σήματος στη φώραση μιας πλευρικής ζώνης.

5.15 Φώραση συχνότητας και φάσεως.

Για τη φώραση ενός διαμορφωμένου κατά συχνότητα σήματος χρησιμοποιείται ειδικός ***φωρατής συχνότητας,*** που είναι περισσότερο γνωστός με το όνομα ***διευκρινιστής*** (discriminator).

Η τάση στην έξοδο του φωρατή συχνότητας πρέπει να μεταβάλλεται σύμφωνα με το νόμο μεταβολής της συχνότητας του διαμορφωμένου σήματος

(σχέση 5.13): $\omega = \omega_o + \Delta\omega \text{ συν } \Omega t$

ή (σχέση 5.14): $f = f_o + \Delta f \text{ συν } \Omega t$

Η στιγμιαία τιμή της τάσεως αυτής θα δίνεται από τη σχέση:

$$u_\Omega = S\Delta\omega \text{ συν } \Omega t = S \cdot \Delta f \text{ συν } \Omega t$$

όπου: Δω ή Δf η απόκλιση της συχνότητας του σήματος εισόδου και S η κλίση της χαρακτηριστικής του φωρατή σε βολτ ανά μονάδα κυκλικής συχνότητας ω (V/rad) ή σε βολτ ανά μονάδα συχνότητας f (V/Hz).

Για την ανάδειξη της τάσεως u_Ω από το διαμορφωμένο κατά συχνότητα σήμα, του οποίου το φάσμα (σχ. 5.6) περιέχει μόνο συνιστώσες υψηλής συχνότητας

(τη φέρουσα f_o και τις πλευρικές συχνότητες διαμορφώσεως) χρειάζεται μια μη γραμμική διάταξη. Επομένως, ο φωρατής συχνότητας πρέπει να περιέχει ένα μη γραμμικό στοιχείο.

Γνωρίζομε ότι και ο φωρατής πλάτους περιέχει μη γραμμικό στοιχείο, που όμως δεν είναι ικανό ν' αναδείξει το διαμορφωτικό σήμα της διαμορφώσεως συχνότητας. Πραγματικά, από τη μελέτη των χαρακτηριστικών των μη γραμμικών στοιχείων προκύπτει ότι, με σταθερό πλάτος της τάσεως εισόδου, το στοιχείο δεν αντιδρά στη μεταβολή της συχνότητας αυτής της τάσεως. Με άλλα λόγια η μη γραμμικότητα των στοιχείων αυτών, όπως είναι η δίοδος και το τρανζίστορ, εμφανίζεται μόνο με τη μεταβολή της τιμής της τάσεως που ενεργεί στην είσοδό του και όχι με τη μεταβολή της συχνότητας αυτής της τάσεως.

Γι' αυτό ο φωρατής αποτελείται από δύο βασικά στοιχεία:

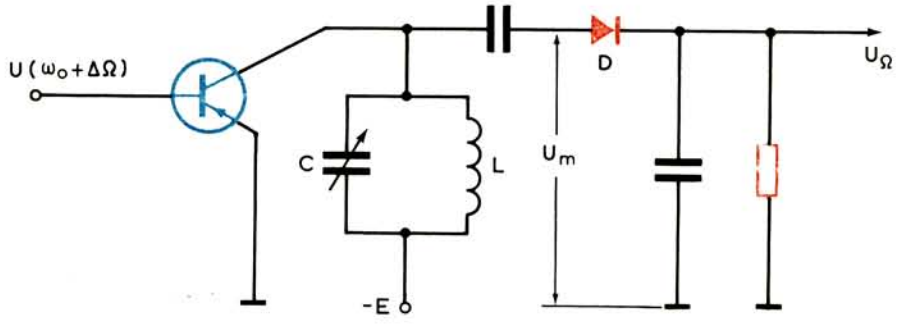
1) Από ένα γραμμικό κύκλωμα επιλογής που μετασχηματίζει τις μεταβολές συχνότητας του διαμορφωμένου κατά συχνότητα σήματος σε μεταβολές του πλάτους του.
2) Από ένα φωρατή πλάτους.

Ο απλός φωρατής συχνότητας (σχ. 5.33) έχει για πρώτο στοιχείο ένα παράλληλο κύκλωμα LC και για δεύτερο, τον γνωστό διοδικό φωρατή πλάτους. Αν η συχνότητα συντονισμού του κυκλώματος ω διαφέρει από την κεντρική συχνότητα ω_o του διαμορφωμένου σήματος, μπορούν οι μεταβολές συχνότητας του σήματος να μετατραπούν σε μεταβολές τάσεως στα άκρα του κυκλώματος.

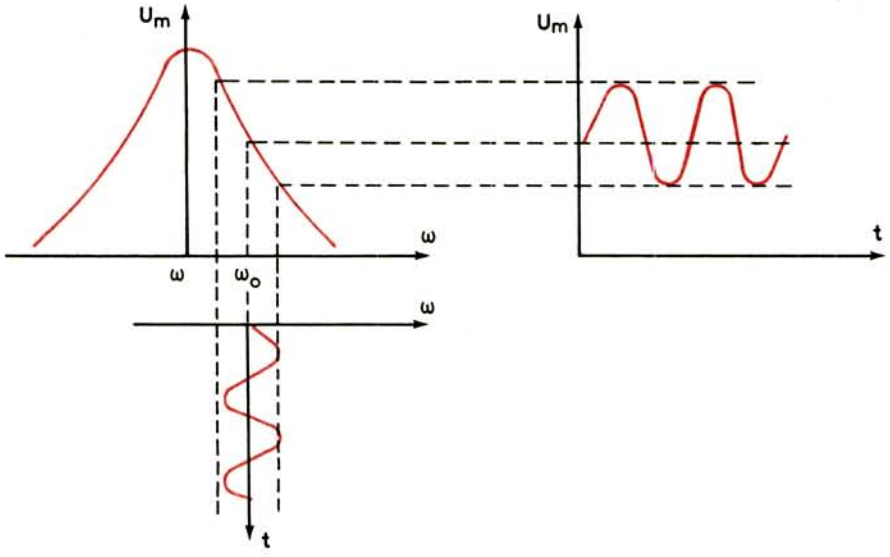
Η θέση των ω και ω_o στον άξονα των συχνοτήτων, καθώς και η μεταβολή της τάσεως U για την περίπτωση ημιτονικής διαμορφώσεως συχνότητας, φαίνεται στο σχήμα 5.34.

Η μεταβολή του πλάτους U_m της τάσεως υψηλής συχνότητας μετασχηματίζεται, με τη βοήθεια της διόδου D, σε τάση ακουστικής συχνότητας, η οποία εμφανίζεται στα άκρα του απεριοδικού φορτίου RC.

Σημειώνομε ότι με ακριβή συντονισμό του κυκλώματος LC στη συχνότητα ω_o,



Σχ. 5.33.
Απλός φωρατής συχνότητας.



Σχ. 5.34.
Γραφική παράσταση μετατροπής μεταβολών συχνότητας σε μεταβολές πλάτους με κύκλωμα LC.

το σήμα παραμορφώνεται. Η συχνότητα μεταβολής της περιβάλλουσας γίνεται δυο φορές μεγαλύτερη από τη συχνότητα του διαμορφωτικού σήματος. Στην αρχική κατάσταση, δηλαδή, όταν δεν υπάρχει διαμόρφωση, το σημείο λειτουργίας πρέπει να βρίσκεται στο πλαϊνό τμήμα της καμπύλης συντονισμού.

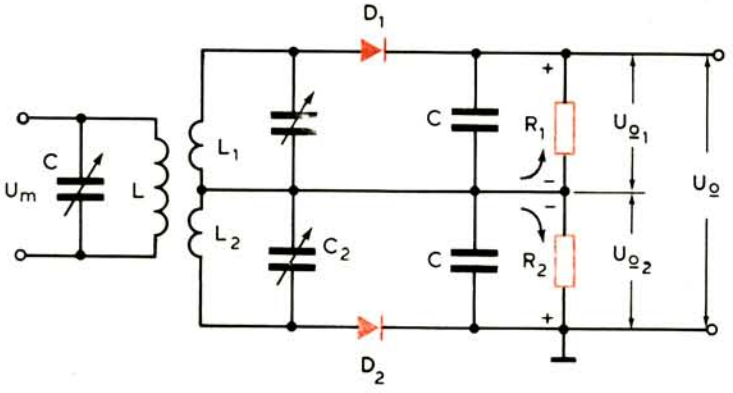
Ο φωρατής με ένα κύκλωμα LC έχει αρκετά περιορισμένο γραμμικό τμήμα καμπύλης συντονισμού και δημιουργεί παραμορφώσεις (η κάτω εναλλαγή της U_m είναι μικρότερη από την άνω στο σχήμα 5.34). Σημαντικά καλύτερα αποτελέσματα θα έχουμε με τη διαφορική συνδεσμολογία του σχήματος 5.35(α).

Στο κύκλωμα αυτό, η τάση στην έξοδο του φωρατή προκύπτει από τη διαφορά δύο ανορθωμένων τάσεων $U_{\Omega 1}$ και $U_{\Omega 2}$ που εμφανίζονται στις αντιστάσεις R_1 και R_2 των διόδων D_1 και D_2. Τα κυκλώματα L_1 C_1 και L_2 C_2 των διόδων συντονίζουν στις συχνότητες:

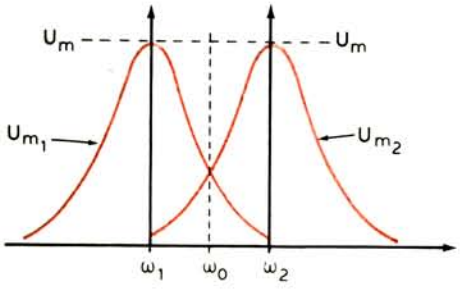
$$\omega_1 = \omega_o - \Delta\omega$$
$$\omega_2 = \omega_o + \Delta\omega$$

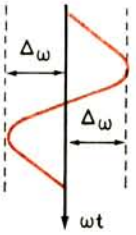
όπου ω_o είναι η κεντρική συχνότητα του φέροντος σήματος και $\Delta\omega$, η απόκλιση συχνότητας. Το κύκλωμα LC συντονίζει στην κεντρική συχνότητα ω_o.

Για τη συχνότητα $\omega_1=\omega_o-\Delta\omega$, η τάση U_{m1} στα άκρα του κυκλώματος L_1C_1, που βρίσκεται σε συντονισμό, παίρνει τη μέγιστη τιμή U_m ($U_{m1} = U_m$). Για την ίδια συχνότητα η τάση U_{m2} στα άκρα του κυκλώματος L_2 C_2, έχει μια μικρή τιμή, αφού το κύκλωμα αυτό βρίσκεται σε αποσυντονισμό.



(α)





(β)

Σχ. 5.35.

Διαφορικό κύκλωμα φωρατή συχνότητας.

Για τη συχνότητα $\omega_2=\omega_o+\Delta\omega$ η κατάσταση αντιστρέφεται. Η τάση U_{m2} γίνεται μέγιστη και ίση με U_m ($U_{m2} = U_m$) και η τάση U_{m1} ελάχιστη.

Στην κεντρική συχνότητα ω_o τα δύο κυκλώματα είναι εξίσου αποσυντονισμένα και οι τάσεις στα άκρα τους είναι ίδιες [σχ. 5.35(β)] και ίσες με:

$$U_{m1} = U_{m2} = \frac{U_m}{\sqrt{1 + \left(\frac{2\Delta\omega}{\omega_o} Q\right)^2}} = \frac{U_m}{\sqrt{1+\alpha^2}} \qquad (5.57)$$

όπου: $\alpha = \frac{2\Delta\omega}{\omega_o} Q$ ο γενικός αποσυντονισμός και Q ο συντελεστής ποιότητας, που είναι ίδιος για τα δύο κυκλώματα.

Επομένως, με τη μεταβολή της συχνότητας του διαμορφωμένου σήματος από την τιμή ω_1 έως την τιμή ω_2, δηλαδή με ολική απόκλιση της κεντρικής συχνότητας κατά $2\Delta\omega$, η τάση που εφαρμόζεται στη δίοδο D_1 μεταβάλλεται από την τιμή U_m έως την τιμή της σχέσεως (5.57) και η τάση που εφαρμόζεται στη δίοδο D_2, από την τιμή της σχέσεως (5.57) έως την τιμή U_m [σχ. 5.36(α)].

Οι τάσεις μετά τη φώραση, που εμφανίζονται στα άκρα των αντιστάσεων των διόδων (στην πράξη είναι $R_1 = R_2 = R$) δίνονται από τη σχέση (5.44) και είναι:

$$U_{\Omega 1} = U_{m1} \text{ συν } \theta = U_{m1} \text{ συν } \omega t$$
$$U_{\Omega 2} = U_{m2} \text{ συν } \theta = U_{m2} \text{ συν } \omega t$$

Στην έξοδο του φωρατή παίρνομε την τάση U_Ω, που ισούται με τη διαφορά των τελευταίων (οι πολικότητές τους είναι αντίθετες, όπως φαίνεται στο σχήμα 5.35(α), δηλαδή:

$$U_\Omega = U_{\Omega 1} - U_{\Omega 2} = (U_{m1} - U_{m2}) \text{ συν } \omega t$$

Για $U_{m1} < U_{m2}$ θα είναι: $U_{m1} - U_{m2} = -U_\Omega$

και για $U_{m1} > U_{m2}$: $U_{m1} - U_{m2} = +U_\Omega$

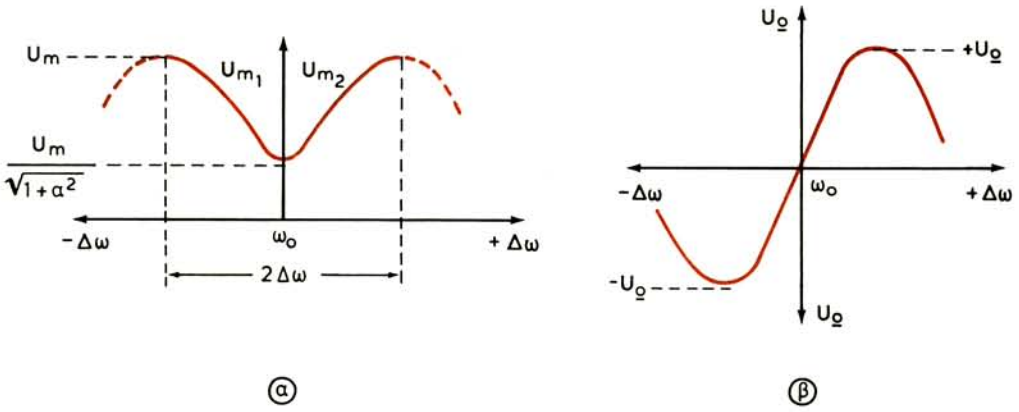
Επομένως, η τάση ακουστικής συχνότητας στην έξοδο του φωρατή μεταβάλλεται από $-U_\Omega$ έως $+U_\Omega$ [σχ. 5.36(β)]. Στην κεντρική συχνότητα ω_o, οι τάσεις U_{m1} και U_{m2} είναι ίσες (σχέση 5.57) και η U_Ω μηδενική.

Ο φωρατής συχνότητας του σχήματος 5.35 δημιουργεί μικρές παραμορφώσεις. Η τάση στην έξοδό του ακολουθεί πιστά τις μεταβολές της συχνότητας του σήματος, που εφαρμόζεται στην είσοδό του. Το μειονέκτημά του είναι ότι λειτουργεί σε τρεις διαφορετικές συχνότητες (ω_o, $\omega_o - \Delta\omega$, $\omega_o + \Delta\omega$) και χρειάζονται πολλές και λεπτές ρυθμίσεις.

Το μειονέκτημα των πολλών ρυθμίσεων αποφεύγεται με το φωρατή συχνότητας του σχήματος 5.37, που είναι περισσότερο γνωστός με το όνομα ***φασικός διευκρινιστής***. Ο φωρατής αυτού του τύπου χρησιμοποιείται ευρέως στους δέκτες τόσο για τη φώραση του σήματος, όσο και για την αυτόματη ρύθμιση της συχνότητας του τοπικού ταλαντωτή.

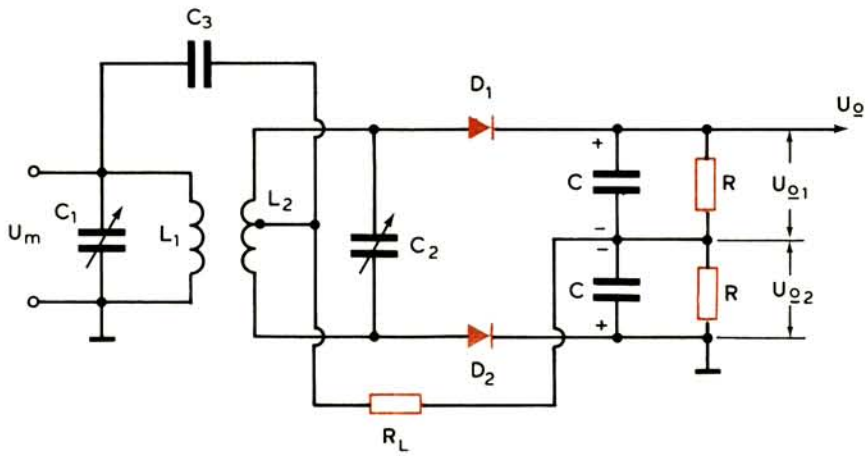
Ο διευκρινιστής του σχήματος 5.37 αποτελείται από δύο συζευγμένα κυκλώματα L_1 C_1 και L_2 C_2 που συντονίζουν στην κεντρική συχνότητα ω_o. Η τάση υψηλής συχνότητας $\omega_0 \pm \Delta\omega$ εφαρμόζεται στις δύο διόδους D_1 και D_2 και η τάση ακουστικής συχνότητας είναι η διαφορά των τάσεων στα άκρα των ίσων αντιστάσεων εξόδου R.

Για τη μελέτη του διευκρινιστή χρησιμοποιούμε το ισοδύναμο κύκλωμα του



Σχ. 5.36.

α) Μεταβολή των τάσεων στις διόδους. β) Μεταβολή της τάσεως εξόδου του φωρατή.



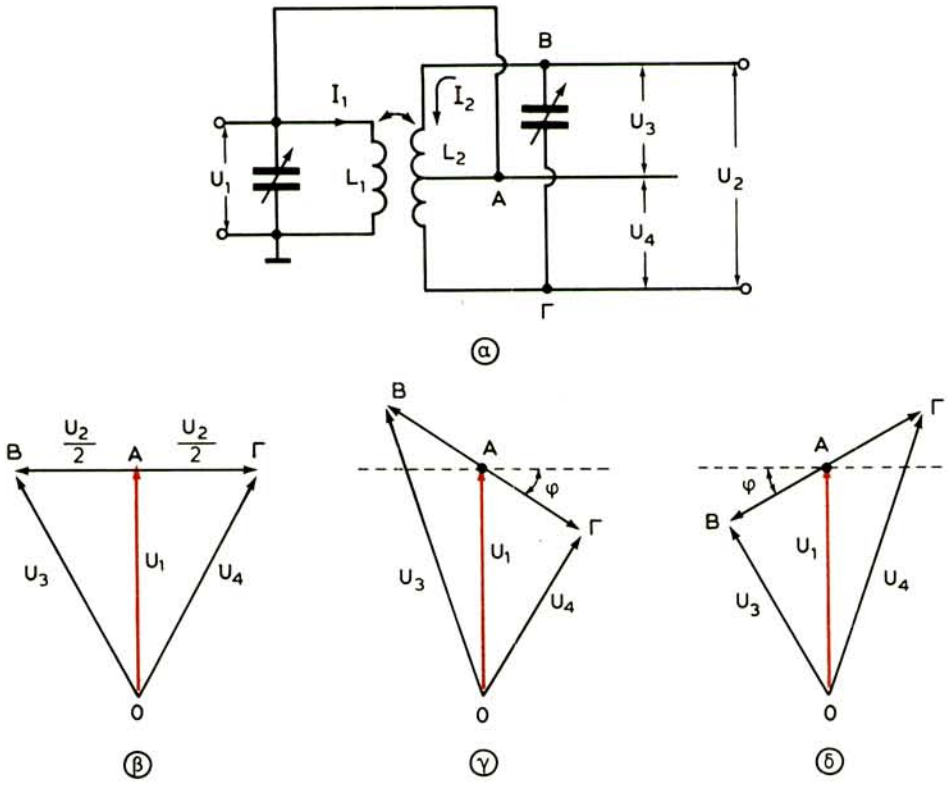
Σχ. 5.37.

Φασικός διευκρινιστής.

σχήματος 5.38(α) και τα διανυσματικά του διαγράμματα (β), (γ), (δ), όπου είναι U_1 η τάση στο πρωτεύον, U_2 η τάση στο δευτερεύον και U_3, U_4 οι τάσεις μεταξύ των σημείων Β, Γ αντίστοιχα και της μεσαίας λήψεως Α του δευτερεύοντος. Θα υπολογίσομε αυτές τις τάσεις.

Με επαγωγική σύζευξη των πηνίων L_1 και L_2 έχομε:

$$I_2 = \frac{\frac{M}{L_1} U_1}{Z_2} \qquad \text{και} \qquad U_2 = j\omega L_2 I_2 = \frac{j\omega L_2}{Z_2} \cdot \frac{M}{L_1} U_1$$



Σχ. 5.38.

Ισοδύναμο κύκλωμα εισόδου του διευκρινιστή και τα διανυσματικά του διαγράμματα.

Επειδή, κατά το συντονισμό των δύο κυκλωμάτων στην κεντρική συχνότητα, θα είναι: $\omega = \omega_o$, $Z_2 = R_2$ και $\omega_o L_2 / R_2 = Q_2$, παίρνομε:

$$U_2 = j \frac{M}{L_1} Q_2 U_1$$

δηλαδή η τάση U_2 προπορεύεται της τάσεως U_1 κατά 90°.

Στο ισοδύναμο κύκλωμα του σχήματος 5.38(α) φαίνεται ότι η τάση U_1 συνδέεται άμεσα στο σημείο A. Επομένως, η τάση U_3 ισούται με το άθροισμα της τάσεως U_1 και του μισού της τάσεως U_2, δηλαδή:

$$U_3 = U_1 + \frac{U_2}{2} = U_1 + j \frac{M}{L_1} Q_2 \frac{U_1}{2} = U_1 \left(1 + j \frac{M}{L_1} \cdot \frac{Q_2}{2} \right) \qquad (5.58)$$

Ανάλογα, για την τάση U_4, θα έχομε:

$$U_4 = U_1 \left(1 - j \frac{M}{L_1} \cdot \frac{Q_2}{2}\right) \tag{5.59}$$

Τα μέτρα των τάσεων U_3 και U_4 είναι ίσα, δηλαδή:

$$U_3 = U_4 = U_1 \sqrt{1 + \left(\frac{M}{L_1} \frac{Q_2}{2}\right)^2}$$

και οι φάσεις τους συμμετρικές ως προς τη φάση της τάσεως U_1.

Το διανυσματικό διάγραμμα που αντιστοιχεί στην περίπτωση αυτή φαίνεται στο σχήμα 5.38(δ). Επειδή οι τάσεις $U_{\Omega 1}$ και $U_{\Omega 2}$, που εμφανίζονται στις αντιστάσεις εξόδου του διευκρινιστή, είναι ανάλογες των ίσων τάσεων U_3 και U_4, η διαφορά τους $U_\Omega = U_{\Omega 1} - U_{\Omega 2}$ στη συχνότητα ω_o θα είναι μηδενική.

Με την απόκλιση της συχνότητας ω κατά $\pm\Delta\omega$, το διάνυσμα ΒΓ, που αντιστοιχεί στην τάση U_2, θα στρέφεται από την αρχική του θέση κατά γωνία φ [σχ. 5.38(γ) και 5.38(δ)], η οποία είναι ίση με (σχέση 5.57):

$$\varphi = \text{τοξ σφ}\left(\frac{2\Delta\omega}{\omega_o} Q\right) = \text{τοξ σφ } \alpha$$

Αντί, τώρα, των σχέσεων (5.58) και (5.59) θα έχομε:

$$U_3 = U_1 \left[1 + \frac{j \frac{M}{2L_1} Q_2}{1 + j\alpha}\right]$$

$$U_4 = U_1 \left[1 - \frac{j \frac{M}{2L_1} Q_2}{1 + j\alpha}\right]$$

Τα κυκλώματα, πρωτεύον και δευτερεύον, εκλέγονται ίδια, γι' αυτό ο λόγος M/L =k είναι ο μεταξύ τους συντελεστής συζεύξεως. Συμβολίζοντας με:

$$\delta = \frac{M}{L_1} Q_2 = kQ_2$$

και παίρνοντας τα μέτρα των τάσεων U_3 και U_4, έχομε:

$$U_3 = \frac{U_1}{2} \cdot \frac{\sqrt{4 + (6 + 2\alpha)^2}}{\sqrt{1 + \alpha^2}}$$

$$U_4 = \frac{U_1}{2} \cdot \frac{\sqrt{4 + (6 - 2\alpha)^2}}{\sqrt{1 + \alpha^2}}$$

Η τάση στην έξοδο του διευκρινιστή θα είναι:

$$U_\Omega = U_{\Omega 1} - U_{\Omega 2} = U_3 \text{ συν } \theta - U_4 \text{ συν } \theta =$$

$$= U_1 \cdot \frac{\sqrt{4 + (6 + 2\alpha)^2} - \sqrt{4 + (6 - 2\alpha)^2}}{2\sqrt{1 + \alpha^2}} \cdot \text{συν } \theta$$

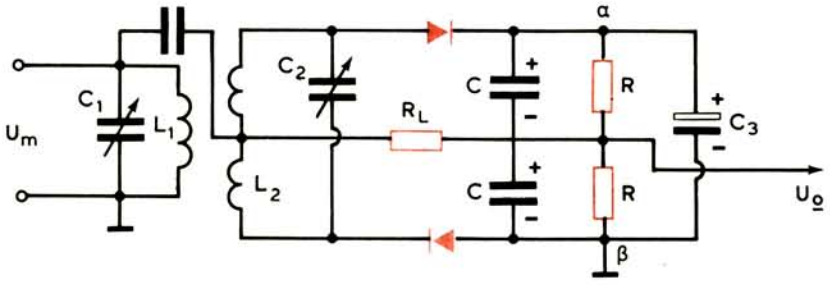
με μορφή που φαίνεται στο σχήμα 5.36(6).

Παραμένει το πρόβλημα της σταθερότητας του πλάτους της τάσεως U_1 ή γενικά του πλάτους του διαμορφωμένου κατά συχνότητα σήματος, που οδηγείται στους φωρατές συχνότητας. Αν το διαμορφωμένο κατά συχνότητα σήμα περιέχει και παρασιτική διαμόρφωση πλάτους, η τάση ακουστικής συχνότητας στην έξοδο του διευκρινιστή θα είναι παραμορφωμένη. Για την αποφυγή της παραμορφώσεως αυτής, συνδέεται μια βαθμίδα που ονομάζεται ***περιοριστής πλάτους.*** Ο περιοριστής αποκόπτει τελείως την παρασιτική διαμόρφωση πλάτους του σήματος, που οδηγείται στο διευκρινιστή. Για την αποτελεσματική λειτουργία του περιοριστή απαιτείται μια σχετικά μεγάλη τάση στη είσοδό του. Το γεγονός ότι ο διευκρινιστής χρειάζεται τάση στην είσοδό του με καλό περιορισμό του πλάτους της για να δώσει απαραμόρφωτο ακουστικό σήμα, είναι το βασικότερο μειονέκτημά του.

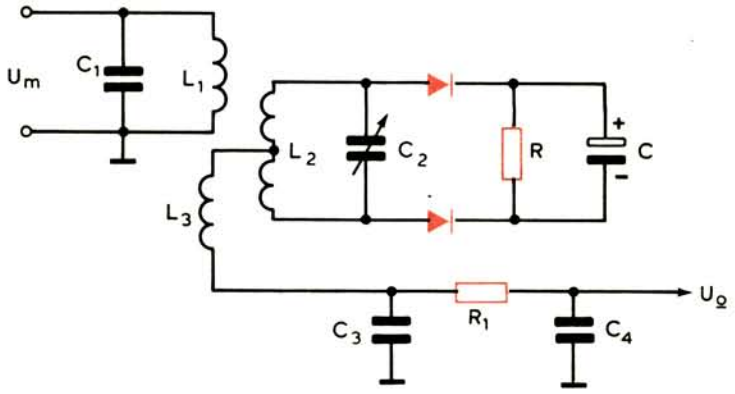
Ένας φωρατής συχνότητας, που δεν έχει το πιο πάνω μειονέκτημα είναι ο λεγόμενος ***αναλογικός φωρατής.*** Ο φωρατής αυτός απορρίπτει μόνος του την παρασιτική διαμόρφωση πλάτους και επομένως δεν είναι απαραίτητο να προηγείται περιοριστής.

Το κύκλωμα ενός αναλογικού φωρατή φαίνεται στο σχήμα 5.39. Διαφέρει από τα προηγούμενα κυκλώματα των φωρατών στο ότι οι δίοδοι συνδέονται σε σειρά και επομένως οι τάσεις φορτίσεως των πυκνωτών εξόδου δεν αφαιρούνται, αλλά προστίθενται.

Ο φωρατής εργάζεται όπως και ο προηγούμενος διευκρινιστής. Έτσι, όταν μεταβάλλεται η συχνότητα του σήματος στην είσοδό του, η τάση φορτίσεως του ενός πυκνωτή εξόδου μεγαλώνει και του άλλου μικραίνει. Το άθροισμα των τάσεων στους δύο πυκνωτές παραμένει σταθερό. Η τάση ακουστικής συχνότητας U_Ω παίρνεται από την αντίσταση εξόδου της μιας διόδου.



Σχ. 5.39.
Κύκλωμα αναλογικού φωρατή συχνότητας.



Σχ. 5.40.
Παραλλαγή αναλογικού φωρατή.

Επειδή η πολικότητα της ολικής τάσεως εξόδου του φωρατή παραμένει αμετάβλητη, μπορεί να συνδεθεί ένας ηλεκτρολυτικός πυκνωτής παράλληλα στις αντιστάσεις φορτίου. Ο πυκνωτής αυτός, δηλαδή ο C_3, με τη μεγάλη χωρητικότητα δεν μπορεί να παρακολουθήσει τις γρήγορες μεταβολές της τάσεως εξόδου κι έτσι η τάση μεταξύ των σημείων α και β παραμένει σταθερή. Τέτοιες μεταβολές της τάσεως μπορούν να εμφανισθούν λόγω παρασιτικής διαμορφώσεως πλάτους. Έτσι, η τάση εξόδου U_Ω δεν μπορεί να περιέχει παρασιτική διαμόρφωση πλάτους.

Παραλλαγή του βασικού κυκλώματος του αναλογικού φωρατή, η οποία συναντάται περισότερο στην πράξη, φαίνεται στο σχήμα 5.40. Εδώ, η τάση U_m αναπτύσσεται επαγωγικά στο πηνίο L_3 (είναι η R_L των προηγουμένων κυκλωμάτων), το οποίο παίζει ταυτόχρονα και το ρόλο πηνίου εξομαλύνσεως. Το ακουστικό σήμα παίρνεται μέσα από το φίλτρο R_1C_4.

Σημειώνομε ότι οι φωρατές που εξετάσαμε είναι κατάλληλοι και για τη φώραση σημάτων διαμοφωμένων κατά φάση, μόνο που είναι απαραίτητο να

συνδέεται στην έξοδο το φίλτρο R_1C_4 του σχήματος 5.40. Να πούμε δύο λόγια για το φίλτρο αυτό.

Επειδή οι χαμηλότερες συχνότητες του διαμορφωτικού σήματος ενισχύονται περισσότερο από τις υψηλότερες, πριν από τη βαθμίδα διαμορφώσεως του πομπού δίνεται μεγαλύτερη έμφαση στην ενίσχυση των υψηλοτέρων συχνοτήτων. Η διεργασία αυτή γίνεται με κύκλωμα διαφορίσεως και ονομάζεται ***προέμφαση.***

Για να αποκαταστήσομε στο δέκτη τη σωστή σχέση μεταξύ των χαμηλοτέρων και υψηλοτέρων συχνοτήτων του ακουστικού σήματος, εξασθενούμε τις τελευταίες με τη βοήθεια κυκλώματος ολοκληρώσεως (R_1C_4 στο σχήμα 5.40). Η αντίθετη αυτή διεργασία λέγεται ***αποέμφαση.*** Με την εξασθένιση των υψηλοτέρων συχνοτήτων του ακουστικού σήματος στο δέκτη, δηλαδή με την αποέμφαση, ελαττώνεται και η ισχύς των θορύβων στην έξοδο του φωρατή.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΕΚΤΟ

ΕΤΕΡΟΔΥΝΩΣΗ
ΥΠΕΡΕΤΕΡΟΔΥΝΟΙ ΔΕΚΤΕΣ

6.1 Γενικά.

Με τις διατάξεις φωράσεως, που μελετήσαμε ως τώρα, μπορούμε να λάβομε σήμα διαμορφωμένο κατά πλάτος ή κατά συχνότητα, αναδεικνύοντας το διαμορφωτικό ακουστικό σήμα.

Για τη λήψη ενός τηλεγραφικού σήματος, που διακόπτεται στο ρυθμό του μορσικού αλφαβήτου δεν μπορούμε να χρησιμοποιήσομε τις προηγούμενες διατάξεις φωράσεως. Ένα τέτοιο σήμα (συντηρούμενο) όταν οδηγηθεί στο φωρατή ανορθώνεται και η μέση του τιμή παραμένει σταθερή (συντηρούμενη), ώστε να μη μπορεί να ενεργοποιήσει ένα ακουστικό.

Η λήψη των συντηρουμένων σημάτων τηλεγραφίας γίνεται με την ***ετεροδύνωση.*** Κατά τη λειτουργία αυτή και με τη βοήθεια καταλλήλων διατάξεων, γίνεται ***μίξη*** (ανάμιξη) του λαμβανόμενου συντηρούμενου σήματος με ένα άλλο επίσης συντηρούμενο, που έχει όμως διαφορετική συχνότητα από το πρώτο. Από την ανάμιξη ή, όπως λέγεται, από τη ***συμβολή*** των δύο αυτών σημάτων, προκύπτει ένα τρίτο, που έχει συχνότητα ίση με το ημιάθροισμα των συχνοτήτων των δύο πρώτων, ενώ το πλάτος του μεταβάλλεται στο ρυθμό της διαφοράς των συχνοτήτων αυτών. Αν η διαφορά των συμβαλλομένων συχνοτήτων βρίσκεται στα όρια της ακουστικής περιοχής, το σήμα μπορεί να διεγείρει απευθείας ένα ακουστικό.

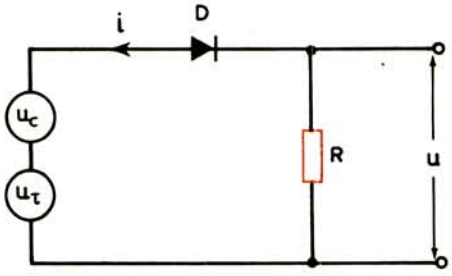
Η ετεροδύνωση δεν είναι αναγκαίο να οδηγεί πάντοτε σε σήμα ακουστικής συχνότητας. Μπορεί π.χ. να οδηγεί σε σήμα υψηλής επίσης συχνότητας, μικρότερης όμως από τη συχνότητα των δύο συμβαλλομένων σημάτων. Αυτό γίνεται πάντοτε στους σύγχρονους δέκτες συντηρουμένων κυμάτων, οπότε ομιλούμε για ***μεταλλαγή συχνότητας.*** Το τρίτο σήμα υψηλής συχνότητας που προκύπτει από την ετεροδύνωση αποτελεί το λεγόμενο σήμα ***ενδιάμεσης συχνότητας,*** το οποίο καταλήγει σε ακουστικό σήμα με μία δεύτερη ετεροδύνωση.

Σημειώνομε τέλος, ότι μεταλλαγή συχνότητας, από υψηλή σε ενδιάμεση, γίνεται και στα διαμορφωμένα σήματα. Το σήμα ενδιάμεσης συχνότητας, που

προκύπτει από την ετεροδύνωση αυτή, διατηρεί τη διαμόρφωση του λαμβανόμενου σήματος και καταλήγει σε ακουστικό σήμα με μία απλή φώραση, δηλαδή χωρίς δεύτερη ετεροδύνωση.

6.2 Ετεροδύνωση συντηρούμενου σήματος.

Εξετάζομε την επίδραση σε μη γραμμικό στοιχείο δύο συντηρουμένων σημάτων, από τα οποία το ένα είναι το λαμβανόμενο U_c και το άλλο, το παραγόμενο U_τ στο δέκτη από ταλαντωτή, που ονομάζεται ***τοπικός ταλαντωτής*** ή ***ετερόδυνο*** (σχ. 6.1). Σαν μη γραμμικό στοιχείο διαλέξαμε μία δίοδο, αλλά, όπως θα δούμε αργότερα, συνήθως είναι ένα τρανζίστορ. Φορτίο της διόδου είναι μία καθαρή ωμική αντίσταση R.



Σχ. 6.1.
Κύκλωμα μίξεως με δίοδο.

Με την επίδραση των τάσεων U_c και U_τ, το ρεύμα της διόδου παρίσταται από τη γνωστή προσεγγιστική σχέση:

$$i = I_o + \alpha (u_c + u_\tau) + \beta (u_c + u_\tau)^2 =$$

$$= I_o + \alpha u_c + \alpha u_\tau + \beta u_c^2 + \beta u^2_\tau + 2\beta u_c u_\tau \qquad (6.1)$$

Βασικό ενδιαφέρον από την άποψη μεταλλαγής της συχνότητας του λαμβανόμενου σήματος παρουσιάζει το τελευταίο μέλος της εξισώσεως αυτής, που είναι αποτέλεσμα της αλληλεπιδράσεως των δύο τάσεων u_c και u_τ. Ας δούμε το θέμα αυτό με ένα παράδειγμα συνημιτονικών σημάτων.

Αν είναι: $$u_c = U_c \sigma\upsilon\nu\, \omega_c t \qquad (6.2)$$

$$u_\tau = U_\tau \sigma\upsilon\nu\, \omega_\tau t \qquad (6.3)$$

θα έχομε:

$$i = I_o + \alpha U_c \text{ συν } \omega_c t + \alpha U_\tau \text{ συν } \omega_\tau t + \frac{\beta U_c^2}{2} + \frac{\beta U_c^2}{2} \text{ συν } 2\omega_c t +$$

$$+ \frac{\beta U_\tau^2}{2} + \frac{\beta U_\tau^2}{2} \text{ συν } 2\omega_\tau t + 2bU_c U_\tau \text{ συν } \omega_c t \text{ συν } \omega_\tau t \qquad (6.4)$$

Όλοι οι προσθετέοι της σχέσεως αυτής, με εξαίρεση τον τελευταίο, είναι είτε συνεχή μεγέθη, είτε μεγέθη ανάλογα των τάσεων u_c και u_τ, είτε, τέλος, δεύτερες αρμονικές των τάσεων u_c και u_τ. Αν στη σχέση (6.1) προστεθούν και άλλοι παράγοντες ανωτέρων βαθμών, στη σχέση (6.4) θα εμφανισθούν αρμονικές και υψηλοτέρων τάξεων.

Μετασχηματίζοντας το τελευταίο μέλος της εξισώσεως (6.4) στη μορφή:

$$i_{c\tau} = \beta U_c U_\tau [\text{συν } (\omega_c + \omega_\tau) t + \text{συν } (\omega_c - \omega_\tau) t] \qquad (6.5)$$

συμπεραίνομε ότι, με την ταυτόχρονη επίδραση στο μη γραμμικό στοιχείο δύο τάσεων με συχνότητες ω_c και ω_τ, το ρεύμα της διόδου, επομένως και η τάση εξόδου της, περιέχει σήματα με συχνότητες $\omega_c + \omega_\tau$ και $\omega_c - \omega_\tau$. Αν είναι $\omega_\tau > \omega_c$, η διαφορά παίρνει τη μορφή $\omega_\tau - \omega_c$.

Για την επιλογή μιας από τις δύο συχνότητες, της διαφοράς ή του αθροίσματος, πρέπει να συνδέσομε στην έξοδο του μίκτη κατάλληλο φορτίο. Στις ραδιοφωνικές εφαρμογές, τη θέση της αντιστάσεως R του σχήματος 6.1 παίρνει το φίλτρο (μετασχηματιστής) ενδιάμεσης συχνότητας, που συντονίζει στη διαφορά $\omega_\tau - \omega_c$.

Σημειώνομε ότι τα πλάτη των συνιστωσών του ρεύματος με συχνότητες $\omega_c + \omega_\tau$ και $\omega_c - \omega_\tau$ (ή $\omega_\tau - \omega_c$) είναι ανάλογα του γινόμενου των πλατών U_c και U_τ. Γι' αυτό, αν θέλομε να μεγαλώσομε το πλάτος του ωφέλιμου σήματος (στην περίπτωση λήψεως ασθενών σημάτων), μεγαλώνομε το πλάτος της τάσεως του ετεροδύνου U_τ. Στην περίπτωση λήψεως ασθενών σημάτων, που είναι $U_c / U_\tau << 1$, και όταν ο μίκτης εργάζεται σε τάξη γραμμικού φωρατή, δίνει στην έξοδο διαφορά $\omega_\tau - \omega_c$ χωρίς παραμορφώσεις.

6.3 Ετεροδύνωση διαμορφωμένου σήματος.

Στη ραδιοτηλεφωνία και στη ραδιοφωνία μεγάλη σημασία έχει η μεταλλαγή της συχνότητας του διαμορφωμένου σήματος σε μία χαμηλότερη υψηλή συχνότητα, στη λεγόμενη ενδιάμεση συχνότητα, χωρίς μεταβολή της μορφής και του χαρακτήρα της διαμορφώσεως. Έτσι, π.χ., κατά τη μεταλλαγή της συχνότητας ενός διαμορφωμένου κατά πλάτος σήματος, η μορφή και η συχνότητα της περιβάλλουσας, δηλαδή του διαμορφωτικού σήματος, παραμένουν αμετάβλητες.

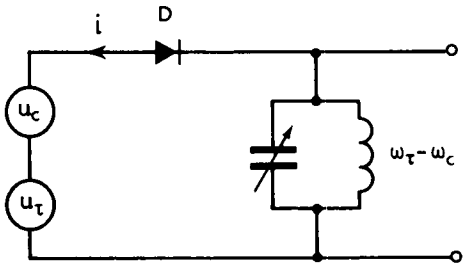
Ας δούμε τη διεργασία μεταλλαγής συχνότητας ενός διαμορφωμένου κατά πλάτος σήματος, που περιγράφεται από την εξίσωση:

$$u_c = U_c\,(1 + m\,\text{συν}\,\Omega t)\,\text{συν}\,\omega_c t = U_m\,\text{συν}\,\omega_c t \qquad (6.6)$$

όπου $U_m = U_c\,(1 + m\,\text{συν}\,\Omega t)$ η μεταβολή του πλάτους του φέροντος σήματος.

Στο μη γραμμικό στοιχείο (σχ. 6.2) ενεργεί ακόμη η τάση του τοπικού ταλαντωτή (ετεροδύνου):

$$u_\tau = U_\tau\,\text{συν}\,\omega_\tau t \qquad (6.7)$$



Σχ. 6.2.
Ετεροδύνωση διαμορφωμένου σήματος.

Το ρεύμα της διόδου από τη δράση των δύο αυτών τάσεων υπολογίζεται όπως στην προηγούμενη παράγραφο και είναι:

$$i = \left[I_o + \frac{\delta U_\tau^2}{2} + \frac{\delta U_m^2}{2}\right] + \alpha U_\tau\,\text{συν}\,\omega_\tau t + \alpha U_m\,\text{συν}\,\omega_c t +$$

$$+ \frac{\delta U_\tau^2}{2}\,\text{συν}\,2\omega_\tau t + \frac{\delta U_m^2}{2}\,\text{συν}\,\omega_c t +$$

$$+ \delta U_\tau U_m\,\text{συν}\,(\omega_\tau + \omega_c)\,t + \delta U_\tau U_c\,\text{συν}\,(\omega_\tau - \omega_c)t \qquad (6.8)$$

Βλέπομε ότι, όπως και στα προηγούμενα, έτσι κι εδώ, στη φασματική σύνθεση του ρεύματος της διόδου, παράλληλα με τις άλλες συνιστώσες, εμφανίζονται και οι συνιστώσες με συχνότητες $\omega_\tau + \omega_c$ και $\omega_\tau - \omega_c$, που χαρακτηρίζονται από πλάτος:

$$\delta U_\tau U_m = \delta U_\tau U_c\,(1 + m\,\text{συν}\,\Omega t)$$

μεταβαλλόμενο κατά το νόμο της διαμορφώσεως του αρχικού σήματος.

Από τις συνιστώσες αυτές του ρεύματος, σημαντική τάση στο φορτίο δημιουργεί η συνιστώσα της διαφοράς $\omega_\tau - \omega_c$ στην οποία είναι συντονισμένο, δηλαδή η συνιστώσα:

$$i_{\omega_\tau - \omega_c} = \delta U_\tau\,U_c\,(1 + m\,\text{συν}\,\Omega t)\,\text{συν}\,(\omega_\tau - \omega_c)\,t =$$

$$= 6U_\tau U_c \text{ συν } (\omega_\tau - \omega_c)\, t + \frac{6m}{2}\, U_\tau\, U_c \text{ συν } [(\omega_\tau - \omega_c) - \Omega]\, t +$$

$$+ \frac{6m}{2}\, U_\tau U_c \text{ συν } [(\omega_\tau - \omega_c) + \Omega]\, t \qquad (6.9)$$

Η συνιστώσα αυτή μεταφέρει την πληροφορία, που περιέχεται στο διαμορφωμένο σήμα με αρχική φέρουσα συχνότητα ω_c, με τη διαφορά ότι τώρα έχει νέα ενδιάμεση φέρουσα συχνότητα $\omega_\varepsilon = \omega_\tau - \omega_c$.

Από τη σχέση (6.9) φαίνεται ότι, για διάφορες συχνότητες ω_c του φέροντος διαμορφωμένου σήματος, μπορούμε να μεταβάλλομε ανάλογα τη συχνότητα ω_τ του ετεροδύνου έτσι, ώστε η ενδιάμεση συχνότητα ω_ε να παραμένει σταθερή.

Η ενδιάμεση συχνότητα των ραδιοφώνων ορίζεται συνήθως ίση με:

$$f_\varepsilon = \frac{\omega_\varepsilon}{2\pi} = 465 \text{ kHz}$$

και προκύπτει με συχνότητα του τοπικού ταλαντωτή μεγαλύτερη από τη συχνότητα του λαμβανόμενου σήματος ($f_\tau > f_c$).

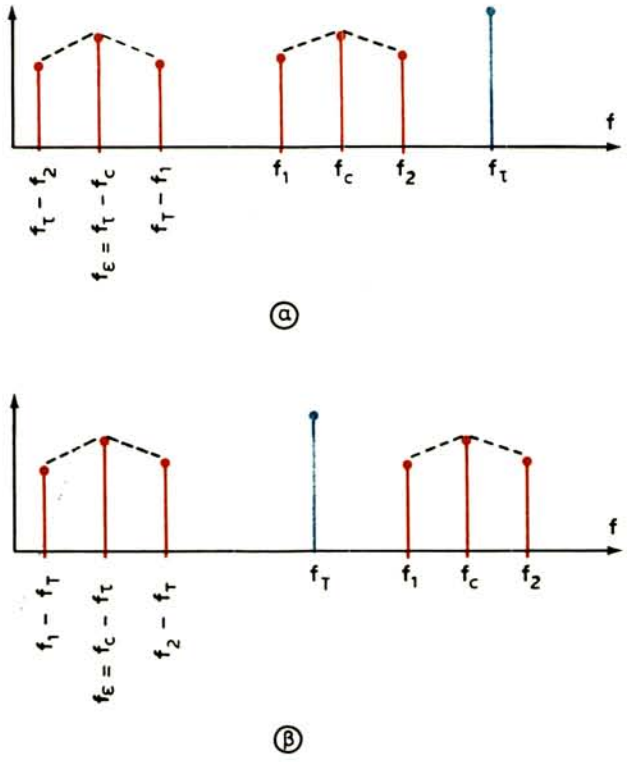
Σημειώνομε ότι κατά τη διεργασία της μεταλλαγής του σήματος υψηλής συχνότητας σε σήμα ενδιάμεσης συχνότητας αντιστρέφεται το φάσμα συχνοτήτων, δηλαδή η άνω πλευρική ζώνη του φέροντος σήματος μετασχηματίζεται σε κάτω πλευρική ζώνη του «ενδιάμεσου» σήματος και αντίστροφα. Η αντιστροφή αυτή γίνεται μόνο στην περίπτωση που η συχνότητα του τοπικού ταλαντωτή είναι μεγαλύτερη από τη συχνότητα του φέροντος σήματος. Ας δούμε το θέμα αυτό με ένα παράδειγμα.

Για απλοποίηση σχεδιάσεως δεχόμαστε το φάσμα με τις ακραίες του συχνότητες f_1 και f_2, όπου είναι $f_1 < f_2$ και εξετάζομε τις περιπτώσεις για τις οποίες είναι $f_\tau > f_1$, f_c, f_2 και $f_\tau < f_1$, f_c, f_2.

Στην πρώτη περίπτωση, ύστερα από τη μεταλλαγή, παίρνομε το φάσμα που φαίνεται αριστερά στο σχήμα 6.3(α). Οι συχνότητες $f_\tau - f_2$ και $f_\tau - f_1$ τοποθετούνται αντίστροφα από τη θέση που είχαν στο αρχικό φάσμα. Η υψηλότερη συχνότητα ($f_2 > f_1$) απαντάται στη χαμηλότερη συχνότητα: $f_\tau - f_2 < f_\tau - f_1$.

Στη δεύτερη περίπτωση, δηλαδή με $f_\tau < f_1$, f_c, f_2, το φάσμα του μετασχηματιζόμενου σήματος διατηρεί τη σύνθεσή του [σχ. 6.3(β)].

Στη ραδιοφωνία με εκπομπή δύο πλευρικών ζωνών, το φάσμα είναι συμμετρικό ως προς τη φέρουσα συχνότητα f_c, και η αντιστροφή του δεν έχει σημασία. Η αντιστροφή αυτή λαμβάνεται υπόψη σε ασύμμετρο φάσμα σήματος, όπως είναι στη ραδιοεπικοινωνία με μια πλευρική ζώνη. Η εκλογή της θέσεως της συχνότητας του τοπικού ταλαντωτή ως προς τη φέρουσα συχνότητα θα μας απασχολήσει σε άλλη παράγραφο.



Σχ. 6.3.
Φάσματα συχνοτήτων κατά την ετεροδύνωση.

6.4 Ετεροδύνωση με στοιχείο μεταβλητής κλίσεως.

Για τη μεταλλαγή συχνότητας στην περιοχή των ραδιοεπικοινωνιών χρησιμοποιούνται κυρίως τα τρανζίστορ αντί των διόδων. Το λαμβανόμενο σήμα εφαρμόζεται συνήθως στη βάση και το σήμα του τοπικού ταλαντωτή στον εκπομπό του τρανζίστορ. Με την επίδραση της τάσεως του τοπικού ταλαντωτή:

$$u_\tau = U_\tau \, \text{συν} \, \omega_\tau t$$

μεταβάλλεται η κλίση της χαρακτηριστικής του τρανζίστορ κατά το νόμο:

$$S = S_o + \Delta S \, \text{συν} \, \omega_\tau t$$

όπου S_o η κλίση της στατικής χαρακτηριστικής.

Η τελευταία σχέση γράφεται:

$$S = S_o + S_o \frac{\Delta S}{S_o} \, \text{συν} \, \omega_\tau t = S_o \, (1 + M \, \text{συν} \, \omega_\tau t) \qquad (6.10)$$

όπου $M = \Delta S/S_o$ ο συντελεστής μεταβολής της κλίσεως.

Έτσι, η μεταβολή του ρεύματος εξόδου του τρανζίστορ, εξαιτίας της επιδράσεως του λαμβανόμενου σήματος: $u_c = U_c$ συν $\omega_c t$ θα δίνεται από την προσεγγιστική σχέση:

$$\Delta i = u_c S = U_c \text{ συν } \omega_c t \; . \; S_o \; (1 + M \text{ συν } \omega_\tau t) =$$

$$= U_c S_o \text{ συν } \omega_c t + \frac{M U_c S_o}{2} \text{ συν } (\omega_c + \omega_\tau)\, t + \frac{M U_c S_o}{2} \text{ συν } (\omega_c - \omega_\tau)\, t \qquad (6.11)$$

Αν συντονίσομε το φορτίο της βαθμίδας μεταλλαγής στη συχνότητα $\omega_c - \omega_\tau$ ή $\omega_\tau - \omega_c$ παίρνομε στην έξοδό της την ενδιάμεση συχνότητα. Μπορούμε, βέβαια, να πάρομε και το άθροισμα $\omega_\tau + \omega_c$.

Στην περίπτωση που εξετάζομε, η μεταλλαγή συχνότητας δεν γίνεται με την επίδραση δύο τάσεων σ' ένα μη γραμμικό στοιχείο, όπως στο διοδικό μεταλλάκτη των προηγουμένων παραγράφων, αλλά με μεταβολή της κλίσεως του στοιχείου κατά το νόμο μεταβολής της τάσεως του ετεροδύνου. Επειδή η κλίση μεταβάλλεται χωρίς την επίδραση του λαμβανόμενου σήματος, η διάταξη μπορεί να θεωρηθεί γραμμική, με την προϋπόθεση βέβαια ότι το σήμα θα είναι αρκετά ασθενές, ώστε η εξάρτηση της κλίσεως από αυτό να είναι αμελητέα.

Από τη σχέση (6.11) φαίνεται ότι η φασματική σύνθεση του ρεύματος κατά την ετεροδύνωση ενός σήματος είναι ίδια με εκείνη του διαμορφωμένου κατά πλάτος σήματος, δηλαδή περιέχει το φέρον σήμα με συχνότητα ω_c και δύο πλευρικές συνιστώσες με συχνότητες $\omega_c \pm \omega_\tau$. Η βασική διαφορά είναι ότι στο μίκτη χρησιμοποιείται μόνο μια συνιστώσα του ρεύματος: η κάτω (ή άνω) πλευρική.

6.5 Σύγχρονη ετεροδύνωση.

Εξετάζομε μια ιδιαίτερη μορφή ετεροδυνώσεως, που πραγματοποιείται με συχνότητα ετεροδύνου ίση με τη συχνότητα του σήματος.

Αν αυτό το σήμα είναι αδιαμόρφωτο και έχει τη μορφή:

$$u_c = U_c \text{ συν } (\omega_c t + \varphi_o)$$

και θέσομε στη σχέση (6.10) $\omega_\tau = \omega_c$ προκύπτει σχέση ανάλογη της (6.11), δηλαδή:

$$\Delta i = U_c \text{ συν } (\omega_c t + \varphi_o)\; S_o \; (1 + M \text{ συν } \omega_c t) =$$

$$= S_o U_c \text{ συν } (\omega_c t + \varphi_o) + \frac{M S_o U_c}{2} \text{ συν } (2\omega_c t + \varphi_o) + \frac{M S_o U_c}{2} \text{ συν} \varphi_o \qquad (6.12)$$

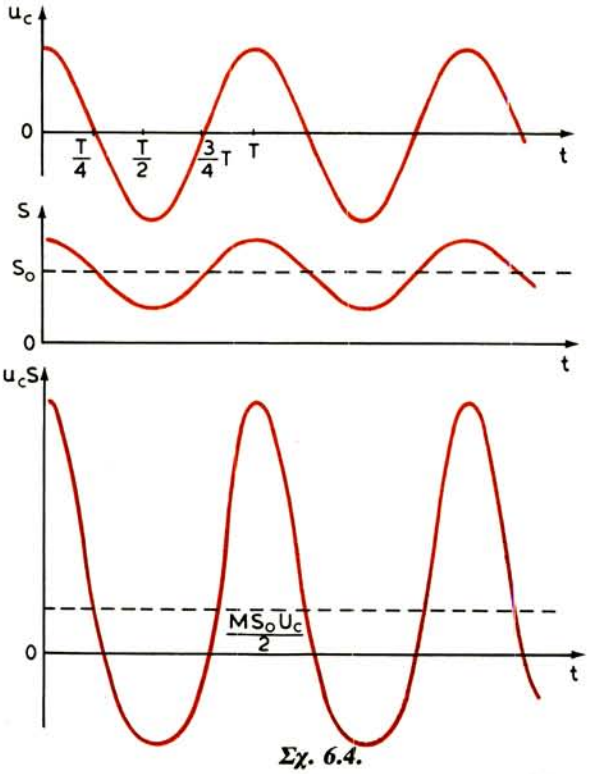
Όπως βλέπομε με $\omega_\tau = \omega_c$, η ταλάντωση της κάτω πλευρικής συχνότητας μετασχηματίζεται σε σταθερό ρεύμα:

$$i_o = \frac{MS_o\, U_c}{2}\, \text{συν}\varphi_o \qquad (6.13)$$

Με $\varphi_o = 0$ ή π, το ρεύμα i_o παίρνει μια μέγιστη τιμή και με $\varphi_o = \pi/2$ είναι $i_o = 0$.

Το αποτέλεσμα αυτό είναι εύκολο να διαπιστωθεί με τη βοήθεια του σχήματος 6.4, όπου φαίνονται οι γραφικές παραστάσεις του σήματος u_c και της κλίσεως S για $\varphi_o = 0$. Στο ίδιο σχήμα φαίνεται και η γραφική παράσταση του γινομένου u_cS που είναι μια σύνθετη ταλάντωση «φορτωμένη» στη συνεχή συνιστώσα $MS_oU_c/2$. Είναι φανερό ότι στην περίπτωση $\varphi_o = \pi/2$ το φαινόμενο της ανορθώσεως απουσιάζει και το γινόμενο u_cS δεν περιέχει συνεχή συνιστώσα.

Εξετάζομε τώρα την περίπτωση που το σήμα εισόδου είναι διαμορφωμένο και το πλάτος του μεταβάλλεται κατά το νόμο:



Σχ. 6.4.

Γραφικές παραστάσεις για τη σύγχρονη ετεροδύνωση.

$$u_c = U_c\,(1 + m\,\eta\mu\,\Omega t)$$

Όλοι οι προσθετέοι της σχέσεως (6.12), που είναι ανάλογοι του πλάτους του σήματος U_c, πρέπει να πολλαπλασιασθούν επί $(1 + m\,\eta\mu\,\Omega t)$,. Οι δύο πρώτοι προσθετέοι (με συχνότητες ω_c και $2\omega_c$) σχηματίζουν ταλαντώσεις υψηλής συχνότητας, διαμορφωμένες κατά πλάτος, ενώ ο τελευταίος προσθετέος παίρνει τη μορφή:

$$i_\Omega = \frac{MS_oU_c}{2}\,\sigma\upsilon\nu\,\varphi_o\,(1 + m\,\eta\mu\,\Omega t) \qquad (6.14)$$

Έτσι, στην έξοδο της βαθμίδας μεταλλαγής εμφανίζεται συνιστώσα με τη συχνότητα Ω του διαμορφωτικού σήματος. Η ωφέλιμη αυτή συνιστώσα μπορεί να ξεχωρισθεί από τις συνιστώσες με συχνότητες ω_c και $2\omega_c$, με τη βοήθεια απλού φίλτρου χαμηλών συχνοτήτων RC.

Είναι φανερό, από όσα είπαμε, ότι για την πραγματοποίηση αυτής της ετεροδυνώσεως θα πρέπει ο τοπικός ταλαντωτής του δέκτη να εργάζεται ταυτόχρονα με τον ταλαντωτή του πομπού. Από το γεγονός αυτό πήρε και το όνομα ***σύγχρονη ετεροδύνωση***. Επειδή με τη σύγχρονη ετεροδύνωση προκύπτει κατευθείαν το ωφέλιμο σήμα, που περιέχεται στο διαμορφωμένο σήμα, ονομάζεται και ***σύγχρονη φώραση***. Το βασικό πλεονέκτημα της σύγχρονης ετεροδυνώσεως ή φωράσεως ενός σήματος είναι η αύξηση της επιλογικότητας του δέκτη, λόγω της χρησιμοποιήσεως φίλτρου χαμηλών συχνοτήτων RC.

Πρέπει, όμως, να σημειώσομε ότι σε πραγματικές συνθήκες εφαρμογής αυτής τη μεθόδου φωράσεως παρουσιάζονται σημαντικές δυσκολίες, επειδή η εξασφάλιση του συγχρονισμού στη λειτουργία των ταλαντωτών δέκτη και πομπού είναι σύνθετο πρόβλημα και ιδιαίτερα κατά τη λήψη ασθενών σημάτων.

6.6 Ισοσταθμισμένοι μεταλλάκτες συχνότητας.

Είδαμε στα προηγούμενα (παράγραφοι 6.2 και 6.3) ότι, κατά τη μίξη δύο σημάτων με συχνότητες ω_c και ω_τ, εμφανίζονται στην έξοδο ενός απλού μεταλλάκτη, εκτός από την ωφέλιμη συνιστώσα της διαφοράς (ή του αθροίσματος) των δύο συχνοτήτων, και οι συνιστώσες με τις ίδιες συχνότητες ω_c και ω_τ. Για την απόρριψη όλων των συχνοτήτων, εκτός από την ωφέλιμη, χρησιμοποιείται συντονισμένο κύκλωμα LC ή φίλτρο RC, όπως στη σύγχρονη ετεροδύνωση.

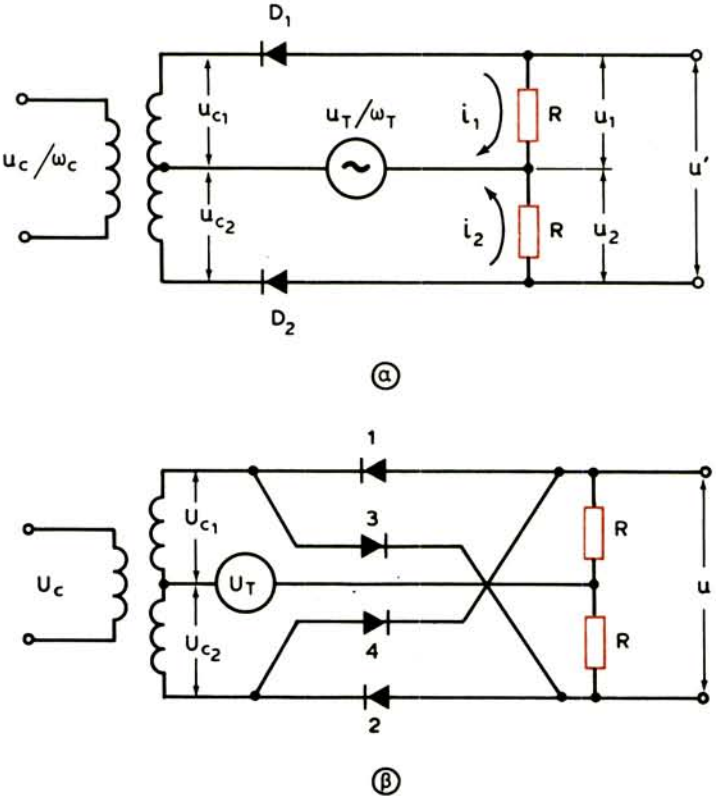
Σε μερικές περιπτώσεις όμως, η χρησιμοποίηση κυκλωμάτων επιλογής στην έξοδο του μεταλλάκτη δεν είναι επιθυμητή ή είναι δύσκολη, όπως π.χ. συμβαίνει στην περιοχή των ακουστικών συχνοτήτων, ή όταν η μια από τις μιγνυόμενες συχνότητες είναι μικρή σε σύγκριση με την άλλη, οπότε ο σχετικός αποσυντονισμός των συχνοτήτων $\omega_c + \omega_\tau$ και ω_c είναι αρκετά μικρός. Στις περιπτώσεις

αυτές χρησιμοποιούνται οι ισοσταθμισμένοι μεταλλάκτες, που είναι αντίστοιχοι των ισοσταθμισμένων διαμορφωτών.

Στο σχήμα 6.5(α) φαίνεται ισοσταθμισμένος μεταλλάκτης, που αποκλείει την εμφάνιση στην έξοδό του σήματος του τοπικού ταλαντωτή με συχνότητα ω_τ. Το σήμα αυτό ενεργεί συμφασικά στις δύο διόδους, ενώ το λαμβανόμενο σήμα με συχνότητα ω_c ενεργεί αντιφασικά.

Οι τάσεις εξόδου u_1 και u_2 σε κάθε αντίσταση R μπορούν να βρεθούν εύκολα, πολλαπλασιάζοντας το ρεύμα i της σχέσεως (6.1) επί την αντίσταση R. Λαμβάνοντας υπόψη ότι με τη διαφορική σύνδεση των φορτίων η τάση εξόδου u θα είναι ίση με τη διαφορά των τάσεων u_1 και u_2, έχομε:

$$
\begin{aligned}
u = u_1 - u_2 = (i_1 - i_2)\,R = \\
= [(I_o + \alpha u_{c1} + \alpha u_\tau + \beta u_{c1}^2 + \beta u_\tau^2 + 2\beta u_{c1}\,u_\tau) - \\
- (I_o + \alpha u_{c2} + \alpha u_\tau + \beta u_{c2}^2 + \beta u_\tau^2 + 2\beta u_{c2}\,u_\tau)]\,R = \\
= [\alpha\,(u_{c1} - u_{c2}) + \beta\,(u_{c1}^2 - u_{c2}^2) + 2\beta u_\tau\,(u_{c1} - u_{c2})]\,R
\end{aligned}
$$



Σχ. 6.5.
Ισοσταθμισμένοι μεταλλάκτες συχνότητας.

Επειδή οι τάσεις u_{c1} και u_{c2} έχουν ίσα πλάτη και διαφορετικό σημείο, θα είναι $u_{c1} - u_{c2} = 2u_{c1}$, $u_{c1}^2 - u_{c2}^2 = 0$ και επομένως:

$$u' = 2R\,(\alpha u_{c1} + 2\beta u_\tau u_{c1}) \tag{6.15}$$

Από τη σχέση αυτή φαίνεται ότι στην έξοδο του ισοσταθμισμένου μεταλλάκτη δεν εμφανίζεται η συνιστώσα με συχνότητα ω_τ, η οποία περιέχεται στον προσθετέο αu_τ της σχέσεως (6.1), εμφανίζεται όμως η συνιστώσα με συχνότητα ω_c, όπως και στον απλό μεταλλάκτη.

Στις περιπτώσεις που χρειάζεται να απουσιάζει από την έξοδο του μεταλλάκτη και η συνιστώσα με συχνότητα ω_c, χρησιμοποιείται το διπλό ισοσταθμισμένο κύκλωμα του σχήματος 6.5(β), που ισοδυναμεί με δύο ισοσταθμισμένους μεταλλάκτες του σχήματος 6.5(α) αντίθετης πολικότητας. Οι δίοδοι 3 και 4 (αντίθετες των 1 και 2) δημιουργούν στην έξοδο μια συμπληρωματική τάση ίση με:

$$u'' = 2R\,(-\alpha u_{c1} + 2\beta u_\tau u_{c1}) \tag{6.16}$$

Η τάση αυτή διαφέρει από την τάση u' της σχέσεως (6.15) μόνο ως προς το σημείο του προσθετέου αu_{c1}. Ο προσθετέος $2\beta u_\tau u_{c1}$ διατηρεί το σημείο του, επειδή οι δύο τάσεις u_τ και u_{c1} αλλάζουν το σημείο τους σε σχέση προς τις διόδους 3 και 4.

Αθροίζοντας τις τάσεις u' (σχέση 6.15) και u'' (σχέση 6.16) έχομε:

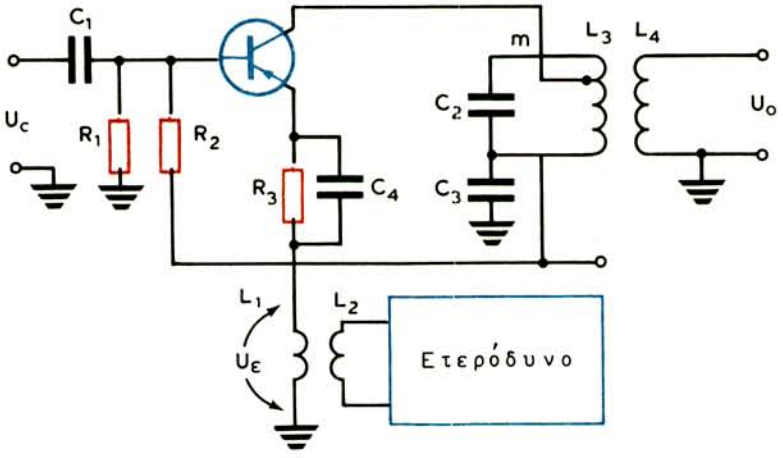
$$u = 4\,R\,\beta u_\tau u_{c1} \tag{6.17}$$

Από την τάση αυτή απουσιάζουν οι συνιστώσες με τις συχνότητες ω_τ και ω_c.

6.7 Συνδεσμολογίες μεταλλακτών με τρανζίστορ.

Μια συνδεσμολογία μεταλλαγής συχνότητας περιλαμβάνει δύο βαθμίδες: τη βαθμίδα μίξεως (μίκτρια βαθμίδα) και τη βαθμίδα του τοπικού ταλαντωτή (ετερόδυνο). Η εφαρμογή των τάσεων του σήματος και του ετεροδύνου μπορεί να γίνει στο ίδιο ηλεκτρόδιο του τρανζίστορ της μίκτριας ή σε διαφορετικά ηλεκτρόδια. Στην πρώτη περίπτωση καταλληλότερο είναι να εφαρμόζονται οι δύο τάσεις στη βάση και στη δεύτερη περίπτωση, η τάση του σήματος εφαρμόζεται στη βάση και η τάση του ετεροδύνου στον εκπομπό. Η δεύτερη συνδεσμολογία παρουσιάζει σταθερότερη λειτουργία και μικρότερη αλληλεπίδραση μεταξύ μίκτη και ετεροδύνου.

Το κύκλωμα ενός μεταλλάκτη συχνότητας με εφαρμογή της τάσεως του ετεροδύνου στον εκπομπό φαίνεται στο σχήμα 6.6. Η τάση του σήματος U_c εφαρμόζεται στη βάση. Έτσι, το τρανζίστορ για το λαμβανόμενο σήμα εργάζεται με κοινό εκπομπό και για το σήμα του ετεροδύνου με κοινή βάση.



Σχ. 6.6.
Βαθμίδα μίξεως με τρανζίστορ.

Ο διαιρέτης τάσεως, που αποτελείται από τις αντιστάσεις R_1 και R_2, εξασφαλίζει την απαραίτητη τάση πολώσεως στη βάση του τρανζίστορ. Η αντίσταση R_3 προορίζεται για μερική θερμική σταθεροποίηση της λειτουργίας της βαθμίδας.

Για την εκτίμηση των ενισχυτικών ικανοτήτων των βαθμίδων μίξεως χρησιμοποιείται η γνωστή έννοια της κλίσεως μεταλλαγής, της οποίας το μέγεθος καθορίζεται από τη σχέση:

$$S_M = (0{,}3\text{-}0{,}8)\ S$$

όπου S η κλίση του τρανζίστορ, όταν λειτουργεί σαν ενισχυτής.

Ο συντελεστής ενισχύσεως της βαθμίδας μίξεως θα υπολογίζεται από τη σχέση:

$$A_M = m\, S_M' R$$

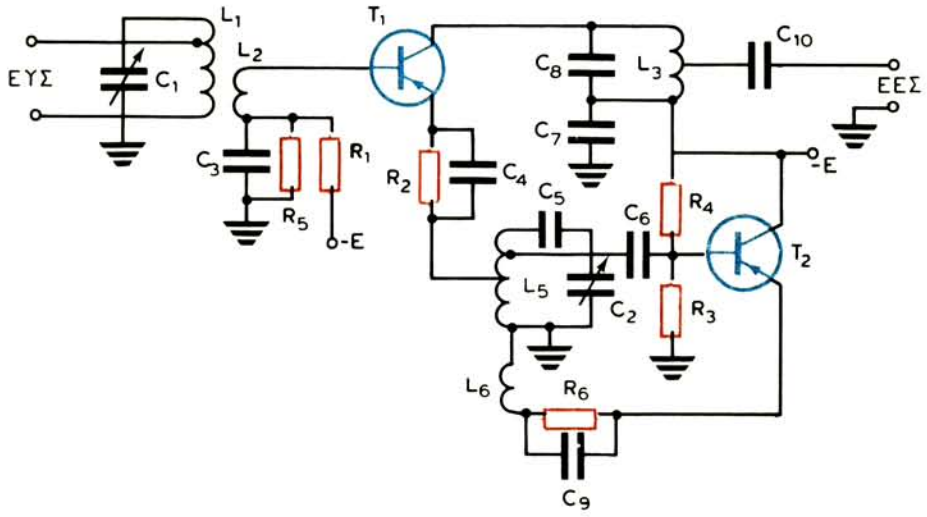
όπου m ο συντελεστής μετασχηματισμού του κυκλώματος εξόδου,

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_o} + \frac{m^2}{r_{22}}, \qquad S_M' = \frac{S_M}{\sqrt{1 + \left(\frac{f_c}{f_s}\right)^2}} \quad \text{και} \quad R_o = \frac{Q}{2\pi f_c C}$$

όπου Q ο συντελεστής ποιότητας του κυκλώματος εξόδου, C η ολική χωρητικότητα του ίδιου κυκλώματος, f_c η συχνότητα του σήματος εισόδου και f_s η οριακή συχνότητα για την οποία η κλίση S_M ελαττώνεται κατά 1,41 φορές.

Σήμερα υπάρχουν αρκετές συνδεσμολογίες μεταλλακτών συχνότητας, από τις οποίες θα παρουσιάσομε μερικές που χρησιμοποιούνται στις διατάξεις λήψεως.

Μία συνδεσμολογία μεταλλαγής συχνότητας φαίνεται στο σχήμα 6.7. Η τάση του ετεροδύνου, από το κύκλωμα L_5 C_5 C_2 και με αυτεπαγωγική σύζευξη, εφαρμόζεται στον εκτομπό του τρανζίστορ T_1. Το κύκλωμα ταλαντώσεων του ετεροδύνου συνδέεται στη βάση του T_2 και η ανάδραση μεταξύ βάσεως και εκπομπού είναι επαγωγική με το πηνίο L_6. Για την προσαρμογή των κυκλωμάτων: L_1 C_1 του σήματος, L_3 C_8 της ενδιάμεσης συχνότητας και L_5 C_2 C_5 του ετεροδύνου προς τα αντίστοιχα κυκλώματα του μεταλλάκτη, χρησιμοποιείται η σύνδεση σε τμήμα αυτεπαγωγών των ανωτέρω κυκλωμάτων.



Σχ. 6.7.

Συνδεσμολογία μεταλλάκτη συχνότητας με αυτεπαγωγική σύζευξη μίκτη και ετεροδύνου.

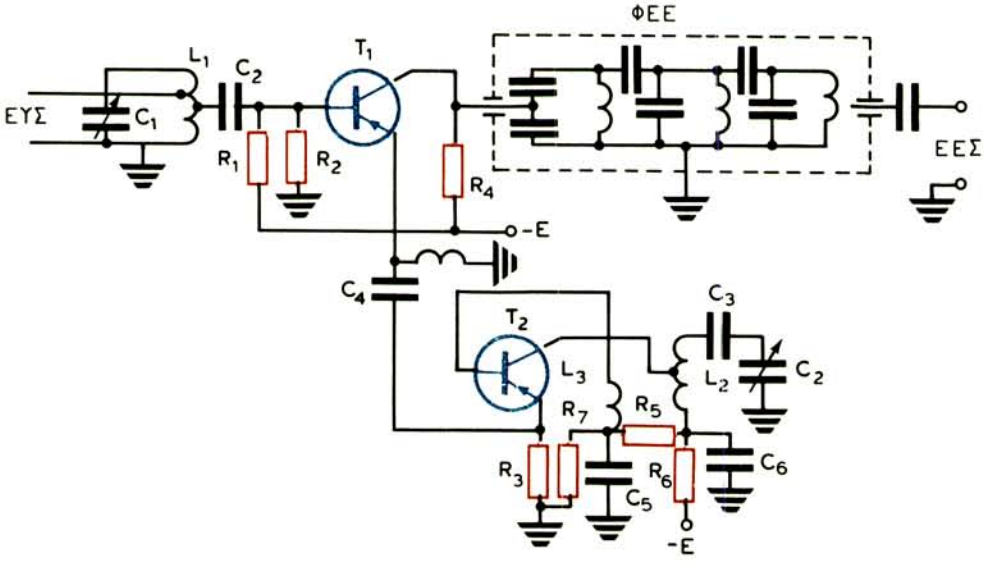
Πολλές φορές χρησιμοποιείται ο μεταλλάκτης συχνότητας με χωρητική συζευξη της βαθμίδας μίξεως με το ετερόδυνο (σχ. 6.8).

Η τάση του ετεροδύνου λαμβάνεται από τη μικρή αντίσταση R_3 του εκπομπού του T_2 και, μέσα από τον πυκνωτή C_4, οδηγείται στον εκπομπό του T_1. Το κύκλωμα ταλαντώσεων του ετεροδύνου L_2 C_2 C_3 συνδέεται στο συλλέκτη και το πηνίο αναδράσεως L_3, στη βάση του T_2. Φορτίο του μεταλλάκτη είναι ένα φίλτρο εντοπισμένης επιλογής συντονισμένο στην ενδιάμεση συχνότητα.

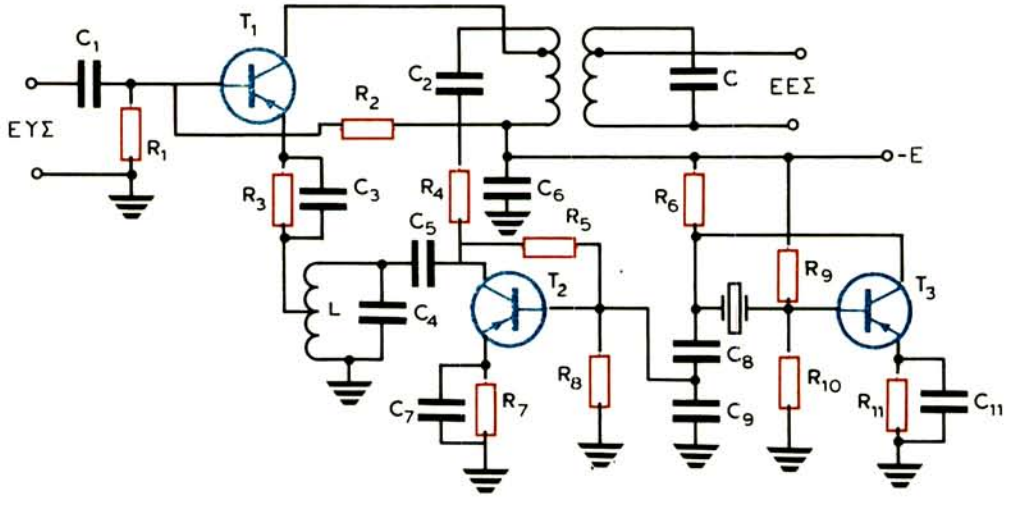
Το πλεονέκτημα αυτού του μεταλλάκτη συχνότητας, σε σύγκριση με τον προηγούμενο, είναι η χαλαρή σύζευξη μεταξύ των κυκλωμάτων σήματος και ετεροδύνου.

Οι συνδεσμολογίες, που αναφέραμε ως τώρα, δεν μπορούν να εξασφαλίσουν μεγάλη σταθερότητα της παραγόμενης από το ετερόδυνο συχνότητας.

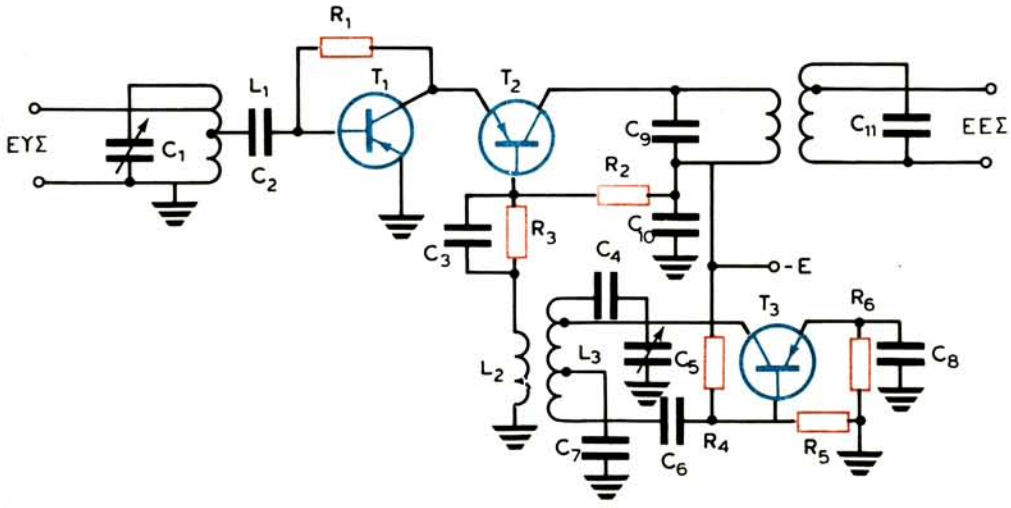
Με σκοπό την ελάττωση της συζεύξεως των κυκλωμάτων ετεροδύνου και σήματος και επομένως την εξασφάλιση σταθερότητας της συχνότητας του ετε-



Σχ. 6.8.
Συνδεσμολογία μεταλλάκτη συχνότητας με χωρητική σύζευξη μίκτη και ετεροδύνου.



Σχ. 6.9.
Συνδεσμολογία μεταλλάκτη συχνότητας με βαθμίδα απομονώσεως.



Σχ. 6.10.
Κασκοδικός μεταλλάκτης συχνότητας.

ροδύνου, χρησιμοποιείται βαθμίδα απομονώσεως (buffer) μεταξύ ετεροδύνου και μίκτη (σχ. 6.9).

Η βαθμίδα απομονώσεως είναι ένας ενισχυτής (τρανζίστορ T_2) συντονισμένος στη συχνότητα του ετεροδύνου. Με εκλογή χαλαρής συζεύξεως της βάσεως του T_2 με το ετερόδυνο, εξασφαλίζεται υψηλού βαθμού απόζευξη του κυκλώματος εισόδου του μίκτη (κυκλώματος σήματος) με το ετερόδυνο.

Βασικό μειονέκτημα του μεταλλάκτη αυτού είναι η αναγκαιότητα χρησιμοποιήσεως συντονισμένης βαθμίδας απομονώσεως.

Καλύτερη απόζευξη των κυκλωμάτων σήματος και ετεροδύνου εξασφαλίζουν οι κασκοδικοί μεταλλάκτες συχνότητας κοινού εκπομπού-κοινής βάσεως (σχ. 6.10).

Η τάση του ετεροδύνου οδηγείται στη βάση του T_2 μέσα από την αυτεπαγωγή L_2. Το κύκλωμα εξασφαλίζει υψηλού βαθμού απόζευξη των κυκλωμάτων σήματος και ετεροδύνου, όταν το τρανζίστορ T_1 έχει μικρή εσωτερική ανάδραση.

6.8 Αυτοταλαντούμενες βαθμίδες μίξεως.

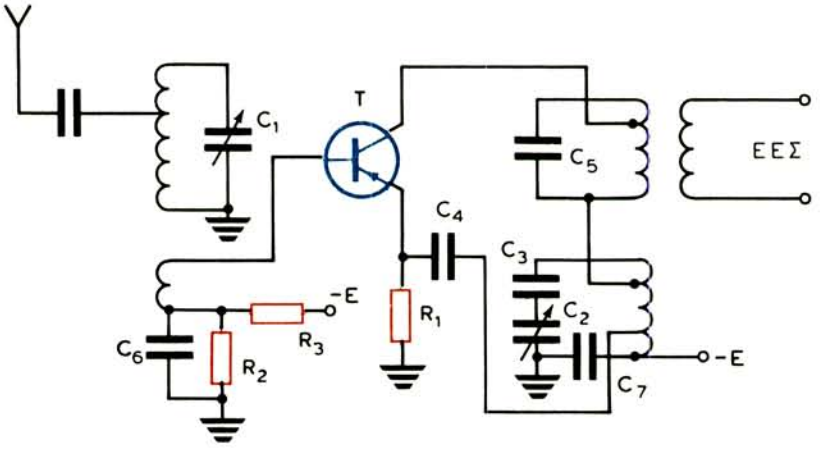
Σε απλά και κυρίως φορητά ραδιόφωνα και για λόγους οικονομίας ενέργειας και χαμηλού κόστους, χρησιμοποιούνται αυτοταλαντούμενοι μεταλλάκτες με ένα τρανζίστορ. Αυτοταλαντούμενες βαθμίδες μίξεως χρησιμοποιούνται επίσης στην περιοχή των UHF των τηλεοπτικών δεκτών (τηλεοράσεις).

Οι αυτοταλαντούμενοι μίκτες μπορούν να διαιρεθούν σε δύο ομάδες. Στην πρώτη ομάδα ανήκουν εκείνοι, στους οποίους η τάση του σήματος και η τάση

του ετεροδύνου ενεργούν σε διαφορετικά ηλεκτρόδια του τρανζίστορ. Μπορεί π.χ. η τάση του ετεροδύνου να ενεργεί στον εκπομπό και η τάση του σήματος στη βάση ή και αντίστροφα, η τάση του σήματος στον εκπομπό και η τάση του ετεροδύνου στη βάση.

Στη δεύτερη ομάδα ανήκουν οι μίκτες, στους οποίους οι τάσεις σήματος και ετεροδύνου ενεργούν στο ίδιο ηλεκτρόδιο του τρανζίστορ, δηλαδή στη βάση ή στον εκπομπό.

Στο σχήμα 6.11 φαίνεται το κύκλωμα αυτοταλαντούμενου μίκτη, στον οποίο το ετερόδυνο είναι τύπου αυτεπαγωγικής αναδράσεως (Hartley). Η τάση του σήματος εφαρμόζεται στη βάση και η τάση του ετεροδύνου στον εκπομπό του τρανζίστορ.



Σχ. 6.11.

Αυτοταλαντούμενη βαθμίδα μίξεως με εφαρμογή των τάσεων σήματος και ετεροδύνου σε διαφορετικά ηλεκτρόδια.

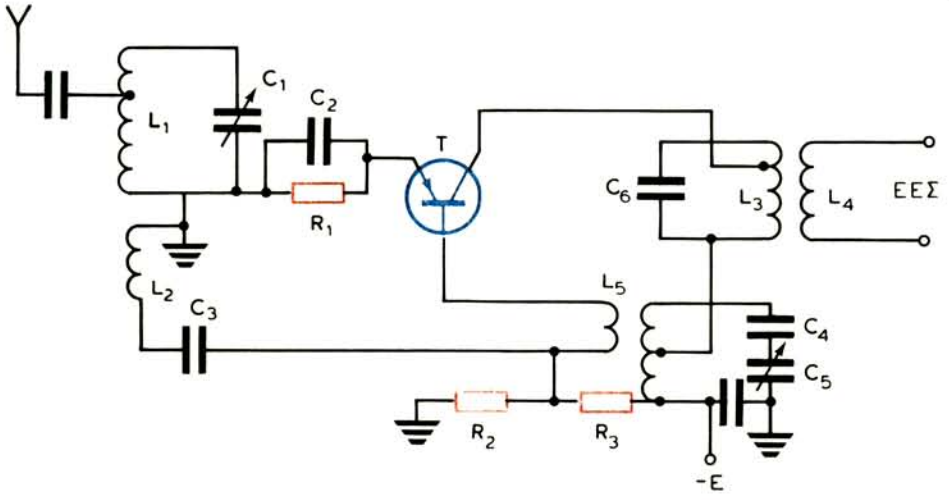
Ιδιομορφία της συνδεσμολογίας είναι ότι τα συντονισμένα κυκλώματα ετεροδύνου και ενδιάμεσης συχνότητας συνδέονται σε σειρά στο συλλέκτη του τρανζίστορ.

Συνδεσμολογία αυτοταλαντούμενου μίκτη με εφαρμογή των τάσεων σήματος και ετεροδύνου στη βάση του τρανζίστορ φαίνεται στο σχήμα 6.12.

Η ανάδραση στο ετερόδυνο είναι επαγωγική και η σύνδεση του κυκλώματος ταλαντώσεων στο συλλέκτη ανάλογη του προηγούμενου.

6.9 Ετερόδυνος και αυτόδυνος δέκτης.

Με βάση τις συνδεσμολογίες των παραγράφων 6.8 και 6.9, πραγματοποιούνται απλές διατάξεις, που μπορούν να δέχονται συντηρούμενα και διαμορ-



Σχ. 6.12.

Αυτοταλαντούμενη βαθμίδα μίξεως με εφαρμογή των τάσεων σήματος και ετεροδύνου στο ίδιο ηλεκτρόδιο.

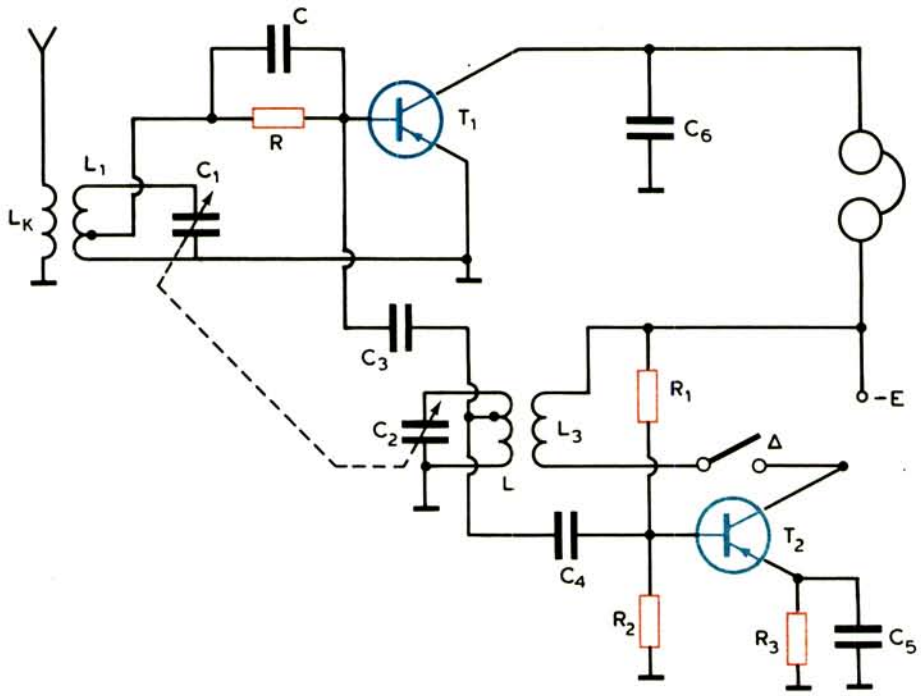
φωμένα σήματα και να παρέχουν κατευθείαν ακουστικό αποτέλεσμα.

Το κύκλωμα μιας τέτοιας διατάξεως με βαθμίδα μίξεως και χωριστό ετερόδυνο φαίνεται στο σχήμα 6.13. Στο κύκλωμα εισόδου L_1 C_1 του μίκτη (τρανζίστορ T_1), που βρίσκεται σε σύζευξη με το πηνίο κεραίας $L_κ$, ενεργεί η τάση του σήματος U_c με συχνότητα f_c. Το ετερόδυνο (τρανζίστορ T_2) παράγει την τάση $U_τ$ με συχνότητα $f_τ$, την οποία μεταβιβάζομε επίσης στην είσοδο του μίκτη μέσα από τον πυκνωτή C_3. Η συμβολή των δύο αυτών σημάτων δημιουργεί, σύμφωνα με όσα γνωρίζομε, το τρίτο σήμα ($U_c + U_τ$), του οποίου το πλάτος μεταβάλλεται στο ρυθμό της διαφοράς $f_c - f_τ$ (ή $f_τ - f_c$). Με κατάλληλη εκλογή των στοιχείων των κυκλωμάτων L_1 C_1 και L_2 C_2, προβλέπεται η διαφορά αυτή να βρίσκεται στην ακουστική περιοχή, π.χ. στα 1000 Hz.

Η μεταβολή του πλάτους του σήματος, που προκύπτει από την ετεροδύνωση, αποκαλύπτεται από τη διάταξη φωράσεως RC και, ενισχυμένη, εμφανίζεται στην έξοδο του μίκτη για να διεγείρει τα ακουστικά.

Η διάταξη του σχήματος 6.13 είναι ένας στοιχειώδης δέκτης για τη λήψη συντηρουμένων σημάτων, που λειτουργεί με την αρχή της ετεροδυνώσεως, γι' αυτό και ονομάζεται ***ετερόδυνος δέκτης***.

Ο ετερόδυνος δέκτης είναι κατάλληλος και για τη λήψη διαμορφωμένων σημάτων. Στην περίπτωση αυτή, με τη βοήθεια του διακόπτη Δ, διακόπτομε την τροφοδότηση του συλλέκτη του τρανζίστορ T_2 και το ετερόδυνο παύει να λειτουργεί. Η βαθμίδα μίξεως τότε, λειτουργεί σαν απλός φωρατής του ακουστικού σήματος που περιέχεται στο διαμορφωμένο σήμα.

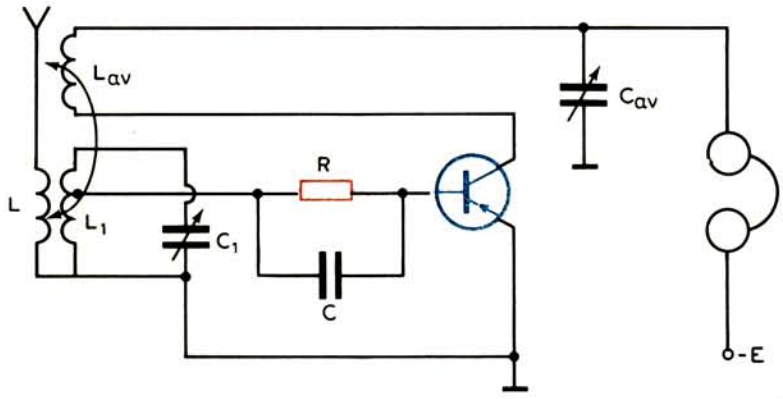


Σχ. 6.13.
Ετερόδυνος δέκτης.

Μια πιο απλή διάταξη λήψεως, που λειτουργεί με την αρχή των αυτοταλαντουμένων βαθμίδων μίξεως, φαίνεται στο σχήμα 6.14. Επειδή εδώ δεν υπάρχει χωριστό ετερόδυνο, η διάταξη ονομάζεται ***αυτόδυνος δέκτης***.

Στην ουσία πρόκειται για μια φωράτρια βαθμίδα, στην οποία δημιουργούμε θετική ανάδραση με την αυτεπαγωγή $L_{αν}$, οπότε παράγονται ταλαντώσεις. Με κατάλληλη ρύθμιση του κυκλώματος L_1 C_1 και του πηνίου αναδράσεως $L_{αν}$, μπορεί το παραγόμενο σήμα να έχει συχνότητα $f_τ$ πολύ γειτονική με τη συχνότητα f_c του λαμβανόμενου σήματος. Η μίξη των δύο σημάτων πραγματοποιείται στο κύκλωμα L_1 C_1 και το προϊόν με συχνότητα, π.χ. $f_c - f_τ = 1000$ Hz, αποκαλύπτεται από το φίλτρο RC. Το σήμα αυτό, ακουστικής συχνότητας, ενισχύεται από το τρανζίστορ και διεγείρει τα ακουστικά. Έτσι, επιτυγχάνεται η λήψη ενός συντηρούμενου τηλεγραφικού σήματος.

Αν το σήμα είναι διαμορφωμένο, δεν χρειάζεται η μίξη (αυτοδύνωση). Μεταβάλλομε, τότε, το συντελεστή αμοιβαίας επαγωγής μεταξύ των πηνίων L_1 και $L_{αν}$ ή πιο εύκολα τη χωρητικότητα $C_{αν}$, ώστε η τάση θετικής αναδράσεως να είναι μικρότερη από εκείνη που χρειάζεται για τη συντήρηση των ταλαντώσεων. Έτσι, οι ταλαντώσεις σταματούν και η βαθμίδα λειτουργεί σαν απλή φωράτρια. Η διάταξη του σχήματος 6.14 είναι γνωστή και με το όνομα ***αυτόδυνος φωρατής***.



Σχ. 6.14.
Αυτόδυνος δέκτης.

Σημειώνομε ότι ο αυτόδυνος δέκτης ή φωρατής, κατά τη λήψη διαμορφωμένων σημάτων, αποκτά μεγάλη ευαισθησία εξαιτίας της μικρής θετικής αναδράσεως. Η ενισχυτική ικανότητα της βαθμίδας με θετική ανάδραση, που βρίσκεται κάτω από το όριο συντηρήσεως αυτοταλαντώσεων, μεγαλώνει.

6.10 Αρχή της υπερετεροδυνώσεως.

Οι σύγχρονοι δέκτες, με την άριστη επιλογή και την υψηλή ευαισθησία, δεν ακολουθούν την οργάνωση των απλών ετεροδύνων και αυτοδύνων δεκτών, που είδαμε ως τώρα. Η σύνθεσή τους στηρίζεται στην ***υπερετεροδύνωση*** γι' αυτό και ονομάζονται ***υπερετερόδυνοι δέκτες***.

Ο υπερετερόδυνος δέκτης λειτουργεί σε τρεις, το λιγότερο, περιοχές συχνοτήτων: στη «συχνότητα του σήματος», στην καθορισμένη για κάθε δέκτη «ενδιάμεση συχνότητα» και τέλος στην «ακουστική συχνότητα», η οποία προκύπτει με δεύτερη (κάποτε και τρίτη) ετεροδύνωση ή με φώραση.

Η ενδιάμεση συχνότητα $f_ε$ προκύπτει από την πρώτη ετεροδύνωση και, όπως γνωρίζομε, ισούται με τη διαφορά των συχνοτήτων του σήματος f_c και του τοπικού ταλαντωτή $f_τ$:

$$f_ε = f_τ - f_c \qquad ή \qquad f_ε = f_c - f_τ$$

Κατά την επιλογή διαφόρων σταθμών με ρύθμιση του κυκλώματος συντονισμού στην είσοδο του δέκτη, επαναρρυθμίζεται και η συχνότητα του ετεροδύνου έτσι, ώστε η ενδιάμεση συχνότητα παραμένει η ίδια. Οι ρυθμίσεις των κυκλωμάτων επιλογής σταθμών του δέκτη και παραγωγής ταλαντώσεων του ετεροδύνου γίνονται με μονοχειρισμό. Αν η τάση του σήματος είναι αδιαμόρφωτη, τότε και η τάση ενδιάμεσης συχνότητας θα είναι αδιαμόρφωτη, ενώ αν η

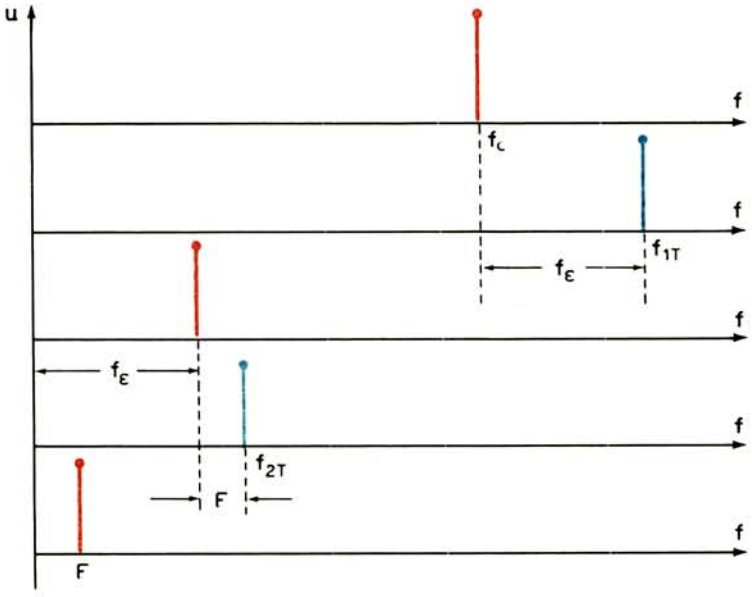
τάση του σήματος είναι διαμορφωμένη, η μορφή της διαμορφώσεως διατηρείται και στην ενδιάμεση συχνότητα.

Η υπερετερόδυνη λήψη αδιαμόρφωτων σημάτων ακολουθεί την πορεία που φαίνεται στο σχήμα 6.15. Στους άνω άξονες φαίνονται: η συχνότητα του σήματος f_c και η συχνότητα του πρώτου ετεροδύνου $f_{1\tau}$. Με την πρώτη μίξη δημιουργείται το σήμα της διαφοράς των δύο αυτών συχνοτήτων, δηλαδή το σήμα της ενδιάμεσης συχνότητας f_ε (τρίτος άξονας). Το σήμα αυτό, ύστερα από ενίσχυση, οδηγείται στο φωρατή, αλλά επειδή είναι αδιαμόρφωτο μπορεί να μετασχηματισθεί εκεί μόνο σε συνεχές ρεύμα.

Για να δώσει το σήμα ενδιάμεσης συχνότητας ακουστικό αποτέλεσμα υπόκειται σε μία ακόμα ετεροδύνωση. Ένας δεύτερος τοπικός ταλαντωτής παράγει τάση με συχνότητα $f_{2\tau}$ που ενεργεί στην είσοδο του φωρατή μαζί με την τάση της ενδιάμεσης συχνότητας f_ε. Έτσι, ο φωρατής παίζει το ρόλο μιας βαθμίδας δεύτερης μίξεως.

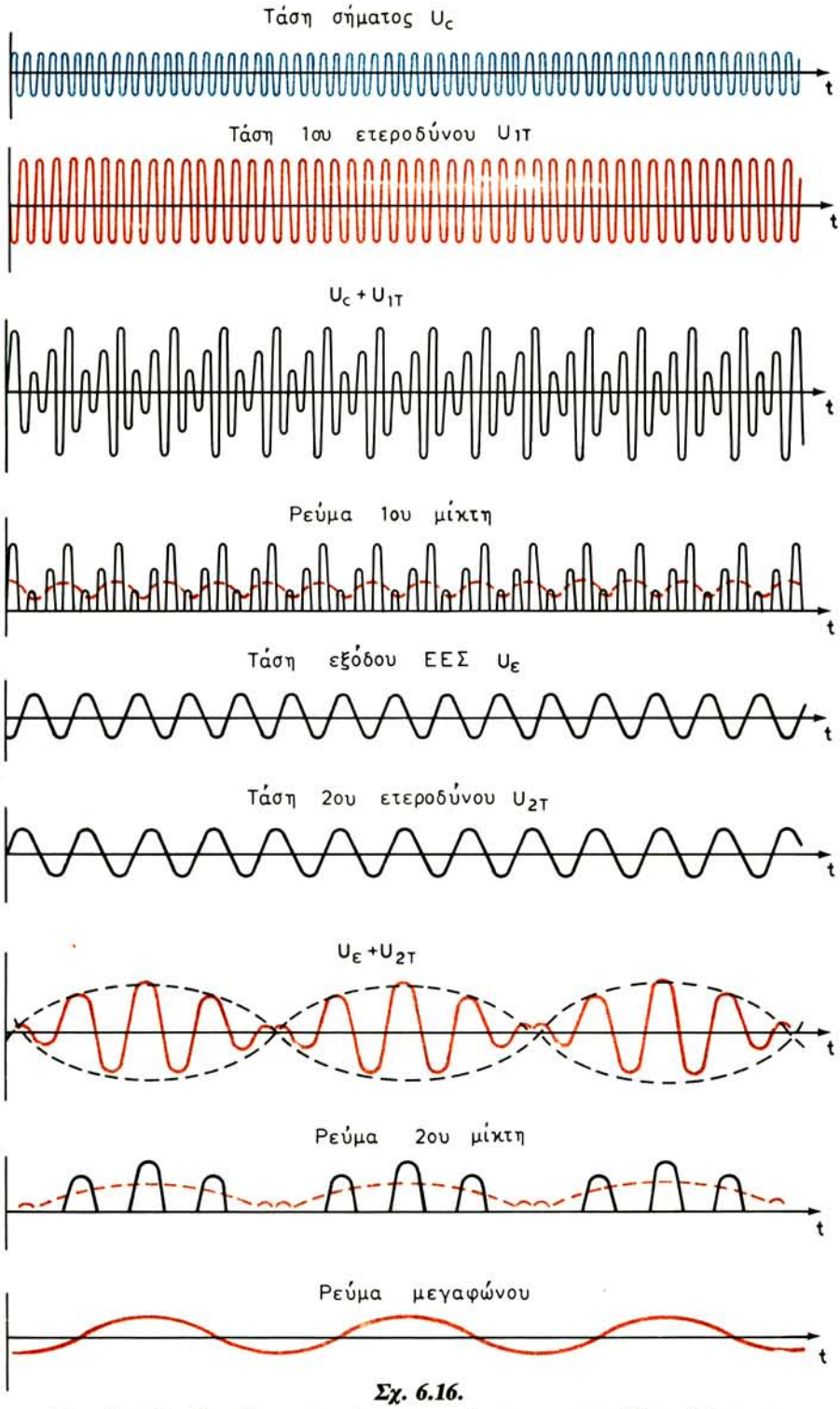
Η συχνότητα του δεύτερου ετεροδύνου $f_{2\tau}$ (τέταρτος άξονας) εκλέγεται έτσι, ώστε να διαφέρει από την ενδιάμεση συχνότητα κατά 800-1000 Hz. Επομένως, με τη δεύτερη ετεροδύνωση δημιουργείται σήμα με ακουστική συχνότητα F ($F = f_{2\tau} - f_\varepsilon = 800$ έως 1000 Hz), το οποίο, αφού ενισχυθεί, διεγείρει ένα μεγάφωνο.

Στο σχήμα 6.16 φαίνονται οι μεταλλαγές του αδιαμόρφωτου σήματος από την είσοδο του υπερετερόδυνου δέκτη ως την έξοδό του (μεγάφωνο). Παρατηρού-



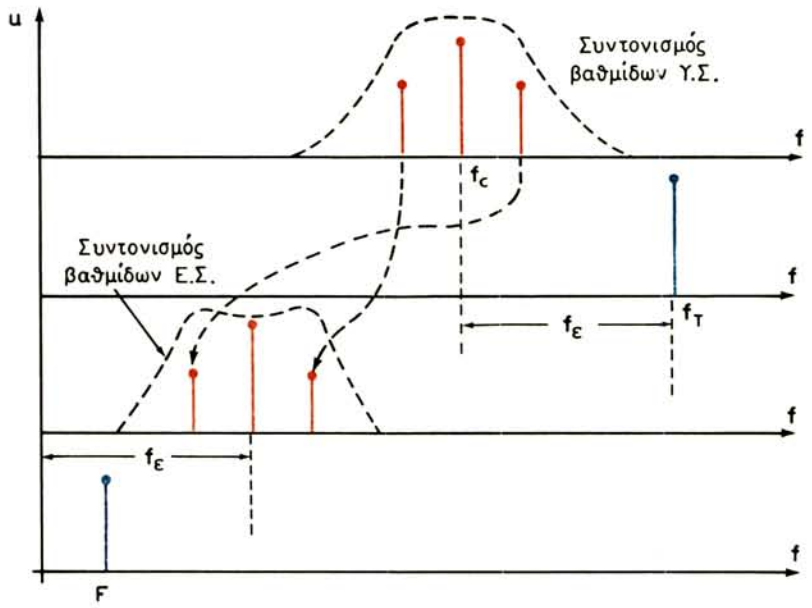
Σχ. 6.15.

Φασματικό διάγραμμα υπερετερόδυνης λήψεως αδιαμόρφωτου σήματος.



Σχ. 6.16.

Μεταλλαγές αδιαμόρφωτου σήματος κατά την υπερετερόδυνη λήψη του.



Σχ. 6.17.

Φασματικό διάγραμμα υπερετερόδυνης λήψεως διαμορφωμένου σήματος.

με ότι τα ρεύματα στις δύο βαθμίδες μίξεως είναι ανορθωμένα, γι' αυτό οι βαθμίδες μίξεως ονομάζονται και βαθμίδες ***πρώτης και δεύτερης φωράσεως***, αντίστοιχα.

Ας δούμε τώρα την υπερετερόδυνη λήψη του διαμορφωμένου κατά πλάτος σήματος. Το φασματικό διάγραμμα της λήψεως αυτής φαίνεται στο σχήμα 6.17.

Στον πρώτο (από επάνω) άξονα φαίνεται το φάσμα του διαμορφωμένου σήματος με τη φέρουσα συχνότητα f_c και τις δύο πλευρικές του (ή πλευρικές ζώνες συχνοτήτων):

$$f_c + F \qquad \text{και} \qquad f_c - F$$

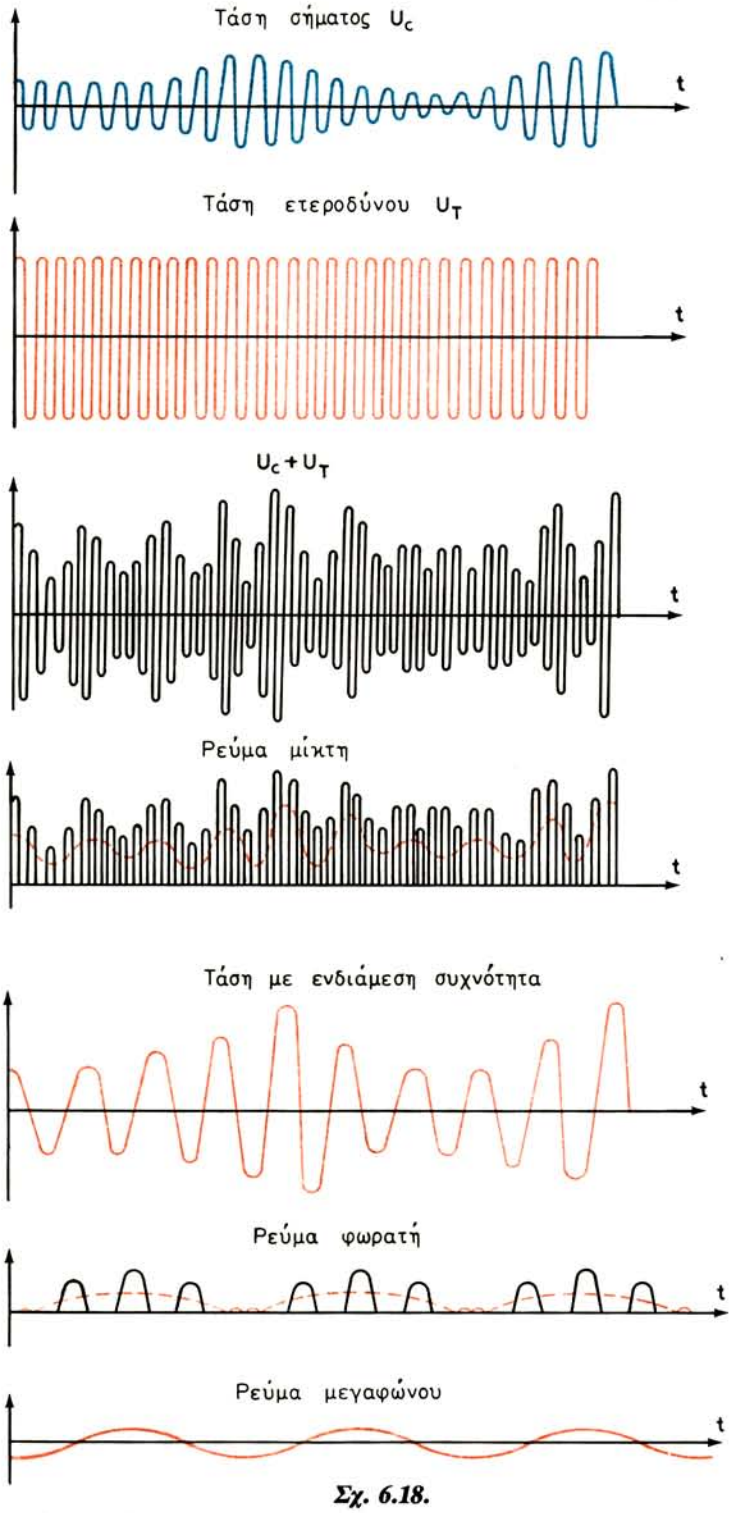
Τα κυκλώματα εισόδου του δέκτη συντονίζουν στη φέρουσα συχνότητα του σήματος, όπως δείχνει και η αντίστοιχη καμπύλη συντονισμού στο σχήμα 6.17.

Το διαμορφωμένο σήμα με τη φέρουσα συχνότητα f_c εφαρμόζεται στο μίκτη μαζί με το σήμα του ετεροδύνου συχνότητας f_τ (δεύτερος άξονας) για να προκύψει το σήμα ενδιάμεσης συχνότητας f_ε με τις πλευρικές του, δηλαδή οι διαφορές:

$$f_\tau - f_c = f_\varepsilon$$

$$f_\tau - (f_c + F) = f_\varepsilon - F$$

$$f_\tau - (f_c - F) = f_\varepsilon + F$$



Σχ. 6.18.

Μεταλλαγές διαμορφωμένου σήματος κατά την υπερετερόδυνη λήψη του.

Έτσι το σήμα ενδιάμεσης συχνότητας είναι διαμορφωμένο κατά πλάτος όπως το φέρον σήμα. Το αντιστραμμένο φάσμα του (βλ. παράγραφο 6.3) με την καμπύλη συντονισμού των βαθμίδων ενδιάμεσης συχνότητας του δέκτη φαίνεται στον τρίτο άξονα του σχήματος 6.17.

Το φάσμα αυτό οδηγείται στο φωρατή, όπου αποκαλύπτεται (χωρίς άλλη ετεροδύνωση) το διαμορφωτικό σήμα με την ακουστική συχνότητα F. Οι μεταλλαγές του διαμορφωμένου σήματος κατά τη λήψη του με υπερετερόδυνο δέκτη φαίνονται στο σχήμα 6.18.

6.11 Υπερετερόδυνοι δέκτες.

Παρουσιάζομε τώρα την οργάνωση των υπερετεροδύνων δεκτών που προορίζονται για τη λήψη σημάτων αδιαμορφώτων, διαμορφωμένων κατά πλάτος και διαμορφωμένων κατά συχνότητα.

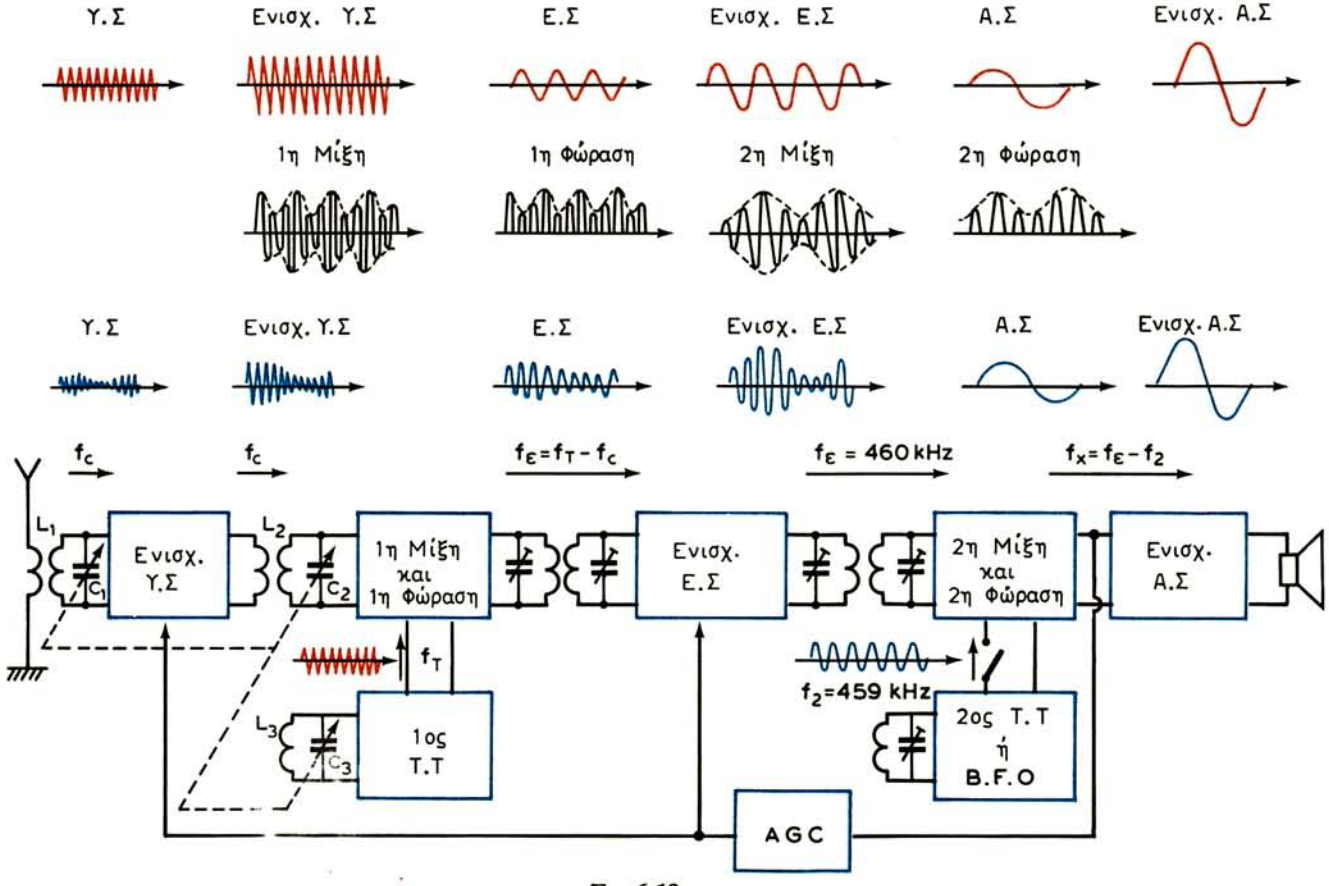
Στο σχήμα 6.19 φαίνεται το διάγραμμα του υπερετερόδυνου δέκτη για τη λήψη αδιαμορφώτων και διαμορφωμένων κατά πλάτος σημάτων. Στο ίδιο σχήμα παριστάνονται γραφικά και οι διαδοχικοί μετασχηματισμοί του σήματος από την κεραία ως το μεγάφωνο, όπως τους γνωρίσαμε στην προηγούμενη παράγραφο.

Το σήμα υψηλής συχνότητας (ΥΣ), αδιαμόρφωτο ή διαμορφωμένο, ενισχύεται από τον αντίστοιχο ενισχυτή και οδηγείται στη βαθμίδα μίξεως μαζί με το σήμα του τοπικού ταλαντωτή (Τ Τ). Το προϊόν της μίξεως, που είναι το σήμα της ενδιάμεσης συχνότητας (ΕΣ) ενισχύεται από μια ή δυο βαθμίδες και εφαρμόζεται στο φωρατή. Αν το σήμα είναι αδιαμόρφωτο, ο φωρατής δέχεται και το σήμα του δεύτερου τοπικού ταλαντωτή ή ταλαντωτή BFO (Beat Frequency Oscillator = ταλαντωτής συχνότητας διακροτημάτων) για να δώσει, με μια δεύτερη μίξη, το σήμα ακουστικής συχνότητας. Αν το σήμα είναι διαμορφωμένο, η δεύτερη μίξη δεν χρειάζεται και ο φωρατής αποκαλύπτει απλώς το σήμα ακουστικής συχνότητας. Ο δέκτης, που προορίζεται αποκλειστικά για τη λήψη σημάτων διαμορφωμένων με ομιλία ή μουσική, δηλαδή το ραδιόφωνο, δεν διαθέτει δεύτερο τοπικό ταλαντωτή.

Το σήμα ακουστικής συχνότητας ενισχύεται από τον αντίστοιχο ενισχυτή (ΑΣ) κατά τάση και ισχύ και διεγείρει τελικά το μεγάφωνο του δέκτη.

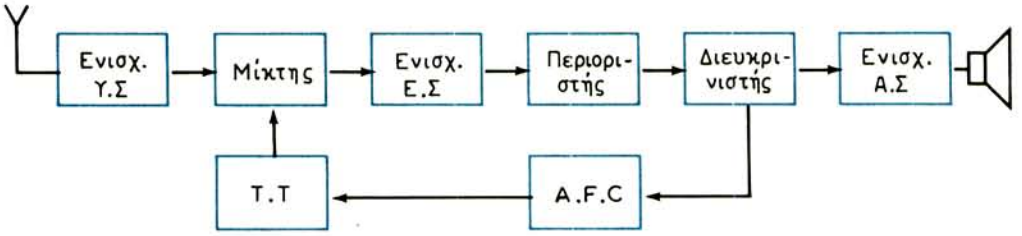
Το διάγραμμα ενός δέκτη σημάτων με διαμόρφωση συχνότητας φαίνεται στο σχήμα 16.20. Οι διαφορές του από τον προηγούμενο είναι κυρίως δύο: η αντικατάσταση του φωρατή με το διευκρινιστή και η παρεμβολή μεταξύ του ενισχυτή ενδιάμεσης συχνότητας και του διευκρινιστή ενός περιοριστή πλάτους. Όπως είπαμε στην παράγραφο 5.15, ο περιοριστής αυτός είναι απαραίτητος για την απαραμόρφωτη ανάδειξη του ακουστικού σήματος από το διευκρινιστή.

Για τις διατάξεις AGC (Automatic Gain Control = αυτόματη ρύθμιση απολαβής) ή AVC (Automatic Volume Control = αυτόματη ρύθμιση όγκου φωνής) του



Σχ. 6.19.

Διάγραμμα υπερετερόδυνου δέκτη για τη λήψη αδιομόρφωτων και διαμορφωμένων σημάτων.



Σχ. 6.20.

Διάγραμμα υπερετερόδυνου δέκτη σημάτων με διαμόρφωση συχνότητας.

σχήματος 6.19 και AFC (Automatic Frequency Control = αυτόματη ρύθμιση συχνότητας) του σχήματος 6.20 θα μιλήσομε σε άλλη παράγραφο.

6.12 Εκλογή της ενδιάμεσης συχνότητας.

Η εκλογή της ενδιάμεσης συχνότητας των υπερετεροδύνων δεκτών είναι ενδιαφέρον πρόβλημα για του οποίου τη λύση γίνεται σειρά συλλογισμών, ακόμη και συμβιβασμών.

Πρώτα απ' όλα να δούμε γιατί η ενδιάμεση συχνότητα πρέπει να προκύπτει από τη διαφορά $f_\tau - f_c$ και όχι από τη διαφορά $f_c - f_\tau$, δηλαδή γιατί η συχνότητα του τοπικού ταλαντωτή πρέπει να είναι μεγαλύτερη από τη συχνότητα του λαμβανόμενου σήματος ($f_\tau > f_c$).

Υποθέτομε ότι ο δέκτης λειτουργεί στην περιοχή συχνοτήτων f_c = 500 έως 1000 kHz και έχει ενδιάμεση συχνότητα f_e=250 kHz. Με $f_\tau < f_c$, η συχνότητα του τοπικού ταλαντωτή θα μεταβάλλεται στα όρια:

$$f_{\tau 1} = f_{c1} - f_\varepsilon = \ 500 - 250 = 250 \text{ kH}_z$$

$$f_{t2} = f_{c2} - f_\varepsilon = 1000 - 250 = 750 \text{ kH}_z$$

δηλαδή θα μεταβάλλεται κατά 3 φορές (750/250 = 3).

Με $f_\tau > f_c$, θα έχομε:

$$f_{t1} = f_{c1} + f_\varepsilon = \ 500 + 250 = \ 750 \text{ kH}_z$$

$$f_{\tau 2} = f_{c2} + f_\varepsilon = 1000 + 250 = 1250 \text{ kH}_z$$

δηλαδή μεταβολή μόνο κατά 1,67 φορές (1250 / 750 = 1,67).

Αυτό σημαίνει ότι, όταν η συχνότητα του τοπικού ταλαντωτή είναι μεγαλύτερη από τη συχνότητα του σήματος, δηλαδή όταν η ενδιάμεση συχνότητα προκύπτει από τη διαφορά $f_\tau - f_c$, δημιουργούνται καλύτερες συνθήκες ρυθμίσεως της συχνότητας του τοπικού ταλαντωτή (μικρότερη περιοχή μεταβολής της συχνότητάς του).

Ας δούμε τώρα την τιμή της ενδιάμεσης συχνότητας σε σχέση με την περιοχή συντονισμού (λήψεως) του δέκτη.

Κατά τη λήψη ενός σηματος με συχνότητα f_{c1}, η συχνότητα του τοπικού ταλαντωτή θα είναι (με $f_\tau > f_{c1}$):

$$f_\tau = f_{c1} + f_\varepsilon$$

Στην είσοδο του δέκτη, εκτός από το σήμα f_{c1}, μπορεί να ενεργεί και το σήμα ενός άλλου πομπού με συχνότητα $f_{c2} > f_\tau$. Στην περίπτωση αυτή θα έχομε ενδιάμεση συχνότητα:

$$f_\varepsilon = f_{c2} - f_\tau \qquad \text{που είναι ίση με την:} \qquad f_\varepsilon = f_\tau - f_{c1}$$

και στην έξοδο του δέκτη δημιουργείται φαινόμενο ταυτόχρονης επιδράσεως δύο σταθμών (συνακρόαση).

Η θέση των συχνοτήτων των δύο σταθμών f_{c1} και f_{c2} είναι συμμετρική ως προς τη συχνότητα του τοπικού ταλαντωτή (σχ. 6.21), γι' αυτό και η συχνότητα του δεύτερου σήματος ονομάζεται ***συχνότητα είδωλο.***

Από τις προηγούμενες σχέσεις προκύπτει οτι η συχνότητα είδωλο ισούται με:

$$f_{ειδ} = f_{c2} = f_\varepsilon + f_\tau = f_\varepsilon + f_{c1} + f_\varepsilon = f_{c1} + 2\, f_\varepsilon$$

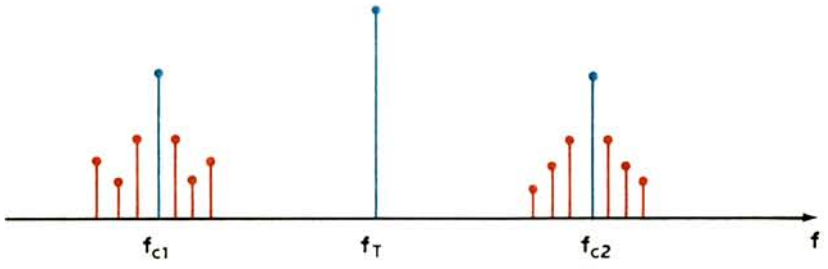
δηλαδή είναι ίση με τη συχνότητα του λαμβανόμενου σήματος συν το διπλάσιο της ενδιάμεσης συχνότητας του δέκτη. Η συχνότητα είδωλο αποφεύγεται όταν βρίσκεται έξω από την περιοχή λήψεως του δέκτη κατά το συντονισμό του στη χαμηλότερη συχνότητα αυτής της περιοχής.

Για περιοχή λήψεως, π.χ. 500-1000 kHz και για $f_\varepsilon = 250$ kHz, η συχνότητα είδωλο κατά το συντονισμό του δέκτη στα 500 kHz θα είναι:

$$f_{ειδ} = f_c + 2\, f_\varepsilon = 500 + 2 \cdot 250 = 1000 \text{ kHz}$$

δηλαδή βρίσκεται στο ανώτερο όριο της περιοχής λήψεως του δέκτη.

Για να βρεθεί έξω από το όριο αυτό πρέπει να εκλεγεί ενδιάμεση συχνότητα



Σχ. 6.21.
Θέση της συχνότητας είδωλο.

μεγαλύτερη από τα 250 kHz. Π.χ., με $f_ε$ = 465 kHz, η συχνότητα είδωλο για συντονισμό του δέκτη στα 500 kHz θα είναι:

$$f_{ειδ} = 500 + 2 \cdot 465 = 1430 \text{ kHz}$$

Αυτό σημαίνει ότι με αύξηση της ενδιάμεσης συχνότητας, το ανώτερο όριο της περιοχής λήψεως του δέκτη μπορεί να επεκταθεί ως τα 1420 kHz και η συχνότητα είδωλο για τα 500 kHz να εξακολουθεί να βρίσκεται έξω από το όριο αυτό.

Ακόμη, η ενδιάμεση συχνότητα δεν πρέπει να είναι ίση ή να βρίσκεται κοντά στη χαμηλότερη συχνότητά της περιοχής λήψεως του δέκτη. Το σήμα ενός σταθμού, που εκπέμπει στην ενδιάμεση συχνότητα ή κοντά σ' αυτήν, μπορεί να ενισχυθεί από τις βαθμίδες που ακολουθούν το μίκτη και να δημιουργήσει παρασιτική παρεμβολή. Η διαφορά της ενδιάμεσης συχνότητας από τη χαμηλότερη συχνότητα της περιοχής λήψεως του δέκτη πρέπει να είναι μεγαλύτερη από την υψηλότερη ακουστική συχνότητα.

Αυτονόητο, τέλος, είναι ότι η ενδιάμεση συνότητα δεν μπορεί να βρίσκεται μέσα στην περιοχή λήψεως του δέκτη.

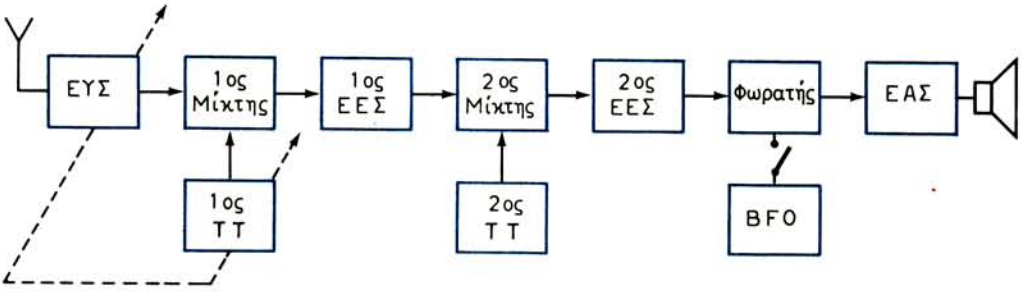
Στους ραδιοφωνικούς δέκτες και σε πολλούς επαγγελματικούς δέκτες η ενδιάμεση συχνότητα τοποθετείται γύρω στα 465 kHz, επειδή η συχνότητα αυτή βρίσκεται σε «νεκρή» περιοχή μεταξύ των μακρών και μεσαίων κυμάτων. Σε ειδικούς επαγγελματικούς δέκτες μακρών κυμάτων καταλληλότερη είναι η ενδιάμεση συχνότητα των 110 kHz περίπου. Π.χ. κατά τη λήψη σήματος με συχνότητα f_c = 150 kHz (λ = 2000 m), η συχνότητα είδωλο $f_{ειδ}$ = 370 kHz ξεπερνάει το διπλάσιο της συχνότητας του σήματος και είναι εύκολο να αποφευχθεί. Σε επαγγελματικούς, επίσης, δέκτες βραχέων κυμάτων εκλέγεται ενδιάμεση συχνότητα 1600 kHz. Τέλος, η ενδιάμεση συχνότητα των δεκτών FM (περιοχής 88 – 108 MHz) εκλέγεται στα 10,7 MHz. Για τα 88 MHz η συχνότητα είδωλο είναι 109,4 MHz και επομένως βρίσκεται έξω από την περιοχή λήψεως του δέκτη.

6.13 Δέκτες διπλής μεταλλαγής συχνότητας.

Σε επαγγελματικούς τηλεγραφικούς δέκτες με στενή ζώνη διελεύσεως (μέχρι 500 Hz) γίνονται συνήθως δυο μεταλλαγές συχνότητας ως τη φώραση (σχ. 6.22). Η πρώτη ενδιάμεση συχνότητα εκλέγεται αρκετά υψηλή, ώστε η συχνότητα είδωλο:

$$f_{1ειδ} = f_c + 2\, f_{1ε}$$

να μπορεί εύκολα να αποκλεισθεί με μία κυματοπαγίδα που συνδέεται στην είσοδο του δέκτη. Το κύκλωμα επιλογής του ενισχυτή υψηλής συχνότητας (ΕΥΣ) και το κύκλωμα ταλαντώσεων του πρώτου τοπικού ταλαντωτή ρυθμίζονται στις συχνότητες f_c και $f_{1τ}$ με μονοχειρισμό.



Σχ. 6.22.
Διάγραμμα υπερετερόδυνου δέκτη διπλής μεταλλαγής συχνότητας.

Ο δεύτερος τοπικός ταλαντωτής παράγει σήμα με σταθερή συχνότητα, η οποία διαφέρει από την πρώτη ενδιάμεση συχνότητα κατά μέγεθος ίσο με τη δεύτερη ενδιάμεση συχνότητα, δηλαδή:

$$f_{2\tau} = f_{1\varepsilon} + f_{2\varepsilon} \qquad \text{ή} \qquad f_{2\tau} = f_{1\varepsilon} - f_{2\varepsilon}$$

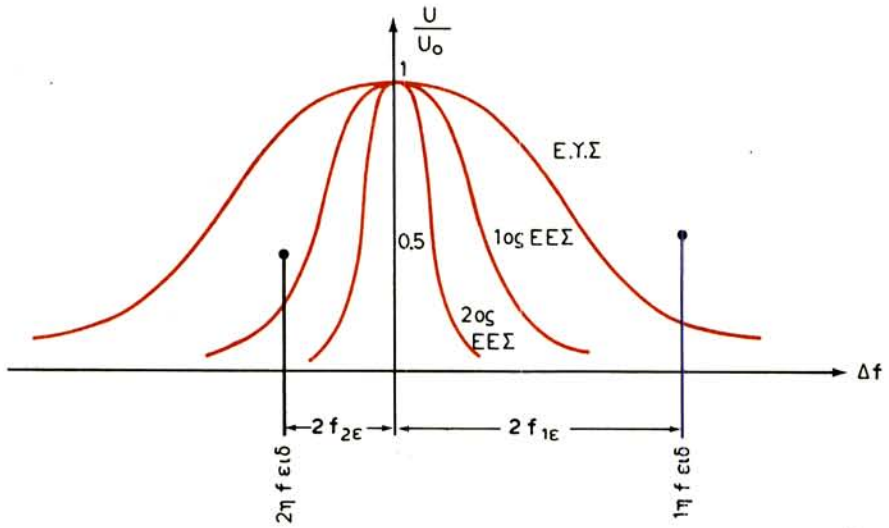
Συνήθως, και για λόγους σταθερότητας της λειτουργίας του δεύτερου τοπικού ταλαντωτή, η συχνότητά του εκλέγεται χαμηλότερη από την πρώτη ενδιάμεση συχνότητα.

Η βασική ενίσχυση του σήματος γίνεται στις βαθμίδες του δεύτερου ενισχυτή ενδιάμεσης συχνότητας, της οποίας η τιμή πρέπει να είναι τέτοια, ώστε, με καλή ποιότητα κυκλωμάτων, να εξασφαλίζεται η απαιτούμενη ζώνη διελεύσεως. Για τηλεφωνική λήψη η συχνότητα αυτή εκλέγεται στην περιοχή των μεσαίων κυμάτων, ενώ για τηλεγραφική λήψη μπορεί να βρίσκεται και στην περιοχή των μακρών κυμάτων. Τα κυκλώματα και η ποιότητα των βαθμίδων πρέπει να εξασφαλίζουν καμπύλες συντονισμού που να έχουν μέτωπα με μεγάλη κλίση.

Η ολική ενίσχυση ως το φωρατή είναι ίση με το γινόμενο των ενισχύσεων όλων των βαθμίδων από τον ενισχυτή υψηλής συχνότητας ως το φωρατή και η ολική καμπύλη συντονισμού του δέκτη συμπίπτει πρακτικά με την καμπύλη συντονισμού του δεύτερου ενισχυτή ενδιάμεσης συχνότητας (σχ. 6.23).

Η συχνότητα είδωλο, που διαφέρει από τη συχνότητα του σήματος κατά το διπλάσιο της πρώτης ενδιάμεσης συχνότητας, μπορεί να παγιδευθεί μόνο στο κύκλωμα επιλογής του δέκτη, όπως γίνεται και στους απλούς δέκτες. Όμως στους δέκτες διπλής ετεροδυνώσεως εμφανίζονται και νέες δευτερεύουσες συχνότητες από τις οποίες περισσότερο ενοχλητική είναι η συχνότητα είδωλο του δεύτερου μεταλλάκτη συχνότητας.

Υποθέτομε, π.χ., ότι σήματα ενοχλητικών σταθμών περνούν από το κύκλωμα επιλογής του δέκτη και από τον ενισχυτή της πρώτης ενδιάμεσης συχνότητας και ενεργούν στο δεύτερο μεταλλάκτη μαζί με το σήμα του δεύτερου τοπικού



Σχ. 6.23.

Καμπύλες επιλογής δέκτη διπλής ετεροδυνώσεως.

ταλαντωτή. Αν τα σήματα αυτά, μιγνυόμενα με το σήμα του δεύτερου ετεροδύνου, δημιουργήσουν συχνότητα ίση με τη δεύτερη ενδιάμεση συχνότητα, το παρενοχλητικό σήμα ενισχύεται από όλες τις επόμενες βαθμίδες του δέκτη.

Η συχνότητα είδωλο του δεύτερου μεταλλάκτη μπορεί να παγιδευθεί με σύνθετα συστήματα επιλογής στην είσοδο του δέκτη, κυρίως όμως με κυματοπαγίδες που συνδέονται στις βαθμίδες της πρώτης ενδιάμεσης συχνότητας. Στο σχήμα 6.23 φαίνεται, υποθετικά, η θέση των συχνοτήτων είδωλα του πρώτου και δεύτερου μεταλλάκτη.

Ύστερα από τη δεύτερη ετεροδύνωση, αν ο δέκτης είναι τηλεγραφικός χρειάζεται και τρίτο ετερόδυνο (BFO), ενώ αν είναι τηλεφωνικός αρκεί ο φωρατής.

Κλείνοντας την παράγραφο, θα σταθούμε λίγο στο πρόβλημα της σταθερότητας της συχνότητας των δύο ετεροδύνων.

Η απόκλιση της συχνότητας οποιουδήποτε ετεροδύνου κατά Δf, προκαλεί απόκλιση της δεύτερης ενδιάμεσης συχνότητας, και επομένως αποσυντονισμό των αντιστοίχων κυκλωμάτων, επίσης κατά Δf. Επειδή όμως το δεύτερο ετερόδυνο παράγει συχνότητα πολύ χαμηλότερη από ό,τι το πρώτο, μεγαλύτερο κίνδυνο δημιουργεί η απόκλιση συχνότητας του πρώτου ετεροδύνου. Γι' αυτό, ιδιαίτερα απαραίτητη είναι η σταθεροποίηση της συχνότητας του πρώτου ετεροδύνου.

Το πρώτο ετερόδυνο μπορεί να σταθεροποιεί με κρύσταλλο, όμως τότε, για ένα δέκτη περιοχής συχνοτήτων, χρειάζεται ταυτόχρονος συντονισμός του κυκλώματος επιλογής, των κυκλωμάτων της πρώτης ενδιάμεσης συχνότητας και του κυκλώματος ταλαντώσεων του δεύτερου ετεροδύνου.

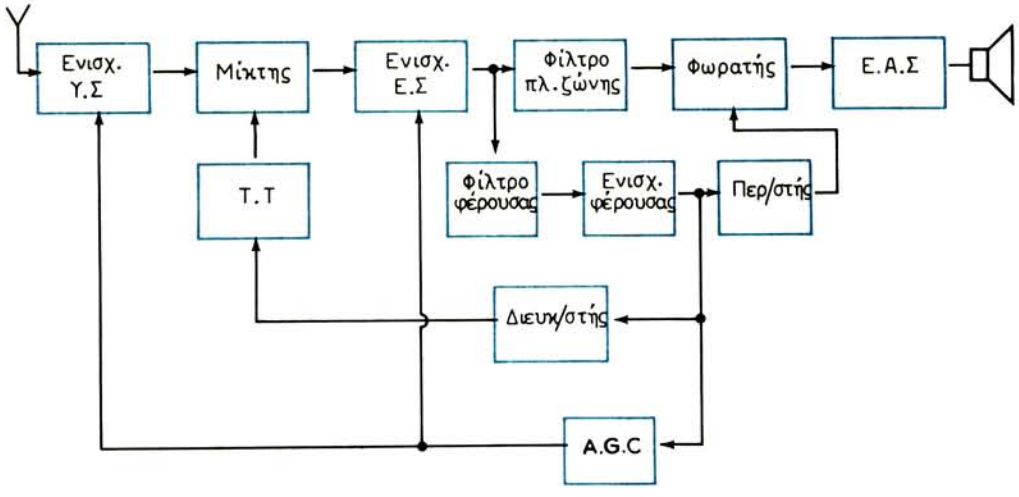
6.14 Δέκτες σημάτων μιας πλευρικής ζώνης.

Η λήψη σημάτων με μία πλευρική ζώνη (SSB) μπορεί να γίνει με συνηθισμένο δέκτη, αφού αποκατασταθεί στην είσοδό του η φέρουσα συχνότητα που καταργήθηκε στον πομπό. Η αποκατάσταση της φέρουσας γίνεται με τη βοήθεια τοπικού ταλαντωτή.

Η λήψη της μιας πλευρικής ζώνης με τον τρόπο αυτό είναι δυνατή μόνο με υψηλή σταθεροποίηση της συχνότητας, τόσο της ταλαντώσεως του τοπικού ταλαντωτή της φέρουσας, όσο και της ταλαντώσεως του κανονικού ετεροδύνου του δέκτη. Παρ' όλα αυτά, μια μικρή ολίσθηση τη συχνότητας οποιουδήποτε ταλαντωτή του δέκτη θα προκαλέσει παραμόρφωση του ωφέλιμου σήματος στην έξοδό του.

Για την αποφυγή μιας τέτοιας παραμορφώσεως θα πρέπει ο πομπός να ακτινοβολεί ένα σήμα «πιλότο» (πιλοτόσημα) σταθερής συχνότητας, το οποίο θα χρησιμοποιηθεί στο δέκτη για την αυτόματη ρύθμιση της συχνότητας του ετεροδύνου του. Συχνότερα, το πιλοτόσημα παίρνεται από το φέρον σήμα, το οποίο δεν καταργείται εντελώς στον πομπό, αλλά ακτινοβολείται ένα τμήμα του (υποτυπώδες φέρον σήμα) με πλάτος ίσο περίπου με το 15% του ολικού πλάτους του φέροντος σήματος. Το σήμα αυτό χρησιμοποιείται επίσης για την αυτόματη ρύθμιση της απολαβής του δέκτη.

Όταν το πιλοτόσημα προέρχεται από το φέρον σήμα του πομπού με την τελική συχνότητα εκπομπής, δεν χρειάζεται ταλαντωτής φέρουσας στο δέκτη. Το πιλοτόσημα αυτό ξεχωρίζεται από το σήμα της πλευρικής ζώνης με τη βοήθεια φίλτρου, που συνδέεται στην έξοδο του δεύτερου ενισχυτή ενδιάμεσης



Σχ. 6.24.

Διάγραμμα δέκτη σημάτων μιας πλευρικής ζώνης.

συχνότητας (αν ο δέκτης λειτουργεί με δυο ενδιάμεσες συχνότητες), ύστερα ενισχύεται και αφού αποκτήσει την απαιτούμενη στάθμη με τη βοήθεια περιοριστή, οδηγείται στο φωρατή σαν φέρον σήμα. Ταυτόχρονα, μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την αυτόματη ρύθμιση της συχνότητας του πρώτου ετεροδύνου του δέκτη (με τη βοήθεια διευκρινιστή) και για την αυτόματη ρύθμιση της απολαβής του. Η οργάνωση ενός τέτοιου δέκτη, με μία ενδιάμεση συχνότητα, φαίνεται στο σχήμα 6.24.

Σημειώνομε ότι ο δέκτης με πιλοτόσημα, που προέρχεται από το φέρον κύμα δεν δίνει καλά αποτελέσματα κατά τις διαλείψεις του σήματος. Καλύτερη συμπεριφορά στην περίπτωση αυτή έχει ο δέκτης με αυτόνομο ταλαντωτή αποκαταστάσεως της φέρουσας συχνότητας.

6.15 Ποιοτικά χαρακτηριστικά δεκτών.

Κάθε διάταξη λήψεως πρέπει να ικανοποιεί ορισμένες απαιτήσεις, ανάλογα με τον προορισμό της. Τα βασικά ποιοτικά χαρακτηριστικά ενός δέκτη που προσδιορίζουν την καταλληλότητά του για κάθε συγκεκριμένη περίπτωση χρησιμοποιήσεώς του είναι: η ισχύς ή η τάση εξόδου, η ευαισθησία, η επιλογικότητα και η ζώνη διελεύσεως, η περιοχή συχνοτήτων και η πιστότητα αναπαραγωγής.

1) Ισχύς ή τάση εξόδου.

Ισχύς εξόδου ονομάζεται η ισχύς που παρέχεται από το δέκτη στην τελική διάταξη εκμεταλλεύσεώς του. Το μέγεθος της ισχύος εξόδου καθορίζεται από τον τελικό ενισχυτή του δέκτη, από το μεγάφωνο ή από την τηλεγραφική συσκευή και γενικά από τη διάταξη που θα ενεργοποιήσει ο δέκτης.

Για δέκτες ειδικού προορισμού, όπως είναι οι τηλεοπτικοί ή οι δέκτες ραδιοεντοπίσεως (ραντάρ), που έχουν ως διάταξη εξόδου κάποιον καθοδικό σωλήνα, αντί της ισχύος εξόδου δίνεται η τάση εξόδου. Ανάλογα με τον προορισμό του δέκτη, η τάση εξόδου μπορεί να κυμαίνεται από μιλιβόλτ έως μερικές δεκάδες βολτ.

2) Ευαισθησία.

Ευαισθησία του δέκτη ονομάζεται η ικανότητά του να εξασφαλίζει κανονική λήψη όταν στην κεραία αναπτύσσεται σήμα μικρής τάσεως ή ισχύος. Κανονική λήψη εννοείται εκείνη, με την οποία εξασφαλίζεται η καθορισμένη τάξη λειτουργίας της τελικής συσκευής του δέκτη.

Η ευαισθησία εκτιμάται από την ελάχιστη τάση ή ισχύ του σήματος στην κεραία, με την οποία γίνεται η κανονική λήψη και υπολογίζεται σε μικροβόλτ ή μιλιβάτ. Επομένως, όσο μικρότερη είναι η τάση του ωφέλιμου σήματος στην κεραία, με την οποία πραγματοποιείται κανονική λήψη, τόσο μεγαλύτερη είναι η ευαισθησία του δέκτη.

Η ευαισθησία των δεκτών, ανάλογα με τον προορισμό τους και την περιοχή

συχνοτήτων που λειτουργούν, κυμαίνεται σε πλατιά όρια. Στους σύγχρονους δέκτες αναφέρονται ευαισθησίες από 1 μV (δέκτες υψηλής κλάσεως) μέχρι και 300 μV (δέκτες κατώτερης κλάσεως).

Η υψηλή ευαισθησία συνδέεται κυρίως με την ενισχυτική ικανότητα του δέκτη. Πρακτικά μπορεί να υπάρχει μόνο όταν η στάθμη των εξωτερικών θορύβων (βιομηχανικών, ατμοσφαιρικών, κοσμικών), που ενεργούν στην κεραία του δέκτη και κυρίως των εσωτερικών θορύβων, που θεωρούνται αναγόμενοι στην είσοδο του δέκτη, είναι μικρότερη από τη στάθμη του λαμβανόμενου σήματος. Το κατώτερο όριο του σήματος, που μπορεί να αναδειχθεί από ένα δέκτη, ορίζεται από τη στάθμη του αθροίσματος των παραπάνω θορύβων. Έτσι, ο ορισμός της ευαισθησίας του δέκτη, όπως διατυπώθηκε στην αρχή της παραγράφου, χάνει πολύ από την αξία του, αν δεν συνδυασθεί με τη στάθμη των θορύβων που ενεργούν στην είσοδο του δέκτη.

Στην πράξη χρησιμοποιούμε περισσότερο το λόγο «σήμα/θόρυβος». Όσο μεγαλύτερος είναι ο λόγος αυτός, τόσο καλύτερη θα είναι η αναπαραγωγή του σήματος στην έξοδο του δέκτη. Με λόγο σήμα/θόρυβος μικρότερο από τη μονάδα, το σήμα «πνίγεται» στο θόρυβο, ανεξάρτητα από την ευαισθησία του δέκτη. Συνεπώς ο λόγος σήμα/θόρυβος πρέπει να είναι πολύ μεγαλύτερος από τη μονάδα για να έχομε ωφέλιμο ακουστικό αποτέλεσμα στην έξοδο του δέκτη.

Αν περιορισθούμε στους εσωτερικούς μόνο θορύβους, η ευαισθησία του δέκτη καθορίζεται από τους θορύβους της πρώτης βαθμίδας του. Οι θόρυβοι, που εισάγονται από μία επόμενη βαθμίδα, ελαττώνονται αντιστρόφως ανάλογα προς το τετράγωνο του συντελεστή ενισχύσεως της προηγούμενης βαθμίδας. Αν, π.χ., η πρώτη βαθμίδα έχει συντελεστή ενιχύσεως A = 4, ο επιπλέον θόρυβος της δεύτερης βαθμίδας είναι μόνο το $1/A^2 = 1/16$ του θορύβου της πρώτης βαθμίδας. Έτσι, ο μεγάλος λόγος σήμα/θόρυβος μπορεί να επιτευχθεί με μία καλή (αθόρυβη) βαθμίδα ενισχύσεως του σήματος υψηλής συχνότητας στην είσοδο του δέκτη.

3) Ζώνη διελεύσεως και επιλογικότητα.

Είναι γνωστό ότι τα σήματα των διαφόρων σταθμών εκπομπής έχουν διαφορετική συχνότητα φέροντος κύματος.

Το ωφέλιμο σήμα, που φθάνει στην είσοδο του δέκτη, αποτελείται από φάσμα συχνοτήτων που έχει σχέση με τη διεργασία της διαμορφώσεως στον πομπό. Το εύρος αυτού του φάσματος εξαρτάται από το είδος της διαμορφώσεως. Με διαμόρφωση πλάτους, π.χ., ο πομπός ακτινοβολεί την ταλάντωση της φέρουσας συχνότητας f_o και ολόκληρο το φάσμα των ταλαντώσεων των πλευρικών συχνοτήτων από $f_o - F_{max}$ έως $f_o + F_{max}$, όπου F_{max} η υψηλότερη συχνότητα του διαμορφωτικού σήματος. Το εύρος αυτού του φάσματος ισούται με $2\ F_{max}$.

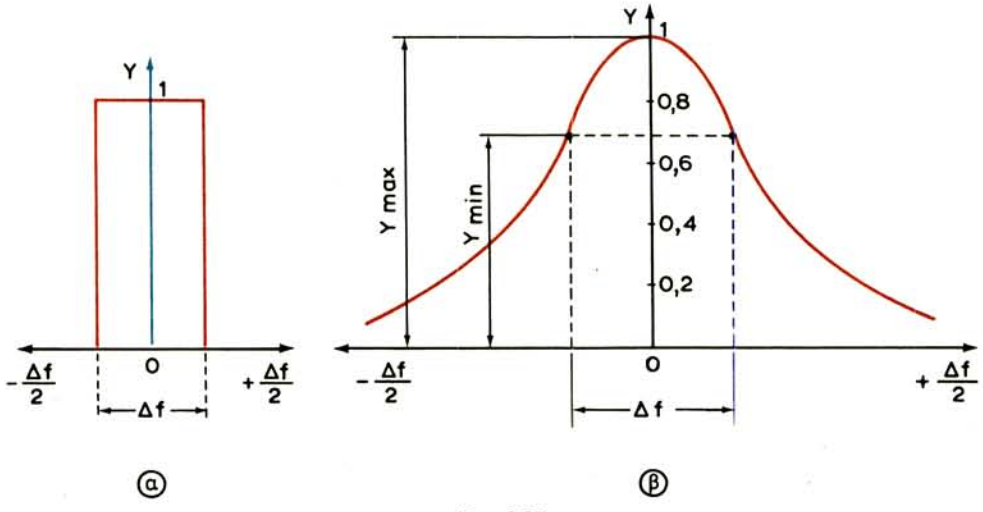
Ένα από τα προβλήματα, που καλείται να λύσει ο δέκτης, είναι η λήψη του ωφέλιμου σήματος με όλες τις πλευρικές του συχνότητες, δηλαδή η ταυτόχρονη λήψη μιας ολόκληρης ζώνης συχνοτήτων. Κατά τη λήψη αυτή πρέπει η σχέση μεταξύ των πλατών των συνιστωσών του φάσματος του σήματος να μη μεταβάλλεται. Αυτό μπορεί να γίνει μόνον όταν η ευαισθησία του δέκτη είναι σταθερή σε όλη τη ζώνη συχνοτήτων.

Ένα άλλο βασικό πρόβλημα, που αντιμετωπίζεται στη λήψη, είναι η δυνατότητα του δέκτη να ξεχωρίζει το επιθυμητό σήμα, από ένα πλήθος σημάτων, που ενεργούν στην κεραία του.

Η ικανότητα του δέκτη να ξεχωρίζει από τα πολλά σήματα, που ενεργούν στην κεραία του και που διαφέρουν κατά συχνότητα, το ωφέλιμο σήμα του επιθυμητού πομπού ονομάζεται ***επιλογικότητα*** του δέκτη.

Η χαρακτηριστική, με τη βοήθεια της οποίας μπορούμε να εκτιμήσομε μέχρι ποιο βαθμό λύνονται τα δύο παραπάνω προβλήματα, ονομάζεται ***καμπύλη επιλογικότητας.***

Στο σχήμα 6.25(α) φαίνεται η ιδανική και στο σχήμα 6.25(β) η πραγματική καμπύλη επιλογικότητας του δέκτη. Στον οριζόντιο άξονα φέρονται οι τιμές του αποσυντονισμού του δέκτη από τη φέρουσα συχνότητα του σήματος. Η τιμή $\Delta f/2 = 0$ αντιστοιχεί στο συντονισμό του δέκτη στη φέρουσα συχνότητα του λαμβανόμενου σήματος. Στον κατακόρυφο άξονα φέρεται το σχετικό μέγεθος Y, που ισούται με το λόγο της ευαισθησίας του δέκτη κατά το συντονισμό του στη φέρουσα συχνότητα του σήματος προς την ευαισθησία σε συχνότητες, που διαφέρουν από τη φέρουσα.



Σχ. 6.25.
Χαρακτηριστικές επιλογικότητας δέκτη.
α) ιδανική. β) Πραγματική.

Η ιδανική χαρακτηριστική επιλογικότητας του δέκτη [σχ. 6.25(α)] έχει ορθογώνια μορφή. Με τέτοια μορφή χαρακτηριστικής ο δέκτης επιλέγει ισόμετρα το φάσμα των πλευρικών συχνοτήτων του λαμβανόμενου σήματος (Υ = 1) και απορρίπτει πλήρως τα σήματα άλλων πομπών. Στην περίπτωση αυτή, η ζώνη διελεύσεως του δέκτη καθορίζεται άμεσα από τη βάση του ορθογωνίου Δf.

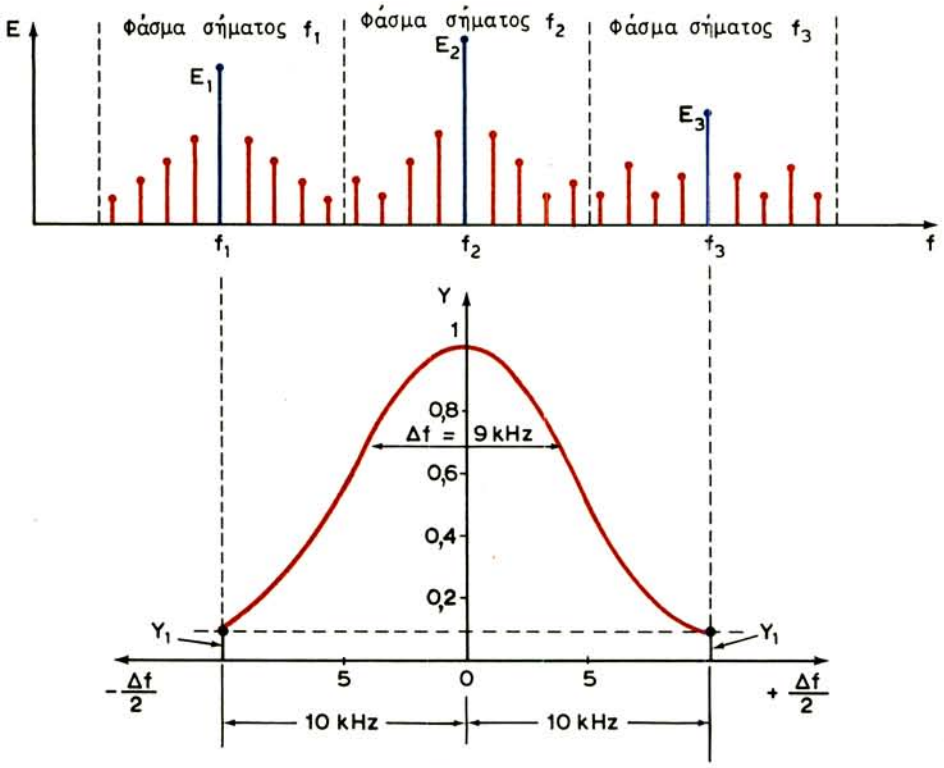
Η πραγματική χαρακτηριστική επιλογικότητας του δέκτη [σχ. 6.25(β)] εξαρτάται από τις ιδιότητες των συντονισμένων κυκλωμάτων του. Η τιμή Υ = 1 αντιστοιχεί στο συντονισμό του δέκτη ακριβώς στη φέρουσα συχνότητα του σήματος. Ο βαθμός διελεύσεως των πλευρικών συχνοτήτων, που διαφέρουν από τη φέρουσα, εκτιμάται από τις τιμές Υ που είναι μικρότερες της μονάδας. Η εξασθένιση των πλευρικών συνιστωσών του σήματος, μέσα σε κάποια επιτρεπόμενα όρια, δεν επιδρά σχεδόν καθόλου στην ποιότητα αναπαραγωγής του στην έξοδο του δέκτη. Τα επιτρεπόμενα αυτά όρια εξασθενίσεως του φάσματος καθορίζονται συνήθως από τη στάθμη $Y_{min} = 0,7\ Y_{max}$ [σχ. 6.25(β)]. Έτσι, «ζώνη διελεύσεως του δέκτη ονομάζεται η περιοχή συχνοτήτων, στης οποίας τα όρια η στάθμη των πλευρικών συνιστωσών του σήματος δεν είναι μικρότερη από τα 70% της στάθμης της φέρουσας συνιστώσας του».

Ο δέκτης, που έχει χαρακτηριστική επιλογικότητας με ορθογώνια μορφή, επιλέγει το σήμα ενός μόνο σταθμού, δηλαδή διαθέτει απόλυτη επιλογικότητα. Ο δέκτης με κωδωνοειδή (πραγματική) χαρακτηριστική επιλέγει το σήμα ενός πομπού, αλλά δεν μπορεί να εξασθενίσει πλήρως τα φάσματα των αμέσως γειτονικών πομπών.

Για την εκτίμηση της επιλογικότητας του πραγματικού δέκτη είναι απαραίτητο να καθορισθεί η ζώνη Δf μέσα στην οποία δεν πρέπει να εμφανίζεται η παρενοχλητική επίδραση των γειτονικών πομπών. Για τους ραδιοφωνικούς δέκτες η ζώνη αυτή είναι 10 kHz, επειδή τόση είναι και η απόσταση μεταξύ των φερουσών συχνοτήτων των διαφόρων πομπών.

Οι επιλογικές ιδιότητες του δέκτη διασαφηνίζονται στο σχήμα 6.26. Στο άνω μέρος φαίνονται τα φάσματα τριών σημάτων με φέρουσες f_1, f_2, f_3 και πλάτη E_1, E_2, E_3, που προέρχονται από ισάριθμους πομπούς και ενεργούν ταυτόχρονα στην κεραία του δέκτη. Στο κάτω μέρος παρουσιάζεται η χαρακτηριστική επιλογικότητας του δέκτη που είναι συντονισμένος στον πομπό με φέρουσα συχνότητα f_2. Στην περίπτωση αυτή, τα σήματα των πομπών με τις φέρουσες συχνότητες f_1 και f_3 είναι παρενοχλητικά. Παρατηρούμε ότι το μέγεθος Y_1 για τις τάσεις E_1 και E_3 ισούται με 0,1 πράγμα που σημαίνει οτι η «δεκτικότητα» του ραδιοφώνου στα σήματα αυτά είναι ίση με 10% της δεκτικότητάς του στο λαμβανόμενο σήμα E_2. Στους σύγχρονους ραδιοφωνικούς δέκτες η εξασθένιση του σήματος των γειτονικών πομπών κυμαίνεται στα όρια 10-1000.

Η εξασφάλιση πλατιάς ζώνης διελεύσεως με υψηλή επιλογικότητα του δέκτη παρουσιάζει σημαντικές δυσκολίες. Από την εξέταση των καμπυλών συντονι-



Σχ. 6.26.

Εκτίμηση της επιλογικότητας ραδιοφώνου.

σμού φαίνεται ότι οι δυο αυτές απαιτήσεις βρίσκονται σε αντίθεση. Η διεύρυνση της ζώνης διελεύσεως χειροτερεύει την επιλογικότητα και αντίθετα, η βελτίωση της επιλογικότητας προϋποθέτει περιορισμό της ζώνης διελεύσεως. Για την ταυτόχρονη ικανοποίηση των δυο αυτών απαιτήσεων καταβάλλεται προσπάθεια προς την κατεύθυνση εξασφαλίσεως καμπυλών συντονισμού των κυκλωμάτων του δέκτη (βασικά των μετασχηματιστών ενδιάμεσης συχνότητας) με, όσο το δυνατό, ορθογώνια μορφή.

4) Πιστότητα αναπαραγωγής.

Η ικανότητα του δέκτη να αποδίδει στην έξοδό του τη μορφή του διαμορφωτικού σήματος ονομάζεται ***πιστότητα αναπαραγωγής.*** Το λαμβανόμενο από το δέκτη σήμα περνάει μέσα από σειρά ηλεκτρικών κυκλωμάτων που περιέχουν γραμμικά και μη γραμμικά στοιχεία, τα οποία δημιουργούν τις επόμενες παραμορφώσεις στο ωφέλιμο σήμα.

α) Παραμορφώσεις συχνότητας.

Δημιουργούνται από την ανομοιόμορφη ενίσχυση των πλατών των διαφόρων συνιστωσών του σήματος. Η εκτίμηση των παραμορφώσεων συχνότητας γίνεται με τη βοήθεια του αντίστοιχου συντελεστή, που δείχνει την

εξασθένιση του σήματος στα όρια της ζώνης διελεύσεως του δέκτη. Στην καμπύλη επιλογικότητας του δέκτη [σχ. 6.25(β)] ο συντελεστής παραμορφώσεων συχνότητας $M = Y_{min} / Y_{max}$ δείχνει την εξασθένιση του σήματος στα όρια των πλευρικών συχνοτήτων.

Το τμήμα ακουστικής συχνότητας του δέκτη επίσης δεν εξασφαλίζει ομοιόμορφη ενίσχυση όλων των συνιστωσών του σήματος. Σημαντική είναι η εξασθένιση του σήματος στις ακραίες συχνότητες της ζώνης διελεύσεως. Η εξασθένιση των υψηλοτέρων συχνοτήτων, σε σύγκριση με τις ενδιάμεσες, του ωφέλιμου σήματος μπορεί να ξεπεράσει το 50%.

β) Αρμονικές παραμορφώσεις.

Έχουν σχέση με την αλλαγή της μορφής των σημάτων κατά τη διέλευσή τους από ηλεκτρονικά και ηλεκτρικά στοιχεία με καμπυλόγραμμες χαρακτηριστικές (τρανζίστορ, στοιχεία με σιδηροπυρήνες κλπ.). Λόγω της καμπυλότητας των χαρακτηριστικών των τρανζίστορ παραμορφώνεται το σήμα εξόδου και επομένως μεταβάλλεται η φασματική του σύνθεση.

γ) Φασικές παραμορφώσεις.

Εμφανίζονται λόγω της μεταβολής των φασικών σχέσεων μεταξύ των αρμονικών συνιστωσών μιας μη ημιτονικής ταλαντώσεως.

Περισσότερα για τις αρμονικές και φασικές παραμορφώσεις βλέπε στο κεφάλαιο 2 (παράγραφος 2.3).

6.16 Ανωμαλίες δεκτών.

Στην παράγραφο 6.12 μιλήσαμε για μια βασική ανωμαλία των υπερετεροδύνων δεκτών, που είναι η εμφάνιση της συχνότητας είδωλο, και είδαμε πώς αποφεύγεται με κατάλληλη εκλογή της ενδιάμεσης συχνότητας.

Εκτός από την ανωμαλία αυτή, εμφανίζονται και άλλες, από τις οποίες σημαντικότερες είναι:

1) Διασταύρωση συχνοτήτων και ομιλίας (cross-talk).

Η ανωμαλία αυτή προέρχεται από την αλληλεπίδραση δύο πολύ διαφορετικών συχνοτήτων χωρίς ο δέκτης να είναι συντονισμένος σε καμιά από αυτές.

Έστω π.χ., ότι στην είσοδο του δέκτη ενεργούν οι συχνότητες των 500 και των 1300 kHz. Η δεύτερη συχνότητα μπορεί να παίξει το ρόλο συχνότητας τοπικού ταλαντωτή και να ετεροδυνώσει τη συχνότητα των 500 kHz. Το προϊόν της ετεροδυνώσεως, η οποία πραγματοποιείται στην είσοδο του δέκτη, θα είναι η συχνότητα 1300 – 500 = 800 kHz. Αν ο δέκτης είναι συντονισμένος στη συχνότητα αυτή, δηλαδή στα 800 kHz, μπορεί να αποδοθεί στην έξοδό του.

Η ανωμαλία μπορεί να προέλθει και από αλληλεπίδραση δύο γειτονικών συχνοτήτων.

Έστω, π.χ., ότι ο δέκτης είναι συντονισμένος στη συχνότητα ενός πομπού Α, ενώ ταυτόχρονα διεγείρεται και από ένα δεύτερο ισχυρό πομπό Β. Αν ο

πομπός Α ακτινοβολεί μόνο το φέρον σήμα και εφόσον οι συχνότητες είναι γειτονικές, εμφανίζεται στην έξοδο του δέκτη η διαμόρφωση του πομπού Β και αντίθετα. Μόλις διακοπεί το φέρον σήμα του πομπού Α διακόπτεται και η αναπαραγωγή της διαμορφώσεως του πομπού Β.

Η διασταύρωση δύο συχνοτήτων, που απέχουν πολύ μεταξύ τους, καταργείται με την παρεμβολή κατάλληλου κυκλώματος προεπιλογής μεταξύ της κεραίας του δέκτη και της πρώτης βαθμίδας του.

Για την κατάργηση της διασταυρώσεως ομιλίας, που προέρχεται από γειτονικές συχνότητες, χρησιμοποιούνται ειδικά τρανζίστορ μεταβλητής κλίσεως για την κατασκευή του ενισχυτή του σήματος υψηλής συχνότητας.

2) Σφυρίγματα και παρεμβολές.

Τα σφυρίγματα στους υπερετερόδυνους δέκτες προέρχονται από τη συμβολή δύο σημάτων με συχνότητες που απέχουν μεταξύ τους κατά ένα ή μερικά χερτζ.

Πολλές φορές ακούγεται από το μεγάφωνο του δέκτη η τηλεγραφική ανταπόκριση ενός πομπού, του οποίου η φέρουσα συχνότητα είναι γειτονική της ενδιάμεσης συχνότητας του δέκτη. Η παρεμβολή αυτή οφείλεται στην απευθείας επίδραση της ακτινοβολίας του πομπού στα κυκλώματα του ενισχυτή ενδιάμεσης συχνότητας του δέκτη. Για την αποφυγή τέτοιων παρεμβολών, τα κυκλώματα ενδιάμεσης συχνότητας πρέπει να είναι καλά θωρακισμένα.

3) Βόμβος.

Ο βόμβος που μπορεί να εμφανισθεί κατά τη λειτουργία του δέκτη προέρχεται κυρίως από την ατελώς ανορθωμένη τάση, που τροφοδοτεί τα τρανζίστορ και τα ολοκληρωμένα κυκλώματα του δέκτη.

Τα εξαρτήματα της προενισχύτριας ακουστικής συχνότητας του δέκτη συλλέγουν επαγωγικά κάποιους βόμβους. Η συλλογή αυτή αποκλείεται με τη θωράκιση της βαθμίδας και κυρίως του αγωγού που μεταφέρει το ακουστικό σήμα από την έξοδο του φωρατή στην είσοδο της προενισχύτριας.

6.17 Παρασιτικοί θόρυβοι.

Κατά τη λειτουργία των δεκτών εμφανίζονται παρασιτικοί θόρυβοι, οι οποιοι μπορούν γενικά να χωρισθούν σε τρεις κατηγορίες:

1) Στους βιομηχανικούς θορύβους ή βιομηχανικά παράσιτα.
2) Στους ατμοσφαιρικούς θορύβους ή απλώς παράσιτα.
3) Στους εσωτερικούς θορύβους του δέκτη.

1) Βιομηχανικά παράσιτα.

Πηγές των παρασίτων αυτών είναι όλες οι διατάξεις που, κατά τη λειτουργία τους, δημιουργούν σπινθήρες (ηλεκτρικοί κινητήρες, σπινθηριστές βενζινομηχανών, ιατρικές συσκευές κλπ.). Οι σπινθήρες είναι ηλεκτρομαγνητικές κρούσεις μικρής διάρκειας χωρίς περίοδο. Σε οποιαδήποτε συχνότητα και αν είναι

συντονισμένος ο δέκτης, τα παράσιτα αυτά αναφαίνονται στην έξοδό του με τη μορφή κρότων στο μεγάφωνο.

Τα βιομηχανικά παράσιτα φθάνουν στο δέκτη είτε μέσα από το κοινό δίκτυο τροφοδοτήσεως της παρασιτικής πηγής και του δέκτη, είτε απευθείας με ακτινοβολία, όταν ο δέκτης βρίσκεται κοντά στην πηγή των παρασίτων.

Τα βιομηχανικά παράσιτα καταργούνται στο σημείο δημιουργίας τους. Για το σκοπό αυτό, χρησιμοποιούνται ειδικά φίλτρα ***(αντιπαρασιτικά)*** από πυκνωτές και αντιστάσεις που συνδέονται στα σημεία δημιουργίας σπινθήρων και τους βραχυκυκλώνουν. Φίλτρα από αυτεπαγωγές και πυκνωτές συνδέονται επίσης στο τέρμα του καλωδίου τροφοδοτήσεως του δέκτη για να εμποδίσουν τη διέλευση των παρασίτων αυτών.

2) Ατμοσφαιρικά παράσιτα.

Τα παράσιτα αυτά προέρχονται από ηλεκτρικές εκκενώσεις και βίαιες μεταβολές που σημειώνονται στα ανώτερα στρώματα της ατμόσφαιρας. Για την κατάργηση των ατμοσφαιρικών παρασίτων δεν γίνεται σχεδόν τίποτα. Σε μερικούς δέκτες χρησιμοποιούνται κάποιες ειδικές διατάξεις που περιορίζουν αυτά τα παράσιτα χωρίς όμως να τα καταργούν τελείως.

Τα ατμοσφαιρικά παράσιτα δεν έχουν καμιά σχέση με τον ***κοσμικό θόρυβο*** που προέρχεται από ακτινοβολία μερικών ουρανίων σωμάτων.

3) Εσωτερικοί θόρυβοι δέκτη.

Μόνιμη αιτία ραδιοθορύβων είναι η ***θερμική δόνηση*** των ηλεκτρονίων που κυκλοφορούν στους αγωγούς και τα εξαρτήματα των βαθμίδων του δέκτη. Η δόνηση αυτή δημιουργεί πολύ μικρές τάσεις, οι οποίες ενισχύονται από τις βαθμίδες του δέκτη και αποδίδονται στο μεγάφωνο. Τέτοιους θορύβους δημιουργούν και τα ίδια τα τρανζίστορ και τα ολοκληρωμένα κυκλώματα του δέκτη.

Θορύβους δημιουργούν και οι αντιστάσεις από άνθρακα, λόγω της ατελούς επαφής των κόκκων του. Στους καλούς δέκτες αποφεύγεται η χρησμοποίηση τέτοιων αντιστάσεων.

Όπως είδαμε, από τους εσωτερικούς θορύβους εξαρτάται η ευαισθησία του δέκτη.

Σημειώνομε τέλος, ότι όλοι οι θόρυβοι μπορεί να ελαττωθούν με την αύξηση της επιλογικότητας του δέκτη, δηλαδή με τον περιορισμό της ζώνης διελεύσεώς του. Οι θόρυβοι μπορούν να αναλυθούν σε άπειρο πλήθως σημάτων με συχνότητες που καταλαμβάνουν ολόκληρο το ραδιοηλεκτρικό φάσμα. Όσο στενότερη είναι η ζώνη διελεύσεως του δέκτη, τόσο μικρότερο φάσμα παρασίτων περνά από αυτόν.

Δεν πρέπει, ωστόσο, να ξεχνούμε ότι η ελάττωση των παρασίτων με περιορισμό της ζώνης διελεύσεως του δέκτη γίνεται σε βάρος της πιστότητας αναπαραγωγής του ωφέλιμου σήματος.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΕΒΔΟΜΟ

ΒΟΗΘΗΤΙΚΕΣ ΔΙΑΤΑΞΕΙΣ ΔΕΚΤΩΝ ΚΑΙ ΤΡΟΦΟΔΟΤΙΚΑ

7.1 Γενικά.

Οι σύγχρονοι δέκτες διαθέτουν αρκετές βοηθητικές διατάξεις, οι οποίες συντείνουν στην καλύτερη εκμετάλλευσή τους. Μερικές από τις διατάξεις αυτές λειτουργούν με δική μας επέμβαση, είναι δηλαδή χειροκίνητες, ενώ άλλες είναι αυτόματες.

Στο κεφάλαιο 2 γνωρίσαμε τους ρυθμιστές της εντάσεως, του τόνου και της ισοσταθμίσεως του ήχου, που χρησιμοποιούνται στους απλούς και στερεοφωνικούς ενισχυτές ακουστικών σημάτων. Όπως θα δούμε στις συνδεσμολογίες των δεκτών, που παρουσιάζονται σε άλλο κεφάλαιο, οι ίδιοι ρυθμιστές συναντώνται και στους αντίστοιχους ενισχυτές τους.

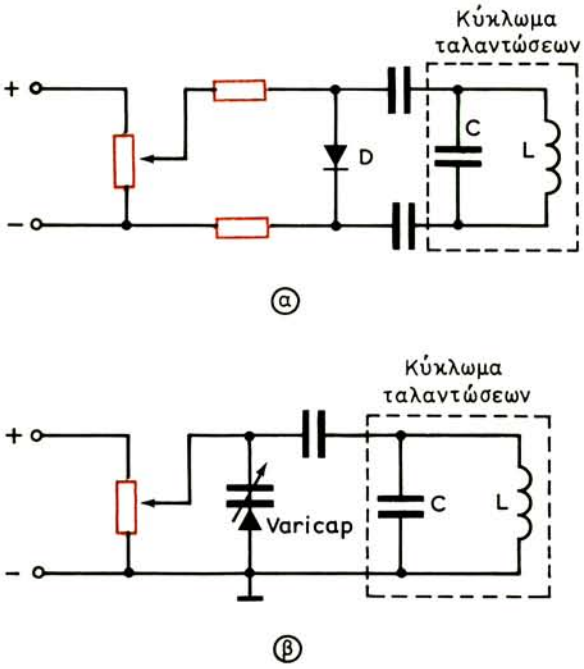
Εδώ θα παρουσιάσομε διατάξεις με τις οποίες δεν ασχοληθήκαμε ως τώρα. Τέτοιες είναι οι διατάξεις που ρυθμίζουν τη συχνότητα του τοπικού ταλαντωτή και την απολαβή του δέκτη ή διατάξεις που επιτρέπουν τον ηλεκτρονικό χειρισμό του δέκτη και την ψηφιακή ένδειξη της συχνότητας συντονισμού του.

Θα κλείσομε με την παρουσίαση ανορθωτικών διατάξεων, που χρησιμοποιούν οι σύγχρονοι δέκτες για την τροφοδότηση των τρανζίστορ και των ολοκληρωμένων κυκλωμάτων τους.

7.2 Χειροκίνητη ρύθμιση της συχνότητας ετεροδύνου.

Η ποιότητα του ήχου που παράγει ο δέκτης, εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από την ακριβή τιμή της ενδιάμεσης συχνότητάς του. Η μεταβολή της ενδιάμεσης συχνότητας περιορίζει το φάσμα των διερχομένων συχνοτήτων και δημιουργεί την εντύπωση αποσυντονισμού του δέκτη.

Η ενδιάμεση συχνότητα μπορεί να αλλάξει τιμή από μεταβολή της συχνότητας του τοπικού ταλαντωτή, γι' αυτό παρουσιάζεται η ανάγκη ρυθμίσεως της τελευταίας από τον ακροατή. Ο μεταβλητός πυκνωτής, που χρησιμοποιείται για το σκοπό αυτό, πρέπει να συνοδεύεται από μηχανικό σύστημα μικρομετρικής μεταβολής της χωρητικότητάς του για να είναι κατάλληλος για λεπτοσυντονι-



Σχ. 7.1.
Κυκλώματα ρυθμίσεως της συχνότητας του ετεροδύνου.

σμούς, κυρίως σε υψηλές συχνότητες. Πιο κατάλληλοι και απλούστεροι είναι οι τρόποι που στηρίζονται στη χρησιμοποίηση διόδων από γερμάνιο ή πυρίτιο.

Είναι γνωστό ότι μια αντίσταση, που συνδέεται παράλληλα στο κύκλωμα ταλαντώσεων ενός ταλαντωτή, δεν επηρεάζει μόνο την ποιότητα του κυκλώματος, αλλά και τη συχνότητα συντονισμού του. Ταυτόχρονα, η αντίσταση μιας διόδου, από την οποία διέρχεται ρεύμα, εξαρτάται από την εφαρμοζόμενη τάση στα άκρα της. Γι' αυτό, αν παράλληλα στο κύκλωμα ταλαντώσεων του ταλαντωτή συνδεθεί μια τέτοια δίοδος [σχ. 7.1(α)] και εφαρμοσθεί στα άκρα της ρυθμιζόμενη τάση, μπορεί να μεταβληθεί η συχνότητα του ταλαντωτή. Ιδιαίτερα κατάλληλες για το σκοπό αυτό είναι οι δίοδοι ακίδας με μεγάλη κλίση της χαρακτηριστικής, πράγμα που επιτρέπει να παίρνομε τις απαιτούμενες μεταβολές συχνότητας με μικρές μεταβολές του ρεύματος που τις διαρρέει.

Για τη ρύθμιση της συχνότητας του ετεροδύνου χρησιμοποιείται σήμερα μια άλλη ιδιότητα των ημιαγωγών διόδων, που συνίσταται στην εξάρτηση της χωρητικότητας της ζώνης φραγμού από το μέγεθος της εφαρμοζόμενης τάσεως. Καταλληλότερες για την περίπτωση αυτή είναι οι δίοδοι επαφής, που έχουν μεγάλη χωρητικότητα και πλατιά όρια μεταβολής της, καθώς και οι ειδικές για το σκοπό αυτό δίοδοι μεταβλητής χωρητικότητας (varicap).

Ένα κύκλωμα με δίοδο μεταβλητής χωρητικότητας, συνδεμένο παράλληλα στο κύκλωμα ταλαντώσεων του ετεροδύνου, φαίνεται στο σχήμα 7.1(β). Η δίοδος είναι πολωμένη ανάστροφα, δηλαδή ο αρνητικός πόλος της πηγής συνδέεται στην άνοδο, και η χωρητικότητά της μπορεί να μεταβληθεί σε πλατιά όρια. Με μεγάλη αρνητική τάση στην άνοδο, η χωρητικότητα της ζώνης φραγμού της διόδου είναι ασήμαντη και ο ταλαντωτής παράγει μια συχνότητα, που ορίζεται από τα στοιχεία L και C του κυκλώματος ταλαντώσεων. Με ελάτωση της αρνητικής τάσεως, η χωρητικότητα φραγμού μεγαλώνει και η συχνότητα του ταλαντωτή υποβιβάζεται. Έτσι επιτυγχάνεται ο λεπτοσυντονισμός του κυκλώματος.

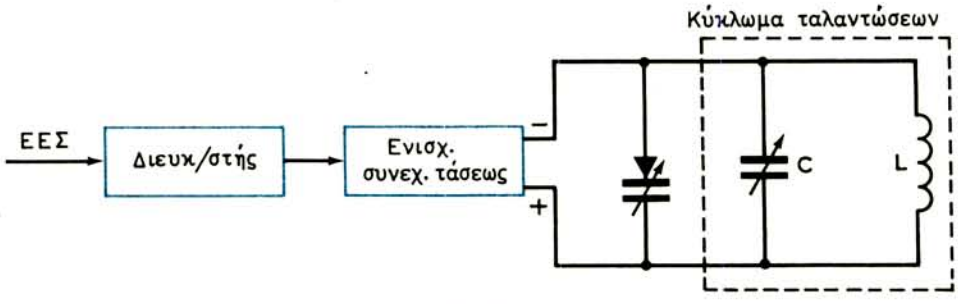
Η τάση στα άκρα των διόδων του σχήματος 7.1 μεταβάλλεται με τη βοήθεια ποτενσιόμετρου.

7.3 Αυτόματη ρύθμιση της συχνότητας ετεροδύνου.

Ο ακροατής μπορεί να απαλλαγεί από χειροκίνητες ρυθμίσεις, αν ο δέκτης διαθέτει διάταξη ***αυτόματης ρυθμίσεως συχνότητας*** (AFC=Automatic Frequency Control). Η διάταξη AFC απαντάται σε δέκτες σημάτων διαμορφωμένων κατά συχνότητα, αλλά και σε μεγάλων αξιώσεων δέκτες σημάτων διαμορφωμένων κατά πλάτος.

Η διάταξη AFC λειτουργεί με ***διορθωτικό σήμα*** που παίρνεται, για δέκτη FM, από το διευκρινιστή του και, για δέκτη AM, από διευκρινιστή, που συνδέεται στην έξοδο του ενισχυτή ενδιάμεσης συχνότητάς του. Διάγραμμα διατάξεως AFC φαίνεται στο σχήμα 7.2.

Αν η ενδιάμεση συχνότητα του δέκτη εκτραπεί από την κανονική τιμή της, εξαιτίας μεταβολής της συχνότητας του τοπικού ταλαντωτή, ο διευκρινιστής μετατρέπει τις μεταβολές της συχνότητας σε μεταβολές τάσεως. Αυτή η ρυθμιστική τάση ενισχύεται, αν είναι μικρή, από έναν ενισχυτή συνεχούς τάσεως και εφαρμόζεται στα άκρα της χωρητικής διόδου που παραλληλίζει το κύκλωμα ταλαντώσεων του τοπικού ταλαντωτή και έτσι διορθώνει αυτόματα τη συχνότητά του.



Σχ. 7.2.

Διάγραμμα αυτόματης ρυθμίσεως της συχνότητας του τοπικού ταλαντωτή δέκτη.

Στην περίπτωση των δεκτών σημάτων με διαμόρφωση πλάτους, ο διευκρινιστής συνδέεται στην έξοδο του ενισχυτή ενδιάμεσης συχνότητας μέσα από μια διαχωριστική βαθμίδα, που είναι συντονισμένη στην ενδιάμεση συχνότητα του δέκτη.

7.4 Αυτόματη ρύθμιση της απολαβής.

Το σήμα, που φθάνει στην είσοδο του δέκτη, μπορεί να αυξομειωθεί λόγω μεταβολής της εντάσεως του πεδίου, που εξαρτάται από τις συνθήκες διαδόσεως των ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων (διαλείψεις), αλλά κατά τη μεταγωγή του δέκτη από σταθμό σε σταθμό, αφού όλοι οι πομποί δεν έχουν την ίδια ισχύ ή δεν βρίσκονται στην ίδια απόσταση από τη θέση λήψεως. Με μεταβλητό σήμα στην είσοδο του δέκτη, το μεγάφωνο πότε «φωνάζει» δυνατά και πότε μόλις ακούγεται.

Για να διατηρήσομε σταθερό τον «όγκο φωνής» του μεγαφώνου, ανεξάρτητα από τις μεταβολές του σήματος στην είσοδο του δέκτη, ρυθμίζομε αυτόματα την απολαβή των βαθμίδων του, που βρίσκονται πριν από τη φώραση. Η ***αυτόματη ρύθμιση της απολαβής*** (AGC=Automatic Gain Control) ή ***αυτόματη ρύθμιση όγκου φωνής*** (AVC=Automatic Volume Control) γίνεται με ειδική διάταξη, που περιέχεται στα διαγράμματα των δεκτών της παραγράφου 6.11.

Η αυτόματη ρύθμιση της απολαβής πραγματοποιείται με μια αλυσίδα αρνητικής αναδράσεως, που ξεκινά από το φωρατή και καταλήγει στον ενισχυτή υψηλής συχνότητας του δέκτη ή, αν δεν υπάρχει, στη βαθμίδα μίξεως. Η τάση αναδράσεως ***(τάση AGC*** ή ***AVC)*** παράγεται στην έξοδο του φωρατή, από τη συνεχή συνιστώσα του ρεύματός του, και είναι ανάλογη προς το πλάτος του σήματος εισόδου του δέκτη. Η τάση αυτή ρυθμίζει αυτόματα το συντελεστή ενισχύσεως των βαθμίδων, στις οποίες εφαρμόζεται.

Ο συντελεστής ενισχύσεως μιας βαθμίδας παρέχεται από τη σχέση:

$$A = SR_o$$

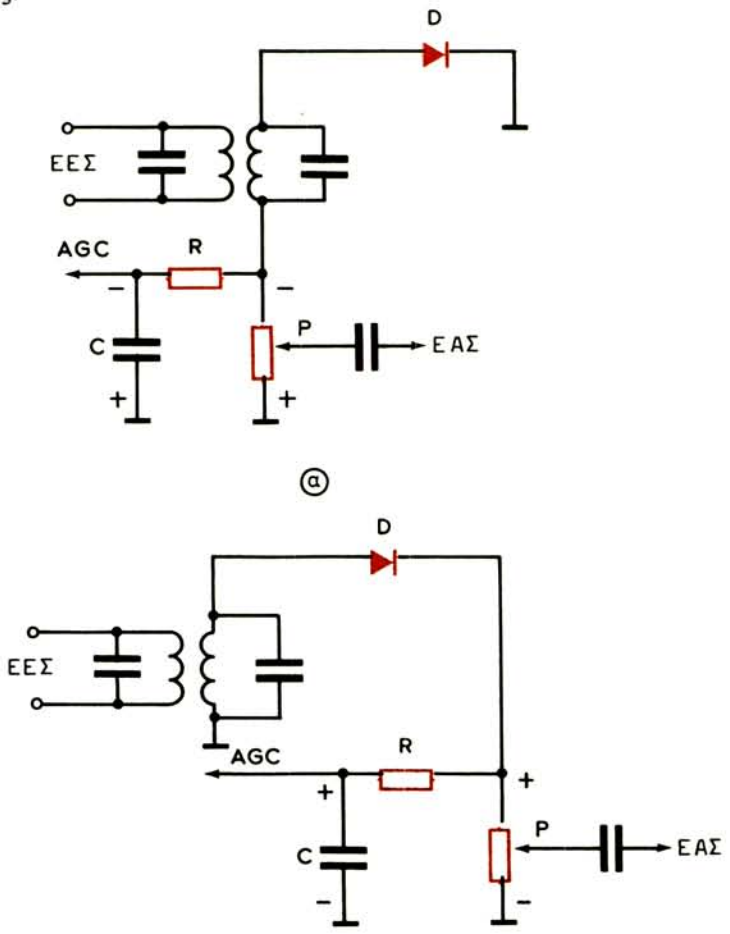
όπου S είναι η κλίση της χαρακτηριστικής του τρανζίστορ και R_o η αντίσταση του φορτίου του.

Ο συντελεστής Α ρυθμίζεται με μεταβολή της κλίσεως S επειδή η μεταβολή του φορτίου R_o, που είναι συντονισμένο κύκλωμα (για τον ΕΥΣ, το μίκτη και τον ΕΕΣ), δεν μεταβάλλει μόνο το συντελεστή ενισχύσεως Α, αλλά και την επιλογικότητα της βαθμίδας.

Με την αύξηση της τάσεως στην είσοδο του δέκτη μεγαλώνει και η ρυθμιστική τάση του κυκλώματος AGC ή AVC. Η τάση αυτή εφαρμόζεται στο τρανζίστορ του ΕΥΣ και του ΕΕΣ και μετατοπίζει το σημείο λειτουργίας του προς την περιοχή των μικροτέρων τιμών της κλίσεως S. Έτσι ο συντελεστής ενισχύσεως της βαθμίδας ελαττώνεται.

Πρέπει να σημειώσομε ότι είναι λάθος αντίληψη ότι η διάταξη AGC ελαττώνει τα μεγάλα σήματα εισόδου και μεγαλώνει τα μικρά, ώστε η απολαβή του δέκτη να παραμένει σταθερή σε μια προκαθορισμένη στάθμη. Η αλήθεια είναι ότι η διάταξη AGC υποβιβάζει όλα τα σήματα, τα μεγάλα περισσότερο και τα μικρά λιγότερο, και έτσι εξασφαλίζει σταθερό όγκο φωνής του μεγαφώνου.

Για να μην ελαττώνονται τα μικρά σήματα και επομένως να είναι μεγαλύτερος ο λόγος σήμα/θόρυβος, χρησιμοποιούνται κυκλώματα ***AGC με καθυστέρηση.*** Η τάση του κυκλώματος αυτού εφαρμόζεται στον ενισχυτή υψηλής συχνότητας του δέκτη και ενεργεί μόνο όταν η στάθμη του σήματος εισόδου υπερβεί ένα ορισμένο όριο. Για σήματα που βρίσκονται κάτω από το όριο αυτό, το κύκλωμα AGC δεν λειτουργεί και η βαθμίδα παρέχει το μέγιστο συντελεστή ενισχύσεως.

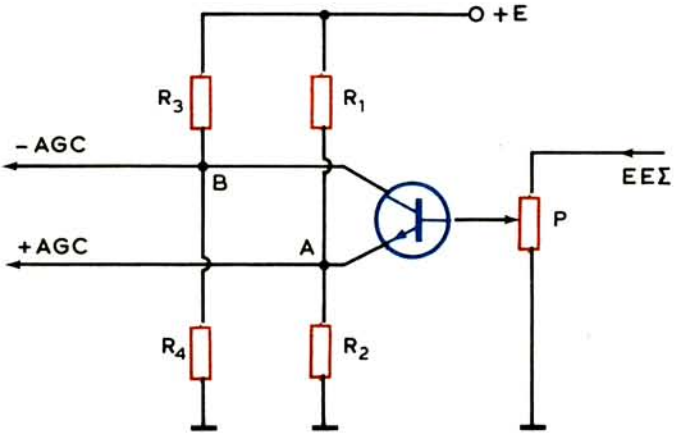


Σχ. 7.3.

Κυκλώματα AGC με αρνητική (α) και θετική (β) ρυθμιστική τάση.

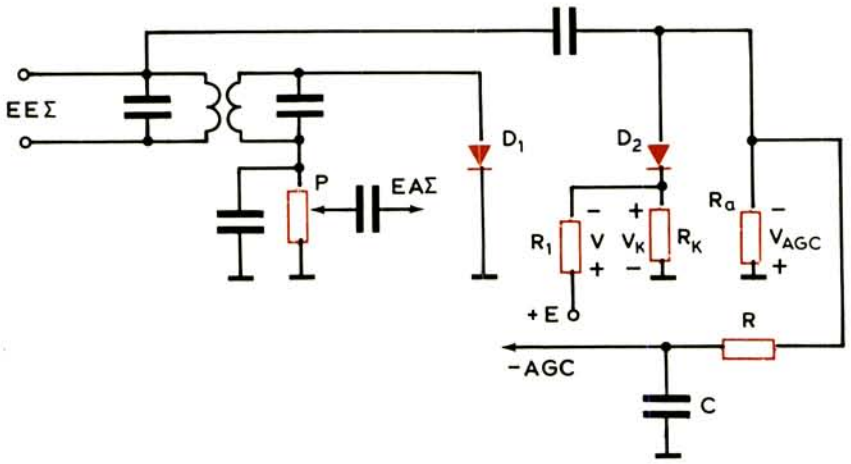
Στο σχήμα 7.3(α και β) φαίνονται δύο κυκλώματα AGC για αρνητική και θετική ρυθμιστική τάση, αντίστοιχα. Η τάση AGC, που δημιουργείται από τη συνεχή συνιστώσα του φωρατή D, αναπτύσσεται στο ποτενσιόμετρο P και μέσα από το φίλτρο RC οδηγείται στις προηγούμενες βαθμίδες του δέκτη. Το φίλτρο RC απορρίπτει τις εναλλασσόμενες συνιστώσες του ρεύματος της διόδου που έχουν συχνότητα ίση και μεγαλύτερη από την ενδιάμεση συχνότητα του δέκτη. Από το ποτενσιόμετρο P παίρνεται και η τάση του ακουστικού σήματος.

Στο σχήμα 7.4 φαίνεται η βαθμίδα AGC με τρανζίστορ, που χρησιμοποιείται κυρίως σε δέκτες FM. Η ρυθμιστική τάση που παράγεται με το κύκλωμα αυτό μπορεί να έχει θετική πολικότητα (σημείο A) ή αρνητική πολικότητα (σημείο B). Το τρανζίστορ ανοίγει, δηλαδή γίνεται αγώγιμο, όταν η στάθμη του σήματος που εφαρμόζεται στη βάση του και που μπορεί να ρυθμισθεί με το ποτενσιόμετρο P, ξεπεράσει μια ορισμένη τιμή. Επομένως, έχομε ένα κύκλωμα AGC με καθυστέρηση.



Σχ. 7.4.
Κύκλωμα θετικής και αρνητικής τάσεως AGC με καθυστέρηση.

Τέλος, στο σχήμα 7.5 έχομε ένα απλό κύκλωμα παραγωγής τάσεως AGC με καθυστέρηση. Η διόδος D_1 χρησιμοποιείται για τη φώραση του σήματος και η D_2 για την αυτόματη ρύθμιση της απολαβής. Η τάση υψηλής συχνότητας εφαρμόζεται στη δίοδο D_2 κατευθείαν από το πρωτεύον του μετασχηματιστή ενδιάμεσης συχνότητας. Στην άνοδο της D_2 συνδέεται η αντίσταση R_α και το φίλτρο RC. Στην κάθοδο εφαρμόζεται συνεχής τάση μέσα από το διαιρέτη R_1R_K. Στην αντίσταση R_K δημιουργείται πτώση τάσεως V_K με πολικότητα που φαίνεται στο σχήμα.



Σχ. 7.5.
Διάταξη AGC με καθυστέρηση.

Όταν δεν υπάρχει σήμα, η άνοδος της D_2 έχει αρνητικό δυναμικό ως προς την κάθοδο, που είναι ίσο με την πτώση τάσεως στην R_K. Η τάση αυτή ονομάζεται ***τάση καθυστερήσεως*** V_K. Η τάση καθυστερήσεως πρέπει να είναι ίση ή μεγαλύτερη από το πλάτος του σήματος, που χρειάζεται για την κανονική λειτουργία του φωρατή D_1. Αν π.χ. ο φωρατής D_1, έχει υπολογισθεί να εργάζεται με πλάτος σήματος όχι μικρότερο από 2 V η τάση καθυστερήσεως δεν πρέπει να είναι μικρότερη από 2 V. Στην περίπτωση λήψεως σημάτων με πλάτος μικρότερο από την τάση καθυστερήσεως, η άνοδος της D_2 εξακολουθεί να έχει αρνητικό δυναμικό και η δίοδος δεν άγει. Επομένως, τάση AGC στην αντίσταση R_α δεν εμφανίζεται και οι ρυθμιζόμενες βαθμίδες του δέκτη αφήνονται να εργάζονται με τη δική τους πόλωση. Όταν το πλάτος του σήματος στην άνοδο της D_2 ξεπεράσει την τάση καθυστερήσεως, η αντίσταση R_α διαρρέεται από ρεύμα και στα άκρα της εμφανίζεται η τάση:

$$V_{AGC} = U - V_K$$

που χρησιμοποιείται για τη ρύθμιση της απολαβής των ελεγχομένων βαθμίδων του δέκτη. Εδώ U είναι το πλάτος του σήματος που εφαρμόζεται στην άνοδο της D_2 (και της D_1).

Έτσι, η ρύθμιση της απολαβής των ελεγχομένων βαθμίδων του δέκτη γίνεται μόνον όταν το πλάτος των λαμβανομένων σημάτων ξεπερνά την τάση κανονικής λειτουργίας του φωρατή.

7.5 Ηλεκτρονικός συντονισμός δεκτών.

Στη σύγχρονη τεχνική της ραδιοεπικοινωνίας μεγάλη διάδοση έχει ο ηλεκτρονικός συντονισμός των δεκτών μεγάλων αξιώσεων. Η εισαγωγή του ηλεκτρονικού συντονισμού οδήγησε στον αυτόματο συντονισμό του δέκτη σε επιθυμητούς σταθμούς, πράγμα που απλοποίησε το χειρισμό του δέκτη και καλυτέρευσε την ποιότητα της λήψεως. Στη συνέχεια κατασκευάσθηκαν ***αισθητήριες συσκευές*** για την εκλογή των σταθμών και επινοήθηκαν κυκλώματα τηλεχειρισμού του δέκτη, με τη χρησιμοποίηση της ***λογικής τεχνικής.***

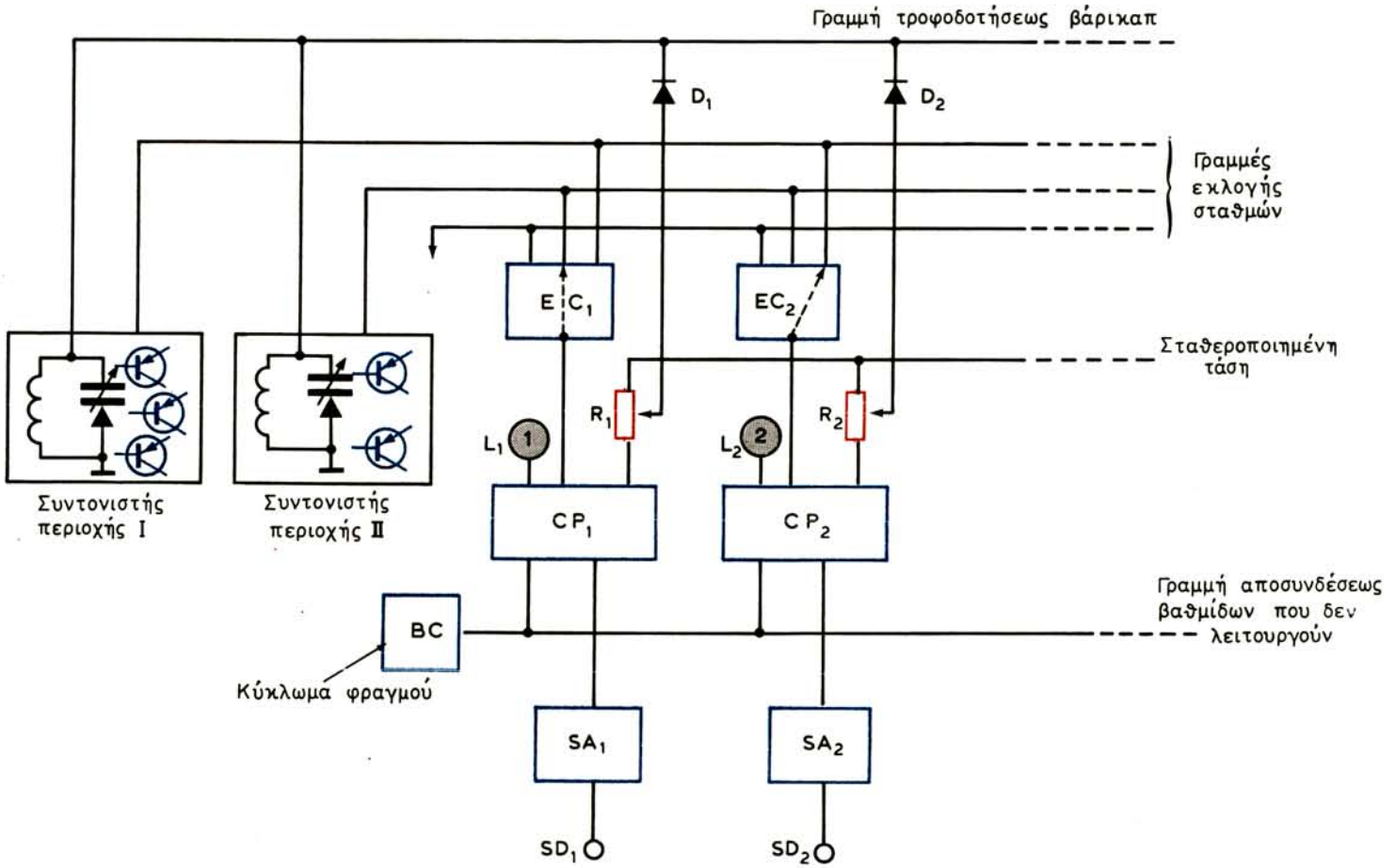
Σήμερα, η μεταγωγή του δέκτη από μια περιοχή κυμάτων σε κάποια άλλη και ο συντονισμός του σε ένα σταθμό μιας περιοχής μπορεί να γίνει αποκλειστικά με ηλεκτρονικό τρόπο. Η χρησιμοποίηση ηλεκτρονικών τρόπων μεταγωγής και συντονισμού του δέκτη επέτρεψε την κατασκευή ***συντονιστών*** (περιλαμβάνουν τον ενισχυτή υψηλής συχνότητας, το μίκτη και τον τοπικό ταλαντωτή με τα κυκλώματά τους) με μικρές διαστάσεις, κατάργησε τις μηχανικές επαφές με τις χαλαρώσεις και οξειδώσεις τους και έτσι μεγάλωσε την αξιοπιστία τους.

Τα συστήματα ηλεκτρονικού χειρισμού των δεκτών εκτός από τη μεταγωγή του δέκτη από περιοχή σε περιοχή συχνοτήτων και το συντονισμό του σε σταθμό κάποιας περιοχής, μπορούν να εκτελέσουν και μερικούς ελέγχους, όπως είναι: η ρύθμιση της εντάσεως του ήχου, η ρύθμιση του τόνου του ήχου προς την πλευρά των χαμηλών ή των υψηλών συχνοτήτων, το «άνοιγμα» και το «κλείσιμο» του δέκτη κλπ.

Όπως είδαμε στην παράγραφο 7.3, ο ηλεκτρονικός συντονισμός ενός κυκλώματος μπορεί να γίνει με τη μεταβολή της τάσεως που εφαρμόζεται στα άκρα μιας διόδου μεταβλητής χωρητικότητας (βάρικαπ), που συνδέεται παράλληλα στον πυκνωτή του κυκλώματος. Εδώ θα δούμε με ποιον τρόπο μπορούμε να απαλλαγούμε από τη χειροκίνητη ρύθμιση της τάσεως αυτής. Το πρόβλημα λύνεται με τη χρησιμοποίηση των λεγομένων αισθητηρίων διατάξεων.

Οι ***αισθητήριες διατάξεις*** είναι κυκλώματα που αρχίζουν να λειτουργούν με την απλή επαφή ειδικού ***διεγέρτη,*** τοποθετημένου στην πρόσοψη του δέκτη. Στο σχήμα 7.6 φαίνεται το χονδρικό διάγραμμα μιας αισθητήριας διατάξεως που έχει δύο διεγέρτες, SD_1 και SD_2, καθένας από τους οποίους συνδέεται σε μια από τις βαθμίδες που προορίζονται για την εκλογή του αντίστοιχου σταθμού. Ο αριθμός των βαθμίδων είναι όσος και ο αριθμός των σταθμών που θέλομε να παίρνει ο δέκτης. Η ***ολοκληρωμένη τεχνική*** μας δίνει τη δυνατότητα κατασκευής μεγάλου αριθμού βαθμίδων σε πολύ μικρό όγκο.

Όλες οι βαθμίδες είναι κυκλωματικά ίδιες. Αν ακουμπήσομε το δάκτυλο στο διεγέρτη SD_1, ενεργοποιείται ο ***αισθητήριος ενισχυτής*** SA_1 και διεγείρει τη ***βαθμίδα προγραμματισμού*** CP_1. Με την ενεργοποίηση της βαθμίδας προγραμματισμού εμφανίζεται τάση στην αντίσταση R_1, στον ***ηλεκτρονικό μεταγωγέα***



Σχ. 7.6.

Λειτουργικό διάγραμμα αισθητήριας διατάξεως.

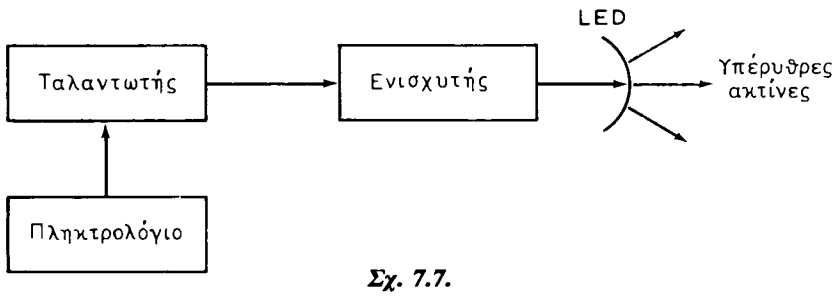
EC_1 και στον ***ενδείκτη*** L_1. Από το δρομέα του ποτενσιομέτρου R_1 και μέσα από τη δίοδο D_1 φθάνει συνεχής τάση στις χωρητικές διόδους των συντονιστών των περιοχών και η χωρητικότητά τους παίρνει την τιμή που αντιστοιχεί στον προγραμματισμένο επιθυμητό σταθμό. Οι τάσεις που χρειάζονται οι χωρητικές δίοδοι για να αποκτήσουν την απαιτούμενη χωρητικότητα, προρρυθμίζονται με τις αντιστάσεις R_1, R_2 κλπ. Ταυτόχρονα, μέσα από τον ηλεκτρονικό μεταγωγέα EC_1, η τάση φθάνει σε μια από τις γραμμές που τροφοδοτούν τις βαθμίδες των συντονιστών.

Για μεγαλύτερη ακρίβεια στο συντονισμό και για την αποφυγή «γλιστρήματος» της συχνότητας του τοπικού ταλαντωτή, τα ποτενσιόμετρα προσυντονισμού (R_1, R_2 κλπ.) συνδέονται σε πηγή με σταθεροποιημένη τάση. Οι δίοδοι D_1, D_2 κλπ. μονώνουν τη γραμμή τροφοδοτήσεως των βάρικαπ από τα ποτενσιόμετρα που δεν συνεργάζονται στη λήψη κάποιου σταθμού. Όλες οι βαθμίδες προγραμματισμού συνδέονται μεταξύ τους μέσα από το κοινό ***κύκλωμα φραγμού,*** το οποίο αποσυνδέει αυτόματα τις βαθμίδες που δεν συμμετέχουν στη λήψη κάποιου σταθμού.

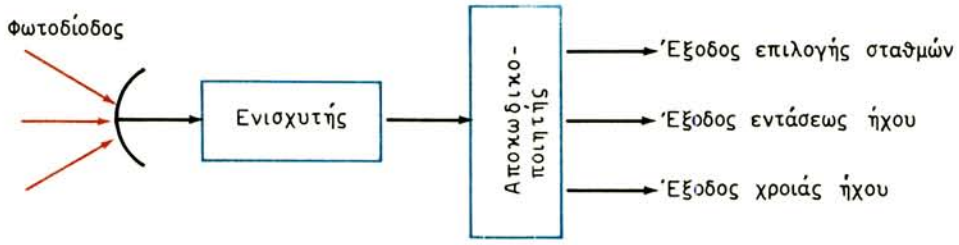
7.6 Συστήματα τηλεχειρισμού δεκτών.

Τα συστήματα τηλεχειρισμού των δεκτών αποτελούνται από δύο διατάξεις: Το ***τηλεχειριστήριο*** και το ***δέκτη λήψεως των εντολών*** με τα ***εκτελεστικά*** του κυκλώματα. Τα σύγχρονα συστήματα τηλεχειρισμού εργάζονται στην περιοχή της υπέρυθρης ακτινοβολίας. Για την εκπομπή υπέρυθρης ακτινοβολίας, χρησιμοποιούνται ***δίοδοι φωτοεκπομπής*** (LED = Liqht Emittinq Diodes), των οποίων η ακτινοβολία διαμορφώνεται κατά πλάτος από ορθογώνιους ***παλμούς εντολών,*** που παράγονται όταν πιέζεται ένα πλήκτρο. Ο δέκτης τηλεχειρισμού αρχίζει από μία φωτοδίοδο, που μετατρέπει την υπέρυθρη ακτινοβολία σε ηλεκτρικές μεταβολές και συνεχίζει με την ενίσχυση και αποκωδικοποίηση των εντολών.

Το χονδρικό διάγραμμα ενός υπέρυθρου τηλεχειριστηρίου φαίνεται στο σχήμα 7.7. Αποτελείται από ταλαντωτή που εργάζεται στην υπερηχητική περιοχή



Σχ. 7.7.
Χονδρικό διάγραμμα υπέρυθρου τηλεχειριστηρίου.



Σχ. 7.8.
Χονδρικό διάγραμμα δέκτη τηλεχειρισμού με υπέρυθρες ακτίνες.

(35 kHz). Η έξοδος του ταλαντωτή είναι μία σειρά παλμών σταθερής συχνότητας, αλλά διαφορετικού πλάτους. Το πλάτος των παλμών αυτών, που είναι και ο φορέας κάθε εντολής, ελέγχεται από το πληκτρολόγιο. Στη συνέχεια, οι παλμοί εφαρμόζονται σε μία ενισχυτική βαθμίδα, για να καταλήξουν στις διόδους φωτοεκπομπής (LED), οι οποίες μετατρέπουν τους παλμούς διαφορετικού πλάτους σε υπέρυθρες ακτίνες διαφορετικής εντάσεως.

Ο δέκτης που υπέρυθρου τηλεχειρισμού (σχ. 7.8) ξεκινά όπως είπαμε, με μία φωτοδίοδο που μετατρέπει την υπέρυθρη ακτινοβολία σε ηλεκτρικές μεταβολές. Οι μεταβολές αυτές ενισχύονται από πολυβαθμικό ενισχυτή με υψηλή απολαβή και οδηγούνται σε μονάδα αποκωδικοποιήσεως. Η μονάδα αυτή αναδεικνύει τις εντολές που περιέχονται στους τασικούς παλμούς με μορφή διαφορετικού πλάτους και τις διοχετεύει σε ξεχωριστές εξόδους, οι οποίες συνδέονται στις αντίστοιχες διατάξεις εκτελέσεως των εντολών.

Πρέπει να σημειώσομε ότι οι εντολές εκτελούνται με ηλεκτρονικό τρόπο. Π.χ. για τη ρύθμιση του όγκου φωνής μεταβάλλεται το σημείο λειτουργίας ενός τρανζίστορ που συγκροτεί τον ενισχυτή ακουστικής συχνότητας του δέκτη. Η μεταβολή αυτή διαρκεί όσο στο τηλεχειριστήριο πατιέται το αντίστοιχο πλήκτρο και η ρυθμιστική τάση διατηρείται, ώσπου να φθάσει μία επόμενη εντολή ή και μετά την αποσύνδεση του δέκτη.

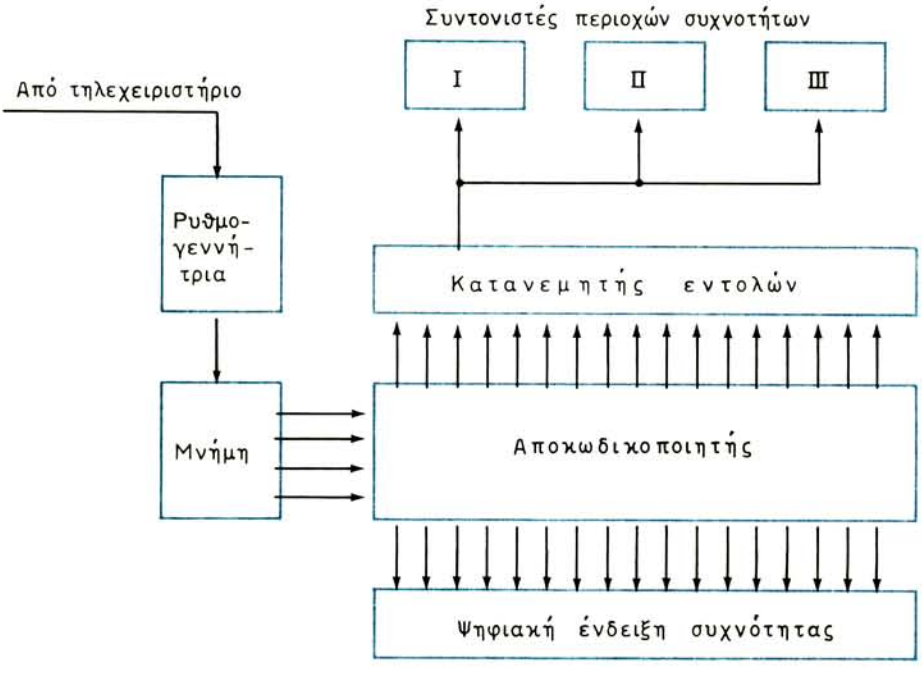
Ο δέκτης του συστήματος τηλεχειρισμού με υπέρυθρες ακτίνες, όπως και ο πομπός, κατασκευάζεται σήμερα με ολοκληρωμένα κυκλώματα, πράγμα που δίνει τη δυνατότητα εκτελέσεως πολλών εντολών. Οι εντολές αυτές μπορεί να είναι: επιλογή πολλών (μέχρι και 100) σταθμών, αύξηση της εντάσεως του ήχου, μείωση της εντάσεως του ήχου, ρύθμιση του τόνου του ήχου τόσο προς την περιοχή των χαμηλών, όσο και προς την περιοχή των υψηλών ακουστικών συχνοτήτων, έναρξη λειτουργίας (άνοιγμα) του δέκτη και τέλος διακοπή λειτουργίας (κλείσιμο) του δέκτη.

Τέλος, ο δέκτης τηλεχειρισμού είναι εφοδιασμένος με ***μονάδα μνήμης.*** Στη μονάδα μνήμης διατηρούνται οι διάφορες εντολές που παίρνονται από τις εξόδους του αποκωδικοποιητή κατά τη διάρκεια που ο δέκτης μεταφέρεται

από τη ***θέση λειτουργίας*** στη ***θέση ετοιμότητας*** (stand-by). Με την επιστροφή του δέκτη στη θέση λειτουργίας από τη θέση ετοιμότητας, όλες οι ρυθμίσεις που είχαν γίνει από τον ακροατή επανέρχονται. Έτσι, ο δέκτης λειτουργεί όπως λειτουργούσε πριν γίνει η πιο πάνω μεταφορά, δηλαδή χωρίς νέες ρυθμίσεις.

Η χρησιμοποίηση ψηφιακών λογικών κυκλωμάτων στα συστήματα τηλεχειρισμού επιτρέπει τον πλήρη ηλεκτρονικό έλεγχο των δεκτών που διαθέτουν συντονιστές περιοχών συχνοτήτων με ηλεκτρονικό συντονισμό βαθμίδων και ηλεκτρονική μεταλλαγή. Το γενικό διάγραμμα μιας τέτοιας διατάξεως φαίνεται στο σχήμα 7.9.

Ύστερα από την άφιξη της εντολής από το τηλεχειριστήριο, αρχίζει να εργάζεται η ***ρυθμογεννήτρια,*** η οποία επιδρά στη ***μνήμη,*** όπου σε μορφή δυαδικού κώδικα διατηρείται ο αριθμός των σταθμών των διαφόρων περιοχών συχνοτήτων. Ο ***αποκωδικοποιητής*** μετασχηματίζει τα κωδικά σήματα σε εντολές, οι οποίες, μέσα από τον ***κατανεμητή εντολών,*** μεταφέρονται στα βάρικαπ των συντονιστών του δέκτη και ακόμη ενεργοποιεί τη διάταξη ψηφιακής ενδείξεως της συχνότητας του λαμβανόμενου σταθμού. Όσο διαρκεί η πίεση του πλήκτρου του τηλεχειριστηρίου, στον πίνακα του δέκτη και με ταχύτητα που καθορίζεται



Σχ. 7.9.

Διάγραμμα λογικής διατάξεως για τον τηλεχειρισμό ενός δέκτη.

από τη συχνότητα των παλμών της ρυθμογεννήτριας, αναγράφεται μια σειρά από συχνότητες, που αντιστοιχούν σε διάφορους σταθμούς. Αφήνοντας ο ακροατής το πλήκτρο του τηλεχειριστηρίου μπορεί να ακούσει το πρόγραμμα του επιθυμητού σταθμού.

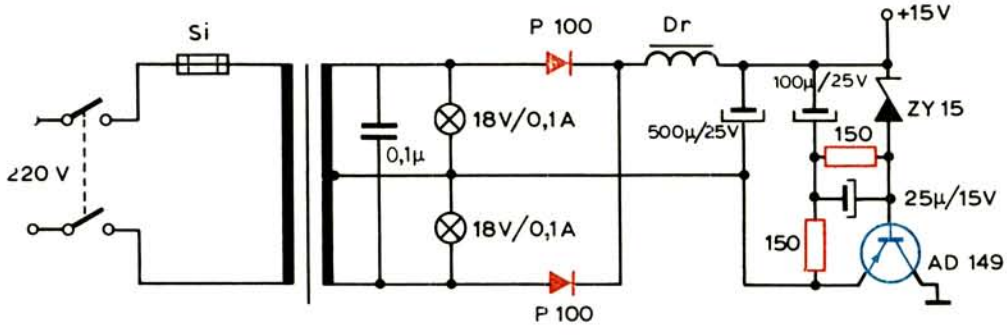
7.7 Τροφοδοτικά δεκτών.

Οι βιομηχανίες κατασκευάζουν σήμερα δέκτες με τρανζίστορ, με ολοκληρωμένα κυκλώματα ή με τρανζίστορ και ολοκληρωμένα κυκλώματα (μικτούς). Για τη λειτουργία των δεκτών αυτών χρειάζονται μερικές συνεχείς τάσεις τροφοδοσίας των βαθμίδων τους. Οι συνεχείς τάσεις παίρνονται με ανόρθωση από το δίκτυο ηλεκτροφωτισμού ή αν πρόκειται για φορητούς δέκτες, από συσσωρευτή (μπαταρία). Στην πρώτη περίπτωση χρησιμοποιείται τροφοδοτικός μετασχηματιστής της εναλλασσόμενης τάσεως του δικτύου.

Τα απλά τροφοδοτικά των δεκτών, που είναι γνωστά και από άλλες περιοχές των ηλεκτρονικών εφαρμογών, δεν θα μας απασχολήσουν. Εδώ, θα παρουσιάσομε δύο ή τρεις συνδεσμολογίες τροφοδοτικών για δέκτες κάποιων απαιτήσεων.

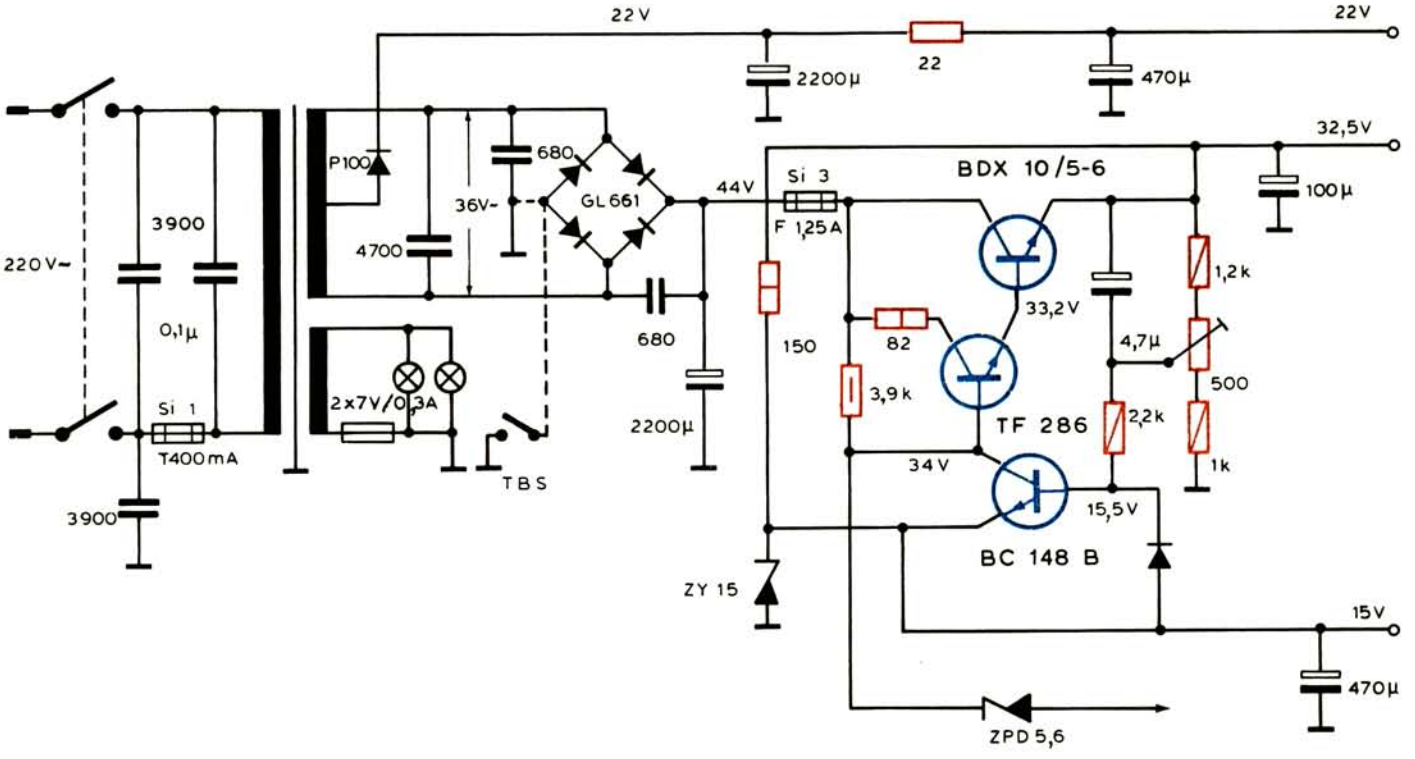
Στο σχήμα 7.10 φαίνεται τροφοδοτικό που παρέχει σταθεροποιημένη τάση στα 15 V. Ο μετασχηματιστής τροφοδοσίας είναι κατασκευασμένος για σύνδεση σε δίκτυο 220 V και τροφοδοτεί δύο ανορθωτές P100 σε διάταξη διπλής ανορθώσεως. Η τάση εξομαλύνεται με το πηνίο D_r και τον πυκνωτή 500 μF/25 V. Το τρανζίστορ AD149, η δίοδος ζένερ ZY15, οι πυκνωτές 100 μF/25 V και 25 μF/15 V και οι αντιστάσεις 150 Ω εξασφαλίζουν την ηλεκτρονική σταθεροποίηση της τάσεως των 15 V. Το τροφοδοτικό είναι κατάλληλο για την τροφοδότηση δεκτών με τρανζίστορ.

Η συνδεσμολογία τροφοδοτικού για δέκτες με τρανζίστορ και ολοκληρωμένα κυκλώματα φαίνεται στο σχήμα 7.11.



Σχ. 7.10.

Κύκλωμα διπλής ανορθώσεως με ηλεκτρονική σταθεροποίηση.



Σχ. 7.11.

Τροφοδοτικό κύκλωμα δέκτη με τρανζίστορ και ολοκληρωμένα κυκλώματα.

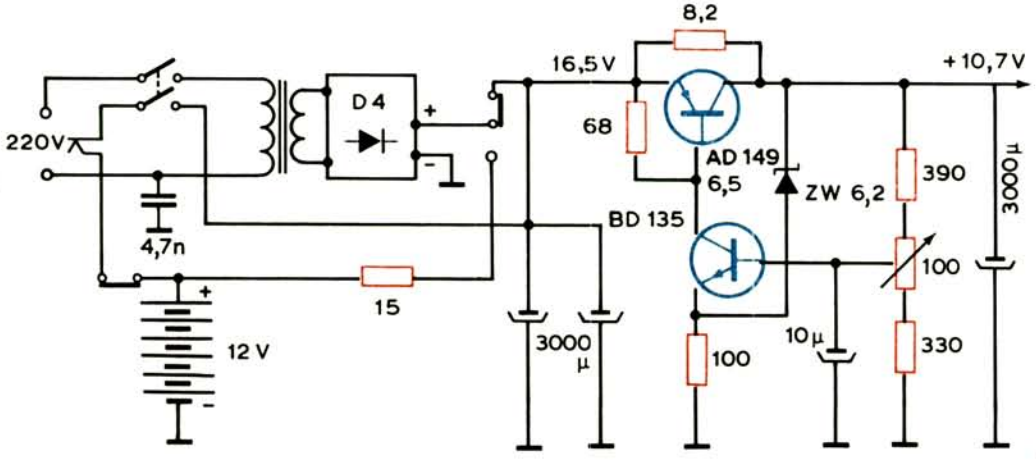
Ένας μετασχηματιστής, με κατάλληλη ισχύ, έχει δύο δευτερεύουσες περιελιξεις. Η μία παρέχει μία εναλλασσόμενη τάση 36 V, που ανορθώνεται με γέφυρα και η άλλη τροφοδοτεί τα ενδεικτικά λαμπάκια. Η ανορθωμένη τάση (44 V) οδηγείται στον ηλεκτρονικό σταθεροποιητή με τρανζίστορ και ζένερ και κατανέμεται στις τάσεις 15 V, 32,5 V και 34 V. Στη μεσαία λήψη της δευτερεύουσας περιελίξεως συνδέεται η δίοδος P100, που ανορθώνει τη μισή εναλλασσόμενη τάση (18 V) και παρέχει μία τέταρτη συνεχή τάση 22 V.

Ένα τρίτο τροφοδοτικό, που προορίζεται για φορητό δέκτη με τρανζίστορ και ολοκληρωμένα κυκλώματα φαίνεται στο σχήμα 7.12. Ο δέκτης τροφοδοτείται και από το δίκτυο ηλεκτροφωτισμού.

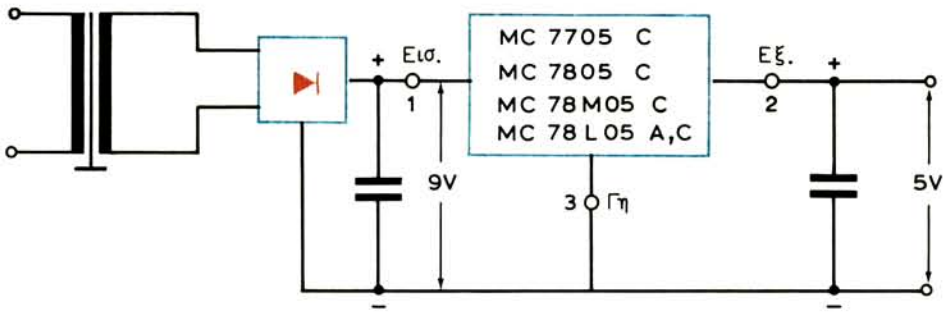
Ο μετασχηματιστής υποβιβάζει την τάση του δικτύου και τροφοδοτεί μία γέφυρα. Η ανορθωμένη τάση (16,5 V) σταθεροποιείται με τα τρανζίστορ BD 135, AD 149 και τη δίοδο ζένερ ZW 6,2 και παίρνει την τελική τιμή 10.7 V για την τροφοδότηση των βαθμίδων του δέκτη.

Με τη σύνδεση του συσσωρευτή (μπαταρία) των 12 V, η ανορθωτική γέφυρα αποσυνδέεται και ο δέκτης εξακολουθεί να εργάζεται με λίγο μικρότερες τάσεις.

Πριν κλείσομε την παράγραφο, θα πούμε δύο λόγια και για τα ολοκληρωμένα κυκλώματα που είναι γνωστά σαν ***ρυθμιστές τάσεως*** (voltaqe regulators). Ρυθμιστές αυτού του τύπου κυκλοφορούν πάρα πολλοί και προσφέρονται από διάφορες κατασκευαστικές εταιρίες. Γενικά, μπορούν να χωρισθούν σε δύο κατηγορίες: σε αυτή που δίνει στην έξοδο μία μόνο σταθερή τάση και σ' αυτή που η τάση εξόδου μπορεί να μεταβληθεί.

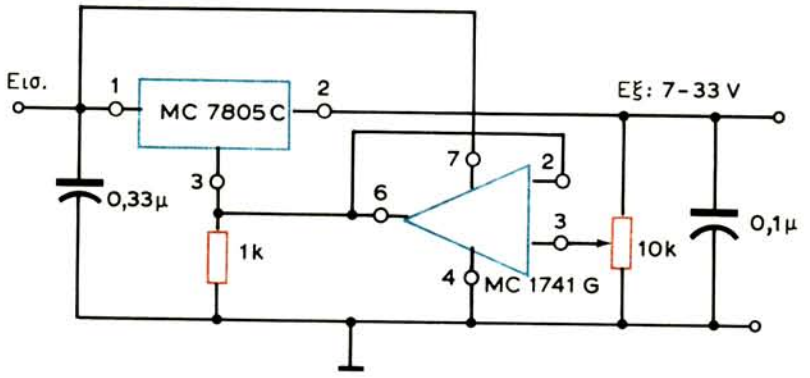


Σχ. 7.12.
Τροφοδοτικό για φορητό δέκτη.



Σχ. 7.13.

Ρυθμιστής τάσεως με τα ολοκληρωμένα της σειράς MC 7800 της Motorola.



Σχ. 7.14.

Ρυθμιστής τάσεως με τα ολοκληρωμένα MC 7805C και MC 1741G της Motorola.

Οι ρυθμιστές της πρώτης κατηγορίας έχουν τρεις ακροδέκτες (είσοδο, έξοδο και γείωση) και συνδέονται άμεσα στην έξοδο του φίλτρου του τροφοδοτικού (σχ. 7.13). Η τάση εισόδου πρέπει να είναι μεγαλύτερη από την τάση εξόδου τουλάχιστον κατά 2 V.

Οι ρυθμιστές της δεύτερης κατηγορίας, που δίνουν μεταβαλλόμενη σταθεροποιημένη τάση στην έξοδο, έχουν από 3 έως 16 συνήθως ακροδέκτες. Σπάνια χρησιμοποιούνται χωρίς τρανζίστορ ή άλλο ενισχυτικό ολοκληρωμένο γιατί παρέχουν μικρά ρεύματα.

Ένας τέτοιος συνδυασμός φαίνεται στο σχήμα 7.14. Η τάση εξόδου ρυθμίζεται από 7 V έως 33 V με τάση εισόδου 35 V ή λίγο μεγαλύτερη. Το ρεύμα εξόδου, με κατάλληλο ψύκτη, μπορεί να φθάσει το 1 A (συνήθως 0,75 A).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΟΓΔΟΟ

ΣΥΝΔΕΣΜΟΛΟΓΙΕΣ ΒΑΘΜΙΔΩΝ ΠΟΜΠΩΝ ΚΑΙ ΔΕΚΤΩΝ

8.1 Γενικά.

Στο πρώτο κεφάλαιο ασχοληθήκαμε με τη συγκρότηση των πομπών και των δεκτών, που προορίζονται για την εκπομπή και λήψη σημάτων διαμορφωμένων κατά πλάτος και κατά συχνότητα. Στα κεφάλαια, που ακολουθούν το πρώτο, μελετήσαμε διεξοδικά τη σύνθεση και τη λειτουργία των βαθμίδων τους, τις ιδιαιτερότητες των κυκλωμάτων τους και γενικά κάθε λεπτομέρεια που έχει σχέση με την ανταπόκρισή τους σε συγκεκριμένες απαιτήσεις.

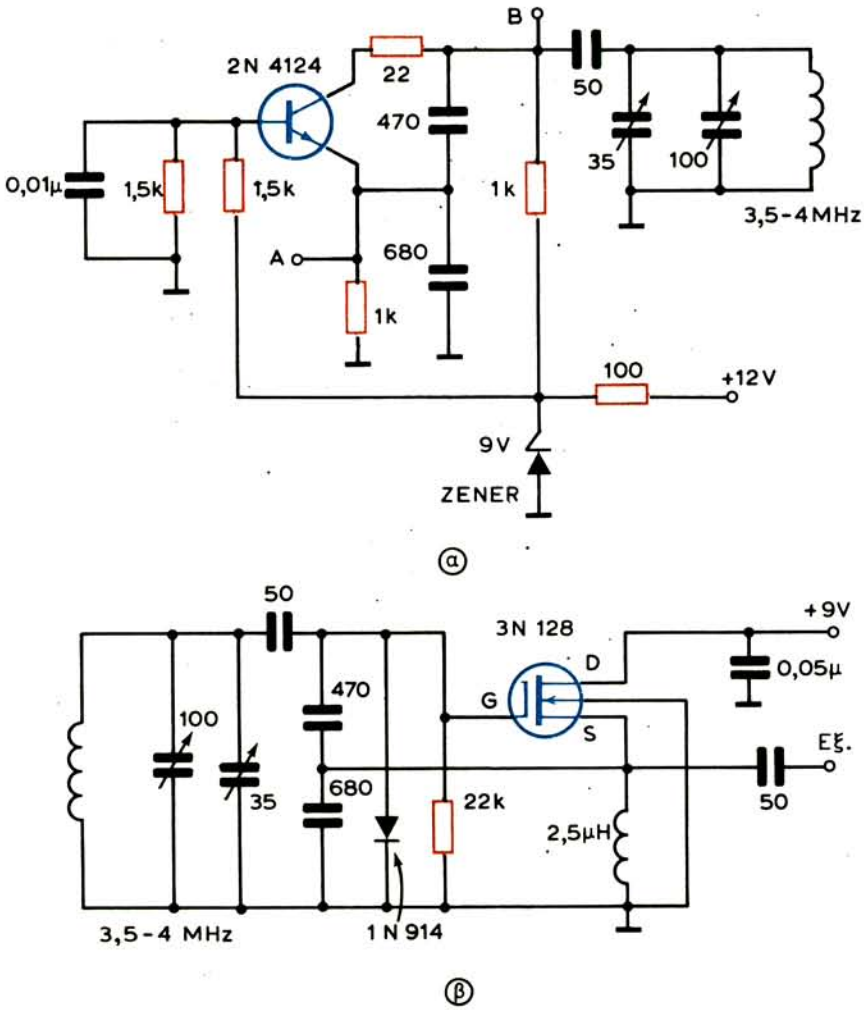
Στο κεφάλαιο αυτό θα παρουσιάσομε συνδεσμολογίες βαθμίδων πομπών και δεκτών, όπως συναντώνται σήμερα στην πράξη. Μεγαλύτερη έμφαση θα δοθεί στις βαθμίδες των δεκτών και ιδιαίτερα των ραδιοφώνων, που είναι κυρίως το αντικείμενο απασχολήσεως των τεχνικών μας. Οι βαθμίδες των πομπών θα αναφέρονται σε μικρές ισχείς, που κυρίως, εξυπηρετούν την ερασιτεχνική ραδιοφωνία.

8.2 Ταλαντωτές πομπών.

Είδαμε ότι η πρώτη βαθμίδα κάθε πομπού είναι ο ταλαντωτής του ή ***οδηγός βαθμίδα*** που παράγει το φέρον σήμα. Η σταθερότητα της συχνότητας εκπομπής ενός πομπού εξαρτάται αποκλειστικά από τις συνθήκες λειτουργίας του ταλαντωτή του. Για την εξασφάλιση, όσο το δυνατό, σταθερής συχνότητας, ο ταλαντωτής σχεδιάζεται να παρέχει χαμηλή ισχύ. Η ισχύς αυξάνεται με ενισχυτικές βαθμίδες, που ακολουθούν τον ταλαντωτή.

Παρουσιάζομε, τώρα, δύο συνδεσμολογίες ταλαντωτών LC, που εργάζονται στην περιοχή συχνοτήτων των 3,5-4 MHz.

Ο ταλαντωτής του σχήματος 8.1(α) είναι κατασκευασμένος με το διπολικό τρανζίστορ 2N4124 τύπου NPN σε συνδεσμολογία Colpitts. Η τάση εξόδου παρέχεται από το σημείο Α ή Β και οδηγείται στην επόμενη βαθμίδα (buffer) με ζευκτικό πυκνωτή. Η τροφοδοτική τάση των 12 V σταθεροποιείται με ζένερ στα 9 V.

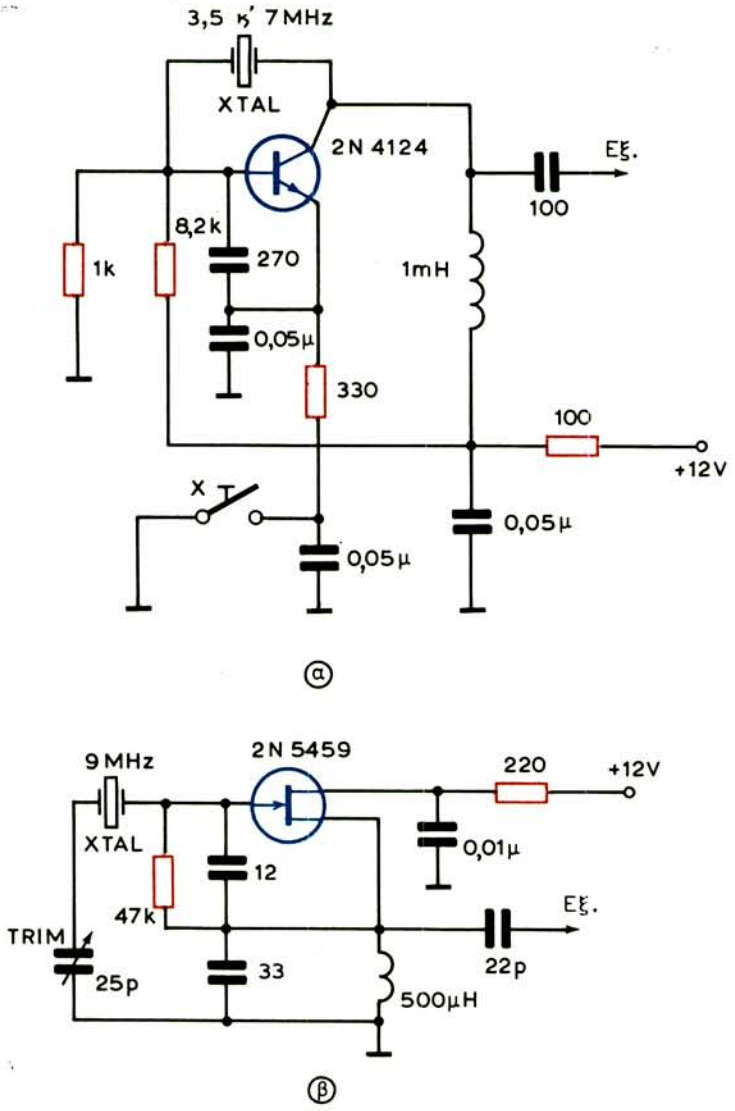


Σχ. 8.1.
Ταλαντωτές LC για ερασιτεχνικούς πομπούς.

Στο σχήμα 8.1(β) φαίνεται η συνδεσμολογία ταλαντωτή Colpitts για την ίδια περιοχή συχνοτήτων (3,5-4 MHz) με το MOS FET 3N128. Η δίοδος 1N914 σταθεροποιεί την πόλωση της πύλης G, που αναπτύσσεται στην αντίσταση των 22 kΩ. Η τροφοδότηση γίνεται από πηγή των 12 V και η τάση σταθεροποιείται στα 9 V, όπως στο προηγούμενο κύκλωμα.

Σήμα με σταθερή συχνότητα παράγεται, όπως γνωρίζομε, με τους ταλαντωτές κρυστάλλου. Δύο τέτοιες συνδεσμολογίες φαίνονται στο σχήμα 8.2.

Ο ταλαντωτής κρυστάλλου του σχήματος 8.2(α) είναι συναρμολογημένος με το διπολικό τρανζίστορ 2N4124 και υπολογισμένος για λειτουργία με κρύσταλ-



Σχ. 8.2.
Συνδεσμολογίες ταλαντωτών με κρύσταλλο.

λο των 3,5 και 7 MHz. Η έξοδος παίρνεται από το συλλέκτη, που έχει φορτίο την αυτεπαγωγή του 1 mH. Διακόπτοντας το κύκλωμα του εκπομπού, με τη βοήθεια χειριστηρίου, μπορούμε να εκπέμπομε συρμούς συντηρουμένων ταλαντώσεων, δηλαδή σήματα τηλεγραφίας. Ο ταλαντωτής τροφοδοτείται από πηγή των 12 V.

Πιο απλή είναι η συνδεσμολογία του κρυσταλλικού ταλαντωτή του σχήματος 8.2(6) με το FET 2N5459. Ο κρύσταλλος ταλαντώνεται στα 9 MHz και η συχνότητά του διορθώνεται με τον πυκνωτή τρίμμερ 25pF.

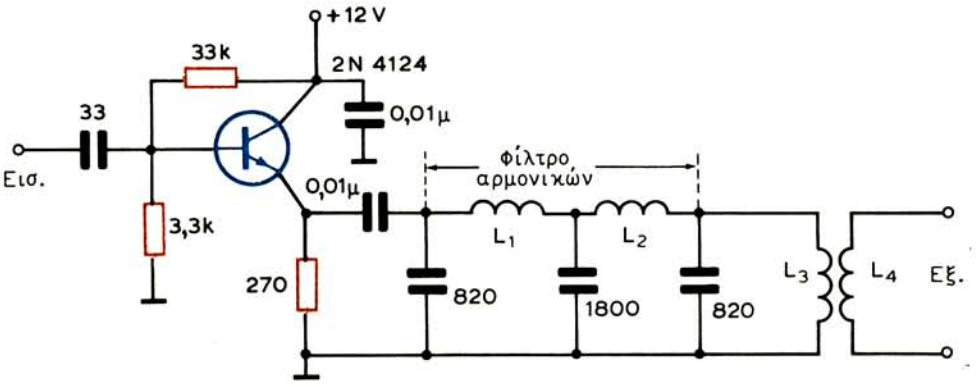
Ο αυτοδιεγειρόμενος ταλαντωτής μπορεί να χρησιμοποιηθεί μόνος του και σαν πομπός. Για το σκοπό αυτό, ο ταλαντωτής συζευγνύεται επαγωγικά ή χωρητικά με την κεραία εκπομπής και με κυκλώματα που θα γνωρίσομε παρακάτω. Οι πομποί μιας βαθμίδας δεν χρησιμοποιούνται σήμερα γιατί δεν εξασφαλίζουν σταθερή συχνότητα και μεγάλη ισχύ εξόδου.

8.3 Η βαθμίδα απομονώσεως.

Η επιθυμητή ισχύς εξόδου του πομπού επιτυγχάνεται με μια ή περισσότερες βαθμίδες ενισχύσεως ισχύος, που ακολουθούν τον ταλαντωτή. Οι ενισχυτές ισχύος λειτουργούν συνήθως με ρεύμα στην είσοδό τους και επομένως είναι μεταβαλλόμενα φορτία για τον ταλαντωτή. Οι μεταβολές του φορτίου επηρεάζουν το κύκλωμα ταλαντώσεων του ταλαντωτή με αποτέλεσμα τη μεταβολή της συχνότητας του παραγόμενου σήματος.

Για την εξασφάλιση υψηλής σταθερότητας της συχνότητας του σήματος, ο ταλαντωτής απομονώνεται από τον πρώτο ενισχυτή ισχύος που τον ακολουθεί με την παρεμβολή μεταξύ ταλαντωτή και ενισχυτή ισχύος μιας βαθμίδας, που ονομάζεται ***βαθμίδα απομονώσεως*** ή ***διαχωρισμού*** (buffer). Η απομονώτρια βαθμίδα εργάζεται χωρίς ρεύμα στην είσοδο και συνήθως είναι ενισχυτής με κοινό συλλέκτη. Ο ενισχυτής αυτός, εκτός από την απομόνωση, εξασφαλίζει και την προσαρμογή της υψηλής αντιστάσεως εξόδου του ταλαντωτή προς τη χαμηλή αντίσταση εισόδου του ενισχυτή ισχύος.

Στο σχήμα 8.3 φαίνεται τυπική συνδεσμολογία βαθμίδας απομονώσεως με το τρανζίστορ 2N4124. Φορτίο της βαθμίδας είναι η αντίσταση εκπομπού των 270



Σχ. 8.3.

Βαθμίδα απομονώσεως (buffer) του ταλαντωτή από τον ενισχυτή ισχύος πομπού.

Ω (κοινός ο συλλέκτης). Μεταξύ του φορτίου αυτού και της επόμενης βαθμίδας του πομπού παρεμβάλλεται το φίλτρο απορρίψεως των αρμονικών συχνοτήτων του ταλαντωτή. Το φίλτρο έχει χαμηλή αντίσταση εισόδου και εξόδου, ώστε να εξασφαλίζεται η αναγκαία προσαρμογή της απομονώτριας με την επόμενη βαθμίδα του πομπού.

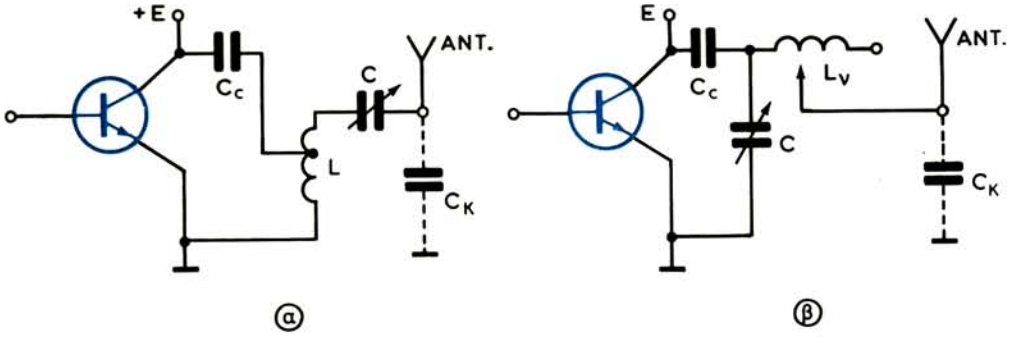
Η απομονώτρια βαθμίδα του σχήματος 8.3 συνδέεται, μέσα από τη χωρητικότητα των 33 pF, στο σημείο Β του ταλαντωτή του σχήματος 8.1(α). Χωρίς τη χωρητικότητα αυτή συνδέεται άμεσα στις εξόδους των ταλαντωτών των σχημάτων 8.1(β), 8.2(α) και 8.2(β). Οι αυτεπαγωγές L_1 και L_2 υπολογίζονται, σε συνδυασμό με τις χωρητικότητες των 820 και 1800 pF, ώστε να διαρρέουν οι δεύτερες αρμονικές των συχνοτήτων των ταλαντωτών αυτών. Οι αυτεπαγωγές L_3 και L_4 προσαρμόζουν την αντίσταση εξόδου του φίλτρου προς την αντίσταση εισόδου της επόμενης βαθμίδας του πομπού.

8.4 Βαθμίδα εξόδου πομπών.

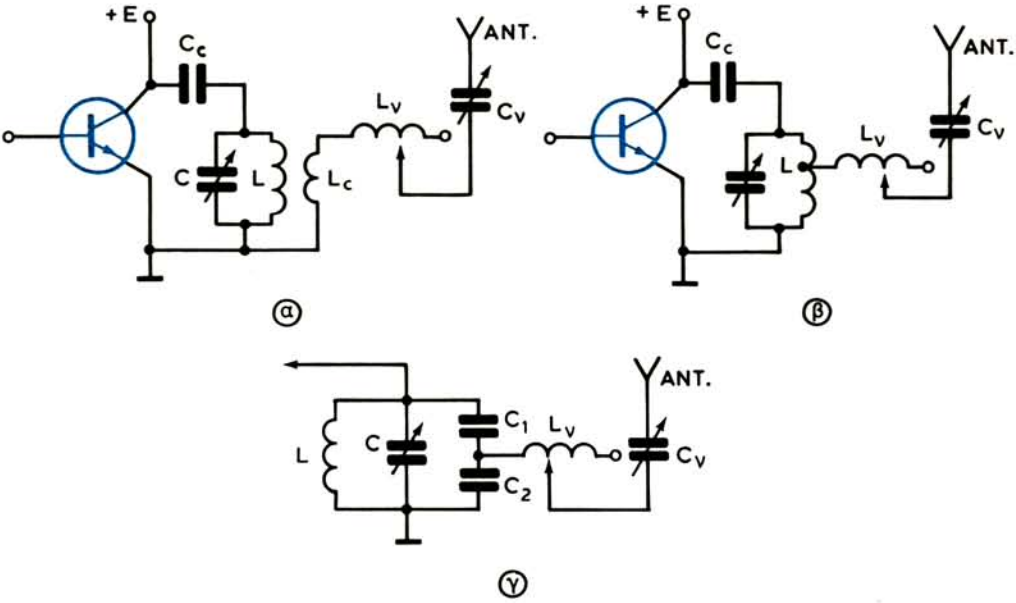
Ο τελικός ενισχυτής ισχύος που διεγείρει την κεραία του πομπού ονομάζεται και βαθμίδα εξόδου του. Η μεταβίβαση της ισχύος από την τελική βαθμίδα του πομπού στην κεραία του και η απόρριψη των αρμονικών συχνοτήτων εξαρτώνται από τον τρόπο διεγέρσεως της κεραίας. Διακρίνομε την άμεση και την έμμεση διέγερση μιας κεραίας. Κατά την άμεση διέγερση, η κεραία αποτελεί η ίδια και το κύκλωμα συντονισμού του τελικού ενισχυτή ισχύος. Κατά την έμμεση διέγερση, η τελική βαθμίδα του πομπού τερματίζει σε «δικό της» κύκλωμα συντονισμού, το οποίο συζευγνύεται με την κεραία.

Δύο κυκλώματα εξόδου με άμεση διέγερση της κεραίας φαίνονται στο σχήμα 8.4. Στο πρώτο [σχ. 8.4(α)], το κύκλωμα εξόδου αποτελείται από την αυτεπαγωγή L, τον πυκνωτή συντονισμού της κεραίας C και από την αυτεπαγωγή και τη χωρητικότητα της ίδιας της κεραίας (χωρητικότητα C_K). Η σύζευξη βαθμίδας και κεραίας είναι αυτεπαγωγική (λήψη πηνίου L). Στο δεύτερο [σχ. 8.4(β)], το κύκλωμα εξόδου αποτελείται από τον πυκνωτή C, τη μεταβλητή αυτεπαγωγή L_v ***(βαριόμετρο)*** και από την αυτεπαγωγή και τη χωρητικότητα της ίδιας της κεραίας. Η κεραία συντονίζεται με το βαριόμετρο L_v και η σύζευξή της με τη βαθμίδα εξόδου είναι χωρητική (πυκνωτής C). Το δεύτερο αυτό κύκλωμα εξασφαλίζει καλύτερη απόρριψη αρμονικών συχνοτήτων, από ό,τι το πρώτο, επειδή ο πυκνωτής C παρουσιάζει μικρή αντίσταση στις αρμονικές συχνότητες και διευκολύνει τη διαρροή τους προς τη γη.

Τρία κυκλώματα εξόδου πομπών με έμμεση διέγερση της κεραίας φαίνονται στο σχήμα 8.5. Η διαφορά τους βρίσκεται στον τρόπο συζεύξεως κυκλώματος συντονισμού και κεραίας. Η πιο συνηθισμένη μέθοδος συζεύξεως είναι η επαγωγική [σχ. 8.5(α)], όμως σε μερικούς πομπούς συνυπάρχουν η αυτεπαγωγι-



Σχ. 8.4.
Κυκλώματα άμεσης διεγέρσεως κεραίας πομπού.



Σχ. 8.5.
Κυκλώματα έμμεσης διεγέρσεως κεραίας πομπού.

κή [σχ. 8.5(β)] και η χωρητική [σχ. 8.5(γ)]. Ο συντονισμός της κεραίας, και ιδιαίτερα για τη λειτουργία της σε ευρεία περιοχή συχνοτήτων, γίνεται με τη βοήθεια του βαριομέτρου L_v και του μεταβλητού πυκνωτή C_v, που συνδέονται σε σειρά.

Η άμεση διέγερη παρουσιάζει τα επόμενα πλεονεκτήματα σε σύγκριση με την έμμεση:

1) Έχει μικρότερο αριθμό μεταβλητών στοιχείων και επομένως είναι απλούστερος ο συντονισμός της τελικής βαθμίδας του πομπού.

2) Οι απώλειες ενέργειας από τη βαθμίδα έως την κεραία είναι μικρές, επειδή μεταξύ αυτών δεν παρεμβάλλεται άλλο συντονισμένο κύκλωμα, και επομένως μεγαλώνει ο βαθμός αποδόσεως του πομπού.

Τα βασικά μειονεκτήματα της άμεσης διεγέρσεως, που περιορίζουν τη χρήση της, είναι τα ακόλουθα:

1) Η κεραία εκπέμπει σήματα αρμονικών συχνοτήτων. Είναι γνωστό ότι ο ενισχυτής που εργάζεται σε τάξη Γ παρέχει ρεύμα εξόδου με αρμονικές. Επειδή η κεραία μπορεί να συντονίζει και σε αρμονικές συχνότητες, ακτινοβολεί μια ισχύ αρμονικών που παρενοχλεί τη λήψη άλλων πομπών. Αντίθετα, αν στην έξοδο του ενισχυτή τοποθετηθεί κύκλωμα LC, το τελευταίο συντονίζει στο σήμα της θεμελιώδους μόνο συχνότητας (1ης αρμονικής), το οποίο μεταβιβάζεται στην κεραία και έτσι αποκλείονται οι αρμονικές.
2) Το κύκλωμα παρουσιάζει αστάθεια κατά τη λειτουργία του. Σε περίπτωση αποσυντονισμού της κεραίας, ή κάποιας τυχαίας διακοπής της, ή ακόμη πτώσεώς της, ελαττώνεται η ισχύς ακτινοβολίας και μεγαλώνει η ισχύς απωλειών. Αυτό, μπορεί να προκαλέσει την καταστροφή της βαθμίδας, εξαιτίας υπερθερμάνσεως του τρανζίστορ.
3) Η αντικατάσταση της κεραίας τροποποιεί τη βαθμολογία του πομπού.

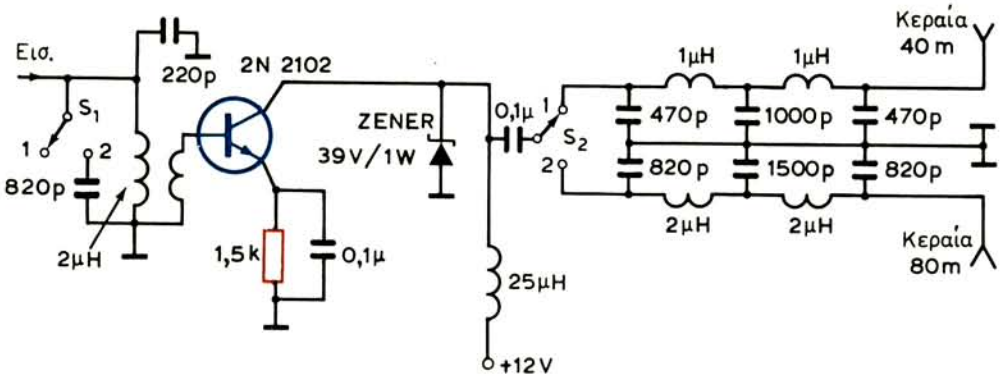
Για τους λόγους αυτούς, οι κεραίες των συγχρόνων πομπών διεγείρονται έμμεσα. Η έμμεση διέγερση εξασφαλίζει αποκλεισμό αρμονικών, προστατεύει τη βαθμίδα κατά τον αποσυντονισμό, τη διακοπή ή την πτώση της κεραίας και παρέχει δυνατότητα λειτουργίας με διάφορες κεραίες.

Για το συντονισμό της βαθμίδας εξόδου με έμμεση διέγερση της κεραίας απαιτούνται τρεις χειρισμοί:

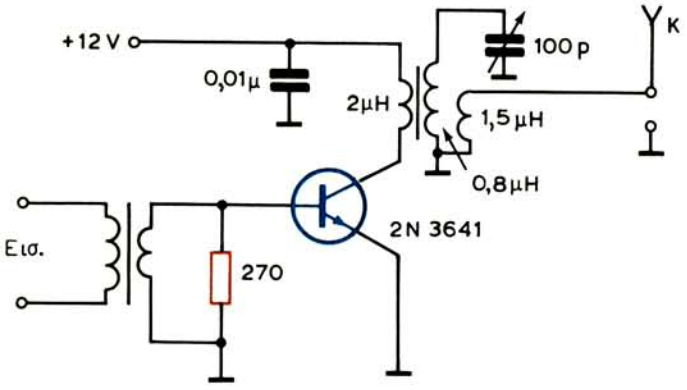
α) Συντονισμός του κλειστού κυκλώματος εξόδου LC στη συχνότητα εκπομπής.
β) Συντονισμός της κεραίας στην ίδια συχνότητα και
γ) εκλογή του κατάλληλου βαθμού συζεύξεως κεραίας και κλειστού κυκλώματος εξόδου.

Συνδεσμολογία βαθμίδας εξόδου πομπού με το τρανζίστορ 2N2102 φαίνεται στο σχήμα 8.6. Η βαθμίδα είναι υπολογισμένη για εκπομπή σε δύο στενές περιοχές συχνοτήτων, 3,5-4 MHz και 7-7,3 MHz με άμεση διέγερση των κεραιών. Μεταξύ της εξόδου του ενισχυτή και των κεραιών παρεμβάλλονται τα φίλτρα απορρίψεως των αρμονικών των 3,5 MHz και των 7 MHz. Ο διακόπτης S_1, στη θέση 1 εξασφαλίζει το συντονισμό του κυκλώματος εισόδου του ενισχυτή στα 7 MHz και στη θέση 2, στα 3,5 MHz. Αντίστοιχα, ο διακόπτης S_2, στη θέση 1 συνδέει την κεραία των 40 m και στη θέση 2, την κεραία των 80 m, που συντονίζουν στις πιο πάνω συχνότητες.

Μια δεύτερη συνδεσμολογία βαθμίδας εξόδου πομπού με έμμεση διέγερση



Σχ. 8.6.
Συνδεσμολογία βαθμίδας εξόδου πομπού.



Σχ. 8.7.
Συνδεσμολογία ενισχυτή εξόδου πομπού με έμμεση διέγερση της κεραίας.

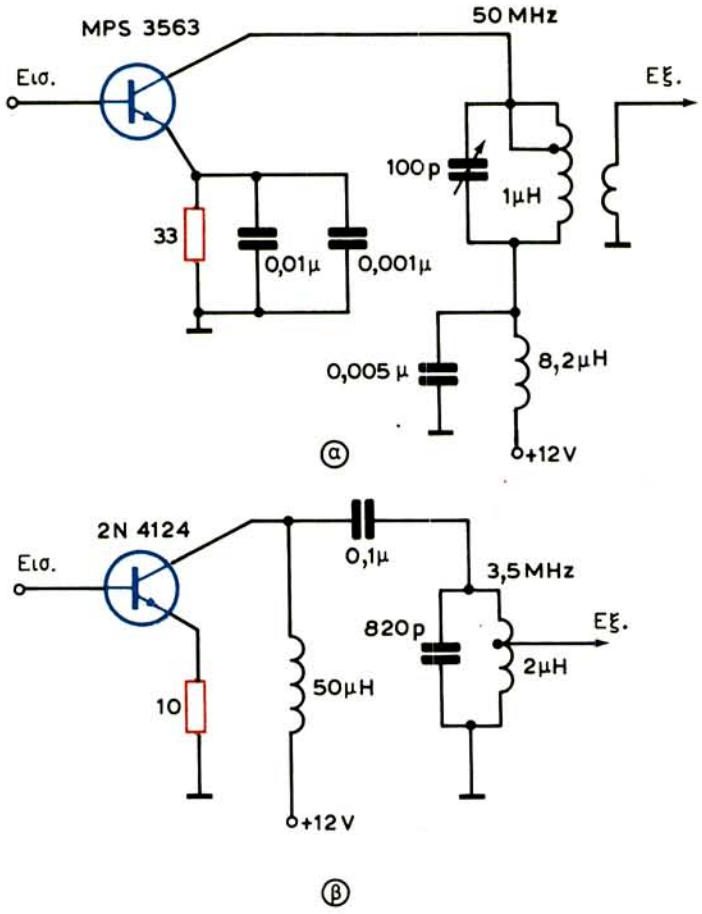
της κεραίας φαίνεται στο σχήμα 8.7. Η σύζευξη μεταξύ εξόδου ενισχυτή και κυκλώματος συντονισμού, καθώς και μεταξύ κυκλώματος συντονισμού και κεραίας, είναι επαγωγική. Ο ενισχυτής είναι υπολογισμένος να λειτουργεί στα 21 MHz.

8.5 Ενδιάμεσες βαθμίδες πομπών.

Είπαμε ότι για την εξασφάλιση εκπομπής σήματος με σταθερή συχνότητα θα πρέπει ο ταλαντωτής να παρέχει μικρή ισχύ. Αν χρειάζεται μεγάλη ισχύς εκπομπής, τοποθετούνται ενδιάμεσες ενισχυτικές βαθμίδες μεταξύ του ταλαντωτή και του τελικού ενισχυτή του πομπού. Όσο μεγαλύτερη ισχύς εξόδου απαιτείται, τόσο περισσότερες ενισχυτικές βαθμίδες περιλαμβάνει ο πομπός.

Πρέπει να τονίσομε ότι οι ενδιάμεσες βαθμίδες των πομπών, εκτός από την ενίσχυση ισχύος που πραγματοποιούν, ελαττώνουν τη σύζευξη μεταξύ ταλαντωτή και κεραίας, πράγμα που συντελεί στη σταθεροποίηση της συχνότητας.

Κάθε ενδιάμεση βαθμίδα περιλαμβάνει το ενισχυτικό τρανζίστορ και το κύκλωμα συντονισμού στην έξοδό του [σχ. 8.8(α)]. Σε μερικές περιπτώσεις, στην έξοδο της βαθμίδας συνδέεται μόνο μία αυτεπαγωγή (τσοκ) και το κύκλωμα συντονισμού τοποθετείται στην είσοδο της επόμενης βαθμίδας [σχ. 8.8(β)]. Η σύζευξη μεταξύ των βαθμίδων μπορεί να είναι επαγωγική ή ηλεκτρική με τη βοήθεια πυκνωτή. Η λήψη του συλλέκτη σε τμήμα του πηνίου στο σχήμα 8.8(α) προορίζεται για τη ρύθμιση της αντιστάσεως φορτίου της βαθμίδας, ώστε να έχομε τη μέγιστη ισχύ εξόδου. Αυτό γίνεται όταν η εσωτερική αντίσταση του



Σχ. 8.8.
Συνδεσμολογίες ενδιαμέσων βαθμίδων πομπών.

τρανζίστορ εξισώνεται με την αντίσταση του φορτίου (προσαρμογή). Τον ίδιο προορισμό έχει και η λήψη στο πηνίο του σχήματος 8.8(β). Εδώ προσαρμόζεται η αντίσταση εξόδου της βαθμίδας προς την αντίσταση εισόδου της επόμενης, ώστε να έχομε τη μέγιστη μεταφορά ισχύος από τη μία βαθμίδα στην άλλη.

8.6 Βαθμίδες πολλαπλασιασμού συχνότητας.

Πολύ συχνά, και ιδιαίτερα στους πομπούς βραχέων κυμάτων, οι ενδιάμεσες βαθμίδες (μερικές φορές και η τελική) πολλαπλασιάζουν την αρχική συχνότητα του ταλαντωτή. Στην περίπτωση αυτή οι βαθμίδες ονομάζονται ***πολλαπλασιάστριες*** (διπλασιάστριες, τριπλασιάστριες κλπ). Ο πολλαπλασιασμός της συχνότητας πραγματοποιείται με απλό τρόπο.

Η ταλαντώτρια του πομπού εργάζεται σε κάποια συχνότητα f. Η επόμενη βαθμίδα οδηγείται σε τέτοια τάξη λειτουργίας, ώστε το ρεύμα εξόδου της να περιέχει αρμονικές συνιστώσες. Το κύκλωμα εξόδου της βαθμίδας αυτής (πολλαπλασιάστριας) ρυθμίζεται να συντονίζει στην επιθυμητή αρμονική. Αν, π.χ., απαιτείται διπλασιασμός της συχνότητας του ταλαντωτή, το κύκλωμα ρυθμίζεται να συντονίζει στη δεύτερη αρμονική (2f), αν απαιτείται τριπλασιασμός, στην τρίτη αρμονική (3f) κ.ο.κ. Συνήθως γίνονται διαδοχικοί διπλασιασμοί της συχνότητας, επειδή η δεύτερη αρμονική είναι ισχυρότερη από τις ανώτερές της.

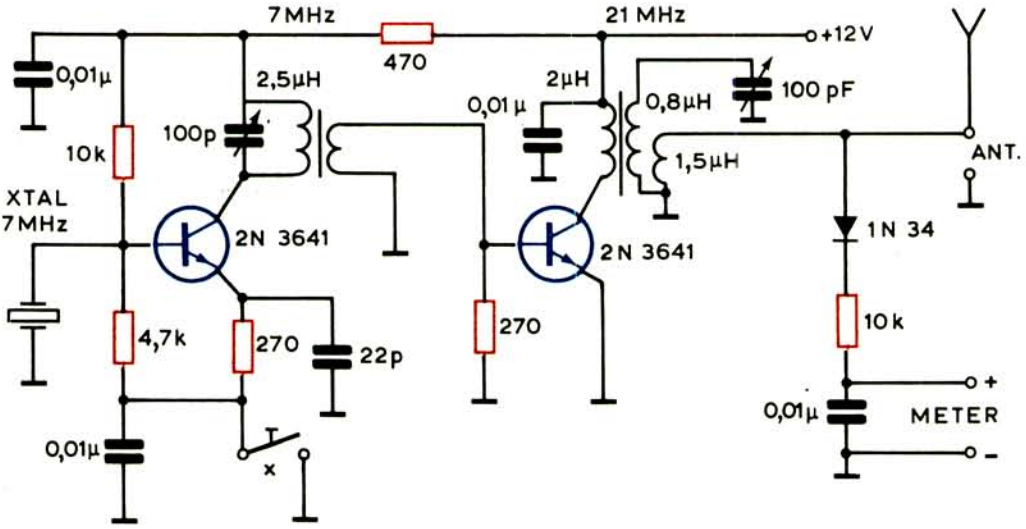
Η αρχή του πολλαπλασιασμού της συχνότητας εφαρμόζεται ευρύτατα στους πομπούς βραχέων και υπερβραχέων κυμάτων. Επειδή οι πολλαπλασιάστριες βαθμίδες εργάζονται με διαφορετική συχνότητα στην έξοδο από εκείνην της εισόδου, αποκλείονται οι παρασιτικές αναδράσεις που οδηγούν στην αυτοταλάντωσή τους και ακόμη απομονώνεται ο ταλαντωτής από τις επόμενες βαθμίδες. Το τελευταίο, εξασφαλίζει σταθερότητα στη λειτουργία του πομπού.

8.7 Χειρισμός ραδιοτηλεγραφικού πομπού.

Είπαμε ότι οι ραδιοτηλεγραφικοί πομποί προορίζονται για τη μεταβίβαση διακοπτομένων σημάτων ή σημάτων τηλεγραφίας. Η διακοπτόμενη λειτουργία του πομπού εξασφαλίζεται με τη βοήθεια του χειριστηρίου.

Το χειριστήριο μπορεί καταρχήν να συνδεθεί σε οποιοδήποτε κύκλωμα κάποιας βαθμίδας του πομπού, αρκεί να μη δημιουργείται καθυστέρηση στην έναρξη και στη διακοπή των ταλαντώσεων κατά το κλείσιμο και το άνοιγμα του χειριστηρίου. Κατά κανόνα, δεν συνδέεται σε κυκλώματα στα οποία κυκλοφορεί ρεύμα υψηλής συχνότητας ή ενεργεί υψηλή τάση, επειδή μεταξύ των επαφών του χειριστηρίου δημιουργούνται, κατά τη λειτουργία του, σπινθήρες που εμφανίζονται στο δέκτη με τη μορφή θορύβων.

Μια καλή θέση για τη σύνδεση του χειριστηρίου είναι το κύκλωμα της βάσεως ή του εκπομπού κάποιας βαθμίδας του πομπού. Στη συνδεσμολογία, π.χ., του



Σχ. 8.9.
Χειρισμός ραδιοτηλεγραφικού πομπού.

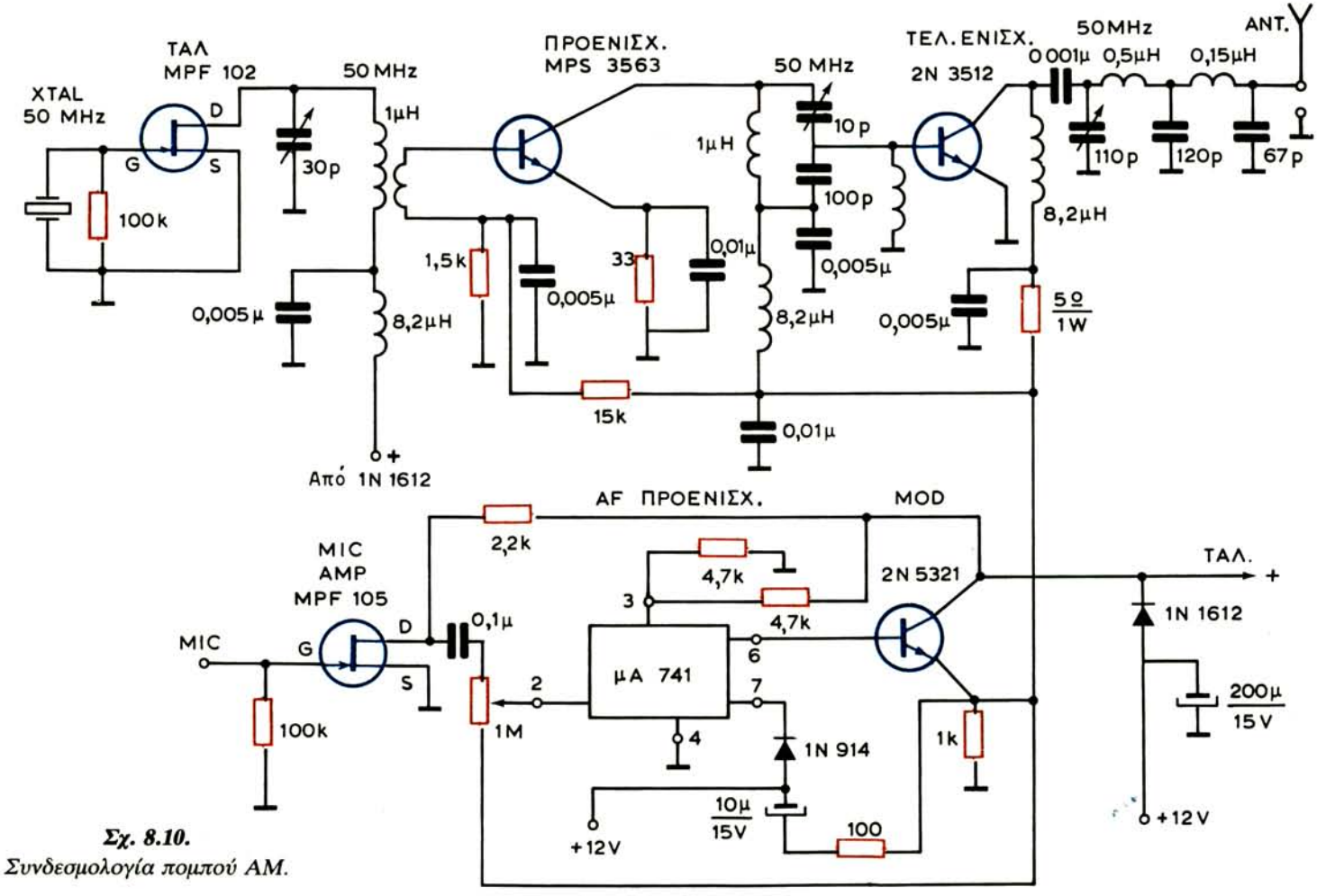
σχήματος 8.9, το χειριστήριο διακόπτει και αποκαθιστά ταυτόχρονα τα κυκλώματα εκπομπού και βάσεως του ταλαντωτή. Σε πομπούς μικρής ισχύος μπορεί το χειριστήριο να συνδεθεί στο κύκλωμα του συλλέκτη, ώστε να διακόπτει και να αποκαθιστά την τάση τροφοδοτήσεώς του. Συνήθως, η σύνδεση αυτή γίνεται μέσα από ηλεκτρονόμο.

Σημειώνομε ότι, όταν εκλέγεται η θέση συνδέσεως του χειριστηρίου, λαμβάνεται πρόνοια, ώστε να μην προκαλείται αποσυντονισμός των κυκλωμάτων κατά το χειρισμό του. Ακόμη, για την απόσβεση των σπινθήρων συνδέονται μεταξύ των επαφών του χειριστηρίου κατάλληλοι πυκνωτές σε συνδυασμό με αντιστάσεις.

Η συνδεσμολογία του σχήματος 8.9 είναι ένας πλήρης ραδιοτηλεγραφικός πομπός με δύο βαθμίδες: τον ταλαντωτή και τον τελικό ενισχυτή ισχύος. Ο ταλαντωτής λειτουργεί με κρύσταλλο των 7 MHz και το κύκλωμα εξόδου του ενισχυτή ισχύος είναι συντονισμένο στην τρίτη αρμονική (21 MHz), δηλαδή ο ενισχυτής αυτός είναι μια τριπλασιάστρια βαθμίδα. Το κύκλωμα με τον ανορθωτή 1N 34, την αντίσταση 10 kΩ, τον πυκνωτή 0,01 μF και το βολτόμετρο συνεχούς τάσεως προορίζεται για το συντονισμό του πομπού.

8.8 Συνδεσμολογία πομπού με διαμόρφωση πλάτους.

Παρουσιάζομε τη συνδεσμολογία ενός φορητού πομπού με διαμόρφωση πλάτους, που λειτουργεί στη συχνότητα των 50 MHz και έχει ισχύ εξόδου 1 W. Αποτελείται από τρεις βαθμίδες (σχήμα 8.10), που είναι γνωστές από προηγού-



Σχ. 8.10.
Συνδεσμολογία πομπού ΑΜ.

μενες συνδεσμολογίες. Ο ταλαντωτής είναι κατασκευασμένος με το FET MPF102, ο προενισχυτής ισχύος με το τρανζίστορ MPS3563 και ο τελικός ενισχυτής ισχύος, με το 2N3512. Ο πομπός διαμορφώνεται ταυτόχρονα από τη βάση του προενισχυτή, από το συλλέκτη του προενισχυτή και από το συλλέκτη του τελικού ενισχυτή.

Ο διαμορφωτής (τρανζίστορ 2N5321) διεγείρεται από τον προενισχυτή του ακουστικού σήματος, που είναι συναρμολογημένος με το ολοκληρωμένο κύκλωμα μΑ 741, το οποίο, με τη σειρά του, διεγείρεται από τον ενισχυτή μικροφώνου με το FET MPF105.

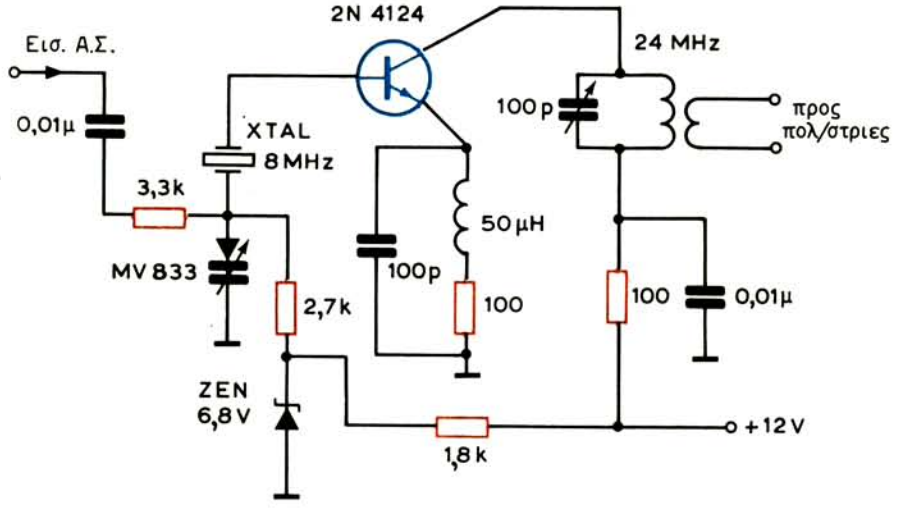
Ο προενισχυτής και ο τελικός ενισχυτής του πομπού τροφοδοτούνται από την τάση που αναπτύσσεται στην αντίσταση 1 kΩ του εκπομπού του διαμορφωτή. Ο ταλαντωτής του πομπού, ο συλλέκτης του διαμορφωτή, ο ακροδέκτης 3 του ολοκληρωμένου και ο ενισχυτής μικροφώνου τροφοδοτούνται από τη δίοδο 1N 1612 που σταθεροποιεί την τάση των 12 V. Τέλος, ο ακροδέκτης 7 του ολοκληρωμένου μΑ 741 τροφοδοτείται από τη δίοδο 1N914.

8.9 Μονοφωνική και στερεοφωνική διαμόρφωση πομπού FM.

Στο πρώτο κεφάλαιο (παράγραφος 1.6) είδαμε την οργάνωση των πομπών σημάτων που είναι διαμορφωμένα κατά συχνότητα. Οι πομποί FM εργάζονται σε υψηλές συχνότητες, γι' αυτό διαθέτουν σειρά από βαθμίδες πολλαπλασιασμού συχνότητας. Επειδή χρειάζεται να είναι σταθερή η κεντρική συχνότητα, χρησιμοποιείται ταλαντωτής κρυστάλλου και εφαρμόζεται η έμμεση διαμόρφωση συχνότητας ή διαμόρφωση φάσεως. Όμως, μπορούμε να έχομε και άμεση διαμόρφωση συχνότητας με πομπούς που διαθέτουν ταλαντωτή κρυστάλλου. Μια τέτοια συνδεσμολογία διαμορφώσεως κατά συχνότητα φαίνεται στο σχήμα 8.11.

Για το σκοπό αυτό, χρησιμοποιούμε μία δίοδο μεταβλητής χωρητικότητας, στα άκρα της οποίας εφαρμόζεται το ακουστικό σήμα. Καθώς η χωρητικότητα της διόδου μεταβάλλεται από το ακουστικό σήμα, ο κρύσταλλος επηρεάζεται και μεταβάλλεται η συχνότητα της παραγόμενης τάσεως από τον ταλαντωτή. Λίγα μόνο βολτ ακουστικού σήματος χρειάζονται για να προκληθεί η απαραίτητη απόκλιση της συχνότητας. Ένας απλός ενισχυτής ακουστικών συχνοτήτων με δύο ή τρεις βαμίδες είναι αρκετός για να δώσει την απαιτούμενη διαμορφωτική τάση ακουστικής συχνότητας. Το μέγεθος της αποκλίσεως συχνότητας ελέγχεται από το ρυθμιστή της απολαβής του ενισχυτή του ακουστικού σήματος.

Η συνδεσμολογία διαμορφώσεως FM του σχήματος 8.11 είναι κατάλληλη για πομπούς που λειτουργούν στα 50 MHz και άνω. Οι βαθμίδες πολλαπλασιασμού συχνότητας, που ακολουθούν τον ταλαντωτή, δημιουργούν και προοδευτική αύξηση της αποκλίσεως της συχνότητας, ώστε να παρέχεται το κατάλληλο σήμα



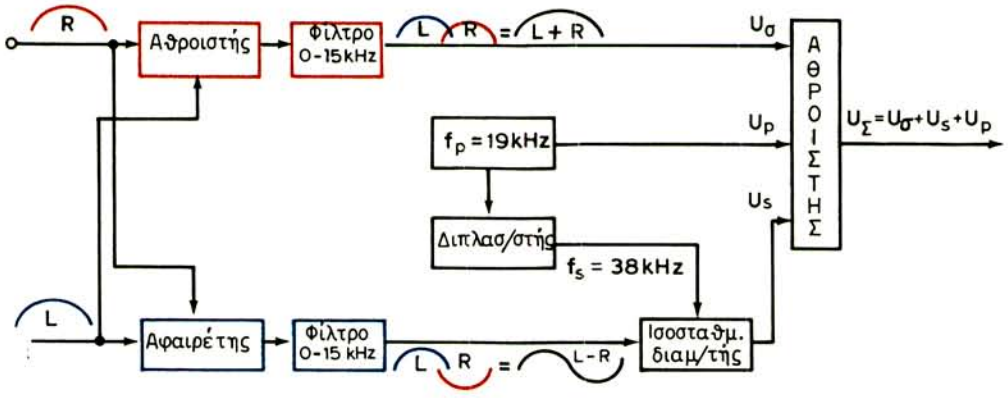
Σχ. 8.11.
Συνδεσμολογία διαμορφώσεως κατά συχνότητα.

διαμορφωμένο κατά συχνότητα. Για την εξασφάλιση της απαιτούμενης αποκλίσεως συχνότητας του φέροντος σήματος, ο αριθμός των βαθμίδων πολλαπλασιασμού είναι συνήθως αρκετά μεγάλος.

Είπαμε ότι η διαμορφωτική τάση ακουστικής συχνότητας, που εφαρμόζεται στη δίοδο μεταβλητής χωρητικότητας του σχήματος 8.11, παρέχεται από έναν απλό ενισχυτή ακουστικών σημάτων, ανάλογο με εκείνο που χρησιμοποιήθηκε στον πομπό ΑΜ του σχήματος 8.10. Πρόκειται, βέβαια, για μονοφωνική διαμόρφωση του πομπού FM.

Για στερεοφωνική διαμόρφωση του πομπού, η σύνθεση του διαμορφωτή είναι διαφορετική. Εδώ, η οργάνωση του προενισχυτή και ενισχυτή ακουστικών συχνοτήτων είναι εκείνη που περιγράψαμε στο δεύτερο κεφάλαιο (παράγραφος 2.12). Όμως, τα σήματα του δεξιού (right, σύμβολο R) και αριστερού (left, σύμβολο L) καναλιού, αντί να οδηγηθούν στα αντίστοιχα μεγάφωνα, εφαρμόζονται σ' ένα ***κωδικοποιητή*** για να παραχθεί το τελικό διαμορφωτικό στερεοφωνικό σήμα.

Το λειτουργικό διάγραμμα του κωδικοποιητή φαίνεται στο σχήμα 8.12. Τα σήματα L και R οδηγούνται σε ***αθροιστή,*** όπου προστίθενται και σε ***αφαιρέτη,*** όπου αφαιρούνται. Στις εξόδους των βαθμίδων θα έχομε, αντίστοιχα, τα σήματα του αθροίσματος L + R και της διαφοράς L − R. Τα σήματα αυτά περιορίζονται στην ακουστική περιοχή με τα φίλτρα ζώνης 0-15 kHz. Το σήμα L + R, που ονομάζεται ***σήμα «συμβιβαστότητας»,*** θα οδηγηθεί κατευθείαν στον τελικό αθροιστή και στη συνέχεια θα διαμορφώσει κατά συχνότητα τη φέρουσα του πομπού. Όπως θα δούμε στη λήψη, είναι το σήμα που θα αποδώσει μονοφωνικά



Σχ. 8.12.

Λειτουργικό διάγραμμα κωδικοποιητή του στερεοφωνικού διαμορφωτή πομπού FM.

το στερεοφωνικό πρόγραμμα. Το σήμα L − R θα υποβληθεί σε μιαν ακόμη διεργασία για να δημιουργηθεί το λεγόμενο ***στερεοφωνικό σήμα*** που και αυτό τελικά, θα διαμορφώσει κατά συχνότητα τη φέρουσα του πομπού.

Για το σκοπό αυτό, ο κωδικοποιητής περιλαμβάνει τον ταλαντωτή του σήματος πιλότου ***(signal pilot)*** με συχνότητα f_p = 19 kHz, για το οποίο μιλήσαμε σε άλλη θέση. Η συχνότητα του σήματος αυτού διπλασιάζεται και η νέα συχνότητα f_s = 38 kHz ονομάζεται, όπως είπαμε, ***υποφέρουσα*** (sub-carrier). Η υποφέρουσα συχνότητα διαμορφώνεται κατά πλάτος από το σήμα της διαφοράς L − R και στη συνέχεια καταργείται στον ισοσταθμισμένο διαμορφωτή. Έτσι, η τάση εξόδου του ισοσταθμισμένου διαμορφωτή U_s περιέχει πλευρικές συνιστώσες με εύρος συχνοτήτων από (38 − 15)kHz έως (38 + 15)kHz, δηλαδή 23-53 kHz. Το «πιλοτόσημα» U_p με συχνότητα f_p = 19 kHz θα χρειασθεί στη λήψη για την αποκατάσταση της υποφέρουσας, γι' αυτό εκπέμπεται μαζί με το ακουστικό σήμα.

Μπορούμε, λοιπόν, να πούμε ότι στον τελικό αθροιστή του κωδικοποιητή οδηγούνται τρία σήματα:

– το σήμα συμβιβαστότητας $U_\sigma = (L + R)$

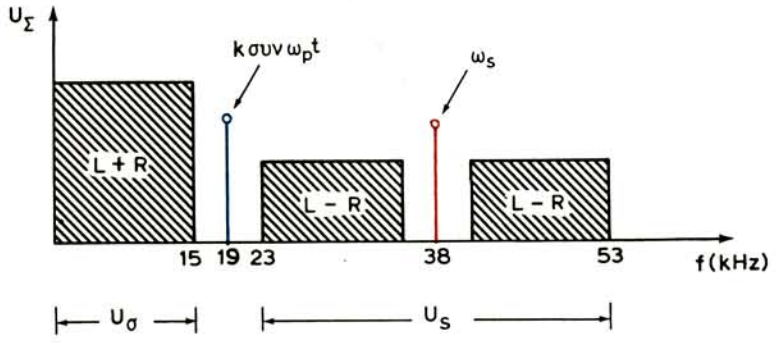
– το στερεοφωνικό σήμα $U_s = (L - R)$ συν $\omega_s t$

– το πιλοτόσημα $U_p = k$ συν $\omega_p t$.

Στην έξοδο του αθροιστή θα έχομε το άθροισμα των σημάτων αυτών, δηλαδή:

$$U_\Sigma = (L + R) + (L - R) \text{ συν } \omega_s t + k \text{ συν } \omega_p t$$

Με το σήμα αυτό θα διαμορφωθεί κατά συχνότητα η φέρουσα του πομπού FM. Το φάσμα του σήματος U_Σ φαίνεται στο σχήμα 8.13.



Σχ. 8.13.

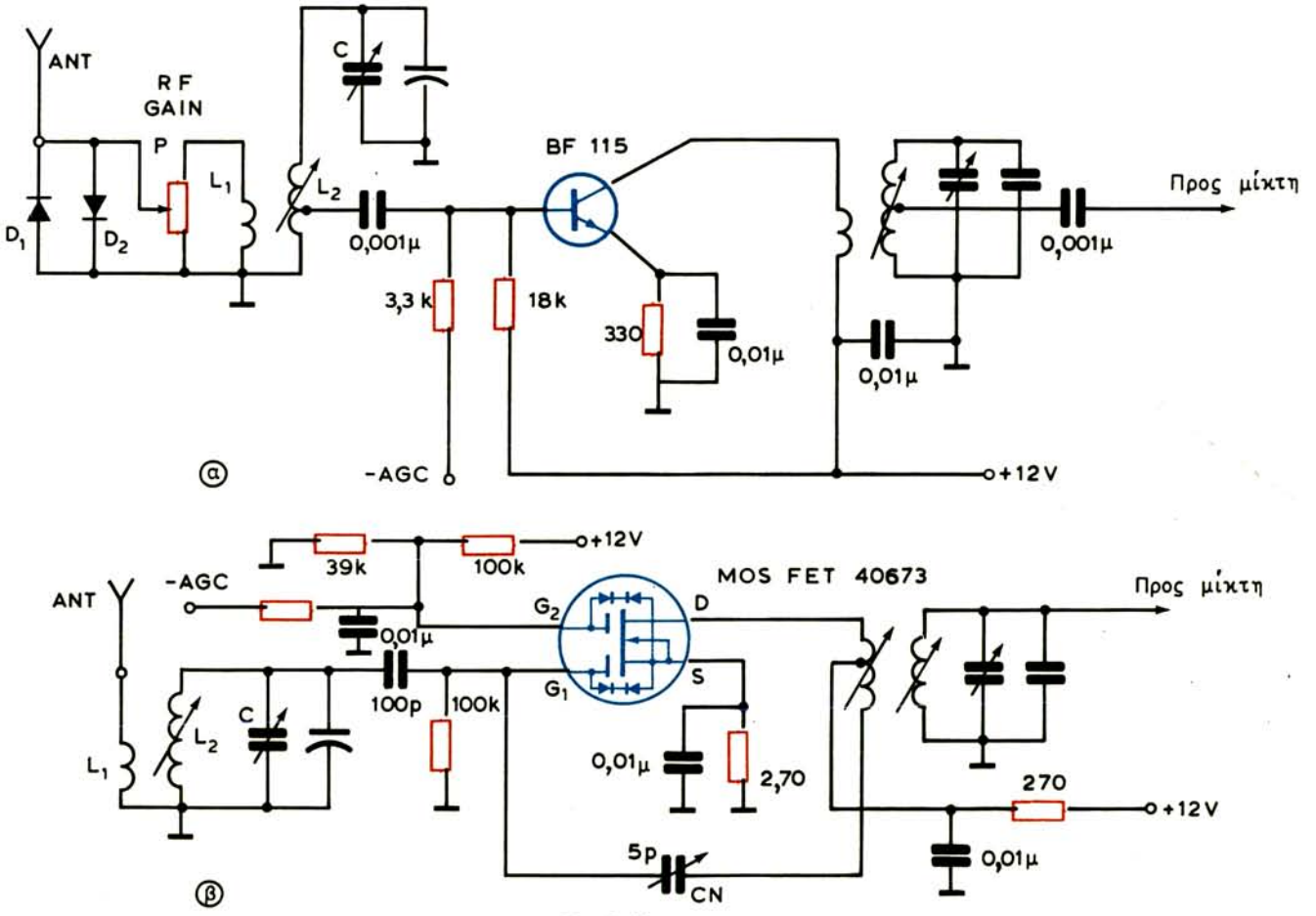
Φάσμα συχνοτήτων διαμορφωτικού σήματος στερεοφωνικού πομπού FM.

8.10 Ενισχυτές υψηλών συχνοτήτων δεκτών.

Οι σύγχρονοι δέκτες, γενικά, σχεδιάζονται για λήψη τόσο συνεχών περιοχών συχνοτήτων, δηλαδή λήψη μακρών, μεσαίων, βραχέων και υπερβραχέων κυμάτων, όσο και μερικών προκαθορισμένων συχνοτήτων. Υπάρχουν ακόμη δέκτες μεσαίων και βραχέων κυμάτων ή μόνο μεσαίων ή μόνο βραχέων με μερικές υποπεριοχές συχνοτήτων.

Οι δέκτες ξεκινούν από έναν ενισχυτή υψηλής συχνότητας ή ραδιοσυχνότητας, που προτάσσεται της βαθμίδας μίξεως. Στους υπερετερόδυνους δέκτες δεν είναι καταρχήν υποχρεωτική η ενίσχυση των σημάτων υψηλής συχνότητας και μπορούν τα λαμβανόμενα σήματα να εφαρμοσθούν άμεσα στη βαθμίδα μίξεως. Όμως, ο ενισχυτής ραδιοσυχνότητας παρέχει τη δυνατότητα λήψεως πολύ ασθενών σημάτων, επειδή οι εσωτερικοί του θόρυβοι είναι μικρότεροι από τους θορύβους της μίκτριας. Εκτός από αυτό, ο ενισχυτής υψηλής συχνότητας εξασφαλίζει καλύτερες συνθήκες επιλογής σταθμών και ελαττώνει τις πιθανότητες ακτινοβολίας του τοπικού ταλαντωτή από την κεραία του δέκτη, πράγμα που θα δημιουργούσε παρενοχλήσεις σε γειτονικούς δέκτες. Γι' αυτό, ο ενισχυτής υψηλής συχνότητας αποτελεί αναπόσπαστη βαθμίδα των σύγχρονων ραδιοτηλεγραφικών και ραδιοφωνικών δεκτών.

Δυο συνδεσμολογίες ενισχυτών ραδιοσυχνότητας (R.F.A. = Radio - Frequency Amplifiers) φαίνονται στο σχήμα 8.14. Στην πρώτη χρησιμοποιείται το τρανζίστορ BF 115 και στη δεύτερη, το MOS FET40673 διπλής πύλης. Η σύζευξη της κεραίας με την είσοδο του ενισχυτή είναι επαγωγική. Για κάθε περιοχή συχνοτήτων, το πηνίο L_2 αντικαθίσταται και ο πυκνωτής C συμμεταβάλλεται με τους πυκνωτές της εισόδου του μίκτη και του τοπικού ταλαντωτή. Οι δίοδοι D_1 και D_2 στο σχήμα 8.14(α) περιορίζουν αμφίπλευρα τα ισχυρά σήματα, ενώ το ποτενσιόμετρο P ρυθμίζει την απολαβή του ενισχυτή ραδιοσυχνότητας (RF



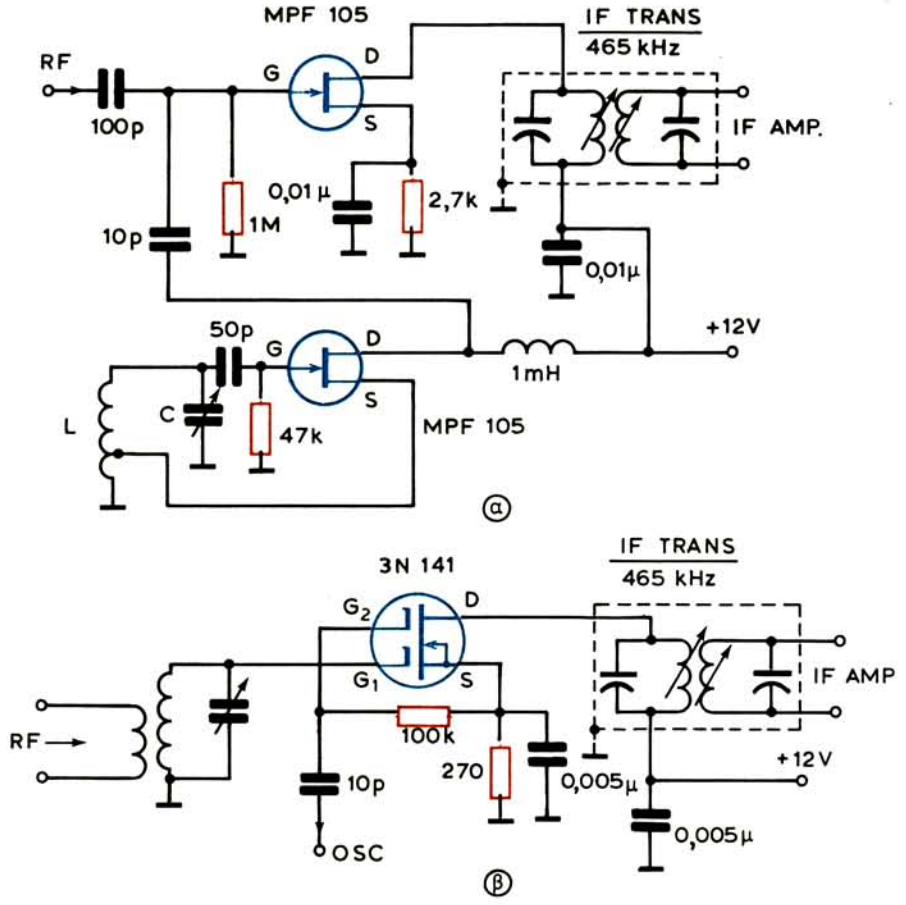
Σχ. 8.14.

Συνδεσμολογίες ενισχυτών ραδιοσυχνότητας.

GAIN). Οι δύο συνδεσμολογίες δέχονται αρνητική τάση AGC. Τέλος, ο πυκνωτής CN (5pF) της συνδεσμολογίας του σχ. 8.14(β) είναι «πυκνωτής εξουδετερώσεως».

8.11 Βαθμίδες μεταλλαγής συχνότητας.

Το λαμβανόμενο σήμα, ύστερα από την ενίσχυσή του από τον ενισχυτή ραδιοσυχνότητας, οδηγείται στη βαθμίδα μίξεως. Στην ίδια βαθμίδα φθάνει και το σήμα από τον τοπικό ταλαντωτή (ετερόδυνο) του δέκτη. Οι δυο βαθμίδες μαζί, δηλαδή ο μίκτης και το ετερόδυνο, συγκροτούν τη διάταξη ***μεταλλαγής συχνότητας.*** Δύο τέτοιες διατάξεις φαίνονται στο σχήμα 8.15. Στη μια χρησιμοποιούνται δύο FET MPF 105 για μίξη και ταλάντωση και στην άλλη, το MOS FET 3N 141 για τη μίξη και το FET MPF 105 για την ταλάντωση (ο τοπικός ταλαντωτής



Σχ. 8.15.
Συνδεσμολογίες βαθμίδων μεταλλαγής συχνότητας.

δεν σχεδιάσθηκε). Ο τοπικός ταλαντωτής είναι τύπου Hartley και συζευγνύεται με τη βαθμίδα μίξεως με τον πυκνωτή των 10 pF.

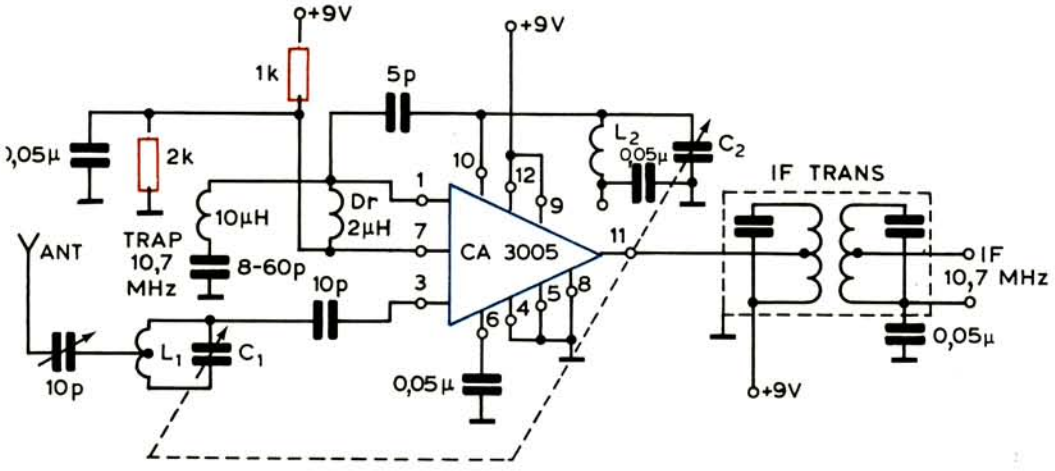
Όπως γνωρίζομε, από τη μίξη των δύο σημάτων, του λαμβανόμενου και του παραγόμενου από το ετερόδυνο, προκύπτει το σήμα της ενδιάμεσης συχνότητας. Τα κυκλώματα (πρωτεύον και δευτερεύον) του μετασχηματιστή ενδιάμεσης συχνότητας (IF TRANC) είναι συντονισμένα στη συχνότητα των 465 kHz (ενδιάμεση συχνότητα του δέκτη). Για ραδιοφωνικούς δέκτες (ραδιόφωνα), η ζώνη διελεύσεως των μετασχηματιστών ενδιάμεσης συχνότητας είναι 9kHz.

Σημειώνομε ότι ο ενισχυτής υψηλής συχνότητας, ο μίκτης και ο τοπικός ταλαντωτής συγκροτούν το συντονιστή του δέκτη. Στο συντονιστή ανήκουν τα κυκλώματα εισόδου και εξόδου του ενισχυτή υψηλής συχνότητας, το κύκλωμα εισόδου του μίκτη και το κύκλωμα ταλαντώσεων του ετεροδύνου. Για τη μεταφορά του δέκτη από μια περιοχή κυμάτων σε άλλη, πρέπει να γίνει μεταγωγή των παραπάνω κυκλωμάτων ή μερών των κυκλωμάτων αυτών. Η πιο απλή μέθοδος μεταγωγής είναι η αλλαγή των πηνίων των κυκλωμάτων αυτών, που επιτυγχάνεται με τη βοήθεια ειδικού περιστρεφόμενου μεταγωγέα ή πολλαπλού διακόπτη περιοχών. Ο δέκτης συντονίζεται στους σταθμούς μιας περιοχής με πολλαπλό μεταβλητό πυκνωτή ή με σειρά διόδων μεταβλητής χωρητικότητας.

8.12 Συντονιστής ραδιοφώνου FM.

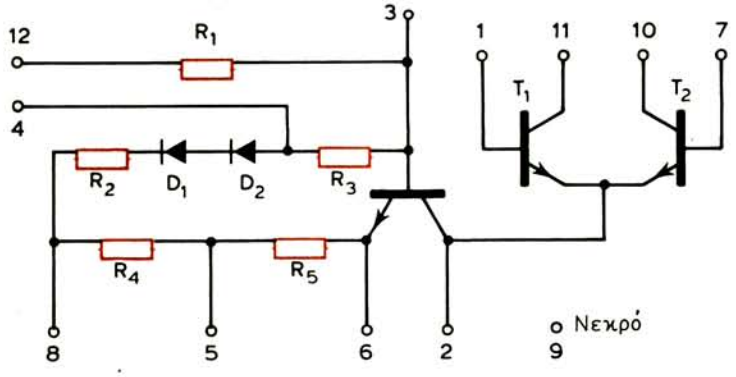
Παρουσιάζομε τη συνδεσμολογία συντονιστή για ραδιόφωνο FM (88-108 MHz) με το ολοκληρωμένο κύκλωμα CA 3005 της RCA (σχ. 8.16). Το ισοδύναμο κύκλωμα του ολοκληρωμένου φαίνεται στο σχήμα 8.17.

Το ολοκληρωμένο κύκλωμα CA 3005 πραγματοποιεί τρεις λειτουργίες: την ενίσχυση του σήματος υψηλής συχνότητας, την παραγωγή της τοπικής ταλαντώσεως και τη μίξη. Το λαμβανόμενο σήμα εφαρμόζεται στη βάση του τρανζίστορ Τ3 (ακροδέκτης 3), που λειτουργεί σαν ενισχυτής ραδιοσυχνότητας. Από το συλλέκτη του Τ3, το ενισχυμένο σήμα οδηγείται στους εκπομπούς των τρανζίστορ Τ1 και Τ2 που βρίσκονται σε διαφορική σύνδεση. Αντίσταση φορτίου του τρανζίστορ Τ3 είναι η αντίσταση εισόδου της διαφορικής συνδεσμολογίας των τρανζίστορ Τ1 και Τ2. Από το συλλέκτη του τρανζίστορ Τ2 (ακροδέκτης 10) και μέσα από τον πυκνωτή 5pF, οδηγείται στη βάση του τρανζίστορ Τ1 (ακροδέκτης 1) μια τάση θετικής αναδράσεως για την παραγωγή της τοπικής ταλαντώσεως. Η συχνότητα της ταλαντώσεως αυτής καθορίζεται από τις τιμές των στοιχείων L_2 και C_2. Ο πυκνωτής C_2 συμμεταβάλλεται με τον πυκνωτή C_1 του κυκλώματος εισόδου του συντονιστή. Η μίξη πραγματοποιείται με τη διαφορική συνδεσμολογία των τρανζίστορ Τ1 και Τ2, η οποία λειτουργεί ως αυτοταλαντούμενη μίκτρια. Το σήμα με την ενδιάμεση συχνότητα των 10,7 MHz λαμβάνεται από το συλλέκτη του τρανζίστορ Τ1 (ακροδέκτης 11).



Σχ. 8.16.

Συντονιστής για ραδιόφωνο FM με το ολοκληρωμένο κύκλωμα CA 3005 της RCA.



Σχ. 8.17.

Ισοδύναμο κύκλωμα του ολοκληρωμένου CA 3005 της RCA.

Σημειώνομε ότι το κύκλωμα σειράς με την αυτεπαγωγή 10 μH και τον πυκνωτή 8-60 pF, που συνδέεται μεταξύ της βάσεως του τρανζίστορ T1 (ακροδέκτης 1) και γης, είναι μια κυματοπαγίδα διαρροής των 10,7 MHz. Παρατηρούμε, επίσης, ότι τα στοιχεία D_1, D_2, R_2 και R_4 του ολοκληρωμένου (σχ. 8.17) δε συμμετέχουν στη συνδεσμολογία, επειδή οι ακροδέκτες 4,5 και 8 είναι γειωμένοι (σχ. 8.16).

Ο συντονιστής του σχήματος 8.16 τροφοδοτείται με σταθεροποιημένη τάση 9 V και καταναλώνει συνολικά ρεύμα 4,5 mA. Έχει απολαβή 15 dB και ευαισθησία 10 μV για 30 dB σε ηρεμία (με αδιαμόρφωτο σήμα). Μπορεί να δεχθεί μέγιστο σήμα 7 mV.

8.13 Ενισχυτές ενδιάμεσης συχνότητας δεκτών.

Το σήμα που προέρχεται από τη μίκτρια του συντονιστή ενισχύεται από τον ενισχυτή ενδιάμεσης συχνότητας (ΕΕΣ) του δέκτη. Θυμίζομε εδώ ότι οι επιδόσεις του ΕΕΣ καθορίζουν την ευαισθησία του δέκτη, την επιλογικότητά του και την ποιότητα του ήχου, αν ο δέκτης είναι ραδιοφωνικός. Οι βασικές απαιτήσεις από τον ΕΕΣ είναι οι ακόλουθες:

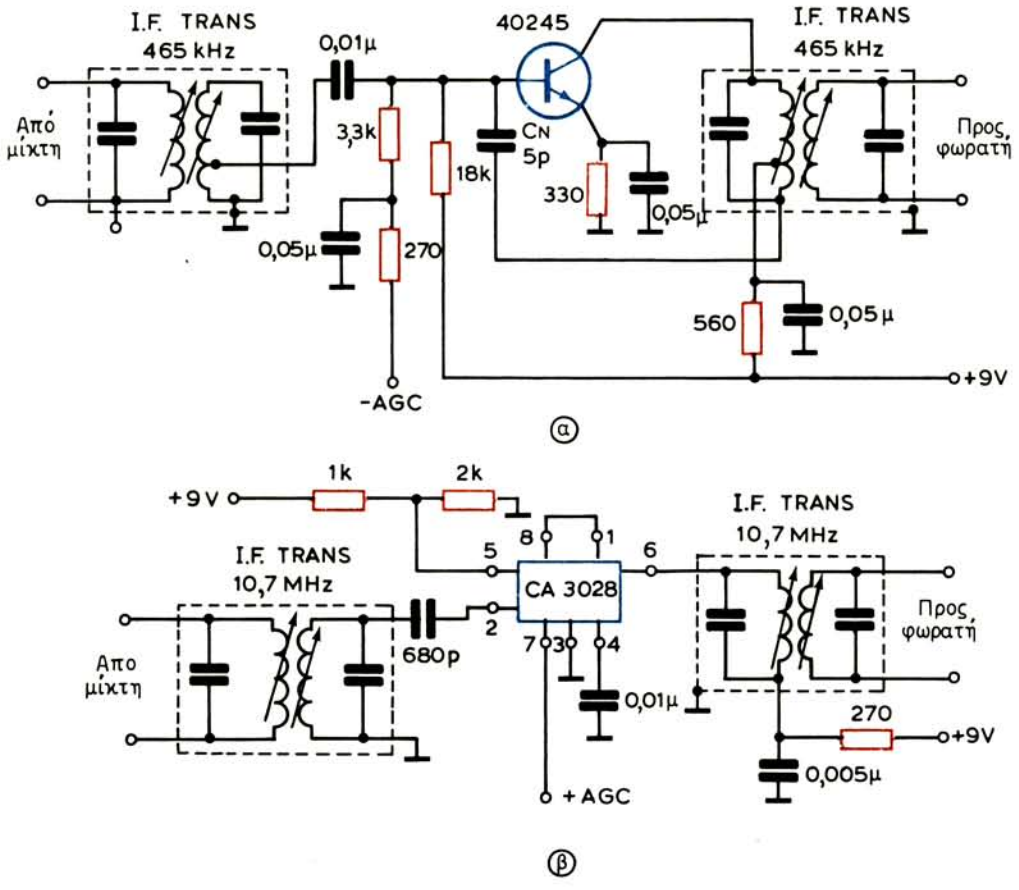
1) Η ολική ενίσχυση των βαθμίδων του (αν είναι περισσότερες από μία) πρέπει να είναι τόση, ώστε να εξασφαλίζονται άριστες συνθήκες λειτουργίας του φωρατή.
2) Η ζώνη διελεύσεως του ενισχυτή πρέπει να ανταποκρίνεται στον προορισμό του δέκτη. Για τα ραδιόφωνα ΑΜ η ζώνη αυτή πρέπει να φθάνει τα 9 kHz και για τους ραδιοτηλεφωνικούς δέκτες τα 3 kHz. Για τους ραδιοτηλεγραφικούς δέκτες δεν χρειάζεται ζώνη διελεύσεως, αφού εδώ πρέπει (αν είναι δυνατό) να διέρχεται μια μοναδική συχνότητα.
3) Η μορφή της καμπύλης αποκρίσεως του ενισχυτή πρέπει να είναι τέτοια, ώστε να μην παρενοχλείται η λήψη από γειτονικούς πομπούς και ακόμη να μην αλλάζει ουσιαστικά με την αντικατάσταση των τρανζίστορ, τη μεταβολή των τροφοδοτικών τάσεων και την αλλαγή των κλιματολογικών συνθηκών.
4) Ο ενισχυτής πρέπει να έχει τον ελάχιστο δυνατό αριθμό βαθμίδων και συντονισμένων κυκλωμάτων και να μην κινδυνεύει να αυτοταλαντωθεί.
5) Η ρύθμιση και η υπηρέτηση του ενισχυτή πρέπει να γίνονται αρκετά απλά.

Οι ενισχυτές ενδιάμεσης συχνότητας των σύγχρονων δεκτών κατασκευάζονται με τρανζίστορ και κυρίως με ολοκληρωμένα κυκλώματα. Θα παρουσιάσομε μερικές τέτοιες συνδεσμολογίες.

Στο σχήμα 8.18 φαίνονται δύο συνδεσμολογίες ενισχυτών ενδιάμεσης συχνότητας. Η πρώτη [σχ. 8.18(α)], με το διπολικό τρανζίστορ 40245 (RCA), προορίζεται για ραδιόφωνο ΑΜ και η δεύτερη [σχ. 8.18(β)] με το ολοκληρωμένο κύκλωμα CA 3028, για ραδιόφωνο FM.

Ο ενισχυτής του ραδιοφώνου ΑΜ είναι μονοβαθμικός. Οι μετασχηματιστές ενδιάμεσης συχνότητας συντονίζουν στα 465 kHz και έχουν ζώνη διελεύσεως περίπου 10 kHz. Επειδή η αντίσταση εισόδου του διπολικού τρανζίστορ είναι πολύ χαμηλή, η βάση του συνδέεται σε πολύ μικρό τμήμα της δευτερεύουσας περιελίξεως του πρώτου μετασχηματιστή ενδιάμεσης συχνότητας. Ο πυκνωτής C_N (5pF) εξασφαλίζει την εξουδετέρωση εσωτερικής (από το τρανζίστορ) θετικής αναδράσεως και επομένως προστατεύει τη βαθμίδα από αυτοταλάντωση. Η απολαβή της βαθμίδας ελέγχεται με αρνητική τάση AGC.

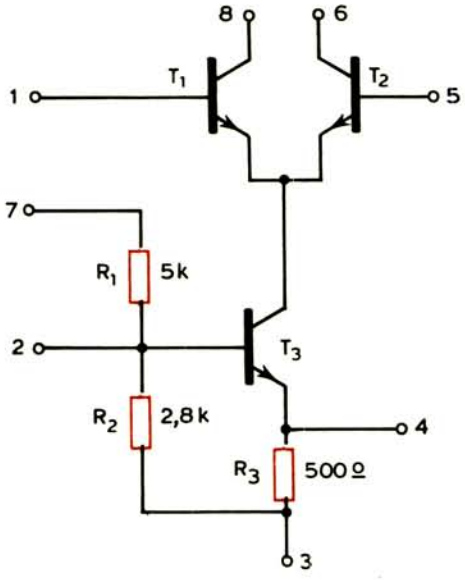
Ο ενισχυτής του ραδιοφώνου FM, όπως φαίνεται από το ισοδύναμο κύκλωμα



Σχ. 8.18.
Συνδεσμολογίες ενισχυτών ενδιάμεσης συχνότητας.
α) Για ραδιόφωνο ΑΜ. β) Για ραδιόφωνο FM.

του ολοκληρωμένου CA 3028 (σχ. 8.19), είναι διβαθμικός (το τρανζίστορ Τ1 δεν συμμετέχει στη συνδεσμολογία). Οι μετασχηματιστές ενδιάμεσης συχνότητας συντονίζουν στα 10,7 MHz και έχουν ζώνη διελεύσεως περί τα 200 kHz.

Το σήμα ενδιάμεσης συχνότητας εφαρμόζεται στη βάση του τρανζίστορ Τ3 (ακροδέκτης 2). Η πόλωση του εκπομπού του Τ3 εξασφαλίζεται από την ισοδύναμη αντίσταση R_3 (500 Ω), που παραλληλίζεται με τον εξωτερικό πυκνωτή 0,01 μF (ακροδέκτης 4). Από το συλλέκτη του τρανζίστορ Τ3, το σήμα εφαρμόζεται στον κοινό κόμβο των εκπομπών του διαφορικού ενισχυτή Τ1, Τ2. Επειδή στη συνδεσμολογία του σχήματος 8.18(β) οι ακροδέκτες 1 και 8 του ολοκληρωμένου είναι εξωτερικά ενωμένοι, το τρανζίστορ Τ1 δεν λειτουργεί. Έτσι, τα τρανζίστορ Τ3 και Τ2 συγκροτούν ένα κασκοδικό ενισχυτή. Το ενισχυμένο σήμα



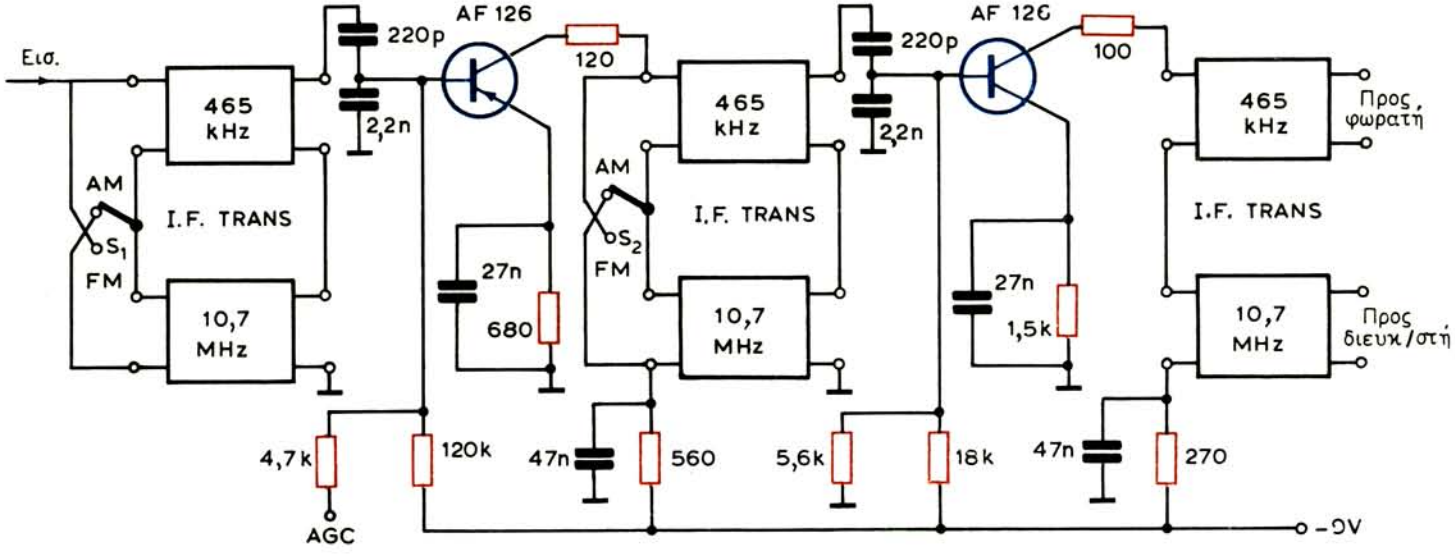
Σχ. 8.19.
Ισοδύναμο κύκλωμα του ολοκληρωμένου CA 3028.

λαμβάνεται από το συλλέκτη του τρανζίστορ Τ2 (ακροδέκτης 6).

Η συνδεσμολογία του σχήματος 8.18(β), με το ολοκληρωμένο CA 3028, εξασφαλίζει υψηλή απολαβή, η οποία ελέγχεται με θετική τάση AGC (ακροδέκτης 7).

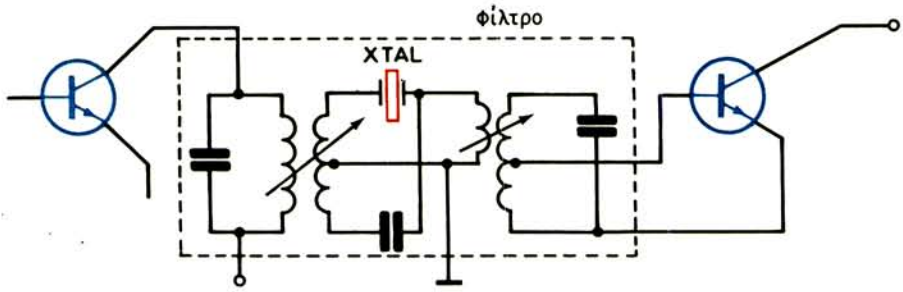
Με μεταγωγή των μετασχηματιστών ενδιάμεσης συχνότητας μπορούμε να έχομε ενισχυτή κατάλληλο για ραδιόφωνο AM και FM. Μια τέτοια συνδεσμολογία φαίνεται στο σχήμα 8.20. Όταν οι διακόπτες S_1 και S_2 βρίσκονται στη θέση AM, βραχυκυκλώνονται τα πρωτεύοντα των μετασχηματιστών 10,7 MHz και αντίθετα, με τους διακόπτες στη θέση FM, βραχυκυκλώνονται τα πρωτεύοντα των μετασχηματιστών 465 kHz.

Είπαμε ότι στους τηλεγραφικούς δέκτες η επιδίωξη εξασφαλίσεως κάποιας ζώνης διελεύσεως συχνοτήτων από τα κυκλώματα ενδιάμεσης συχνότητας χάνει εντελώς τη σημασία της. Εκεί μια μοναδική συχνότητα πρέπει να ενισχυθεί, να φωραθεί και να οδηγήσει σε ένα ακουστικό αποτέλεσμα. Το γεγονός αυτό επιτρέπει τη χρησιμοποίηση κρυστάλλου στα κυκλώματα ενδιάμεσης συχνότητας, ώστε να εξασφαλίζεται η μεγαλύτερη δυνατή επιλογή. Ο κρύσταλλος συνδέεται μεταξύ των βαθμίδων ενδιάμεσης συχνότητας ή μεταξύ μίκτη και πρώτης βαθμίδας ενδιάμεσης συχνότητας (σχ. 8.21). Έτσι, σχηματίζεται ένα φίλτρο, από το οποίο περνάει μόνο η προκαθορισμένη ενδιάμεση συχνότητα του δέκτη ή μια σχετικά περιορισμένη ζώνη συχνοτήτων.



Σχ. 8.20.

Συνδεσμολογία ενισχυτή ενδιάμεσης συχνότητας για ραδιόφωνο AM και FM.



Σχ. 8.21.
Σύνδεση κρυστάλλου στις βαθμίδες ενδιάμεσης συχνότητας.

Σημειώνομε ότι φίλτρα περιοχής συχνοτήτων με κρύσταλλο συνδέονται και σε κοινά ραδιόφωνα. Μια τέτοια συνδεσμολογία θα δούμε αργότερα.

8.14 Φωρατές πλάτους και συχνότητας.

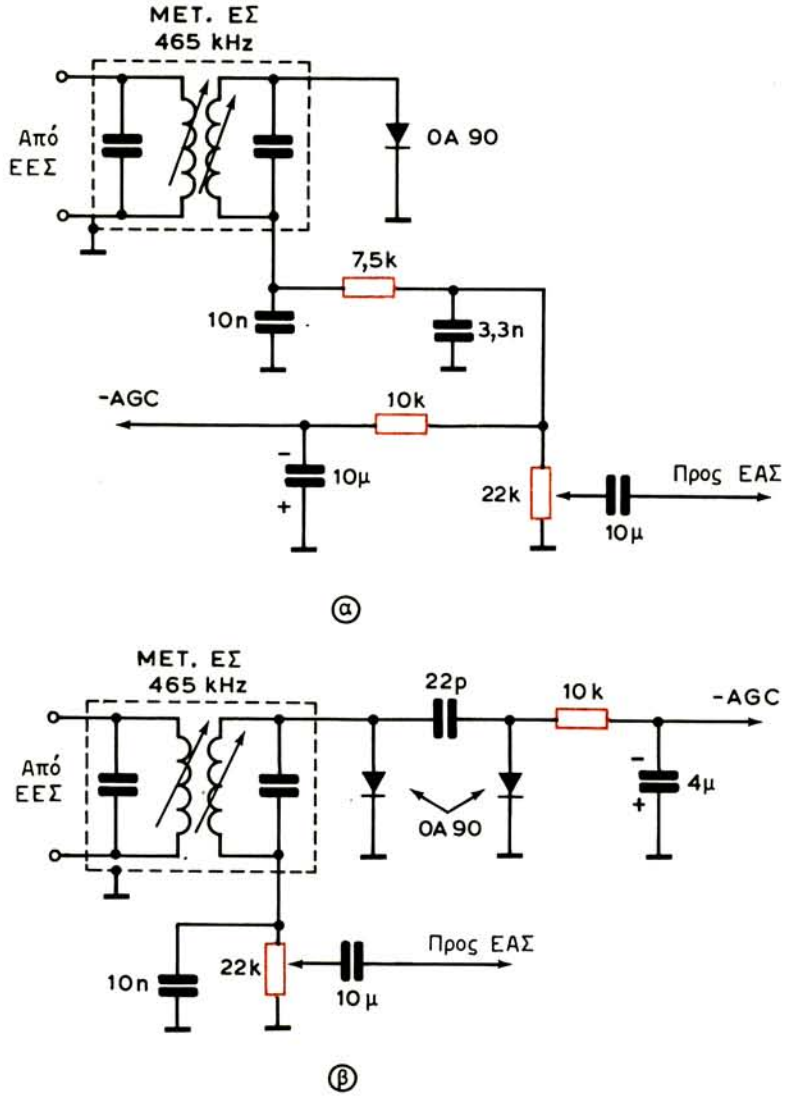
Οι φωρατές πλάτους των ραδιοφώνων, δηλαδή οι φωρατές που αναδεικνύουν το ωφέλιμο σήμα του διαμορφωμένου κατά πλάτος κύματος, είναι πολύ απλοί. Μια δίοδος, π.χ. η ΟΑ 90, που συνδέεται όπως στο κύκλωμα του σχήματος 8.22(α), είναι ικανή να εκτελέσει αυτή τη λειτουργία. Το ακουστικό σήμα εμφανίζεται στα άκρα του ποτενσιομέτρου των 22 kΩ και, μέσα από το ζευκτικό πυκνωτή των 10 μF, οδηγείται στον ενισχυτή ακουστικών συχνοτήτων.

Από τη συνεχή συνιστώσα του ρεύματος της φωράτριας διόδου παράγεται και η τάση AGC για τον έλεγχο της απολαβής των προηγουμένων βαθμίδων του δέκτη. Στη συνδεσμολογία του σχήματος 8.22(α) η τάση αυτή είναι αρνητική. Με την αντιστροφή της πολικότητας συνδέσεως της διόδου, η τάση AGC γίνεται θετική. Η αντίσταση των 7,5 kΩ και οι δύο πυκνωτές 10 nF και 3,3 nF συγκροτούν ένα φίλτρο διαρροής των συνιστωσών του ρεύματος της διόδου που έχουν συχνότητα ίση και μεγαλύτερη από την ενδιάμεση συχνότητα του δέκτη. Η αντίσταση 10 kΩ και ο πυκνωτής 10 μF συγκροτούν ένα δεύτερο φίλτρο για την απαλλαγή της τάσεως AGC από συνιστώσες ακουστικής συχνότητας.

Στη συνδεσμολογία του σχήματος 8.22(β) χρησιμοποιούνται δύο δίοδοι: η μία για τη φώραση και η άλλη για την παραγωγή της τάσεως AGC. Το σήμα στη δίοδο AGC εφαρμόζεται μέσα από τον πυκνωτή 22 pF.

Συνθετότερος είναι ο φωρατής των ραδιοτηλεγραφικών δεκτών αδιαμορφώτων σημάτων. Σ' αυτόν το φωρατή η ακουστική συχνότητα παράγεται, όπως γνωρίζομε, με μια διεργασία μίξεως της ταλαντώσεως ενδιάμεσης συχνότητας και της ταλαντώσεως του δεύτερου τοπικού ταλαντωτή ή του λεγόμενου BFO.

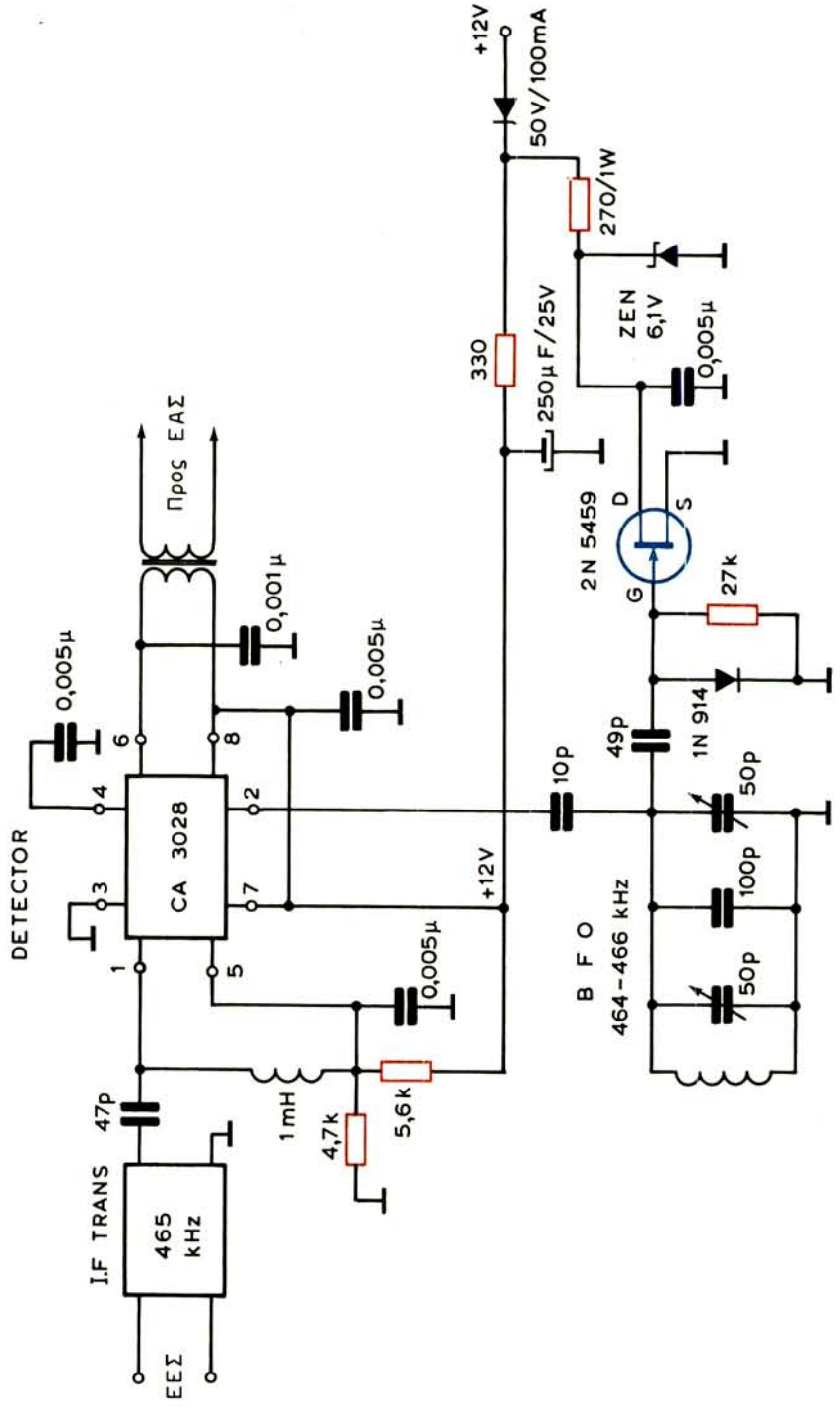
Συνδεσμολογία τέτοιου φωρατή για τηλεγραφικό δέκτη αδιαμορφώτων ση-



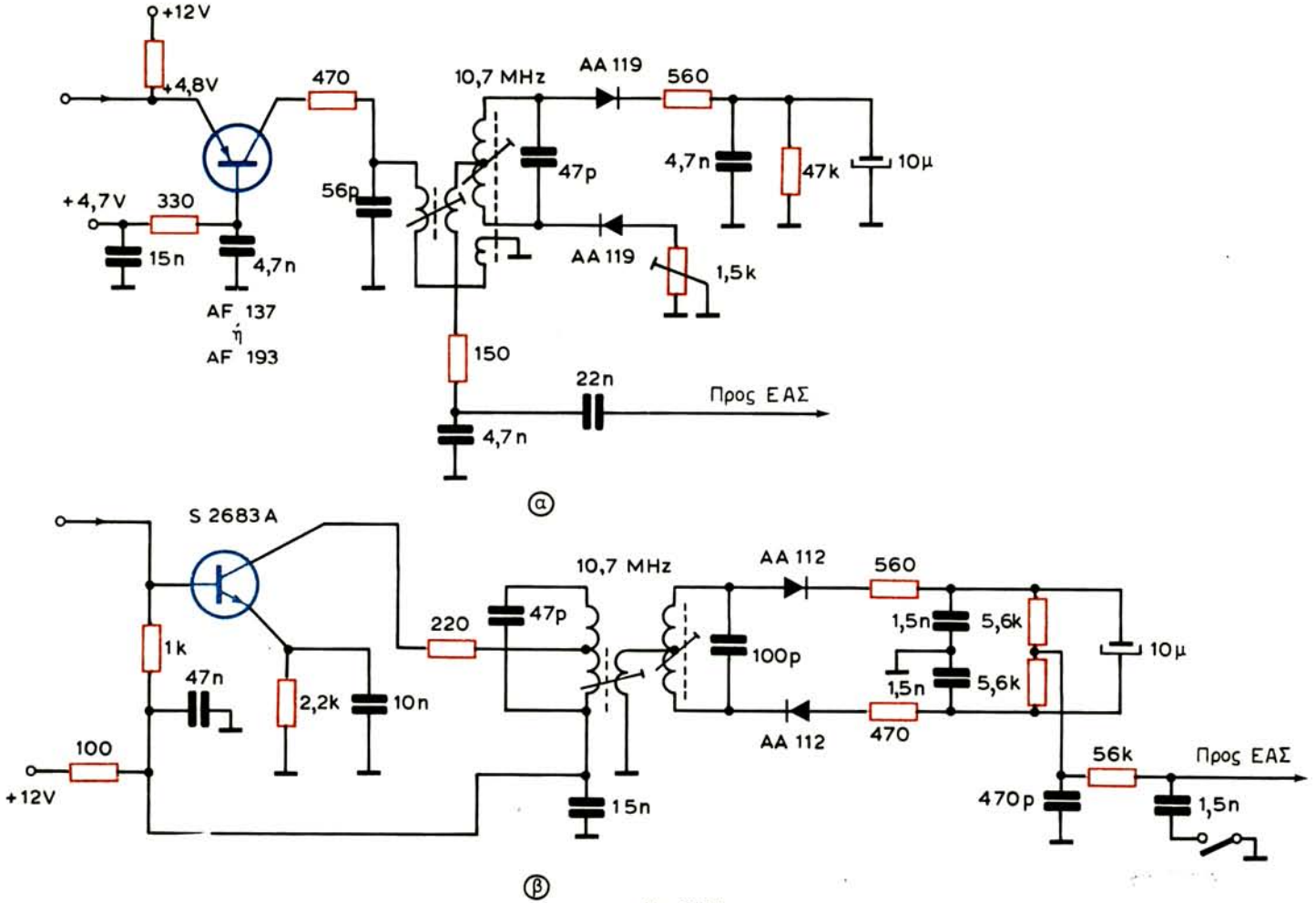
Σχ. 8.22.

Συνδεσμολογίες φωρατών πλάτους.

μάτων φαίνεται στο σχήμα 8.23. Ο φωρατής είναι κατασκευασμένος με το ολοκληρωμένο CA 3028, του οποίου το ισοδύναμο κύκλωμα παρουσιάσθηκε στο σχήμα 8.19, και ο BFO, με το FET 2N5459. Το σήμα του BFO εφαρμόζεται στη βάση του Τ3 του ολοκληρωμένου (ακροδέκτης 2) και από εκεί στον κοινό κόμβο των εκπομπών της διαφορικής συνδεσμολογίας Τ1, Τ2. Το σήμα της ενδιάμεσης συχνότητας εφαρμόζεται στις βάσεις των Τ1, Τ2 (ακροδέκτες 1, 5) και η τάση ακουστικής συχνότητας λαμβάνεται από τους συλλέκτες της διαφορικής συνδεσμολογίας (ακροδέκτες 6, 8). Με τη μεταβολή της συχνότητας του



Σχ. 8.23.
Συνδεσμολογία φωρατή αδιαμόρφωτων σημάτων.



Σχ. 8.24.

Συνδεσμολογίες αναλογικών φωρατών για ραδιόφωνα FM.

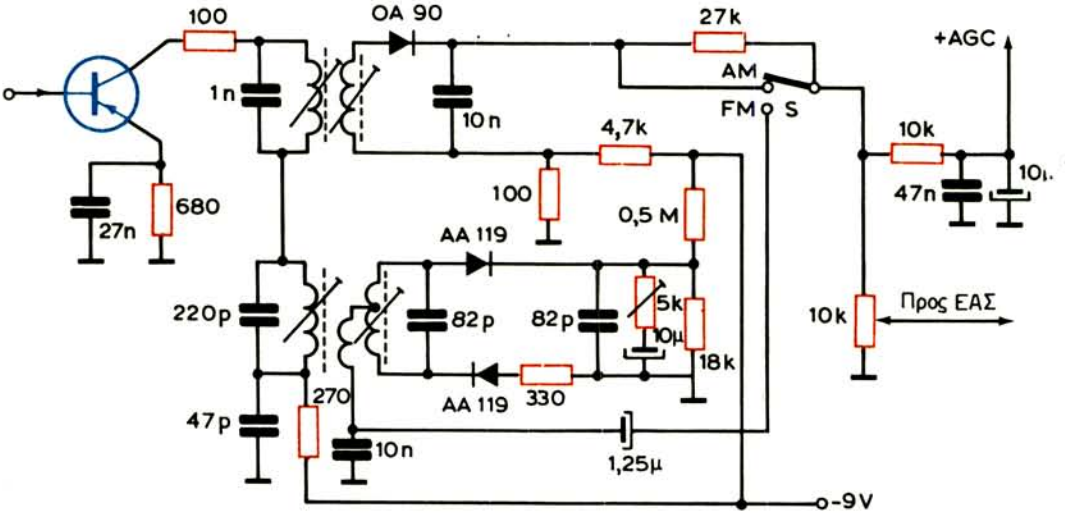
BFO, μεταβάλλεται η διαφορά μεταξύ αυτής και της ενδιάμεσης συχνότητας του δέκτη και ο ήχος αλλάζει τόνο.

Παρουσιάζομε τώρα συνδεσμολογίες φωρατών συχνότητας, δηλαδή φωρατών για δέκτες FM. Επικρατέστερος τύπος φωρατή συχνότητας είναι ο ***αναλογικός φωρατής***, ο οποίος απορρίπτει μόνος του την παρασιτική διαμόρφωση πλάτους. Ωστόσο εδώ θα τον παρουσιάσομε με τον ***περιοριστή***, που προηγείται του φωρατή και είναι αναπόσπαστη βαθμίδα τουλάχιστον για άλλους τύπους φωρατών συχνότητας (διευκρινιστών).

Η συνδεσμολογία του σχήματος 8.24(α) περιλαμβάνει τον περιοριστή με το τρανζίστορ AF 137 ή AF 193 και τον αναλογικό φωρατή με τις διόδους AA 119. Το τρανζίστορ εργάζεται με κοινή βάση και δεν χρειάζεται εξουδετέρωση. Η συμμετρία και η γραμμικότητα της χαρακτηριστικής του φωρατή βελτιώνεται με τη βοήθεια της ρυθμιζόμενης αντιστάσεως 1,5 kΩ. Στην έξοδο του φωρατή συναντούμε το κύκλωμα αποεμφάσεως με την αντίσταση 150 Ω και τον πυκνωτή 4,7 nF.

Πιο απλή από την προηγούμενη είναι η συνδεσμολογία του φωρατή του σχήματος 8.24(β). Διαθέτει φίλτρο ζώνης των 10,7 MHz, που είναι αναλογικό και έχει τρεις περιελίξεις. Ο αναλογικός φωρατής με τις διόδους AA 112 είναι συμμετρικός. Το κύκλωμα αποεμφάσεως αποτελείται από τον πυκνωτή 470 pF, την αντίσταση 56 kΩ και τον πυκνωτή 1,5 nF. Ο τελευταίος πυκνωτής συνδέεται και αποσυνδέεται με τη βοήθεια διακόπτη, οπότε ρυθμίζεται χονδρικά ο τόνος του ήχου.

Τέλος, στο σχήμα 8.25 φαίνεται συνδεσμολογία φωρατών πλάτους και συχνό-



Σχ. 8.25.

Συνδεσμολογία φωρατών πλάτους και συχνότητας για ραδιόφωνο AM και FM.

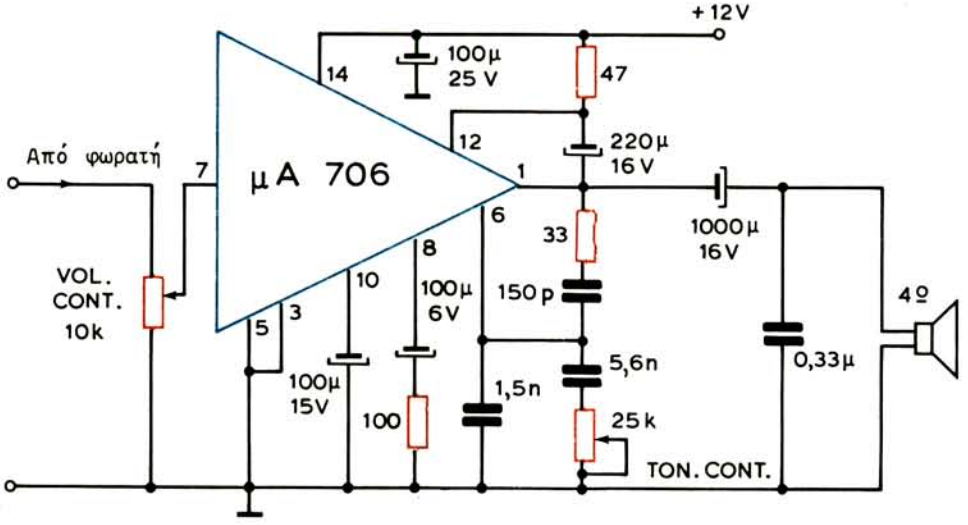
τητας για ραδιόφωνο ΑΜ και FM. Η συνδεσμολογία αυτή αποτελεί συνέχεια εκείνης του σχήματος 8.20.

Η τάση ακουστικής συχνότητας αναπτύσσεται στο κοινό ποτενσιόμετρο των 10 kΩ. Με το διακόπτη S στη θέση ΑΜ, η έξοδος του φωρατή συχνότητας, που λαμβάνεται από τον πυκνωτή 1,25 μF, αποσυνδέεται από το ποτενσιόμετρο και το κύκλωμα AGC, ενώ παράλληλα βραχυκυκλώνεται η αντίσταση των 27 kΩ. Στη θέση FM, ο διακόπτης μεταφέρει το ποτενσιόμετρο και το κύκλωμα AGC στην έξοδο του φωρατή συχνότητας και αποβραχυκυκλώνει την αντίσταση 27 kΩ, που λειτουργεί τώρα σαν αντιπαρασιτικό στοιχείο. Η τάση AGC έχει θετική πολικότητα.

8.15 Συνδεσμολογίες τμήματος ήχου ραδιοφώνων.

Το τμήμα ακουστικών συχνοτήτων των ραδιοφωνικών δεκτών περιλαμβάνει τον ενισχυτή τάσεως ή, όπως λέγεται, τον προενισχυτή, τον ενισχυτή ισχύος και το μεγάφωνο. Αν ο ενισχυτής ισχύος είναι συμμετρικής συνδεσμολογίας, περιλαμβάνει ακόμη και τη βαθμίδα αναστροφής φάσεως. Με όλες αυτές τις διατάξεις ασχοληθήκαμε διεξοδικά στο δεύτερο κεφάλαιο. Εδώ θα παρουσιάσομε μερικές συνδεσμολογίες τμημάτων ακουστικών συχνοτήτων, όπως συναντώνται στα σύγχρονα ραδιόφωνα. Τα τμήματα αυτά συναρμολογούνται, σχεδόν αποκλειστικά, με ολοκληρωμένα κυκλώματα.

Στο σχήμα 8.26 φαίνεται η συνδεσμολογία του τμήματος ήχου ραδιοφώνου με το ολοκληρωμένο κύκλωμα μΑ 706. Τροφοδοτείται με συνεχή τάση 12 V και



Σχ. 8.26.

Συνδεσμολογία τμήματος ήχου ραδιοφώνου με το ολοκληρωμένο κύκλωμα μΑ706.

επομένως είναι κατάλληλο για ραδιόφωνο αυτοκινήτου. Η ισχύς εξόδου του είναι γύρω στα 5 W σε μεγάφωνο με αντίσταση 4 Ω.

Μια δεύτερη συνδεσμολογία τμήματος ήχου ραδιοφώνου, με το ολοκληρωμένο κύκλωμα TBA 641, φαίνεται στο σχήμα 8.27. Με τροφοδότηση από πηγή 9 V αποδίδει, σε μεγάφωνο 4 Ω, ισχύ 2,2 W και επομένως είναι κατάλληλο για φορητό ραδιόφωνο ή ραδιομαγνητόφωνο. Με τροφοδοτική τάση 14 V, η ισχύς εξόδου φθάνει στα 4,5 W σε μεγάφωνο 4 Ω. Το ολοκληρωμένο TBA641 με το επίσης ολοκληρωμένο μA 720, που θα εξετάσομε αργότερα, συναντώνται σε ραδιόφωνα αυτοκινήτου.

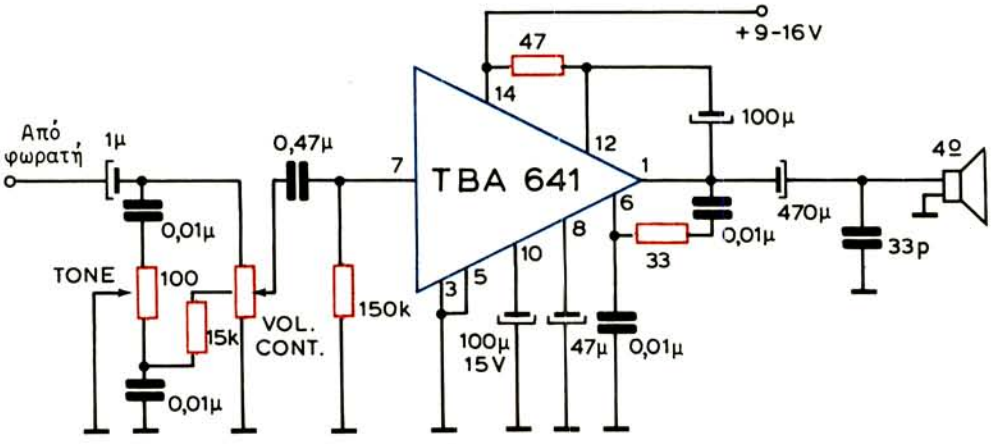
Παρουσιάζομε (σχ. 8.28) μια ακόμη συνδεσμολογία τμήματος ήχου ραδιοφώνου με τα ολοκληρωμένα κυκλώματα TBA 810S / TBA 810AS και TBA 810DS / TBA 810DAS. Τα ολοκληρωμένα της σειράς TBA 810 μπορούν να δώσουν, σε μεγάφωνο 4 Ω, τις επόμενες ισχείς με τις αντίστοιχες τροφοδοτικές τάσεις: 7 W με 16 V, 6 W με 14,4 V, 2,5 W με 9 V και 1 W με 6 V.

Το ολοκληρωμένο TBA 810AS έχει τα ίδια χαρακτηριστικά με το TBA 810S, αλλά διαφέρει στο εξωτερικό του πλαίσιο και στον τρόπο στηρίξεως.

Το TBA 810DS έχει τα ίδια επίσης χαρακτηριστικά με το TBA 810S, εκτός από το ότι περιλαμβάνει ένα κύκλωμα προστασίας από υπερδιεγέρσεις (κύκλωμα φορτοεκφόρτισης). Το χαρακτηριστικό αυτής της κατασκευής είναι εξαιρετικά πρόσφορο για ραδιόφωνα αυτοκινήτου.

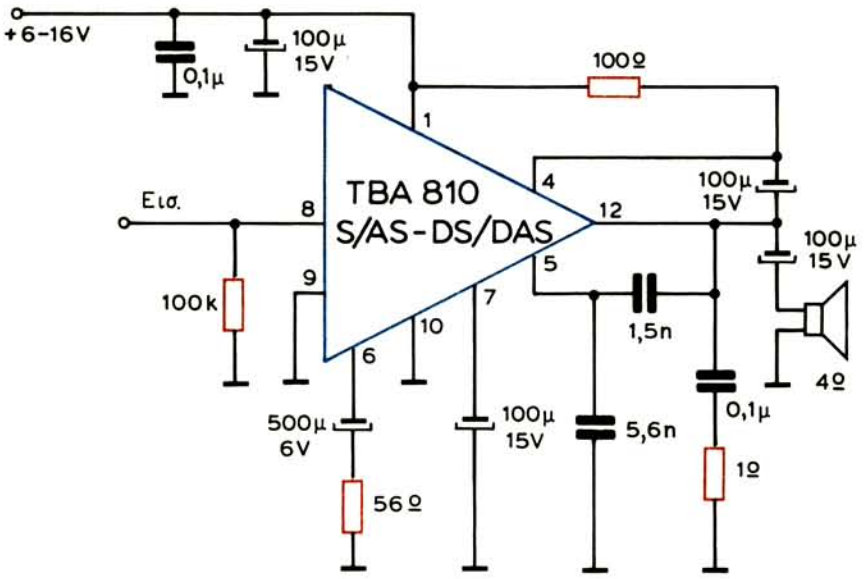
Τέλος, το TBA 810AS είναι το ίδιο με το TBA 810DS και διαφέρει στο εξωτερικό του πλαίσιο και στον τρόπο στηρίξεως.

Οι συνδεσμολογίες, που είδαμε έως εδώ, ανήκουν σε μονοφωνικά ραδιόφωνα. Το τμήμα ήχου των στερεοφωνικών ραδιοφώνων έχει διαφορετική σύνθεση και περιλαμβάνει και άλλες διατάξεις, ανάλογες με εκείνες του διαμορφωτή του



Σχ. 8.27.

Συνδεσμολογία τμήματος ήχου ραδιοφώνου με το ολοκληρωμένο TBA 641.



Σχ. 8.28.

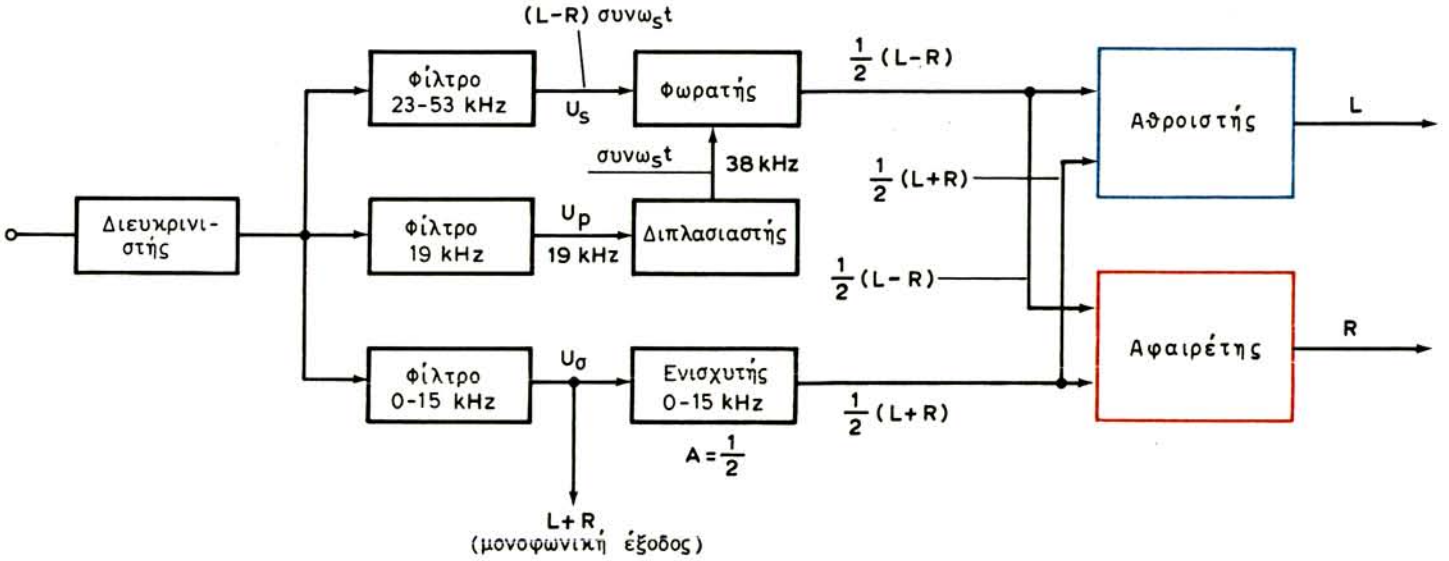
Συνδεσμολογία τμήματος ήχου ραδιοφώνου με τα ολοκληρωμένα της σειράς TBA 810.

πομπού, που λειτουργούν στην υπερακουστική περιοχή συχνοτήτων. Ωστόσο, επειδή οι διατάξεις αυτές ακολουθούν το φωρατή συχνότητας ανήκουν στο τμήμα ήχου του ραδιοφώνου.

Οι πιο πάνω διατάξεις συγκροτούν τον ***αποκωδικοποιητή*** του τμήματος ήχου, του οποίου ο τελικός προορισμός είναι η απόδοση στην έξοδό του των σημάτων των δύο ηχητικών καναλιών: του αριστερού L και του δεξιού R. Το λειτουργικό διάγραμμα του αποκωδικοποιητή φαίνεται στο σχήμα 8.29.

Στην έξοδο του διευκρινιστή του δέκτη παίρνομε το διαμορφωτικό σήμα του πομπού, του οποίου το φάσμα είδαμε στην παράγραφο 8.9 (σχ. 8.13). Οι συνιστώσες του σήματος αυτού διαχωρίζονται μεταξύ τους με την βοήθεια τριών φίλτρων: του φίλτρου ζώνης 23-53 kHz, που διαχωρίζει τη στεροφωνική συνιστώσα U_s, του φίλτρου 19 kHz, που επιλέγει το πιλοτόσημα U_P, και του φίλτρου 0-15 kHz, που ξεχωρίζει το σήμα συμβιβαστότητας U_σ = L+R. Το τελευταίο σήμα, δηλαδή το L+R, οδηγείται, από τη μία μεριά σε μία έξοδο μονοφωνικής αναπαραγωγής του και από την άλλη, στις διατάξεις αθροίσεως και αφαιρέσεως, αφού στον ενισχυτή πάρει την τιμή $^1/_2$ (L + R), όπου θα συνδυασθεί με το σήμα L − R. Πρέπει όμως, πρώτα να παραχθεί το σήμα L − R.

Για το σκοπό αυτό, η συχνότητα του σήματος U_p (19 kHz) διπλασιάζεται και έτσι αναπαράγεται το σήμα της υποφέρουσας συχνότητας, που καταργήθηκε στον κωδικοποιητή του πομπού. Στη συνέχεια, οδηγείται στη διάταξη φωρά-



Σχ. 8.29.

Λειτουργικό διάγραμμα αποκωδικοποιητή του τμήματος ήχου στερεοφωνικού ραδιοφώνου.

σεως και τοποθετείται ανάμεσα στις δύο πλευρικές ζώνες του σήματος U_s, ώστε να συμπληρωθεί το διαμορφωμένο κατά πλάτος στερεοφωνικό σήμα. Στην έξοδο, τώρα, του φωρατή παίρνομε το σήμα $^1/_2$ (L − R) επειδή κατά τη διεργασία της φωράσεως έχομε:

$$(L - R)\text{συν}\,\omega_s t \cdot \text{συν}\,\omega_s t = \frac{1}{2}(L - R)\left[\text{συν}\,(\omega_s + \omega_s)t + \text{συν}\,(\omega_s - \omega_s)t\right] =$$

$$= \frac{1}{2}(L - R)(\text{συν}\,2\omega_s t + \text{συν}\,0) = \frac{1}{2}(L - R) + \frac{1}{2}(L - R)\,\text{συν}\,2\,\omega_s t$$

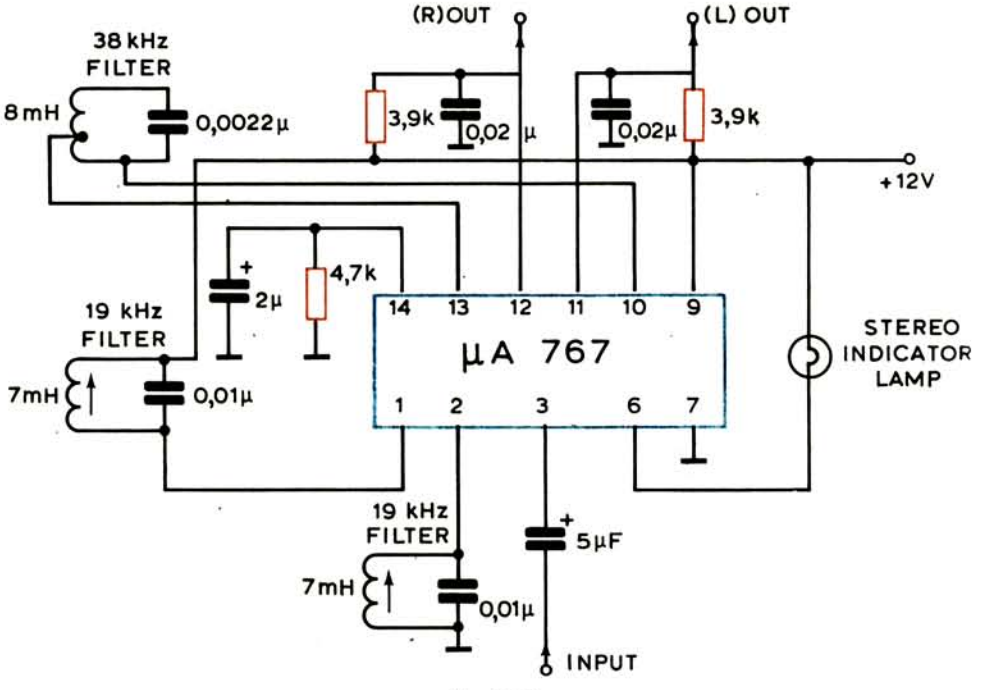
Η συνιστώσα $^1/_2$2 (L−R)συν 2 ω_st απορρίπτεται με φίλτρο RC.

Τα σήματα $^1/_2$(L + R) και $^1/_2$(L − R) εφαρμόζονται στον αθροιστή και αφαιρέτη και στις εξόδους τους έχομε:

$$\frac{1}{2}(L + R) + \frac{1}{2}(L - R) = L \text{ (αριστερό κανάλι)}$$

και:

$$\frac{1}{2}(L + R) - \frac{1}{2}(L - R) = R \text{ (δεξιό κανάλι)}$$



Σχ. 8.30.

Συνδεσμολογία αποκωδικοποιητή τμήματος ήχου στερεοφωνικού ραδιοφώνου FM

Σημειώνομε ότι η μεταγωγή του δέκτη από στερεοφωνική σε μονοφωνική αναπαραγωγή γίνεται αυτόματα. Όταν το πρόγραμμα είναι μονοφωνικό, από τα τρία φίλτρα του σχήματος 8.29, λειτουργεί μόνο το 0-15 kHz. Σήματα για τα άλλα δύο δεν υπάρχουν.

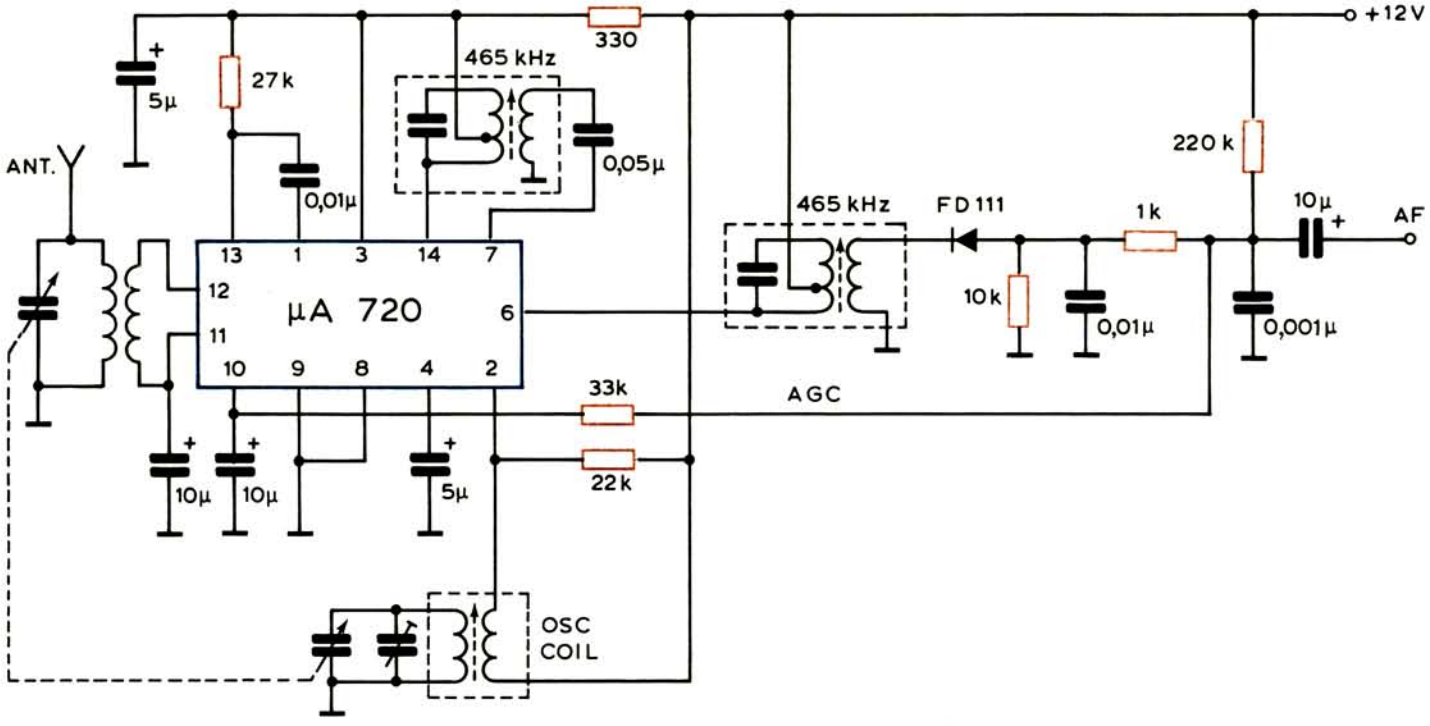
Όλες οι λειτουργίες αποκωδικοποιήσεως που περιγράψαμε, πραγματοποιούνται σήμερα με ολοκληρωμένο κύκλωμα. Μία τέτοια συνδεσμολογία φαίνεται στο σχήμα 8.30 με το ολοκληρωμενο μΑ 767. Ανάλογες συνδεσμολογίες συναντώνται με τα ολοκληρωμένα κυκλώματα μΑ 732, MC 1310P, TCA 4500A (σε ραδιόφωνα αυτοκινήτου) LA 3101 κ.ά.

8.16 Υποσυστήματα ραδιοφώνων ΑΜ και FM.

Είδαμε το τμήμα του ήχου ραδιοφώνου ή και ορισμένων βαθμίδων του, με ολοκληρωμένα κυκλώματα. Στα σύγχρονα ραδιόφωνα, τα ολοκληρωμένα κυκλώματα αντικαθιστούν πολλές βαθμίδες τους ή και όλες. Π.χ., ένα ολοκληρωμένο κύκλωμα αντικαθιστά τη βαθμίδα ενισχύσεως της υψηλής συχνότητας, τη βαθμίδα μίξεως, τον τοπικό ταλαντωτή και τη βαθμίδα ενισχύσεως της ενδιάμεσης συχνότητας.. Ένα άλλο ολοκληρωμένο αντικαθιστά τον ενισχυτή ενδιάμεσης συχνότητας, τον περιοριστή, το διευκρινιστή και τον προενισχυτή τάσεως ακουστικής συχνότητας σε ραδιόφωνο FM. Έτσι, με κατάλληλο συνδυασμό δύο ολοκληρωμένων κυκλωμάτων, μπορούμε να έχομε ένα πλήρες ραδιόφωνο. Μερικές τέτοιες συνδεσμολογίες, που ονομάζονται συνήθως ***υποσυστήματα,*** για ραδιόφωνα ΑΜ και FM θα παρουσιάσομε στη συνέχεια.

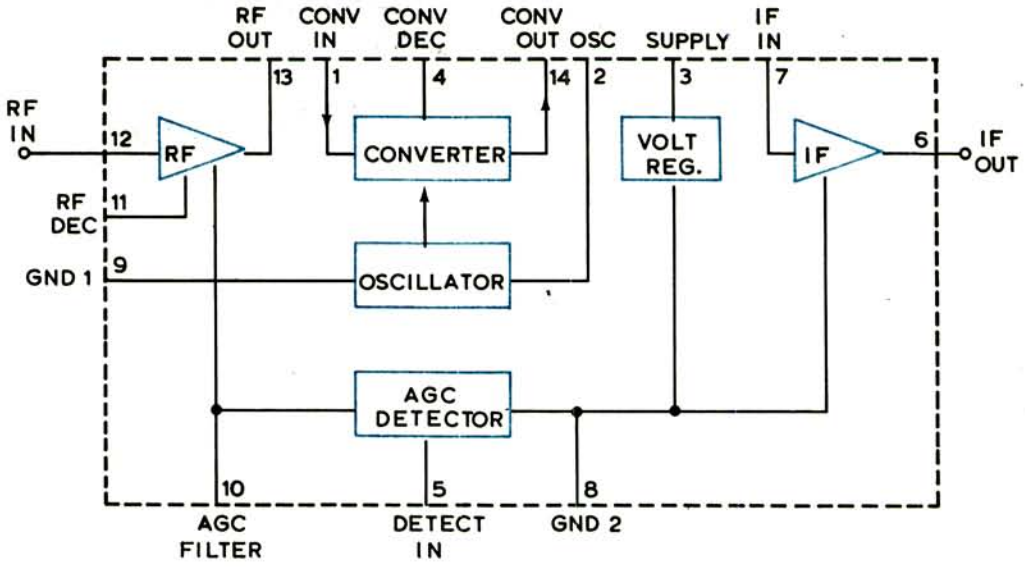
Στο σχήμα 8.31 φαίνεται συνδεσμολογία με το ολοκληρωμένο κύκλωμα μΑ 720 για ραδιόφωνο ΑΜ. Όπως φαίνεται στο χονδρικό διάγραμμα των βαθμίδων του (σχ. 8.32), ισοδυναμεί με ενισχυτή υψηλής συχνότητας, μίκτη, τοπικό ταλαντωτή και ενισχυτή ενδιάμεσης συχνότητας. Επίσης, διαθέτει ρυθμιστή (σταθεροποιητή) της τροφοδοτικής τάσεως και εσωτερικό φωρατή για την παραγωγή της τάσεως AGC, ο οποίος στη συνδεσμολογία του σχήματος 8.31 δεν χρησιμοποιείται. Εδώ, η τάση AGC παράγεται από το φωρατή του ραδιοφώνου (δίοδος FD 111) και μέσα από την αντίσταση 33 kΩ εφαρμόζεται στον ακροδέκτη 10 του ολοκληρωμένου. Για τη χρησιμοποίηση του φωρατή AGC του ολοκληρωμένου πρέπει να γίνουν μικρές αλλαγές στις εξωτερικές συνδέσεις που υποδεικνύονται στο διάγραμμα του σχήματος 8.32.

Ένα δεύτερο υποσύστημα ραδιοφώνου ΑΜ, συναρμολογούμενο με το ολοκληρωμένο κύκλωμα CA 3088E της RCA, φαίνεται στο σχήμα 8.33. Περιέχει μεταλλάκτη ραδιοσυχνότητας, ενισχυτή ενδιάμεσης συχνότητας με δύο βαθμίδες, φωρατή και προενισχυτή ακουστικού σήματος. Επιπλέον, διαθέτει βαθμίδες παραγωγής της τάσεως AGC για τον ενισχυτή ενδιάμεσης συχνότητας και τον ενισχυτή ραδιοσυχνότητας, που μπορεί να προστεθεί, βαθμίδα οδηγήσεως



Σχ. 8.31.

Συνδεσμολογία τμήματος ραδιοφώνου ΑΜ από κεραία έως φωρατή με το ολοκληρωμένο κύκλωμα μΑ 720.



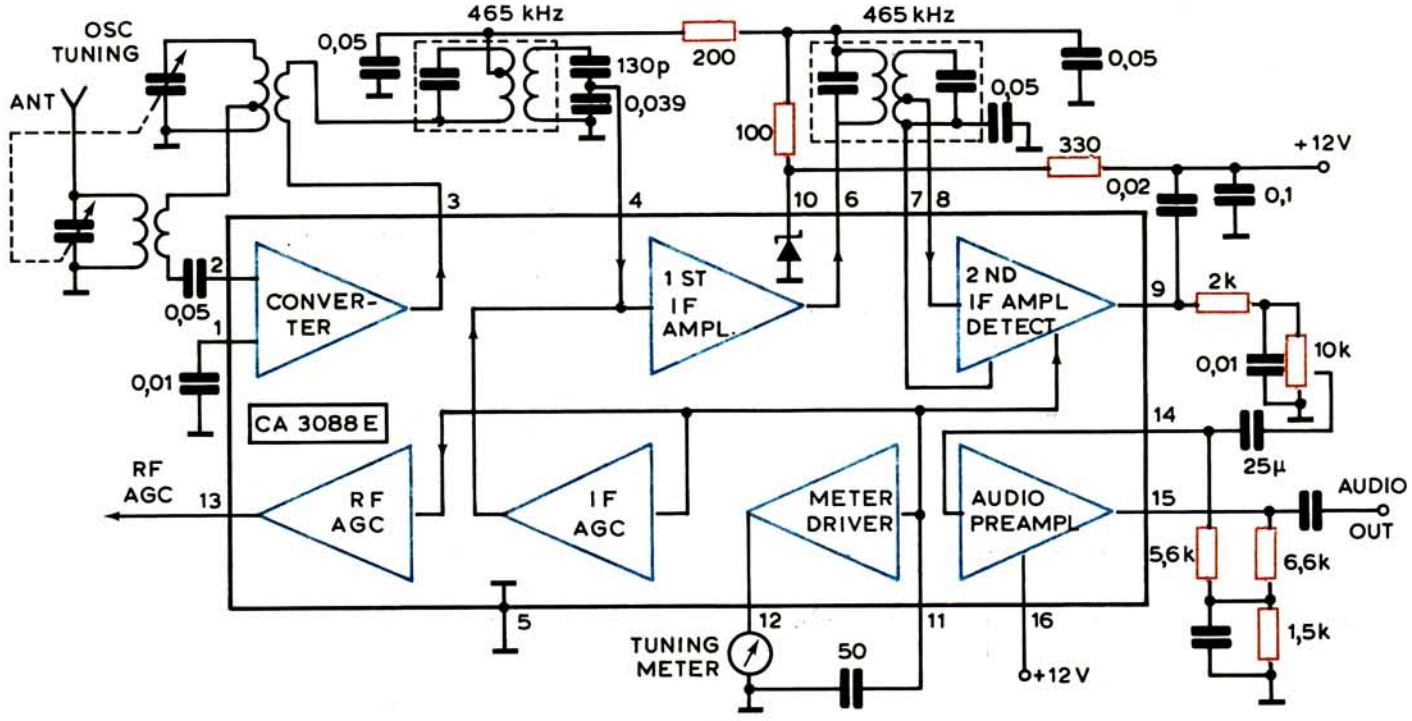
Σχ. 8.32.

Διάγραμμα βαθμίδων του ολοκληρωμένου μA 720.

ενδείκτη συντονισμού (meter driver) και σταθεροποιητή της τροφοδοτικής τάσεως. Η συνδεσμολογία έχει χαμηλό κόστος γιατί χρειάζεται λίγα εξωτερικά εξαρτήματα. Με δύο ακόμη τρανζίστορ, ένα για ενισχυτή ραδιοσυχνότητας και ένα για ενισχυτή ακουστικού σήματος, συγκροτείται ένα πλήρες ραδιόφωνο AM.

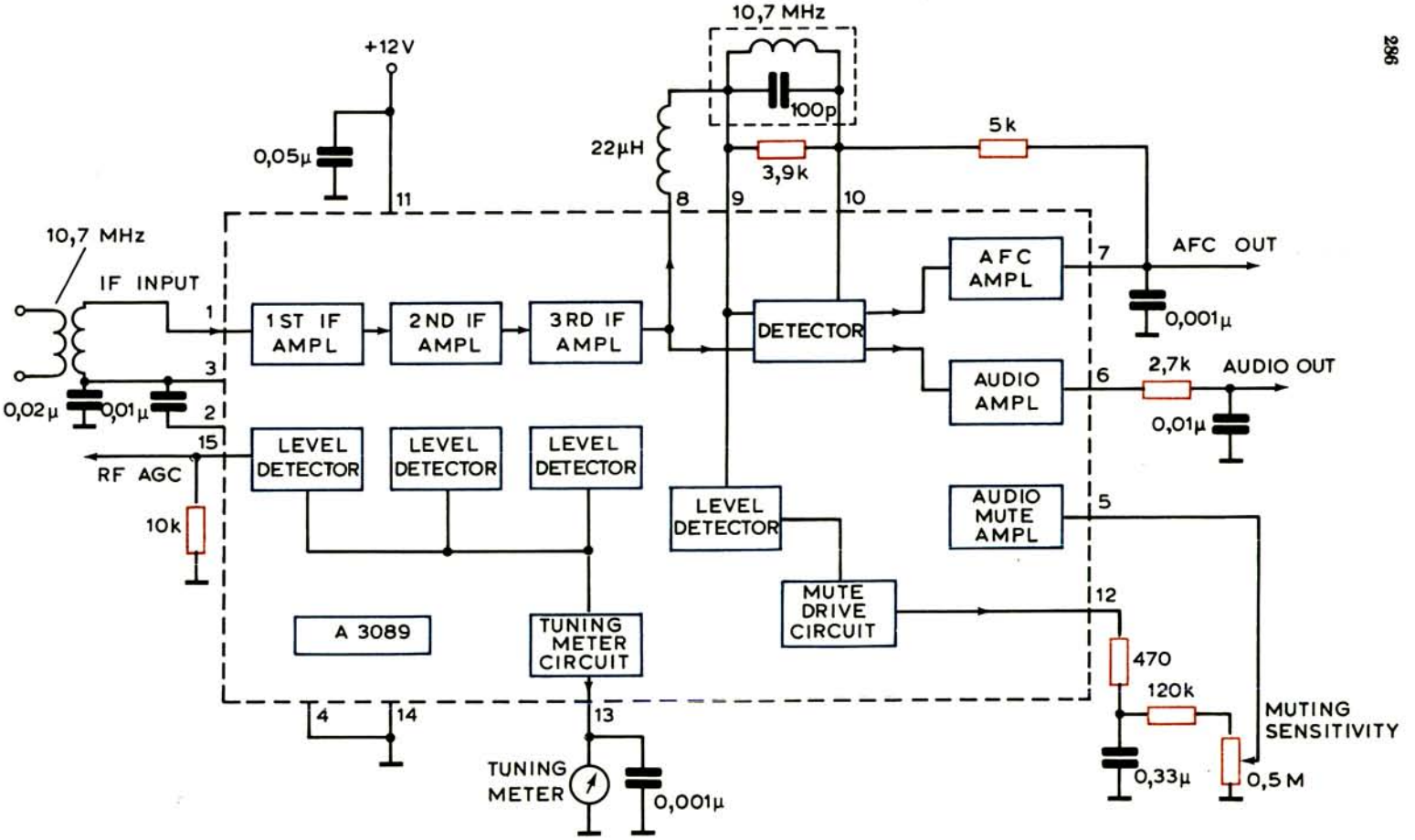
Παρουσιάζομε, τώρα, ένα υποσύστημα ραδιοφώνου FM, συναρμολογημένο με το ολοκληρωμένο κύκλωμα μA 3089 (σχ. 8.34). Διαθέτει τριβαθμικό ενισχυτή ενδιάμεσης συχνότητας (η τρίτη βαθμίδα είναι ενισχυτής-περιοριστής), φωρατή συχνότητας, προενισχυτή ακουστικού σήματος και μερικές ακόμη βοηθητικές διατάξεις, όπως φωρατές στάθμης (φωρατές AGC), κύκλωμα AFC, διάταξη διακοπής ήχου (mute) ή απομονώσεως θορύβων (squelch), όταν δεν υπάρχει σήμα ή γίνει μικρότερο από μια προκαθορισμένη στάθμη κ.ά. Διαθέτει ακόμη σταθεροποιητή της τροφοδοτικής τάσεως, που εφαρμόζεται στον ακροδέκτη 11. Χρειάζονται λίγα εξωτερικά εξαρτήματα για τη λειτουργία του και μπορεί να αντικατασταθεί άμεσα από το ολοκληρωμένο CA 3089E.

Μια άλλη συνδεσμολογία τμήματος στερεοφωνικού ραδιοφώνου FM με δύο ολοκληρωμένα κυκλώματα φαίνεται στο σχήμα 8.35. Το πρώτο (CA 3089E) είναι ακριβώς ισοδύναμο με το ολοκληρωμένο μA 3089, του οποίου το λειτουργικό διάγραμμα και τη συνδεσμολογία του είδαμε στο σχήμα 8.34. Ασήμαντες διαφορές μπορούμε να βρούμε στις τιμές μερικών εξωτερικών εξαρτημάτων.



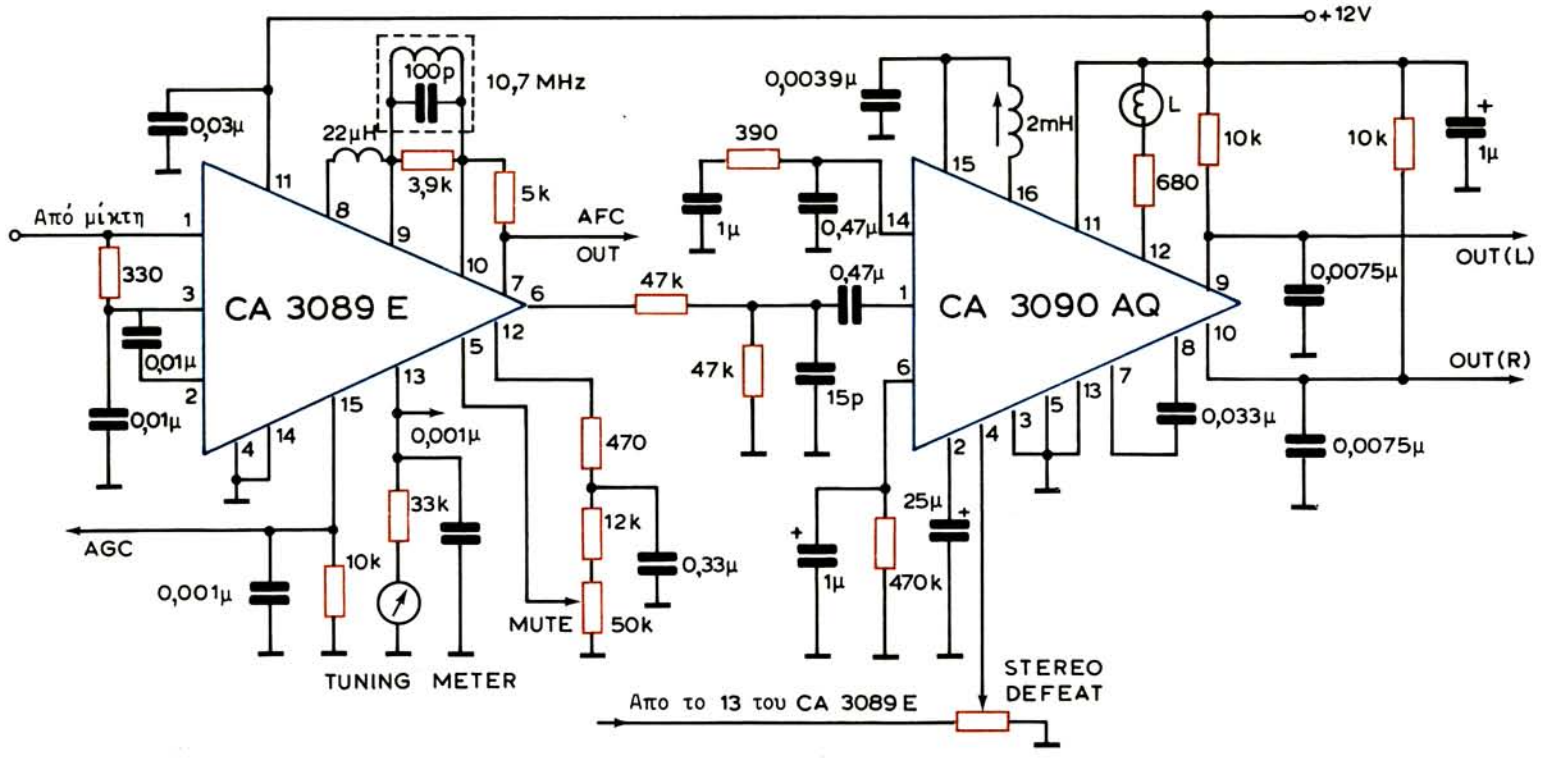
Σχ. 8.33.

Υποσύστημα ραδιοφώνου AM με το ολοκληρωμένο κύκλωμα CA 3088E της RCA (οι πυκνωτές χωρίς ένδειξη είναι σε μF).



Σχ. 8.34.

Υποσύστημα ραδιοφώνου FM με το ολοκληρωμένο μA 3089.



Σχ. 8.35.

Συνδεσμολογία τμήματος στερεοφωνικού ραδιοφώνου FM με τα ολοκληρωμένα κυκλώματα CA 3089E και CA 3090AQ της RCA.

Το δεύτερο (CA 3090AQ) συγκροτεί έναν αποκωδικοποιητή ανάλογο με εκείνο του σχήματος 8.30 (τα ολοκληρωμένα κυκλώματα CA 3090AQ και μA 767 δεν είναι αντίστοιχα). Το ποτενσιόμετρο «STEREO DEFEAT» (στον ακροδέκτη 4 του CA 3090AQ) ενεργοποιείται αν συνδεθεί στον ακροδέκτη 13 του CA 3089E. Η τάση που αναπτύσσεται, τότε, σ' αυτό το ποτενσιόμετρο ελέγχει ένα κύκλωμα διακοπής της στερεοφωνικής αναπαραγωγής και οδηγεί τον αποκωδικοποιητή σε μονοφωνική κατάσταση.

Η συνδεσμολογία του σχήματος 8.35 μπορεί να συμπληρωθεί με το συντονιστή FM του σχήματος 8.16 (ολοκληρωμένο CA 3005) και με ένα στερεοφωνικό ενισχυτή ακουστικών σημάτων, οπότε συγκροτείται πλήρες ραδιόφωνο.

8.17 Ραδιόφωνα με τρανζίστορ.

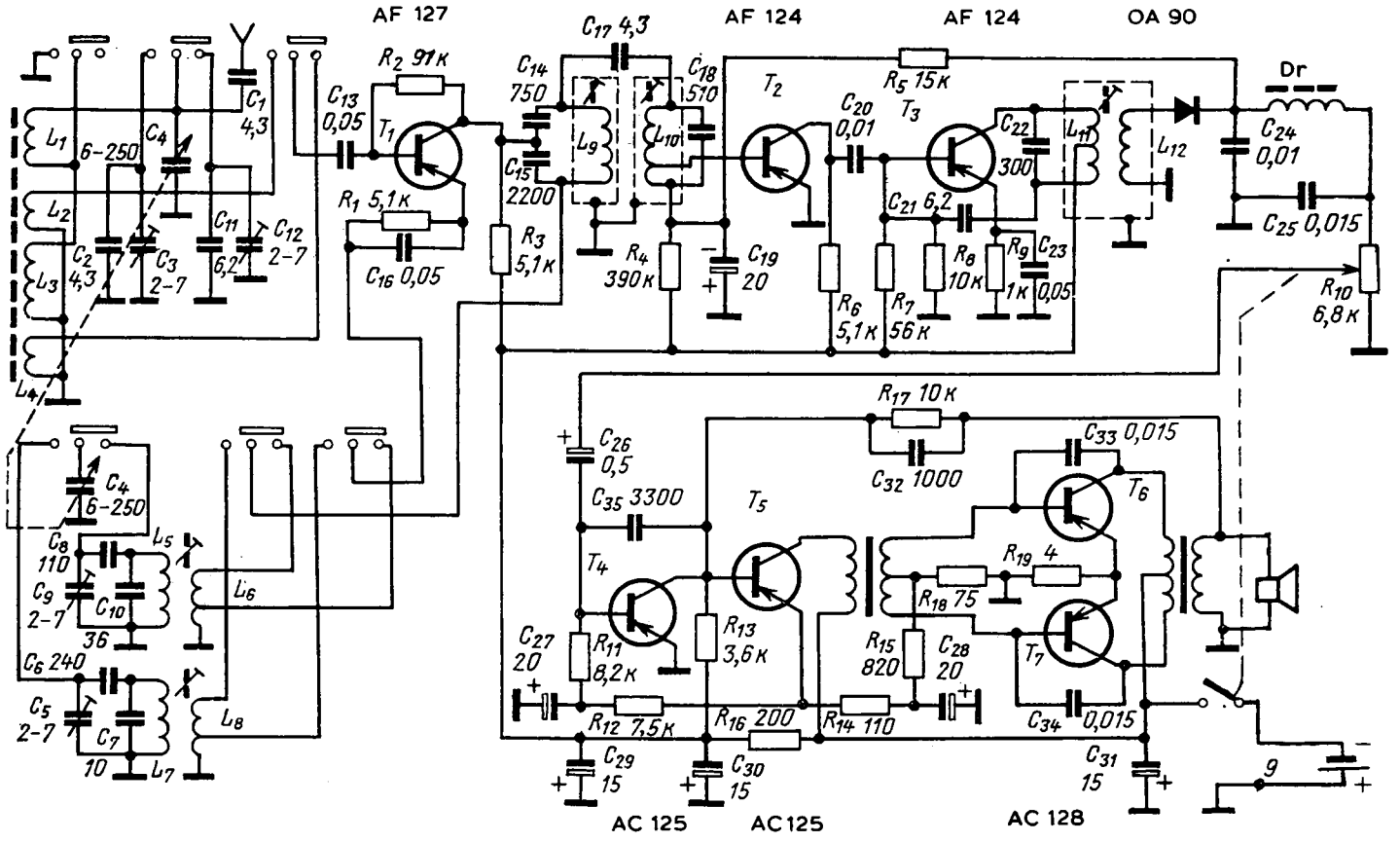
Στην παράγραφο αυτή θα παρουσιάσομε μερικές συνδεσμολογίες ραδιοφώνων με τρανζίστορ φορητού τύπου. Μπορούν βέβαια, να τροφοδοτηθούν και από το δίκτυο ηλεκτροφωτισμού, αν προστεθεί κατάλληλη ανορθωτική διάταξη.

Το ραδιόφωνο του σχήματος 8.36 προορίζεται για τη λήψη σταθμών με διαμόρφωση πλάτους (AM) στα μακρά και μεσαία κύματα με εσωτερική μαγνητική κεραία, δηλαδή τα πηνία εισόδου (L_1 για τα μεσαία, L_3 για τα μακρά) είναι τυλιγμένα σε πυρήνα από μαγνητικό υλικό. Η σύζευξη των κυκλωμάτων εισόδου με τη βάση του τρανζίστορ Τ1 είναι επαγωγική μέσα από τα πηνία L_2 και L_3. Η εξωτερική κεραία συνδέεται στο κύκλωμα εισόδου μέσα από τον πυκνωτη C_1.

Το ραδιόφωνο δεν διαθέτει ενισχυτή υψηλής συχνότητας και το σήμα εφαρμόζεται στη βαθμίδα μεταλλαγής συχνότητας Τ1 (AF 127), που ειναι τύπου αυτοταλαντούμενης μίκτριας. Φορτίο της βαθμίδας μεταλλαγής είναι το διπλοσυντονισμένο φίλτρο ενδιάμεσης συχνότητας (465 kH_z), που εξασφαλίζει τη βασική επιλογή του δέκτη. Το εύρος της ζώνης διελεύσεως του φίλτρου αυτού (8-9 kH_z) καθορίζεται από τη χωρητικότητα του πυκνωτή C_{17}.

Η σύζευξη του φίλτρου με τη βαθμίδα μεταλλαγής είναι χωρητική (πυκνωτές C_{14}, C_{15}) και με τη βαθμίδα ενδιάμεσης συχνότητας (τρανζίστορ Τ2), αυτεπαγωγική (λήψη στο πηνίο L_{10}).

Ο ενισχυτής ενδιάμεσης συχνότητας είναι διβαθμικός με τα τρανζίστορ Τ2 και Τ3 (AF 124) σε σύνδεση κοινού εκπομπού. Η πρώτη βαθμίδα του ενισχυτή είναι απεριοδική με φορτίο την αντίσταση R_6. Η δεύτερη βαθμίδα (Τ3) διαθέτει συντονισμένο κύκλωμα (L_{11}, C_{22}) με εξουδετέρωση (τροφοδότηση στη μεσαία λήψη του L_{11}). Μια ακόμη εξουδετέρωση από εσωτερική ανάδραση στο τρανζίστορ Τ3 πραγματοποιείται με τη βοήθεια του πυκνωτή C_{21} (4-8pF), πράγμα που μεγαλώνει τη σταθερότητα λειτουργίας της βαθμίδας και το συντελεστή ενισχύσεώς της.



Σχ. 8.36.

Συνδεσμολογία ραδιοφώνου ΑΜ μακρών και μεσαίων κυμάτων.

Η φώραση γίνεται με τη δίοδο ΟΑ90 και το φίλτρο C_{24}, Dr, C_{25}. Φορτίο του φωρατή είναι το ποτενσιόμετρο R_{10}, από το δρομέα του οποίου, και μέσα από τον πυκνωτή C_{26}, η τάση ακουστικής συχνότητας οδηγείται στη βάση της πρώτης βαθμίδας του ενισχυτή του ακουστικού σήματος. Η τάση AGC λαμβάνεται από το φωρατή και μέσα από το φίλτρο R_5C_{19} εφαρμόζεται στη βάση της πρώτης βαθμίδας του ενισχυτή ενδιάμεσης συχνότητας (τρανζίστορ Τ2).

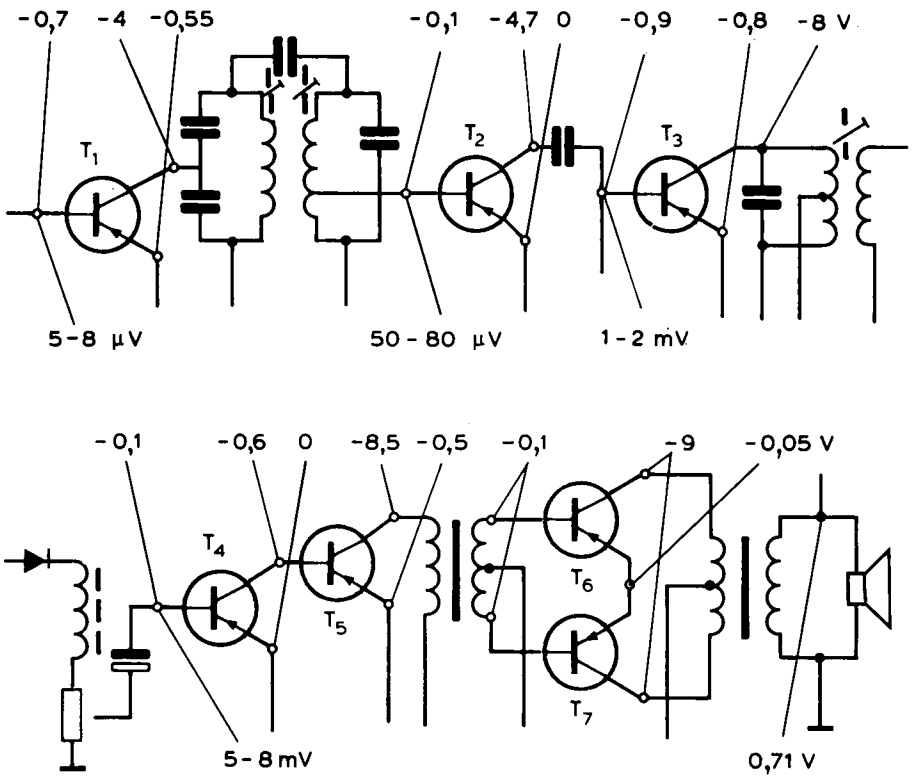
Ο ενισχυτής ακουστικών συχνοτήτων είναι τριβαθμικός με τα τρανζίστορ Τ4, Τ5 και Τ6/Τ7 σε συμμετρική διάταξη. Η πρώτη βαθμίδα συνδέεται άμεσα (γαλβανικά) με τη δεύτερη. Η πόλωση βάσεως του τρανζίστορ Τ4 λαμβάνεται από το κύκλωμα εκπομπού του τρανζίστορ Τ5 έτσι, ώστε να εξασφαλίζεται αρνητική ανάδραση μεταξύ των δύο αυτών βαθμίδων και επομένως θερμική σταθεροποίηση στη λειτουργία τους. Με αύξηση, π.χ., της θερμοκρασίας, το ρεύμα συλλέκτη του Τ4 μεγαλώνει, η τάση συλλέκτη «πέφτει» και μαζί της ελαττώνεται επίσης η τάση στη βάση του τρανζίστορ Τ5. Εξαιτίας αυτού, το ρεύμα εκπομπού του Τ5 ελαττώνεται και επειδή η πόλωση στη βάση του Τ4 λαμβάνεται από τις αντιστάσεις R_{14}, R_{15}, R_{18}, μέσα από τις οποίες διέρχεται το ρεύμα εκπομπού του Τ5, η τάση στη βάση του τρανζίστορ Τ4 επίσης ελαττώνεται. Έτσι, εξασφαλίζεται θερμική σταθεροποίηση στη λειτουργία των δύο βαθμίδων για μεταβολή θερμοκρασίας από -10 έως $+40°$ C.

Στο κύκλωμα συλλέκτη του τρανζίστορ Τ5 συνδέεται μετασχηματιστής προσαρμογής και αναστροφής της φάσεως των τάσεων, που εφαρμόζονται στις βάσεις των τρανζίστορ Τ6 και Τ7 της συμμετρικής βαθμίδας εξόδου. Η βαθμίδα εξόδου εργάζεται σε τάξη ΑΒ. Μεταξύ αυτής και της προηγούμενης εφαρμόζεται αρνητική ανάδραση με τάση, που λαμβάνεται από το δευτερεύον του μετασχηματιστή εξόδου και οδηγείται στη βάση του τρανζίστορ Τ5 μέσα από το κύκλωμα $R_{17}C_{32}$. Η πόλωση των βάσεων των τρανζίστορ Τ6/Τ7 λαμβάνεται από το διαιρέτη τάσεως R_{15}, R_{18}, που συνδέεται στο κύκλωμα εκπομπού του τρανζίστορ Τ5. Η συναρμολόγηση αυτή του ενισχυτή ακουστικών συχνοτήτων εξασφαλίζει την αναγκαία θερμική σταθεροποίηση της βαθμίδας εξόδου χωρίς τη χρησιμοποίηση θερμικής αντιστάσεως. Για τη διόρθωση της καμπύλης αποκρίσεως του ενισχυτή στις υψηλότερες ακουστικές συχνότητες, χρησιμοποιούνται οι πυκνωτές C_{33}, C_{34} και C_{35}.

Οι τάσεις τροφοδοτήσεως των τρανζίστορ και οι τιμές των σημάτων εισόδου και εξόδου των βαθμίδων, που χαρακτηρίζουν την τάξη λειτουργίας του ραδιοφώνου, φαίνονται στο σχήμα 8.37.

Η συνδεσμολογία ενός ραδιοφώνου ΑΜ «τσέπης», που λειτουργεί στα μεσαία κυματα, φαίνεται στο σχημα 8.38. Το πηνίο εισόδου L_1 και το πηνίο συζεύξεως L_2 είναι τυλιγμένα σε πυρήνα από μαγνητικό υλικό και συγκροτούν τη μαγνητική κεραία.

Ο μεταλλάκτης συχνότητας, με το τρανζίστορ T_1 (2N107), είναι τύπου αυτοτα-

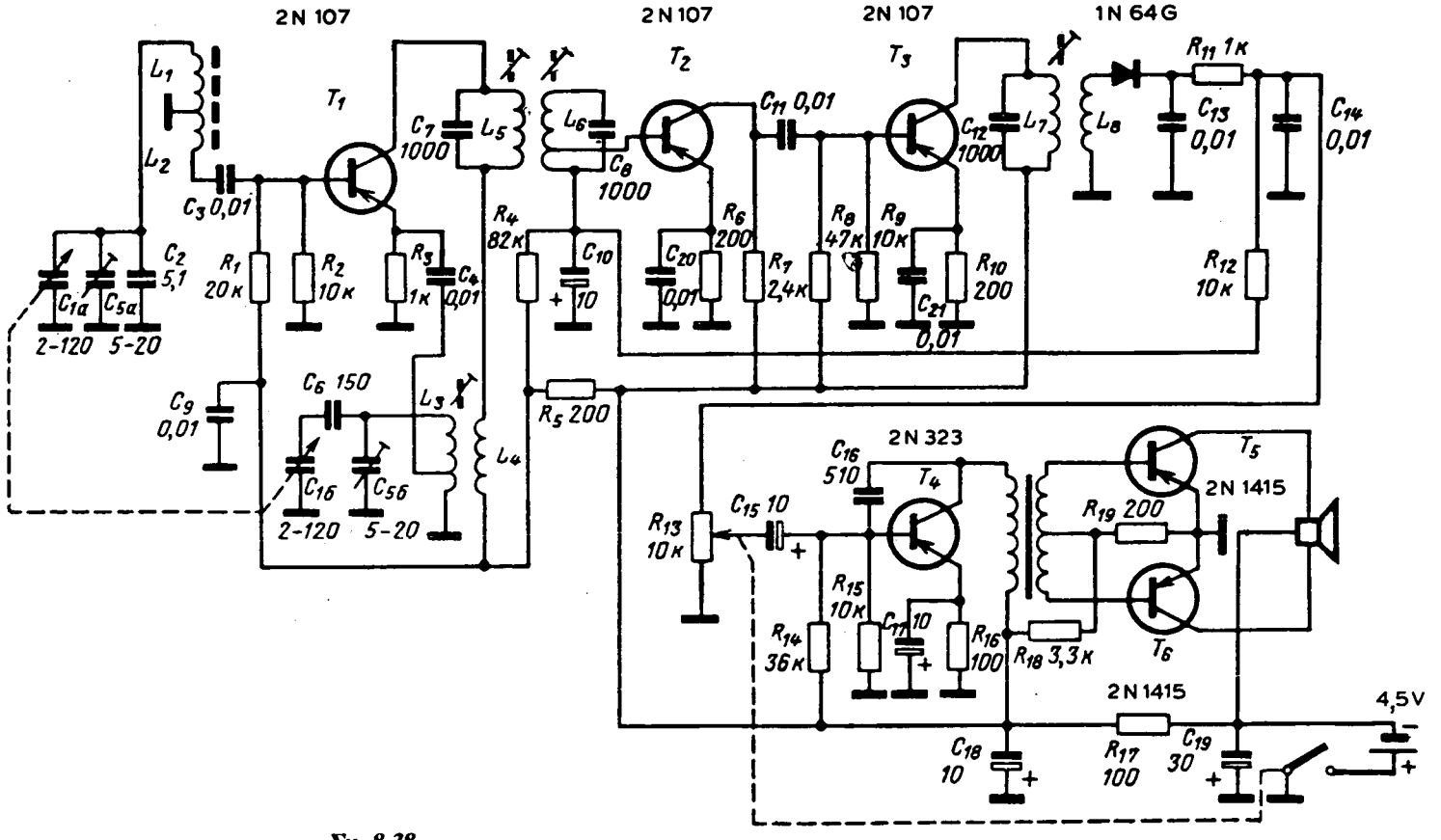


Σχ. 8.37.

Τάξη λειτουργίας των βαθμίδων του ραδιοφώνου του σχήματος 8.36.

λαντούμενου μίκτη. Το κύκλωμα ταλαντώσεως είναι επαγωγικής συζεύξεως (Meissner) και η άριστη συνθήκη μεταλλαγής εξασφαλίζεται όταν η τάση θετικής αναδράσεως από το συλλέκτη στον εκπομπό του T_1 (από το L_4 στο L_3) είναι 100-120 mV. Φορτίο του μεταλλάκτη είναι το διπλοσυντονισμένο φίλτρο της ενδιάμεσης συχνότητας 465 kHz. Η σύζευξη μεταξύ των πηνίων L_5 και L_6 του φίλτρου ενδιάμεσης συχνότητας βρίσκεται κοντά στην κρίσιμη και το εύρος της ζώνης διελεύσεως είναι 8-9 kHz. Η τάξη λειτουργίας του τρανζίστορ T_1 καθορίζεται από τις τιμές των αντιστάσεων R_1, R_2 και R_3.

Το ραδιόφωνο διαθέτει, όπως και το προηγούμενο, διβαθμικό ενισχυτή ενδιάμεσης συχνότητας με απεριοδική την πρώτη του βαθμίδα (φορτίο η αντίσταση R_7). Η δεύτερη βαθμίδα έχει συντονισμένο φορτίο με τα στοιχεία L_7 C_{12}. Ο φωρατής, με τη δίοδο 1N 64G και το φίλτρο C_{13}, R_{11}, C_{14}, έχει φορτίο το ποτενσιόμετρο R_{13}. Η τάση AGC, που παράγεται από το φωρατή, εφαρμόζεται στη βάση του τρανζίστορ T_2 μέσα από το φίλτρο R_{12} C_{10}.

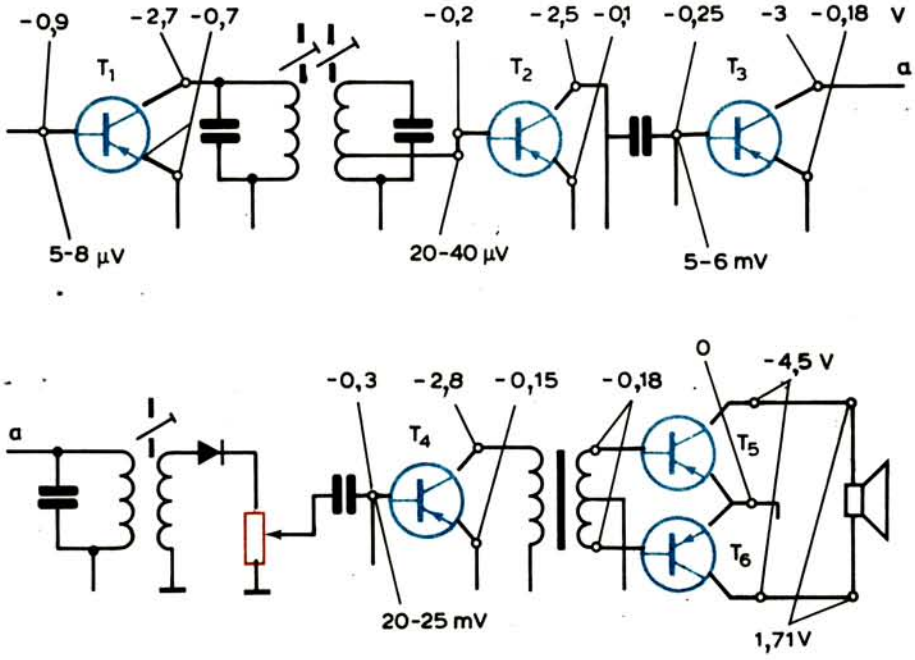


Σχ. 8.38.

Συνδεσμολογία ραδιοφώνου ΑΜ «τσέπης» μεσαίων κυμάτων.

Ο ενισχυτής ακουστικών συχνοτήτων έχει δύο βαθμίδες: προενισχυτή με το τρανζίστορ T_4 και τελικό ενιχυτή με τα τρανζίστορ T_5, T_6 σε συμμετρική σύνδεση. Ο ενισχυτής είναι χωρίς μετασχηματιστή εξόδου, αλλά τροφοδοτεί μεγάφωνο με πηνίο φωνής υψηλής αντιστάσεως που έχει μεσαία λήψη (στα 1000 Hz έχει 2 · 30 Ω). Η καμπύλη αποκρίσεως στην περιοχή των υψηλοτέρων ακουστικών συχνοτήτων διορθώνεται με τον πυκνωτή C_{16}.

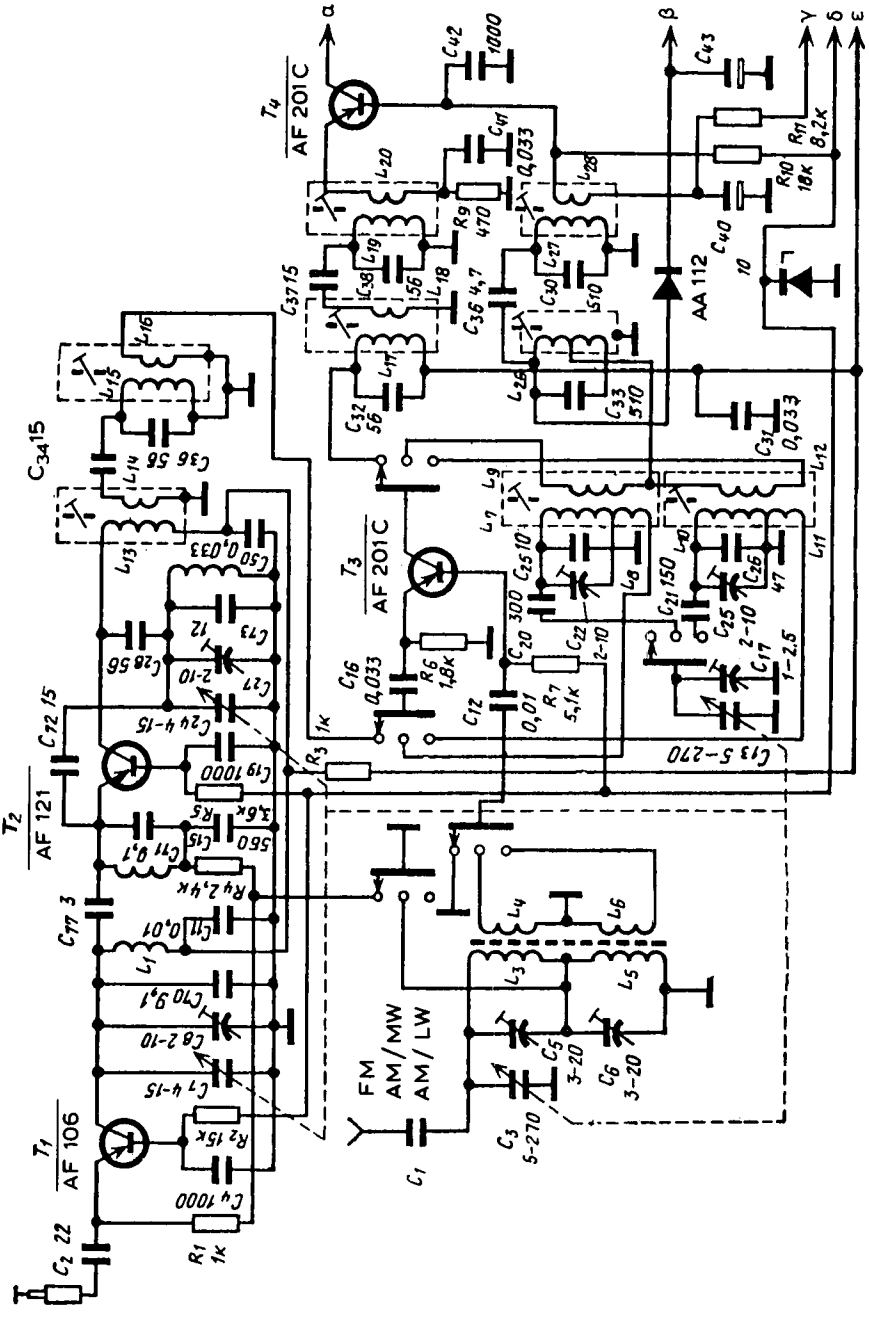
Οι τιμές των τροφοδοτικών τάσεων και των σημάτων εισόδου και εξόδου των βαθμίδων του ραδιοφώνου φαίνονται στο σχήμα 8.39.

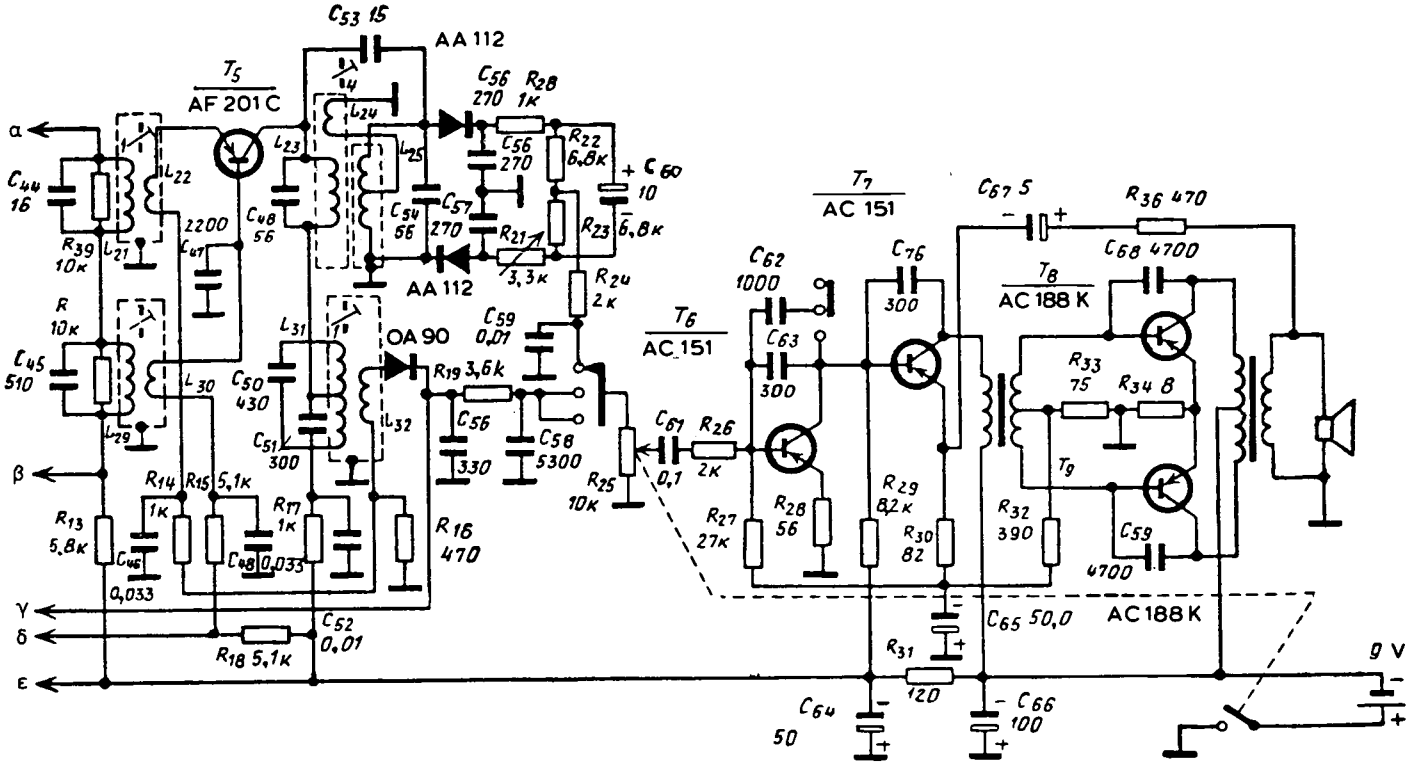


Σχ. 8.39.

Τάξη λειτουργίας των βαθμίδων του ραδιοφώνου του σχήματος 8.38.

Τελειώνομε με την παρουσίαση (σχ. 8.40) φορητού ραδιοφώνου για τη λήψη σταθμών ΑΜ στα μακρά και μεσαία κύματα και FM στην περιοχή 88-108 MHz. Το τμήμα FM του ραδιοφώνου δεν έχει συντονισμένο κύκλωμα στην είσοδο και η κεραία FM συνδέεται, μέσα από τον πυκνωτή C_2, στον εκπομπό του τρανζίστορ T_1, που λειτουργεί σαν ενισχυτής υψηλής συχνότητας. Στο τρανζίστορ T_1 (AF 106) είναι κοινή η βάση και στο συλλέκτη του συνδέεται το συντονισμένο κύκλωμα L_1 C_7C_8 C_{10}. Η τάση του σήματος, που αναπτύσσεται στο κύκλωμα αυτό, εφαρμόζεται στον εκπομπό του μεταλλάκτη συχνότητας (T_2), μέσα από τον πυκνωτή C_{17}.


T1
AF 106
T2
AF 121
T3
AF 201 C
T4
AF 201 C
AA 112
FM
AM/MW
AM/LW
C2 22
R1 1k
C4 1000
R2 15k
C7 4-15
C8 2-10
C10 9,1
C11 0,01
C77 3
C72 15
C24 4-15
C19 1000
R5 3,6k
C15 560
C71 9,1
R4 2,4k
C28 56
C73 12
C27 2-10
C50 0,033
C34 15
C36 56
C16 0,033
R6 1,8k
C12 0,01
R7 5,1k
C20 300
C22 2-10
C25 10
C21 150
C26 47
C25 2-10
C17 1-2,5
C13 5-270
C32 56
C33 510
C36 4,7
C37 15
C38 56
C40 10
C41 0,033
C42 1000
C43
C31 0,033
R9 470
R10 18k
R11 8,2k
C1
C3 5-270
C5 3-20
C6 3-20
R3 1k
α
β
γ
δ
ε



Σχ. 8.40.

Συνδεσμολογία ραδιοφώνου AM/FM.

Ο μεταλλάκτης συχνότητας των σημάτων FM είναι τύπου αυτοταλαντούμενου μίκτη. Στο συλλέκτη του τρανζίστορ T_2 συνδέεται το σύνθετο φίλτρο της ενδιάμεσης συχνότητας 10,7 MHz. Το σήμα ενδιάμεσης συχνότητας αναπτύσσεται στο ζευκτικό πηνίο L_{16} και οδηγείται στην είσοδο του αντίστοιχου ενισχυτή με το τρανζίστορ T_3. Η συνδεσμολογία με τα τρανζίστορ T_1 και T_2 συγκροτεί το συντονιστή FM του δέκτη, ο οποίος δεν λειτουργεί στη θέση AM, επειδή τα κυκλώματα των εκπομπών των τρανζίστορ αποσυνδέονται.

Στη θέση FM, πρώτη βαθμίδα του ενισχυτή ενδιάμεσης συχνότητας (ΕΕΣ) είναι το τρανζίστορ T_3 (AF 201 C), συνδεμένο με κοινή βάση. Στο συλέκτη του τρανζίστορ αυτού συνδέεται το δεύτερο σύνθετο φίλτρο ενδιάμεσης συχνότητας συντονισμένο στα 10,7 MHz. Από το πηνίο L_{20} του δεύτερου φίλτρου, η τάση του σήματος φθάνει στον εκπομπό του τρανζίστορ T_4, που είναι ο δεύτερος ΕΕΣ του δέκτη στη θέση FM.

Στη θέση AM [στις περιοχές LW (long waves = μακρά κύματα) και MW (medium waves = μεσαία κύματα)], το τρανζίστορ T_3 χρησιμοποιείται για τη μεταλλαγή της ραδιοσυχνότητας σε σύνδεση αυτοταλαντούμενου μίκτη. Με τη βοήθεια του μεταγωγέα περιοχών, οι ακροδέκτες του τρανζίστορ T_3 μεταφέρονται στα κυκλώματα κεραίας, ταλαντώσεων και ενδιάμεσης συχνότητας της θέσεως AM.

Έτσι, το σήμα από την κεραία AM φθάνει στη βάση του τρανζίστορ T_3, μέσα από τα πηνία L_3, L_4 (για τα MW) και L_5, L_6 (για τα LW), που είναι τυλιγμένα σε πυρήνα από μαγνητικό υλικό. Στα μακρά κύματα (LW) τα πηνία L_3 και L_5 συνδέονται σε σειρά και στα μεσαία κύματα (MW), το πηνίο L_5 βραχυκυκλώνεται. Τα πηνία συζεύξεως L_8 και L_{11} των κυκλωμάτων ταλαντώσεως των περιοχών MW και LW συνδέονται στον εκπομπό του τρανζίστορ T_3, ενώ στο συλλέκτη του συνδέονται τα πηνία αναδράσεως L_9 και L_{12} σε σειρά με το φίλτρο ενδιάμεσης συχνότητας συντονισμένο στα 465 kHz.

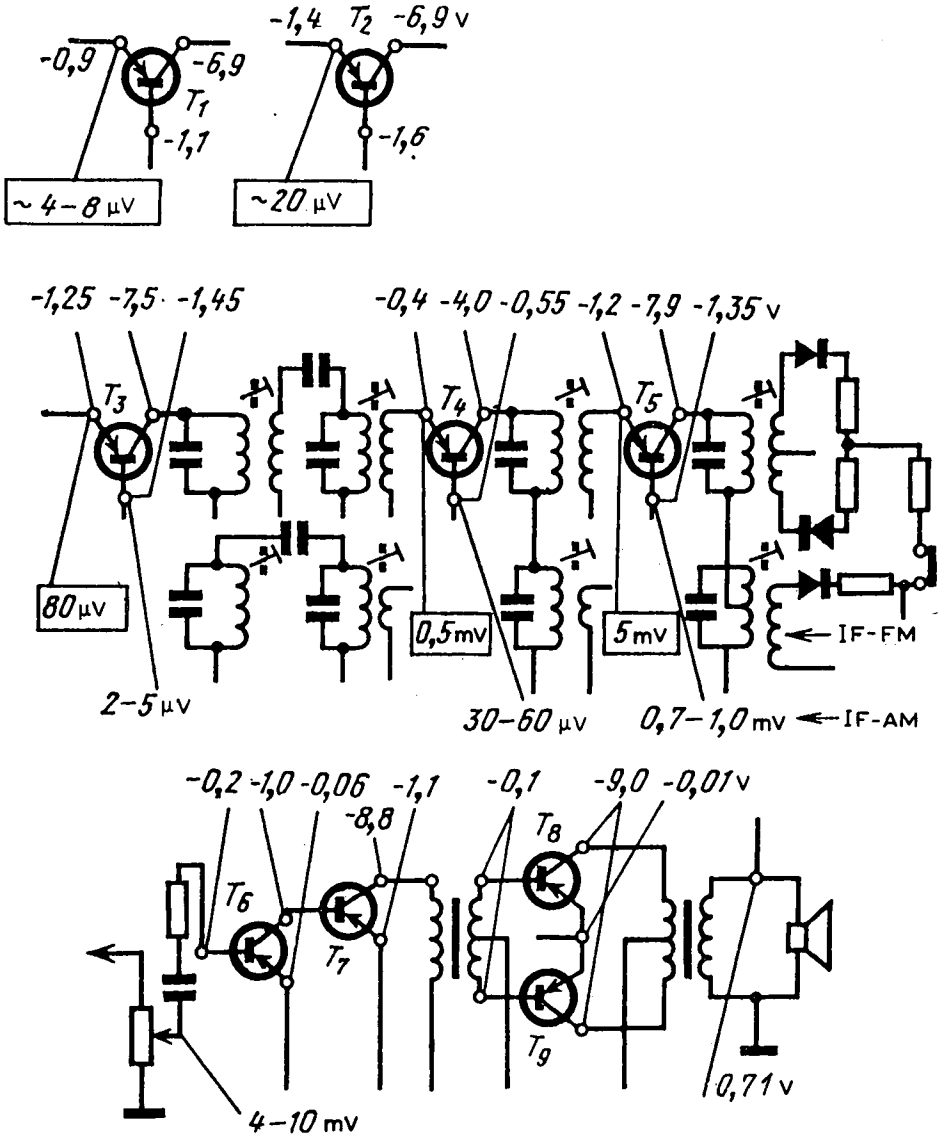
Το τρανζίστορ T_4, στη θέση FM, είναι η δεύτερη βαθμίδα του ΕΕΣ των 10,7 MHz και στη θέση AM, η πρώτη βαθμίδα του ΕΕΣ των 465 kHz. Στη θέση FM, το τρανζίστορ συνδέεται με κοινή βάση και στη θέση AM, με κοινόν εκπομπό. Η βάση του T_4 για το σήμα FM γειώνεται με τη βοήθεια του πυκνωτή C_{42} χωρητικότητας 1000 pF.

Στο συλλέκτη του τρανζίστορ T_4 συνδέονται σε σειρά τα φίλτρα ενδιάμεσης συχνότητας L_{21} C_{44} (FM) και L_{29} C_{45} (AM) συντονισμένα αντίστοιχα στα 10,7 MHz και 465 kHz.

Στη θέση FM, η τάση του σήματος ενδιάμεσης συχνότητας, από το πηνίο συζεύξεως L_{22}, φθάνει στον εκπομπό του τρανζίστορ T_5 και στη θέση AM, από το πηνίο L_{30}, στη βάση του ίδιου τρανζίστορ. Για τα FM, το τρανζίστορ T_5 είναι η τρίτη βαθμίδα του ΕΕΣ και για AM, η δεύτερη. Το τρανζίστορ T_5, στα FM συνδέεται με κοινή βάση και στα AM, με κοινόν εκπομπό.

Στο συλλέκτη του T_5 συνδέονται σε σειρά ο μεταχηματιστής αναστροφής φάσεως του φωρατή συχνότητας (αναλογικού φωρατή) και το συντονισμένο (στα 465 kHz) κύκλωμα L_{31} C_{50} με το ζευκτικό πηνίο L_{32}, που μεταφέρει το σήμα AM στο φωρατή πλάτος OA90.

Ο φωρατής FM χρησιμοποιεί τις διόδους AA112. Το σήμα ακουστικής συχνότητας, μέσα από το φίλτρο αποεμφάσεως R_{24}, C_{59}, οδηγείται στο μεταγωγέα



Σχ. 8.41.

Τάξη λειτουργίας των βαθμίδων του ραδιοφώνου AM/FM του σχήματος 8.40.

περιοχών και από εκεί, στο ποτενσιόμετρο ρυθμίσεως της εντάσεως του ήχου R_{25}.

Από το φωρατή ΑΜ, το σήμα ακουστικής συχνότητας οδηγείται στο ρυθμιστή ήχου (R_{25}), μέσα από το φίλτρο C_{56}, R_{19}, C_{58} και το μεταγωγέα περιοχών. Για να λειτουργεί ο φωρατής πλάτους με μικρές αρμονικές παραμορφώσεις, εφαρμόζεται στη δίοδο ΟΑ90 η τάση που αναπτύσσεται στην αντίσταση R_{16} από το ρεύμα εκπομπού του τρανζίστορ T_5.

Η τάση AGC παράγεται στο φωρατή ΟΑ90 και, μέσα από το φίλτρο R_{11} C_{40}, εφαρμόζεται στη βάση του τρανζιστορ T_4 και ελαττώνει την τάση πολώσεώς της. Αλλά, τότε, ελαττώνονται επίσης τα ρεύματα εκπομπού και συλλέκτη του ίδιου τρανζίστορ, με αποτέλεσμα να μειώνεται η ενίσχυση της βαθμίδας. Για την εξασφάλιση μιας «βαθύτερης» αυτόματης ρυθμίσεως της απολαβής της βαθμίδας αυτής, συνδέεται παράλληλα στο φίλτρο L_{26} C_{33} η δίοδος ΑΑ112. Η πόλωση της διόδου μεταβάλλεται με την τάση που αναπτύσσεται στην αντίσταση R_{13} από το ρεύμα συλλέκτη του ρυθμιζόμενου τρανζίστορ T_4. Με την ελάττωση του ρεύματος συλλέκτη αυτού του τρανζίστορ, η πολικότητα της τάσεως, που εφαρμόζεται στη δίοδο, αναστρέφεται, η δίοδος ανοίγει (γίνεται αγώγιμη) και παραλληλίζει το κύκλωμα L_{26} C_{33} με τη μικρή της εσωτερική αντίσταση (αντίσταση αγώγιμης φοράς).

Ο ενισχυτής του ακουστικού σήματος έχει, γενικά, τη συγκρότηση του αντίστοιχου ενισχυτή του ραδιοφώνου του σχήματος 8.36 και δεν θα μας απασχολήσει ιδιαίτερα.

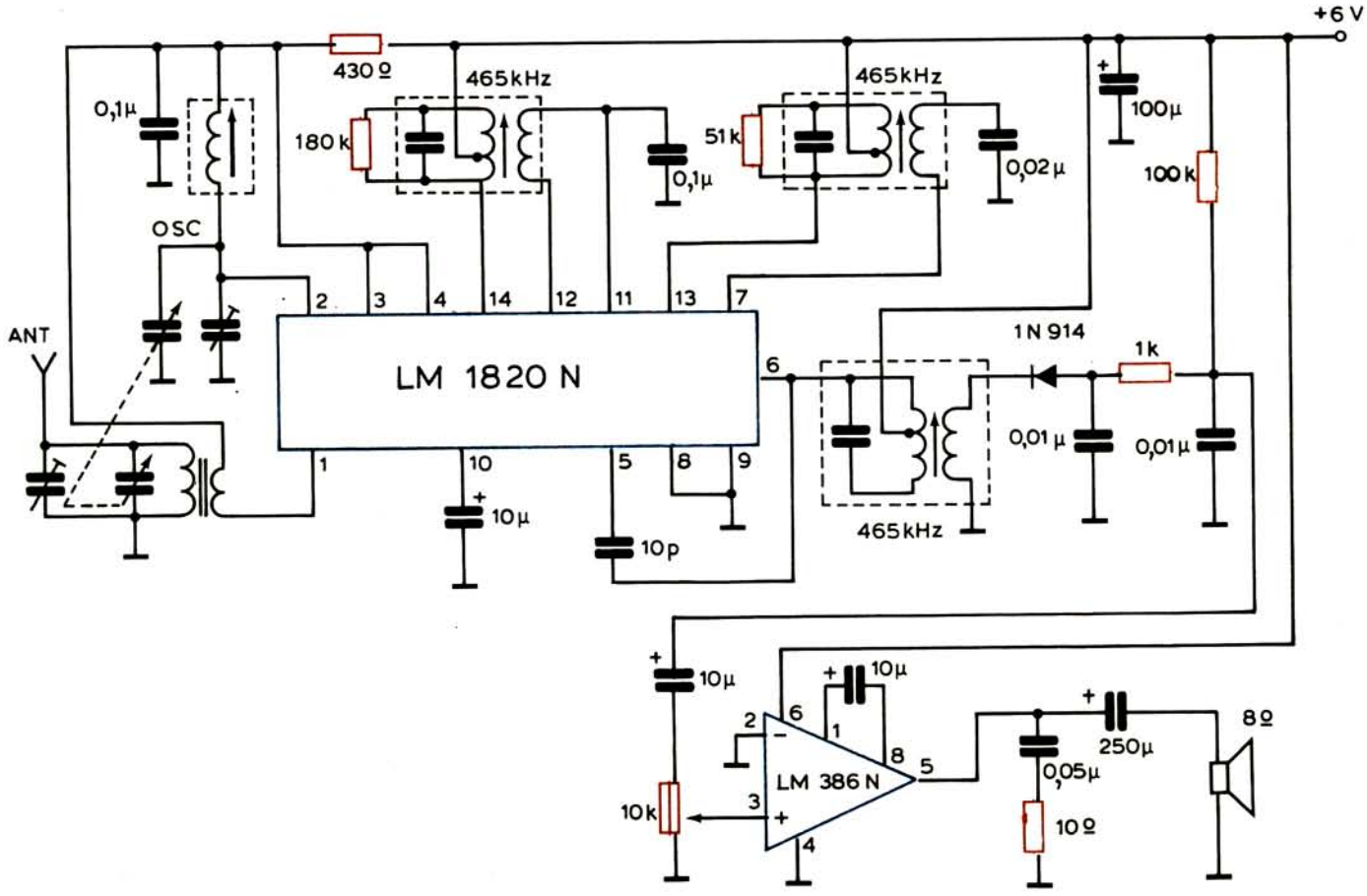
Οι τιμές των τροφοδοτικών τάσεων και των σημάτων εισόδου και εξόδου των βαθμίδων του ραδιοφώνου φαίνονται στο σχήμα 8.41.

8.18 Ραδιόφωνα με ολοκληρωμένα κυκλώματα.

Είδαμε ότι η τεχνική των ολοκληρωμένων κυκλωμάτων δίνει ενδιαφέρουσες συνδεσμολογίες, οι οποίες αντικαθιστούν όλες σχεδόν τις βαθμίδες ενός ραδιοφώνου, όπως τις γνωρίσαμε στην προηγούμενη παράγραφο.

Για την εξέταση των βαθμίδων ραδιοφώνου με ολοκληρωμένα κυκλώματα, χρειάζονται τα ισοδύναμά τους και περιγράφοντας τη λειτουργία τους, πολύ λίγα θα μπορούσαμε να πούμε, διαφορετικά από όσα είπαμε ως τώρα. Άλλωστε, μια τέτοια περιγραφή δεν έχει ιδιαίτερη αξία, αφού δεν προσθέτει γνώση, που θα μας εξυπηρετούσε στην πράξη. Π.χ., για την αποκατάσταση μιας βλάβης, η οποία δεν προέρχεται από κάποιο εξωτερικό εξάρτημα, δεν ενδιαφέρει να γνωρίζομε σε ποια βαθμίδα ή εσωτερικό εξάρτημα οφείλεται, αφού χρειάζεται αντικατάσταση του ολοκληρωμένου κυκλώματος στο σύνολό του. Έτσι, θα περιορισθούμε στην παρουσίαση μερικών συνδεσμολογιών ραδιοφώνων με ολοκληρωμένα κυκλώματα, χωρίς ιδιαίτερα σχόλια.

Στο σχήμα 8.42 φαίνεται ένα ραδιόφωνο με δύο ολοκληρωμένα κυκλώματα



Σχ. 8.42.

Φορητό ραδιόφωνο ΑΜ με τα ολοκληρωμένα LM 1820N, LM 386N και το φωρατή 1N914.

ΙΔΡΥΜΑ ΕΥΓΕΝΙΔΟΥ

και μια δίοδο φωράτρια. Το πρώτο ολοκληρωμένο κύκλωμα (LM 1820 N) διαθέτει μίκτη, τοπικό ταλαντωτή, ενισχυτή ενδιάμεσης συχνότητας με δύο βαθμίδες, κύκλωμα παραγωγής τάσεως AGC και σταθεροποιητή της τροφοδοτικής τάσεως των 6V (ακροδέκτες 3 και 4). Το δεύτερο (LM 386 N) συγκροτεί ένα πλήρη ενισχυτή του ακουστικού σήματος, που δίνει ισχύ εξόδου 250 mW σε μεγάφωνο με αντίσταση 8Ω. Η φώραση γίνεται με τη δίοδο 1N 914.

Τα εξωτερικά εξαρτήματα, που έχουν κάποιο κόστος, είναι τα πηνία και οι μεταβλητοί πυκνωτές των κυκλωμάτων κεραίας και τοπικού ταλαντωτή, οι τρεις μετασχηματιστές ενδιάμεσης συχνότητας και φυσικά το μεγάφωνο.

Μια άλλη συνδεσμολογία ραδιοφώνου AM δύο περιοχών, συναρμολογημένο με το ολοκληρωμένο κύκλωμα TAA 840, φαίνεται στο σχήμα 8.43. Το ραδιόφωνο είναι φορητό (τροφοδότηση με 6-9V) και διαθέτει φίλτρο ενδιάμεσης συχνότητας (IF) που περιέχει κρύσταλλο (σχ. 8.21).

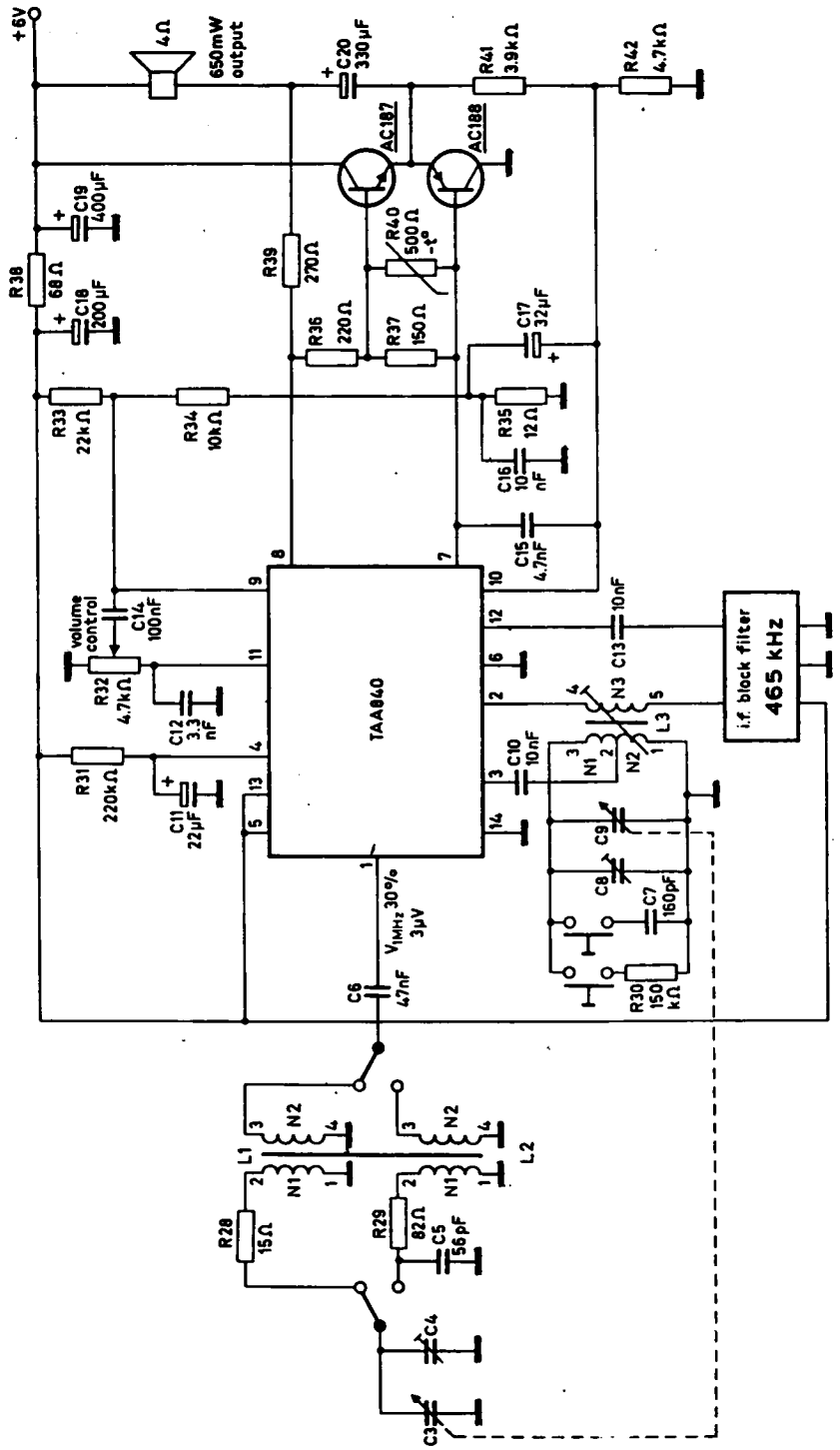
Το ολοκληρωμένο TAA 840 έχει ενισχυτή ραδιοσυχνότητας, μεταλλάκτη ραδιοσυχνότητας (αυτοταλαντούμενο μίκτη), ενισχυτή ενδιάμεσης συχνότητας, φωρατή και προενισχυτή ακουστικού σήματος. Διαθέτει, επίσης, ενισχυτή AGC, που ελέγχει την απολαβή του ενισχυτή ραδιοσυχνότητας και της πρώτης βαθμίδας του ενισχυτή ενδιάμεσης συχνότητας. Πλαισιώνεται από τα τρανζίστορ AC187/AC188, που συγκροτούν τον ενισχυτή ισχύος του ακουστικού σήματος, σε σύνδεση συμπληρωματικής συμμετρίας.

Το ραδιόφωνο έχει ευαισθησία 3 μV στο 1 MHz με διαμόρφωση 30% και εφαρμογή του σήματος στην είσοδο του ολοκληρωμένου (ακροδέκτη 1), για ισχύ εξόδου 650 mW σε μεγάφωνο με αντίσταση 4Ω. Η ισχύς αυτή αποδίδεται με το ποτενσιόμετρο volume control τελείως ανοικτό (μέγιστη διέγερση του ενισχυτή ακουστικού σήματος).

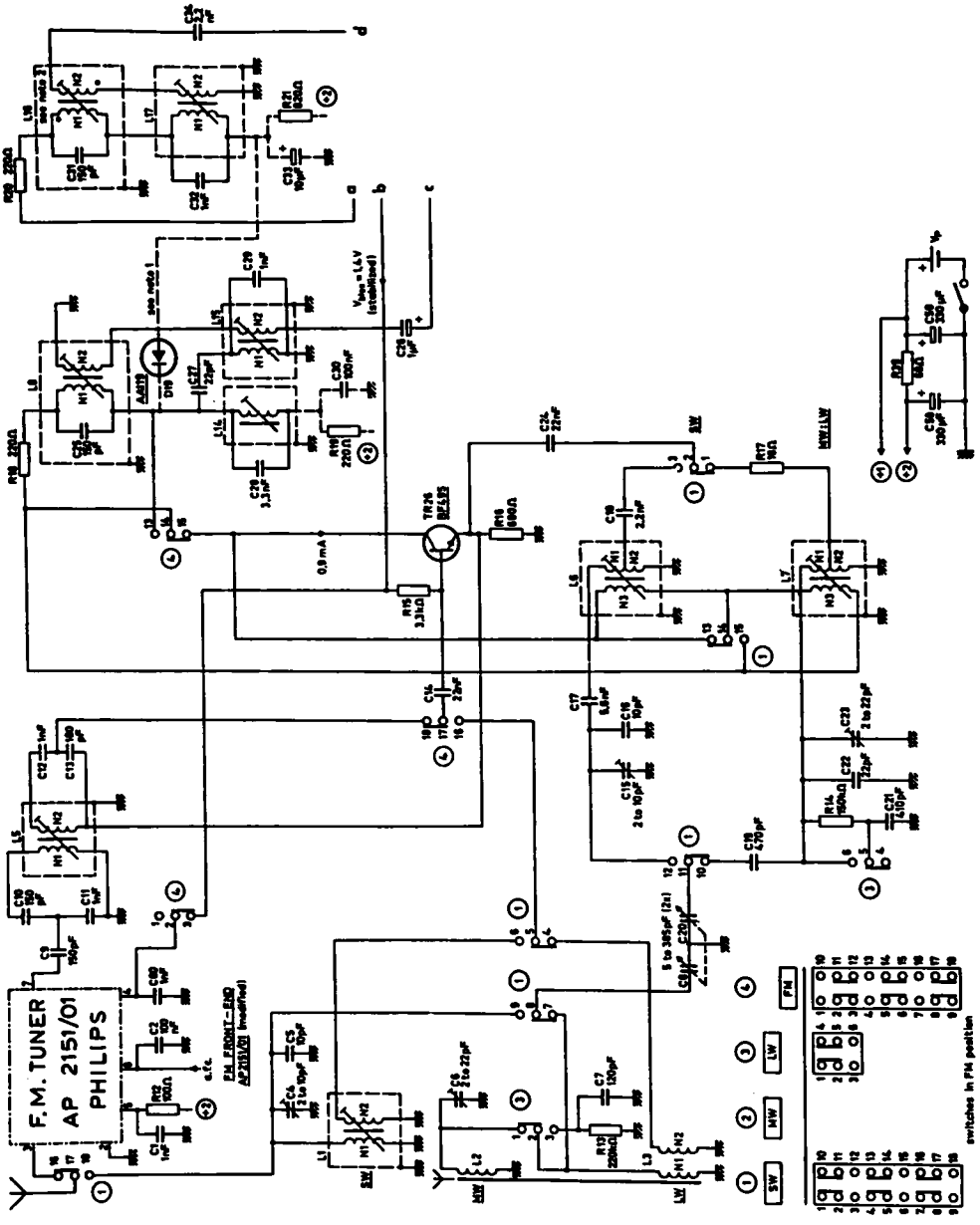
Σημειώνομε ότι συνδεσμολογίες τέτοιων ραδιοφώνων μπορούμε να πάρουμε με συνδυασμό του ολοκληρωμένου μA720 (σχ. 8.31) και των ολοκληρωμένων μA706 (σχ. 8.26), TBA 641 (σχ. 8.27), TBA 810 (σχ. 8.28) και άλλων. Οι συνδεσμολογίες αυτές δεν έχουν ανάγκη συμπληρωματικών τρανζίστορ για την ενίσχυση του ακουστικού σήματος και χρειάζονται μόνο ένα φωρατή. Όμως, κι αυτός ο φωρατής δεν χρειάζεται στο συνδυασμό, π.χ., του ολοκληρωμένου TAA 840 (σχ. 8.43) και του ολοκληρωμένου TBA 641 (σχ. 8.27) ή του TBA 810 (σχ. 8.28).

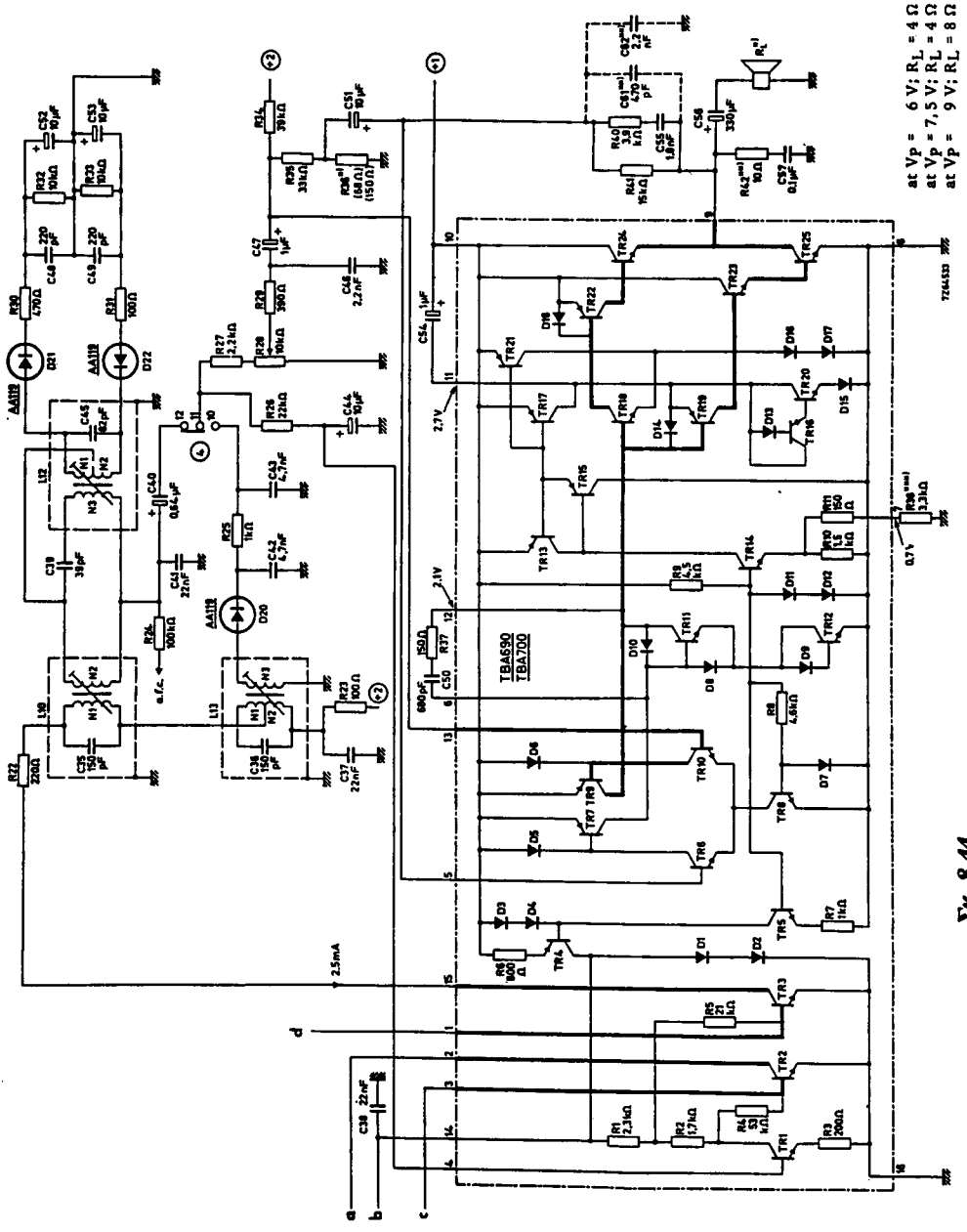
Τελειώνομε με την παρουσίαση (σχ. 8.44) της συνδεσμολογίας ραδιοφώνου AM (μακρών, μεσαίων και βραχέων κυμάτων) και FM με το ολοκληρωμένο κύκλωμα TBA 700 ή TBA 690 και το συντονιστή FM AP 2151/01 της Philips.

Το ολοκληρωμένο TBA 700, του οποίου το ισοδύναμο κύκλωμα φαίνεται στο σχήμα 8.44, διαθέτει ενισχυτή ενδιάμεσης συχνότητας με δύο βαθμίδες, προενισχυτή ακουστικού σήματος με δύο βαθμίδες και ενισχυτή ισχύος του ακουστικού σήματος. Διαθέτει, επίσης, κύκλωμα AGC και κύκλωμα σταθεροποιήσεως της



Σχ. 8.43.
Ραδιόφωνο AM με το ολοκληρωμένο κύκλωμα TAA 840.


F.M. TUNER
AP 2151/01
PHILIPS
FM FRONT-END
AP2151/01 (modified)
switches in FM position
SW
MW
LW
FM



Σχ. 8.44.
Συνδεσμολογία ραδιοφώνου AM/FM.

τροφοδοτικής τάσεως. Η εσωτερική σταθεροποίηση της τροφοδοτικής τάσεως εξασφαλίζει τη λειτουργία του ολοκληρωμένου με τάσεις από 3 έως 12V, χωρίς σημαντική απώλεια της ευαισθησίας των βαθμίδων του ή την εμφάνιση παραμορφώσεων.

Η φώραση των σημάτων AM και FM γίνεται με ιδιαίτερα κυκλώματα φωρατών. Επίσης, ξεχωριστό είναι και το κύκλωμα εισόδου για τις περιοχές AM. Το τρανζίστορ BF495 είναι μεταλλάκτης ραδιοσυχνότητας (αυτοταλαντούμενος μίκτης) για τα AM και πρώτη βαθμίδα ενδιάμεσης συχνότητας για τα FM.

Ο ενισχυτής εξόδου του ακουστικού σήματος εργάζεται σε τάξη Β και αποδίδει ισχύ 1 W σε μεγάφωνο 8Ω, με τροφοδοτική τάση 9 V.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΕΝΑΤΟ

ΗΛΕΚΤΡΑΚΟΥΣΤΙΚΕΣ ΣΥΣΚΕΥΕΣ
ΗΛΕΚΤΡΟΦΩΝΑ – ΜΑΓΝΗΤΟΦΩΝΑ
ΨΗΦΙΑΚΗ ΕΓΓΡΑΦΗ ΚΑΙ ΑΝΑΠΑΡΑΓΩΓΗ ΗΧΟΥ

9.1 Γενικά.

Ηλεκτρακουστικές συσκευές ονομάζονται, γενικά, εκείνες που προορίζονται να μετασχηματίζουν τις ακουστικές ταλαντώσεις (ήχο) σε ηλεκτρικές και αντίστροφα. Ειδικότερα, οι συσκευές που μετατρέπουν τον ήχο σε ηλεκτρικές ταλαντώσεις ονομάζονται ***μικρόφωνα*** και εκείνες που μετατρέπουν τις ηλεκτρικές ταλαντώσεις σε ήχο, ***ακουστικά*** και ***μεγάφωνα.***

Στην κατηγορία των ηλεκτρακουστικών συσκευών ανήκουν ακόμη και εκείνες, που προορίζονται για την εγγραφή και αναπαραγωγή του ήχου με ηλεκτρικά μέσα. Τέτοιες είναι, π.χ., οι ***κεφαλές*** των ***ηλεκτροφώνων*** (pick-up, πικάπ) και των ***μαγνητοφώνων.***

Οι ηλεκτρακουστικές συσκευές είναι αναπόσπαστα στοιχεία των ραδιοτηλεφωνικών και ραδιοφωνικών πομπών (των διαμορφωτών τους). Για τη «ζωντανή», π.χ., μετάδοση μιας ομιλίας ή μουσικής χρειάζονται μικρόφωνα. Για την εγγραφή τους σε μαγνητική ταινία ή δίσκο και τη μετάδοσή τους σε άλλο χρόνο είναι απαραίτητα τα μικρόφωνα, κατά την εγγραφή και οι κεφαλές μαγνητοφώνων ή ηλεκτροφώνων, κατά την εγγραφή και αναπαραγωγή. Όλες αυτές οι διατάξεις, μαζί με πολλές άλλες, βρίσκονται σε ειδικούς χώρους των ραδιοφωνικών σταθμών, δηλαδή στα γνωστά μας ***στούντιο.*** Φυσικά, όλα τα ραδιόφωνα έχουν μεγάφωνο ή ακουστικά για ατομική ακρόαση.

Θα ασχοληθούμε σύντομα με τα είδη, τα βασικά χαρακτηριστικά και την αρχή λειτουργίας των μικροφώνων και μεγαφώνων, παρέχοντας και μερικές συνδεσμολογίες τους. Λίγο περισσότερο θα μας απασχολήσουν τα ηλεκτρόφωνα και μαγνητόφωνα. Η ενασχόληση με τους ραδιοφωνικούς θαλάμους βρίσκεται έξω από τους σκοπούς αυτού του βιβλίου.

9.2 Είδη και χαρακτηριστικά μικροφώνων και μεγαφώνων.

Τα μικρόφωνα, ανάλογα με την κατασκευή τους, διακρίνονται σε μικρόφωνα άνθρακα, κρυσταλλικά μικρόφωνα, μικρόφωνα πυκνωτή, δυναμικά μικρόφωνα ή κινητού πηνίου, μικρόφωνα ταινίας και μικρόφωνα επαφής.

Τα βασικά χαρακτηριστικά, που επιτρέπουν την εκτίμηση της ποιότητας ενός μικροφώνου, είναι τα ακόλουθα:

1) Η ευαισθησία. Είναι η ικανότητα του μικροφώνου να παρέχει στην έξοδό του μεγάλη τάση με εφαρμογή μικρής ηχητικής πιέσεως. Η ευαισθησία εκτιμάται από την τιμή της τάσεως εξόδου του μικροφώνου (σε mV) με εφαρμογή ηχητικής πιέσεως ίσης με τη μονάδα της. Ως μονάδα ηχητικής πιέσεως χρησιμοποιείται η ατμοσφαιρική πίεση (βαρίδα, σύμβολο bar), που είναι ίση με ένα εκατομμύριο δύνες σε κάθε cm^3 αέρα. Επομένως η ευαισθησία εκφράζεται σε mV/bar.

2) Η απόκριση. Εκφράζει την ευαισθησία του μικροφώνου σε όλες τις συχνότητες της ακουστικής περιοχής (20-20000 Hz). Η ευαισθησία αναφέρεται συνήθως στη συχνότητα των 1000 Hz. Ένα καλό μικρόφωνο πρέπει να έχει την ίδια περίπου ευαισθησία και στις υπόλοιπες ακουστικές συχνότητες. Η απόκριση παρέχεται από καμπύλη, που έχει την ίδια περίπου μορφή με την καμπύλη αποκρίσεως των ενισχυτών ακουστικών συχνοτήτων.

3) Η πιστότητα. Ονομάζομε πιστότητα ενός μικροφώνου την ικανότητά του να μετατρέπει τις ηχητικές ταλαντώσεις σε ακριβώς αντίστοιχες ηλεκτρικές ταλαντώσεις χωρίς παραμορφώσεις. Ένα «πιστό» μικρόφωνο παρέχει τη δυνατότητα αναγνωρίσεως του ομιλητή από τη φωνή του.

3) Η κατευθυντικότητα. Εκφράζεται με διάγραμμα, που λέγεται ***πολικό διάγραμμα*** και δείχνει την ευαισθησία για διάφορες θέσεις του ομιλητή γύρω από το μικρόφωνο, οι οποίες όμως απέχουν εξίσου από αυτό. Τα μικρόφωνα παρέχουν τη μεγαλύτερη ευαισθησία προς τη μετωπική κατεύθυνση και ελάχιστη προς την αντίθετη. Το πολικό διάγραμμα ή ***διάγραμμα κατευθυντικότητας*** είναι κλειστή επιφάνεια, η οποία στο επίπεδο έχει συνήθως τη μορφή καρδιοειδούς καμπύλης.

Τέλος, τα μικρόφωνα, ανάλογα με τη σύνθετη αντίσταση που παρουσιάζουν, διακρίνονται σε μικρόφωνα ***χαμηλής*** και ***υψηλής αντιστάσεως.*** Η αντίσταση του μικροφώνου είναι απαραίτητο στοιχείο για τη σύνδεσή του στην είσοδο μιας ενισχυτικής βαθμίδας. Ανάλογα με την τιμή της αντιστάσεως αυτής και της αντιστάσεως εισόδου της βαθμίδας, μπορεί να χρειάζεται ή να μη χρειάζεται μετασχηματιστής προσαρμογής των αντιστάσεων αυτών (μικροφώνου και εισόδου βαθμίδας).

Τα μεγάφωνα διακρίνονται σε τρία είδη: στα μεγάφωνα μόνιμου μαγνήτη, στα ηλεκτροδυναμικά και στα μεγάφωνα χοάνης (κόρνες). Τα χαρακτηριστικά τους είναι:

1) Η ευαισθησία, που εκφράζεται σε bar/V (βαρίδες ανά βολτ).
2) Η απόκριση.
3) Η πιστότητα.
4) Η κατευθυντικότητα.
5) Η σύνθετη αντίσταση.
6) Η ακουστική ισχύς εξόδου και
7) Η απόδοση.

Το τελευταίο χαρακτηριστικό, δηλαδή η απόδοση, είναι ο λόγος της ακουστικής ισχύος, που αποδίδει το μεγάφωνο, προς την ηλεκτρική ισχύ τροφοδοτήσεώς του.

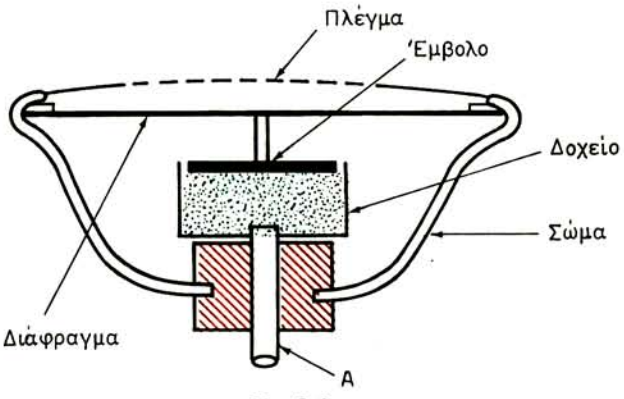
Τα μεγάφωνα ταξινομούνται ανάλογα με την ακουστική ισχύ, τη σύνθετη αντίσταση και το μέγεθός τους, που εκτιμάται από την εξωτερική διάμετρο του κώνου (συνήθως σε ίντσες).

Τέλος, τα ακουστικά κατασκευάζονται και λειτουργούν όπως τα μεγάφωνα και διαφέρουν από αυτά μόνο στη σύνθετη αντίσταση και, φυσικά, στο μέγεθος. Υπάρχουν ακουστικά χαμηλής και υψηλής σύνθετης αντιστάσεως και μπορούν να αποδώσουν σε σχετικά χαμηλή περιοχή συχνοτήτων (100-3500 Hz). Τελευταία, εμφανίσθηκαν ακουστικά μεγάλης πιστότητας με μικρή εσωτερική αντίσταση (10-50 Ω).

9.3 Μικρόφωνο άνθρακα.

Το μικρόφωνο άνθρακα (σχ. 9.1) αποτελείται από μεταλλικό σώμα, μέσα στο οποίο είναι τοποθετημένο μικρό μονωτικό δοχείο, που περιέχει κόκκους άνθρακα. Το μονωτικό δοχείο φράσσεται με μεταλλικό έμβολο, που είναι στερεωμένο στο επίσης μεταλλικό διάφραγμα του μικροφώνου.

Από τον πυθμένα του δοχείου εξέχει ο μεταλλικός ακροδέκτης Α, που



Σχ. 9.1.
Αρχή κατασκευής μικροφώνου από άνθρακα.

βρίσκεται σε επαφή με τους κόκκους του άνθρακα, αλλά είναι μονωμένος από το σώμα του μικροφώνου. Ο άλλος ακροδέκτης είναι το μεταλλικό σώμα που βρίσκεται σε ηλεκτρική επαφή με το διάφραγμα. Για την προστασία του διαφράγματος, το σώμα του μικροφώνου φράσσεται με μεταλλικό πλέγμα.

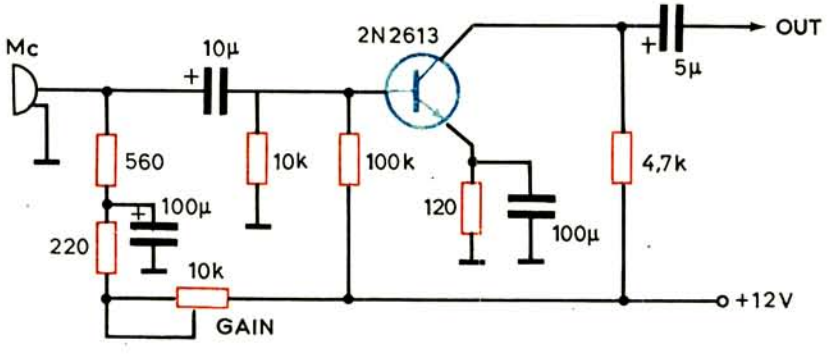
Η λειτουργία του μικροφώνου άνθρακα στηρίζεται στη μεταβολή της ηλεκτρικής αντιστάσεως των κόκκων. Εφαρμόζομε στους ακροδέκτες του μικροφώνου συνεχή τάση 1,5-4,5 V. Η πρόσπτωση ηχητικών κυμάτων στο διάφραγμα προκαλεί την παλμική του κίνηση, η οποία μεταδίδεται στο έμβολο με αποτέλεσμα να συμπιέζονται οι κόκκοι του άνθρακα. Η μεταβολή της πιέσεως των κόκκων προκαλεί αντίστοιχη μεταβολή της ηλεκτρικής αντιστάσεώς τους και επομένως μεταβολή του ρεύματος που κινεί η πηγή στο κύκλωμα του μικροφώνου. Το μέγεθος του μεταβαλλόμενου αυτού ρεύματος είναι ανάλογο της πιέσεως που ασκούν τα ηχητικά κύματα στο διάφραγμα και η συχνότητά του είναι ίση με εκείνη των κυμάτων. Το μεταβαλλόμενο ρεύμα, διερχόμενο από μια αντίσταση φορτίου του μικροφώνου, δημιουργεί την τάση ακουστικής συχνότητας, που εφαρμόζεται σε μια ενισχυτική βαθμίδα.

Το μικρόφωνο άνθρακα έχει απλή και ανθεκτική κατασκευή, μεγάλη ευαισθησία, μικρό βάρος και χαμηλό κόστος. Η πιστότητά του είναι χαμηλή και δημιουργεί θορύβους εξαιτίας τυχαίων δονήσεων των κόκκων του άνθρακα.

Τα μικρόφωνα άνθρακα χρησιμοποιούνται παντού, όπου χρειάζεται υψηλή ευαισθησία για αναπαραγωγή ομιλίας και όχι μουσικής.

Η αντίστασή τους είναι μικρή (50-100 Ω) και στην περίπτωση που η αντίσταση εισόδου της ενισχυτικής βαθμίδας είναι μεγάλη χρειάζεται μετασχηματιστής προσαρμογής. Ο μετασχηματιστής δημιουργεί επί πλέον ανύψωση της τάσεως εξόδου του μικροφώνου με αποτέλεσμα την αύξηση της ευαισθησίας του.

Μια συνδεσμολογία ενισχυτή για μικρόφωνο άνθρακα, χωρίς μετασχηματιστή προσαρμογής, φαίνεται στο σχήμα 9.2. Εδώ, η προσαρμογή γίνεται με κατάλ-



Σχ. 9.2.

Σύνδεση μικροφώνου άνθρακα σε ενισχυτική βαθμίδα.

ληλο συνδυασμό των αντιστάσεων του κυκλώματος βάσεως του τρανζίστορ. Η τάση εξόδου του μικροφώνου ελέγχεται με ρύθμιση της τροφοδοτικής του τάσεως μέσα από τη μεταβλητή αντίσταση των 10 kΩ.

9.4 Κρυσταλλικό μικρόφωνο.

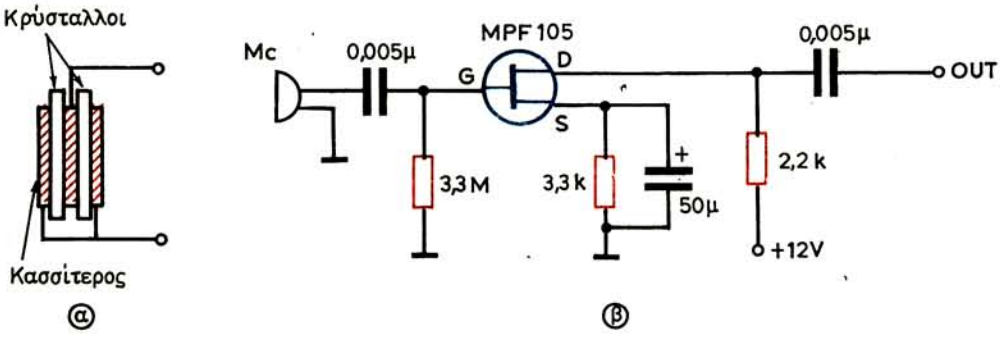
Αποτελείται από πλακίδιο κρυστάλλου τρυγικού καλιονατρίου, που τοποθετείται μεταξύ δύο πολύ λεπτών φύλλων από κασσίτερο. Τα φύλλα αυτά αποτελούν τους ακροδέκτες εξόδου του μικροφώνου. Τις περισσότερες φορές χρησιμοποιούνται δύο κρύσταλλοι και τρία φύλλα από κασσίτερο τοποθετημένα όπως φαίνεται στο σχήμα 9.3(α). Αυτό, γίνεται για την αύξηση της τάσεως εξόδου του μικροφώνου. Το μεσαίο φύλλο του κασσιτέρου αποτελεί τον ένα ακροδέκτη και τα δύο εξωτερικά, τον άλλο.

Η λειτουργία του κρυσταλλικού μικροφώνου στηρίζεται στο πιεζοηλεκτρικό φαινόμενο. Η πρόσπτωση ηχητικών κυμάτων στον κρύσταλλο προκαλεί την κάμψη του και επομένως εμφάνιση τάσεως μεταξύ των επιφανειών του.

Τα κρυσταλλικά μικρόφωνα έχουν ομαλή καμπύλη αποκρίσεως για συχνότητες από 500 έως 10000 Hz, καλή πιστότητα, λειτουργία χωρίς εξωτερική πηγή και μικρό βάρος. Όμως, είναι μικρόφωνα χαμηλής μάλλον ευαισθησίας και μικρής μηχανικής αντοχής.

Στην κατηγορία των κρυσταλλικών μικροφώνων ανήκουν και τα λεγόμενα ***κεραμικά,*** που είναι κατασκευασμένα με τιτανιούχο βάριο ή τιτανο–ζιρκονισμένο μόλυβδο. Έχουν μεγαλύτερη τάση εξόδου από τα προηγούμενα, αλλά και κάποια ευαισθησία στη θερμοκρασία και την υγρασία.

Οι δύο αυτοί τύποι μικροφώνων χρησιμοποιούνται σε ενισχυτικές διατάξεις καλής ποιότητας, σε ραδιοφωνικούς σταθμούς και σε εγγραφές ταινιών. Έχουν υψηλή εσωτερική αντίσταση και συνδέονται απευθείας στην είσοδο μιας ενισχυτικής βαθμίδας [σχ. 9.3(β)], χωρίς κύκλωμα προσαρμογής.



Σχ. 9.3.

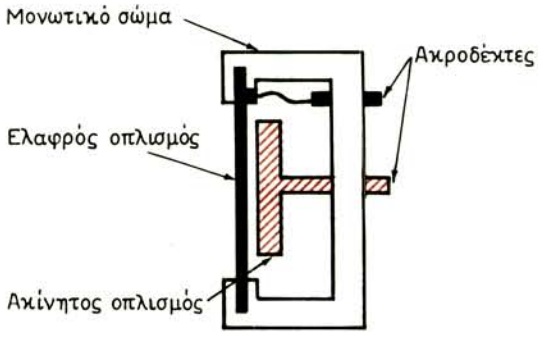
α) Αρχή κατασκευής κρυσταλλικού μικροφώνου. β) Σύνδεσή του σε ενισχυτική βαθμίδα.

9.5 Μικρόφωνο πυκνωτή.

Πρόκειται για πυκνωτή, του οποίου ο ένας οπλισμός είναι λεπτός και πάλλεται ελεύθερα, ενώ ο άλλος είναι ακίνητος (σχ. 9.4). Μεταξύ των οπλισμών του πυκνωτή εφαρμόζεται συνεχής τάση 100-200 V, μέσα από μια αντίσταση φορτίου. Όταν τα ηχητικά κύματα προσπίπτουν στον κινητό οπλισμό, μεταβάλλεται η χωρητικότητα (μεταβολή της αποστάσεως μεταξύ των οπλισμών) του μικροφώνου πυκνωτή με αποτέλεσμα να προκαλείται αντίστοιχη μεταβολή της τάσεως φορτίσεώς του. Έτσι, κυκλοφορεί κάποιο ρεύμα στην αντίσταση φορτίου του και εμφανίζεται μεταβαλλόμενη τάση στα άκρα της. Η τάση αυτή οδηγείται στην είσοδο μιας ενισχυτικής βαθμίδας ακουστικών συχνοτήτων.

Τα μικρόφωνα πυκνωτή έχουν εξαιρετική πιστότητα, αλλά χαμηλή ευαισθησία. Είναι ογκώδη και δύσκολα μεταφέρονται, αφού χρειάζονται και υψηλή τάση για τη λειτουργία τους. Χρησιμοποιούνται μόνο σε μόνιμες μικροφωνικές εγκαταστάσεις, όπως είναι των αιθουσών διαλέξεων ή συναυλιών, των ραδιοφωνικών θαλάμων κλπ. Η εσωτερική τους αντίσταση είναι υψηλή.

Πρέπει να σημειώσομε ότι σήμερα υπάρχουν μικρόφωνα πυκνωτή, πολύ μικρού όγκου, ικανά να λειτουργήσουν με τις χαμηλές τροφοδοτικές τάσεις των φορητών ραδιομαγνητοφώνων.

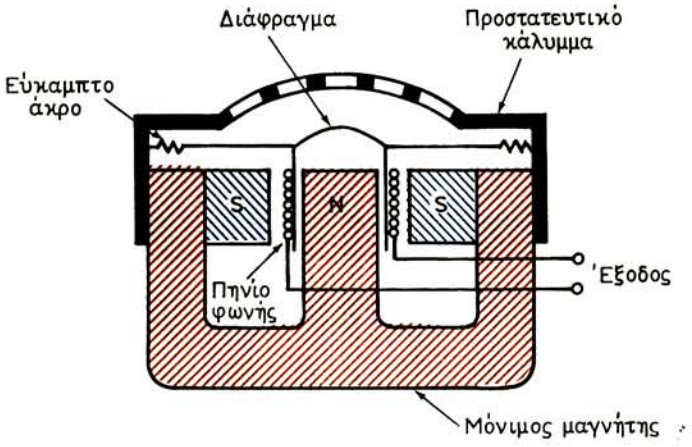


Σχ. 9.4.
Αρχή κατασκευής μικροφώνου πυκνωτή.

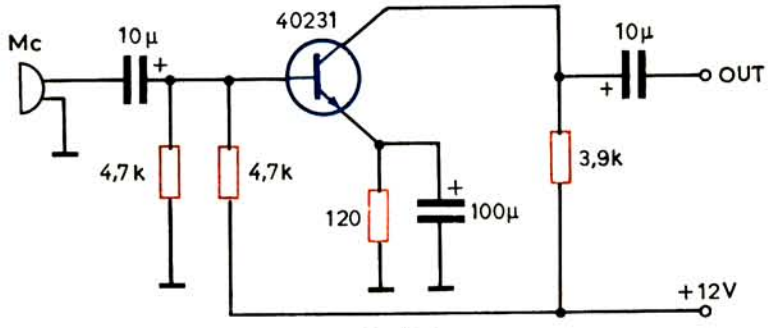
9.6 Δυναμικό μικρόφωνο.

Το δυναμικό μικρόφωνο ή μικρόφωνο κινητού πηνίου αποτελείται από έναν ισχυρό μόνιμο μαγνήτη και ένα πηνίο τοποθετημένο μεταξύ των πόλων του μαγνήτη έτσι, ώστε να κινείται ελεύθερα. Το πηνίο είναι στερεωμένο στην κορυφή μικρού κώνου ή σε κατάλληλο διάφραγμα (σχ. 9.5).

Η λειτουργία του μικροφώνου αυτού στηρίζεται στο φαινόμενο της επαγωγής. Όταν ηχητικά κύματα προσπίπτουν στο διάφραγμα, το πηνίο πάλλεται μέσα



Σχ. 9.5.
Αρχή κατασκευής δυναμικού μικροφώνου.



Σχ. 9.6.
Σύνδεση δυναμικού μικροφώνου χαμηλής αντιστάσεως στην είσοδο ενισχυτικής βαθμίδας.

στο μαγνητικό πεδίο του μόνιμου μαγνήτη. Με την κίνηση αυτή τέμνονται οι μαγνητικές γραμμές (μεταβάλλεται η μαγνητική ροή) του πεδίου με αποτέλεσμα να εμφανίζεται στα άκρα του πηνίου επαγωγική τάση.

Η ευαισθησία των μικροφώνων κινητού πηνίου είναι υψηλότερη από την ευαισθησία όλων των άλλων μικροφώνων. Έχει επίσης πολύ καλή πιστότητα, μικρό μέγεθος και δεν χρειάζεται εξωτερική τροφοδοτική πηγή. Χρησιμοποιείται σε όλες τις καλές μικροφωνικές εγκαταστάσεις, σε ραδιοφωνικούς θαλάμους κλπ.

Ως προς τη σύνθετη αντίσταση τα δυναμικά μικρόφωνα διακρίνονται σε δύο κατηγορίες: στα χαμηλής και στα υψηλής αντιστάσεως. Στο σχήμα 9.6 φαίνεται η σύνδεση δυναμικού μικροφώνου χαμηλής αντιστάσεως στην είσοδο ενισχυτικής βαθμίδας. Το μικρόφωνο υψηλής αντιστάσεως μπορεί να συνδεθεί στην είσοδο της ενισχυτικής βαθμίδας του σχήματος 9.3.

9.7 Μικρόφωνο ταινίας.

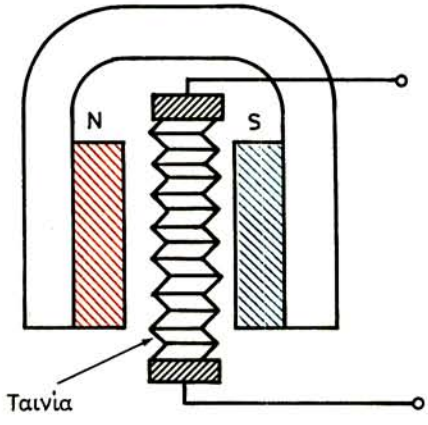
Αποτελείται από λεπτή πτυχωτή μεταλλική ταινία, συνήθως από αλουμίνιο, η οποία πάλλεται ελεύθερα μέσα στο μαγνητικό πεδίο ισχυρού μόνιμου μαγνήτη (σχ. 9.7). Η λειτουργία του είναι όμοια με του δυναμικού μικροφώνου.

Με την πρόσπτωση ηχητικών κυμάτων, η ταινία πάλλεται μέσα στο μαγνητικό πεδίο και εμφανίζεται στα άκρα της επαγωγική τάση. Επειδή το μέγεθος της τάσεως αυτής εξαρτάται και από την ταχύτητα κινήσεως της ταινίας, το μικρόφωνο είναι γνωστό και ως «μικρόφωνο ταχύτητας».

Η ευαισθησία του δεν είναι υψηλή, όμως παρουσιάζει εξαιρετική απόκριση στις συχνότητες 30-15000 Hz. Έχει κατευθυνόμενη λήψη από δύο αντίθετες κατευθύνσεις, κάθετες στο επίπεδο της ταινίας, πράγμα που επιτρέπει να χρησιμοποιείται ταυτόχρονα από δύο συνομιλητές.

Έχει συνήθως μικρή εσωτερική αντίσταση και μπορεί να συνδεθεί στην είσοδο της ενισχυτικής βαθμίδας του σχήματος 9.6.

Τελειώνοντας με τα κλασικά μικρόφωνα, ας σημειώσομε ότι στην κατηγορία τους, συνήθως των μικροφώνων άνθρακα και σπανιότερα των δυναμικών, ανήκουν και τα λεγόμενα «μικρόφωνα επαφής» (***λαρυγγόφωνα*** και ***χειλόφωνα***). Διαφέρουν από τα προηγούμενα μόνο ως προς το ότι μετατρέπουν, σε ηλεκτρικές μεταβολές, τις δονήσεις κάποιου μέσου, εκτός του αέρα, που εφάπτεται στο δονούμενο μέρος του ανθρώπινου σώματος.



Σχ. 9.7.
Αρχή κατασκευής μικροφώνου ταινίας.

9.8 Ραδιομικρόφωνο.

Τα ραδιομικρόφωνα χρησιμοποιούνται πολύ στους ραδιοφωνικούς θαλάμους και στις αίθουσες διαλέξεων, όπου οι συνομιλητές ή εισηγητές δεν πρέπει να κρατούν στο χέρι κάποιο μικρόφωνο ή να πλησιάζουν σε επιτραπέζιο μικρό-

φωνο ή, ακόμη, να εμποδίζεται η μετακίνησή τους από τα μικροφωνικά καλώδια.

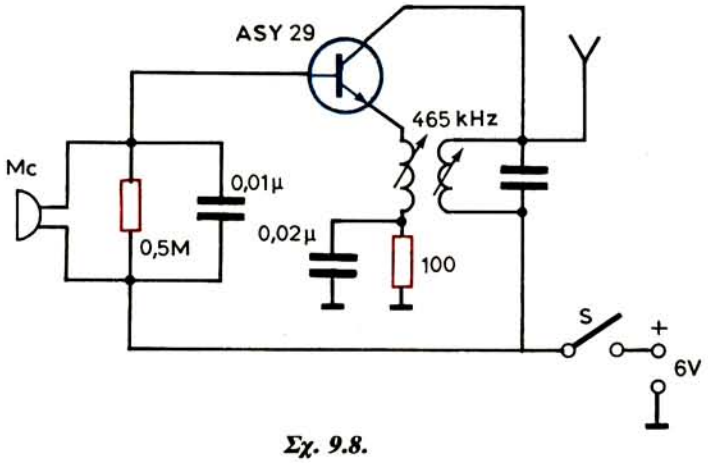
Στην ουσία, πρόκειται για μικρούς πομπούς, που διαμορφώνονται κατά πλάτος ή συχνότητα, με τη βοήθεια μικροφώνου, και ακτινοβολούν σε λίγα μέτρα, χωρίς κεραία. Ένας δέκτης λαμβάνει τα σήματα των μικροπομπών, που λειτουργούν όλοι με την ίδια φέρουσα συχνότητα, και ύστερα από φώραση και ενίσχυση οδηγούνται στο διαμορφωτή του ραδιοφωνικού πομπού ή αναπαράγονται από τους ενισχυτές των αιθουσών διαλέξεων.

Υπάρχει πληθώρα συνδεσμολογιών ραδιομικροφώνων στα AM και FM. Παρουσιάζομε δειγματοληπτικά τρεις από αυτές.

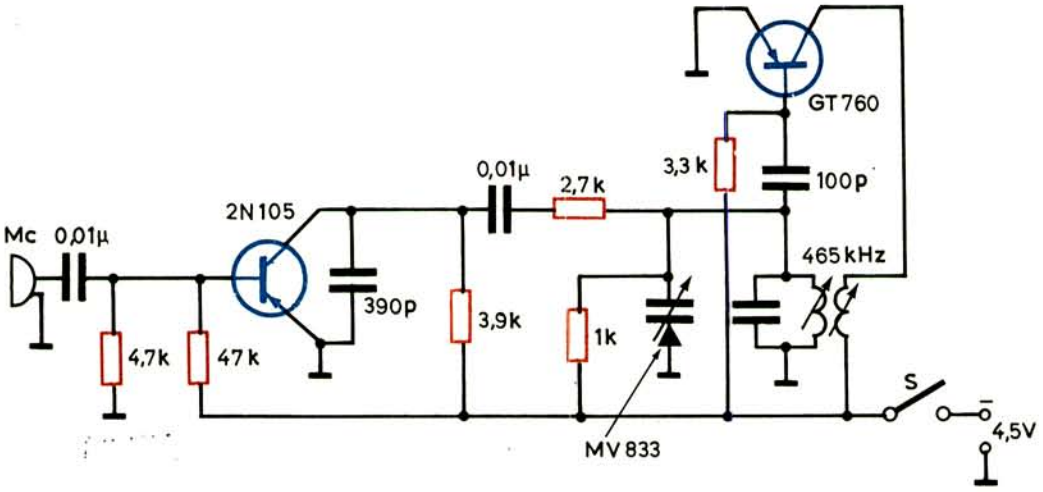
Η πρώτη (σχ. 9.8) αποτελείται από έναν απλό ταλαντωτή LC, που εργάζεται στα 465 kHz και διαμορφώνεται κατά πλάτος με τη βοήθεια κεραμικού μικροφώνου. Το κύκλωμα ταλαντώσεων είναι συνηθισμένος μετασχηματιστής ενδιάμεσης συχνότητας ραδιοφώνου, που μπορεί να ακτινοβολεί άμεσα, αν αφαιρεθεί ο θώρακάς του. Η θετική ανάδραση γίνεται μεταξύ συλλέκτη και εκπομπού, ενώ το μικρόφωνο συνδέεται στο κύκλωμα της βάσεως. Τροφοδοτείται με μπαταρία των 6 V, η οποία διακόπτεται με τη βοήθεια του διακόπτη S.

Η δεύτερη συνδεσμολογία (σχ. 9.9) είναι συνθετότερη. Ο ταλαντωτής εργάζεται επίσης στα 465 kHz, αλλά διαμορφώνεται κατά συχνότητα με τη βοήθεια της χωρητικής διόδου MV 833, η οποία παραλληλίζει το κύκλωμα ταλαντώσεων. Η διαμόρφωση συχνότητας επιτρέπει την αυτόματη ρύθμιση της εντάσεως του ήχου.

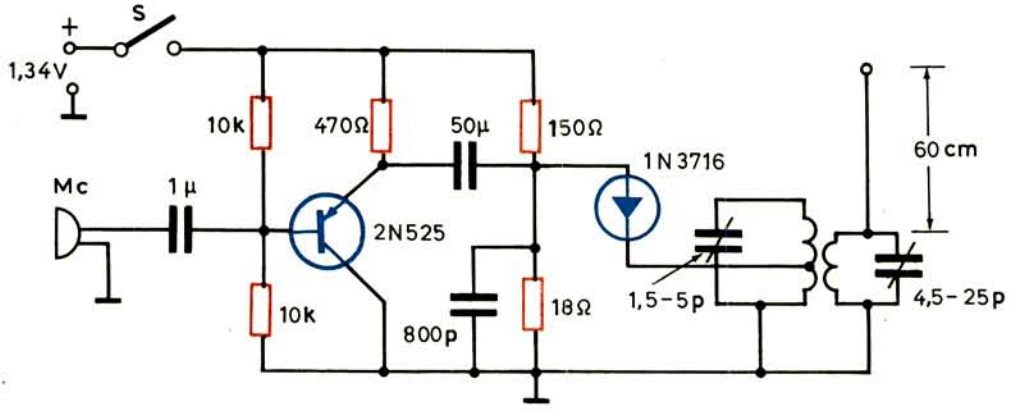
Η λειτουργία του ραδιομικροφώνου στα 465 kHz εξασφαλίζει ένταση πεδίου γύρω στα 10μV/m σε απόσταση μερικών μέτρων γύρω του, χωρίς να υπερβαίνει τους περιορισμούς ραδιοακτινοβολίας, δηλαδή χωρίς να παρενοχλεί γειτονικούς



Σχ. 9.8.
Ραδιομικρόφωνο AM.



Σχ. 9.9.
Ραδιομικρόφωνο FM.



Σχ. 9.10.
Ραδιομικρόφωνο FM με δίοδο tunnel.

δέκτες. Το κύκλωμα ταλαντώσεων είναι και εδώ ένας μετασχηματιστής ενδιάμεσης συχνότητας ραδιοφώνου ΑΜ, που ακτινοβολεί άμεσα, όταν αφαιρεθεί ο θώρακάς του.

Τέλος, η τρίτη συνδεσμολογία (σχ. 9.10) είναι ραδιομικρόφωνο FM που εργάζεται στην περιοχή των 96-110 MHz. Ο ταλαντωτής του χρησιμοποιεί τη δίοδο tunnel 1N3716, που είναι ταυτόχρονα και ο διαμορφωτής FM. Η τάση τροφοδοτήσεως της συνδεσμολογίας είναι 1,34 V και το συνολικό ρεύμα 4,7mA.

Η συνδεσμολογία ακτινοβολεί με κεραία 60 cm περίπου και δημιουργεί σε απόσταση 150-200 m ένταση πεδίου που μπορεί να διεγείρει ένα συνηθισμένο ραδιόφωνο FM του εμπορίου.

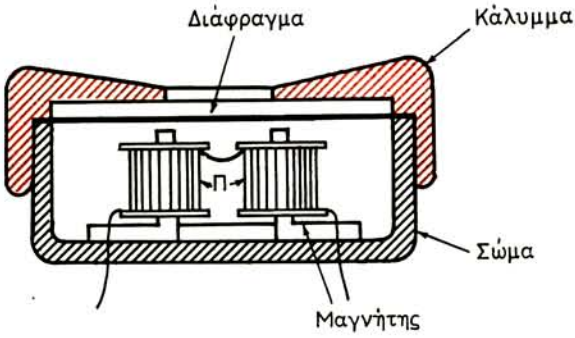
9.9 Ακουστικά.

Τα ακουστικά είναι οι πρώτες συσκευές που χρησιμοποιήθηκαν, πριν από το μεγάφωνο, για τη μετατροπή των ηλεκτρικών ταλαντώσεων ακουστικής συχνότητας σε ηχητικά κύματα. Αποτελούνται από δύο πηνία (σχ. 9.11) που συνδέονται σε σειρά και είναι τοποθετημένα γύρω από τους πόλους ενός μόνιμου μαγνήτη. Η χρήση μόνιμου μαγνήτη μεγαλώνει την ευαισθησία των ακουστικών.

Το ρεύμα ακουστικής συχνότητας, διερχόμενο από τα πηνία, προκαλεί αυξομείωση της μαγνητίσεως του μόνιμου μαγνήτη. Επειδή μπροστά από τους πόλους του μαγνήτη είναι τοποθετημένο χαλύβδινο διάφραγμα (οπλισμός), το τελευταίο θα έλκεται με αυξομειούμενη δύναμη στο ρυθμό της ακουστικής συχνότητας του ρεύματος που διαρρέει τα πηνία. Η δόνηση αυτή του διαφράγματος μεταδίδεται στον αέρα και έτσι δημιουργούνται τα ηχητικά κύματα που ερεθίζουν το αισθητήριο της ακοής. Το διάφραγμα στερεώνεται επάνω στο σώμα του ακουστικού με ειδικό κάλυμμα.

Τα ακουστικά μπορούν να αποδώσουν στην περιοχή συχνοτήτων 100-10000 Hz με καμπύλη αποκρίσεως που δεν είναι ομαλή. Αυτό οφείλεται στην ιδιοσυχνότητα των εξαρτημάτων τους και κυρίως του διαφράγματος.

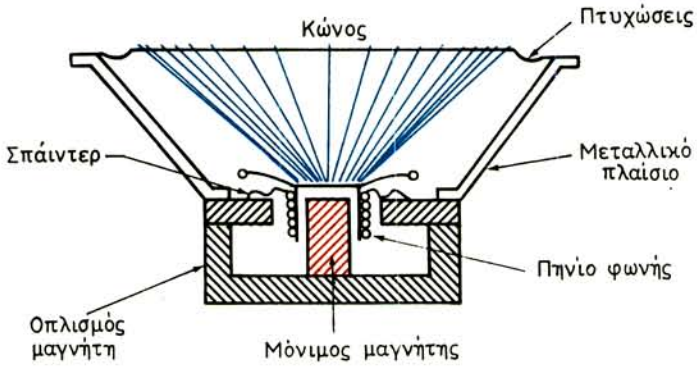
Η σύνθετη αντίσταση των πηνίων κυμαίνεται από 50 Ω έως 20 kΩ. Σήμερα υπάρχουν ακουστικά υψηλής πιστότητας με μικρή αντίσταση (10-50 Ω). Τα ακουστικά μπορούν να συνδεθούν στην έξοδο των ενισχυτών άμεσα ή με μετασχηματιστή προσαρμογής. Βασικό τους μειονέκτημα είναι ότι δεν μπορούν να χρησιμοποιηθούν για ομαδική ακρόαση.



Σχ. 9.11.
Αρχή κατασκευής ακουστικών.

9.10 Μεγάφωνο μόνιμου μαγνήτη.

Αποτελείται κυρίως από έναν ισχυρό μόνιμο μαγνήτη, ένα πηνίο, που είναι τυλιγμένο σε χάρτινο κύλινδρο (***πηνίο φωνής***), και τον κώνο, που είναι κατα-



Σχ. 9.12.
Αρχή κατασκευής μεγαφώνου με μόνιμο μαγνήτη.

σκευασμένος από ειδικό χαρτί (σχ. 9.12). Το πηνίο φωνής στερεώνεται στην κορυφή του κώνου και περιβάλλει τον πυρήνα του μόνιμου μαγνήτη. Η βάση του κώνου φέρει περιφερειακά κατάλληλες πτυχώσεις και στερεώνεται στο μεταλλικό πλαίσιο του μεγαφώνου. Το πηνίο φωνής (και ο κώνος) μπορεί να κινείται ελεύθερα στο διάκενο μεταξύ μαγνήτη και οπλισμών του. Η κίνηση του πηνίου φωνής στο κέντρο του διακένου εξασφαλίζεται με τη βοήθεια του λεγόμενου ***σπάιντερ*** (spider = αραχνοειδής δακτύλιος). Το σπάιντερ είναι λεπτή κυκλική μεμβράνη από ευλύγιστο υλικό, που φέρει περιφερειακά πτυχώσεις για την αύξηση της ευλυγισίας της. Στο κέντρο έχει άνοιγμα με διάμετρο ίση με εκείνη του πηνίου φωνής. Στο άνοιγμα αυτό τοποθετείται και στερεώνεται ο κύλινδρος του πηνίου. Η εξωτερική περιφέρεια του σπάιντερ στερεώνεται στον οπλισμό του μαγνήτη.

Η λειτουργία του μεγαφώνου στηρίζεται στις δυνάμεις που αναπτύσσονται από το μαγνητικό πεδίο του μόνιμου μαγνήτη επάνω στους αγωγούς του πηνίου φωνής, που διαρρέονται από ρεύμα ακουστικής συχνότητας. Οι δυνάμεις αυτές είναι μεταβαλλόμενες και θέτουν σε παλμική κίνηση τον κώνο του μεγαφώνου με αποτέλεσμα να δημιουργούνται ηχητικά κύματα.

Η ακουστική ισχύς εξόδου του μεγαφώνου είναι ανάλογη με την ένταση του μαγνητικού πεδίου του μόνιμου μαγνήτη και με την ένταση του ρεύματος, που διαρρέει το πηνίο φωνής. Τα μεγάφωνα κοινής χρήσεως έχουν ισχύ που κυμαίνεται από 0,2 έως 10 W, σύνθετη αντίσταση πηνίου φωνής 2-10 Ω και εξωτερική διάμετρο κώνου 5-42,5 cm ή 2-15 ίντσες.

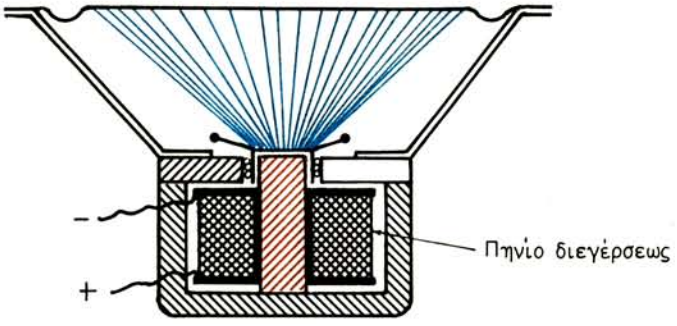
Το μεγάφωνο, ανάλογα με την αντίστασή του και τον τύπο του ενισχυτή ισχύος ακουστικής συχνότητας, μπορεί να συνδεθεί στην έξοδο του τελευταίου είτε άμεσα, είτε μέσα από μετασχηματιστή προσαρμογής.

9.11 Ηλεκτροδυναμικό μεγάφωνο.

Το μεγάφωνο αυτό, τόσο στην κατασκευή, όσο και στη λειτουργία, είναι ίδιο με το προηγούμενο με μόνη διαφορά ότι, αντί για μόνιμο μαγνήτη, φέρει ηλεκτρομαγνήτη. Η περιέλιξη του ηλεκτρομαγνήτη γίνεται γύρω από τον κεντρικό πόλο (σχ. 9.13) και ονομάζεται ***πηνίο διεγέρσεως.*** Το πηνίο διεγέρσεως πρέπει να διαρρέεται από συνεχές ρεύμα και πολύ συχνά συνδέεται στο κύκλωμα ανορθώσεως του ενισχυτή ή του δέκτη και παίρνει τη θέση του πηνίου εξομαλύνσεως (τσοκ). Στη θέση όμως αυτή διαρρέται από ανορθωμένο ρεύμα, το οποίο έχει πάντοτε μια κυμάτωση 50 ή 100 Hz, ανάλογα με τη μορφή της ανορθώσεως (απλή ή διπλή). Η κυμάτωση δημιουργεί μεταβολή του μαγνητικού πεδίου του ηλεκτρομαγνήτη, η οποία αναπαράγεται από το μεγάφωνο με τη μορφή βόμβου 50 ή 100 Hz.

Η κατάργηση του βόμβου γίνεται με το ***πηνίο εξουδετερώσεως.*** Πρόκειται για πηνίο με λίγες σπείρες και χονδρό σύρμα που τυλίγεται επάνω από το πηνίο διεγέρσεως και συνδέεται σε σειρά με το πηνίο φωνής. Το ρεύμα κυματώσεως, που αναπτύσσεται επαγωγικά στο πηνίο αυτό, εξουδετερώνει εκείνο που αναπτύσσεται στο πηνίο φωνής (εξαιτίας διαφοράς φάσεως 180°) και έτσι καταργείται ο βόμβος.

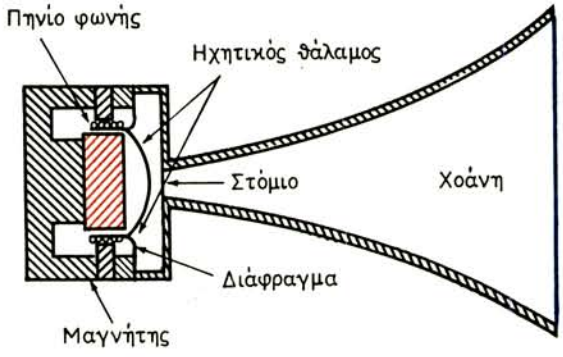
Σημειώνομε ότι το πηνίο διεγέρσεως έχει ωμική αντίσταση 500-1000 Ω και αυτεπαγωγή 20 Η περίπου.



Σχ. 9.13.
Αρχή κατασκευής ηλεκτροδυναμικού μεγαφώνου.

9.12 Μεγάφωνο χοάνης (κόρνα).

Τα μεγάφωνα που είδαμε ως τώρα έχουν μικρή απόδοση και γι' αυτό χρησιμοποιούνται σε κλειστούς χώρους. Όταν χρειάζεται μεγάλη ακουστική απόδοση, όπως συμβαίνει στις μικροφωνικές εγκαταστάσεις υπαίθρου, χρησιμοποιούνται οι κόρνες (σχ. 9.14).



Σχ. 9.14.
Αρχή κατασκευής της κόρνας.

Το μεγάφωνο χοάνης περιλαμβάνει την ***ηχητική κεφαλή*** και τη ***χοάνη.*** Η ηχητική κεφαλή αποτελείται από ένα πολύ ισχυρό μόνιμο μαγνήτη, το πηνίο φωνής και μια μεμβράνη (διάφραγμα), συνήθως από αλουμίνιο. Η χοάνη προσαρμόζεται κατάλληλα στον οπλισμό του μαγνήτη έτσι, ώστε μεταξύ του στομίου της και του διαφράγματος να σχηματίζεται ***ηχητικός θάλαμος.***

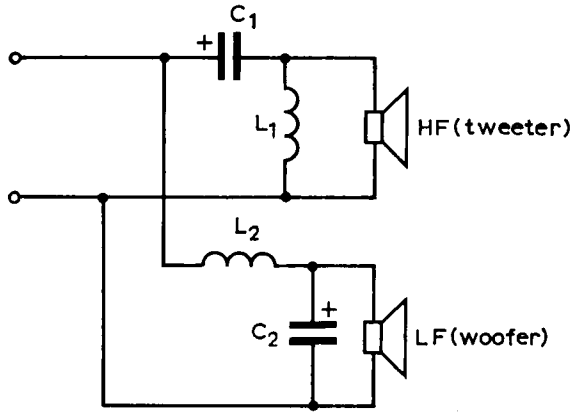
Η χοάνη μετασχηματίζει την ακουστική ισχύ του ηχητικού θαλάμου, που είναι ισχύς υψηλής πιέσεως και χαμηλής ταχύτητας, σε ισχύ χαμηλής πιέσεως και υψηλής ταχύτητας. Έτσι, η χοάνη λειτουργεί σαν σύστημα προσαρμογής του ελεύθερου χώρου προς τον ηχητικό θάλαμο, με αποτέλεσμα την αύξηση της αποδόσεως του μεγαφώνου. Η απόδοση αυτή μπορεί να φθάσει και να ξεπεράσει το 50%, ενώ η απόδοση των κοινών μεγαφώνων είναι περίπου 10%.

9.13 Συνδεσμολογίες μεγαφώνων.

Η απόκριση των μεγαφώνων των διαφόρων κατασκευών δεν είναι ίδια για όλες τις συχνότητες της ακουστικής περιοχής. Υπάρχουν μεγάφωνα με καλύτερη απόκριση στην κατώτερη ή στην ανώτερη ακουστική περιοχή συχνοτήτων. Όταν χρειάζεται βελτίωση της ποιότητας αναπαραγωγής του ήχου, ή όταν η ισχύς εξόδου του ακουστικού ενισχυτή είναι μεγαλύτερη από την ισχύ του μεγαφώνου, συνδέονται στην έξοδο του ενισχυτή δύο ή περισσότερα μεγάφωνα παράλληλα.

Σε οποιαδήποτε περίπτωση συνδέσεως, η ισχύς των ξεχωριστών μεγαφώνων αθροιστικά πρέπει να είναι ίση με την ισχύ του ενισχυτή και η ισοδύναμη αντίστασή τους, προσαρμοσμένη στην αντίσταση εξόδου του ενισχυτή. Π.χ., αν έχομε ενισχυτή με ισχύ εξόδου 20 W, μπορούμε να συνδέσομε παράλληλα δύο μεγάφωνα των 10 W ή τέσσερα μεγάφωνα των 5 W κλπ. Η ισοδύναμη αντίσταση, που θα ληφθεί υπόψη για την προσαρμογή, θα ισούται με την αντίσταση του

ενός μεγαφώνου (στην περίπτωση μεγαφώνων με ίσες αντιστάσεις) δια του αριθμού των συνδεομένων μεγαφώνων. Τα μεγάφωνα μπορούν να συνδεθούν και σε σειρά, τότε όμως αποδίδουν τη μισή ισχύ τους (αν είναι δύο) και η ισοδύναμη αντίσταση διπλασιάζεται.



Σχ. 9.15.
Κύκλωμα διαχωρισμού (cross-over) ακουστικών περιοχών συχνοτήτων.

Ένας τρόπος βελτιώσεως της ποιότητας αναπαραγωγής του ήχου είναι η χρησιμοποίηση δύο μεγαφώνων, από τα οποία το ένα αποκρίνεται στις κατώτερες ακουστικές συχνότητες (μεγάφωνο ***woofer)*** και το άλλο, στις ανώτερες (μεγάφωνο ***tweeter).*** Πολλές φορές, χρησιμοποιείται και τρίτο μεγάφωνο που αποκρίνεται στις ενδιάμεσες συχνότητες ***(mid-range).*** Τα μεγάφωνα αυτά συνδέονται στην έξοδο του ενισχυτή μέσα από διαχωριστικά φίλτρα ***(cross-over),*** όπως φαίνεται στο σχημα 9.15. Τα δύο μεγάφωνα, woofer και tweeter, σε κάποιο τμήμα της ενδιάμεσης περιοχής των ακουστικών συχνοτήτων συνεργάζονται. Για την ελάττωση των παραμορφώσεων θα πρέπει το τμήμα αυτό να είναι όσο το δυνατό μικρότερο. Η ενδιάμεση συχνότητα, στη ζώνη συνεργασίας ή συμπτώσεως λειτουργίας των δύο μεγαφώνων, ονομάζεται συχνότητα διαχωρισμού (cross-over).

Για συχνότητα διαχωρισμού F τα στοιχεία του διαχωριστικού φίλτρου υπολογίζονται από τις σχέσεις:

$$L_1 = L_2 = L = \frac{Z}{\pi F\sqrt{2}}$$

$$C_1 = C_2 = C = \frac{1}{2\sqrt{2}\,\pi FZ}$$

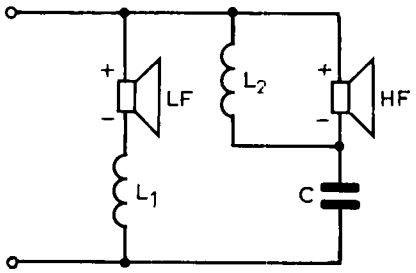
Με F = 1000 Hz, έχομε: $L = 0{,}226\ Z\ (mH)$

$$C = \frac{113}{Z}\ (\mu F)$$

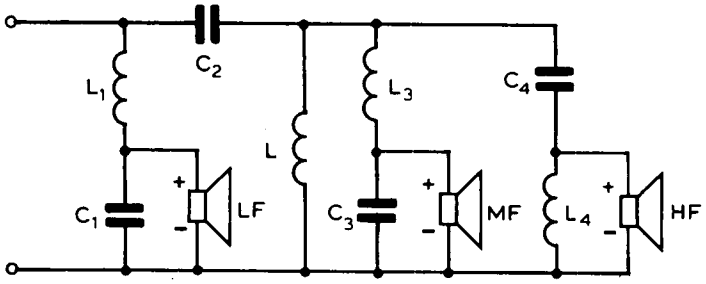
όπου Z είναι η σύνθετη αντίσταση του πηνίου φωνής του μεγαφώνου.

Στο σχήμα 9.16 φαίνονται δύο πρακτικές συνδεσμολογίες cross-over με δυο μεγάφωνα: woofer (LF) και tweeter (HF), και με τρία μεγάφωνα: woofer, tweeter και mid-range (MF). Οι τιμές των στοιχείων των φίλτρων φαίνονται κάτω από τις συνδεσμολογίες. Τα μεγάφωνα έχουν αντίσταση 8 Ω και για τις πολικότητές τους θα μιλήσομε πιο κάτω.

Για το πρώτο κύκλωμα η συχνότητα διαχωρισμού μεταξύ LF και HF είναι 1500 Hz και για το δεύτερο, η συχνότητα διαχωρισμού μεταξύ LF και MF είναι 700 Hz και μεταξύ MF και HF, 3000 Hz.



$L_1 = 2{,}1\,mH\ ,\ L_2 = 0{,}5\,mH$
$C = 8\,\mu F$



$L_1 = 3\,mH,\ L_2 = 1{,}2\,mH,\ L_3 = 0{,}5\,mH,\ L_4 = 0{,}35\,mH$
$C_1 = 36\,\mu F,\ C_2 = 12\,\mu F,\ C_3 = 8\,\mu F\ ,\ C_4 = 3{,}3\,\mu F$

Σχ. 9.16.
Συνδεσμολογίες cross-over.

Οι συνδεσμολογίες των σχημάτων 9.15 και 9.16 μπορούν να χρησιμοποιηθούν και για κάθε κανάλι των στερεοφωνικών ενισχυτών.

Για να έχομε καλά ηχητικά αποτελέσματα, θα πρέπει όλα τα μεγάφωνα μιας συνδεσμολογίας να εργάζονται συμφασικά, δηλαδή πρέπει να συνδέονται έτσι, ώστε ένας π.χ. θετικός παλμός ρεύματος, που διαρρέει τα πηνία τους, να προκαλεί μετατόπιση των κώνων τους προς την ίδια κατεύθυνση (προς τα έξω ή προς τα μέσα). Σε ένα μονοφωνικό σύστημα, αν τα μεγάφωνα δεν εργάζονται συμφασικά, τότε σε μερικές συχνότητες δημιουργείται ανεπιθύμητη ακουστική συμβολή. Σε στερεοφωνικό σύστημα, μια τέτοια λειτουργία των μεγαφώνων δυσκολεύει τον ακουστικό διαχωρισμό των καναλιών. Για την κανονική σύνδεση των μεγαφώνων, η πολικότητά τους αναγράφεται ή χρωματίζεται ο ένας ακροδέκτης.

9.14 Περιγραφή ηλεκτροφώνου.

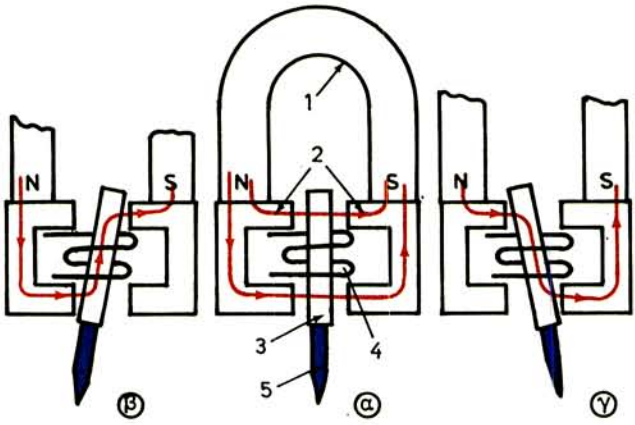
Ονομάζουμε ***ηλεκτρόφωνο*** τη συσκευή που αναδεικνύει με μεγάφωνο τον ήχο (μουσική), ο οποίος είναι «τυπωμένος» σε δίσκο γραμμοφώνου. Βασικά μέρη του ηλεκτροφώνου είναι:

1) Ο ηλεκτροκινητήρας που περιστρέφει με ορισμένη ταχύτητα το δίσκο γραμμοφώνου.
2) Η κεφαλή με τη βελόνη της (pick-up, πικάπ). Αυτή μετασχηματίζει τις μηχανικές ταλαντώσεις της βελόνης, η οποία ολισθαίνει στην αυλάκωση του γραμμοφωνικού δίσκου, σε ηλεκτρικό σήμα.
3) Ο ενισχυτής που ενισχύει το ηλεκτρικό αυτό σήμα για να τροφοδοτηθεί τελικά το μεγάφωνο.

Ο ηλεκτροκινητήρας εξασφαλίζει την ομοιόμορφη περιστροφή του δίσκου και είναι συνήθως ασύγχρονος με βραχυκυκλωμένο δρομέα. Η ταχύτητα περιστροφής του κυμαίνεται από 1200 έως 3000 στροφές στο λεπτό. Μ' έναν ειδικό μηχανισμό η ταχύτητα αυτή υποβιβάζεται στις τρεις γνωστές ταχύτητες περιστροφής των δίσκων, δηλαδή στις $33^1/_3$, 45 και 78 στροφές στο λεπτό. Τροφοδοτούνται με 127/220 V και καταναλώνουν ισχύ που κυμαίνεται από 10-35 W.

Οι κεφαλές των ηλεκτροφώνων είναι μαγνητικές και πιεζοηλεκτρικές (κρυσταλλικές ή κεραμικές).

Η μαγνητική κεφαλή [σχ. 9.17(α)] αποτελείται από το μόνιμο μαγνήτη (1) που καταλήγει στους μαγνητικούς πόλους (2). Ανάμεσα στους πόλους μπορεί να κινείται η θήκη (3) της βελόνας (5). Η θήκη της βελόνας παίζει το ρόλο του επαγωγέα μιας ηλεκτρικής γεννήτριας και επάνω της τυλίγεται το πηνίο (4). Κατά την περιστροφή του δίσκου, η βελόνα αποκλίνει και προς τις δύο πλευρές της αυλακώσεως [σχ. 9.17(β) και (γ)]. Αλλά, τότε, μεταβάλλονται τα διάκενα του μαγνητικού κυκλώματος του συστήματος και στο πηνίο της κεφαλής εμφανίζεται ηλεκτρεγερτική δύναμη που είναι ανάλογη προς την ταλάντωση της βελόνας.



Σχ. 9.17.
Διάταξη εξαρτημάτων μονοφωνικής μαγνητικής κεφαλής ηλεκτροφώνου (πικάπ).

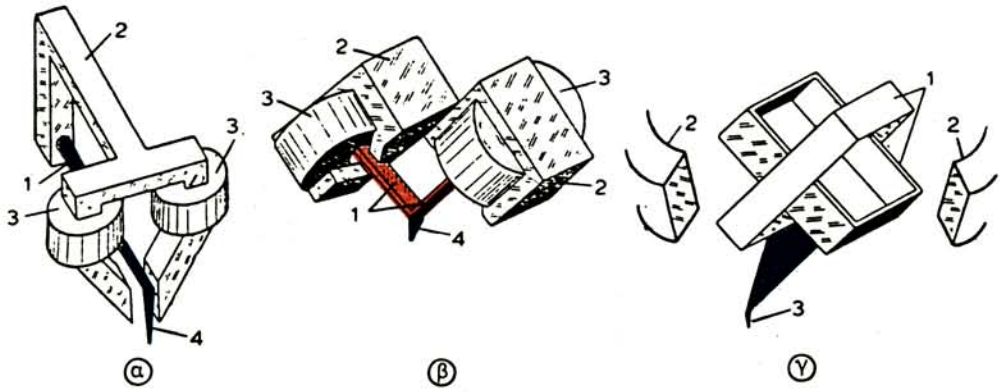
Στο σχήμα 9.18(α) φαίνεται η κεφαλή στερεοφωνικού ηλεκτροφώνου με ένα πυρήνα (2) που έχει δυο κλάδους. Καθένα από τα δύο πηνία (3) είναι τυλιγμένο στο δικό του κλάδο του μοναδικού μαγνητικού κυκλώματος. Ο άξονας-θήκη (1) με τη βελόνα (4) στερεώνεται στον ένα από τους πόλους του μαγνήτη και μπορεί να κινείται στο διάκενο μεταξύ των δύο κλάδων του άλλου πόλου. Μια μικρή κίνηση της θήκης με τη βελόνα προς τα δεξιά ή αριστερά, μεγαλώνει το διάκενο στον ένα κλάδο του μαγνητικού κυκλώματος και το μικραίνει στον άλλο. Αυτές οι μεταβολές του μαγνητικού πεδίου επάγουν τάση στα πηνία, ανάλογα με την κατεύθυνση μετατοπίσεως της βελονοθήκης.

Στο σχημα 9.18(β) φαίνεται κεφαλή με διπλό μαγνητικό κύκλωμα που λειτουργεί, όπως η προηγούμενη. Εδώ βλέπομε: 1) τη διπλή βελονοθήκη, 2) τα μαγνητικά κυκλώματα (πυρήνες), 3) τις ανεξάρτητες περιελίξεις και 4) τη βελόνα.

Τέλος, στο σχήμα 9.18(γ) φαίνεται κεφαλή υψηλής ποιότητας με δύο κινητά πηνία (1), που είναι κάθετα μεταξύ τους και βρίσκονται μεταξύ των πόλων (2) ενός μόνιμου μαγνήτη. Τα πηνία στηρίζονται με τη βοήθεια τεσσάρων βάσεων «ρουμπινιών» έτσι, ώστε μπορούν να μετακινούνται ελεύθερα και ανεξάρτητα μεταξύ τους. Η κατασκευή αυτή θυμίζει την κατασκευή των πλαισίων του γαλβανομέτρου.

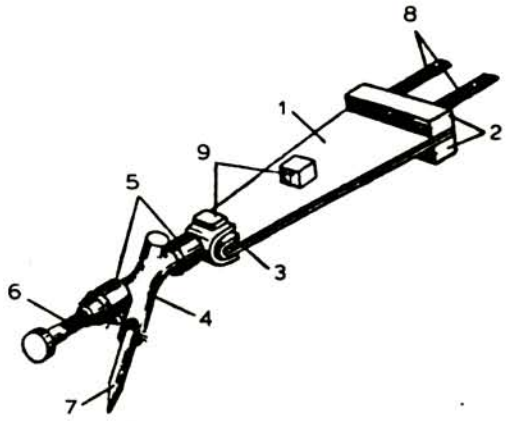
Η καμπύλη αποκρίσεως αυτής της κεφαλής είναι γραμμική στην περιοχή συχνοτήτων 30-15000 Hz. Η τάση εξόδου κυμαίνεται από 2 έως 4 mV (μάλλον μικρή) για κάθε κανάλι με ταχύτητα βελόνας 10 cm/sec.

Διάταξη εξαρτημάτων πιεζοηλεκτρικής μονοφωνικής κεφαλής πικάπ, που μας επιτρέπει να δούμε την αρχή λειτουργίας της, φαίνεται στο σχήμα 9.19. Βασικό



Σχ. 9.18.

Διάταξη εξαρτημάτων στερεοφωνικών μαγνητικών κεφαλών ηλεκτροφώνου (πικάπ).



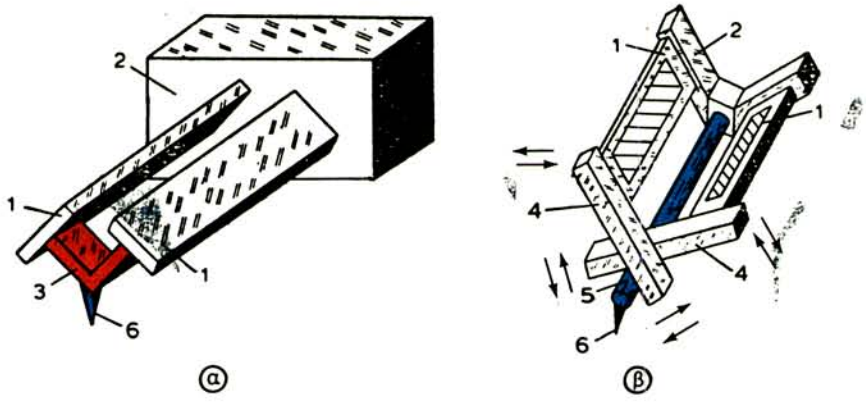
Σχ. 9.19.

Διάταξη εξαρτημάτων μονοφωνικής πιεζοηλεκτρικής κεφαλής ηλεκτροφώνου (πικάπ). 1) Πιεζοηλεκτρικό στοιχείο, 2) λαστιχένια στηρίγματα, 3) λαστιχένιο στήριγμα βελονοθήκης, 4) βελονοθήκη, 5) λαστιχένια κουζινέτα, 6) βίδα στηρίξεως βελόνης, 7) βελόνη, 8) ακροδέκτες, 9) συμπληρωματικά στηρίγματα.

της εξάρτημα είναι το πιεζοηλεκτρικό στοιχείο. Οι ταλαντώσεις της βελόνας μεταφέρονται στο στοιχείο αυτό με τη μορφή κρούσεων. Όσο μεγαλύτερη είναι η απόκλιση της βελόνας μέσα στην αυλάκωση του δίσκου, τόσο μεγαλύτερες είναι οι κρουστικές δυνάμεις που ασκούνται στο πιεζοηλεκτρικό στοιχείο. Οι συμπιέσεις αυτές του στοιχείου προκαλούν την εμφάνιση μεταβαλλόμενης τάσεως τα άκρα του, που αποτελεί το σήμα εξόδου της κεφαλής.

Η διάταξη των εξαρτημάτων δυο στερεοφωνικών πιεζοηλεκτρικών κεφαλών πικάπ φαίνεται στο σχήμα 9.20.

Στην πρώτη [σχ. 9.20(α)], οι κρύσταλλοι συνδέονται άμεσα σε εξάρτημα, που



Σχ. 9.20.

Διάταξη εξαρτημάτων στερεοφωνικών πιεζοηλεκτρικών κεφαλών ηλεκτροφώνων. 1) Κρύσταλλοι, 2) στήριγμα κρυστάλλων, 3) συνδετικό εξάρτημα, 4) συνδετικά πλακίδια, 5) βελονοθήκη, 6) βελόνα.

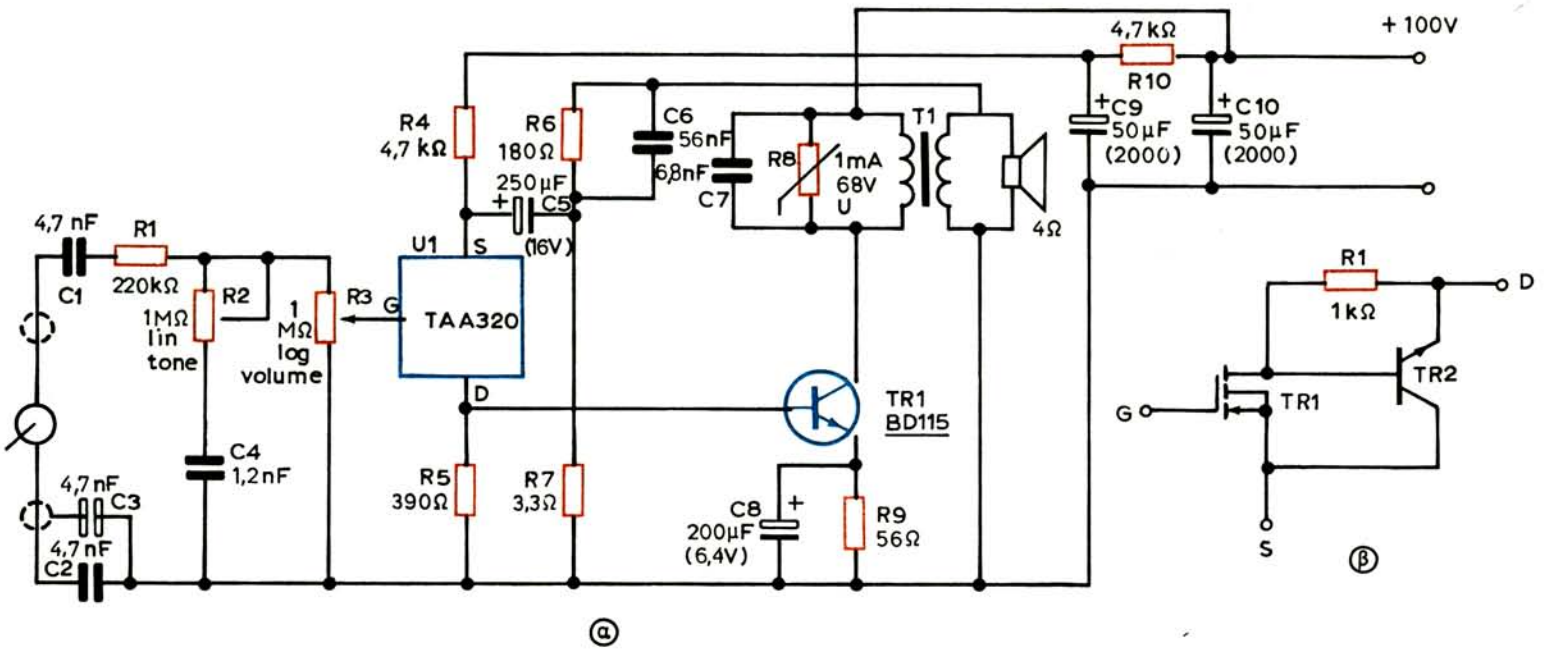
έχει τη μορφή του γράμματος V. Οι ταλαντώσεις της βελόνας από κάθε πλευρά της αύλακας του δίσκου μεταφέρονται στον αντίστοιχο κρύσταλλο.

Στη δεύτερη [σχ. 9.20(β)], οι κρύσταλλοι έχουν διαφορετικό προσανατολισμό. Τα άκρα και των δύο κρυστάλλων συνδέονται με πλακίδια, τα οποία, με τη σειρά τους, στερεώνονται στη βελονοθήκη με τη βελόνα. Τα συνδετικά πλακίδια δεν έχουν μεταξύ τους μηχανική σύνδεση και επομένως, οι ταλαντώσεις της βελόνας από κάθε πλευρά της αύλακας του δίσκου μεταφέρονται μόνο σε ένα συνδετικό πλακίδιο και από εκεί, στον αντίστοιχο κρύσταλλο.

Σημειώνομε ότι η κεφαλή του ηλεκτροφώνου στερεώνεται στο γνωστό μας βραχίονα, ο οποίος διαθέτει, στο πίσω μέρος του, αντίβαρο και μηχανισμό ζυγοσταθμίσεως, ώστε να ρυθμίζεται το βάρος με το οποίο «πατάει» η βελόνα στο δίσκο. Ο βραχίονας στηρίζεται σε άξονα, στον οποίο προσαρμόζεται μηχανισμός που επιτρέπει το άνοιγμα και κλείσιμο του διακόπτη λειτουργίας του ηλεκτροκινητήρα στην αρχή και στο τέλος του δίσκου.

Ο ηλεκτροκινητήρας, ο μηχανισμός μεταδόσεως της κινήσεως στο «πλατό» του ηλεκτροφώνου, το σύστημα αλλαγής των ταχυτήτων, ο βραχίονας στηρίξεως της κεφαλής και αρκετοί ακόμη βοηθητικοί μηχανισμοί, συγκροτούν το ηλεκτρομηχανικό μέρος του ηλεκτροφώνου.

Το ηλεκτρονικό μέρος του ηλεκτροφώνου μπορεί να συγκροτηθεί από οποιονδήποτε ενισχυτή, μονοφωνικό ή στερεοφωνικό, από αυτούς που εξετάσαμε σε προηγούμενες παραγράφους. Εδώ, θα παρουσιάσομε μια συνδεσμολογία (σχ. 9.21) μονοφωνικού ενισχυτή ηλεκτροφώνου, που παρέχει ισχύ 2 W σε μεγάφωνο 4 Ω, για την περιοχή συχνοτήτων 40-12000 Hz.



Σχ. 9.21.

α) Ενισχυτής για κρυσταλλικό ηλεκτρόφωνο. β) Το ισοδύναμο κύκλωμα του μονολιθικού ολοκληρωμένου TAA320.

Ο ενισχυτής είναι κατασκευασμένος με το ολοκληρωμένο TAA320 (προενισχυτής) σε συνδυασμό με το τρανζίστορ ισχύος BD 115. Το TAA320 είναι μονολιθικό ολοκληρωμένο κύκλωμα που αποτελείται από τρία στοιχεία [σχ. 9.21 (δ)]: ένα MOS τρανζίστορ, ενα NPN τρανζίστορ πυριτίου και μια αντίσταση 1 kΩ. Η είσοδος του προενισχυτή είναι προσαρμοσμένη σε κρυσταλλικό πικάπ. Ο ενισχυτής εργάζεται σε τάξη Α και η τροφοδοτική του τάση είναι 100 V.

Σημειώνομε ότι, το ηλεκτρομηχανικό μέρος του ηλεκτροφώνου με την κεφαλή μπορεί να είναι ανεξάρτητο από τον ενισχυτή. Στην περίπτωση αυτή μιλάμε, στην κυριολεξία, για ηλεκτρόφωνο. Το ηλεκτρόφωνο μπορεί να εργασθεί με οποιονδήποτε ανεξάρτητον ενισχυτή, ακόμη και με τον ενισχυτή ακουστικών συχνοτήτων του ραδιοφώνου, αρκεί να εξασφαλισθεί η αναγκαία προσαρμογή.

9.15 Το μαγνητόφωνο και η αρχή λειτουργίας του.

Ονομάζομε ***μαγνητόφωνο*** τη συσκευή που προορίζεται για την εγγραφή και αναπαραγωγή του ήχου με μαγνητικά συστήματα. Τα μαγνητόφωνα διακρίνονται σε πολλές κατηγορίες ανάλογα με τη χρήση τους και την ποιότητα εγγραφής και αναπαραγωγής τους. Την υψηλότερη ποιότητα εγγραφής και αναπαραγωγής εξασφαλίζουν τα μαγνητόφωνα των ραδιοφωνικών θαλάμων κλπ. Κατά κανόνα, τα μαγνητόφωνα των θαλάμων αυτών είναι ογκώδη, μόνιμα εγκαταστημένα και λειτουργούν μαζί με τα μικρόφωνα, τους ενισχυτές, τα μεγάφωνα και τις άλλες συσκευές που διαθέτει ο θάλαμος. Χωρίς τις συσκευές αυτές, δηλαδή αυτοδύναμα, τα μαγνητόφωνα αυτά δεν μπορούν να λειτουργήσουν.

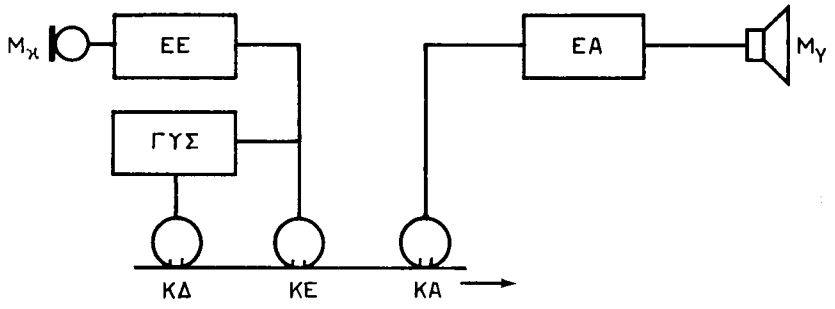
Άλλη μεγάλη ομάδα αποτελούν τα μαγνητόφωνα γενικής χρήσεως. Σ' αυτά ανήκουν τα οικιακά μαγνητόφωνα, τα ραδιομαγνητόφωνα, τα μαγνητόφωνα ερασιτεχνικών εγγραφών, τα μαγνητόφωνα των δημοσιογράφων και ανταποκριτών κ.ά. Τα μαγνητόφωνα αυτά είναι επιτραπέζια και τροφοδοτούνται από το δίκτυο, ή φορητά με διπλή τροφοδότηση: από το δίκτυο και με συσσωρευτή. Είναι αυτονόητο ότι τα μαγνητόφωνα αυτά, και κυρίως τα φορητά, εργάζονται αυτοδύναμα αφού διαθέτουν μικρόφωνο, ενισχυτή και μεγάφωνο.

Ο ήχος στα μαγνητόφωνα «γράφεται» σε μαγνητική ταινία. Η ταινία αυτή είναι λωρίδα από πλαστική ύλη, της οποίας η μια πλευρά φέρει επάλειψη από σιδηρομαγνητικό υλικό. Οι μαγνητικές ταινίες είναι διαφόρων τύπων, με διάφορα μήκη και πλάτη.

Τα μαγνητόφωνα διακρίνονται σε μονοφωνικά και στερεοφωνικά με ***μονόδρομη, αμφίδρομη*** και ***διπλή αμφίδρομη*** μαγνητική εγγραφή.

Με τη βοήθεια του διαγράμματος του σχήματος 9.22, θα παρακολουθήσομε την αρχή λειτουργίας ενός μαγνητοφώνου.

Τα ηχητικά κύματα μετασχηματίζονται σε ηλεκτρικές ταλαντώσεις (ηλεκτρικό σήμα) με τη βοήθεια μικρόφωνου (Μκ). Το ηλεκτρικό αυτό σήμα ενισχύεται από τον ***ενισχυτή εγγραφής*** (ΕΕ) και οδηγείται στην περιέλιξη της μαγνητικής



Σχ. 9.22.
Διάγραμμα για την περιγραφή της αρχής της μαγνητικής εγγραφής και αναπαραγωγής του ήχου.

κεφαλής εγγραφής (ΚΕ). Η μαγνητική κεφαλή είναι δακτυλιοειδής ηλεκτρομαγνήτης, του οποίου ο πυρήνας διακόπτεται σε κάποια θέση από διαμαγνητικό υλικό, και έτσι σχηματίζεται εκεί το λεγόμενο ***διάκενο λειτουργίας.*** Μπροστά από το διάκενο «κυλάει» ή ολισθαίνει εφαπτομενικά η μαγνητική ταινία. Επειδή το μαγνητικό πεδίο στο διάκενο μεταβάλλεται όπως ακριβώς και ο εγγραφόμενος ήχος, όλες οι φάσεις του τελευταίου «καταγράφονται» στα τμήματα της ταινίας με τη μορφή διαφορετικού παραμένοντα μαγνητισμού.

Για την αναπαραγωγή του ήχου, η μαγνητική ταινία ολισθαίνει μπροστά από το διάκενο της ***κεφαλής αναπαραγωγής*** (ΚΑ) με την ίδια ταχύτητα που είχε και κατά την εγγραφή. Η κατασκευή της κεφαλής αναπαραγωγής είναι ίδια με την κατασκευή της κεφαλής εγγραφής. Η μαγνητική ροή των μαγνητισμένων τμημάτων της ταινίας κλείνει μέσα από τον πυρήνα της κεφαλής αναπαραγωγής και επάγει στην περιέλιξή του ηλεκτρικές ταλαντώσεις που έχουν συχνότητα ίση με εκείνην του ήχου που γράφηκε. Οι ταλαντώσεις αυτές ενισχύονται από τον ***ενισχυτή αναπαραγωγής*** (ΕΑ) και μετασχηματίζονται σε ηχητικά κύματα με τη βοήθεια του μεγαφώνου (Μγ).

Η αναπαραγωγή του ήχου μπορεί να γίνει τόσο κατά τη διάρκεια της εγγραφής του με ασήμαντη καθυστέρηση, η οποία εξαρτάται από την απόσταση των κεφαλών εγγραφής και αναπαραγωγής μεταξύ τους, όσο και επαναληπτικά ύστερα από το τέλος της εγγραφής. Η ακριαία σχεδόν ετοιμότητα εγγραφής και η πρακτικά άφθαρτη αναπαραγωγή του ήχου (η ποιότητα αναπαραγωγής του ήχου δεν εξαρτάται σχεδόν καθόλου από τον αριθμό των επαναλήψεων) είναι το πρώτο μεγάλο πλεονέκτημα της μαγνητικής εγγραφής.

Η ανεπιθύμητη εγγραφή μπορεί να διαγραφεί ή, όπως λέμε, να «σβησθεί» από την ταινία. Γι᾽ αυτόν το σκοπό προορίζεται η μαγνητική ***κεφαλή διαγραφής***

(ΚΔ) η οποία, γενικά, μοιάζει με τις κεφαλές εγγραφής και αναπαραγωγής. Η περιέλιξη αυτής της κεφαλής τροφοδοτείται με ρεύμα υψηλής συχνότητας (40-80 kHz) ή σπανιότερα, με συνεχές ρεύμα. Στην πρώτη περίπτωση το σβήσιμο του ήχου γίνεται με επαναμαγνήτιση της ταινίας (επανεγγραφή με ρεύμα υψηλής συχνότητας που δεν οδηγεί σε ακουστικό αποτέλεσμα) και στη δεύτερη με οδήγηση της ταινίας σε μαγνητικό κορεσμό.

Η δυνατότητα να ξαναχρησιμοποιείται η ταινία για νέες εγγραφές, ύστερα από το σβήσιμο των παλαιότερων, είναι το δεύτερο βασικό πλεονέκτημα της μαγνητικής εγγραφής.

Η ευαισθησία της μαγνητικής ταινίας μεγαλώνει και οι παραμορφώσεις κατά την εγγραφή μικραίνουν, όταν η περιέλιξη της κεφαλής εγγραφής διαρρέεται, εκτός από το ρεύμα ακουστικής συχνότητας, και από ένα συμπληρωματικό ρεύμα, που λέγεται ρεύμα ***μαγνητικής πολώσεως.*** Το ρεύμα της πολώσεως μπορεί να είναι είτε εναλλασσόμενο υψηλής συχνότητας, είτε συνεχές.

Στο διάγραμμα του σχήματος 9.22 φαίνεται ο πρώτος τρόπος. Μια γεννήτρια υψηλής συχνότητας (ΓΥΣ) τροφοδοτεί τις κεφαλές διαγραφής και εγγραφής με ρεύμα της ίδιας συχνότητας, αλλά διαφορετικής εντάσεως.

Η πόλωση κατά την εγγραφή και η διαγραφή με συνεχές ρεύμα (συνεχές μαγνητικό πεδίο) χρησιμοποιείται μόνο σε συσκευές που προορίζονται για την εγγραφή ομιλίας, επειδή έτσι οι παραμορφώσεις είναι μεγάλες. Όλα τα μαγνητόφωνα, που προορίζονται για εγγραφές υψηλής πιστότητας, χρησιμοποιούν μαγνητική πόλωση με ρεύμα υψηλής συχνότητας.

Η ποιότητα της εγγραφής είναι τόσο καλύτερη, όσο μεγαλύτερη είναι η ταχύτητα κινήσεως της μαγνητικής ταινίας. Στα σύγχρονα μαγνητόφωνα με μια ταχύτητα, π.χ. 19 cm/sec, επιτυγχάνεται αρκετά απλά η εγγραφή και η αναπαραγωγή ακουστικών ταλαντώσεων στην περιοχή 30-16000 Hz με αρμονικές παραμορφώσεις που δεν υπερβαίνουν το 2-3 % και στάθμη θορύβων εγγραφής μικρότερη από –50 dB.

Η δυνατότητα να πραγματοποιηθεί με απλά μέσα εγγραφή και αναπαραγωγή ήχου με υψηλή πιστότητα είναι το τρίτο πλεονέκτημα της μαγνητικής εγγραφής.

Πρέπει επίσης να σημειωθεί ότι για τη μαγνητική εγγραφή απαιτούνται αρκετά απλές συσκευές που μπορούν να λειτουργούν και σε συνθήκες κινήσεως. Αυτό επιτρέπει την κατασκευή φορητών μαγνητοφώνων και μαγνητοφώνων που εργάζονται σε αυτοκίνητα, πράγμα που διευρύνει τον κύκλο εφαρμογών τους.

Κάθε μαγνητόφωνο αποτελείται από το μηχανισμό κινήσεως της ταινίας και από το ηλεκτρονικό τμήμα. Στο τελευταίο ανήκουν οι ενισχυτές, ο ταλαντωτής υψηλής συχνότητας, ο ενδείκτης της στάθμης εγγραφής, το τροφοδοτικό σύστημα κλπ.

Μαγνητικοί εγγραφείς μπορούν να χρησιμοποιηθούν όχι μόνο για την εγγρα-

φή ακουστικών ταλαντώσεων, αλλά και ταλαντώσεων πιο ευρείας περιοχής συχνοτήτων. Τέτοιες συσκευές εγγραφής είναι π.χ. οι ***εικονοεγγραφείς*** (video recorders).

9.16 Διάδρομοι μαγνητικής εγγραφής.

Η λωρίδα της μαγνητικής ταινίας, που μαγνητίζεται κατά τη διάρκεια της εγγραφής, ονομάζεται ***δρόμος*** ή ***διάδρομος*** (track). Η ταινία μπορεί να χρησιμοποιηθεί σαν ένας ή περισσότεροι διάδρομοι εγγραφής. Στην περίπτωση του ενός διαδρόμου, το πλάτος του είναι συνήθως ίσο με ολόκληρο το πλάτος της μαγνητικής ταινίας. Η μαγνητοφώνηση αυτή ονομάζεται ***μονόδρομη*** και χρησιμοποιείται στα μαγνητόφωνα των θαλάμων (στούντιο), επειδή παρέχει πολύ υψηλή πιστότητα εγγραφής και ακόμη επιτρέπει τη συναρμολόγηση (μοντάζ) εγγραφών με τη συγκόλληση ξεχωριστών τεμαχίων μαγνητικής ταινίας.

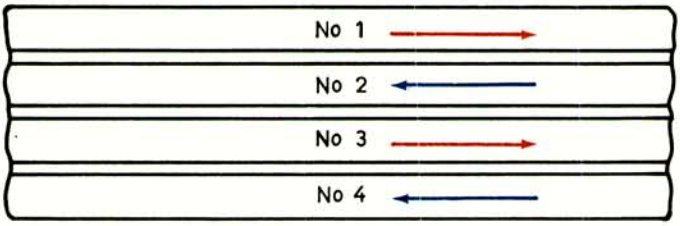
Στα μαγνητόφωνα ευρείας χρήσεως εφαρμόζεται συνήθως η ***αμφίδρομη*** μαγνητοφώνηση. Οι διάδρομοι τέτοιας εγγραφής φαίνονται στο σχήμα 9.23. Ύστερα από την εγγραφή του διαδρόμου 1, το καρούλι με την ταινία αλλάζει τη θέση του με το άδειο και ταυτόχρονα αντιστρέφεται, οπότε γράφεται ο διάδρομος 2. Σε πολλά μαγνητόφωνα δεν αλλάζουν θέσεις τα καρούλια με την ταινία, αλλά προβλέπονται δύο κατευθύνσεις κινήσεως της ταινίας και, αντίστοιχα, δύο σύνολα μαγνητικών κεφαλών. Στα μαγνητόφωνα αυτά η μετάβαση από τον ένα διάδρομο στον άλλο γίνεται με απλή αλλαγή περιστροφής του κινητήρα και μεταγωγή των μαγνητικών κεφαλών.

Με την αμφίδρομη μαγνητοφώνηση το πλάτος της ταινίας γίνεται το μισό και ακόμη δεν είναι δυνατή η συναρμολόγηση εγγραφών, επειδή συναρμολογώντας την εγγραφή του ενός διαδρόμου, αναπόφευκτα καταστρέφομε την εγγραφή του άλλου.

Εκτός από την αμφίδρομη μαγνητική εγγραφή, συναντάμε και τις εγγραφές τεσσάρων και οκτώ διαδρομών, οι οποίες χρησιμοποιούνται για ***στερεοφωνική μαγνητοφώνηση.*** Για την εγγραφή αυτή, επειδή γίνεται με δύο μικρόφωνα, χρειάζονται και δύο ενισχυτές (στερεοφωνικός ενισχυτής).



Σχ. 9.23.
Αμφίδρομη μαγνητική εγγραφή.



Σχ. 9.24.
Μαγνητική εγγραφή τεσσάρων διαδρομών.

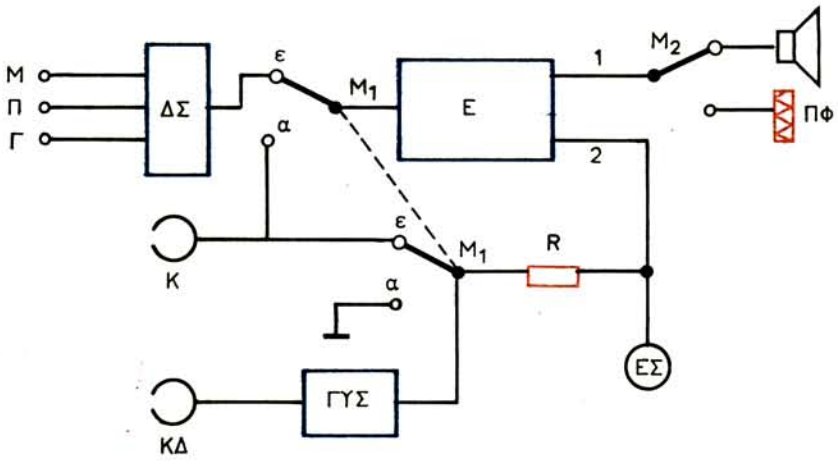
Στερεοφωνική εγγραφή με 4 διαδρόμους περιστάνεται στο σχήμα 9.24. Όταν η ταινία κινείται προς τη μία πλευρά απασχολείται το ένα ζευγάρι διαδρόμων (No 1 και No 3) και όταν κινείται προς την αντίθετη, το άλλο (No 2 και No 4). Οι τέσσερις διάδρομοι μπορούν να χρησιμοποιηθούν και για συνηθισμένη μονοφωνική εγγραφή. Στην περίπτωση αυτή γράφεται πρώτα ο 1ος διάδρομος, ύστερα ο 4ος, στη συνέχεια ο 3ος και τελευταία ο 2ος. Για τη μεταγωγή από διάδρομο σε διάδρομο χρησιμοποιούνται δύο σύνολα κεφαλών (το ένα τοποθετείται στη στάθμη του 1ου διαδρόμου και το άλλο στη στάθμη του 3ου), τα οποία συνδέονται διαδοχικά. Για τη μεταγωγή στο 2ο και 4ο διάδρομο αλλάζουν θέσεις τα καρούλια με την ταινία. Στη στερεοφωνική εγγραφή τα δύο σύνολα των κεφαλών εργάζονται ταυτόχρονα.

Η στερεοφωνική εγγραφή των οκτώ διαδρόμων (8 track) παρουσιάζει κάποια ιδιομορφία. Εδώ έχομε μια ατέρμονη κίνηση της ταινίας, η οποία περνάει τέσσερις φορές μπροστά από τα δύο σύνολα των κεφαλών. Σε κάθε διέλευση της ταινίας οι κεφαλές αλλάζουν θέσεις («πηδούν» από το ενα ζευγάρι διαδρόμων στο άλλο).

Ας σημειώσομε ότι οι δύο, οποιεσδήποτε, κεφαλές (εγγραφής, αναπαραγωγής κλπ.) στη στερεοφωνική εγγραφή εμφανίζονται σαν ένα εξάρτημα, δηλαδή κάθε κεφαλή είναι διπλή **(στερεοφωνική κεφαλή).** Με την αρχή κατασκευής των μαγνητικών κεφαλών θα ασχοληθούμε σε επόμενη παράγραφο.

9.17 Λειτουργικό διάγραμμα μαγνητοφώνου.

Τα λειτουργικά διαγράμματα των μαγνητοφώνων ευρείας χρήσεως, αν και μερικώς διαφέρουν μεταξύ τους, πλησιάζουν το διάγραμμα που φαίνεται στο σχήμα 9.25. Για να απλοποιηθεί η κατασκευή του μαγνητοφώνου και να εξασφαλισθεί χαμηλό κόστος, χρησιμοποιείται ενισχυτής (Ε) και κεφαλή (Κ) τόσο για την εγγραφή, όσο και για την αναπαραγωγή. Κατά την εγγραφή, μία από τις πηγές σήματος, π.χ. το μικρόφωνο (Μ), το πικάπ (Π), η έξοδος του ραδιοφώνου ή κάποια άλλη γραμμή (Γ), συνδέεται στην είσοδο του ενισχυτή, μέσα από



Σχ. 9.25.
Λειτουργικό διάγραμμα μαγνητοφώνου.

το διαχωριστή σημάτων (ΔΣ). Ο διαχωριστής σημάτων εξισώνει τις τάσεις των διαφόρων πηγών διεγέρσεως και προσαρμόζει τις αντιστάσεις των πηγών προς την αντίσταση εισόδου του ενισχυτή. Ο ενισχυτής, εκτός από την ενίσχυση του σήματος, πραγματοποιεί και τη διόρθωσή του στις διάφορες περιοχές συχνοτήτων, που είναι απαραίτητη για την εγγραφή. Οι βαθμίδες του ενισχυτή διαιρούνται στις δύο γνωστές ομάδες που συγκροτούν τον ***προενισχυτή*** και τον ***τελικό ενισχυτή.*** Ο προενισχυτής περιλαμβάνει τα κυκλώματα διορθώσεως του σήματος στις διάφορες συχνότητες και τους γνωστούς ρυθμιστές του ήχου (εντάσεως, χροιάς, ισοσταθμίσεως κλπ.).

Ο ενισχυτής έχει δύο εξόδους: μία (1) για τη σύνδεση του μεγαφώνου και άλλη μία (2) για τη σύνδεση της μαγνητικής κεφαλής κατά την εγγραφή ή εξωτερικού ενισχυτή κατά την αναπαραγωγή. Η αντίσταση R είναι περιοριστική. Στη διάρκεια της εγγραφής συνδέεται η γεννήτρια υψηλής συχνότητας (ΓΥΣ), η οποία παρέχει ρεύμα στην κεφαλή διαγραφής (ΚΔ) και ρεύμα για τη μαγνητική πόλωση της κεφαλής (Κ).

Η απολαβή του ενισχυτή ρυθμίζεται και η στάθμη εγγραφής ελέγχεται με τον ενδείκτη στάθμης (ΕΣ). Όταν γίνεται εγγραφή από μικρόφωνο, μπορεί ο ενισχυτής να αυτοταλαντωθεί λόγω της γειτνιάσεως του μικροφώνου και του μεγαφώνου και επομένως της δημιουργίας ακουστικής αναδράσεως. Στην περίπτωση αυτή, ο μεταγωγέας M_2 αποσυνδέει το μεγάφωνο και στη θέση του συνδέει το παθητικό φορτίο (ΠΦ), που είναι μια κατάλληλη ωμική αντίσταση ή ακουστικά.

Ο διπλός μεταγωγέας M_1 προορίζεται για τη μεταγωγή από την εγγραφή (ε) στην αναπαραγωγή (α). Τότε, η κεφαλή Κ συνδέεται στην είσοδο του ενισχυτή

και η τροφοδότηση της ΓΥΣ διακόπτεται. Ταυτόχρονα, η καμπύλη αποκρίσεως του ενισχυτή τροποποιείται και παίρνει τη μορφή που απαιτείται για τη συγκεκριμένη ταχύτητα κινήσεως της ταινίας. Τα κυκλώματα μεταγωγής στο εσωτερικό του ενισχυτή δεν φαίνονται στο διάγραμμα. Ο ρυθμιστής ενισχύσεως του ενισχυτή παίζει το ρόλο τού ρυθμιστή όγκου φωνής στην αναπαραγωγή και ο ρυθμιστής ακουστότητας, που ενεργεί στην εγγραφή (αν υπάρχει), χρησιμοποιείται συνήθως ως ρυθμιστής τόνου του ήχου.

Όλες οι μεταγωγές στο γενικό διάγραμμα και στο κύκλωμα του ενισχυτή για τη σύνδεση της συσκευής στην εγγραφή ή στην αναπαραγωγή πραγματοποιούνται με πλήκτρα ή περιστροφικό μεταγωγέα, ο οποίος σε πολλά μαγνητόφωνα οδηγεί ταυτόχρονα και το μηχανισμό κινήσεως της ταινίας. Σε μερικές περιπτώσεις οι μεταγωγές γίνονται με τη βοήθεια ηλεκτρονόμων.

Στο «σταμάτημα» της ταινίας (ο μεταγωγέας του είδους λειτουργίας βρίσκεται στη θέση «stop») καθώς και στην περιέλιξη της ταινίας διατηρείται στο κύκλωμα του μαγνητοφώνου η προηγούμενη κατάσταση λειτουργίας (δηλαδή εγγραφή ή αναπαραγωγή) με τη μόνη διαφορά ότι η ΓΥΣ υποχρεωτικά διακόπτεται. Για την αποφυγή φθορών, όταν η ταινία περιτυλίγεται, απομακρύνεται οπωσδήποτε από τις μαγνητικές κεφαλές. Με την απομάκρυνση αυτή αποφεύγεται επίσης ο κίνδυνος καταστροφής της μαγνητοφωνημένης ομιλίας ή μουσικής.

Σημειώνομε ότι τα στερεοφωνικά μαγνητόφωνα εκτός από τις διπλές διατάξεις και τα ρυθμιστικά κυκλώματα, που μπορούν να ρυθμίζονται χωριστά ή να συμμεταβάλλονται, διαθέτουν και κοινούς ρυθμιστές, όπως είναι, π.χ., ο ρυθμιστής ισοσταθμίσεως, που εξισώνει τα σήματα διεγέρσεως των δυο ενισχυτών ή τονίζει, κατά προτίμηση, το σήμα του ενός καναλιού (δεξιού ή αριστερού). Κοινές είναι ακόμη οι διατάξεις διαγραφής και προμαγνητίσεως ή πολώσεως (ΓΥΣ κλπ.). Τα σύγχρονα μαγνητόφωνα είναι συνήθως στερεοφωνικά.

9.18 Το ηλεκτρονικό μέρος των μαγνητοφώνων.

Το ηλεκτρονικό μέρος των μαγνητοφώνων ευρείας χρήσεως αποτελείται, γενικά, από έναν ενισχυτή (μονοφωνικό ή στερεοφωνικό), τη γεννήτρια υψηλών συχνοτήτων, τον ενδείκτη στάθμης και το τροφοδοτικό του. Επειδή οι διατάξεις αυτές είναι γνωστές, θα περιορισθούμε εδώ στην εξέταση μερικών ιδιομορφιών τους, που έχουν σχέση με τη χρησιμοποίησή τους στα μαγνητόφωνα.

9.18.1 Ο γενικός ενισχυτής.

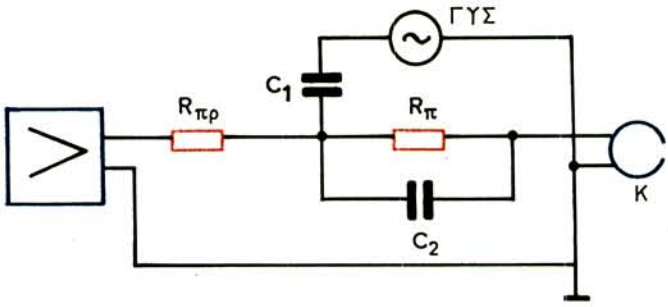
Ο οποιοσδήποτε ενισχυτής ακουστικών συχνοτήτων δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί στα μαγνητόφωνα. Για να είναι κατάλληλος πρέπει να ικανοποιεί ορισμένες απαιτήσεις, που είναι οι ακόλουθες:

1) Η ισχύς εξόδου του ενισχυτή πρέπει να εξασφαλίζει την κανονική λειτουργία των μεγαφώνων του μαγνητοφώνου κατά την αναπαραγωγή και την απαιτούμενη μαγνήτιση της ταινίας κατά την εγγραφή. Η ισχύς αυτή είναι συνήθως 1-3 W. Αν χρειάζεται μεγαλύτερη ένταση ήχου κατά την αναπαραγωγή, χρησιμοποιούνται εξωτερικοί ενισχυτές και συγκροτήματα από μερικά μεγάφωνα.
   Πρέπει να έχομε υπόψη μας ότι, κατά κανόνα, τα μαγνητόφωνα ευρείας χρήσεως δεν έχουν μεγάλες διαστάσεις, για να μπορούν να μεταφέρονται εύκολα, οπότε και οι ακουστικές ιδιότητες των κιβωτίων τους (αν εξεταστούν σαν ηχεία) δεν ευνοούν την απόδοση του ήχου με αρκετή ένταση και πιστότητα. Γι' αυτό, η αύξηση της κανονικής ισχύος του ενισχυτή πάνω από 3 W δεν είναι σκόπιμη. Εννοείται ότι με τόση ισχύ, οι παραμορφώσεις του ενισχυτή πρέπει να είναι αρκετά μικρές.
2) Η ευαισθησία του ενισχυτή πρέπει να είναι τόση, ώστε η κανονική του ισχύς να εξασφαλίζεται με ελάχιστη τάση εξόδου της κεφαλής 150-250 μV για τις χαμηλότερες συχνότητες της περιοχής λειτουργίας.
3) Με τόσο υψηλή ευαισθησία του ενισχυτή, πρέπει να εξασφαλίζεται η προστασία του από εξωτερικούς θορύβους και ο ίδιος να δημιουργεί ελάχιστους εσωτερικούς θορύβους.
4) Κατά την εγγραφή και αναπαραγωγή, η καμπύλη αποκρίσεως του ενισχυτή πρέπει να έχει την κατάλληλη μορφή (γι' αυτήν μιλάμε στη συνέχεια). Αν το μαγνητόφωνο εργάζεται σε δύο η περισσότερες ταχύτητες, πρέπει να προβλέπεται μεταγωγή κυκλωμάτων, που τροποποιούν την καμπύλη αποκρίσεως του ενισχυτή κατά την εγγραφή και αναπαραγωγή, ανάλογα με την ταχύτητα της ταινίας.

9.18.2 Τα διορθωτικά κυκλώματα.

Κατά την εγγραφή, το ρεύμα στην κεφαλή πρέπει να είναι μεγαλύτερο για τις υψηλότερες ακουστικές συχνότητες απ' ό,τι για τις μεσαίες και τις χαμηλότερες, για σταθερή τάση στην είσοδο του ενισχυτή. Με άλλα λόγια, η καμπύλη αποκρίσεως του ενισχυτή κατά την εγγραφή πρέπει να ανυψώνεται στις υψηλές ακουστικές συχνότητες. Για να αποκτήσει τέτοια καμπύλη αποκρίσεως ο ενισχυτής χρησιμοποιούνται διάφορα διορθωτικά κυκλώματα, ακόμη και μεταβλητή αρνητική ανάδραση. Η διεργασία «τονισμού» των υψηλότερων ακουστικών συχνοτήτων κατά την εγγραφή ονομάζεται ***προέμφαση.***

Η κεφαλή εγγραφής πρέπει να συνδέεται στην έξοδο του ενισχυτή μέσα από μια περιοριστική αντίσταση $R_π$ (σχ. 9.26), η οποία να είναι, το λιγότερο 2 φορές μεγαλύτερη από την επαγωγική αντίσταση της κεφαλής στην υψηλότερη συχνότητα λειτουργίας. Διαφορετικά, η αύξηση της επαγωγικής αντιστάσεως της κεφαλής με τη συχνότητα, εξασθενίζει την απαιτούμενη αύξηση του ρεύμα-



Σχ. 9.26.
Σύνδεση μαγνητικής κεφαλής κατά την εγγραφή.

τος εγγραφής. Π.χ., για κεφαλή με L = 0,5 H και για συχνότητα F_{max} = 10 kHz, πρέπει να έχομε:

$$R_\pi \geqslant 4\pi\, F_{max}\, L = 4 \cdot 3{,}14 \cdot 10\,000 \cdot 0{,}5 \approx 50\ k\Omega$$

Είπαμε ότι μέσα από την περιέλιξη της κεφαλής κατά την εγγραφή περνάει, εκτός από το ρεύμα ακουστικών συχνοτήτων, και το ρεύμα προμαγνητίσεως (πολώσεως). Των δύο αυτών ρευμάτων πρέπει να γίνεται μίξη στην έξοδο του ενισχυτή (σχ. 9.26). Το ρεύμα πολώσεως, που προέρχεται από τη ΓΥΣ, περνάει μέσα από τον πυκνωτή C_1. Στη συνέχεια, πρέπει να κατευθύνεται στην περιέλιξη της κεφαλής και ταυτόχρονα να μην ενοχλεί τον ενισχυτή. Για το σκοπό αυτό συνδέονται στο κύκλωμα η προστατευτική αντίσταση $R_{\pi\rho}$ και ο πυκνωτής C_2. Οι τιμές τους εκλέγονται έτσι, ώστε να είναι:

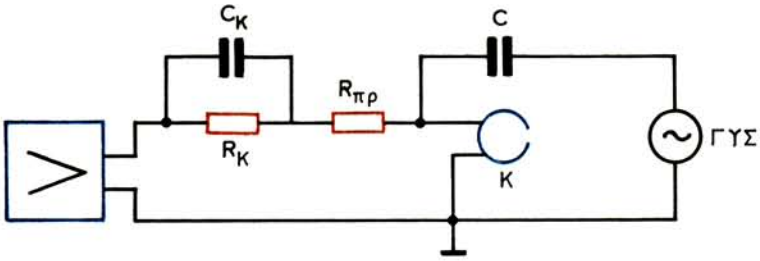
$$\frac{1}{2\pi\, f_\pi\, C_2} = \frac{1}{2} R_{\pi\rho} \qquad \text{και} \qquad R_{\pi\rho} = R_\pi$$

όπου f_π η συχνότητα του ρεύματος πολώσεως (της ΓΥΣ).

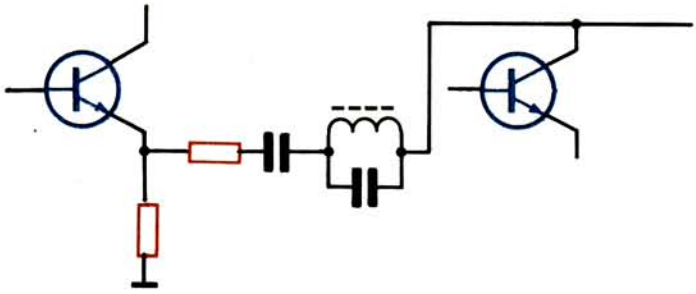
Η τάση εξόδου του ενισχυτή πρέπει να είναι 10-30 V (ανάλογα με τον τύπο της κεφαλής). Μπορούμε να ανυψώσομε την καμπύλη αποκρίσεως του ενισχυτή στις υψηλές ακουστικές συχνότητες, κατά την εγγραφή, λίγο πριν από την κεφαλή. Για τη διόρθωση αυτή χρησιμοποιούμε το κύκλωμα $R_k\, C_k$, που φαίνεται στο σχήμα 9.27. Η ανύψωση της καμπύλης αποκρίσεως που επιτυγχάνεται μ' αυτό το κύκλωμα είναι περίπου ίση με:

$$20 \log \frac{R_k}{2\, R_{\pi\rho}}$$

από όπου μπορούμε να υπολογίσομε την τιμή της R_k. Ο πυκνωτής C_k εκλέγεται πειραματικά.



Σχ. 9.27.
Σύνδεση κυκλώματος προεμφάσεως κατά την εγγραφή.



Σχ. 9.28.
Κύκλωμα μεταβαλλόμενης με τη συχνότητα αρνητικής αναδράσεως.

Κατά την αναπαραγωγή, για να προκύψει η απαραίτητη καμπύλη αποκρίσεως του ενισχυτή, δηλαδή για να κάνομε ***αποέμφαση,*** εφαρμόζομε συνήθως μία από τις δύο επόμενες μεθόδους: τη μεταβαλλόμενη με τη συχνότητα αρνητική ανάδραση (σχ. 9.28) ή τη μεταβαλλόμενη με τη συχνότητα διαίρεση της τάσεως (σχήμα 9.29).

Η αρνητική ανάδραση πραγματοποιείται συνήθως μεταξύ της δεύτερης και τρίτης βαθμίδας του ενισχυτή και η διαίρεση τάσεως, μεταξύ της πρώτης και δεύτερης βαθμίδας.

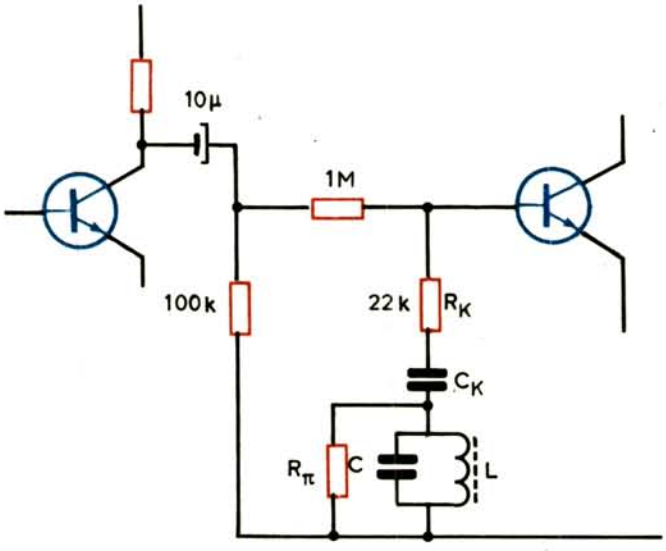
Η σταθερά χρόνου του κυκλώματος R_kC_k στο σχήμα 9.29 εξαρτάται από την ταχύτητα κινήσεως της ταινίας (για την εξάρτηση αυτή δεν θα μιλήσομε εδώ) και είναι:

35 μsec για ταχύτητα 38 cm/sec

70 μsec για ταχύτητα 19 cm/sec

140 μsec για ταχύτητα 9,5 cm/sec

Το κύκλωμα συντονισμού, που συνδέεται σε σειρά με το κύκλωμα R_kC_k,

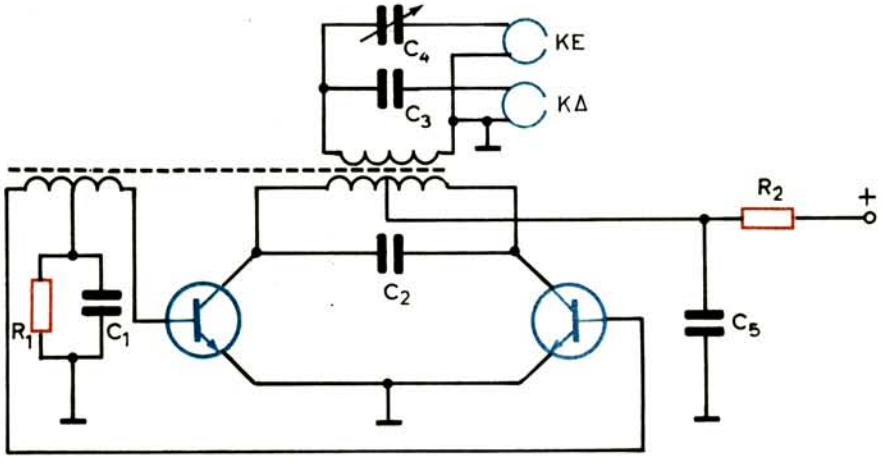


Σχ. 9.29.
Κύκλωμα μεταβαλλόμενης με τη συχνότητα διαιρέσεως του σήματος.

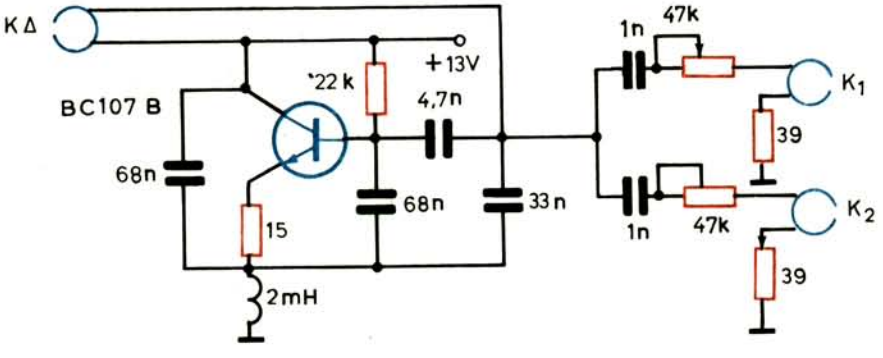
χρησιμοποιείται μόνο στις μικρές ταχύτητες της ταινίας: 9,5 και 4,75 cm/sec. Το κύκλωμα συντονίζει στην υψηλότερη συχνότητα της ακουστικής περιοχής και η δράση του ρυθμίζεται με την εκλογή της παράλληλης αντιστάσεως R_π. Με ταχύτητα ταινίας 19 cm/sec και με αρκετά καλή κεφαλή, η σύνδεση του κυκλώματος LC δεν είναι υποχρεωτική.

9.18.3 Η γεννήτρια υψηλής συχνότητας.

Είπαμε ότι για τη διαγραφή παλαιάς εγγραφής και την προμαγνήτιση (πόλωση) της ταινίας κατά τη νέα εγγραφή χρησιμοποιείται η γεννήτρια (ταλαντωτής) υψηλής συχνότητας. Η ισχύς της, ανάλογα με τον τύπο των μαγνητικών κεφαλών, κυμαίνεται από 2 έως 5 W και η συχνότητα των ταλαντώσεων από 40 έως 80 kHz. Η συχνότητα αυτή δεν χρειάζεται να'είναι σταθερή, ούτε η μορφή των ταλαντώσεων ημιτονική. Πρέπει όμως οι ταλαντώσεις να είναι συμμετρικές, γιατί η ασυμμετρία προκαλεί αύξηση του θορύβου του ενισχυτή. Επειδή η ασυμμετρία οφείλεται κυρίως στην ύπαρξη αρτίων αρμονικών, οι καταλληλότεροι ταλαντωτές για τα μαγνητόφωνα είναι οι συμμετρικοί, οι οποίοι δεν παράγουν άρτιες αρμονικές. Στην περίπτωση απλών ταλαντωτών, μπορούν να χρησιμοποιηθούν φίλτρα απορρίψεως των αρμονικών. Τα πηνία των ταλαντωτών των μαγνητοφώνων θωρακίζονται, ώστε να μην ακτινοβολούν και δημιουργούν παρεμβολές σε κοντινούς ραδιοφωνικούς δέκτες ή επιδράσεις στον ενισχυτή του μαγνητοφώνου.



Σχ. 9.30.
Κύκλωμα συμμετρικού ταλαντωτή υψηλής συχνότητας.



Σχ. 9.31.
Συνδεσμολογία ταλαντωτή για στερεοφωνικό μαγνητόφωνο.

Στο σχήμα 9.30 φαίνεται το κύκλωμα ενός συμμετρικού ταλαντωτή. Ο πυκνωτής C_3 εκλέγεται, ώστε να επιτρέπει την εφαρμογή της μέγιστης τάσεως στην κεφαλή διαγραφής (ΚΔ). Με τον ημιμεταβλητό πυκνωτή C_4 ρυθμίζεται το ρεύμα προμαγνητίσεως (πολώσεως) στην κεφαλή εγγραφής (ΚΕ).

Συνδεσμολογία με τις τιμές των εξαρτημάτων ενός ταλαντωτή, που τροφοδοτεί την κεφαλή διαγραφής (ΚΔ) και τις κεφαλές (κατά την εγγραφή) K_1, K_2 στερεοφωνικού μαγνητοφώνου, φαίνεται στο σχήμα 9.31. Κατά την αναπαραγωγή, η τροφοδότηση των κεφαλών K_1 και K_2 από τον ταλαντωτή διακόπτεται.

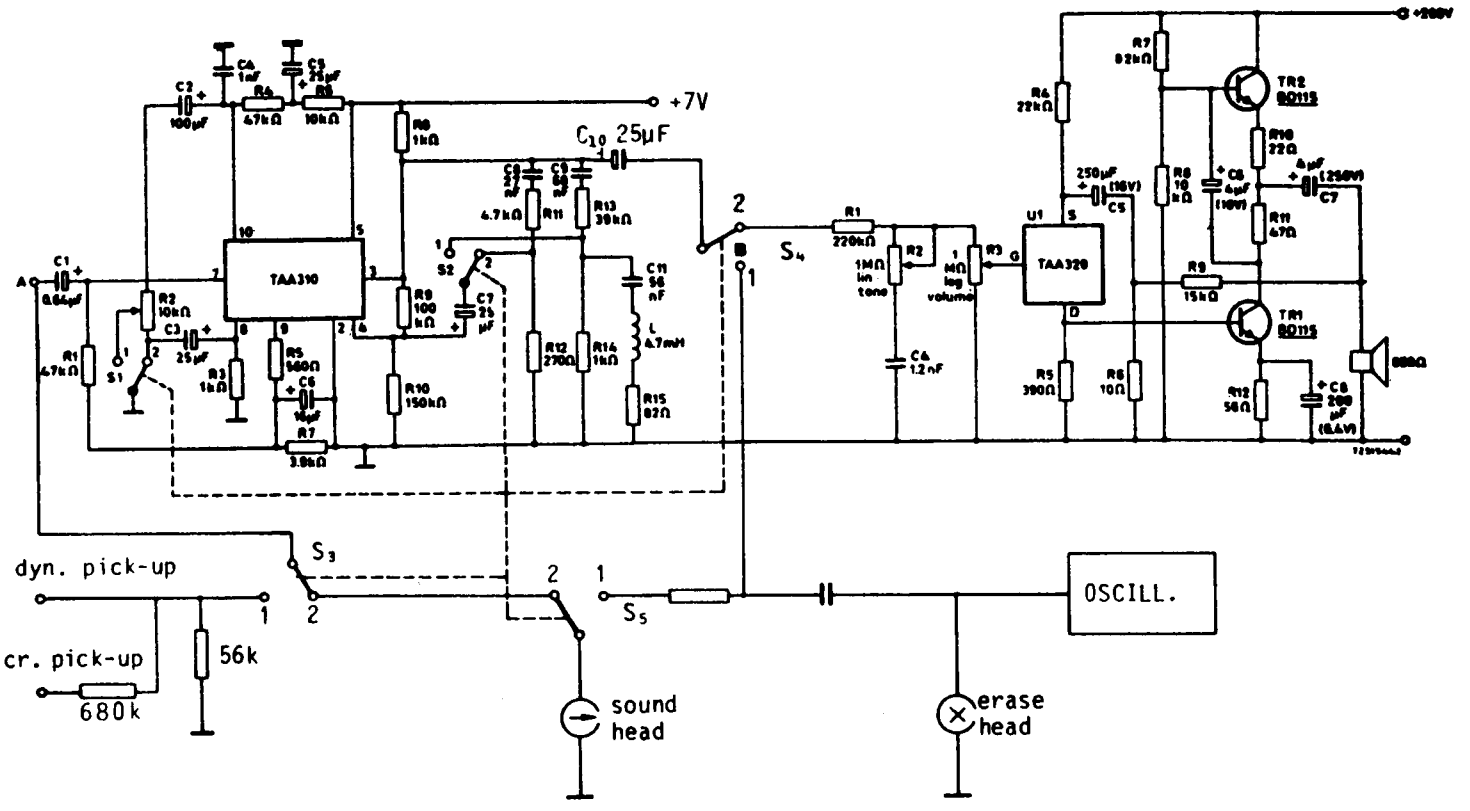
9.19 Συνδεσμολογία ηλεκτρονικού μέρους μαγνητοφώνου.

Συνδεσμολογία του ηλεκτρονικού μέρους ενός μονοφωνικού μαγνητοφώνου φαίνεται στο σχήμα 9.32. Χρησιμοποιείται το ολοκληρωμένο TAA310 σαν προενισχυτής και το ολοκληρωμένο TAA320, συνδυασμένο με τα τρανζίστορ BD 115, σαν τελικός ενισχυτής. Ο προενισχυτής συμμετέχει στην εγγραφή και αναπαραγωγή, ενώ ο τελικός ενισχυτής είναι μόνο για την αναπαραγωγή. Η μεταγωγή του ενισχυτή από την εγγραφή στην αναπαραγωγή γίνεται με τη βοήθεια του πολλαπλού διακόπτη $S_{1\text{-}5}$ (εγγραφή στη θέση 1, αναπαραγωγή στη θέση 2). Με τον ίδιο διακόπτη συνδέεται ή αποσυνδέεται και ο ταλαντωτής, που συμπληρώνει το ηλεκτρονικό μέρος του μαγνητοφώνου. Το ποτενσιόμετρο R_2 του προενισχυτή (TAA310) συμμετέχει μόνο στην εγγραφή και ρυθμίζει τη στάθμη της. Η ρύθμιση της εντάσεως και του τόνου του ήχου κατά την αναπαραγωγή γίνεται με τα ποτενσιόμετρα R_2 και R_3 του τελικού ενισχυτή (TAA320).

Ο προενισχυτής εξασφαλίζει απολαβή 70 dB περίπου με θόρυβο μικρότερο από 4 dB στην περιοχή συχνοτήτων από 30 Hz έως 15 kHz. Στην ομοιόμορφη ενίσχυση αυτής της περιοχής συμβάλλει μια αρνητική ανάδραση τόσο στο εναλλασσόμενο, όσο και στο συνεχές ρεύμα. Η τάση της αρνητικής αναδράσεως παίρνεται από τον ακροδέκτη 3 του ολοκληρωμένου TAA310 και οδηγείται στον ακροδέκτη 4 μέσα από το δικτύωμα του σχήματος 9.33(α), για τις υψηλές συχνότητες κατά την εγγραφή, και μέσα από το δικτύωμα του σχήματος 9.33(β), για τις χαμηλές συχνότητες κατά την αναπαραγωγή. Τα στοιχεία των δικτυωμάτων αυτών με τις τιμές τους φαίνονται στο σχήμα 9.32 (στην έξοδο του TAA310). Οι τιμές των στοιχείων αυτών είναι υπολογισμένες για ταχύτητα μαγνητικής ταινίας 4,75 cm/sec.

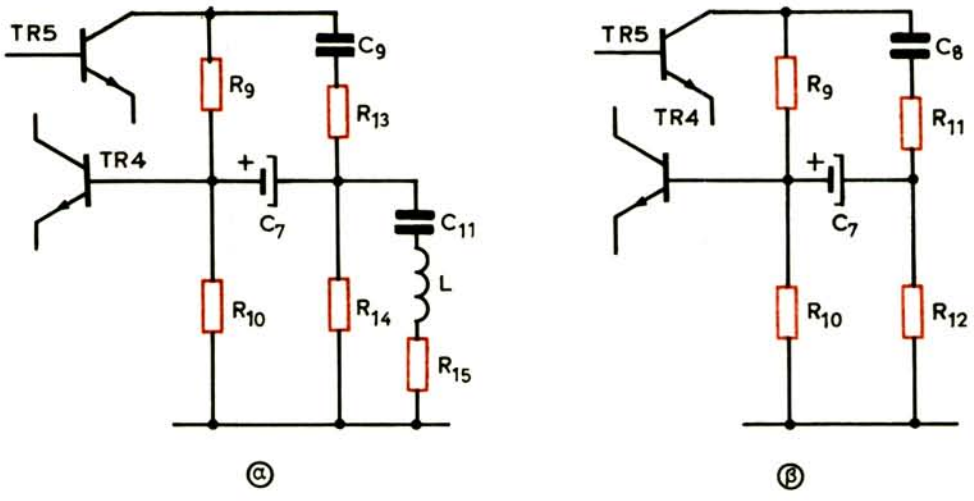
Ο τελικός ενισχυτής της συνδεσμολογίας στο σχήμα 9.32 (TAA320 και BD 115/BD 115) ενισχύει μια περιοχή συχνοτήτων 50-12000 Hz και αποδίδει ισχύ 4 W, σε μεγάφωνο 800 Ω, με αρμονικές παραμορφώσεις 5,5 %.

Για την ένδειξη της στάθμης του σήματος κατά την εγγραφή, τα μαγνητόφωνα διαθέτουν ειδικό ***όργανο στάθμης.*** Παρατηρώντας το όργανο αυτό, έχομε τη δυνατότητα να ελέγχομε και να ρυθμίζομε την τάση εξόδου του ενισχυτή εγγραφής, ώστε να μην υπερμαγνητίζεται η ταινία. Ένα υπερβολικά μεγάλο σήμα δημιουργεί έντονο πεδίο στο διάκενο της κεφαλής εγγραφής με αποτέλεσμα το μαγνητικό της υλικό να εργάζεται στην περιοχή του κόρου. Το γεγονός αυτό προκαλεί απαράδεκτη παραμόρφωση που γίνεται αντιληπτή κατά την αναπαραγωγή. Στα σύγχρονα μαγνητόφωνα τα όργανα στάθμης είναι όργανα κινητού πλαισίου. Χρησιμοποιούνται ακόμη όργανα στάθμης, που κατασκευάζονται με ολοκληρωμένα κυκλώματα και διόδους φωτοεκπομπής (LED = Light Emiting Diodes). Σημειώνομε ότι η όλη διάταξη του οργάνου στάθμης ονομάζεται συνήθως ***VU-meter*** (Volume Unit Meter = μονάδα οργάνου όγκου φωνής ή στάθμης).



Σχ. 9.32.

Συνδεσμολογία ηλεκτρονικού μέρους μονοφωνικού μαγνητοφώνου.



Σχ. 9.33.
Διορθωτικά κυκλώματα.
α) Για τις υψηλές συχνότητες κατά την εγγραφή.
β) Για τις χαμηλές συχνότητες κατά την αναπαραγωγή.

9.20 Το ηλεκτρομηχανικό μέρος των μαγνητοφώνων.

Βασικός προορισμός του ηλεκτρομηχανικού μέρους των μαγνητοφώνων είναι η εξασφάλιση ομαλής κινήσεως της μαγνητικής ταινίας μπροστά από τις κεφαλές με καθορισμένη ταχύτητα. Εκτός από αυτό, πρέπει να επιτρέπει τη γρήγορη περιέλιξη της ταινίας προς τις δύο κατευθύνσεις (ορθή και ανάστροφη) και το γρήγορο σταμάτημά της τόσο κατά την εγγραφή ή αναπαραγωγή, όσο και κατά την περιέλιξη. Το ηλεκτρομηχανικό μέρος των μαγνητοφώνων αποτελείται από έναν ή περισσότερους ηλεκτρικούς κινητήρες και από το σύστημα μεταδόσεως της κινήσεως στην ταινία. Η πλειονότητα των μαγνητοφώνων διαθέτει έναν κινητήρα. Όταν το μαγνητόφωνο τροφοδοτείται από εναλλασσόμενο δίκτυο, ο κινητήρας είναι σύγχρονος ή ασύγχρονος και όταν τροφοδοτείται από αυτόνομες πηγές, είναι κινητήρας συνεχούς ρεύματος με φυγοκεντρικό ή ηλεκτρονικό ρυθμιστή της ταχύτητας περιστροφής.

Η ανομοιόμορφη κίνηση της ταινίας κατά την αναπαραγωγή μιας εγγραφής προκαλεί παραμόρφωση στον ήχο, που συνήθως ονομάζεται ***παραφωνία.*** Μηχανισμοί, που να εξασφαλίζουν απόλυτα ομαλή κίνηση της ταινίας, δεν υπάρχουν. Πηγές που δημιουργούν ανομοιομορφίες στην κίνηση της ταινίας είναι ο ίδιος ο κινητήρας, οι κόμβοι του συστήματος μεταδόσεως της κινήσεως, τα κουζινέτα και άλλα περιστρεφόμενα εξαρτήματα.

Η ταλάντωση της ταχύτητας περιστροφής του άξονα του ηλεκτροκινητήρα,

που οφείλεται σε μεταβολή του πλάτους και της συχνότητας της τροφοδοτικής τάσεως, προκαλεί αστάθεια στη ροπή στρέψεως, που αναπτύσσεται στον κινητήρα.

Στον ηλεκτροκινητήρα παρουσιάζονται επίσης ταλαντώσεις της ταχύτητας από την ιδιόμορφη κατανομή και μεταβολή της μαγνητικής επαγωγής κατά μήκος του διακένου μεταξύ του δρομέα και του στάτη (ρότορα, στάτορα) στη διάρκεια κάθε ημιπεριόδου (κλυδωνισμός του δρομέα). Λόγω αυτού, κατά την τροφοδότηση με εναλλασσόμενη τάση 50 Hz, δημιουργούνται ταλαντώσεις στην ταχύτητα του κινητήρα με συχνότητα 100 Hz.

Η μετάδοση της κινήσεως, που γίνεται με τη βοήθεια καρουλιών (ράουλων) και ιμάντων, δημιουργεί ταλάντωση της ταχύτητας λόγω κάποιας εκκεντρικότητας των καρουλιών και ανομοιομορφίας των ιμάντων (ανόμοιο πάχος και πυκνότητα του υλικού κατασκευής των ιμάντων). Έτσι, ο κυκλικός ιμάντας είναι χειρότερος, επειδή ακόμη και κάποια μικρή διαφορά στο πάχος ή στη σκληρότητά του συντελεί στην αύξηση της ανομοιόμορφης κινήσεως της ταινίας. Καλύτερα αποτελέσματα δίνουν οι ιμάντες που κατασκευάζονται από συμπαγή ταινία.

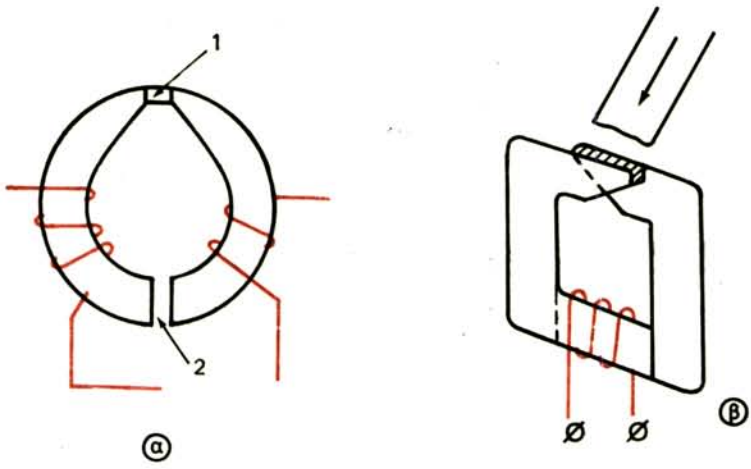
Οι μεταβολές της ταχύτητας κινήσεως της ταινίας με μικρή συχνότητα (5-15 Hz) δημιουργούν την εντύπωση «κυματώσεως» (τρέμουλου) του ήχου. Αυτό ονομάζεται ***παραφωνία πρώτου είδους.***

Όταν η συχνότητα ταλαντώσεως της κινήσεως της ταινίας είναι 100 Hz και περισσότερο, τότε ο ήχος είναι «αδιάκοπος», αλλά παραμένει ακόμη φανερή η «δόνησή» του με ανάμιξη βραχνάδας. Η παραμόρφωση αυτή ονομάζεται ***παραφωνία δεύτερου είδους.***

Στα μαγνητόφωνα χρησιμοποιούνται, όπως είπαμε, κινητήρες σύγχρονοι, ασύχρονοι και με συλλέκτη. Οι κινητήρες των δύο πρώτων τύπων μπορούν να λειτουργούν μόνο με εναλλασσόμενο ρεύμα, ενώ οι κινητήρες με συλλέκτη λειτουργούν τόσο με συνεχές, όσο και με εναλλασσόμενο ρεύμα. Οι κινητήρες με συλλέκτη δεν χρησιμοποιούνται σε μαγνητόφωνα που τροφοδοτούνται από το δίκτυο, επειδή οι ψήκτρες τους δημιουργούν σπινθήρες και επομένως αυξημένους θορύβους. Οι κινητήρες αυτοί χρησιμοποιούνται στα φορητά μαγνητόφωνα που τροφοδούνται με ξηρά στοιχεία. Για οικονομία καταναλώσεως ενέργειας, οι κινητήρες των φορητών μαγνητοφώνων είναι μικρής ισχύος με συνέπεια τη μικρή ταχύτητα κινήσεως της ταινίας. Επειδή ο αριθμός στροφών του κινητήρα και η ισχύς που αυτός καταναλώνει εξαρτώνται από το μηχανικό του φορτίο, η κατασκευή του μηχανισμού ολισθήσεως της ταινίας των φορητών μαγνητοφώνων πρέπει να είναι επιμελημένη.

9.21 Μαγνητικές κεφαλές και ταινίες.

Η αρχή λειτουργίας των μαγνητικών κεφαλών αναφέρθηκε στην παράγραφο 9.15. Η πλειονότητα των κεφαλών κατασκευάζεται όπως φαίνεται στο σχήμα



Σχ. 9.34.
Μορφές μαγνητικών κεφαλών: α) δακτυλιοειδής και β) ορθογώνια.

9.34(α). Αυτή η κατασκευή ονομάζεται ***δακτυλιοειδής.*** Ο πυρήνας, που είναι από υλικό με μεγάλη μαγνητική διαπερατότητα, αποτελείται από δύο ημικυκλικά τμήματα, μεταξύ των οποίων σχηματίζονται δύο διάκενα: το ***λειτουργικό*** (1) και το ***συμπληρωματικό*** (2). Η μαγνητική ταινία εφάπτεται στον πυρήνα της κεφαλής απο την πλευρά του λειτουργικού διακένου. Για το «φιξάρισμα» του πλάτους του λειτουργικού διακένου, γεμίζεται ο ενδιάμεσος χώρος με υλικό που δε μαγνητίζεται (συνήθως με ορείχαλκο). Το συμπληρωματικό διάκενο είναι συνήθως με αέρα.

Οι διαστάσεις των διακένων εξαρτώνται από τον προορισμό της κεφαλής και από την ταχύτητα με την οποία κινείται η ταινία. Η κεφαλή διαγραφής έχει το μεγαλύτερο πλάτος λειτουργικού διακένου (0,1-0,2 mm), σε σύγκριση με τις άλλες κεφαλές (εγγραφής και αναπαραγωγής), για να γίνεται ομαλά η απόσβεση του ήχου προς την κατεύθυνση κινήσεως της ταινίας. Το πλάτος του λειτουργικού διακένου των κεφαλών εγγραφής και αναπραγωγής είναι μερικά μικρά (1 μικρό = 10^{-3} mm). Συμπληρωματικό διάκενο (100-150 μικρών) έχουν οι κεφαλές εγγραφής και οι κεφαλές γενικής χρήσεως. Το διάκενο αυτό προορίζεται για την εξασθένιση του παραμένοντος μαγνητισμού στον πυρήνα της κεφαλής, όταν από την περιέλιξή του περνάει παλμός ρεύματος (κατά τη σύνδεση της κεφαλής ή στην περίπτωση αυξήσεως του ρεύματος εγγραφής).

Ο πυρήνας των κεφαλών κατασκευάζεται από ελάσματα περμαλόης με πάχος 0,05-0,25 mm. Μερικές φορές, ο πυρήνας της κεφαλής διαγραφής κατασκευάζεται από φερίτη για την ελάττωση των απωλειών ενέργειας σε θέρμανση (είναι ο πυρήνας που εργάζεται με το ισχυρότερο μαγνητικό πεδίο). Για τον ίδιο σκοπό, το λειτουργικό διάκενο της κεφαλής διαγραφής δεν συμπληρώνεται με ορείχαλκο, αλλά με μαρμαρυγία.

Στα μαγνητόφωνα ευρείας χρήσεως, εκτός από τις κεφαλές δακτυλιοειδούς τύπου, χρησιμοποιούνται και κεφαλές απλούστερης (ορθογώνιας) κατασκευής, όπως αυτή που φαίνεται στο σχήμα 9.34(β).

Οι μαγνητικές κεφαλές χαρακτηρίζονται, κυρίως, από την αντίστασή τους και από την απόκρισή τους, δηλαδή την ικανότητά τους να εργάζονται σε ορισμένη περιοχή συχνοτήτων. Έχομε κεφαλές χαμηλών αντιστάσεων (10-50 Ω) και υψηλών αντιστάσεων (4-40 kΩ). Τα μαγνητόφωνα ευρείας χρήσεως διαθέτουν κεφαλές, κατά κανόνα, υψηλής αντιστάσεως για εγγραφή και αναπαραγωγή και χαμηλής αντιστάσεως για διαγραφή. Η αντίσταση της μαγνητικής κεφαλής αναφέρεται συνήθως στη συχνότητα του 1 kHz. Η ζώνη των συχνοτήτων αποκρίσεώς τους (για τάση εξόδου 2-3 mV) εξαρτάται από την ταχύτητα κινήσεως της ταινίας και είναι:

20-6000 Hz για ταχύτητα 4,75 cm/sec

20-12000 Hz για ταχύτητα 9,5 cm/sec

20-20000 Hz για ταχύτητα 19 cm/sec

Σημειώνομε ότι, με δύο όμοιες μονοφωνικές μαγνητικές κεφαλές, που τοποθετούνται σε κοινό σώμα, δημιουργείται μια στερεοφωνική κεφαλή. Για την κατάργηση της επιδράσεως του ενός καναλιού στο άλλο, οι κεφαλές διαχωρίζονται μ' ένα καλό θώρακα.

Και τώρα λίγα λόγια για τις γνωστές μας μαγνητικές ταινίες.

Οι μαγνητικές ταινίες είναι πλαστικές και κατασκευάζονται συνήθως με βάση την ακετυλική σελλουλόζη. Η λειτουργική πλευρά της ταινίας επιχρίεται με κατάλληλο μίγμα απο σκόνη μαγνητικού υλικού και συγκολλητικής ουσίας. Ως μαγνητικά υλικά χρησιμοποιούνται το λεγόμενο γάμμα-οξίδιο σιδήρου και ο φερίτης κοβαλτίου. Το πάχος του μαγνητικού επιστρώματος κυμαίνεται μεταξύ 10-15 μικρά, ενώ το όλο πάχος της ταινίας δεν ξεπερνάει τα 50 μικρά (0,05 mm).

Οι μαγνητικές ταινίες κατασκευάζονται σε δύο κυρίως πλάτη:

α) 6,3 mm τυλιγμένες σε καρούλια ή κασέτες των λεγομένων 8 track και

β) 3,75 mm τυλιγμένες σε μικρές κασέτες για οικιακά και φορητά μαγνητόφωνα.

Επάνω στις κασέτες αναγράφονται: το μήκος της ταινίας ή η διάρκειά της για ορισμένη ταχύτητα κινήσεώς της και ενδείξεις για την ποιότητά της, όπως π.χ. «υψηλής πιστότητας» (Hi-Fi), «χαμηλού θορύβου» (LN = Low Noise) κλπ.

Στις κασέτες των 8 track αναγράφεται συνήθως διάρκεια 60 min για ταχύτητα 9,5 cm/sec και στις μικρές κασέτες, διάρκεια επίσης 60 min, αλλά για ταχύτητα 4,75 cm/sec. Η διάρκεια αναφέρεται στο σύνολο των διαδρομών (4 στερεοφωνικές διαδρομές για τις κασέτες των 8 track και 2 διαδρομές για τις μικρές).

Η μαγνητική ταινία πρέπει να διατηρείται σε θερμοκρασία 10-20 °C με σχετική υγρασία αέρα 50-60%. Σε ξηρό αέρα με αυξημένη θερμοκρασία, η ταινία καταστρέφεται γρήγορα (αδυνατίζει και σπάει εύκολα μόλις χρησιμοποιηθεί). Η «γραμμένη» ταινία δεν πρέπει να φυλάσσεται κοντά σε μεγάλα σιδερένια αντικείμενα, σε ηλεκτρομαγνήτες, μετασχηματιστές, σταθεροποιητές και άλλες διατάξεις που δημιουργούν ισχυρά μαγνητικά πεδία.

Ύστερα από μερικά χρόνια διατηρήσεως, ιδιαίτερα σε ακατάλληλο περιβάλλον, η ταινία ξεραίνεται, αδυνατίζει και σχίζεται. Αν τυλιχθεί με βρεγμένο ύφασμα για 5-10 λεπτά, αποκτάει κάποια αντοχή και μπορεί να «παιχθεί», και ταυτόχρονα να μεταγράφεται σε νέα ταινία.

Για τον έλεγχο και τη ρύθμιση των μαγνητοφώνων, υπάρχουν δοκιμαστικές ταινίες. Οι ταινίες αυτές αποτελούνται συνηθως από τρία τμήματα.

Το πρώτο τμήμα περιέχει εγγραφή σήματος με συχνότητα 200 ή 400 Hz και χρησιμοποιείται για μέτρηση και ρύθμιση της ενισχύσεως του ενισχυτή αναπαραγωγής του μαγνητοφώνου.

Το δεύτερο τμήμα προορίζεται για τον έλεγχο της θέσεως των λειτουργικών διακένων των κεφαλών σε σχέση με την κατεύθυνση κινήσεως της ταινίας και για τον έλεγχο της αποκρίσεως του ενισχυτή αναπαραγωγής σε όλη την περιοχή των ακουστικών συχνοτήτων. Γι' αυτόν το σκοπό, στην ταινία είναι γραμμένα σήματα σταθερών συχνοτήτων από 20 Hz έως 20 kHz.

Τέλος, το τρίτο τμήμα περιέχει εγγραφή σήματος με συχνότητα 3 kHz για την εκτίμηση της ομαλής ή όχι ταχύτητας κινήσεως της ταινίας.

9.22 Ποιοτικά χαρακτηριστικά μαγνητοφώνων.

Η ποιότητα μιας μαγνητικής εγγραφής εξαρτάται από ολόκληρη σειρά χαρακτηριστικών του μαγνητοφώνου, με το οποίο γίνεται η εγγραφή και η αναπαραγωγή. Τα χαρακτηριστικά αυτά είναι: η μορφή της καμπύλης αποκρίσεως του ενισχυτή εγγραφής, ο συντελεστής αρμονικών παραμορφώσεων, η σχετική στάθμη θορύβων και μια σειρά από άλλα ειδικότερα χαρακτηριστικά. Πριν αναφερθούμε στα ποιοτικά χαρακτηριστικά των μαγνητοφώνων, θα πούμε δυο λόγια για τη ***στάθμη εγγραφής.***

Όταν μιλάμε για στάθμη κάποιας εγγραφής εννοούμε το βαθμό της ωφέλιμης μαγνητίσεως της ταινίας, στην οποία γίνεται η εγγραφή. Ο βαθμός μαγνητίσεως μεταβάλλεται συνεχώς κατά μήκος της ταινίας. Γι' αυτό ως «μαγνήτιση» θεωρείται μια μέση τιμή, που καθορίζει την ένταση αναπαραγωγής της εγγραφής.

Με υπερβολική μαγνήτιση της ταινίας ή, όπως λέγεται, με ***υπερμαγνήτιση,*** δημιουργούνται μεγάλες παραμορφώσεις. Κάθε τύπος ταινίας δέχεται μια μέγιστη δυνατή μαγνήτιση, με την οποία οι παραμορφώσεις δεν ξεπερνούν κάποιο μέγεθος. Ο βαθμός αυτός μαγνητίσεως κατορθώνεται με τη λεγόμενη ***μέγιστη***

στάθμη εγγραφής. Η στάθμη αυτή, που τη μετρούμε σε mMx (millimaxwell = 10^{-11} weber), εξαρτάται από την ταχύτητα κινήσεως της ταινίας.

Τα ποιοτικά χαρακτηριστικά των μαγνητοφώνων είναι τα ακόλουθα.

1) Η ταχύτητα κινήσεως της ταινιας. Από την πλευρά αυτού του χαρακτηριστικού, τα μαγνητόφωνα διακρίνονται σε πέντε ομάδες με ταχύτητες: 76,2 - 38,1 - 19,05 - 9,53 και 4,76 cm/sec (υπάρχει και η 2,88 cm/sec, που ανήκει στην πέμπτη ομάδα). Οι δύο πρώτες ταχύτητες (76,2 και 38,1 cm/sec) χρησιμοποιούνται σε μαγνητόφωνα ραδιοφωνικών εγκαταστάσεων και οι υπόλοιπες στα φορητά, οικιακά και ερασιτεχνικά μαγνητόφωνα.

2) Η ζώνη διελεύσεως. Η μικρότερη και η μεγαλύτερη συχνότητα της ζώνης αυτής δεν είναι ίδια για τις διάφορες ταχύτητες κινήσεως της ταινίας. Για τις δύο πρώτες ομάδες των μαγνητοφώνων, η ζώνη διελεύσεως είναι περίπου 30-15000 Hz, για την τρίτη ομάδα, 50-10000 Hz και για τις υπόλοιπες, 100-6000 Hz.

3) Η ανομοιομορφία της καμπύλης αποκρίσεως. Η ανομοιομορφία της καμπύλης αυτής δεν είναι ίδια για τις διάφορες συχνότητες μιας ζώνης διελεύσεως και τις διάφορες ομάδες μαγνητοφώνων. Για τις δύο πρώτες ομάδες κυμαίνεται από –5 έως –3 dB και για τις υπόλοιπες, από –7 έως +3 dB.

4) Η στάθμη θορύβων. Οι θόρυβοι προέρχονται κυρίως από την ανομοιομορφία του μαγνητικού στρώματος της ταινίας και από τις πρώτες βαθμίδες του ενισχυτή. Η στάθμη τους δεν πρέπει να είναι χειρότερη από –60 dB για τις δύο πρώτες ομάδες μαγνητοφώνων και από –40 dB για τις υπόλοιπες.

5) Ο συντελεστής αρμονικών παραμορφώσεων. Ο συντελεστής αυτός εκτιμάται για μέγιστη στάθμη εγγραφής στη συχνότητα των 400 Hz και δεν πρέπει να είναι μεγαλύτερος από 3% για την πρώτη ομάδα μανητοφώνων, 4% για τη δεύτερη και 5% για τις υπόλοιπες.

6) Η μέγιστη στάθμη εγγραφής. Η μέγιστη αυτή στάθμη, δηλαδή η μαγνήτιση της ταινίας, για τα μαγνητόφωνα με ταχύτητα κινήσεως της ταινίας 76,2 cm/sec, κυμαίνεται γύρω στα 100 mMx και για τα άλλα, γύρω στα 160 mMx.

Σημειώνομε ότι η ταχύτητα κινήσεως της ταινίας δεν πρέπει να αποκλίνει από την κανονική της τιμή περισσότερο από ±2%. Αν η απόκλιση είναι μεγαλύτερη, αλλά παραμένει σταθερή, αλλάζει ο τόνος του ήχου, δηλαδή γίνεται υψηλότερος ή χαμηλότερος. Πολλές φορές αυτό συμβαίνει σκόπιμα για τη δημιουργία «ηχητικών τεχνασμάτων». Αν, όμως, η απόκλιση είναι ασταθής (ταλαντώνεται) εμφανίζεται η λεγόμενη «παραφωνία» και ο ήχος μοιάζει με τον ήχο χαβανέζικης κιθάρας.

9.23 Αρχή ψηφιακής εγγραφής και αναπαραγωγής ήχου.

Με την ανάπτυξη των ολοκληρωμένων κυκλωμάτων και της ψηφιακής τεχνολογίας, τα αναλογικά συστήματα εγγραφής και αναπαραγωγής του ήχου (ηλε-

κτρόφωνα, μαγνητόφωνα), εκτοπίζονται όλο και περισσότερο από ψηφιακά ηχοσυστήματα.

Η ψηφιακή εγγραφή του ήχου, σε σύγκριση με την αναλογική, έχει δύο βασικά πλεονεκτήματα:

α) Περιορίζει σημαντικά τους παράγοντες που χειροτερεύουν την ποιότητα του ήχου, όπως είναι οι θόρυβοι, οι αρμονικές (μη γραμμικές) παραμορφώσεις κλπ.

β) Δίνει τη δυνατότητα παραγωγής αντιγράφων, από το πρωτότυπο, εντελώς ίδιων και ανεξάρτητα από το πλήθος τους.

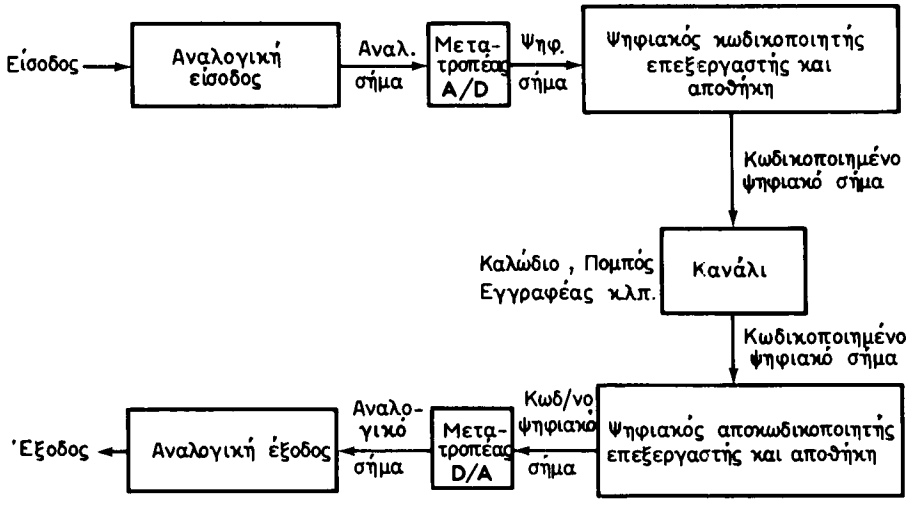
Το μειονέκτημά της είναι ότι απασχολεί πλατιά ζώνη συχνοτήτων και χρειάζεται πολύπλοκα κυκλώματα.

Το χονδρικό διάγραμμα του συστήματος ψηφιακής επεξεργασίας ενός σήματος φαίνεται στο σχήμα 9.35. Το αναλογικό σήμα οδηγείται στο μετατροπέα A/D (Analog/Digital) και γίνεται ψηφιακό. Ύστερα, κωδικοποιείται και εκπέμπεται ή αποθηκεύεται (εγγράφεται) σε δίσκο ή μαγνητική ταινία. Για την αναπαραγωγή ακολουθείται ο αντίστροφος δρόμος. Πρώτα, το ψηφιακό σήμα αποκωδικοποιείται, ύστερα μετατρέπεται σε αναλογικό από το D/A και στη συνέχεια αναπαράγεται με συνηθισμένα μέσα.

Τα στάδια της μετατροπής ενός αναλογικού σήματος σε ψηφιακό φαίνονται στο διάγραμμα του σχήματος 9.36, όπου διαδοχικά γίνεται:

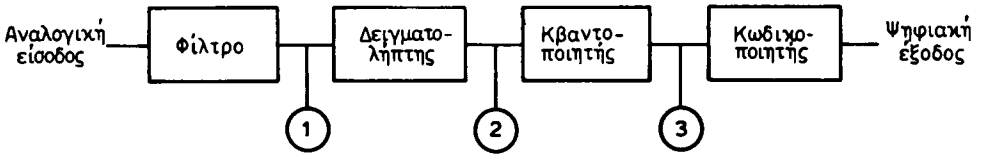
— ***Φιλτράρισμα:*** περιορίζεται το εύρος του αναλογικού σήματος.

— ***Δειγματοληψία:*** λαμβάνονται, με καθορισμένη συχνότητα, δείγματα από το αναλογικό σήμα και το τελευταίο, από συνεχές μετατρέπεται σε ασυνε-



Σχ. 9.35.

Διάγραμμα συστήματος ψηφιακής επεξεργασίας σήματος.



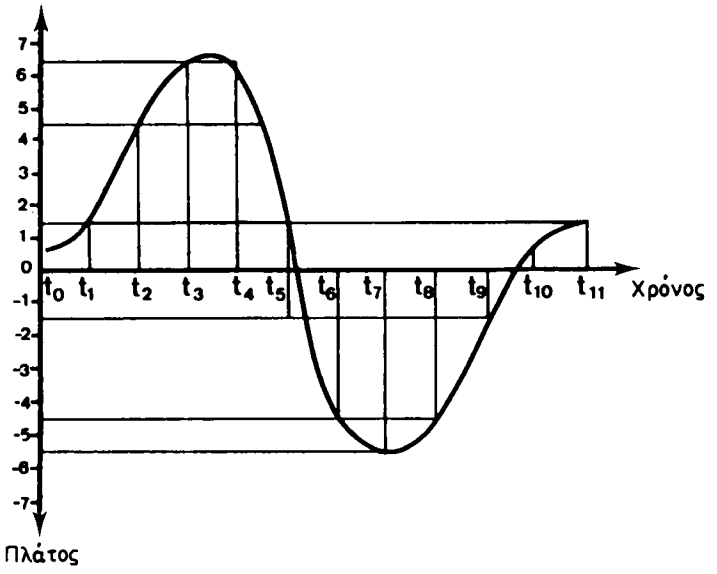
Σχ. 9.36.

Διάγραμμα μετατροπής αναλογικού σήματος σε ψηφιακό.



Σχ. 9.37.

Δειγματοληψία για τη μετατροπή συνεχούς σήματος (αναλογικού) σε ασυνεχές.



Δείγμα	t_0	t_1	t_2	t_3	t_4	t_5	t_6	t_7	t_8	t_9	t_{10}	t_{11}
Δεκαδική εκτίμηση	1	2	5	7	6	0	5	6	5	2	1	1
Δυαδική εκτίμηση	0001	0010	0101	0111	0110	0000	1011	1010	1011	1110	0001	0001

Σχ. 9.38.

Κβαντοποίηση σήματος.

χές. Οι μορφές συνεχούς και ασυνεχούς σήματος μετά τη δειγματοληψία φαίνονται στο σχήμα 9.37.

— ***Κβαντοποίηση:*** μετατρέπονται τα δείγματα σε αριθμούς ανάλογα με το ύψος τους. Η μετατροπή γίνεται πρώτα στο δεκαδικό σύστημα και ύστερα στο δυαδικό. Στο σχήμα 9.38 φαίνεται η κβαντοποίηση σήματος με δειγματοληψία στους χρόνους από T_0 έως T_{11}.

— ***Κωδικοποίηση:*** γίνεται μετατροπή των αριθμών που προέκυψαν από την κβαντοποίηση σε ψηφιακούς με κώδικες, ανάλογα με την εφαρμογή που θα ακολουθήσει (εκπομπή, αποθήκευση κλπ.).

9.24 Ο συμπαγής δίσκος (compact disc).

Το πιο γνωστό σύστημα ψηφιακής ηχοτεχνικής πήρε το όνομά του από τον λεγόμενο ***compact disc*** (συμπαγή δίσκο) ή συντομογραφικά, ***CD*** (Σι-Ντι), επάνω στον οποίο γίνεται η εγγραφή του ήχου. Με το ίδιο όνομα είναι σήμερα γνωστοί και οι αντίστοιχοι εγγραφείς ***(CD recorders)*** και αναπαραγωγείς *(CD players)* των ψηφιακών ηχοσημάτων.

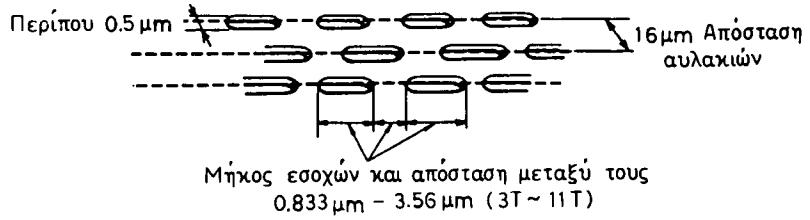
Τα χαρακτηριστικά ενός CD και ενός δίσκου LP (long play) δίνονται στον επόμενο πίνακα από τον οποίο φαίνεται η υπεροχή του CD.

Πίνακας χαρακτηριστικών CD και LP

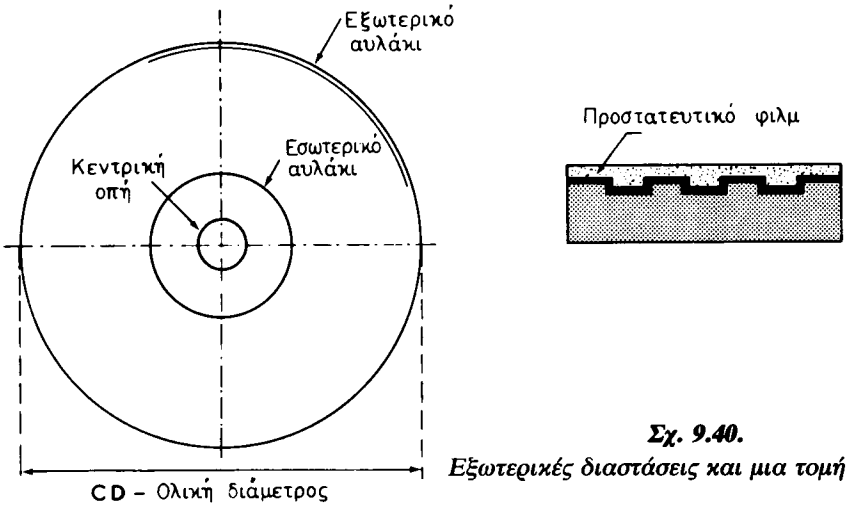
Χαρακτηριστικά	CD	LP
Απόκριση συχνότητας	20 Hz-20 kHz ± 0,5 dB	30 Hz-20 kHz ± 3 dB
Δυναμική περιοχή	Μεγαλύτερη από 90 dB	70 dB (στο 1 kHz)
Σήμα / Θόρυβος	90 dB	60 dB
Αρμονική παραμόρφωση	Μικρότερη από 0,001%	1-2%
Διαχωρισμός καναλιών	Μεγαλύτερη από 90 dB	25-30 dB
Wow-Flutter	Ακρίβεια κρυστάλλου	0,03%

Εκτός από τα παραπάνω, ο CD παρουσιάζει και άλλα πλεονεκτήματα σε σύγκριση με το δίσκο LP, όπως:

- Ο δίσκος δεν φθείρεται, ανεξάρτητα από τη χρήση του, επειδή η ανάγνωση γίνεται με ακτίνα λέιζερ (laser).
- Η διάμετρος του CD είναι πολύ μικρότερη (12 cm) από εκείνη του LP (30 cm), παρ' όλο που στον πρώτο είναι γραμμένη μουσική μεγαλύτερης χρονικής διάρκειας.
- Η σκόνη επάνω στον CD δεν μειώνει την ποιότητα και τα «σκρατς» είναι σχεδόν ανύπαρκτα.
- Στο CD, τέλος, γράφεται, εκτός από τον ήχο, ολόκληρο σύστημα πληροφοριών για τη διόρθωση σφαλμάτων και άλλων χαρακτηριστικών.



Σχ. 9.39.
Διαστάσεις εσοχών και αυλακιού σε CD.



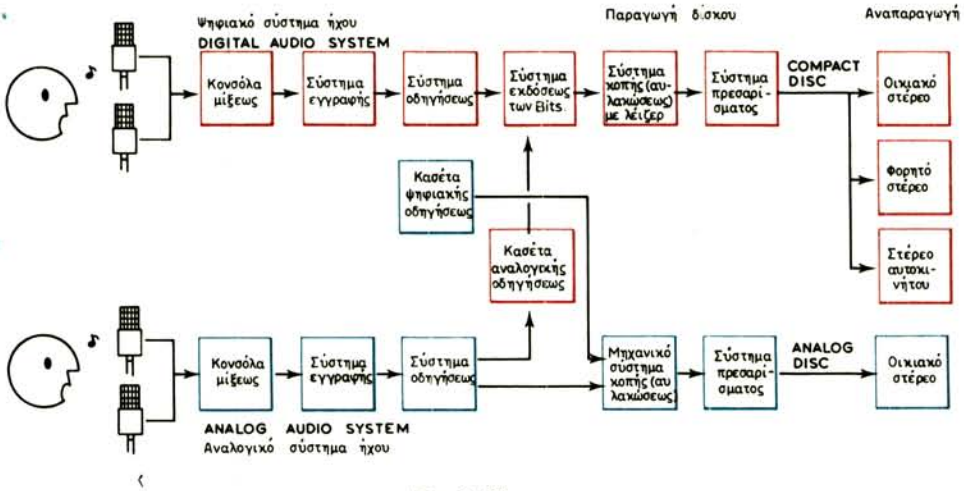
Σχ. 9.40.
Εξωτερικές διαστάσεις και μια τομή του CD.

α) Η εγγραφή σε CD.

Στο CD χρησιμοποιείται μόνο η μία πλευρά, μάλλον για οικονομικούς και όχι τεχνικούς λόγους.

Η ψηφιακή εγγραφή γίνεται πρώτα επάνω σε ειδικά κατασκευασμένο δίσκο με φωτοευαίσθητη επιφάνεια. Ισχυρή ακτίνα laser κινείται επάνω στην επιφάνεια του δίσκου αυτού και οδηγούμενη από το κωδικοποιημένο για εγγραφή σήμα, άλλες περιοχές του τις φωτίζει και άλλες όχι. Η κίνηση της ακτίνας laser είναι σπειροειδής από το κέντρο του δίσκου προς την περιφέρεια και με τη φορά των δεικτών του ωρολογίου (αντίθετα απ'ό,τι συμβαίνει στο δίσκο LP). Στη συνέχεια σκληραίνονται οι περιοχές που δεν φωτίστηκαν και αφαιρούνται οι υπόλοιπες. Έτσι, δημιουργείται το αυλάκι του δίσκου με εσοχές ή όχι, που είναι ανάλογες με τα ψηφιακά δεδομένα. Από τον πρωτότυπο αυτό δίσκο κατασκευάζονται οι μήτρες και ακολούθως «σταμπαριστά» τα αντίγραφα.

Οι διαστάσεις των εσοχών, η απόσταση μεταξύ τους και οι διαστάσεις του αυλακιού φαίνονται στο σχήμα 9.39. Το βάθος των εσοχών είναι της τάξεως του μm.



Σχ. 9.41.

Διάγραμμα συγκρίσεως συστημάτων CD και LP.

Η επιφάνεια του δίσκου καλύπτεται με αλουμίνιο για να είναι ανακλαστική και επάνω από αυτό στρώνεται διαφανές προστατευτικό υλικό με πάχος 1 mm περίπου.

Στο σχήμα 9.40 φαίνονται οι εξωτερικές διαστάσεις του δίσκου και μια τομή του, που δείχνει τις εξοχές με το προστατευτικό υλικό.

Ένα διάγραμμα συγκρίσεως ψηφιακής και αναλογικής εγγραφής ήχου φαίνεται στο σχήμα 9.41. Εδώ, ας τονίσομε ότι στο CD, εκτός από τον ήχο, είναι γραμμένες και πολλές άλλες πληροφορίες που αφορούν:

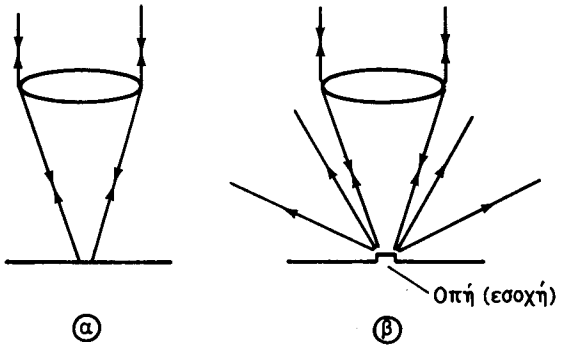
- Στη διόρθωση των σφαλμάτων.
- Στον έλεγχο των δεδομένων (τίτλων, χρόνων κ.ά).
- Στο συγχρονισμό των διαφόρων σημάτων.

β) Η αναπαραγωγή από CD.

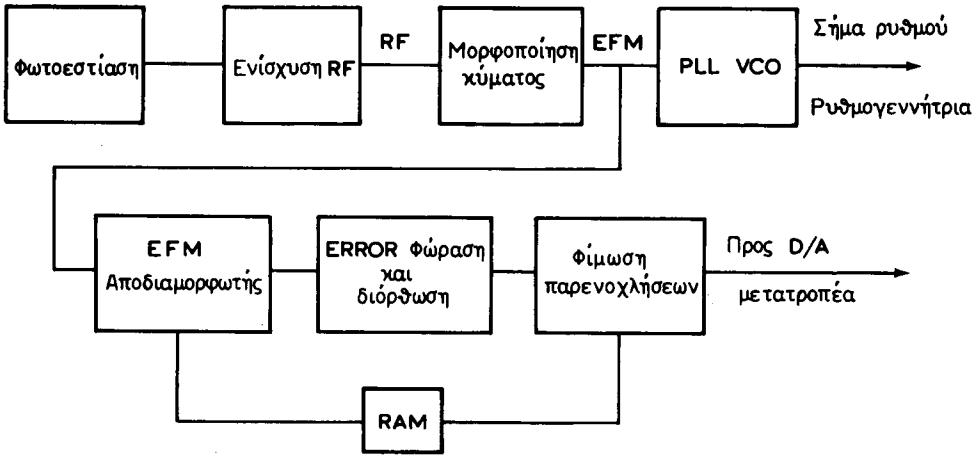
Κατά την αναπαραγωγή, δέσμη ακτίνων laser εστιάζεται με μεγάλη ακρίβεια στο αυλάκι του CD. Επειδή η επιφάνεια του δίσκου είναι ανακλαστική, φωτεινές ακτίνες επιστρέφουν σε μια φωτοδίοδο με τη βοήθεια κατάλληλου συστήματος φακών. Αν η δέσμη laser δεν συναντήσει εξοχή, πολλές φωτεινές ακτίνες επιστρέφουν στη φωτοδίοδο [σχ. 9.42(α)], ενώ αν συναντήσει εξοχή, οι φωτεινές ακτίνες διασκορπίζονται [σχ. 9.42(β)] και πολύ λιγότερες φθάνουν στη φωτοδίοδο.

Με τη βοήθεια του διαγράμματος του σχήματος 9.43, θα παρακολουθήσομε την πορεία του σήματος από τη φωτοδίοδο μέχρι το μετατροπέα D/A.

Η φωτοδίοδος, που δέχεται τις ανακλώμενες από το CD φωτεινές ακτίνες, παράγει μικρές μεταβολές ρεύματος, οι οποίες ενισχύονται αφού πρώτα μετατραπούν σε μεταβολές τάσεως.



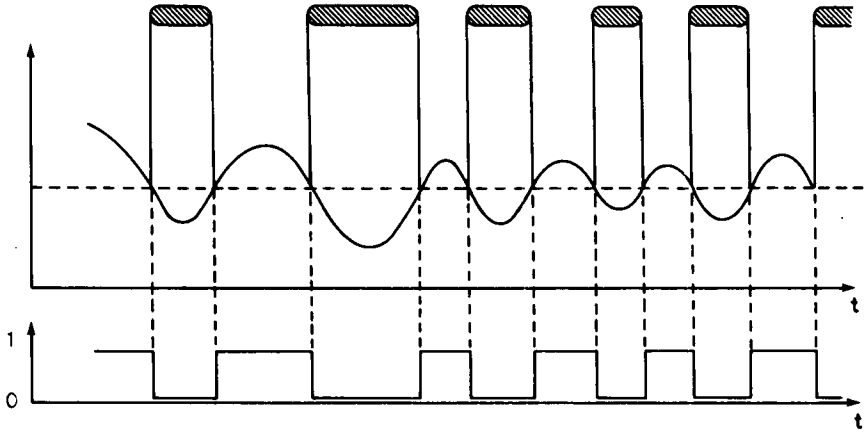
Σχ. 9.42.
Ανάκλαση ακτίνων από CD.



Σχ. 9.43.
Διάγραμμα τμήματος CD player (από φωτοδίοδο μέχρι το μετατροπέα D/A).

Μετά την ενίσχυση, το σήμα μορφοποιείται στην αντίστοιχη βαθμίδα (wave shaping). Η μορφοποίηση (σχ. 9.44) είναι απαραίτητη για να αποκτήσει το σήμα τετραγωνική μορφή, ώστε να είναι ευδιάκριτα τα δυαδικά ψηφία 0 και 1.

Στην έξοδο του μορφοποιητή το σήμα διακλαδίζεται και εφαρμόζεται σε ένα κύκλωμα PLL (Phase Locked Loop, κλείδωμα φάσεως), από όπου εξάγεται ο παλμός συγχρονισμού και σε ένα αποδιαμορφωτή EFM. Κατά την εγγραφή η διαμόρφωση EFM μετατρέπει το ψηφιακό σήμα των 8 Bits σε σήμα των 14 Bits με σκοπό την καλύτερη εγγραφή (EFM = Eiqht Forteen Modulation). Ο αποδιαμορφωτής EFM κάνει τώρα το αντίθετο, δηλαδή μετατρέπει το σήμα των 14 Bits σε σήμα των 8 Bits.



Σχ. 9.44.
Μορφοποίηση σήματος από CD.

Ακολουθούν τα κυκλώματα αναγνωρίσεως σφαλμάτων και αναπληρώσεως (Error Detection and Correction) δειγμάτων που τυχόν λείπουν με τη βοήθεια μνήμης RAM. Η αναπλήρωση δείγματος γίνεται με διαδικασία εκτιμήσεως της πιθανής τιμής του και παρεμβολής της τιμής αυτής στην κενή θέση. Εδώ υπάρχει και κύκλωμα φιμώσεως παρενοχλήσεων (Interpolation Mutinq).

Ύστερα από αυτή τη διαδικασία, το σήμα οδηγείται στο μετατροπέα D/A όπου γίνεται αναλογικό για να ακολουθήσει τη γνωστή πορεία των αναλογικών σημάτων.

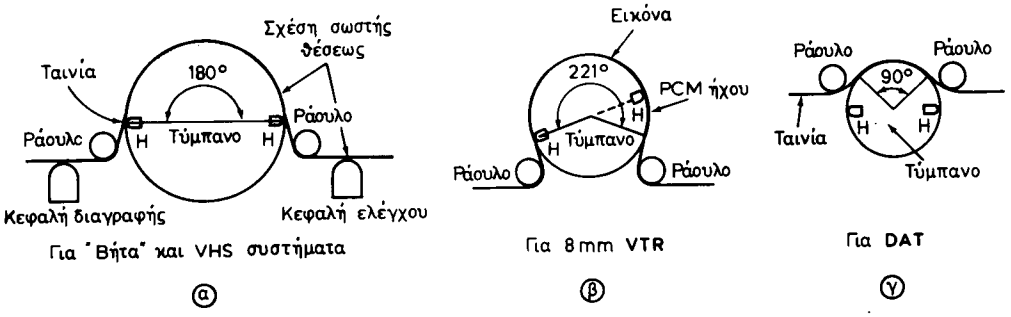
Τέλος σημειώνομε ότι η δειγματοληψία στο CD γίνεται με τη συχνότητα των 44,1 kHz.Αυτό σημαίνει ότι για το κάθε δευτερόλεπτο μουσικής υπάρχουν 1 234 800 Bits (44100 δείγματα × 14 Bits × 2 κανάλια = 1 234 800 Bits), αν έχομε εγγραφή με σήμα 14 Bits.

9.25 Μαγνητική ψηφιακή εγγραφή ήχου.

Η μαγνητική ψηφιακή εγγραφή ήχου, που είναι γνωστή σαν ***DAT*** (Digital Audio Tape) έχει τα πλεονεκτήματα της εγγραφής σε CD. Στα μειονεκτήματα όμως, εκτός από την πολυπλοκότητα του συστήματος, πρέπει να προστεθούν δύο ακόμη:

- Με το κόψιμο της ταινίας χάνονται, εκτός από τη μουσική, και άλλες πληροφορίες.
- Τα περιεχόμενα της ταινίας καταστρέφονται ακόμη και αγγίζοντάς την με το δάκτυλο.

Δύο βασικά συστήματα DAT αναπτύχθηκαν: το με περιστρεφόμενες κεφαλές ή ***R-DAT*** (Rotary-DAT) και το με ακίνητες κεφαλές ή ***S-DAT*** (Stationary-DAT).



Σχ. 9.45.

Κίνηση ταινίας και κεφαλών για δύο τύπους VIDEO και ένα DAT.

Το σύστημα S-DAT βρίσκεται ακόμη στο στάδιο της εξελίξεως. Στο σύστημα R-DAT, η κίνηση ταινίας και κεφαλών μοιάζει με εκείνη του VIDEO με τη διαφορά ότι διαθέτει μικρότερο τύμπανο και η ταινία εφάπτεται σε μικρότερο τμήμα του. Στο σχήμα 9.45 φαίνεται η διάταξη ταινίας και κεφαλών για δύο τύπους VIDEO (α και b) και για το DAT (c).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΔΕΚΑΤΟ

ΓΡΑΜΜΕΣ - ΚΕΡΑΙΕΣ ΚΑΙ ΔΙΑΔΟΣΗ ΚΥΜΑΤΩΝ

10.1 Γενικά.

Για την πραγματοποίηση μιας ραδιοεπικοινωνίας πρέπει η ισχύς εξόδου του πομπού να μεταφερθεί στην κεραία του για να ακτινοβοληθεί στο γύρω χώρο. Το ίδιο και στη λήψη, η τάση που αναπτύσσεται στην κεραία του δέκτη μεταφέρεται στην είσοδό του για να υποστεί τη γνωστή επεξεργασία, ώστε να φθάσει στο μεγάφωνο το ωφέλιμο σήμα.

Τα συστήματα, που προορίζονται για τη μεταφορά της ηλεκτρικής ενέργειας από τον πομπό στην κεραία του ή από την κεραία λήψεως στο δέκτη, ονομάζονται ***γραμμές μεταφοράς*** (feeder lines ή transmission lines).

Για την ακτινοβολία και τη λήψη των ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων χρησιμοποιούνται οι γνωστές ειδικές διατάξεις, που ονομάζονται ***κεραίες*** (antennas).

Με τα συστήματα μεταφοράς της ηλεκτρικής ενέργειας και τις διατάξεις ακτινοβολίας και λήψεως της ενέργειας αυτής, που χρησιμοποιούνται κυρίως στη ραδιοεπικοινωνία και ειδικότερα στη ραδιοφωνία, θα κάνομε μια πρώτη γνωριμία. Η λεπτομερής μελέτη τους βρίσκεται έξω από το σκοπό αυτού του βιβλίου. Στη συνέχεια, θα δώσομε λίγα στοιχεία σχετικά με τα ηλεκτρομαγνητικά κύματα και τις συνθήκες διαδόσεώς τους από τον πομπό στο δέκτη.

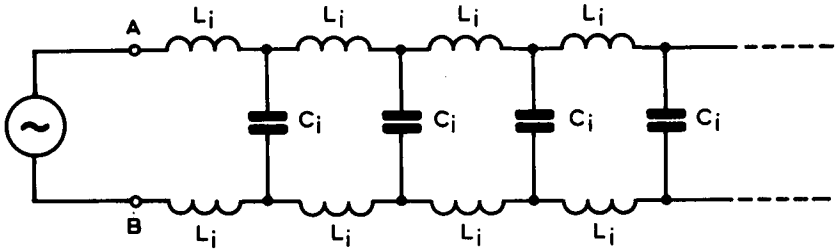
10.2 Είδη γραμμών και στοιχεία τους.

Στις υψηλές συχνότητες (ραδιοφωνικές) χρησιμοποιούνται τρία είδη γραμμών:

α) Γραμμές με δύο παράλληλους γυμνούς ή μονωμένους αγωγούς.

β) Καλώδια δύο αγωγών θωρακισμένων με μεταλλικό πλέγμα.

γ) Ομοαξονικά καλώδια (coaxial cables), που αποτελούνται από έναν αγωγό στον άξονά τους (η μερικούς παράλληλους αγωγούς) και ένα μεταλλικό θώρακα. Μεταξύ του αγωγού και του θώρακα παρεμβάλλεται κατάλληλο μονωτικό υλικό.



Σχ. 10.1.
Ισοδύναμο ηλεκτρικό κύκλωμα γραμμής.

Στην περιοχή των υπερυψηλών συχνοτήτων, με τη βοήθεια των γραμμών, κατασκευάζονται ακόμη και κυκλώματα ταλαντώσεων. Αυτό, σημαίνει ότι μια γραμμή έχει αυτεπαγωγή και χωρητικότητα.

Στα συνηθισμένα κυκλώματα ταλαντώσεων, η αυτεπαγωγή L και η χωρητικότητα C είναι «συγκεντρωμένες» στο πηνίο και στον πυκνωτή (στοιχεία που φαίνονται), γι' αυτό ονομάζονται και κυκλώματα με ***εντοπισμένα στοιχεία.*** Αντίθετα, σε κάθε μικρό τμήμα γραμμής υπάρχει κάποια αυτεπαγωγή L και μεταξύ των αγωγών της γραμμής κάποια χωρητικότητα C (στοιχεία που δεν φαίνονται). Η αυτεπαγωγή και η χωρητικότητα της γραμμής κατανέμονται ομοιόμορφα σε ολόκληρο το μήκος της, γι' αυτό η γραμμή ονομάζεται και κύκλωμα με ***κατανεμημένα στοιχεία.***

Έτσι, μια γραμμή μπορεί να παρασταθεί με ένα ισοδύναμο ηλεκτρικό κύκλωμα, που αποτελείται απο στοιχειώδεις αυτεπαγωγές και χωρητικότητες, συνδεμένες όπως φαίνεται στο σχήμα 10.1.

Οι ιδιότητες της γραμμής καθορίζονται από το μήκος της και από τις τιμές των στοιχείων L και C ανά μονάδα μήκους της. Εξάλλου, τα στοιχεία L και C εξαρτώνται από τη διάμετρο των αγωγών, την απόσταση μεταξύ τους και τη μόνωσή τους.

Κάθε τμήμα γραμμής έχει επίσης κάποια ωμική αντίσταση R. Αν το μήκος της γραμμής δεν είναι μεγάλο και αποτελείται από αγωγούς με μεγάλη αγωγιμότητα και καλές μονώσεις μεταξύ τους, η αντίσταση R είναι πολύ μικρή και μπορεί να αμεληθεί. Οι γραμμές με ανύπαρκτη πρακτικά ωμική αντίσταση ονομάζονται ***γραμμές χωρίς απώλειες,*** γιατί δεν καταναλώνουν ενέργεια.

10.3 Τρέχοντα κύματα στη γραμμή.

Συνδέομε στην είσοδο μιας γραμμής με άπειρο (πολύ μεγάλο πρακτικά) μήκος (μεταξύ των σημείων AB στο σχήμα 10.1) πηγή εναλλασσόμενης ημιτονικής τάσεως. Με την εφαρμογή της τάσεως, οι στοιχειώδεις πυκνωτές μεταξύ των αγωγών της γραμμής φορτίζονται και εκφορτίζονται διαδοχικά, μέσα από τις αντίστοιχες αυτε-

παγωγές, και στα άκρα τους εμφανίζεται εναλλασσόμενη τάση της μορφής της τάσεως της πηγής, δηλαδή ημιτονική. Έτσι, η τάση της πηγής μεταφέρεται κατά μήκος της γραμμής, από την αρχή έως το τέρμα της. Η τέτοια «διάδοση» τάσεως κατά μήκος μιας γραμμής δημιουργεί το λεγόμενο ***τρέχον κύμα τάσεως.***

Για τη φόρτιση, όμως, των πυκνωτών μετακινούνται φορτία, οι αγωγοί της γραμμής διαρρέονται από ρεύμα και επομένως, μαζί με τον τρέχον κύμα τάσεως, έχομε κατά μήκος της γραμμής και ***τρέχον κύμα ρεύματος.***

Το τρέχον κύμα ρεύματος δημιουργεί γύρω από τους αγωγούς της γραμμής μαγνητικό πεδίο Η και το τρέχον κύμα τάσεως, ηλεκτρικό πεδίο Ε μεταξύ των αγωγών της γραμμής. Έτσι, κατά μήκος της γραμμής εμφανίζονται πεδία, ηλεκτρικό και μαγνητικό, με μορφές που φαίνονται στο σχήμα 10.2. Τα πεδία αυτά μετατοπίζονται και δημιουργούν το ***ηλεκτρομαγνητικό κύμα,*** το οποίο μεταφέρει ενέργεια από την είσοδο της γραμμής στο τέρμα της.

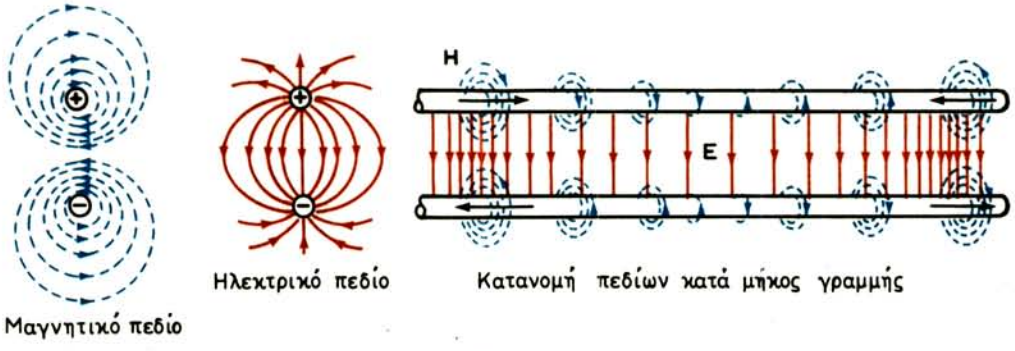
Η ταχύτητα διαδόσεως του τρέχοντος κύματος κατά μήκος μιας γραμμής, που έχει μονωτικό μεταξύ των αγωγών της τον αέρα, είναι ίση περίπου με την ταχύτητα του φωτός ($\upsilon_o = 3 \cdot 10^8$ m/sec). Όταν οι αγωγοί της γραμμής είναι μονωμένοι σε όλο το μήκος της με κάποιο στερεό μονωτικό, η ταχύτητα διαδόσεως μπορεί να γίνει μικρότερη κατά 10-15% ή λίγο περισσότερο.

Υποθέτομε, τώρα, ότι η τάση της πηγής που εφαρμόζεται στην είσοδο της γραμμής μεταβάλλεται κατά το νόμο:

$$u = U_m \text{ ημ } \omega t$$

Μεταξύ δύο σημείων, που βρίσκονται σε απόσταση x από την πηγή, οι μεταβολές της τάσεως θα φθάσουν ύστερα από χρόνο:

$$\Delta t = \frac{x}{\upsilon}$$



Σχ. 10.2.
Ηλεκτρικό και μαγνητικό πεδίο στη γραμμή.

όπου υ η ταχύτητα διαδόσεως του κύματος, που είναι ίση περίπου με την ταχύτητα του φωτός υ_o ($\upsilon \approx \upsilon_o$). Έτσι, η τάση μεταξύ των συμμετρικών αυτών σημείων (σημείων που απέχουν εξίσου από την πηγή) της γραμμής, θα έχει τη μορφή που είχε στην είσοδο της γραμμής πριν από χρόνο Δt. Επομένως έχομε:

$$u = U_m \eta\mu\, \omega\, (t - \Delta t) = U_m \eta\mu\, \omega \left(t - \frac{x}{\upsilon} \right) = U_m \eta\mu \left(\omega t - \frac{\omega x}{\upsilon} \right)$$

Επειδή είναι: $\omega = 2\pi f$ και $\lambda = \upsilon T$ (λ το μήκος κύματος και T η περίοδος)

θα είναι ακόμη: $\upsilon = \frac{\lambda}{T}$ και $\frac{\omega}{\upsilon} = \frac{2\pi}{\lambda}$

οπότε: $$u = U_m \eta\mu \left(\omega t - \frac{2\pi}{\lambda} x \right)$$

Η σχέση αυτή ονομάζεται ***εξίσωση του τρέχοντος κύματος τάσεως.***

Το μέγεθος $2\pi/\lambda$ χαρακτηρίζει τη μεταβολή της φάσεως του κύματος ανά μονάδα μήκους γραμμής και ονομάζεται ***σταθερά φασικής αποκλίσεως α.***

Εισάγοντας τη σταθερά α στην τελευταία εξίσωση, παίρνομε:

$$u = U_m \eta\mu\, (\omega t - \alpha x) \qquad (10.1)$$

Αν το μήκος της γραμμής είναι $x = \lambda$ θα έχομε μεταβολή της φάσεως του κύματος:

$$\frac{2\pi}{\lambda} x = \frac{2\pi}{\lambda} \lambda = 2\pi \text{ ή } 360°$$

πράγμα που σημαίνει ότι η φάση της τάσεως στα σημεία της γραμμής, που απέχουν μεταξύ τους κατά $x = \lambda$, είναι ίδια.

Επειδή η τάση κινεί φορτία και η κίνηση φορτίων από ένα σημείο της γραμμής σε άλλο είναι το ρεύμα, η τάση μεταξύ των συμμετρικών σημείων και το ρεύμα σ' αυτά εμφανίζονται ταυτόχρονα. Έτσι, φασική απόκλιση μεταξύ τάσεως και ρεύματος στα συμμετρικά σημεία της γραμμής δεν υπάρχει και η ***εξίσωση του τρέχοντος κύματος ρεύματος*** έχει τη μορφή:

$$i = I_m \eta\mu\, (\omega t - \alpha x) \qquad (10.2)$$

Αν τα κύματα τάσεως και ρεύματος κινούνται αντίθετα, δηλαδή πλησιάζουν προς την πηγή, αντί να απομακρύνονται από αυτήν, η απόσταση x θεωρείται

αρνητική και οι εξισώσεις (10.1) και (10.2) παίρνουν τη μορφή:

$$\left.\begin{aligned} u &= U_m \text{ ημ } (\omega t + \alpha x) \\ i &= I_m \text{ ημ } (\omega t + \alpha x) \end{aligned}\right\} \qquad (10.3)$$

Από τις πιο πάνω εξισώσεις προκύπτει ότι το ρεύμα και η τάση στη γραμμή είναι συναρτήσεις δύο μεταβλητών: της αποστάσεως x των εξεταζομένων σημείων της γραμμής από την πηγή και του χρόνου t. Για ορισμένο χρόνο t, μπορούμε να βρούμε την κατανομή της τάσεως και του ρεύματος κατά μήκος της γραμμής ή, εκλέγοντας τα σημεία στη γραμμή, μπορούμε να προσδιορίσομε το ρεύμα σ' αυτά και την τάση μεταξύ τους και στα συμμετρικά σημεία του άλλου αγωγού σε οποιαδήποτε χρονική στιγμή t.

10.4 Κυματική αντίσταση γραμμής.

Η αντίσταση της γραμμής μεταξύ των σημείων που συνδέεται η πηγή ονομάζεται ***αντίσταση εισόδου*** Z_{in} και είναι:

$$Z_{in} = \frac{U_{in}}{I_{in}}$$

όπου U_{in} και I_{in} η τάση και το ρεύμα στην είσοδο της γραμμής.

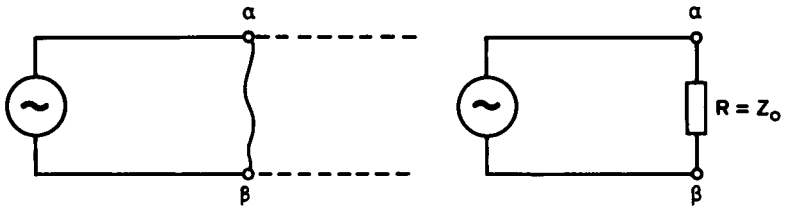
Η γραμμή προβάλλει αντίσταση στο τρέχον κύμα που ονομάζεται ***κυματική αντίσταση*** Z_o ή και ***χαρακτηριστική αντίσταση.*** Η κυματική αντίσταση είναι πραγματική (ωμική), επειδή τα τρέχοντα κύματα τάσεως και ρεύματος είναι συμφασικά, και δεν εξαρτάται από το μήκος της γραμμής. Σε οποιοδήποτε στοιχείο της γραμμής και σε κάθε χρονική στιγμή, στις κατανεμημένες αυτεπαγωγές και χωρητικότητες αποθηκεύονται ίσες ενέργειες. Έτσι, στη χρονική στιγμή που η τάση και το ρεύμα έχουν τις μέγιστες τιμές, θα είναι:

$$\frac{L_i I_m^2}{2} = \frac{C_i U_m^2}{2} \qquad (10.4)$$

Από τη σχέση αυτή παίρνομε την τιμή της κυματικής αντιστάσεως:

$$Z_o = \frac{U_m}{I_m} = \sqrt{\frac{L_i}{C_i}} \qquad (10.5)$$

Επειδή οι μέγιστες και οι ενεργές τιμές της τάσεως και του ρεύματος δεν



Σχ. 10.3.
Προσαρμογή γραμμής και φορτίου.

μεταβάλλονται κατά μήκος της γραμμής και τα κύματά τους είναι συμφασικά, θα έχομε:

$$Z_{in} = \frac{U_{in}}{I_{in}} = \frac{U}{I} = Z_o \qquad (10.6)$$

δηλαδή η αντίσταση εισόδου της γραμμής είναι ίση με την κυματική της αντίσταση.

Στην περίπτωση που η γραμμή δεν είναι άπειρου μήκους (έτσι συμβαίνει στην πράξη), αλλά τερματίζει, π.χ., στα σημεία αβ (σχ. 10.3), μπορεί να συμπεριφερθεί ως γραμμή άπειρου μήκους, αν συνδεθεί στα σημεία αβ ωμική αντίσταση με καθορισμένη τιμή. Επειδή η γραμμή άπειρου μήκους απορροφά όλη την ενέργεια της πηγής, το ίδιο πρέπει να γίνεται και με τη γραμμή περιορισμένου μήκους, που τερματίζει σε ωμική αντίσταση R. Η ενέργεια, που παρέχει η πηγή στην είσοδο της γραμμής, μεταφέρεται ολόκληρη στο τέρμα της μόνο σε συνθήκες προσαρμογής, δηλαδή όταν η αντίσταση τέρματος R είναι ίση με την αντίσταση εισόδου της γραμμής Z_{in} ($R = Z_{in}$). Επειδή είναι και $Z_{in} = Z_o$ (σχέση 10.6), θα έχομε $R = Z_o$.

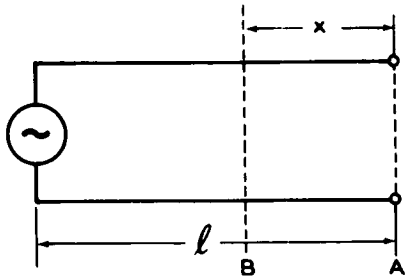
Επομένως, σε γραμμή περιορισμένου μήκους έχομε τρέχοντα κύματα, όταν η αντίσταση φορτίου της γραμμής (αντίσταση τέρματος) είναι ίση με την κυματική της αντίσταση (προσαρμογή).

Σημειώνομε ότι οι κυματικές αντιστάσεις των γραμμών δύο αγωγών έχουν τιμές 200-600 Ω και των ομοαξονικών καλωδίων 50-80 Ω.

10.5 Ανάκλαση κυμάτων – Στάσιμα κύματα.

Εξετάζομε τις διεργασίες σε γραμμή περιορισμένου μήκους, όταν το τέρμα της είναι ανοικτό ή βραχυκυκλωμένο. Η περίπτωση γραμμής με ανοικτό τέρμα φαίνεται στο σχήμα 10.4 (τα άκρα της γραμμής είναι μονωμένα μεταξύ τους).

Το τρέχον κύμα ρεύματος, που φθάνει στα μονωμένα άκρα των αγωγών της γραμμής, πρέπει να μηδενισθεί, αφού τα φορτία δεν μπορούν να κινηθούν



Σχ. 10.4.
Γραμμή με ανοικτό τέρμα.

παραπέρα. Η ελάττωση όμως του ρεύματος δημιουργεί ΗΕΔ από αυτεπαγωγή, η οποία, σύμφωνα με τον κανόνα του Lenz, αντιτίθεται σ' αυτή την ελάττωση. Η εμφάνιση ΗΕΔ από αυτεπαγωγή ανυψώνει την τάση στα ελεύθερα άκρα της γραμμής και αυτή, με τη σειρά της, προκαλεί την κίνηση φορτίων προς την αντίθετη κατεύθυνση.

Επομένως τα κύματα, μόλις φθάσουν στο τέρμα της ανοικτής γραμμής, αρχίζουν να κινούνται προς την αντίθετη κατεύθυνση, δηλαδή προς την πηγή. Το φαινόμενο αυτό ονομάζεται ***ανάκλαση κυμάτων.*** Το κύμα που πορεύεται από την αρχή της γραμμής προς το τέρμα της ονομάζεται τώρα ***προσπίπτον κύμα*** και το αντίθετο, ***ανακλώμενο κύμα.*** Η ενέργεια του ανακλώμενου κύματος επιστρέφει στην αρχή της γραμμής, δηλαδή στην πηγή.

Εξετάζομε την τάση του κύματος στο σημείο Β που βρίσκεται σε απόσταση x από το τέρμα της γραμμής Α (σχ. 10.4). Αν η τάση του προσπίπτοντος κύματος στο τέρμα της γραμμής μεταβάλλεται με το νόμο:

$$u = U_m \, \text{συν} \, \omega t$$

στο σημείο Β θα παρατηρηθεί προσπίπτον κύμα, που φθάνει στο τέρμα της γραμμής σε χρόνο x/υ αργότερα από ό,τι στο σημείο Β, δηλαδή η τάση του προσπίπτοντος κύματος στο σημείο Β εκφράζεται από τη σχέση:

$$u_\pi = U_m \, \text{συν} \, (\omega t + \alpha x)$$

Αλλά, στο σημείο Β θα παρατηρηθεί και ανακλώμενο κύμα, που κινείται από το σημείο Α και εκφράζεται από την εξίσωση:

$$u_\alpha = U_m \, \text{συν} \, (\omega t - \alpha x)$$

Οι στιγμιαίες τιμές των τάσεων, που δημιουργούν στο σημείο Β το προσπίτον και το ανακλώμενο κύμα, προστίθενται και δίνουν τελική τάση:

$$u = u_\pi + u_\alpha = U_m \, \text{συν} \, (\omega t + \alpha x) + U_m \, \text{συν} \, (\omega t - \alpha x)$$

ή $$u = 2U_m \text{ συν } \alpha x \,.\, \text{συν } \omega t$$

Για να εκφράσομε το ρεύμα στο σημείο Β, πρέπει από το ρεύμα του προσπίπτοντος κύματος να αφαιρέσομε το ρεύμα του ανακλώμενου κύματος, επειδή τα ρεύματα αυτά έχουν αντίθετες φορές. Επομένως είναι:

$$i = I_m \text{ συν } (\omega t + \alpha x) - I_m \text{ συν } (\omega t - \alpha x)$$

ή $$i = -2\, I_m \text{ ημ } \alpha x \cdot \text{ημ } \omega t$$

Η σύνθεση του προσπίπτοντος και του ανακλώμενου κύματος δημιουργεί στη γραμμή το λεγόμενο ***στάσιμο κύμα,*** που η τάση και το ρεύμα του εκφράζονται από τις εξισώσεις:

$$\left.\begin{aligned} u &= U_{om} \text{ συν } \alpha x \,.\, \text{συν } \omega t \\ i &= -I_{om} \text{ ημ } \alpha x \,.\, \text{ημ } \omega t \end{aligned}\right\} \qquad (10.7)$$

όπου U_{om} και I_{om} οι τιμές των διπλασίων πλατών U_m και I_m των προηγουμένων σχέσεων.

Από τις τελευταίες σχέσεις φαίνεται ότι, μεταβάλλοντας την απόσταση x από το τέρμα της γραμμής έως το εξεταζόμενο σημείο, μεταβάλλονται μόνο τα πλάτη και όχι η φάση της τάσεως ή του ρεύματος.

Οι εξισώσεις (10.7) μπορούν να πάρουν την πιο απλή μορφή:

$$\left.\begin{aligned} u &= U_{xm} \text{ συν } \omega t \\ i &= I_{xm} \text{ ημ } \omega t \end{aligned}\right\} \qquad (10.8)$$

όπου τα πλάτη U_{xm} και I_{xm} στο εξεταζόμενο σημείο, που βρίσκεται σε απόσταση x από το τέρμα της γραμμής, υπολογίζονται από τις σχέσεις:

$$\left.\begin{aligned} U_{xm} &= U_{om} \text{ συν } \alpha x = U_{om} \text{ συν } \left(\frac{2\pi}{\lambda} x \right) \\ I_{xm} &= -\, I_{om} \text{ ημ } \alpha x = -I_{om} \text{ ημ } \left(\frac{2\pi}{\lambda} x \right) \end{aligned}\right\} \qquad (10.9)$$

Σημειώνομε ότι στάσιμα κύματα δημιουργούνται και με βραχυκυκλωμένη γραμμή στο τέρμα της ή σε γραμμή που έχει φορτίο φαινόμενη αντίσταση (X_L ή X_c). Στάσιμα κύματα εμφανίζονται στις γραμμές, όταν τα προσπίπτοντα και ανακλώμενα κύματα έχουν ίσα πλάτη. Αυτό γίνεται στις γραμμές χωρίς απώλειες και όταν η ανάκλαση είναι πλήρης.

10.6 Κατανομή τάσεως και ρεύματος στη γραμμή.

Το στάσιμο κύμα χαρακτηρίζεται από ταυτόχρονη μεταβολή της τάσεως και του ρεύματος σε όλη τη γραμμή με πλάτη διαφορετικά στα διάφορα σημεία της. Κίνηση κύματος στη γραμμή δεν παρατηρείται.

Τα σημεία, στα οποία τα πλάτη της τάσεως και του ρεύματος φθάνουν στις μέγιστες τιμές τους ($U_{xm} = U_{om}$ και $I_{xm} = I_{om}$), παραμένουν με το χρόνο στις ίδιες θέσεις της γραμμής και ονομάζονται ***κοιλίες στασίμων κυμάτων.*** Το ίδιο και τα σημεία, στα οποία η τάση ή το ρεύμα μηδενίζονται, παραμένουν σε σταθερές θέσεις και ονομάζονται ***κόμβοι στασίμων κυμάτων.*** Εικόνες κατανομής της τάσεως και του ρεύματος κατά μήκος γραμμών, σε διάφορες συνθήκες λειτουργίας τους, θα δούμε στη συνέχεια.

Στο σχήμα 10.5 φαίνονται στάσιμα κύματα τάσεως (γραμμές διακοπτόμενες) και ρεύματος (γραμμές συνεχείς) σε ένα τμήμα γραμμής, της οποίας το τέρμα Α είναι ανοικτό. Στη χρονική στιγμή t=0 ρεύμα σε όλη τη γραμμή δεν υπάρχει, επειδή γι' αυτή τη στιγμή ωt=0 (σχέσεις 10.7, 10.8) και επομένως ημ ωt = ημ 0°=0. Η τάση για την ίδια χρονική στιγμή αποκτά τη μέγιστη τιμή, επειδή συν ωt = συν 0°=1. Στη χρονική στιγμή t=T/8, η δημιουργούμενη από την πηγή τάση, σε κάθε σημείο της γραμμής, ελαττώνεται, όμως εμφανίζεται στα σημεία αυτά ρεύμα (δεύτερη γραφική παράσταση στο σχήμα 10.5). Στο τέταρτο της περιόδου (t=T/4) τάση σε όλη τη γραμμή δεν υπάρχει, ενώ το ρεύμα φθάνει στη μέγιστη τιμή του για κάθε σημείο της γραμμής, επειδή για t=T/4 έχομε ημ ωt = 1 και συν ωt=0.

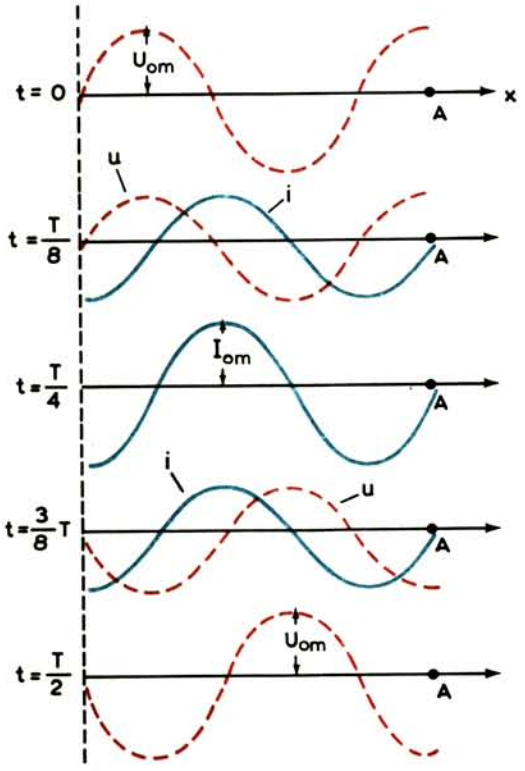
Σημειώνομε ότι ένα αμπερόμετρο, που συνδέεται στην κοιλία ρεύματος, δίνει την πιο μεγάλη ένδειξη σε σύγκριση με τις ενδείξεις στα άλλα σημεία του αγωγού. Στα μονωμένα άκρα της γραμμής υπάρχει κόμβος ρεύματος και κοιλία τάσεως.

Αντιπαραβάλλοντας τις εξισώσεις των στασίμων κυμάτων και τις γραφικές παραστάσεις της τάσεως και του ρεύματος, διαπιστώνομε τις επόμενες ιδιότητες των στασίμων κυμάτων:

α) Κατά μήκος του αγωγού, το κύμα ρεύματος είναι μετατοπισμένο σε σχέση προς το κύμα τάσεως κατά ένα τέταρτο του μήκους του λ και

β) χρονικά, το κύμα ρεύματος μετατοπίζεται ως προς το κύμα τάσεως κατά ένα τέταρτο της περιόδου Τ, ή κατά 90°. Η μετατόπιση αυτή των 90° ισχύει μόνο για γραμμές χωρίς απώλειες.

Στην αρχή της γραμμής (σχ. 10.4), δηλαδή στο σημείο που απέχει από το τέρμα κατά $x = l$, συνδέεται η πηγή εναλλασσόμενης ηλεκτρεγερτικής δυνάμεως, που συντηρεί τις ***εξαναγκασμένες ταλαντώσεις*** στη γραμμή. Η πηγή πρέπει να δημιουργεί τάση, ίση με την τάση του στάσιμου κύματος, επειδή η τάση στους πόλους της πηγής είναι πάντοτε ίση με την πτώση τάσεως στο εξωτερικό κύκλωμα. Επομένως:



Σχ. 10.5.
Στάσιμα κύματα τάσεως και ρεύματος.

$$U_{m\pi} = U_{om} \text{ συν } \alpha\, l = U_{om} \text{ συν } \left(\frac{2\pi}{\lambda} l \right)$$

Επίσης, η πηγή συντηρεί και το ρεύμα στο ίδιο σημείο, που είναι:

$$I_{m\pi} = -I_{om} \text{ ημ } \left(\frac{2\pi}{\lambda} l \right)$$

Αυτό σημαίνει ότι η ανοικτή γραμμή είναι για την πηγή μια αντίσταση (αντίσταση εισόδου γραμμής) με τιμή:

$$X_{in} = \frac{U_{m\pi}}{I_{m\pi}} = - \frac{U_{om}}{I_{om}} \text{ σφ } \left(\frac{2\pi}{\lambda} l \right) \qquad (10.10)$$

Είναι, όμως, γνωστό ότι ο λόγος των μεγίστων πλατών (των κοιλιών) τάσεως προς ρεύμα ονομάζεται κυματική αντίσταση Z_o της γραμμής. Επομένως, η ισοδύναμη αντίσταση της ανοικτής γραμμής υπολογίζεται από τη σχέση:

$$X_{in} = -Z_o \, \sigma\varphi \left(\frac{2\pi}{\lambda} l \right) \qquad (10.11)$$

Η αντίσταση αυτή είναι καθαρά φαινόμενη, αφού η τάση και το ρεύμα αποκλίνουν μεταξύ τους κατά Τ/4 (διαφορά φάσεως 90°). Γνωρίζοντας την κυματική αντίσταση της γραμμής Z_o και το λόγο l / λ, μπορούμε να υπολογίσομε την ισοδύναμη αντίσταση X_{in}. Προκύπτει, όμως, το ερώτημα: τί χαρακτήρα έχει αυτή η αντίσταση, χωρητικό ή επαγωγικό;

Μαθηματικά, αυτό καθορίζεται από το σημείο της συνεφαπτομένης της γωνίας 360° l / λ. Επειδή για γωνίες από 0° έως 90° η συνεφαπτομένη είναι θετική, η αντίσταση X_{in} είναι αρνητική (σχέση 10.11) και επομένως έχει χωρητική συμπεριφορά. Αυτό θα συμβαίνει για τις γραμμές με μήκος l μικρότερο από λ/4 (λ το μήκος κύματος της πηγής). Αν η γραμμή έχει μήκος l μεταξύ των ορίων $\lambda/4 < l < \lambda/2$, η αντίσταση X_{in} αποκτά επαγωγικό χαρακτήρα. Για μήκη γραμμών $l = \lambda/4$, $l = 3\lambda/4$ κλπ. η φαινόμενη αντίσταση μηδενίζεται.

10.7 Συντονισμένες γραμμές.

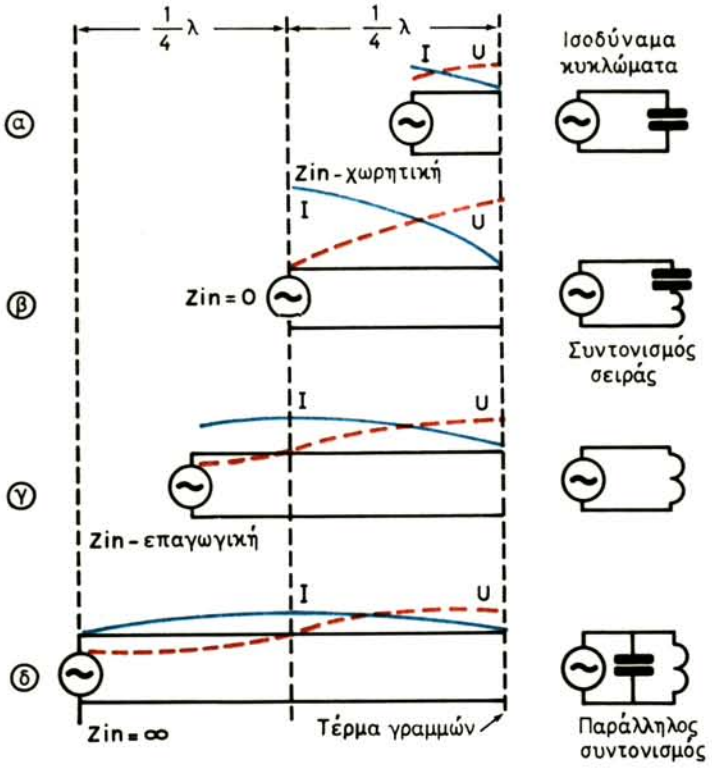
Ανοικτές ή βραχυκυκλωμένες στο τέρμα τους γραμμές παρουσιάζουν ιδιότητες ανάλογες με εκείνες των συντονισμένων κυκλωμάτων LC και γι' αυτό ονομάζονται ***συντονισμένες γραμμές.*** Σε διάκριση από τα κυκλώματα LC οι γραμμές είναι «πολυκυματικά συστήματα», δηλαδή μπορούν να συντονίσουν σε μερικές συχνότητες. Η πιο μικρή από τις συχνότητες συντονισμού αντιστοιχεί σε μήκος κύματος τετραπλάσιο του μήκους της γραμμής, δηλαδή:

$$\lambda_o = 4\, l$$

Στο σχήμα 10.6 φαίνονται μερικές χαρακτηριστικές περιπτώσεις ανοικτών στο τέρμα τους γραμμών με τις κατανομές της τάσεως και του ρεύματος κατά μήκος τους και τα ισοδύναμά τους κυκλώματα. Όλες οι ανοικτές γραμμές έχουν πάντοτε στο τέρμα τους κοιλία τάσεως και κόμβο ρεύματος.

Όταν η γραμμή έχει μήκος l μικρότερο από το τέταρτο του μήκους κύματος της πηγής ($l < \lambda/4$), στην είσοδο της γραμμής το ρεύμα και η τάση έχουν κάποιες τιμές (σχ. 10.6α), που διαφέρουν φασικά κατά 90°. Επομένως, όπως είπαμε, η αντίσταση εισόδου στην περίπτωση αυτή είναι φαινόμενη με χωρητικό χαρακτήρα και η ανοικτή γραμμή με μήκος μικρότερο από λ/4 ισοδυναμεί με έναν πυκνωτή. Όσο κοντύτερη είναι η γραμμή, τόσο μικρότερη είναι η χωρητικότητα του ισοδύναμου πυκνωτή και τόσο μεγαλύτερη η χωρητική αντίσταση εισόδου της γραμμής.

Πλησιάζοντας το μήκος της γραμμής προς το λ/4, η τάση στην είσοδό της γίνεται μικρότερη από την τιμή της κοιλίας της, το ρεύμα μεγαλώνει και η



Σχ. 10.6.
Ανοικτές γραμμές με τα ισοδύναμά τους κυκλώματα.

αντίσταση εισόδου μικραίνει. Με $l = \lambda/4$ (σχ. 10.6β), στην είσοδο της γραμμής έχομε κόμβο τάσεως, κοιλία ρεύματος και $Z_{in} = U/I = 0$. Τέτοια συμπεριφορά παρουσιάζουν τα ιδανικά κυκλώματα συντονισμού σειράς.

Μια πραγματική γραμμή παρουσιάζει κάποια ωμική αντίσταση, που αντιπροσωπεύει τις απώλειες ενέργειας κατά τη μεταφορά της από την είσοδο στην έξοδο. Επομένως, στο συντονισμό της γραμμής λ/4 η αντίσταση εισόδου της δεν είναι μηδενική, αλλά έχει μια μικρή τιμή με ωμική συμπεριφορά, όπως ακριβώς και στα κυκλώματα LC συντονισμού σειράς. Με μεταβολή του μήκους της γραμμής γύρω από την τιμή λ/4, η αντίσταση εισόδου της μεγαλώνει και αποκτά χωρητική ή επαγωγική συμπεριφορά.

Αν, τώρα, το μήκος της γραμμής γίνει μεγαλύτερο από λ/4, αλλά μικρότερο από λ/2, η τάση στην είσοδό της δεν είναι μηδενική. Η αντίσταση εισόδου μεγαλώνει και αποκτά επαγωγικό χαρακτήρα (σχ. 10.6γ). Με $l = \lambda/2$ (σχ. 10.6δ), η τάση στην είσοδο παίρνει τη μέγιστη τιμή της και γίνεται ίση με την ΗΕΔ της πηγής, ενώ το ρεύμα μηδενίζεται. Επομένως, η αντίσταση εισόδου της γραμμής

αποκτά απείρως μεγάλη τιμή. Στην πραγματικότητα και εξαιτίας των απωλειών στη γραμμή, η αντίσταση εισόδου δεν είναι άπειρη, αλλά παίρνει κάποια μέγιστη τιμή και έχει ωμικό χαρακτήρα. Τέτοια είναι η συμπεριφορά των κυκλωμάτων LC παράλληλου συντονισμού. Μεταβάλλοντας το μήκος της γραμμής γύρω από την τιμή λ/2, η αντίσταση εισόδου μικραίνει και αποκτά χωρητικό ή επαγωγικό χαρακτήρα.

Με μεταβολή του μήκους της γραμμής *l* από λ/2 έως λ και γενικά με επιμήκυνση της γραμμής κατά ακέραιο αριθμό ημικυμάτων, τα ανωτέρω φαινόμενα και οι τιμές των αντιστάσεων εισόδου επαναλαμβάνονται.

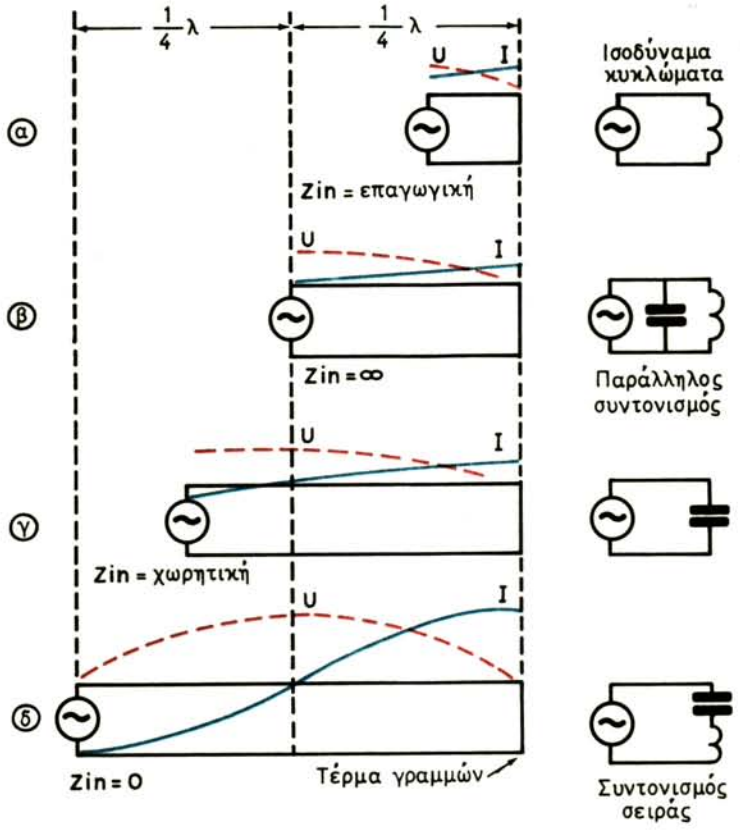
Τα ίδια φαινόμενα παρατηρούνται και στην περίπτωση που το μήκος της γραμμής παραμένει σταθερό, αλλά μεταβάλλεται το μήκος κύματος λ (η συχνότητα f) της πηγής στην είσοδο. Στο συντονισμό σειράς θα έχομε κατά μήκος της γραμμής περιττό αριθμό τετάρτων μήκους κύματος (λ/4, 3λ/4, 5λ/4 κλπ.). Με άλλα λόγια, εκτός από το συντονισμό στο βασικό μήκος κύματος, που αντιστοιχεί σε $l = \lambda/4$, θα παρατηρηθεί συντονισμός και σε περιττές αρμονικές του. Παράληλο συντονισμό στη γραμμή θα έχομε, όχι μόνο στο βασικό μήκος κύματος, δηλαδή όταν είναι $l = \lambda/2$, αλλά και σε όλες τις άρτιες και περιττές αρμονικές του λ/2 (λ/2, λ, 3λ/2, 2λ, 5λ/2 κλπ.). Έτσι, η γραμμή, σαν κύκλωμα ταλαντώσεων, έχει την ικανότητα να συντονίζει σε πολλές συχνότητες. Αυτή είναι, όπως είπαμε, μια βασική διαφορά μεταξύ γραμμής και απλού κυκλώματος LC. Το τελευταίο συντονίζει μόνο σε μια συχνότητα, που είναι ίση με την ιδιοσυχνότητά του.

Πρέπει να παρατηρήσόμε ότι με μήκος γραμμής λ/2 ή ακέραιο πολλαπλάσιο του λ/2, η αντίσταση εισόδου είναι όση και η αντίσταση εξόδου (στην περίπτωση ανοικτής γραμμής, άπειρη). Αντίθετα, με μήκος γραμμής λ/4 ή περιττό πολλαπλάσιο του λ/4, η αντίσταση εισόδου είναι μηδενική, δηλαδή έχει τιμή αντίστροφη της αντιστάσεως εξόδου ($0=1/\infty$).

Επομένως «γραμμή με μήκος ακέραιο πολλαπλάσιο του λ/2 και αντίσταση φορτίου (εξόδου) R θα έχει πάντοτε $Z_{in}=R$, ενώ η γραμμή με μήκος περιττό πολλαπλάσιο του λ/4 μετασχηματίζει τη μεγάλη αντίσταση φορτίου σε μικρή αντίσταση εισόδου και αντίστροφα».

Στάσιμα κύματα δημιουργούνται επίσης και στη βραχυκυκλωμένη γραμμή (σχ. 10.7), δηλαδή στη γραμμή που έχει στο τέρμα της αντίσταση R=0. Η γραμμή αυτή έχει στο τέρμα της κόμβο τάσεως και κοιλία ρεύματος. Γνωρίζοντας την κατάσταση του τέρματος, δεν είναι δύσκολο να σχεδιασθούν οι καμπύλες κατανομής της τάσεως και του ρεύματος για διάφορες σχέσεις μεταξύ μήκους γραμμής και μήκους κύματος πηγής εισόδου. Οι καμπύλες αυτές φαίνονται στο σχήμα 10.7 και δείχνουν ότι η βραχυκυκλωμένη γραμμή έχει ιδιότητες αντίθετες από εκείνες της ανοικτής (σχ. 10.6).

Με $l < \lambda/4$, η αντίσταση εισόδου έχει επαγωγικό χαρακτήρα [σχ. 10.7(α)]. Με



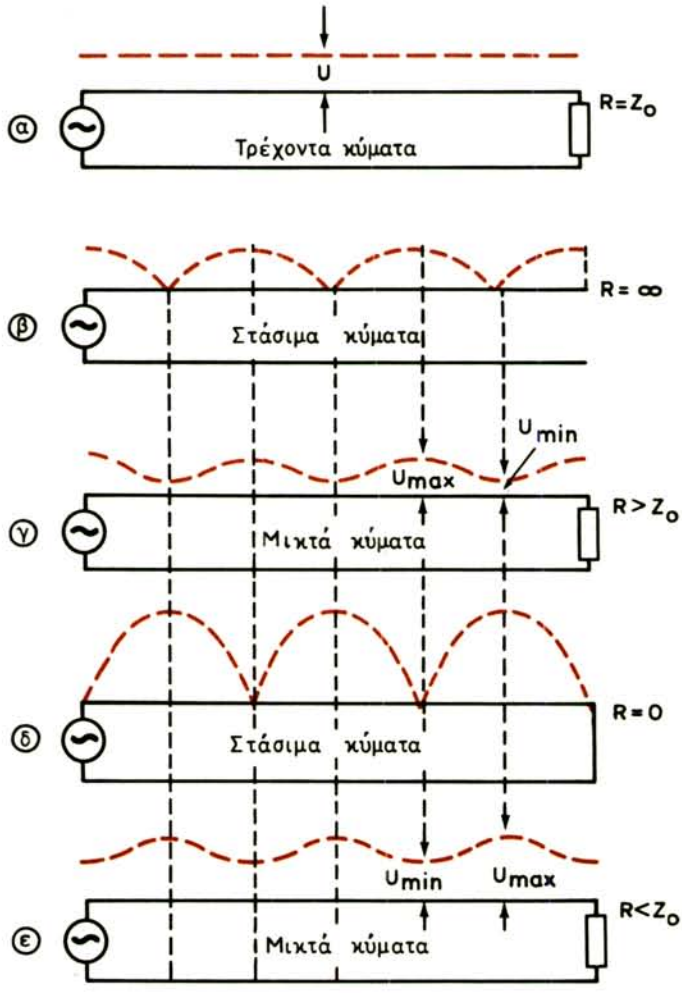
Σχ. 10.7.

Βραχυκυκλωμένες γραμμές με τα ισοδύναμά τους κυκλώματα.

$l = \lambda/4$, είναι $Z_{in}=\infty$ και επομένως η γραμμή ισοδυναμεί με κύκλωμα LC παράλληλου συντονισμού [σχ. 10.7(β)]. Όταν είναι $\lambda/4 < l < \lambda/2$, η αντίσταση εισόδου έχει χωρητικό χαρακτήρα [σχ. 10.7(γ)]. Τέλος, με $l = \lambda/2$, η αντίσταση εισόδου είναι μηδενική και η γραμμή ισοδυναμεί με κύκλωμα LC συντονισμού σειράς [σχ. 10.7(δ)]. Με μεγαλύτερη αύξηση του μήκους της γραμμής, όλα επαναλαμβάνονται. Οι βραχυκυκλωμένες γραμμές δεν συντονίζουν μόνο στη βασική συχνότητα, αλλά και σε αρμονικές, όπως και οι ανοικτές γραμμές.

10.8 Η γραμμή με ωμικό φορτίο.

Εξετάζομε την περίπτωση γραμμής που έχει ωμικό φορτίο διαφόρων μεγεθών (σχ. 10.8). Στο διάγραμμα αυτό παρουσιάζεται η κατανομή, κατά μήκος του ενός αγωγού της γραμμής, της τάσεως που μεταβάλλεται μόνο κατά μέγεθος, χωρίς να αλλάζει σημείο (ενεργές τιμές τάσεως). Είναι η τάση που δείχνει βολτόμε-



Σχ. 10.8.

Κατανομή τάσεως κατά μήκος γραμμής με διάφορες αντιστάσεις φορτίου.

τρο εναλλασσόμενης τάσεως, όταν συνδεθεί στα διάφορα σημεία της γραμμής. Για απλότητα, η κατανομή του ρεύματος δεν σχεδιάσθηκε.

Αν η αντίσταση φορτίου είναι ίση με την κυματική αντίσταση της γραμμής (σχ. 10.8α), δημιουργείται τρέχον κύμα και η τάση κατά μήκος της είναι παντού η ίδια. Στην ανοικτή (σχ. 10.8β) και στη βραχυκυκλωμένη (σχ. 10.8δ) γραμμή εμφανίζονται στάσιμα κύματα με κόμβους και κοιλίες τάσεως κατά μήκος της γραμμής. Η ανοικτή γραμμή έχει στο τέρμα της κοιλία τάσεως και η βραχυκυκλωμένη κόμβο τάσεως.

Όταν η R είναι μεγαλύτερη από τη Z_o, αλλά όχι άπειρη (σχ. 10.8γ), εμφανίζεται στη γραμμή κατάσταση ενδιάμεση μεταξύ τρέχοντος κύματος και στάσιμου

ανοικτής γραμμής. Αυτή ονομάζεται ***κατάσταση μικτών*** ή ***συνδυασμένων κυμάτων.*** Επειδή η R δεν είναι ίση με τη Z_o, στο τέρμα της γραμμής απορροφάται μόνο ένα μέρος του προσπίπτοντος κύματος. Το υπόλοιπο μέρος της ενέργειας ανακλάται και έτσι δημιουργούνται στάσιμα κύματα. Όμως, υπάρχει στη γραμμή και τρέχον κύμα που μεταφέρει ενέργεια από την πηγή στο φορτίο R.

Η κατανομή της τάσεως, στην περίπτωση αυτή, θυμίζει την κατανομή σε ανοικτή γραμμή. Όμως, επειδή το πλάτος του ανακλώμενου κύματος είναι μικρότερο από το πλάτος του προσπίπτοντος, η διαφορά των τάσεων δεν φθάνει στο μηδέν και όπου έπρεπε να εμφανισθεί κόμβος, δεν εμφανίζεται. Τη θέση του παίρνει μια μικρή τάση U_{min} που είναι ίση με τη διαφορά των τάσεων προσπίπτοντος και ανακλώμενου κύματος. Στις θέσεις των κοιλιών εμφανίζεται μια τάση U_{max} που ισούται με το άθροισμα των παραπάνω τάσεων, αλλά είναι μικρότερη από τη διπλάσια τάση του προσπίπτοντος κύματος (βλ. σχέση 10.7 και προηγούμενες). Όσο πλησιάζει η R στη Z_o, τόσο πιο κοντά βρίσκεται η γραμμή στην κατάσταση του τρέχοντος κύματος και τόσο πιο μικρή γίνεται η διαφορά μεταξύ U_{max} και U_{min}. Και αντίθετα, όσο μεγαλύτερη γίνεται η R, τόσο πιο κοντά βρίσκεται η κατάσταση ανοικτής γραμμής και τόσο μεγαλώνει η διαφορά μεταξύ U_{max} και U_{min}.

Αν είναι $R<Z_o$ (σχ. 10.8ε), έχομε επίσης μικτά κύματα, αλλά κατανομή τάσεως που θυμίζει την κατανομή βραχυκλωμένης γραμμής. Και εδώ, ισχύουν όλα όσα είπαμε για την περίπτωση $R > Z_o$.

Στάσιμα κύματα δημιουργούνται και όταν η γραμμή τερματίζει σε επαγωγική ή χωρητική αντίσταση. Στις φαινόμενες αντιστάσεις, η ενέργεια του προσπίπτοντος κύματος δεν καταναλώνεται και επιστρέφει στην πηγή. Έτσι, έχομε ανακλώμενο κύμα με πλάτος όσο και του προσπίπτοντος και επομένως εμφάνιση στάσιμου κύματος.

Συνθετότερη είναι η περίπτωση της αντιστάσεως φορτίου Z που έχει ωμικό και φαινόμενο μέρος. Με τέτοιο φορτίο (σύνθετη αντίσταση) έχομε μικτό κύμα, επειδή μέρος του προσπίπτοντος κύματος καταναλώνεται στην ωμική αντίσταση και το υπόλοιπο ανακλάται.

Τέλος, σημειώνομε ότι όταν έχομε μικτά κύματα, η αντίσταση εισόδου της γραμμής είναι σύνθετη, δηλαδή έχει ωμικό και φαινόμενο μέρος. Στην περίπτωση προσαρμογής της γραμμής από τις δύο πλευρές της (είσοδο και έξοδο), τα φαινόμενα μέρη των αντιστάσεων εισόδου και φορτίου πρέπει να αντισταθμιστούν. Η αντιστάθμιση γίνεται με φαινόμενη αντίσταση αντίθετου χαρακτήρα, δηλαδή η επαγωγική αντίσταση αντισταθμίζεται με χωρητική και αντίστροφα. Προσαρμογή μπορούμε να εξασφαλίσομε μόνο μεταξύ ωμικών σντιστάσεων, όπως π.χ. μεταξύ της ωμικής αντιστάσεως της πηγής και της κυματικής αντιστάσεως της γραμμής ή μεταξύ της κυματικής αντιστάσεως της γραμμής και του ωμικού μέρους του φορτίου.

10.9 Ανοικτά κυκλώματα ή κεραίες.

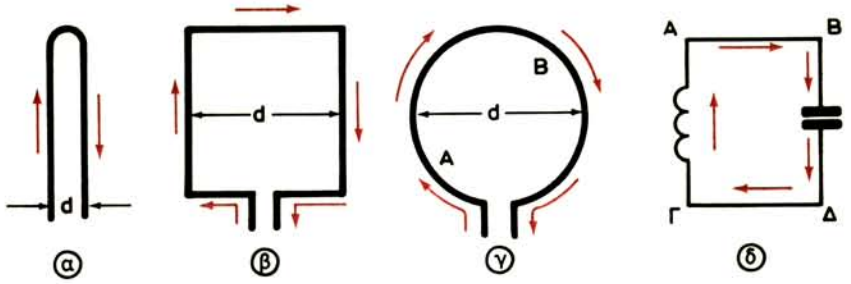
Το σύστημα των αγωγών, που προορίζεται για την ακτινοβολία ή τη λήψη ηλεκτρομαγνητικής ενέργειας, ονομάζεται ***κεραία.*** Με άλλα λόγια, η κεραία του πομπού μετασχηματίζει την ενέργεια του ρεύματος υψηλής συχνότητας σε ενέργεια ραδιοκυμάτων και αντίθετα, η κεραία του δέκτη μετασχηματίζει την ενέργεια των ραδιοκυμάτων σε ενέργεια ρεύματος υψηλής συχνότητας.

Στο σύστημα ακτινοβολίας ή λήψεως ηλεκτρομαγνητικής ενέργειας, συμμετέχει, εκτός από την κεραία, και η γραμμή ή το ομοαξονικό καλώδιο, που μεταφέρει την ενέργεια από τον πομπό στην κεραία του ή από την κεραία στο δέκτη. Για την καλή λειτουργία του συστήματος ακτινοβολίας ή λήψεως της ηλεκτρομαγνητικής ενέργειας, η γραμμή ή το ομοαξονικό καλώδιο δεν πρέπει να ακτινοβολεί ή να απορροφά ραδιοκύματα.

Οι κεραίες εκπομπής και λήψεως είναι, γενικά, συστήματα αναστρέψιμα, δηλαδή η κεραία εκπομπής μπορεί να εργασθεί και σαν κεραία λήψεως και αντίστροφα. Αν η κεραία εργάζεται στην εκπομπή, έχει κάποιες ιδιότητες που παραμένουν ίδιες και στην περίπτωση που εργάζεται στη λήψη. Π.χ., αν η κεραία ακτινοβολεί καλύτερα προς μια κατεύθυνση, θα δέχεται καλύτερα τα ραδιοκύματα από την ίδια κατεύθυνση. Πρακτικά, οι κεραίες εκπομπής και λήψεως έχουν κάποιες διαφορές.

Ένα κλειστό κύκλωμα ταλαντώσεων, που έχει μικρές διαστάσεις σε σύγκριση με το μήκος κύματος, είναι εντελώς ακατάλληλο για ακτινοβολία ηλεκτρομαγνητικής ενέργειας. Τα ραδιοκύματα δημιουργούνται με τη βοήθεια αγωγών και κάτω από ορισμένες προϋποθέσεις. Αν, π.χ., ο αγωγός έχει τη μορφή του βρόχου του σχήματος 10.9(α), τα δύο τμήματά του διαρρέονται από ρεύματα με αντίθετες κατευθύνσεις. Τα κύματα, που δημιουργούν τα δύο ρεύματα, είναι αντιφασικά και, αν η απόσταση μεταξύ των τμημάτων του αγωγού d είναι μικρή σε σύγκριση με το μήκος κύματος, τα κύματα αυτά στο χώρο αλληλοαναιρούνται.

Έτσι, ο αγωγός με τη μορφή βρόχου δεν ακτινοβολεί σχεδόν καθόλου ηλεκτρομαγνητική ενέργεια. Το ίδιο μπορούμε να πούμε και για τον ορθογώνιο αγωγό του σχήματος 10.9(β) ή την κυκλική σπείρα του σχήματος 10.9(γ), που έχουν διαστάσεις πολύ μικρότερες από το μήκος κύματος. Τα ρεύματα στις απέναντι πλευρές της ορθογώνιας σπείρας έχουν αντίθετους προσανατολισμούς και δημιουργούν κύματα προς ορισμένες κατευθύνσεις με αντίθετες φάσεις. Στην κατεύθυνση που είναι κάθετη στο επίπεδο της σπείρας τα κύματα αλληλοαναιρούνται. Στις κατευθύνσεις κατά μήκος του επιπέδου της σπείρας, όταν η πλευρά της d είναι πολύ μικρότερη από το μήκος κύματος, οι φάσεις των ακτινοβολουμένων κυμάτων ελάχιστα διαφέρουν από τις 180° και επομένως δημιουργούν ασήμαντο συνιστάμενο πεδίο στο χώρο.



Σχ. 10.9.
Στοιχειώδη κυκλώματα ταλαντώσεων.

Στην κυκλική σπείρα μικρής διαμέτρου του σχήματος 10.9(γ), σε κάθε στοιχείο του αγωγού της, π.χ. στο Α, αντιστοιχεί ένα άλλο διαμετρικά αντίθετο, το Β, και τα ρεύματα των στοιχείων έχουν διαφορετικές κατευθύνσεις. Τα κύματα, που δημιουργούνται από τα στοιχεία αυτά, έχουν αντίθετες φάσεις και αλληλοαναιρούνται προς την κάθετη στο επίπεδο της σπείρας κατεύθυνση ή το συνιστάμενο πεδίο προς την κατεύθυνση κατά μήκος της σπείρας είναι πρακτικά ασήμαντο (οι φάσεις των κυμάτων προς την κατεύθυνση αυτή ελάχιστα διαφέρουν από τις 180°, με μικρή διάμετρο d).

Στα ραδιοτεχνικά κυκλώματα ταλαντώσεων, που εργάζονται στα μεσαία και βραχέα κύματα, οι σπείρες των πηνίων έχουν συνήθως διάμετρο μερικών εκατοστών, ενώ το μήκος κύματος είναι μερικές δεκάδες και εκατοντάδες μέτρα. Με τέτοια σχέση διαστάσεων σπειρών και μηκών κυμάτων, μπορούμε να θεωρήσομε ότι κάθε σπείρα ξεχωριστά δεν ακτινοβολεί, επομένως και ολόκληρο το πηνίο δεν μπορεί να αποτελέσει ακτινοβολητή.

Ολόκληρο το κύκλωμα σ' αυτά τα κύματα μπορεί να θεωρηθεί μια σπείρα με αντικριστά ρευματοφόρα στοιχεία διαφόρων κατευθύνσεων. Στους συνδετικούς αγωγούς ΑΒ και ΓΔ [σχ. 10.9(δ)] τα ρεύματα έχουν αντίθετες κατευθύνσεις. Το ίδιο μπορούμε να πούμε και για τα ρεύματα των τμημάτων ΑΓ και ΒΔ. Επειδή οι διαστάσεις του κυκλώματος είναι πολύ μικρές σε σύγκριση με το μήκος κύματος, η ακτινοβολία του είναι πρακτικά ασθενής.

Μπορούμε όμως, να τροποποιήσομε το κύκλωμα ταλαντώσεων έτσι, ώστε τα ρεύματα στα στοιχεία του να αποκτήσουν ίδια κατεύθυνση στο χώρο. Τότε τα κύματα που δημιουργούνται από τα στοιχεία αυτά είναι συμφασικά και δεν αλληλοαναιρούνται. Επομένως, έχομε έναν ακτινοβολητή ενέργειας. Αυτό, επιτυγχάνεται με τη μετατροπή του κλειστού κυκλώματος (σχ. 10.10α) σε ***ανοικτό κύκλωμα,*** δηλαδή σε ***κεραία.***

Αν απομακρύνομε τους οπλισμούς του πυκνωτή και φέρομε τους συνδετικούς αγωγούς σε ευθεία γραμμή (σχ. 10.10β), οι κατευθύνσεις των ρευμάτων στους

αγωγούς αυτούς γίνονται ίδιες. Το κύκλωμα που πήραμε με τη μετατροπή αυτή, εξακολουθεί να ακτινοβολεί ανεπαρκώς, επειδή απουσιάζει η ακτινοβολία του πηνίου και τα ρεύματα, που διαρρέουν τους οπλισμούς του πυκνωτή, έχουν αντίθετες μεταξύ τους κατευθύνσεις και κάθετες στα ρεύματα των συνδετικών αγωγών.

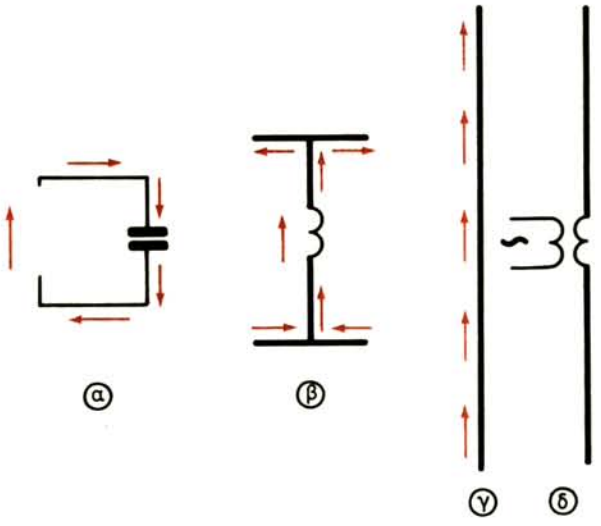
Για να αυξήσομε την ακτινοβολία, «τεντώνομε» το πηνίο, ώστε να γίνει ευθύγραμμος αγωγός, και καταργούμε τους οπλισμούς του πυκνωτή, αντικαθιστώντας τη χωρητικότητά του με την κατανεμημένη χωρητικότητα του ίδιου του αγωγού (σχ. 10.10γ). Πρακτικά, διατηρούμε μικρό τμήμα του πηνίου για τη σύζευξη του αγωγού με την πηγή (σχ. 10.10δ).

Όταν η κατεύθυνση των ρευμάτων σε όλα τα στοιχεία του αγωγού γίνει ίδια, δηλαδή όταν οι ταλαντώσεις σε όλα τα τμήματα του αγωγού γίνουν συμφασικές, ο αγωγός ακτινοβολεί τη μέγιστη ενέργεια.

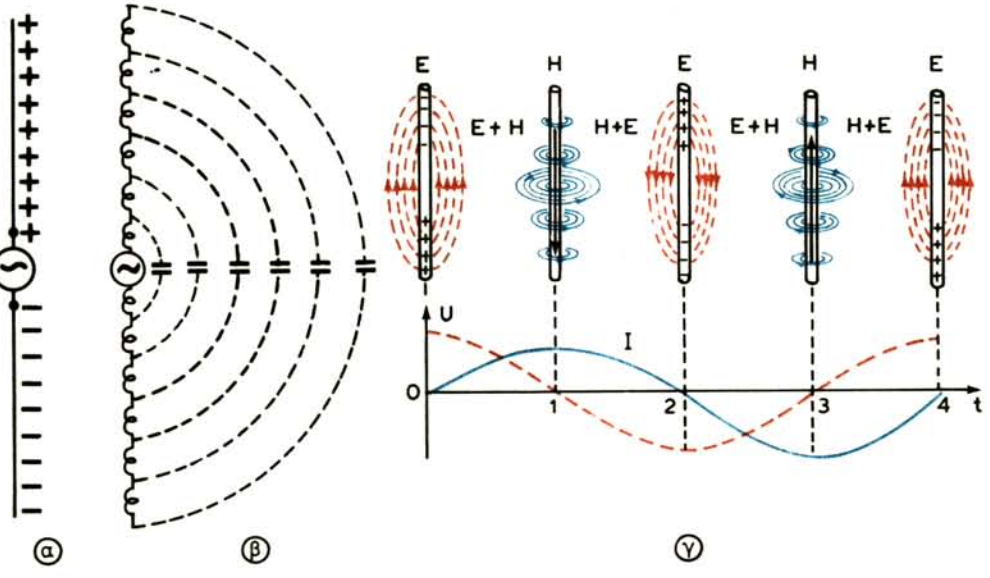
Έτσι, το ανοικτό κύκλωμα, δηλαδή η κεραία, στην πιο απλή περίπτωση είναι ευθύγραμμος αγωγός που προέρχεται, πιο πειστικά, από το άνοιγμα μιας γραμμής, έτσι ώστε οι δύο αγωγοί της να βρεθούν σε ευθεία (σχ. 10.11α). Όπως είδαμε, κάθε γραμμή έχει κατανεμημένα στοιχεία L και C και μπορεί να παρασταθεί με το ισοδύναμο κύκλωμα του σχήματος 10.1. Από το «άνοιγμα» του κυκλώματος του σχήματος 10.1 προέρχεται το ισοδύναμο της κεραίας, που φαίνεται στο σχήμα 10.11β.

Τα σημεία − και + στα δύο τμήματα της κεραίας δείχνουν την πολικότητα μιας στιγμιαίας φορτίσεώς τους. Μεταξύ οποιουδήποτε σημείου του ενός τμήματος και του συμμετρικού του στο άλλο τμήμα υπάρχει διαφορά δυναμικού και επομένως ηλεκτρικό πεδίο Ε. Με την κίνηση των φορτίων από το ένα τμήμα στο άλλο εμφανίζεται μαγνητικό πεδίο Η. Η κατανομή του ηλεκτρικού και του μαγνητικού πεδίου κατά μήκος της κεραίας, φαίνεται στο επάνω μέρος του σχήματος 10.11γ. Στο κάτω μέρος φαίνεται η μεταβολή της τάσεως και του ρεύματος στην κεραία.

Στη χρονική στιγμή 0 (σχ. 10.11γ, κάτω) στον αγωγό υπάρχει μόνο ηλεκτρικό πεδίο, εξαιτίας των φορτίων, των κατανεμημένων στα δύο τμήματά του. Ρεύμα ακόμη δεν κυκλοφορεί και η τάση έχει τη μέγιστη τιμή της. Με την κίνηση των φορτίων κατά μήκος του αγωγού, το ρεύμα μεγαλώνει, η τάση μικραίνει και η ενέργεια του ηλεκτρικού πεδίου μετασχηματίζεται σε ενέργεια μαγνητικού πεδίου. Στο τέταρτο της περιόδου όλη η ενέργεια του ηλεκτρικού πεδίου έχει μετατραπεί σε ενέργεια μαγνητικού πεδίου. Τη χρονική αυτή στιγμή (1 στο σχήμα), το ρεύμα γίνεται μέγιστο και η τάση μηδενίζεται. Ύστερα, το ρεύμα και το μαγνητικό πεδίο ελαττώνονται. Εμφανίζεται, όμως, ΗΕΔ από αυτεπαγωγή που συντηρεί την κίνηση των φορτίων και ο αγωγός επαναφορτίζεται. Έτσι, η ενέργεια του μαγνητικού πεδίου μετασχηματίζεται σε ηλεκτρικό πεδίο με αντίθετη κατεύθυνση από την προηγούμενη. Ο μετασχηματισμός αυτός τελει-



Σχ. 10.10.
Μετατροπή κλειστού κυκλώματος σε ανοικτό.



Σχ. 10.11.
Το ισοδύναμο κύκλωμα της κεραίας και η ταλάντωσή της.

ώνει τη χρονική στιγμή 2. Στη συνέχεια, η διεργασία επαναλαμβάνεται σε αντίθετη κατεύθυνση από την αρχική. Στις ενδιάμεσες εικόνες πεδίων, συνυπάρχουν ταυτόχρονα το ηλεκτρικό και μαγνητικό πεδίο. Μαγνητικό πεδίο δεν υπάρχει στα άκρα του αγωγού όπου το ρεύμα είναι ίσο με μηδέν.

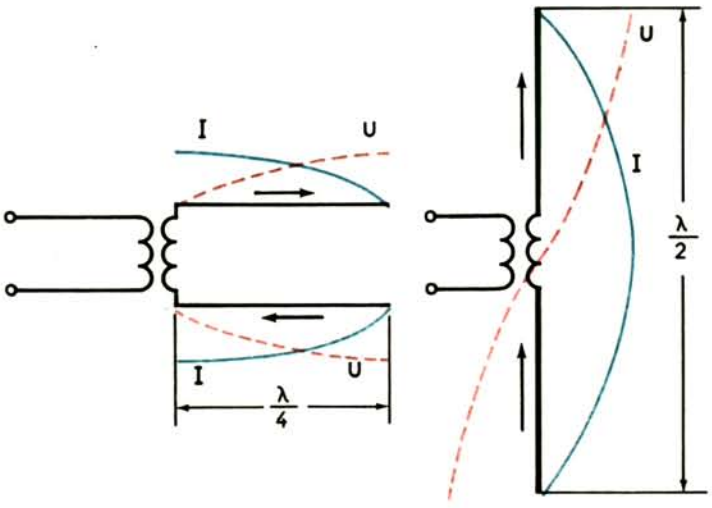
Συμπερασματικά, μπορούμε να πούμε ότι στην κεραία δημιουργούνται ελεύθερες ταλαντώσεις. Για τη συντήρηση των ταλαντώσεων αυτών η κεραία τροφοδοτείται από πηγή εναλλασσόμενης ενέργειας. Για να έχομε ηλεκτρομαγνητικό πεδίο και επομένως μεγάλη ακτινοβολία πρέπει να δημιουργήσομε στο κέντρο της κεραίας, όσο το δυνατό, μεγαλύτερο ρεύμα. Αυτό γίνεται σε συνθήκες συντονισμού σειράς, δηλαδή όταν η κεραία προέρχεται από άνοιγμα γραμμής λ/4, 3λ/4, 5λ/4 κλπ., όπου λ το μήκος κύματος της πηγής που την τροφοδοτεί. Το μήκος της κεραίας, που προέρχεται από άνοιγμα γραμμής λ/4, είναι $l = \lambda/2$.

10.10 Συμμετρικές και ασύμμετρες κεραίες.

Στην πράξη, μεγαλύτερη εφαρμογή έχουν οι κεραίες που προέρχονται από άνοιγμα γραμμών λ/4, δηλαδή οι κεραίες με γεωμετρικό μήκος $l = \lambda/2$. Οι κεραίες αυτές ονομάζονται ***κεραίες λ/2*** ή ***κεραίες Χερτζ*** ή ακόμα ***δίπολα*** και είναι ***συμμετρικές κεραίες.*** Όλες σχεδόν οι ιδιότητες των γραμμών δύο αγωγών, που εξετάσθηκαν πριν, ισχύουν και για τα δίπολα. Και εδώ δημιουργούνται στάσιμα κύματα και στα ελεύθερα άκρα του διπόλου έχομε πάντοτε κόμβο ρεύματος και κοιλία τάσεως. Η κατανομή της τάσεως και του ρεύματος κατά μήκος του διπόλου φαίνεται στο σχήμα 10.12, μαζί με την κατανομή των αντιστοίχων μεγεθών στη γραμμή λ/4 από την οποία προήλθε. Ανάλογα με τη σχέση μεταξύ μήκους διπόλου και μήκους κύματος της τροφοδοτικής πηγής, η αντίσταση εισόδου του διπόλου παίρνει διάφορες τιμές. Στο συντονισμό του διπόλου η αντίσταση αυτή είναι καθαρά ωμική.

Το δίπολο συντονίζει θεωρητικά σε μήκος κύματος $\lambda_o = 2\,l$, όπου l το γεωμετρικό του μήκος. Όμως, επειδή η ταχύτητα διαδόσεως των ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων κατά μήκος του διπόλου είναι λίγο μικρότερη από $3 \cdot 10^8$ m/sec, ο συντονισμός του παρατηρείται για μήκος λίγο μικρότερο από λ/2, περίπου για 0,48 λ. Αν το δίπολο είναι τοποθετημένο κοντά στη γη ή κοντά σε διάφορα σταθερά αντικείμενα, το μήκος του θεωρείται ακόμη μικρότερο.

Η βασική διαφορά του διπόλου από τη γραμμή βρίσκεται στην ικανότητά του να ακτινοβολεί ηλεκτρομαγνητική ενέργεια. Η ακτινοβολία της γραμμής είναι ασθενής, επειδή τα ρεύματα που διαρρέουν τους αγωγούς της έχουν αντίθετη κατεύθυνση και επομένως τα πεδία που δημιουργούν στον εξωτερικό χώρο σχεδόν αλληλοαναιρούνται. Στο δίπολο, τα δύο τμήματα του αγωγού βρίσκονται σε ευθεία και τα ρεύματά τους έχουν την ίδια κατεύθυνση. Έτσι, οι ακτινοβολίες των δύο τμημάτων προστίθενται.

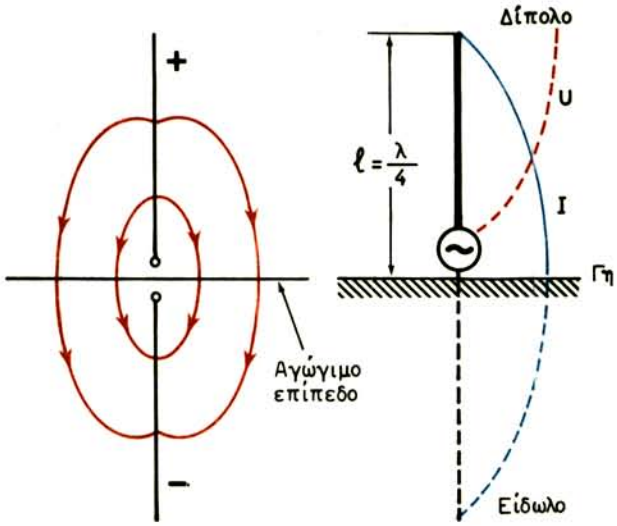


Σχ. 10.12.
Το δίπολο και η προέλευσή του.

Τα δίπολα είναι κατάλληλα για εκπομπή βραχέων και υπερβραχέων κυμάτων ή, γενικά, για εκπομπή κυμάτων με μήκος μικρότερο των 50 m. Στα μεγάλα μήκη κύματος, το γεωμετρικό μήκος του διπόλου είναι πολύ μεγάλο. Το μακρύ δίπολο, που πρέπει να βρίσκεται ελεύθερο στο χώρο και αρκετά υπερυψωμένο (μακριά από τη γη) για να διατηρήσει τις ιδιότητές του, δύσκολα στηρίζεται και τροφοδοτείται. Φυσικά, το δίπολο είναι εντελώς ακατάλληλο για κινητούς ραδιοσταθμούς.

Μπορούμε να έχομε κοντύτερη κεραία αν στηριχθούμε στις ιδιότητες των ***ηλεκτρικών ειδώλων.*** Αν ανάμεσα στα δύο τμήματα του συμμετρικού κατακόρυφου διπόλου τοποθετηθεί ένα ιδανικά αγώγιμο επίπεδο κάθετα στον άξονα του διπόλου (σχ. 10.13), η σύνθεση του πεδίου του δεν μεταβάλλεται, επειδή οι δυναμικές γραμμές του ηλεκτρικού πεδίου διαπερνούν κάθετα το επίπεδο. Η λειτουργία του άνω τμήματος του διπόλου δεν διαταράσσεται και στην περίπτωση που το αγώγιμο επίπεδο αντικατασταθεί από καλή αγώγιμη επιφάνεια γης. Έτσι, το συμμετρικό δίπολο μετατρέπεται σε ***ασύμμετρη κεραία,*** που ονομάζεται ***κεραία λ/4*** ή ***κεραία Μαρκόνι.*** Η κεραία λ/4 είναι ***γειωμένη κεραία*** μέσα από την πηγή τροφοδοτήσεώς της (ο ίδιος ο αγωγός είναι καλά μονωμένος από τη γη). Η σύνθεση του ηλεκτρομαγνητικού πεδίου της κεραίας λ/4 είναι ίδια με εκείνη του διπόλου, αφού στη σύνθεση αυτή συμμετέχει και το, κάτω από τη γη, είδωλο του άλλου μισού του διπόλου. Διατηρείται επίσης η κατανομή της τάσεως και του ρεύματος του μισού τμήματος του διπόλου.

Επειδή το μήκος (ύψος) της γειωμένης κεραίας είναι ίσο με το μισό του μήκους του διπόλου, το μήκος κύματος συντονισμού της θα είναι $\lambda_o = 4\,l$.



Σχ. 10.13.
Η κεραία λ/4 και η προέλευσή της.

10.11 Χαρακτηριστικά μεγέθη κεραιών.

Θα εξετάσομε, τώρα, τα μεγέθη που χαρακτηρίζουν ποιοτικά τη λειτουργία μιας κεραίας και επομένως την καταλληλότητά της για κάθε συγκεκριμένη περίπτωση χρήσεώς της.

1) Η ιδιοσυχνότητα f_o. Η ιδιοσυχνότητα στην οποία ταλαντώνεται μία κεραία εξαρτάται από τις τιμές των ισοδυνάμων στοιχείων της L και C και υπολογίζεται από τη γνωστή σχέση:

$$f_o = 1/2\pi\sqrt{L\,C}$$

Όμως, τα ισοδύναμα αυτά στοιχεία της κεραίας είναι κατανεμημένα σε όλο το μήκος της και ο υπολογισμός τους είναι δύσκολος. Πολύ πιο απλά υπολογίζεται η ιδιοσυχνότητα από το μήκος κύματος λ_o που, όπως είδαμε, για κεραίες λ/2 και λ/4, είναι:

$$\lambda_o = 2\,l \quad \text{και} \quad \lambda_o = 4\,l$$

όπου l το γεωμετρικό μήκος της κεραίας.

Επομένως, έχομε: $f_o = c / \lambda_o$ $\quad (c = 3 \cdot 10^8$ m/sec)

Κεραία, π.χ. με μήκος $l = 20$ m, μπορεί ως κεραία λ/2 να συντονίσει σε μήκος κύματος $\lambda_o = 2 \cdot 20 = 40$ m και ως κεραία λ/4, σε μήκος κύματος $\lambda_o = 4\,l = 80$ m. Η κεραία αυτή, στις δύο περιπτώσεις, θα έχει ιδιοσυχνότητα:

$$f_o = \frac{3 \cdot 10^8}{40} = 7{,}5 \text{ MHz} \qquad \text{και} \qquad f_o = \frac{3 \cdot 10^8}{80} = 3{,}75 \text{ MHz}$$

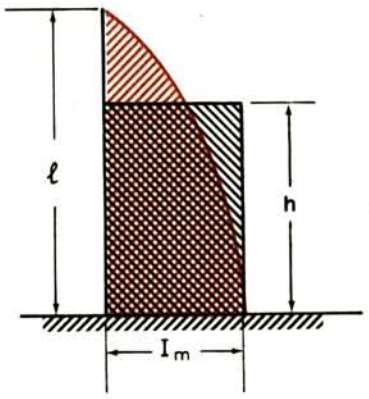
2) Το ενεργό ύψος h. Η ενέργεια που ακτινοβολείται από κάθε στοιχείο της κεραίας είναι ανάλογη του ρεύματος που διαρρέει το στοιχείο. Επειδή η κατανομή του ρεύματος στην κεραία δεν είναι ομοιόμορφη, η ακτινοβολία των διαφόρων στοιχείων της δεν είναι ίδια. Πιο ισχυρή είναι η ακτινοβολία στην κοιλία ρεύματος και μηδενική στον κόμβο του (σχ. 10.14). Μπορούμε να πάρομε μία εικόνα ομοιόμορφης ακτινοβολίας, αν θεωρήσομε ότι το γεωμετρικό μήκος της κεραίας είναι μικρότερο, αλλά διαρρέεται ολόκληρο από ρεύμα ίσης εντάσεως. Στην περίπτωση αυτή, το εμβαδό που περικλείεται από την καμπύλη ανομοιόμορφης κατανομής του ρεύματος και το γεωμετρικό μήκος της κεραίας l αντικαθίσταται από το ίσο εμβαδό του ορθογώνιου που έχει βάση το ρεύμα κοιλίας I_m και ύψος το μικρότερο μήκος της κεραίας h (σχ. 10.14).

Έτσι, ονομάζομε ***ενεργό ή ηλεκτρικό ύψος*** (μήκος) της κεραίας, το μήκος που καλύπτεται από την ***ενεργό κατανομή*** του ρεύματος εισόδου της. Το ενεργό ύψος της κεραίας h είναι, όπως είπαμε, μικρότερο από το γεωμετρικό της μήκος l και δίνεται από τη σχέση:

$$h = \frac{2}{\pi} l = 0{,}637\, l \qquad (10.12)$$

Το ρεύμα κατανέμεται ομοιόμορφα στο ενεργό ύψος (μήκος) της κεραίας και είναι ίσο με αυτό που μετράει αμπερόμετρο που συνδέεται στην είσοδό της.

3) Οι αντιστάσεις εισόδου και ακτινοβολίας. Η κεραία είναι για την πηγή μια αντίσταση φορτίου, ίση με την αντίσταση εισόδου της ανοικτής γραμμής από την οποία προέρχεται. Το φανταστικό μέρος της αντιστάσεως αυτής, για κεραία λ/2, δίνεται από τη σχέση (10.11), δηλαδή:



Σχ. 10.14.
Γεωμετρικό και ενεργό ή ηλεκτρικό ύψος κεραίας.

$$X_{in} = -Z_o \, \sigma\varphi \left(\frac{2\pi}{\lambda} \cdot \frac{l}{2} \right) \qquad (10.13)$$

όπου l το μήκος της κεραίας, που είναι διπλάσιο του μήκους της γραμμής. Σε διάκριση από τις γραμμές, οι κεραίες κατασκευάζονται να έχουν κυματική αντίσταση 600-1000 Ω.

Υπολογίζοντας και τις αναπόφευκτες απώλειες ενέργειας στην κεραία, η σύνθετη αντίσταση εισόδου της θα είναι:

$$Z_{in} = \sqrt{R_{in}^2 + X_{in}^2}$$

όπου R_{in} η ενεργός αντίσταση στα σημεία συνδέσεως της πηγής.

Στο συντονισμό της κεραίας στο μήκος κύματος $\lambda_o = 2\,l$, θα είναι:

$$X_{in} = -Z_o \, \sigma\varphi \left(\frac{2\pi}{2l} \cdot \frac{l}{2} \right) = -Z_o \, \sigma\varphi \, \frac{\pi}{2} = 0$$

και επομένως $Z_{in} = R_{in}$.

Αντίστοιχα, για κεραία λ/4, θα έχομε: $Z_{in} = -Z_o \, \sigma\varphi \left(\frac{2p}{\lambda} \cdot l \right)$

όπου l το μήκος της κεραίας, που είναι δύο φορές μικρότερο από το μήκος του διπόλου.

Επομένως, στο συντονισμό της κεραίας ($\lambda_o = 4\,l$) θα είναι:

$$X_{in} = -Z_o \, \sigma\varphi \left(\frac{2\pi}{4\,l} \cdot l \right) = -Z_o \, \sigma\varphi \, \frac{\pi}{2} = 0 \qquad \text{και} \qquad Z_{in} = R_{in}$$

Εφόσον η κεραία ακτιβολεί ενέργεια, δεν μπορεί να θεωρηθεί ιδανική γραμμή και κατά μήκος της εμφανίζονται μικτά κύματα και όχι στάσιμα. Η ακτινοβολούμενη ενέργεια πρέπει να εξετασθεί ως ισοδύναμη ενέργεια απωλειών σε ωμική αντίσταση που θεωρείται συνδεμένη στην κοιλία ρεύματος. Η αντίσταση αυτή, στην οποία υποτίθεται ότι καταναλώνεται η ακτινοβολούμενη ενέργεια, ονομάζεται ***αντίσταση ακτινοβολίας*** R_r (radiation resistance).

Η αντίσταση ακτινοβολίας για κεραίες λ/2 και λ/4 δίνεται, αντίστοιχα, από τις σχέσεις:

$$R_r = 80\pi^2 \left(\frac{h}{\lambda_o} \right)^2 \quad \text{και} \quad R_r = 160\pi^2 \left(\frac{h}{\lambda_o} \right)^2 \qquad (10.14)$$

Με $h = 0{,}637\,l$ (σχέση 10.12), $l = 0{,}48\,\lambda_o$ και $l = 0{,}24\,\lambda_o$ (για $c < 3 \cdot 10^8$ m/sec), αντίστοιχα, θα έχομε:

$$R_r = 80\pi^2 \left(\frac{0{,}637 \cdot 0{,}48\,\lambda_o}{\lambda_o} \right)^2 \approx 73\ \Omega \text{ (για } \lambda/2)$$

και:

$$R_r = 160\pi^2 \left(\frac{0{,}637 \cdot 0{,}24\,\lambda_o}{\lambda_o} \right)^2 \approx 36{,}5\ \Omega \text{ (για } \lambda/4)$$

Κάθε κεραία έχει και κάποια αντίσταση απωλειών R_α, που υπολογίζεται γύρω στα 7 Ω για την λ/2 και γύρω στα 3,5 Ω για την λ/4. Επομένως, η αντίσταση εισόδου κάθε κεραίας θα είναι αντίστοιχα:

$$R_{in} = R_r + R_\alpha = 73 + 7 = 80\ \Omega \text{ (για } \lambda/2)$$

και

$$R_{in} = 36{,}5+3{,}5 = 40\ \Omega \text{ (για } (\lambda/4)$$

Για κεραία χωρίς απώλειες, η αντίσταση εισόδου είναι ίση με την αντίσταση ακτινοβολίας.

4) Η ισχύς ακτινοβολίας και ο βαθμός αποδόσεως: Ύστερα από τον προσδιορισμό της αντιστάσεως ακτινοβολίας, η ισχύς ακτινοβολίας P_r κάθε κεραίας υπολογίζεται από τις απλές σχέσεις:

Για κεραία λ/2 $\quad P_r = 73\, I_m^2$

και για κεραία λ/4 $\quad P_r = 36\, I_m^2$

όπου I_m η ενεργός τιμή του ρεύματος κοιλίας.

Εξάλλου, η κεραία απορροφά από την πηγή ισχύ (ισχύς εισόδου).

$$P_{in} = R_{in}\, I_m^2 = (R_r + R_\alpha)\, I_m^2$$

Ο βαθμός αποδόσεως της κεραίας δίνεται από το λόγο:

$$n = \frac{P_r}{P_{in}} = \frac{R_r I_m^2}{(R_r + R_\alpha) I_m^2} = \frac{R_r}{R_r + R_\alpha}$$

Για την αύξηση του βαθμού αποδόσεως πρέπει να ελαττωθεί η αντίσταση απωλειών R_α. Το μεγαλύτερο μέρος της ισχύος απωλειών αντιστοιχεί στην αντίσταση προσγειώσεως ή μονώσεως της κεραίας. Η μόνωση της κεραίας από τη γη γίνεται με ιδιαίτερη προσοχή.

5) Η κατευθυντικότητα. Η ενέργεια που ακτινοβολείται από την κεραία προς τις διάφορες κατευθύνσεις, ή που λαμβάνεται από διάφορες κατευθύνσεις, δεν είναι ίδια. Η ένταση της ακτινοβολίας ή λήψεώς της προς ή από ορισμένες κατευθύνσεις είναι μεγαλύτερη σε σύγκριση με άλλες. Η ιδιότητα αυτή της κεραίας, ονομάζεται ***κατευθυντικότητα.***

Οι κατευθυντικές ιδιότητες των κεραιών εκτιμούνται από το διάγραμμα κατευθυντικότητας, το συντελεστή κατευθυντικότητας και το συντελεστή ενισχύσεως.

Το ***διάγραμμα κατευθυντικότητας*** δίνει την ένταση της ακτινοβολίας της κεραίας, ή της λήψεώς της, προς ή από διάφορες κατευθύνσεις και για σημεία που απέχουν εξίσου από την κεραία.

Τα διαγράμματα κατευθυντικότητας μπορούν να χαραχθούν με αναλυτικούς υπολογισμούς ή με πειραματικό τρόπο, μετρώντας την ένταση του πεδίου Ε γύρω από την κεραία και σε ορισμένες ίσες αποστάσεις από αυτή.

Το πλάτος της εντάσεως του ηλεκτρικού πεδίου E_m σε απόσταση r από τον άξονα ενός στοιχειώδους διπόλου και σε επίπεδο κάθετο στον άξονα του διπόλου, που περνάει από το μέσο του, δίνεται από τη σχέση:

$$E_m = 60\pi \frac{I_m}{r} \cdot \frac{l}{\lambda} \tag{10.15}$$

όπου E_m σε V /m, r, l και λ σε m και I_m σε A.

Από την αζιμουθιακή γωνία φ το μέγεθος E_m δεν εξαρτάται. Σε εξάρτηση από τη γωνία θ μεταξύ του κάθετου στον άξονα του διπόλου επιπέδου και της κατευθύνσεως από το κέντρο του διπόλου στο σημείο παρατηρήσεως, το πλάτος $E_{m\theta}$ μεταβάλλεται με το νόμο:

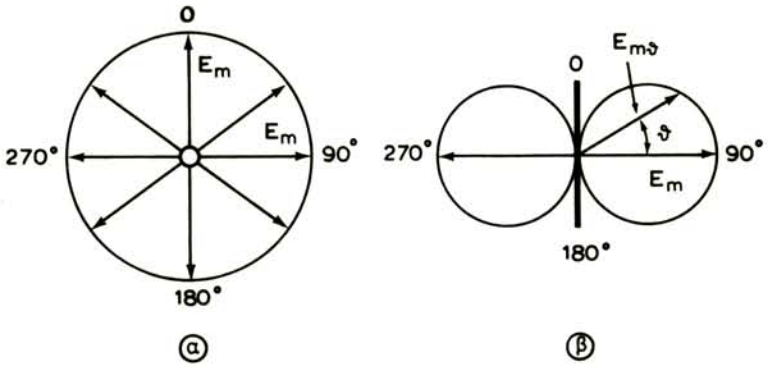
$$E_{m\theta} = E_m \text{συν}\,\theta = 60\pi \frac{I_m}{r} \cdot \frac{l}{\lambda} \text{συν}\,\theta \tag{10.16}$$

Με τη βοήθεια των σχέσεων (10.15) και (10.16), μπορούμε να χαράξομε το ***διάγραμμα ακτινοβολίας*** του διπόλου σε οριζόντιο και κατακόρυφο επίπεδο. Το διάγραμμα ακτινοβολίας του διπόλου σε οριζόντιο επίπεδο (σχέση 10.15) είναι κύκλος (σχ. 10.15α) και σε κατακόρυφο επίπεδο έχει τη μορφή του «8» (σχ. 10.15β). Από το τελευταίο διάγραμμα φαίνεται ότι η ακτινοβολία του διπόλου είναι μεγάλη στο οριζόντιο επίπεδο, ενώ προς την κατεύθυνση του άξονά του δεν ακτινοβολεί.

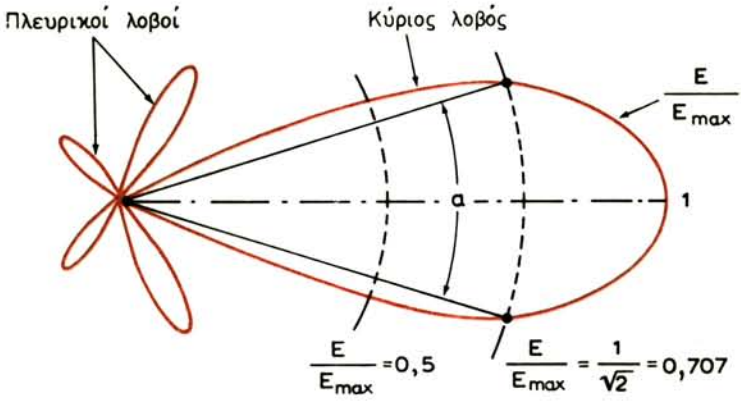
Το διάγραμμα ακτινοβολίας χαρακτηρίζει την ένταση της ακτινοβολίας σε διάφορες κατευθύνσεις και τα μεγέθη εκφράζονται σε απόλυτες μονάδες με κάποια αναλογία (κλίμακα) κατάλληλη για χάραξη.

Το διάγραμμα κατευθυντικότητας χαρακτηρίζει το ίδιο μέγεθος, αλλά σε σχετικές μονάδες. Έχει την ίδια μορφή και χαράσσεται με τον ίδιο τρόπο (υπολογιστικά ή πειραματικά) σε οριζόντιο και κατακόρυφο επίπεδο, ακόμη και στο χώρο.

Κάθε κεραία έχει μία κατεύθυνση μέγιστης ακτινοβολίας (ή λήψεως) που ονομάζεται ***κύρια κατεύθυνση.*** Η μέγιστη ένταση του πεδίου E_{max} προς την κατεύθυνση αυτή μεταφέρεται στο διάγραμμα ίση με 1 ($E_{max} = 1$). Οι εντάσεις προς άλλες κατευθύνσεις Ε, εκφράζονται από το λόγο E/E_{max} που είναι μικρότερος από τη μονάδα (σχ. 10.16).



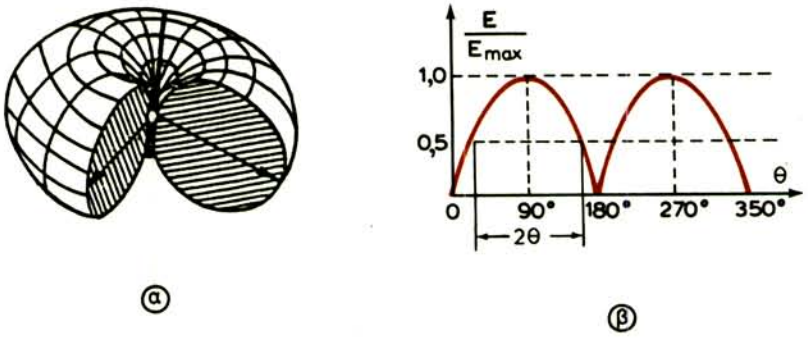
Σχ. 10.15.
Διαγράμματα ακτινοβολίας στοιχειώδους διπόλου.
α) Σε οριζόντιο. β) Σε κατακόρυφο επίπεδο.



Σχ. 10.16.
Διάγραμμα κατευθυντικότητας κεραίας.

Η περιοχή του διαγράμματος, που περνάει από την κατεύθυνση της μέγιστης ακτινοβολίας και βρίσκεται μεταξύ πλευρικών ελαχίστων, ονομάζεται ***κύριος λοβός*** του διαγράμματος. Άλλες περιοχές με μικρότερα μέγιστα και μικρότερα πλευρικά ελάχιστα ακτινοβολίας, ονομάζονται ***πλευρικοί λοβοί*** (σχ. 10.16). Το πλάτος του κύριου λοβού του διαγράμματος εκτιμάται από τη γωνία α της οποίας οι πλευρές περνούν από τα σημεία εντάσεως πεδίου με στάθμη $E/E_{max} = 1/\sqrt{2} = 0{,}707$.

Στο σχήμα 10.17α φαίνεται το διάγραμμα κατευθυντικότητας ενός διπόλου στο χώρο. Τα διαγράμματα του σχήματος 10.15 είναι χαραγμένα σε πολικές συντεταγμένες. Πολλές φορές, τα διαγράμματα χαράσσονται σε ορθογώνιες συντεταγμένες (σχ. 10.17β).



Σχ. 10.17.

Διάγραμμα κατευθυντικότητας διπόλου στο χώρο (α) και διάγραμμα κατευθυντικότητας σε ορθογώνιες συντεταγμένες (β).

Τέλος, στο σχήμα 10.18 φαίνονται τα διαγράμματα κατευθυντικότητας της κεραίας λ/4 σε οριζόντιο και κατακόρυφο επίπεδο, καθώς και στο χώρο.

Πολλές φορές όλη η ισχύς του πομπού ακτινοβολείται προς μία κατεύθυνση. Με τον τρόπο αυτό μεγαλώνει η ένταση του πεδίου στη θέση λήψεως, χωρίς αύξηση της ισχύος του πομπού, ελαττώνονται οι παρεμβολές από άλλους πομπούς και απομακρύνεται η πιθανότητα συμβολής ραδιοκυμάτων που ακολουθούν διαφορετικές διαδρομές. Μία κεραία τέτοιας ακτινοβολίας, έχει διάγραμμα κατευθυντικότητας της μορφής του σχήματος 10.16.

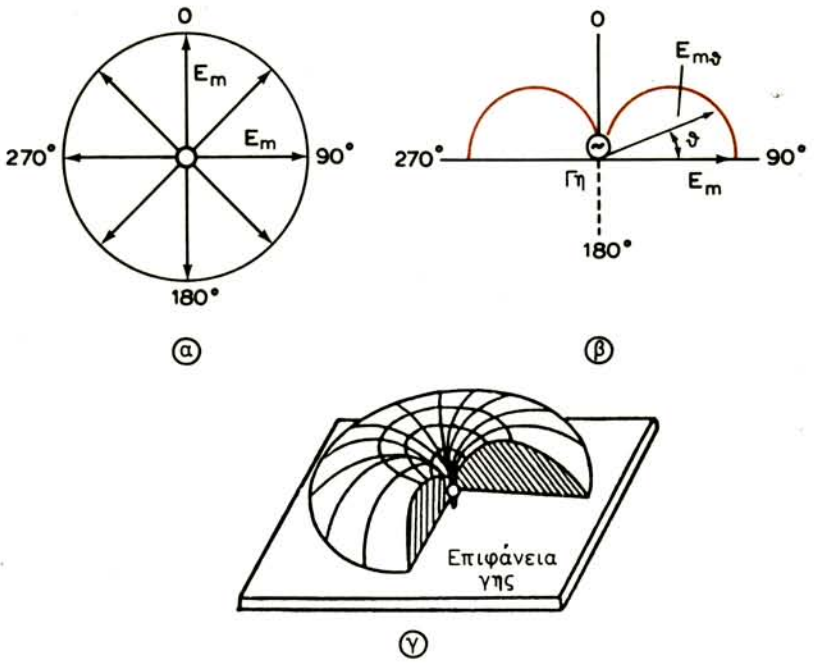
Το δεύτερο μέγεθος που χαρακτηρίζει τις κατευθυντικές ιδιότητες των κεραιών είναι ο ***συντελεστής κατευθυντικότητας D*** (directivity coefficient). Ο συντελεστής αυτός δείχνει, πόσες φορές η ισχύς ακτινοβολίας P_r μιας κεραίας καθολικής εκπομπής (κεραίας χωρίς κατευθυντικότητα) πρέπει να είναι μεγαλύτερη από την ισχύ ακτινοβολίας P_{rd} μιας κεραίας κατευθυνόμενης εκπομπής, ώστε να δημιουργήσει, σε οποιοδήποτε σημείο της κατευθύνσεως εκπομπής της δεύτερης κεραίας, την ίδια ένταση πεδίου. Επομένως είναι:

$$D = \frac{P_{rd}}{P_r}$$

Τέλος, το τρίτο μέγεθος είναι ο ***συντελεστής ενισχύσεως*** ή η ***απολαβή G*** (gain) της κεραίας, που την χαρακτηρίζει τόσο από πλευράς απωλειών ενέργειας, όσο και από άποψη κατευθυντικών ιδιοτήτων και είναι:

$$G = \frac{P_{rd}}{P_r} n = D \cdot n$$

όπου n ο βαθμός αποδόσεως της κεραίας.



Σχ. 10.18.

Διαγράμματα κατευθυντικότητας κεραίας λ/4.
α) Στο οριζόντιο επίπεδο. β) Στο κατακόρυφο επίπεδο. γ) Στο χώρο.

10.12 Συντονισμός γειωμένων κεραιών.

Οι κεραίες των μακρών και μεσαίων κυμάτων είναι ασύμμετρες κατακόρυφες κεραίες, που τροφοδοτούνται, όπως είδαμε, στη βάση τους. Κεραίες του τύπου αυτού χρησιμοποιούνται στην εκπομπή και στη λήψη τόσο σε σταθμούς μόνιμης εγκαταστάσεως όσο και σε κινητούς σταθμούς (κυρίως στρατιωτικών ασυρμάτων). Οι κεραίες των οχημάτων έχουν γη το ίδιο το μεταλλικό όχημα.

Οι κατακόρυφες κεραίες κατασκευάζονται σχεδόν πάντοτε με γεωμετρικό μήκος *l* μικρότερο από λ/4. Η στήριξη κεραίας με μεγάλο μήκος αποτελεί δύσκολο πρόβλημα, που γίνεται ακόμη δυσκολότερο όταν πρόκειται για κεραίες κινητών σταθμών. Εκεί, δεν μπορούν να χρησιμοποιηθούν ιστοί και πυλώνες στηρίξεως, με εξαίρεση τις κεραίες των σταθμών των πλοίων. Έτσι, οι κεραίες έχουν μικρό μήκος (ύψος) και επιμηκύνονται με ηλεκτρικούς τρόπους, τους οποίους θα δούμε στη συνέχεια.

Πολλές φορές και κυρίως στους κινητούς σταθμούς, παρουσιάζεται η ανάγκη λειτουργίας της κεραίας σε διάφορα μήκη κύματος, δηλαδή η ανάγκη αλλαγής της ιδιοσυχνότητάς της. Η αντικατάσταση της κεραίας δεν είναι μέθοδος κατάλληλη.

Για το συντονισμό της κεραίας σε διάφορες συχνότητες, συνδέονται στη βάση της αυτεπαγωγές και χωρητικότητες, που αντισταθμίζουν το φανταστικό μέρος της αντιστάσεως εισόδου της για κάθε συχνότητα. Τα ίδια στοιχεία μπορούν να χρησιμοποιηθούν και για τη σύζευξη της κεραίας με τον πομπό.

Στο σχήμα 10.19 φαίνονται δύο γειωμένες κεραίες, που λειτουργούν σε περιοχή κυμάτων μεγαλύτερων από 4 *l*. Για το συντονισμό και τη σύζευξη των κεραιών με τους πομπούς τους, συνδέεται στη βάση τους το βαριόμετρο L_v και η αυτεπαγωγή συζεύξεως L_c. Οι αυτεπαγωγές αυτές ονομάζονται ***αυτεπαγωγές επιμηκύνσεως***, επειδή οι κεραίες θα συντονίζουν σε μήκη κύματος μεγαλύτερα από το βασικό τους $\lambda_o = 4l$.

Σύμφωνα με τη σχέση (10.13), στη συνθήκη συντονισμού της κεραίας θα είναι:

$$\omega (L_v + L_c) = Z_o \, \sigma\varphi \left(\frac{2\pi}{\lambda} \cdot \frac{l}{2} \right)$$

όπου ω η κυκλική συχνότητα του πομπού.

Με άλλα λόγια, με την εκπλήρωση της τελευταίας ισότητας, η χωρητική συνιστώσα της αντιστάσεως εισόδου της κεραίας αντισταθμίζεται από την επαγωγική αντίσταση των στοιχείων συντονισμού της κεραίας και παραμένει μόνο το πραγματικό μέρος της αντιστάσεως εισόδου R_{in}.

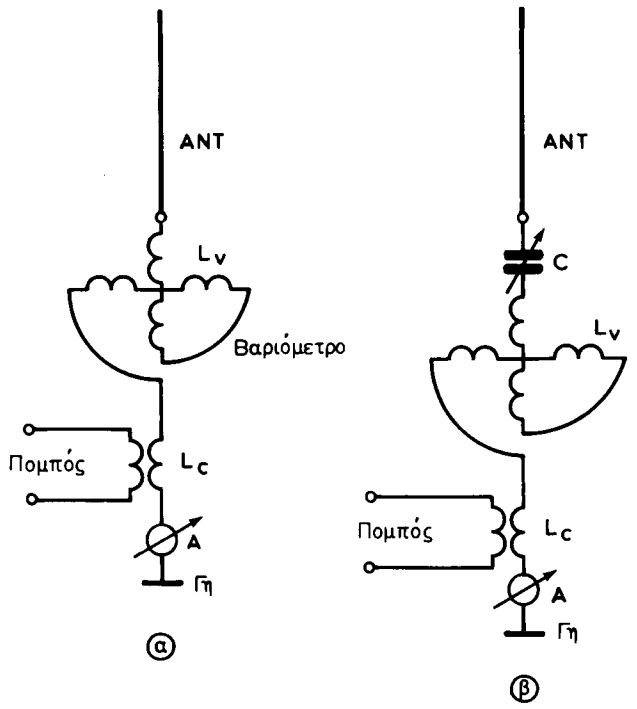
Στο σχήμα 10.19(β), εκτός από την αυτεπαγωγή, χρησιμοποιείται και χωρητικότητα για το συντονισμό της κεραίας. Η χωρητικότητα στη βάση της κεραίας εξουδετερώνει ένα μέρος της αυτεπαγωγής και επομένως «κονταίνει» την κεραία. Γι' αυτό ονομάζεται **χωρητικότητα επιβραχύνσεως**. Στην πράξη χρησιμοποιείται συνήθως ο συνδυασμένος αυτός τρόπος συντονισμού της κεραίας. Ο συντονισμός της κεραίας διαπιστώνεται από τη μέγιστη ένδειξη του αμπερομέτρου στη βάση της (κοιλία ρεύματος).

Υποθέτομε ότι μια γειωμένη κεραία έχει ύψος 5 m και κυματική αντίσταση $Z_o = 500\ \Omega$. Με τη βοήθεια του βαριομέτρου [σχ. 10.19(α)], η κεραία πρέπει να συντονίζει στην περιοχή κυμάτων 30-40 m. Θα υπολογίσομε την ελάχιστη και τη μέγιστη αυτεπαγωγή του βαριομέτρου.

Η ισοδύναμη φαινόμενη αντίσταση της κεραίας έχει χωρητικό χαρακτήρα, επειδή το βασικό μήκος κύματος συντονισμού της ($\lambda_o = 4\,l = 4 \cdot 5 = 20$ m) είναι μικρότερο από το κατώτερο μήκος της περιοχής λειτουργίας της (30 m). Στα 30 m η φαινόμενη αντίσταση είναι:

$$-X_{in1} = Z_o \, \sigma\varphi \left(\frac{2\pi}{\lambda} l \right) = 500 \, \sigma\varphi \left(\frac{360^\circ}{30} \cdot 5 \right) = 500 \, \sigma\varphi \, 60^\circ = 289\ \Omega$$

και στα 40 m: $$-X_{in2} = 500 \, \sigma\varphi \left(\frac{360^\circ}{40} \cdot 5 \right) = 500 \cdot \sigma\varphi \, 45^\circ = 500\ \Omega$$



Σχ. 10.19.

Συντονισμός κεραιών με αυτεταγωγή επιμηκύνσεως και χωρητικότητα επιβραχύνσεως.

Επειδή είναι: $$f_1 = \frac{3 \cdot 10^8}{\lambda_1} = \frac{3 \cdot 10^8}{30} = 10^7 \text{ Hz}$$

και: $$f_2 = \frac{3 \cdot 10^8}{\lambda_2} = \frac{3 \cdot 10^8}{40} = 0{,}75 \cdot 10^7 \text{ Hz}$$

θα έχομε: $$L_{V\min} = \frac{X_{in1}}{\omega_1} = \frac{289}{6{,}28 \cdot 10^7} = 4{,}6 \ \mu\text{H}$$

και: $$L_{V\max} = \frac{X_{in2}}{\omega_2} = \frac{500}{6{,}28 \cdot 0{,}75 \cdot 10^7} = 10{,}6 \ \mu\text{H}$$

Η ζευκτική αυτεπαγωγή L_c δεν μπορεί να είναι μεγαλύτερη από την L_{vmin}. Για L_c=3 μH, θα έχομε:

$$L_{vmin} = 4{,}6 - 3 = 1{,}6 \ \mu\text{H} \qquad \text{και} \qquad L_{vmax} = 10{,}6 - 3 = 7{,}6 \ \mu\text{H}$$

Αν στο σχήμα 10.19(β) χρησιμοποιηθεί πυκνωτής με μέση χωρητικότητα C=60 pF και ζευκτική αυτεπαγωγή L_c = 4,55 μH, για το συντονισμό της κεραίας,

με μήκος l = 10 m, στα 4 MHz, η μέση τιμή της αυτεπαγωγής του βαριομέτρου L_v υπολογίζεται ως εξής:

Βασικό μήκος κύματος της κεραίας: $\lambda_o = 4l = 40$ m

Μήκος κύματος λειτουργίας: $$\lambda = \frac{v}{f} = \frac{300 \cdot 10^6}{4 \cdot 10^6} = 75 \text{ m}$$

Επειδή είναι $\lambda > \lambda_o$, το φανταστικό μέρος της αντιστάσεως εισόδου της κεραίας θα έχει χωρητική συμπεριφορά και τιμή (με Z_o=500 Ω):

$$-X_{in} = Z_o \, \sigma\varphi \left(\frac{2\pi}{\lambda} l \right) = 500 \, \sigma\varphi \left(\frac{360°}{75} \cdot 10 \right) = 500 \, \sigma\varphi \, 48° = 500 \cdot 0{,}9 = 450 \, \Omega$$

Η αντίσταση του πηνίου συζεύξεως θα είναι:

$$\omega L_c = 6{,}28 \cdot 4 \cdot 10^6 \cdot 4{,}55 \cdot 10^{-6} \simeq 115 \, \Omega$$

και η αντίσταση του πυκνωτή:

$$\frac{1}{\omega C} = \frac{1}{6{,}28 \cdot 4 \cdot 10^6 \cdot 60 \cdot 10^{-12}} \approx 665 \, \Omega$$

Έτσι, το βαριόμετρο πρέπει να έχει αντίσταση:

$$X_{in} + \frac{1}{\omega C} - \omega L_c = 450 + 665 - 115 = 1000 \, \Omega$$

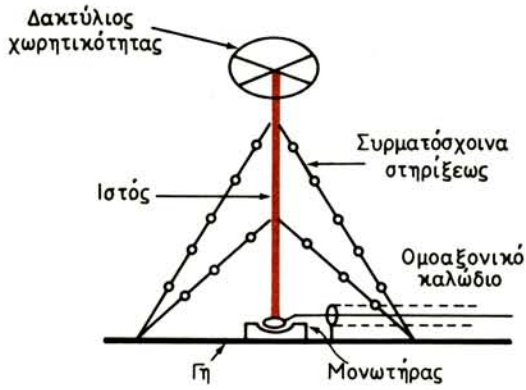
και αυτεπαγωγή στη θέση συντονισμού:

$$L_v = \frac{1000}{\omega} = \frac{1000}{6{,}28 \cdot 4 \cdot 10^6} = 40 \, \mu\text{H}$$

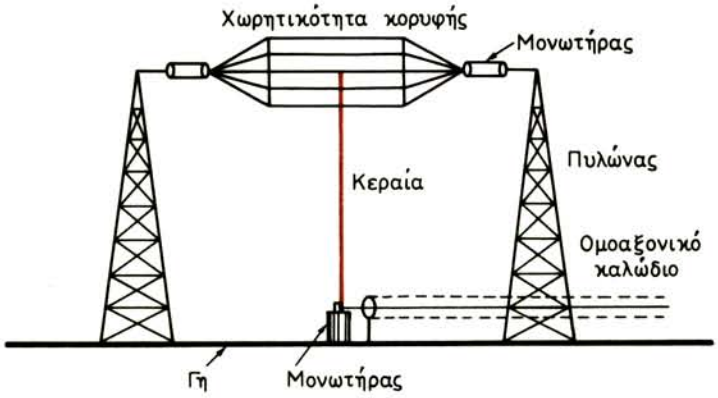
10.13 Πρακτικές μορφές κεραιών.

Για την εκπομπή στην περιοχή των μεσαίων κυμάτων χρησιμοποιούνται οι λεγόμενες κεραίες ***ιστοί*** (σχ. 10.20). Για την αύξηση του ύψους της κεραίας (ο ιστός ακτινοβολεί) τοποθετούνται στην κορυφή της οριζόντιοι παράλληλοι αγωγοί ή δακτύλιος με ακτινωτά σύρματα. Το σύστημα αυτό σχηματίζει με τη γη ***χωρητικότητα επιμηκύνσεως,*** η οποία μεγαλώνει το ***ηλεκτρικό μήκος*** της κεραίας (ο πυκνωτής επιβραχύνσεως του σχήματος 10.19(β) είναι συνδεμένος στη βάση της κεραίας). Η κεραία «ιστός» είναι λ/4 και τροφοδοτείται με ομοαξονικό καλώδιο. Κεραία «ιστό» διαθέτει ο πομπός Μπογιατίου (Αγίου Στεφάνου) στην Αθήνα και όλοι οι επαρχιακοί σταθμοί μεσαίων κυμάτων.

Πολλές φορές, η ακτινοβολία γίνεται από κατακόρυφο πολύκλωνο αγωγό που στηρίζεται σε δύο πυλώνες με τη βοήθεια οριζόντιου αγωγού (σχ. 10.21). Ο



Σχ. 10.20.
Κεραία «ιστός».

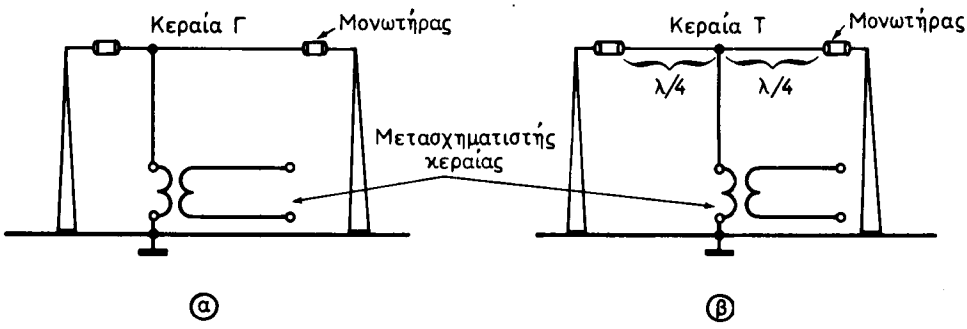


Σχ. 10.21.
Κατακόρυφη κεραία λ/4 στηριγμένη σε πυλώνες.

οριζόντιος αυτός αγωγός πλαισιώνεται και από άλλους παράλληλους, για να σχηματισθεί η χωρητικότητα κορυφής, που επιμηκύνει την κεραία. Κεραία με πυλώνες διαθέτει ο πομπός μεσαίων κυμάτων των Νέων Λιοσίων στην Αθήνα.

Σημειώνομε ότι κατακόρυφες κεραίες χρησιμοποιούνται και στη λήψη, όπως είναι οι κεραίες των φορητών ραδιοφώνων, των ραδιοφώνων των αυτοκινήτων, των ασυρμάτων των διαφόρων στρατιωτικών οχημάτων κλπ.

Στην περιοχή των βραχέων κυμάτων χρησιμοποιούνται κεραίες με διάφορες μορφές. Ανάμεσά τους ξεχωριστή θέση κατέχουν οι ***κεραίες τύπου Γ*** και ***τύπου Τ*** [σχ. 10.22(α) και σχ. 10.22(β)]. Είναι κεραίες με σχετικά μικρό μήκος, που στηρίζονται εύκολα σε κατακόρυφη ή και πλάγια θέση με τη βοήθεια ιστών.



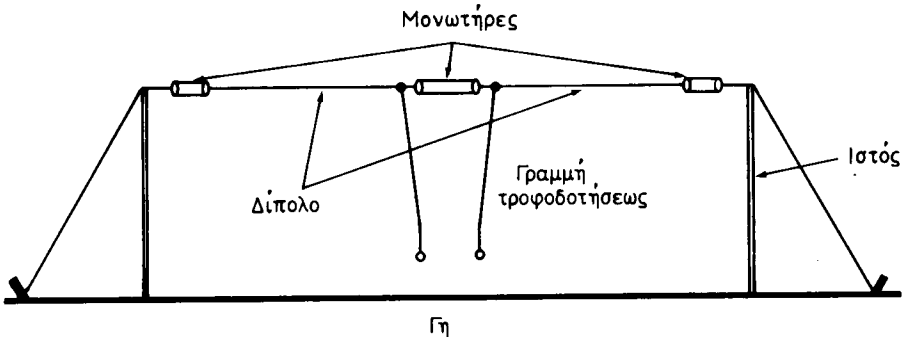
Σχ. 10.22.
Ασύμμετρες κεραίες τύπου Γ και Τ.

Είναι ασύμμετρες κεραίες, στις οποίες τα οριζόντια τμήματα δεν συμμετέχουν στην ακτινοβολία. Τα τμήματα αυτά σχηματίζουν με τη γη αντιφασικά συστήματα και τα πεδία τους στο χώρο αλληλοεξουδετερώνονται. Χρησιμοποιούνται μόνο για την αύξηση του ηλεκτρικού μήκους της κεραίας. Ο μετασχηματιστής προσαρμόζει την αντίσταση εισόδου της κεραίας με την αντίσταση εξόδου του πομπού ή εισόδου του δέκτη.

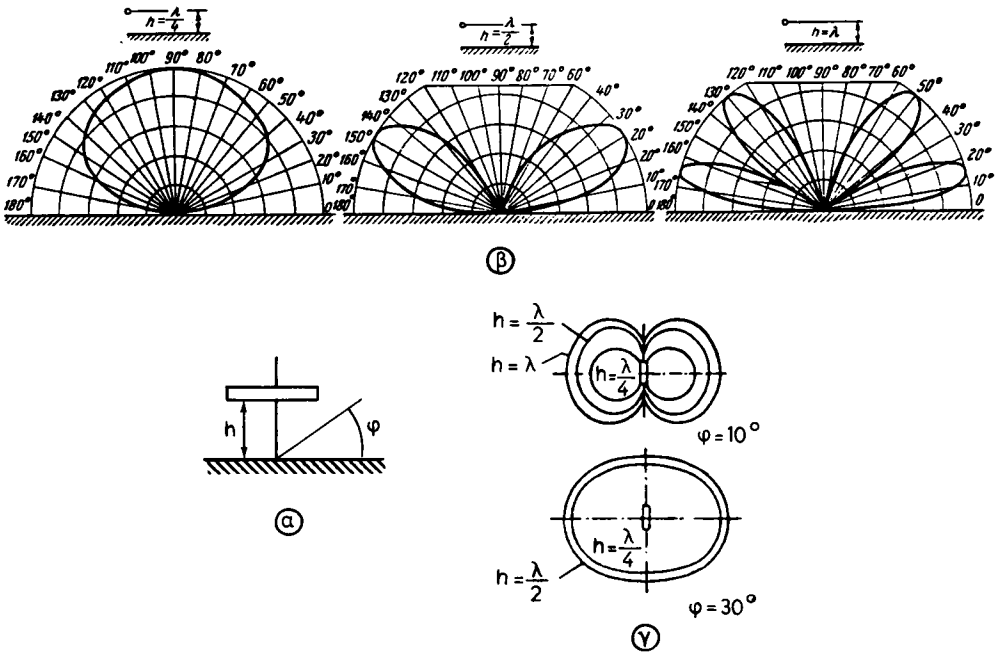
Στην περιοχή, επίσης, των βραχέων κυμάτων μεγάλη εφαρμογή έχουν οι οριζόντιες διπολικές κεραίες (σχ. 10.23). Για ασφαλή ραδιοεπικοινωνία, το δίπολο πρέπει να τοποθετηθεί κάθετα προς την κατεύθυνση του σημείου εκπομπής ή λήψεως. Μεγάλη επίδραση στο διάγραμμα κατευθυντικότητας σε κατακόρυφο επίπεδο έχει η υπερύψωση της κεραίας επάνω από τη γη και το μήκος του διπόλου.

Η ένταση του πεδίου που δημιουργεί το δίπολο σε κάποιο σημείο του χώρου, είναι αποτέλεσμα συμβολής δύο κυμάτων: του κύματος που ακτινοβολείται άμεσα από το δίπολο και του κύματος που ανακλάται από το έδαφος κάτω από το δίπολο. Η φασική σχέση μεταξύ των δύο αυτών κυμάτων και επομένως το αποτέλεσμα της συμβολής, μεταβάλλεται με την υπερύψωση του διπόλου h και της γωνίας κλίσεως της ακτίνας διαδόσεως φ [σχ. 10.24(α)]. Όταν η φασική απόκλιση μεταξύ των απευθείας και ανακλώμενων κυμάτων περνάει από τις τιμές π, 2π, 3π κλπ., η ένταση της ακτινοβολίας μεταβάλλεται περιοδικά από μηδέν έως μέγιστο και το διάγραμμα κατευθυντικότητας αποκτάει λοβούς.

Όσο μεγαλώνει η υπερύψωση του οριζόντιου διπόλου [σχ. 10.24(β)] το μέγιστο της ακτινοβολίας στο κατακόρυφο επίπεδο πλησιάζει προς την επιφάνεια της γης, ενώ ο αριθμός των λοβών του διαγράμματος κατευθυντικότητας μεγαλώνει. Το διάγραμμα κατευθυντικότητας στο οριζόντιο επίπεδο επίσης μεγαλώνει [σχ. 10.24(γ)].



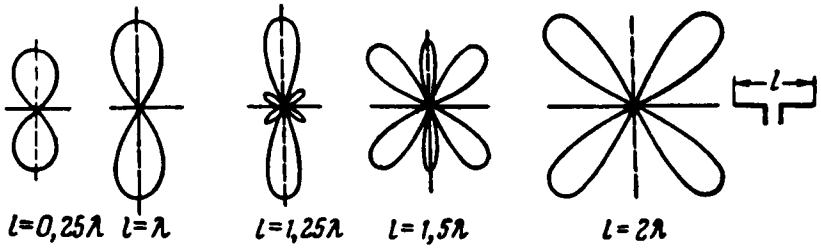
Σχ. 10.23.
Οριζόντια διπολική κεραία.



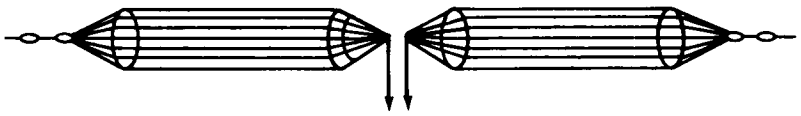
Σχ. 10.24.
Διαγράμματα κατευθυντικότητας οριζόντιου διπόλου για διάφορες υπερυψώσεις του πάνω από τη γη. β) Σε κατακόρυφο επίπεδο. γ) Σε οριζόντιο επίπεδο.

Στο διάγραμμα κατευθυντικότητας επιδρά επίσης το μήκος του διπόλου, εξαιτίας της συμβολής των κυμάτων που εκπέμπονται από τα ιδιαίτερα στοιχεία του με διαφορετική ένταση (σχ. 10.25).

Οι παράμετροι που αναφέρθηκαν παραπάνω (ανύψωση διπόλου, γωνία κλί-



Σχ. 10.25.
Διαγράμματα κατευθυντικότητας σε οριζόντιο επίπεδο οριζοντίων διπόλων με διάφορα μήκη.



Σχ. 10.26.
Διπολική κεραία με κυλινδρικά ημιτμήματα.

σεως ακτίνων, μήκος διπόλου) δεν επιδρούν μόνο στο διάγραμμα κατευθυντικότητας, αλλά και στην αντίσταση ακτινοβολίας R_r.

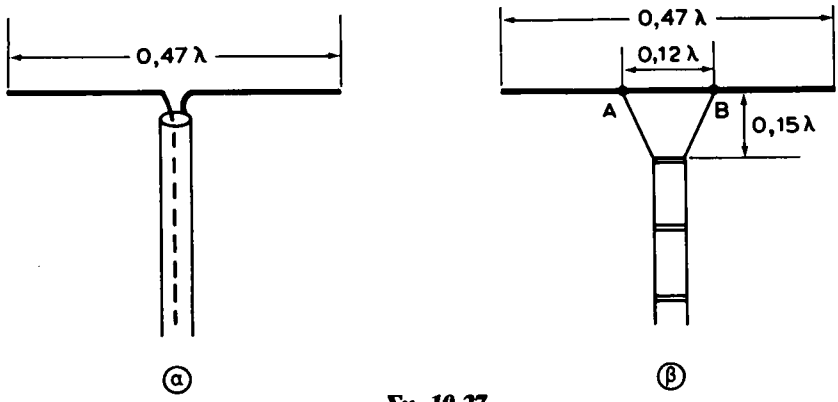
Για την ελάττωση της επιδράσεως αυτών των παραμέτρων στη μορφή του διαγράμματος κατευθυντικότητας και στην τιμή της αντιστάσεως ακτινοβολίας, το άριστο μήκος του διπόλου εκλέγεται από τη σχέση:

$$0{,}8\, l < \lambda < 4\, l$$

Σήμερα, μεγάλη διάδοση πήρε το οριζόντιο συμμετρικό δίπολο με κυλινδρικά ημιτμήματα (σχ. 10.26). Η διάταξη αυτή είναι ευρείας περιοχής κυμάτων και έχει μικρή κυματική αντίσταση, επομένως και μικρή αντίσταση εισόδου. Αυτό, διευκολύνει την προσαρμογή της γραμμής μεταφοράς με την κεραία. Εκτός από αυτό, η ελάττωση της κυματικής αντιστάσεως Z_o υποβιβάζει το συντελεστή ποιότητας της κεραίας και αντίστοιχα διευρύνει τη ζώνη διελεύσεώς της.

Κατασκευαστικά, το δίπολο αποτελείται από σύστημα 6-8 αγωγών, που σχηματίζουν τα κυλινδρικά ημιτμήματά του. Οι αγωγοί στηρίζονται σε δακτυλίους με διάμετρο 0,5-1,5 m. Οι αγωγοί στα άκρα τροφοδοτήσεως και στηρίξεως συγκλίνουν και καταλήγουν σε κορυφή κώνου. Η κυματική αντίσταση του συστήματος είναι 300 Ω και το διάγραμμα κατευθυντικότητας του διπόλου δεν μεταβάλλεται σχεδόν καθόλου στην περιοχή κυμάτων $\lambda=(1{,}56\text{-}4)l$.

Οι κεραίες τροφοδοτούνται από τους πομπούς μέσα από αμοαξονικά καλώδια ή συμμετρικές γραμμές δύο αγωγών. Τα καλώδια και οι γραμμές πρέπει



Σχ. 10.27.

Τροφοδότηση κεραιών.

α) Με ομοαξονικό καλώδιο. β) Με διπολική συμμετρική γραμμή.

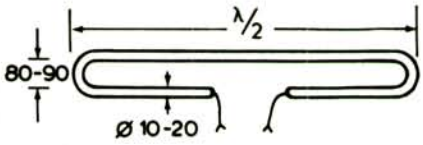
να εργάζονται σε συνθήκη τρέχοντος κύματος για να μην ακτινοβολούν. Αυτό γίνεται αν υπάρχει προσαρμογή μεταξύ γραμμής και κεραίας.

Η πιο απλή τροφοδότηση του διπόλου γίνεται με ομοαξονικό καλώδιο που έχει Z_o=70-80 Ω και ισούται περίπου με την αντίσταση εισόδου του διπόλου [σχ. 10.27(α)]. Όμως, το ομοαξονικό καλώδιο είναι ασύμμετρο και καταστρέφει τη συμμετρία του διπόλου, πράγμα που επιδρά δυσμενώς στη λειτουργία του.

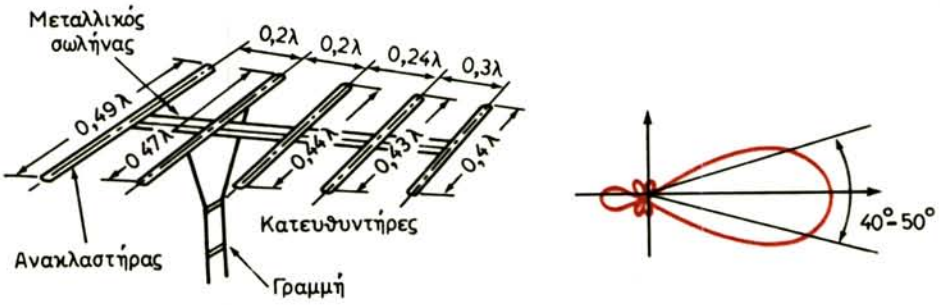
Στο σχήμα 10.27(β) φαίνεται η τροφοδότηση του διπόλου με συμμετρική γραμμή που συνδέεται στα σημεία Α και Β. Τα σημεία εκλέγονται έτσι, ώστε η αντίσταση εισόδου της κεραίας Z_{in} να είναι ίση με τη χαρακτηριστική αντίσταση της διπολικής γραμμής Z_o ($Z_{in}=Z_o$). Για το σκοπό αυτό, ένα τμήμα της γραμμής ανοίγει στο τέλος της και γίνεται ***μετασχηματιστής προσαρμογής***, που συνήθως ονομάζεται ***μετασχηματιστής δέλτα.*** Η απόσταση μεταξύ των σημείων και το μήκος του «δέλτα» φαίνονται στο σχήμα 10.27.

Στην περιοχή των υπερβραχέων κυμάτων χρησιμοποιούνται συνήθως συστήματα κεραιών που κατασκευάζονται με δίπολα και έχουν διαγράμματα κατευθυντικότητας με οξείς λοβούς. Συνδυασμοί διπόλων μπορούν να δώσουν κεραίες πολύπλευρης ακτινοβολίας (π.χ. τα σταυρωτά δίπολα) και μονόπλευρης ακτινοβολίας. Στις ***μονοκατευθυντικές κεραίες*** ανήκουν οι γνωστές μας ***κεραίες Yagi,*** που χρησιμοποιούνται για τη λήψη των τηλεοπτικών προγραμμάτων.

Βασικό στοιχείο της κεραίας Yagi είναι το ***αναδιπλωμένο δίπολο*** (σχ. 10.28), που αποτελείται από δύο δίπολα παράλληλα και σε μικρή (σε σχέση με το μήκος κύματος) απόσταση μεταξύ τους. Τα άκρα των διπόλων ενώνονται. Το αναδιπλωμένο δίπολο έχει αντίσταση εισόδου 4 φορές μεγαλύτερη από την αντίσταση του απλού διπόλου (περίπου 300 Ω) και μπορεί να τροφοδοτηθεί από μια διπολική γραμμή ίσης κυματικής αντιστάσεως.



Σχ. 10.28.
Το αναδιπλωμένο δίπολο
(οι διαστάσεις σε mm)



Σχ. 10.29.
Διάταξη των στοιχείων μιας κεραίας Yagi.

Για την κατασκευή της κεραίας Yagi το αναδιπλωμένο δίπολο πλαισιώνεται από μερικά ακόμη απλά ***παθητικά δίπολα*** (λέγονται έτσι επειδή δεν τροφοδοτούνται), που βρίσκονται κοντά στο αναδιπλωμένο ***(ενεργό δίπολο)***. Όλα τα στοιχεία της κεραίας (ενεργό και παθητικά δίπολα) είναι τοποθετημένα στο ίδιο επίπεδο, παράλληλα μεταξύ τους και στερεωμένα σε κοινό σωλήνα. Η διάταξη των στοιχείων της κεραίας Yagi φαίνεται στο σχήμα 10.29.

Τα στοιχεία που βρίσκονται μπροστά από το ενεργό δίπολο (κατά την κατεύθυνση εκπομπής και λήψεως) ονομάζονται ***κατευθυντήρες***, ενώ εκείνο που βρίσκεται πίσω από αυτό, ***ανακλαστήρας.*** Ο ανακλαστήρας μπορεί ν' αποτελείται από περισσότερα δίπολα τοποθετημένα έτσι, ώστε να σχηματίζουν ανακλαστική επιφάνεια, στην οποία η κατεύθυνση της κεραίας είναι κάθετη.

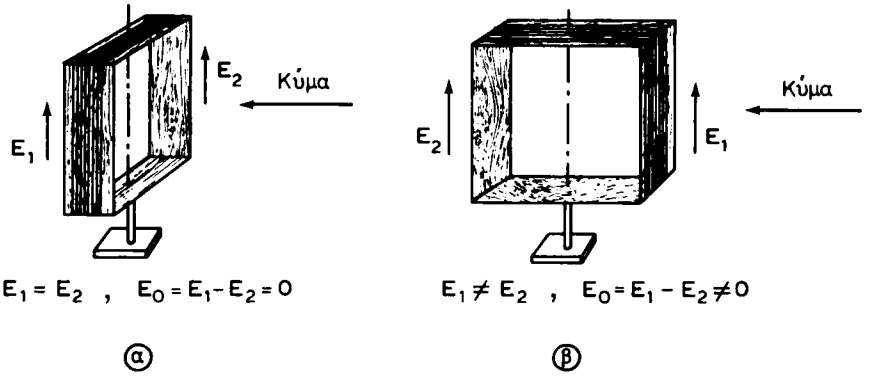
Τα μήκη των στοιχείων είναι διαφορετικά. Διαφορετικές επίσης είναι και οι αποστάσεις μεταξύ τους. Από τα μήκη αυτά και τις αποστάσεις καθορίζονται οι παράμετροι της κεραίας, δηλαδή η αντίσταση εισόδου, η απολαβή και η κατευθυντικότητα. Ο αριθμός των στοιχείων της κεραίας επιδρά επίσης στις παραμέτρους της. Η αύξηση του αριθμού των κατευθυντήρων μεγαλώνει την απολαβή και μικραίνει την αντίσταση εισόδου της κεραίας. Επίσης, το διάγραμμα κατευθυντικότητας γίνεται οξύτερο.

Στην περιοχή των υπερβραχέων κυμάτων, εκτός από τα μετρικά κύματα (1-10 m) ανήκουν και τα δεκατομετρικά, εκατοστομετρικά και χιλιοστομετρικά κύματα. Για την εκπομπή και λήψη στις υποπεριοχές αυτές των υπερβραχέων κυμάτων χρησιμοποιούνται ειδικές κεραίες, όπως είναι οι ***παραβολικές,*** οι ***χωνοειδείς*** και μια σειρά από άλλες. Τέτοιες ειδικές κεραίες δεν χρησιμοποιούνται στη Ραδιοφωνία και η εξέτασή τους βρίσκεται έξω από τους σκοπούς αυτού του βιβλίου.

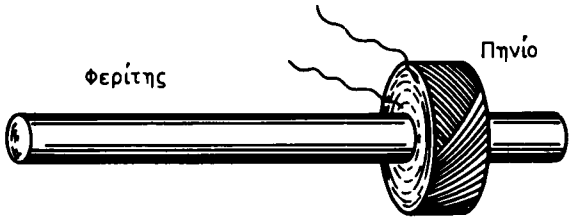
Υπάρχουν, όμως, κάποιες ειδικές κεραίες που χρησιμοποιούνται μόνο στη λήψη, όπως είναι οι ***κεραίες πλαίσια*** και οι λεγόμενες ***μαγνητικές κεραίες.*** Οι τελευταίες, είναι οι εσωτερικές κεραίες όλων των φορητών ραδιοφώνων για την περιοχή των μεσαίων κυμάτων.

Το πλαίσιο (σχ. 10.30) είναι πηνίο μεγάλων διαστάσεων και έχει ικανότητα κατευθυνόμενης λήψεως. Η λήψη γίνεται από κατεύθυνση παράλληλη προς το επίπεδο του πλαισίου. Κύματα που φθάνουν κάθετα σ' αυτό το επίπεδο δεν δημιουργούν τάση στην περίελιξη του πλαισίου.

Αν το πλαίσιο τοποθετηθεί με το επίπεδό του κάθετο προς την κατεύθυνση αφίξεως του κύματος, στις κατακόρυφες πλευρές του θ' αναπτυχθούν ΗΕΔ E_1 και E_2 που είναι ίσες και αντίθετες [σχ. 10.30(α)]. Έτσι, η ολική ΗΕΔ στο πλαίσιο ισούται με μηδέν. Αντίθετα, αν το επίπεδο του πλαισίου βρίσκεται κατά το μήκος της κατευθύνσεως αφίξεως του κύματος [σχ. 10.30(β)], οι φάσεις των ΗΕΔ E_1 και E_2 δεν είναι ίδιες, επειδή το κύμα φθάνει νωρίτερα στη μια πλευρά του πλαισίου. Επομένως, από τη σύνθεση των E_1 και E_2 εμφανίζεται κάποια ΗΕΔ στο πλαίσιο. Αυτή η ΗΕΔ είναι τόσο μεγαλύτερη, όσο μεγαλύτερες είναι οι διαστάσεις του πλαισίου, όσο περισσότερες οι σπείρες του πηνίου και όσο βραχύτερο το κύμα. Στις οριζόντιες πλευρές του πλαισίου δεν αναπτύσσεται ΗΕΔ.



Σχ. 10.30.
Η κεραία «πλαίσιο».



Σχ. 10.31.
Η μαγνητική κεραία.

Η μαγνητική κεραία είναι παραλλαγή της κεραίας «πλαίσιο». Ένα πηνίο με μερικές δεκάδες σπείρες τυλίγεται σε πυρήνα από φερίτη με μήκος 10-30 cm και διατομή 0,5-1 cm^2 (σχ. 10.31). Ο φερίτης έχει μεγάλη μαγνητική διαπερατότητα και το ηλεκτρομαγνητικό κύμα δημιουργεί στην περιέλιξή του σημαντικά μεγαλύτερη μαγνητική ροή από ό,τι με απουσία πυρήνα. Έτσι, με πηνίο μικροτέρων διαστάσεων, στη μαγνητική κεραία αναπτύσσεται μεγαλύτερη ΗΕΔ από ό,τι στο πλαίσιο. Η μαγνητική κεραία έχει τις κατευθυντικές ιδιότητες του πλαισίου. Σημειώνομε ότι τα πλαίσια και οι μαγνητικές κεραίες χρησιμοποιούνται και στις διατάξεις ***ραδιογωνιομετρήσεως***.

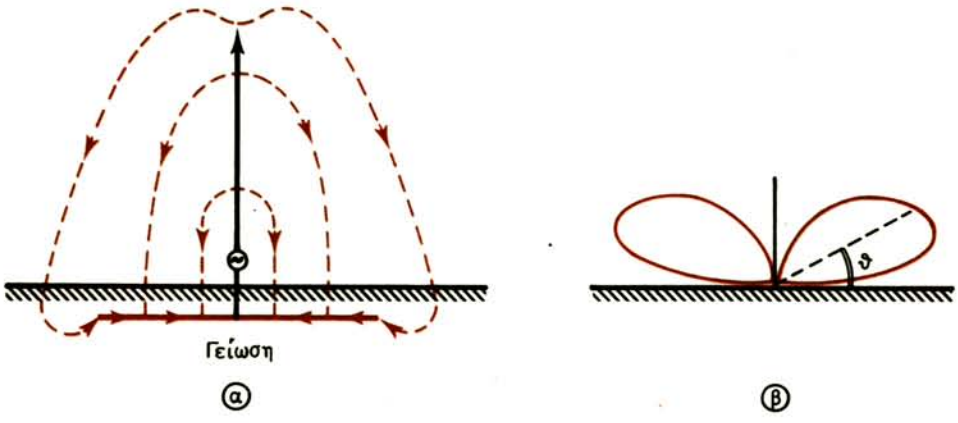
10.14 Η γείωση των κεραιών.

Η επιφάνεια της γης σπάνια μπορεί να χαρακτηρισθεί καλός αγωγός με εξαίρεση τις θαλάσσιες περιοχές της. Όμως, η ***αντίσταση γειώσεως*** των κεραιών πρέπει να είναι μικρή για να μη σημειώνονται απώλειες ενέργειας και μικραίνει ο βαθμός αποδόσεως της κεραίας.

Παρατηρώντας την εικόνα του σχήματος 10.32(α), μπορούμε να διαπιστώσομε την αναγκαιότητα υπάρξεως μιας καλής γειώσεως. Το ρεύμα της κεραίας ακολουθεί τη διαδρομή: πηγή – κεραία – χωρητικότητα «κεραία-γη» (με τη μορφή ρευμάτων μετατοπίσεως) – επιφάνεια γης – πηγή. Ένα τμήμα, λοιπόν, αυτής της διαδρομής ανήκει στη γη και το τμήμα αυτό πρέπει να παρουσιάζει μικρή αντίσταση, ώστε να διευκολύνεται το κλείσιμο του ρεύματος χωρίς μεγάλες απώλειες ενέργειας.

Εξαιτίας της απορροφήσεως ενέργειας στη γη, παραμορφώνεται και το διάγραμμα κατευθυντικότητας της κεραίας, ιδιαίτερα για γωνίες που είναι κοντά στην επιφάνεια της γης. Έτσι, γειωμένη κεραία, που εργάζεται σε μήκος κύματος $\lambda \leqslant 4\,l$, έχει διάγραμμα κατευθυντικότητας στο κατακόρυφο επίπεδο με μορφή που φαίνεται στο σχήμα 10.32(β), αντί εκείνης του σχήματος 10.18(β).

Στις κεραίες των ραδιοσταθμών μόνιμης εγκαταστάσεως η γείωση γίνεται σε πλέγμα ακτινωτών αγωγών, που παραχώνεται σε μικρό βάθος (έως 40 cm). Σε πέτρινα ή με μικρή αγωγιμότητα εδάφη η γείωση αυτή δεν είναι κατάλληλη.



Σχ. 10.32.

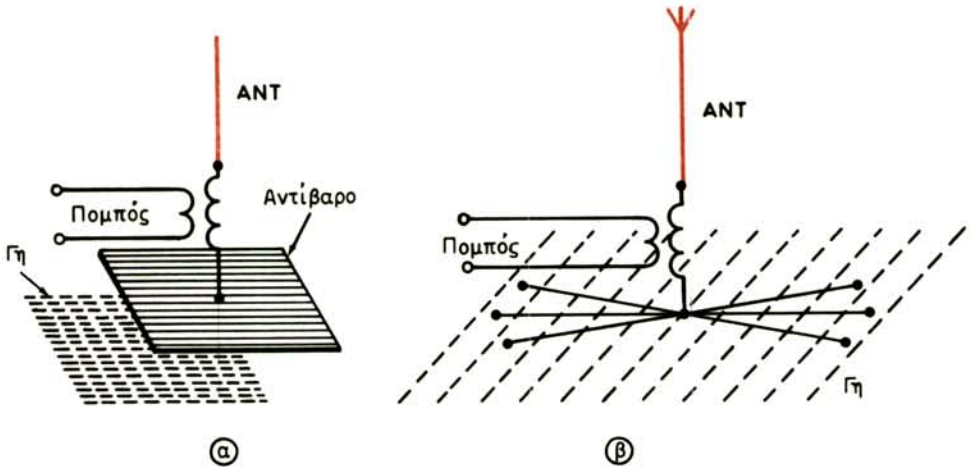
Διαδρομή ρευμάτων στη γείωση κεραίας (α) και παραποίηση του διαγράμματος κατευθυντικότητας από κακή γείωση (β).

Επίσης, δεν μπορεί να γίνει σε κεραίες μετακινουμένων σταθμών. Στις περιπτώσεις αυτές χρησιμοποιούνται τα λεγόμενα ***αντίβαρα.***

Το αντίβαρο είναι σύστημα αγωγών, που αναρτάται κάτω από την κεραία σε μικρό ύψος επάνω από τη γη και μονώνεται από τη γη. Σε απλές περιπτώσεις, οι μονωμένοι αγωγοί (ακτίνες) του αντίβαρου μπορούν να τοποθετηθούν επάνω στην επιφάνεια της γης. Σε μετακινούμενους σταθμούς χρησιμοποιείται πολλές φορές ως αντίβαρο το μεταλλικό σώμα του σταθμού ή ακόμη το σασί ενός οχήματος.

Το αντίβαρο, όπως και η γείωση, αντικαθιστά το κάτω τμήμα του συμμετρικού διπόλου (από το οποίο προήλθε η γειωμένη κεραία), διατηρώντας αμετάβλητη την κατανομή του ρεύματος στο άνω τμήμα. Ένα τέλειο αντίβαρο πρέπει να «κρατάει» πλήρως τα ρεύματα μετατοπίσεως της κεραίας και να μη διαρρέουν στη γη. Η απαίτηση αυτή ικανοποιείται με μεταλλική πλάκα μεγάλης αγωγιμότητας και μεγάλων διαστάσεων [σχ. 10.33(α)] που βρίσκεται επάνω από την επιφάνεια της γης, χωρίς επαφή μαζί της. Η πλάκα συνδέεται με το κάτω άκρο της ζευκτικής αυτεπαγωγής κεραίας και πομπού. Ένα τέτοιο αντίβαρο ελαττώνει πολύ τις απώλειες στη γη και την αντίσταση γειώσεως. Στην πράξη, όμως, χρησιμοποιούνται πιο φθηνά αντίβαρα που αποτελούνται από αγωγούς με προορισμό να «συλλαμβάνουν» τις γραμμές του ηλεκτρικού πεδίου της κεραίας.

Μια πρακτική μορφή αντίβαρου με ακτινωτούς αγωγούς φαίνεται στο σχήμα 10.33(β). Ο αριθμός των αγωγών πρέπει να είναι 10-12 και περισσότεροι και το ύψος επάνω από τη γη κυμαίνεται από 0,5 m ή 50 cm έως 2 m. Με τέτοια υπερύψωση των αγωγών η επίδραση της γης στην κεραία δε γίνεται αντιληπτή, όμως το ενεργό της ύψος και η αντίσταση ελαττώνονται. Όσο οι αγωγοί πλησιά-



Σχ. 10.33.
α) Αντίβαρο με μεταλλική πλάκα. β) Αντίβαρο με ακτινωτούς αγωγούς.

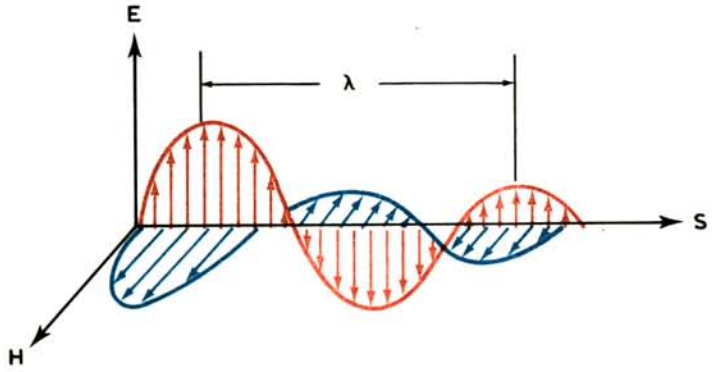
ζουν προς τη γη τόσο μεγαλώνει η αντίσταση απωλειών. Οι αγωγοί του αντίβαρου είναι μονωμένοι και καταλήγουν σε μονωτικούς δακτυλίους για να στηριχθούν στη γη με τη βοήθεια πασσάλων. Οι αγωγοί στο κέντρο ενώνονται ηλεκτρικά.

10.15 Το ηλεκτρομαγνητικό κύμα της κεραίας.

Είδαμε ότι βασικό χαρακτηριστικό της κεραίας εκπομπής είναι η ικανότητά της να ακτινοβολεί στο χώρο ηλεκτρομαγνητική ενέργεια. Το εναλλασσόμενο ρεύμα υψηλής συχνότητας, που διαρρέει την κεραία, δημιουργεί γύρω της μεταβαλλόμενο μαγνητικό πεδίο και αυτό, με τη σειρά του, μεταβαλλόμενο ηλεκτρικό πεδίο σε γειτονικά σημεία του χώρου. Το τελευταίο πεδίο ξαναδημιουργεί σε μακρινότερα σημεία μαγνητικό πεδίο και η αλληλοδημιουργία πεδίων συνεχίζεται έτσι, ώστε δεν μπορούμε να μιλάμε για δύο ξεχωριστά πεδία γύρω από την κεραία, αλλά για ένα ***ηλεκτρομαγνητικό πεδίο*** με δύο συνιστώσες: ηλεκτρική και μαγνητική.

Η μελέτη των ηλεκτρομαγνητικών φαινομένων έδειξε ότι το μεταβαλλόμενο ηλεκτρομαγνητικό πεδίο βρίσκεται σε κατάσταση διαρκούς κυματοειδούς κινήσεως, διαδιδόμενο από τη θέση δημιουργίας του προς όλες τις κατευθύνσεις.

Έτσι, η κεραία, που διαρρέεται από μεταβαλλόμενο ηλεκτρικό ρεύμα υψηλής συχνότητας, είναι πηγή ***ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων*** ή, για την περιοχή των ραδιοεπικοινωνιών, ***ραδιοκυμάτων***.



Σχ. 10.34.
Ηλεκτρομαγνητικό κύμα στον ελεύθερο χώρο.

Το ηλεκτρομαγνητικό πεδίο σε κάθε σημείο του χώρου χαρακτηρίζεται από δύο διανυσματικά μεγέθη: την ένταση του ηλεκτρικού πεδίου ***E*** και την ένταση του μαγνητικού πεδίου ***H***. Τα διανύσματα των εντάσεων ηλεκτρικού και μαγνητικού πεδίου είναι κάθετα μεταξύ τους και κάθετα στην κατεύθυνση διαδόσεως του κύματος (σχ. 10.34). Γι' αυτό τα ηλεκτρομαγνητικά κύματα είναι ***εγκάρσια κύματα*** σε διάκριση από τα ***διαμήκη κύματα*** (π.χ. τα ακουστικά) των οποίων οι ταλαντώσεις γίνονται κατά μήκος της κατευθύνσεως διαδόσεώς τους.

Για τη δημιουργία ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων, επομένως και για τη διάδοσή τους, δεν είναι αναγκαία η ύπαρξη οποιασδήποτε ύλης στο χώρο. Τα ηλεκτρομαγνητικά κύματα διαδίδονται και στο «κενό», το οποίο μάλιστα δεν ασκεί καμιά επίδραση στη διάδοσή τους. Τέτοιο μέσο διαδόσεως ονομάζεται ***ελεύθερος χώρος***.

Στον ελεύθερο χώρο, μετατροπή ηλεκτρομαγνητικής ενέργειας σε θερμότητα δεν γίνεται και όλη η ακτινοβολούμενη ενέργεια μεταφέρεται από τα ηλεκτρομαγνητικά κύματα χωρίς απώλειες. Η πυκνότητα της ροής αυτής της ενέργειας δίνεται από τη σχέση:

$$\boldsymbol{S} = \boldsymbol{EH}\,(\text{σε W/m}^2) \qquad (10.17)$$

όπου το μέγεθος ***S*** ονομάζεται ***διάνυσμα Poynting*** (ο Poynting διατύπωσε το θεώρημα για τη διατήρηση της ενέργειας στο ηλεκτρομαγνητικό πεδίο, που εκφράζεται με τη σχέση 10.17).

Η στιγμιαία τιμή της εντάσεως του ηλεκτρικού πεδίου σε μια απόσταση R από την κεραία εκπομπής μεταβάλλεται αρμονικά, σύμφωνα με τη σχέση:

$$E_t = E_m\,\text{συν}\,\frac{2\pi c}{\lambda}\left(t - \frac{R}{c}\right) = E_m\,\text{συν}\,(\omega t - kR) \qquad (10.18)$$

όπου: E_m το πλάτος της εντάσεως του ηλεκτρικού πεδίου,
$(\omega t - kR)$ η έκφραση που καθορίζει τη φάση του ηλεκτρικού πεδίου,
$\omega = 2\pi c/\lambda = 2\pi f$ (c η ταχύτητα διαδόσεως του κύματος $\approx 3 \cdot 10^8$ m/sec),
$k = 2\pi/\lambda$ η γνωστή σταθερά φασικής αποκλίσεως α της σχέσεως (10.1), που εδώ χαρακτηρίζει την περιοδικότητα του κύματος στο χώρο και ονομάζεται ***κυματικός αριθμός***.

Εξάλλου, η στιγμιαία τιμή της εντάσεως του μαγνητικού πεδίου στο ίδιο σημείο, δίνεται από τη σχέση:

$$H_t = H_m \, \text{συν}\,(\omega t - kR) \qquad (10.19)$$

Οι σχέσεις (10.18) και (10.19) δείχνουν ότι σε ορισμένο σημείο του χώρου το ηλεκτρικό και μαγνητικό πεδίο συμπίπτουν κατά φάση.

Τα πλάτη των εντάσεων E_m και H_m συνδέονται με τη σχέση:

$$\frac{E_m}{H_m} = \sqrt{\frac{\mu_o}{\varepsilon_o}} = Z_o = 120\,\pi \quad (\text{σε } \Omega) \qquad (10.20)$$

όπου: $\varepsilon_o = \dfrac{1}{36\,\pi} 10^{-9}$ F/m και $\mu_o = 4\pi \cdot 10^{-7}$ H/m η ηλεκτρική και η μαγνητική, αντίστοιχα, διαπερατότητα του μέσου διαδόσεως (του κενού) και Z_o μέγεθος που έχει διαστάσεις αντιστάσεως και ονομάζεται ***κυματική αντίσταση του κενού***.

Εφόσον η ταχύτητα διαδόσεως των ραδιοκυμάτων προς όλες τις κατευθύνσεις είναι ίδια, η φάση του κύματος γύρω από την πηγή (κεραία) και σε απόσταση R θα είναι επίσης παντού ίδια. Αλλά τότε, η επιφάνεια των ίδιων φάσεων του διαδιδόμενου κύματος, που ονομάζεται ***μέτωπο κύματος***, θα είναι επιφάνεια σφαίρας με κέντρο τη θέση της πηγής (κεραίας). Τα κύματα αυτά ονομάζονται ***σφαιρικά κύματα*** και το ιδιαίτερο χαρακτηριστικό τους είναι ότι η ένταση του πεδίου τους ελαττώνεται αντιστρόφως ανάλογα προς την πρώτη δύναμη της αποστάσεως από την πηγή ακτινοβολίας. Συνήθως, σε πραγματικές συνθήκες έχομε να κάνομε με σφαιρικά κύματα με οποιαδήποτε κατεύθυνση ακτινοβολίας.

Πολύ συχνά δεχόμαστε την ύπαρξη ***επίπεδων κυμάτων***, δηλαδή κυμάτων των οποίων η επιφάνεια των ίδιων φάσεων είναι επίπεδη. Αν και επίπεδα κύματα δεν υπάρχουν στη φύση, μπορούμε να θεωρήσομε ότι σε μεγάλες αποστάσεις από την κεραία μικρό τμήμα του σφαιρικού κύματος έχει ιδιότητες επίπεδου κύματος. Στα επίπεδα κύματα, τα πλάτη των εντάσεων των πεδίων δεν εξαρτώνται από την απόσταση.

Επειδή τα μεγέθη E και H συνδέονται (σχέση 10.20) με τη σχέση:

$$H = \frac{E}{120\,\pi} \tag{10.21}$$

η μέση τιμή του διανύσματος Poynting μπορεί να εκφρασθεί μέσα από την ένταση μόνο του ηλεκτρικού πεδίου, δηλαδή:

$$S = \frac{E^2}{120\,\pi} \tag{10.22}$$

Αν θεωρήσομε ότι η πηγή είναι σημειακή και ακτινοβολεί ομοιόμορφα ισχύ P προς όλες τις κατευνθύσεις από το κέντρο σφαιρικής επιφάνειας με ακτίνα R, το διάνυσμα ***S*** εκφράζεται από τη σχέση:

$$S = \frac{P}{4\pi R^2} \quad (\text{σε } W/m^2) \tag{10.23}$$

Εξισώνοντας τις σχέσεις (10.22) και (10.23), παίρνομε την επόμενη τιμή εντάσεως πεδίου στον ελεύθερο χώρο και σε απόσταση R από τον ακτινοβολητή:

$$E_o = \frac{\sqrt{30\,P}}{R} \quad (\text{σε } V/m) \tag{10.24}$$

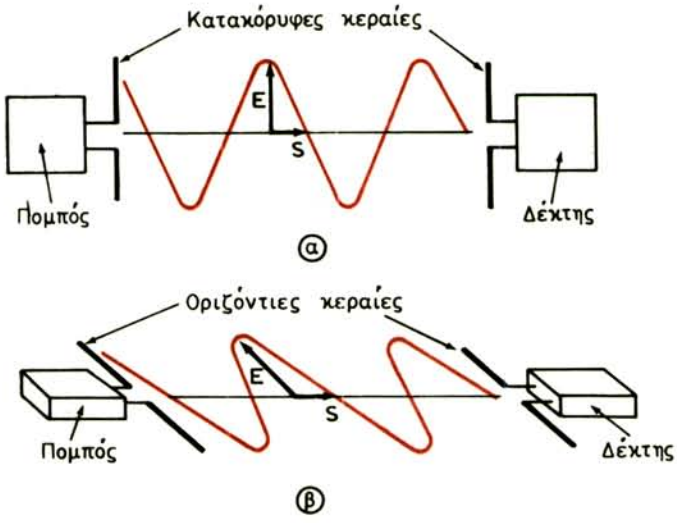
Η επίδραση της επιφάνειας της γης και της ατμόσφαιρας στη διάδοση των κυμάτων υπολογίζεται από τον ***πολλαπλασιαστή εξασθενήσεως F*** του πεδίου. Ο πολλαπλασιαστής αυτός δείχνει πώς μεταβάλλεται η ένταση του πεδίου στη θέση λήψεως στις πραγματικές συνθήκες διαδόσεως σε σύγκριση με τη διάδοση στο κενό. Έτσι, η σχέση (10.24) παίρνει τη μορφή:

$$E = E_o\,F = \frac{173\,\sqrt{P\ (kW)}}{R\ (km)}\,F \quad (\text{σε } mV/m) \tag{10.25}$$

όπου τα μεγέθη P και R εκφράσθηκαν σε πολλαπλάσια των βασικών μονάδων, που είναι καταλληλότερα για πρακτικές εφαρμογές.

Ουσιαστικό ρόλο στη διάδοση των ραδιοκυμάτων παίζει η πόλωσή τους. Ονομάζομε ***πόλωση ραδιοκυμάτων*** τον προσανατολισμό του διανύσματος του ηλεκτρικού πεδίου σε σχέση με την κατεύθυνση διαδόσεως του κύματος. Το επίπεδο που ορίζεται από την κατεύθυνση διαδόσεως του κύματος και από το διάνυσμα ***E*** ονομάζεται ***επίπεδο πολώσεως***. Διακρίνομε τρεις βασικές μορφές πολώσεως: τη ***γραμμική***, την ***κυκλική*** και την ***ελλειπτική***.

Στη γραμμική πόλωση των ραδιοκυμάτων τα διανύσματα ***E*** και ***H*** ταλαντώνονται πάντοτε σε κάθετες μεταξύ τους κατευθύνσεις. Στην περίπτωση ***κατακόρυφης πολώσεως*** [σχ.10.35(α)], το διάνυσμα ***E*** είναι κάθετο στην επιφάνεια



Σχ. 10.35.
α) Κύμα με κατακόρυφη πόλωση. β) Κύμα με οριζόντια πόλωση.

της γης. Στην ***οριζόντια πόλωση*** [σχ. 10.35(β)] το διάνυσμα ***E*** είναι παράλληλο στην επιφάνεια της γης. Ανάλογα με τη θέση του διανύσματος ***E*** τοποθετείται και το διάνυσμα ***H***, ώστε να είναι πάντοτε κάθετο στο ***E***.

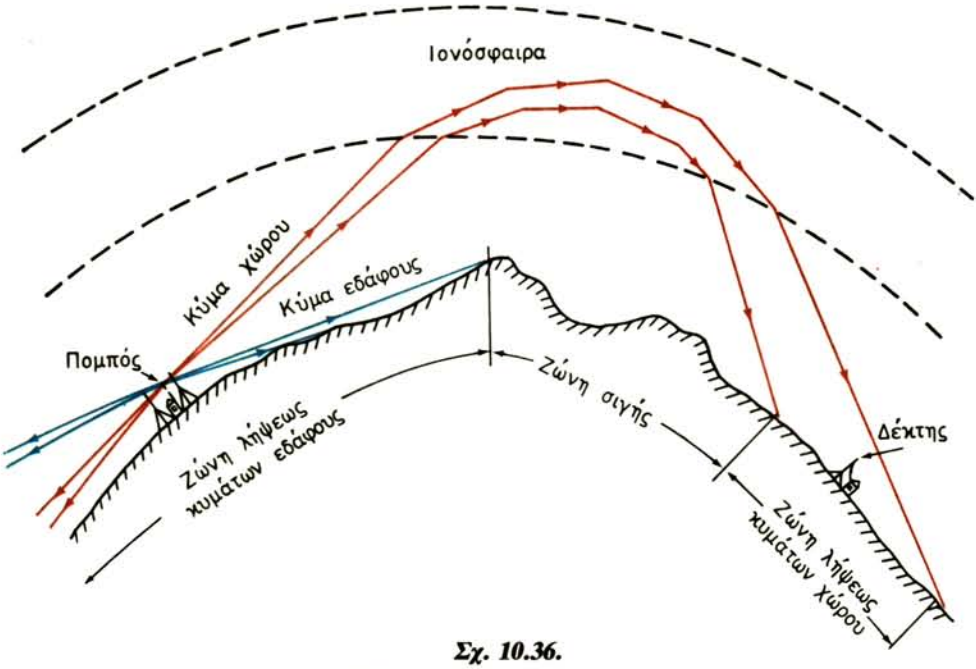
Η κατακόρυφη και η οριζόντια πόλωση του κύματος είναι εκείνες που συναντώνται πιο συχνά κατά τη λειτουργία των ραδιοσταθμών. Οι πολώσεις αυτές δημιουργούνται από κατακόρυφες και οριζόντιες, αντίστοιχα, κεραίες.

Αν το ηλεκτρικό και το μαγνητικό πεδίο έχουν οριζόντια και κατακόρυφη συνιστώσα που διαφέρουν φασικά, τα διανύσματα ***E*** και ***H*** περιστρέφονται με τη συχνότητα ω σε επίπεδο κάθετο στην κατεύθυνση διαδόσεως και τα άκρα τους γράφουν ελλείψεις. Με ίσα ***E*** και ***H***, η ελλειπτική πόλωση μετατρέπεται σε κυκλική.

Η λήψη της ηλεκτρομαγνητικής ενέργειας γίνεται με αντίστοιχες κεραίες. Η ΗΕΔ που αναπτύσσεται σ' αυτές μπορεί να προέλθει είτε από σύμπτωση του διανύσματος ***E*** με τον αγωγό της κεραίας, είτε από τη διασταύρωση του διανύσματος ***H*** με τον αγωγό της γραμμής. Το πλάτος της ΗΕΔ, που εμφανίζεται επαγωγικά στην κεραία λήψεως, είναι τόσο μεγαλύτερο, όσο ισχυρότερο είναι το πεδίο στη θέση λήψεως και όσο μεγαλύτερο είναι το ενεργό ύψος (μήκος) της κεραίας.

10.16 Κύμα εδάφους και κύμα χώρου.

Τα ραδιοκύματα, κατά την πορεία τους από την κεραία του πομπού στην



Σχ. 10.36.
Κύματα εδάφους και χώρου.

κεραία του δέκτη, ακολουθούν δύο κυρίως δρόμους (σχ. 10.36). Ένα μέρος τους ακολουθεί την επιφάνεια της γης και σχηματίζει το λεγόμενο ***κύμα εδάφους.*** Ένα άλλο μέρος εκπέμπεται με κάποια γωνία προς την επιφάνεια της γης και ακολουθεί τα ανώτερα στρώματα της ατμόσφαιρας. Αυτό, ονομάζεται ***κύμα χώρου.***

Η απόσταση διαδόσεως του κύματος εδάφους εξαρτάται από τη συχνότητα του εκπεμπόμενου κύματος και επηρεάζεται από τη σύσταση και τη μορφολογία του εδάφους. Όσο μεγαλύτερη είναι η συχνότητα του εκπεμπόμενου κύματος, τόσο μεγαλύτερη είναι η εξασθένησή του κατά μήκος της επιφάνειας της γης και τόσο μικρότερη η απόσταση διαδόσεώς του. Επίσης, όσο πιο αγώγιμη και επίπεδη είναι η επιφάνεια της γης, τόσο μεγαλύτερη είναι η απόσταση διαδόσεως του κύματος. Γι' αυτό, υπεράνω της επιφάνειας της θάλασσας εξασφαλίζεται ραδιοεπικοινωνία σε πολύ μεγαλύτερες αποστάσεις από ό,τι στην ξηρά.

Συμπερασματικά, μπορούμε να πούμε: τα μεγάλα μήκη κύματος (μικρές συχνότητες) ακολουθούν καλύτερα την καμπυλότητα της γης, υπερπηδούν ευκολότερα τα εμπόδια που συναντούν στο δρόμο τους (βουνά, λόφους κλπ.) και εξασθενούν λιγότερο από ό,τι τα κύματα με μικρό μήκος (μεγάλη συχνότητα). Όμως, για την κάλυψη μεγάλων αποστάσεων με κύματα εδάφους χρειάζονται πομποί μεγάλης ισχύος. Τέτοιοι είναι οι πομποί μακρών κυμάτων, που δεν κατασκευάζονται σήμερα.

Σήμερα, η ραδιοεπικοινωνία σε πολύ μεγάλες αποστάσεις γίνεται με κύματα χώρου. Τα κύματα χώρου ανακλώνται στα ανώτερα στρώματα της ατμόσφαιρας, που σχηματίζουν τη λεγόμενη ***ιονόσφαιρα.*** Το όνομά της οφείλεται στην ύπαρξη ελευθέρων φορτίων, δηλαδή ηλεκτρονίων και ιόντων, στα στρώματα αυτά, που σχηματίζονται από ***ιονισμό*** των ατόμων των αερίων, εξαιτίας της δράσεως της υπεριώδους ακτινοβολίας του ηλίου. Ο βαθμός ιονισμού της ιονόσφαιρας εξαρτάται από τη δραστηριότητα του ηλίου. Τη νύχτα, ο ιονισμός εξασθενεί και την ημέρα ενισχύεται. Επίσης, εξασθενεί το χειμώνα και ενισχύεται το καλοκαίρι.

Στο σχήμα 10.36 φαίνεται ότι μεταξύ του σημείου που το κύμα εδάφους πρακτικά μηδενίζεται και του σημείου που εμφανίζεται το κύμα χώρου, μεσολαβεί περιοχή στην οποία η λήψη είναι αδύνατη. Η περιοχή αυτή ονομάζεται ***ζώνη σιγής*** ή και ***νεκρή ζώνη.***

Σημειώνομε ότι ένα τρίτο μέρος των ραδιοκυμάτων ακολουθεί τα κατώτερα στρώματα της ατμόσφαιρας που συνθέτουν τη λεγόμενη ***τροπόσφαιρα***. Εδώ, το κύμα, που ονομάζεται ***τροποσφαιρικό,*** διαδίδεται μεταξύ των κεραιών εκπομπής και λήψεως που βρίσκονται σε οπτική επαφή.

10.17 Τα ιονοσφαιρικά στρώματα.

Η ιονόσφαιρα γίνεται εμφανής από ύψος 60-70 km και ανάλογα με το βαθμό ιονισμού και της συμπεριφοράς της σε κάποια μήκη κύματος, διαιρείται σε στρώματα.

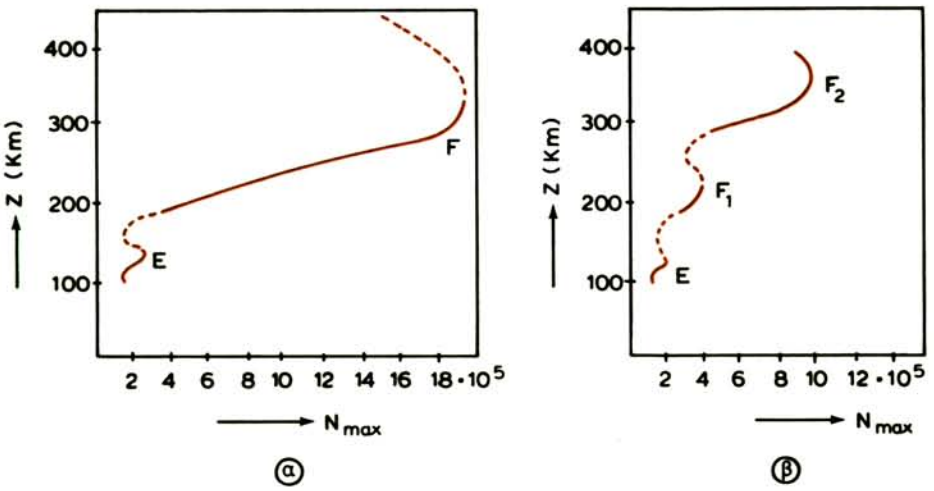
Σε ύψος 60-70 km υπάρχει ιονισμένο στρώμα, που ονομάζεται ***στρώμα D.*** Το στρώμα αυτό, που τη νύχτα εξαφανίζεται, επιδρά κυρίως στη διάδοση των μακρών κυμάτων και μας είναι λιγότερο γνωστό από ό,τι τα υπόλοιπα.

Υπεράνω του στρώματος D και σε ύψος 120-130 km βρίσκεται το ***στρώμα E,*** που έχει μέσο πάχος 15-20 km.

Πιο ψηλά, στα 230 km περίπου, εμφανίζεται το ***στρώμα F,*** που είναι πυκνότερο σε ιόντα από το στρώμα Ε. Το καλοκαίρι το στρώμα F διαιρείται σε δύο στρώματα: F_1 και F_2. Το ύψος και το μέσο πάχος των ***στρωμάτων F_1*** και ***F_2*** μεταβάλλονται ισχυρά στη διάρκεια του 24ωρου και στις εποχές του έτους. Το στρώμα F έχει μέσο πάχος 100-300 km και μέγιστο ύψος που κυμαίνεται από 250 έως 450 km.

Η σχέση μεταξύ της μέγιστης πυκνότητας των ηλεκτρονίων N_{max} των στρωμάτων και του ύψους τους Z από την επιφάνεια της γης (θάλασσα) φαίνεται στο σχήμα 10.37.

Τα κύματα που κατευθύνονται προς την ιονόσφαιρα, ανάλογα με τη συχνότητά τους και τη γωνία προσπτώσεώς τους στα στρώματα, είτε ανακλώνται, μερικώς ή ολικώς, προς τη γη, είτε απορροφώνται, είτε ακόμη «τρυπούν» την ιονόσφαιρα και χάνονται στο κενό. Η ανάκλαση κυμάτων από την ιονόσφαιρα



Σχ. 10.37.

Κατανομή ιονισμού με το ύψος.
α) Στη διάρκεια της ημέρας. β) Στη διάρκεια της νύκτας.

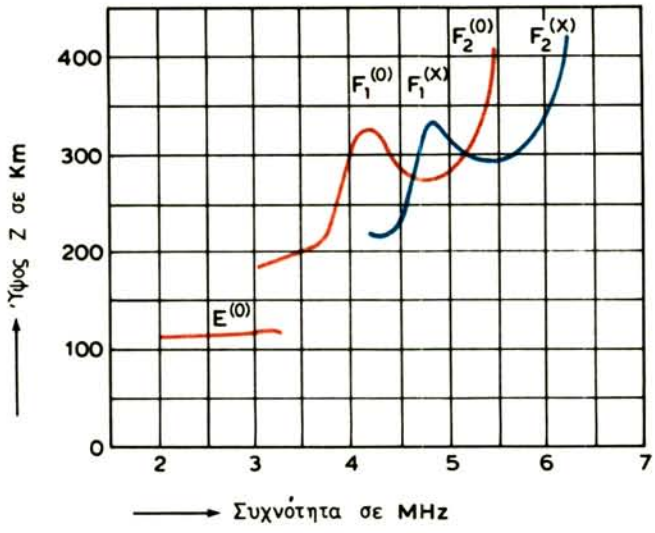
έκανε δυνατή και τη διαπίστωση υπάρξεως και μελέτης των στρωμάτων της.

Έτσι, με την αύξηση της συχνότητας του κύματος, που εκπέμπεται κατακόρυφα προς την ιονόσφαιρα, και για συχνότητα 1,8 MHz (σχ. 10.38), παρατηρείται σήμα επιστροφής (***ηχώ***) ανακλώμενο από την κατώτερη περιοχή του στρώματος Ε. Για f=3 MHz, εμφανίζεται αλματόμορφη μεταβολή του ύψους Z, εξαιτίας διαφυγής του κύματος από το στρώμα Ε και της ανακλάσεώς του από το στρώμα F που βρίσκεται σε ύψος 200 km. Ακόμη μεγαλύτερη αύξηση της συχνότητας οδηγεί στην εμφάνιση: πρώτον, δύο σημάτων που ανακλώνται από το στρώμα F και δεύτερον, μεγίστων υψών για μερικές τιμές συχνοτήτων του κύματος. Μια τέτοια μεταβολή του ύψους Z εξηγείται με τη διάκριση του στρώματος F σε δύο στρώματα, F_1 και F_2, τα οποία «μπλέκονται» μεταξύ τους για Z από 230 km και άνω και για συχνότητες από 4,2 MHz έως 5,5 MHz περίπου.

Το πρώτο από τα δύο ανακλώμενα σήματα που παίρνονται από το στρώμα F, χαρακτηρίζεται ως προερχόμενο από τη λεγόμενη ***τακτική ακτίνα*** και σημειώνεται με το γράμμα «ο» και το δεύτερο, από ***έκτακτη ακτίνα*** και σημειώνεται με το γράμμα «x» (σχ. 10.38).

Οι συχνότητες που προσδιορίζουν την είσοδο του κύματος σε κάποιο στρώμα ή την αδυναμία να προκληθεί ανάκλαση από κάποιο στρώμα, ονομάζονται ***κρίσιμες συχνότητες*** και σημειώνονται όπως: $f_{cE}^{(o)}$ που σημαίνει κρίσιμη συχνότητα του στρώματος Ε για τακτική ακτίνα, $f_{cF_1}^{(x)}$, κρίσιμη συχνότητα του στρώματος F_1 για έκτακτη ακτίνα κλπ.

Αρκετά συχνά, στην περιοχή του στρώματος Ε ή λίγο πιο κάτω, καθώς και μεταξύ των στρωμάτων Ε και F ή και μέσα στο F_1, εμφανίζονται συμπληρωμα-



Σχ. 10.38.
Χαρακτηριστική ύψους-συχνότητας ιονόσφαιρας.

τικά εξιονισμένα στρώματα, αρκετά σταθερά για πολλές ώρες. Αυτά ονομάζονται ***σποραδικά στρώματα*** και περισσότερο τακτικό είναι το στρώμα $E_{σπορ}$.

Οι παρατηρήσεις δείχνουν ότι στην ιονόσφαιρα εμφανίζονται 24ωρες και εποχιακές μεταβολές στις κρίσιμες συχνότητες και στα ύψη των ιονοσφαιρικών στρωμάτων. Αυτό σημαίνει ότι για ασφαλή επικοινωνία, με κύματα ανακλώμενα από την ιονόσφαιρα, χρειάζεται αλλαγή της συχνότητας εκπομπής από την ημέρα στη νύχτα και στις διάφορες εποχές.

Παράλληλα με τις εποχιακές και 24ωρες μεταβολές της ιονόσφαιρας, παρατηρούνται και μεταβολές που αντιστοιχούν στον ενδεκαετή κύκλο της ηλιακής δράσεως, που έχει σχέση με τον αριθμό των κηλίδων που παρατηρούνται στην επιφάνεια του ηλίου. Μέχρι σήμερα μπορούν να γίνουν προγνώσεις μόνο για τις περιόδους αφίξεως της μέγιστης και ελάχιστης ηλιακής δράσεως.

Τέλος, εκτός από τις γνωστές μεταβολές, παρατηρούνται στην ιονόσφαιρα και περίοδοι σημαντικών ανωμαλιών που συνοδεύονται από ισχυρές ταλαντώσεις του μαγνητικού πεδίου της γης και ονομάζονται ***ιονοσφαιρικές θύελλες.*** Κατά την εποχή των ιονοσφαιρικών θυελλών οι ραδιοεπικοινωνίες, ιδιαίτερα με υψηλές συχνότητες, διακόπτονται και αποκαθίστανται σε διάρκεια μερικών ημερών. Το φαινόμενο αυτό δεν ερμηνεύθηκε πλήρως μέχρι σήμερα.

10.18 Διάδοση μακρών κυμάτων.

Τα μακρά κύματα απασχολούν την περιοχή λ=2000-20000 m (15-150 kHz) και

χαρακτηρίζονται από την ικανότητά τους να ακολουθούν, στη διάδοσή τους, την καμπυλότητα της γης και επομένως να καλύπτουν μεγάλες αποστάσεις.

Τα μακρά κύματα εκπέμπονται από κατακόρυφες γειωμένες κεραίες. Στην ένταση του πεδίου των κεραιών αυτών συμμετέχει και το είδωλό τους κάτω από τη γη. Η συμμετοχή του ειδώλου εκφράζεται με την εμφάνιση πεδίου διπλάσιας εντάσεως γύρω από την κεραία από εκείνη που προβλέπει η σχέση (10.25) για δίπολο στον ελεύθερο χώρο, με την προϋπόθεση ότι τα ρεύματα που διαρρέουν τις κεραίες στις δύο περιπτώσεις είναι ίσα. Όμως, κατά τη μεταφορά ενός διπόλου, από τον ελεύθερο χώρο, κοντά στην επιφάνεια της γης, το ρεύμα ελαττώνεται. Για τη διατήρηση του ίδιου ρεύματος, θα πρέπει η ισχύς που τροφοδοτεί την κεραία να αυξηθεί κατά 2 φορές, που σημαίνει αύξηση του ρεύματος κατά $\sqrt{2}$ φορές. Έτσι, η ένταση του πεδίου είναι:

$$E = \sqrt{2}\, E_o\, F = \frac{245\,\sqrt{P\ (kW)}}{R\ (km)}\, F \quad (mV/m) \tag{10.26}$$

Ένα από τα βασικά προβλήματα της διαδόσεως των κυμάτων είναι ο προσδιορισμός του συντελεστή εξασθενήσεως F, που εξαρτάται από τη λεγόμενη ***αριθμητική απόσταση ρ*** και δίνεται από την προσεγγιστική σχέση:

$$\Phi = \frac{2 + 0{,}3\,\rho}{2 + \rho + 0{,}6\,\rho^2}\,\Phi \tag{10.27}$$

όπου

$$\rho \approx \frac{100\,\pi R}{6\lambda^2\,\sigma} \tag{10.28}$$

Το μέγεθος σ ονομάζεται ***ειδική αγωγιμότητα του εδάφους*** και έχει διαφορετική τιμή για κάθε τύπο εδάφους (ξηρό, αμμώδες, υγρό, θαλάσσιο κλπ.).

Αν είναι γνωστό το ενεργό ύψος της κεραίας εκπομπής h και το ρεύμα στη βάση της I η ένταση του πεδίου μπορεί να υπολογισθεί από τη σχέση:

$$E = \frac{120\,\pi\,I\,h}{\lambda\,R}\,F \tag{10.29}$$

Πρέπει να σημειώσομε ότι μεταξύ των τιμών των εντάσεων του πεδίου σε μεγάλες κυρίως αποστάσεις, που υπολογίζονται από τις προηγούμενες σχέσεις, και των τιμών που παίρνονται με μετρήσεις, υπάρχουν μεγάλες αποκλίσεις. Αυτό οφείλεται στην επίδραση της ιονόσφαιρας (κυρίως του στρώματος D) στη διάδοση των μακρών κυμάτων, η οποία επίδραση εκδηλώνεται με αύξηση της εντάσεως του πεδίου, εξαιτίας υπερθέσεως κυμάτων εδάφους και κυμάτων χώρου (κυμάτων ανακλώμενων από την ιονόσφαιρα). Έτσι, οι διάφοροι υπολογισμοί στην πράξη γίνονται με τη βοήθεια ημιεμπειρικών σχέσεων.

10.19 Διάδοση μεσαίων κυμάτων.

Τα μεσαία κύματα απορροφώνται ισχυρά από το στρώμα D της ιονόσφαιρας. Το γεγονός αυτό οδηγεί στο συμπέρασμα ότι κατά την ημέρα, το πεδίο κοντά στην επιφάνεια της γης σχηματίζεται από κύματα εδάφους. Κατά τη νύκτα, οπότε το στρώμα D εξαφανίζεται, τα μεσαία κύματα ανακλώνται, με ελάχιστες απώλειες, από τα υψηλά στρώματα της ιονόσφαιρας και κυρίως από το στρώμα Ε. Έτσι, η ένταση του πεδίου μεγαλώνει όχι μόνο σε μεγάλες αποστάσεις, αλλά και από τα 200 km και λιγότερο.

Το μέγεθος της εντάσεως του πεδίου των μεσαίων κυμάτων κατά την ημέρα (κύμα εδάφους) παρέχεται αρκετά καλά από τις σχέσεις της προηγούμενης παραγράφου, κυρίως για αποστάσεις μέχρι 1000 km. Σε αποστάσεις μεγαλύτερες και ιδίως στις μικρότερες συχνότητες της περιοχής των μεσαίων, παρατηρούνται τιμές της Ε μεγαλύτερες από τις υπολογιζόμενες θεωρητικά. Στις περιπτώσεις αυτές, χρησιμοποιούνται ημιεμπειρικές σχέσεις υπολογισμού της Ε.

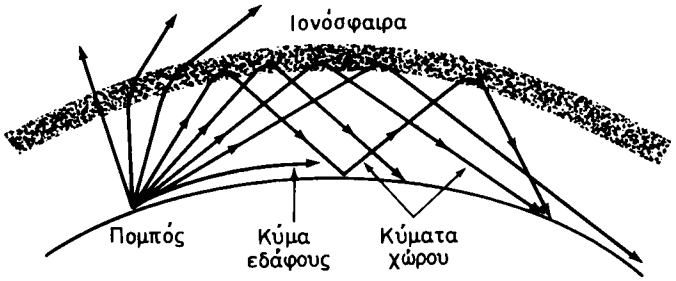
Η σύνθεση του πεδίου των μεσαίων κυμάτων μεταβάλλεται σημαντικά κατά τη διέλευση από την ημέρα στη νύχτα. Με την εμφάνιση του σκοταδιού και σε μικρές αποστάσεις από τον πομπό (150-200 km και πιο κάτω) παρατηρούνται άτακτες διακυμάνσεις της εντάσεως του πεδίου που ονομάζονται ***διαλείψεις.*** Οι διαλείψεις προέρχονται από τη συμβολή κυμάτων εδάφους και κυμάτων που ανακλώνται στην ιονόσφαιρα, δηλαδή κυμάτων χώρου (σχ. 10.39). Κύματα με διαφορετικά πλάτη και διαφορετικές φάσεις συντίθενται για να δώσουν πότε μεγάλη και πότε μικρή ή και μηδενική ένταση πεδίου.

Η μεγαλύτερη διακύμανση της εντάσεως του πεδίου παρατηρείται στην περιοχή που «τελειώνει» το κύμα εδάφους και εμφανίζεται το πρώτο ανακλώμενο κύμα. Στη ζώνη αυτή, η διακύμανση του πεδίου λέγεται ***εκλεκτική*** ή ***φασματική διάλειψη.*** Η εκλεκτική διάλειψη παραμορφώνει την ποιότητα και τη χροιά της εκπεμπόμενης μουσικής ή ομιλίας.

Διαλείψεις στα μεσαία κύματα εμφανίζονται και σε μεγάλες αποστάσεις, όπου κύμα εδάφους δεν υπάρχει. Αυτές οι διαλείψεις προέρχονται από τη συμβολή ανακλωμένων κυμάτων που ακολούθησαν διαφορετικές διαδρομές.

Η περιοχή γύρω από την κεραία που καλύπτεται από κύμα εδάφους ονομάζεται ***πρώτη ζώνη καλύψεως.*** Η καλύτερη ραδιοφωνική λήψη γίνεται σ' αυτή τη ζώνη. Εδώ, η ένταση του πεδίου είναι ισχυρή και δεν επηρεάζεται από άλλες παρεμβολές.

Η περιοχή που καλύπτεται μόνο από τα κύματα χώρου ονομάζεται ***δεύτερη ζώνη καλύψεως.*** Στη ζώνη αυτή, η λήψη είναι χειρότερη εξαιτίας των ισχυρών διαλείψεων. Προβληματική είναι βέβαια, η λήψη και στην ***ενδιάμεση ζώνη*** των εκλεκτικών διαλείψεων.



Σχ. 10.39.
Κύματα εδάφους και χώρου στην περιοχή των μεσαίων.

10.20 Διάδοση βραχέων κυμάτων.

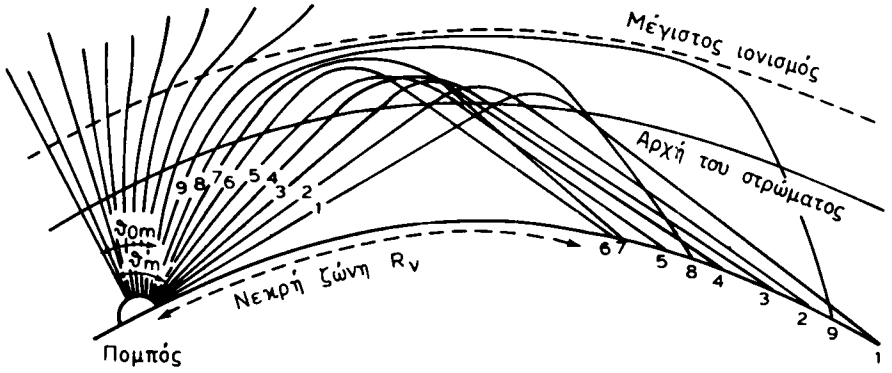
Το βασικό χαρακτηριστικό των βραχέων κυμάτων (10-200 m), που τα καθιέρωσε σαν το μέσο των μακρινών ραδιοεπικοινωνιών, είναι η ικανότητά τους να διαδίδονται σε πολύ μεγάλες αποστάσεις σε όλες τις ώρες του 24ώρου. Είναι αυτονόητο ότι εδώ πρωταρχικό ρόλο διαδραματίζει η ιονόσφαιρα.

Σε μικρές αποστάσεις από τον πομπό, όπου το πεδίο καθορίζεται από το κύμα εδάφους, η ένταση Ε ελαττώνεται γρήγορα και έτσι από απόσταση μερικών δεκάδων χιλιομέτρων έχομε $E \approx 0$ και η λήψη είναι αδύνατη. Το ασθενές αυτό σήμα διατηρείται έως κάποια απόσταση R_v, που φθάνει τις μερικές εκατοντάδες χιλιόμετρα. Ύστερα, η ένταση του πεδίου μεγαλώνει και η λήψη αποκαθίσταται. Η περιοχή, στην οποία η λήψη είναι αδύνατη λέγεται, όπως είπαμε, ***νεκρή ζώνη.***

Από πολλά πειράματα που έγιναν στην περιοχή των βραχέων κυμάτων, επεκράτησε η διαίρεσή τους σε ***ημερήσια*** και ***νυκτερινά κύματα.*** Έτσι, π.χ. τα κύματα με μήκος λ=16 m, 33 m και συχνά τα 45 m, δίνουν μηδενικές πρακτικά εντάσεις πεδίου τη νύκτα, γι' αυτό χρησιμοποιούνται την ημέρα. Αντίθετα, τα μήκη κύματος λ=50 m, 65 m και 110 m χρησιμοποιούνται τη νύκτα.

Τα βραχέα κύματα ανακλώνται βασικά από το στρώμα F της ιονόσφαιρας, ενώ στα χαμηλότερα στρώματα απορροφώνται. Η μελέτη της διαδόσεώς τους στην ιονόσφαιρα γίνεται με βάση τους νόμους της Γεωμετρικής Οπτικής. Έτσι, ανάλογα με το μήκος κύματος και τη γωνία προσπτώσεώς τους στην ιονόσφαιρα, μπορούν να διαθλώνται σε κάποιο στρώμα, να καμπυλώνονται προς τη γη και να επιστρέφουν σ' αυτή ή ν' απομακρύνονται «τρυπώντας» την ιονόσφαιρα (σχ. 10.40).

Για οποιοδήποτε στρώμα, η υψηλότερη συχνότητα που ανακλάται από την ιονόσφαιρα με κάθετη πρόσπτωση του κύματος (ακτίνας) ονομάζεται ***κρίσιμη συχνότητα*** f_c. Για υψηλότερες συχνότητες από την f_c, το στρώμα αυτό είναι διαφανές.



Σχ. 10.40.
Ιονοσφαιρική διάδοση των βραχέων κυμάτων.

Για κάποια συχνότητα $f_{MX\Sigma} < f_c$, το ανακλώμενο κύμα διανύει τη μικρότερη απόσταση R_v από το σημείο εκπομπής, την οποία ονομάζομε ***απόσταση νεκρής ζώνης.*** Η συχνότητα $f_{MX\Sigma}$ ονομάζεται ***μέγιστη χρησιμοποιούμενη συχνότητα,*** γνωστή με το όνομα ***MUF*** (maximum usable frequency) και αντιστοιχεί σε γωνία εξόδου της ακτίνας θ_m (σχ. 10.40).

Για κάποιες γωνίες $\theta < \theta_m$ παρουσιάζονται ακτίνες που ολισθαίνουν κατά μήκος της οροφής του στρώματος με το μέγιστο ιονισμό και διαδίδονται σε μεγάλες αποστάσεις. Γενικά, με γωνίες θ_m που πλησιάζουν την οριακή θ_{om}, οι ακτίνες διαδίδονται σε μεγαλύτερες αποστάσεις απ' ό,τι οι άλλες (ακτίνες 7, 8 και 9 στο σχήμα 10.40).

Επειδή η MUF εμφανίζει κάποιες διακυμάνσεις του πεδίου κατά την ημέρα, χρησιμοποιείται μια συχνότητα μικρότερη από αυτή, που ονομάζεται ***άριστη χρησιμοποιούμενη συχνότητα (OUF***= optimum usable frequency) ή ***άριστη συχνότητα εργασίας (OWF***= optimum working frequency). Η OUF είναι ίση με 50-85% της MUF.

Με βάση τα ιονοσφαιρικά δεδομένα προσδιορίζεται μόνο η MUF και μια ***ελάχιστη συχνότητα εργασίας (MWF***= minimum working frequensy), η οποία δίνει τη μικρότερη ένταση πεδίου για την εξασφάλιση των απαραιτήτων μετρήσεων.

Στα βραχέα κύματα εμφανίζονται διαλείψεις, που προέρχονται από τη συμβολή πολλών ακτίνων, οι οποίες φθάνουν στη θέση λήψεως από διαφορετικούς δρόμους. Επίσης εμφανίζονται διαταραχές στη ραδιοεπικοινωνία κατά την περίοδο των μαγνητικών θυελλών και ***αιφνίδιες διακοπές*** σε όλη την περιοχή των βραχέων κυμάτων. Το τελευταίο φαινόμενο χαρακτηρίζεται περίεργο και παρατηρείται μόνο στο φωτιζόμενο από τον ήλιο ημισφαίριο. Ταυτόχρονα με τη

διακοπή των ραδιοεπικοινωνιών παρατηρούνται διαταραχές του μαγνητικού πεδίου της γης και ακόμα λαμπρή υπεριώδης ακτινοβολία της χρωμόσφαιρας του ηλίου.

10.21 Διάδοση υπερβραχέων κυμάτων.

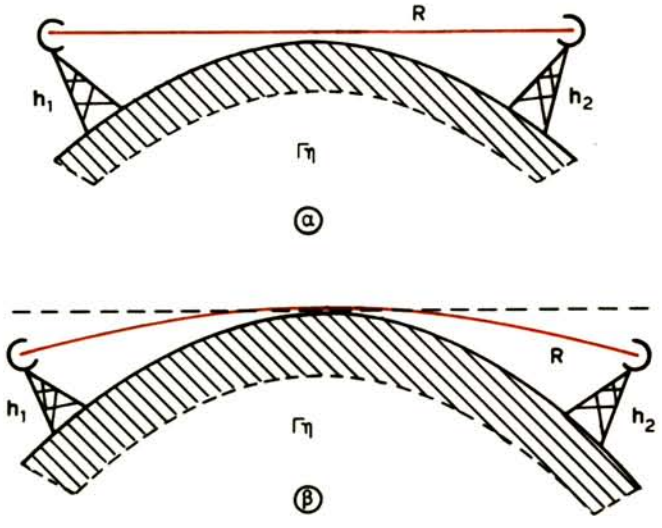
Τα υπερβραχέα κύματα, κατά κανόνα, δεν ανακλώνται από την ιονόσφαιρα, αλλά τη διαπερνούν και διαφεύγουν στο διάστημα. Εξάλλου, τα εδαφικά κύματα των υπερβραχέων απορροφώνται ισχυρά από τη γη και ούτε έχουν την ικανότητα να ακολουθούν την καμπυλότητά της.

Η ραδιοεπικοινωνία με υπερβραχέα κύματα γίνεται μόνο μέσα από την τροπόσφαιρα και εφόσον μεταξύ των κεραιών εκπομπής και λήψεως υπάρχει οπτική επαφή. Η απόσταση ραδιοσυνδέσεως μεγαλώνει με την υπερύψωση των κεραιών εκπομπής και λήψεως και δίνεται από τη σχέση:

$$R = 3{,}57\ (\sqrt{h_1} + \sqrt{h_2}) \qquad (\text{σε km})$$

όπου h_1 και h_2 η υπερύψωση των δύο κεραιών σε μέτρα. Η υπερύψωση των κεραιών νοείται από την επιφάνεια της θάλασσας, γι' αυτό οι κεραίες εκπομπής τοποθετούνται σε υψώματα (βουνά, λόφους κλπ.).

Αν ληφθεί υπόψη η περίθλαση των κυμάτων αυτών στην ατμόσφαιρα, η απόσταση ευθείας ορατότητας ή ***γεωμετρικής ορατότητας*** [σχ. 10.41(α)] μεγαλώνει και μιλάμε τότε για ***ραδιοορατότητα*** [σχ. 10.41 (β)] ίση με:



Σχ. 10.41.
Απόσταση: α) «γεωμετρικής» ορατότητας, β) «ραδιοορατότητας».

$$R = 4{,}12\ (\sqrt{h_1} + \sqrt{h_2}) \qquad (\text{σε km})$$

Στη διάδοση των υπερβραχέων κυμάτων, κυρίως των εκατοστομετρικών και χιλιοστομετρικών, επιδρούν οι μετεωρολογικές συνθήκες. Τα σύννεφα, η ομίχλη και η βροχή προκαλούν απορρόφηση, διασπορά και ανάκλαση των κυμάτων αυτών. Στα υπερβραχέα κύματα λειτουργούν τηλεπικοινωνιακοί σταθμοί και σταθμοί τηλεοράσεως και ραντάρ.

Σημειώνομε ότι τα υπερβραχέα κύματα, επειδή διαπερνούν εύκολα όλα τα ιονοσφαιρικά στρώματα και ανακλώνται εύκολα από ***κεραίες κάτοπτρα,*** χρησιμοποιούνται σήμερα για τις ***δορυφορικές επικοινωνίες.***

10.22 Διαφορική λήψη – Εμβέλεια πομπού.

Κατά τη διάδοση των κυμάτων όλων των περιοχών παρατηρείται, όπως είδαμε, το φαινόμενο των διαλείψεων. Για την ελάττωση των αποτελεσμάτων, που προκαλούν στη λήψη οι διαλείψεις, χρησιμοποιούνται τα λεγόμενα συστήματα ***διαφορικής λήψεως.***

Το πιο εύχρηστο σύστημα διαφορικής λήψεως είναι ***το χωροδιαφορικό.*** Το σύστημα αυτό χρησιμοποιεί τρεις συνήθως χωριστές κεραίες λήψεως (πολλές φορές και δύο), που απέχουν μεταξύ τους κατά τρία περίπου μήκη κύματος. Κάθε κεραία συνδέεται σε χωριστό δέκτη που περιλαμβάνει όλες τις βαθμίδες εκτός από τη φωράτρια και τις επόμενες (δηλαδή μέχρι και τις βαθμίδες ενδιάμεσης συχνότητας). Οι έξοδοι των βαθμίδων ενδιάμεσης συχνότητας των τριών δεκτών συνδέονται σε κοινή συσκευή, που περιλαμβάνει τη βαθμίδα φωράσεως και τις βαθμίδες ακουστικής συχνότητας. Επειδή δεν είναι δυνατό να εμφανισθεί διάλειψη ταυτόχρονα σε όλες τις κεραίες, η κοινή φώραση αναδείχνει το ισχυρότερο σήμα της μιας από τις κεραίες.

Όταν ο χώρος είναι μικρός και δεν μπορούν να αναπτυχθούν οι τρεις ή και οι δύο κεραίες, πράγμα που συμβαίνει στις χαμηλές συχνότητες, χρησιμοποιείται το σύστημα της ***διαφορικής πολώσεως.*** Το σύστημα αυτό περιλαμβάνει δύο κεραίες, από τις οποίες η μία είναι κατακόρυφη και η άλλη οριζόντια. Οι κατακόρυφες και οριζόντιες συνιστώσες του πεδίου ενός κύματος δεν εμφανίζουν συνήθως διαλείψεις στον ίδιο χρόνο. Έτσι, η μια κεραία ανταποκρίνεται στα κύματα κατακόρυφης πολώσεως και η άλλη στα κύματα οριζόντιας πολώσεως και εξασφαλίζεται η λήψη με κοινό δέκτη χωρίς διαλείψεις.

Σημειώνομε ότι η απόσταση ευκρινούς λήψεως και χωρίς διαλείψεις ενός πομπού ονομάζεται συνήθως ***εμβέλεια του πομπού.*** Στην περίπτωση των μεσαίων και βραχέων κυμάτων θα πρέπει να μιλάμε για ***εμβέλεια κυμάτων εδάφους*** και ***εμβέλεια κυμάτων χώρου.*** Η εμβέλεια δεν εξαρτάται μόνο από την απόλυτη τιμή της εντάσεως του πεδίου στη θέση λήψεως, αλλά και από τη στάθμη των θορύβων.

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΠΡΩΤΟ

Εισαγωγή στη Ραδιοεπικοινωνία

1.1 Γενικά 1
1.2 Αρχή ραδιοτηλεγραφικής και ραδιοτηλεφωνικής ή ραδιοφωνικής συνδέσεως 3
1.3 Μήκος κύματος εκπομπής 5
1.4 Συγκρότηση πομπών συντηρουμένων κυμάτων 6
1.5 Συγκρότηση πομπών με διαμόρφωση πλάτους 7
1.6 Συγκρότηση πομπών με διαμόρφωση συχνότητας και φάσεως 9
1.7 Σύνθεση στερεοφωνικών πομπών 10
1.8 Αρχή λειτουργίας δεκτών 12
1.9 Διάγραμμα υπερετερόδυνου δέκτη συντηρουμένων κυμάτων 13
1.10 Διάγραμμα δέκτη σημάτων με διαμόρφωση πλάτους 14
1.11 Διάγραμμα δέκτη σημάτων με διαμόρφωση συχνότητας 15
1.12 Σύνθεση στερεοφωνικών δεκτών 16

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΔΕΥΤΕΡΟ

Ενίσχυση ακουστικών συχνοτήτων

2.1 Γενικά 19
2.2 Διαγράμματα προενισχυτών και τελικών ενισχυτών 20
2.3 Χαρακτηριστικά ενισχυτών ακουστικών σημάτων 21
2.4 Δυναμική λειτουργία τρανζίστορ 25
2.5 Ισοδύναμα κυκλώματα βαθμίδων με τρανζίστορ 29
2.6 Ενισχυτές τάσεως με τρανζίστορ 33
2.7 Ενισχυτές ισχύος με τρανζίστορ 38
2.8 Η ανάδραση στους ενισχυτές - Ενισχυτής με κοινό συλλέκτη 41
2.9 Σταθεροποίηση λειτουργίας τρανζίστορ 44
2.10 Συνδεσμολογίες προενισχυτών 46
2.11 Συνδεσμολογίες ενισχυτών ισχύος 50
2.12 Στερεοφωνικοί προενισχυτές και ενισχυτές ισχύος 54
2.13 Ρυθμιστές ήχου και κυκλώματα ισοσταθμίσεως 57

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΤΡΙΤΟ

Ενίσχυση υψηλών συχνοτήτων

3.1 Γενικά 64

3.2 Απλά συντονισμένα κυκλώματα βαθμίδων 64
3.3 Καμπύλες συντονισμού και ζώνη διελεύσεως κυκλώματος 68
3.4 Συντονισμένα κυκλώματα σε σύζευξη 73
3.5 Καμπύλες συντονισμού συζευγμένων κυκλωμάτων 77
3.6 Ζώνη διελεύσεως συζευγμένων κυκλωμάτων 80
3.7 Απλά και σύνθετα ζευκτικά φίλτρα 81
3.8 Εκλογή τρανζίστορ και μορφής συνδεσμολογίας τους 88
3.9 Σύζευξη βαθμίδων ενισχυτών υψηλών συχνοτήτων 91
3.10 Ισοδύναμο κύκλωμα τρανζίστορ στις υψηλές συχνότητες 95
3.11 Συντονισμένος ενισχυτής με τρανζίστορ 97
3.12 Ενισχυτής ζώνης συχνοτήτων 100
3.13 Σταθερότητα λειτουργίας ενισχυτών 102
3.14 Κασκοδικοί ενισχυτές 104
3.15 Απώλειες στα ζευκτικά κυκλώματα των βαθμίδων 105

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΤΕΤΑΡΤΟ

Παραγωγή ταλαντώσεων

4.1 Γενικά 109
4.2 Το κύκλωμα ταλαντώσεων 110
4.3 Απόσβεση ταλαντώσεων 113
4.4 Αρχή λειτουργίας ταλαντωτών 116
4.5 Συνδεσμολογίες ταλαντωτών 118
4.6 Τάξεις λειτουργίας ταλαντωτών 123
4.7 Σταθεροποίηση λειτουργίας ταλαντωτών 125
4.8 Ταλαντωτές με κρύσταλλο 127
4.9 Ταλαντωτές υπερυψηλών συχνοτήτων 129
4.10 Ταλαντωτές RC 130
4.11 Ο πολυδονητής 134
4.12 Ο δονητής φραγμού 136

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΠΕΜΠΤΟ

Διαμόρφωση και φώραση

5.1 Γενικά 139
5.2 Διαμόρφωση πλάτους 139
5.3 Ισχύς διαμορφωμένου κατά πλάτος κύματος 143
5.4 Εκπομπή πλευρικών ζωνών 145
5.5 Διαμόρφωση συχνότητας και φάσεως 146

5.6 Διαμορφωτές πλάτους....150
5.7 Ισοσταθμισμένοι διαμορφωτές....153
5.8 Διαμορφωτές συχνότητας και φάσεως....157
5.9 Η λειτουργία της φωράσεως πλάτους....162
5.10 Γραμμική φώραση πλάτους....166
5.11 Φώραση του νόμου του τετραγώνου....171
5.12 Κυκλώματα διοδικών φωρατών....174
5.13 Κυκλώματα φωρατών με τρανζίστορ....177
5.14 Φώραση μιας πλευρικής ζώνης....180
5.15 Φώραση συχνότητας και φάσεως....182

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΕΚΤΟ

Ετεροδύνωση - Υπερετερόδυνοι δέκτες

6.1 Γενικά....193
6.2 Ετεροδύνωση συντηρούμενου σήματος....194
6.3 Ετεροδύνωση διαμορφωμένου σήματος....195
6.4 Ετεροδύνωση με στοιχείο μεταβλητής κλίσεως....198
6.5 Σύγχρονη ετεροδύνωση....199
6.6 Ισοσταθμισμένοι μεταλλάκτες συχνότητας....201
6.7 Συνδεσμολογίες μεταλλακτών με τρανζίστορ....203
6.8 Αυτοταλαντούμενες βαθμίδες μίξεως....207
6.9 Ετερόδυνος και αυτόδυνος δέκτης....208
6.10 Αρχή της υπερετεροδυνώσεως....211
6.11 Υπερετερόδυνοι δέκτες....216
6.12 Εκλογή της ενδιάμεσης συχνότητας....218
6.13 Δέκτες διπλής μεταλλαγής συχνότητας....220
6.14 Δέκτες σημάτων μιας πλευρικής ζώνης....223
6.15 Ποιοτικά χαρακτηριστικά δεκτών....224
6.16 Ανωμαλίες δεκτών....229
6.17 Παρασιτικοί θόρυβοι....230

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΕΒΔΟΜΟ

Βοηθητικές διατάξεις δεκτών και τροφοδοτικά

7.1 Γενικά....232
7.2 Χειροκίνητη ρύθμιση της συχνότητας ετεροδύνου....232
7.3 Αυτόματη ρύθμιση της συχνότητας ετεροδύνου....234
7.4 Αυτόματη ρύθμιση της απολαβής....235

7.5 Ηλεκτρονικός συντονισμός δεκτών 239
7.6 Συστήματα τηλεχειρισμού δεκτών 241
7.7 Τροφοδοτικά δεκτών 244

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΟΓΔΟΟ

Συνδεσμολογίες βαθμίδων πομπών και δεκτών

8.1 Γενικά 248
8.2 Ταλαντωτές πομπών 248
8.3 Η βαθμίδα απομονώσεως 251
8.4 Βαθμίδα εξόδου πομπών 252
8.5 Ενδιάμεσες βαθμίδες πομπών 255
8.6 Βαθμίδες πολλαπλασιασμού συχνότητας 257
8.7 Χειρισμός ραδιοτηλεγραφικού πομπού 257
8.8 Συνδεσμολογία πομπού με διαμόρφωση πλάτους 258
8.9 Μονοφωνική και στερεοφωνική διαμόρφωση πομπού FM 260
8.10 Ενισχυτές υψηλών συχνοτήτων δεκτών 263
8.11 Βαθμίδες μεταλλαγής συχνότητας 265
8.12 Συντονιστής ραδιοφώνου FM 266
8.13 Ενισχυτές ενδιάμεσης συχνότητας δεκτών 268
8.14 Φωρατές πλάτους και συχνότητας 272
8.15 Συνδεσμολογίες τμήματος ήχου ραδιοφώνων 277
8.16 Υποσυστήματα ραδιοφώνων ΑΜ και FM 282
8.17 Ραδιόφωνα με τρανζίστορ 288
8.18 Ραδιόφωνα με ολοκληρωμένα κυκλώματα 298

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΕΝΑΤΟ

Ηλεκτρακουστικές συσκευές
Ηλεκτρόφωνα - Μαγνητόφωνα
Ψηφιακή εγγραφή και αναπαραγωγή ήχου

9.1 Γενικά 305
9.2 Είδη και χαρακτηριστικά μικροφώνων και μεγαφώνων 306
9.3 Μικρόφωνο άνθρακα 307
9.4 Κρυσταλλικό μικρόφωνο 309
9.5 Μικρόφωνο πυκνωτή 310
9.6 Δυναμικό μικρόφωνο 310
9.7 Μικρόφωνο ταινίας 312
9.8 Ραδιομικρόφωνο 312

9.9 Ακουστικά....315
9.10 Μεγάφωνο μόνιμου μαγνήτη....315
9.11 Ηλεκτροδυναμικό μεγάφωνο....317
9.12 Μεγάφωνο χοάνης (κόρνα)....317
9.13 Συνδεσμολογίες μεγαφώνων....318
9.14 Περιγραφή ηλεκτροφώνου....321
9.15 Το μαγνητόφωνο και η αρχή λειτουργίας του....326
9.16 Διάδρομοι μαγνητικής εγγραφής....324
9.17 Λειτουργικό διάγραμμα μαγνητοφώνου....330
9.18 Το ηλεκτρονικό μέρος των μαγνητοφώνων....332
9.18.1 Ο γενικός ενισχυτής....332
9.18.2 Τα διορθωτικά κυκλώματα....333
9.18.3 Η γεννήτρια υψηλής συχνότητας....336
9.19 Συνδεσμολογία ηλεκτρονικού μέρους μαγνητοφώνου....338
9.20 Το ηλεκτρομηχανικό μέρος των μαγνητοφώνων....340
9.21 Μαγνητικές κεφαλές και ταινίες....341
9.22 Ποιοτικά χαρακτηριστικά μαγνητοφώνων....344
9.23 Αρχή ψηφιακής εγγραφής και αναπαραγωγής ήχου....345
9.24 Ο συμπαγής δίσκος (compact disc)....348
9.25 Μαγνητική ψηφιακή εγγραφή ήχου....352

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΔΕΚΑΤΟ

Γραμμές - Κεραίες και διάδοση κυμάτων

10.1 Γενικά....354
10.2 Είδη γραμμών και στοιχεία τους....354
10.3 Τρέχοντα κύματα στη γραμμή....355
10.4 Κυματική αντίσταση γραμμής....358
10.5 Ανάκλαση κυμάτων - Στάσιμα κύματα....359
10.6 Κατανομή τάσεως και ρεύματος στη γραμμή....362
10.7 Συντονισμένες γραμμές....364
10.8 Η γραμμή με ωμικό φορτίο....367
10.9 Ανοικτά κυκλώματα ή κεραίες....370
10.10 Συμμετρικές και ασύμμετρες κεραίες....374
10.11 Χαρακτηριστικά μεγέθη κεραιών....376
10.12 Συντονισμός γειωμένων κεραιών....383
10.13 Πρακτικές μορφές κεραιών....386
10.14 Η γείωση των κεραιών....394
10.15 Το ηλεκτρομαγνητικό κύμα της κεραίας....396

416

10.16 Κύμα εδάφους και κύμα χώρου 400
10.17 Τα ιονοσφαιρικά στρώματα 402
10.18 Διάδοση μακρών κυμάτων 404
10.19 Διάδοση μεσαίων κυμάτων 406
10.20 Διάδοση βραχέων κυμάτων 407
10.21 Διάδοση υπερβραχέων 409
10.22 Διαφορική λήψη - Εμβέλεια πομπού 410

COPYRIGHT ΙΔΡΥΜΑΤΟΣ ΕΥΓΕΝΙΔΟΥ