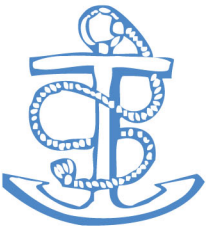


ΑΝΩΤΕΡΕΣ ΔΗΜΟΣΙΕΣ ΣΧΟΛΕΣ
ΕΜΠΟΡΙΚΟΥ ΝΑΥΤΙΚΟΥ

ΦΥΣΙΚΗ ΙΙ

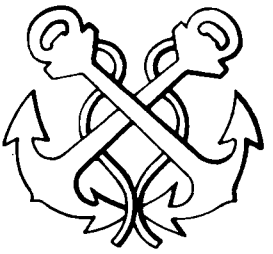
ΤΟΜΟΣ ΠΡΩΤΟΣ

Ζαχαρία Δ. Τσουκαλά
ΚΑΘΗΓΗΤΗ ΑΔΣΕΝ/ΑΣΠΡΟΠΥΡΓΟΥ



ΙΔΡΥΜΑ ΕΥΓΕΝΙΔΟΥ

ΧΡΥΣΟΥΝ ΜΕΤΑΛΛΙΟΝ ΑΚΑΔΗΜΙΑΣ ΑΘΗΝΩΝ



ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟΝ ΚΕΙΜΕΝΟΝ
ΔΗΜΟΣΙΩΝ ΣΧΟΛΩΝ

ΥΠΟΥΡΓΕΙΟΥ ΕΜΠΟΡΙΚΗΣ ΝΑΥΤΙΛΙΑΣ

ΙΔΡΥΜΑ ΕΥΓΕΝΙΔΟΥ 1956

ΠΡΟΛΟΓΟΣ ΙΔΡΥΜΑΤΟΣ ΕΥΓΕΝΙΔΟΥ

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

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

Έτσι, τον Φεβρουάριο του 1956 συνεστήθη το «Ίδρυμα Ευγενίδου», του οποίου την διοίκηση ανέλαβε η αδελφή του Μαρ. Σίμου, σύμφωνα με την επιθυμία του διαθέτη. Από τη στιγμή εκείνη άρχισαν πραγματοποιούμενοι οι σκοποί που οραματίσθηκε ο Ευγένιος Ευγενίδης και συγχρόνως η εκπλήρωση μιας από τις βασικότερες ανάγκες του εθνικού μας βίου. Το έργο του Ιδρύματος συνέχισε από το 1981 μέχρι το 2000 ο Νικόλαος Βερνίκος-Ευγενίδης· έκτοτε συνεχίζει αυτό ο κ. Λεωνίδας Δημητριάδης-Ευγενίδης.

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

Ειδικότερα, όσον αφορά στα εκπαιδευτικά βιβλία των σπουδαστών των Δημοσίων Σχολών Εμπορικού Ναυτικού, το Ίδρυμα ανέλαβε τότε την έκδοσή τους σε πλήρη και στενή συνεργασία με τη Διεύθυνση Ναυτικής Εκπαιδεύσεως του Υπουργείου Εμπορικής Ναυτιλίας, υπό την εποπτεία του οποίου υπάγονται οι Σχολές αυτές. Η ανάθεση στο Ίδρυμα έγινε με την υπ' αριθ. 61288/5031, της 9ης Αυγούστου 1966, απόφαση του Υπουργείου Εμπορικής Ναυτιλίας, οπότε και συνεκροτήθη και η αρμόδια Επιτροπή Εκδόσεων.

Αποτέλεσμα της συνεργασίας αυτής ήταν η έκδοση της Σειράς Βιβλιοθήκη του Ναυτικού, όπου εξεδόθησαν: α) Για τους μαθητές των Μέσων Ναυτικών Σχολών 30 τόμοι βιβλίων (1967 - 1979). β) Για τις ΑΔΣΕΝ (Ανώτερες Δημόσιες Σχολές Εμπορικού Ναυτικού) 54 τόμοι (1981 - 2001).

Κύριος σκοπός των εκδόσεων αυτών, των οποίων το περιεχόμενο είναι

ΙΔΡΥΜΑ ΕΥΓΕΝΙΔΟΥ 1956

σύμφωνο με τα εκάστοτε ισχύοντα αναλυτικά προγράμματα του ΥΕΝ, ήταν η παροχή προς τους σπουδαστές των Ναυτικών Σχολών ΑΔΣΕΝ και Ναυτικών Λυκείων των αναγκαίων τότε εκπαιδευτικών κειμένων, τα οποία αντιστοιχούν προς τα μαθήματα που διδάσκονται στις Σχολές αυτές.

Επίσης ελήφθη ιδιαίτερη πρόνοια, ώστε τα βιβλία αυτά να είναι γενικότερα χρήσιμα για όλους τους αξιωματικούς του Εμπορικού Ναυτικού, που ασκούν το επάγγελμα ή εξελίσσονται στην ιεραρχία του κλάδου τους, χωρίς αυτό να σημαίνει ότι επέρχεται μεταβολή στη στάθμη του περιεχομένου τους.

Με την υπ. αρ. 1168Β΄/14.6.99 υπουργική απόφαση το Υπουργείο Εμπορικής Ναυτιλίας ανέθεσε στο Ίδρυμα Ευγενίδου την συγγραφή και έκδοση των διδακτικών εγχειριδίων των Ναυτικών Ακαδημιών· ήδη η επιτροπή εκδόσεων του Ιδρύματος, στην οποία μετέχει, όπως πάντα, και ο διευθυντής Ναυτικής Εκπαιδεύσεως του ΥΕΝ, προεκήρυξε συμφώνως προς απόφαση του ΥΕΝ την συγγραφή 15 βιβλίων προς κάλυψη επειγουσών αναγκών των σπουδαστών βάσει των ισχυόντων αναλυτικών προγραμμάτων. Τα βιβλία αυτά έχουν συγγραφεί ήδη και ευρίσκονται στο στάδιο της εκδόσεως.

Οι συγγραφείς και η Επιτροπή Εκδόσεων του Ιδρύματος εξακολουθούν να καταβάλλουν κάθε προσπάθεια, ώστε τα βιβλία να είναι επιστημονικώς άρτια αλλά και προσαρμοσμένα στις ανάγκες και τις δυνατότητες των σπουδαστών. Γι' αυτό έχουν προσεγμένη γλωσσική διατύπωση των κειμένων τους και η διαπραγμάτευση των θεμάτων είναι ανάλογη προς τη στάθμη της εκπαιδεύσεως, για την οποία προορίζονται.

Με την προσφορά στους καθηγητές, στους σπουδαστές της ναυτικής μας εκπαιδεύσεως και σε όλους τους αξιωματικούς του Ε.Ν. των εκδόσεών του, το Ίδρυμα συμβάλλει στην πραγματοποίηση του σκοπού του ιδρυτή του Ευγενίου Ευγενίδου.

ΕΠΙΤΡΟΠΗ ΕΚΔΟΣΕΩΝ ΙΔΡΥΜΑΤΟΣ ΕΥΓΕΝΙΔΟΥ

Αλέξανδρος Σταυρόπουλος, ομ. καθηγητής Α.Β.Σ. Πειραιώς, Πρόεδρος.
Ιωάννης Τεγόπουλος, ομ. καθηγητής ΕΜΠ.
Ιωάννης Τζαβάρας, αντιναύαρχος Λ.Σ. (Ε.Α.).
Δημήτριος Βασιλάκης, πλοίαρχος Λ.Σ., Διευθ. Ναυτ. Εκπ. έ.Ε.Ν.
Σύμβουλος επί των εκδόσεων του Ιδρύματος **Κων. Μανάφης,**
καθηγ. Φιλοσοφικής Σχολής Πανεπιστημίου Αθηνών.
Γραμματέας της Επιτροπής, **Γεώργιος Ανδρεάκος.**

Ειδικός Επιστημονικός Σύμβουλος για το βιβλίο Φυσική ΙΙ, Τεύχος Α΄, ο κ. **Νικόλαος Ουζούνογλου,** αναπληρωτής Καθηγητής Ε.Μ.Π.

ΙΔΡΥΜΑ ΕΥΓΕΝΙΔΟΥ
ΒΙΒΛΙΟΘΗΚΗ ΤΟΥ ΝΑΥΤΙΚΟΥ

ΦΥΣΙΚΗ ΙΙ

ΤΟΜΟΣ ΠΡΩΤΟΣ

ΖΑΧΑΡΙΑ Δ. ΤΣΟΥΚΑΛΑ
ΚΑΘΗΓΗΤΗ ΑΔΣΕΝ/ΑΣΠΡΟΠΥΡΓΟΥ

ΑΘΗΝΑ
2006

ΙΔΡΥΜΑ ΕΥΓΕΝΙΔΟΥ 1956

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Στο βιβλίο αυτό αναπτύσσονται τα θέματα που περιλαμβάνονται στη διδακτέα ύλη του μαθήματος «ΦΥΣΙΚΗ ΙΙ» των ΑΔΣΕΝ Πλοιάρχων, εκτός από εκείνα της ηλεκτρολογίας, τα οποία κρίνονται απαραίτητα για την κατανόηση των μαθημάτων ραντάρ, ραδιοναυσιπλοΐας και θεμάτων του μαθήματος συνεννοήσεως.

Συγκεκριμένα, στο πρώτο κεφάλαιο «ΗΛΕΚΤΡΟΜΑΓΝΗΤΙΚΑ ΚΥΜΑΤΑ», αναπτύσσεται η αρχή παραγωγής ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων, τα χαρακτηριστικά τους, οι τρόποι διαδόσεώς τους και τα διάφορα φαινόμενα που παρατηρούνται κατά τη διάδοσή τους, ανάλογα με τη συχνότητά τους. Στο δεύτερο κεφάλαιο «ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΕΣ ΛΥΧΝΙΕΣ», αναπτύσσονται βασικές αρχές κατασκευής και λειτουργίας των ηλεκτρονικών λυχνιών και οι αρχές της ανορθώσεως και της ενισχύσεως, ενώ στο τρίτο κεφάλαιο «ΚΡΥΣΤΑΛΛΟΛΥΧΝΙΕΣ», αναπτύσσονται τα αντίστοιχα θέματα που αφορούν στις κρυσταλλοδιόδους και τα τρανζίστορς. Στο τέταρτο κεφάλαιο «ΑΡΧΕΣ ΤΗΛΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ», αναπτύσσονται οι βασικοί τύποι κεραιών, οι τύποι διαμορφώσεως και η λειτουργία των βασικοτέρων τύπων πομπών και δεκτών, που χρησιμοποιούνται στις κλασικές τηλεπικοινωνίες. Στο πέμπτο κεφάλαιο «ΝΑΥΤΙΚΕΣ ΔΟΡΥΦΟΡΙΚΕΣ ΤΗΛΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΕΣ», αναπτύσσονται η συγκρότηση, η λειτουργία, οι δυνατότητες και η μελλοντική εξέλιξη του συστήματος «INMARSAT», ως το μελλοντικό σύστημα ναυτικών τηλεπικοινωνιών. Στο έκτο κεφάλαιο «ΚΑΘΟΔΙΚΕΣ ΛΥΧΝΙΕΣ», περιγράφονται η κατασκευή και η λειτουργία των καθοδικών λυχνιών και οι βασικές μέθοδοι χρησιμοποιήσεως στους ενδείκτες ραντάρ και σε ενδείκτες ορισμένων οργάνων ραδιοναυσιπλοΐας.

Η ανάπτυξη των θεμάτων αυτών γίνεται σε τέτοια έκταση, ώστε οι γνώσεις που θα αποκτηθούν να μπορούν να αποτελέσουν τη βάση αναπτύξεως θεμάτων των μαθημάτων ραντάρ, ραδιοναυσιπλοΐας και συνεννοήσεως στους σπουδαστές των ΑΔΣΕΝ Πλοιάρχων. Ειδικά η ύλη που περιλαμβάνεται στο πρώτο και στο έκτο κεφάλαιο, θεωρείται απαραίτητη για την ανάπτυξη των περισσοτέρων θεμάτων των μαθημάτων ραντάρ και των οργάνων ραδιοναυσιπλοΐας και στους σπουδαστές των ΑΔΣΕΝ Ραδιοτηλεγραφητών.

Κατά την ανάπτυξη όλων των θεμάτων δεν παραλείπεται η επαρκής αναφορά στην αγγλική ορολογία και τις συντμήσεις βασικών της όρων, η οποία θα φανεί χρήσιμη και στις δυο ειδικότητες, ειδικά κατά τη μελέτη των εγχειριδίων λειτουργίας (operation's manuals) των διαφόρων συσκευών.

ΔΡΥΜΑ ΣΥΓΓΡΑΦΕΩΝ 1954

Επιθυμώ να ευχαριστήσω θερμά τους επιστημονικούς συμβούλους του Ιδρύματος Ευγενίδου καθηγητές του Ε.Μ.Π. κ.κ. Ν. Ουζούνογλου και Σ. Σιμόπουλο, για τις χρήσιμες υποδείξεις κατά τη συγγραφή του βιβλίου.

Από τη θέση αυτή, επιθυμώ να ευχαριστήσω θερμά την Επιτροπή Εκδόσεων του Ιδρύματος Ευγενίδου και το προσωπικό του εκδοτικού του τμήματος, για την τιμή να μου αναθέσει τη συγγραφή αυτού του βιβλίου και για τη συμβολή τους στην αρτιότερη εμφάνισή του.

Θα είναι πολύτιμη κάθε υπόδειξη από τους κυρίους συναδέλφους ή από όποιον άλλον θα χρησιμοποιήσει το βιβλίο αυτό, για βελτίωση του βιβλίου σε μελλοντική του επανέκδοση.

Ο συγγραφέας

ΜΕΡΟΣ ΠΡΩΤΟ

ΗΛΕΚΤΡΙΣΜΟΣ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΠΡΩΤΟ

ΣΤΑΤΙΚΟΣ ΗΛΕΚΤΡΙΣΜΟΣ

1.1 Γενικά.

Η ουσία από την οποία αποτελούνται τα διάφορα σώματα (στερεά, υγρά και αέρια) λέγεται ***ύλη.***

Κύρια χαρακτηριστικά της ύλης είναι ο ***όγκος*** (ο χώρος που κατέχει ένα σώμα), ***το βάρος*** (η δύναμη που έλκει η Γη το σώμα) και η ***μάζα*** (η ποσότητα της ύλης που περιέχεται στο σώμα). Διαιρώντας συνέχεια την ύλη, φθάνομε σε πολύ μικρά τεμάχια που δεν μπορούν να χωρισθούν περισσότερο με μηχανικά μέσα (π.χ. με κόψιμο, άλεσμα, σφυρηλάτηση έλξη, τριβή κλπ.). Τα σωμάτια αυτά ονομάζονται ***μόρια.***

Τα μόρια όμως μπορούμε να τα διασπάσομε σε μικρότερα σωμάτια με χημικά μέσα. Τα σωμάτια αυτά ονομάζονται άτομα. Όλα τα ***άτομα*** δεν είναι όμοια μεταξύ τους. Σήμερα είναι γνωστά περισσότερα από 100 είδη ατόμων.

Απλά σώματα ονομάζονται εκείνα που αποτελούνται από ένα μόνο είδος ατόμων (υδρογόνο, χαλκός, σίδηρος κλπ.).

Σύνθετα σώματα ονομάζονται εκείνα που αποτελούνται από δυο ή περισσότερα απλά (νερό, θειικό οξύ κλπ.).

1.2 Δομή του ατόμου – Ιονισμός – Ηλεκτρικό φορτίο.

Η σύγχρονη Φυσική διδάσκει, ότι τα άτομα αποτελούνται και αυτά από μικρότερα σωμάτια. Τα σωμάτια αυτά είναι τα ***ηλεκτρόνια,*** τα ***πρωτόνια*** και τα ***νετρόνια.***

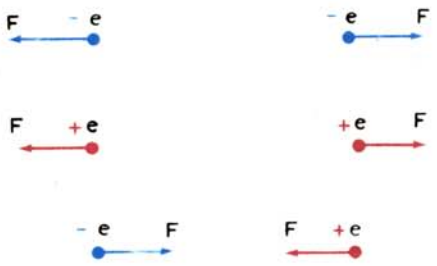
Όλα τα ηλεκτρόνια είναι όμοια μεταξύ τους, όπως και όλα τα πρωτόνια και όλα τα νετρόνια. Η μάζα του ηλεκτρονίου είναι $9{,}1.10^{-31}$ kg. Η μάζα του πρωτονίου (που είναι ίση με τη μάζα του νετρονίου) είναι 1836 φορές μεγαλύτερη από τη μάζα του ηλεκτρονίου, δηλαδή $1{,}67.10^{-22}$ kg.

Τα ηλεκτρικά φαινόμενα οφείλονται σε ορισμένες ιδιότητες που έχουν τα παραπάνω σωμάτια (σχ. 1.2α). Οι ιδιότητες αυτές είναι:

α) Μεταξύ των ηλεκτρονίων ασκούνται απωστικές δυνάμεις.

β) Μεταξύ των πρωτονίων ασκούνται απωστικές δυνάμεις.

ΔΡΥΜΑ ΣΥΓΓΡΑΦΕΩΝ 1954



Σχ. 1.2α.
Δυνάμεις μεταξύ ηλεκτρονίων και πρωτονιών.

γ) Μεταξύ των ηλεκτρονίων και των πρωτονίων ασκούνται ελκτικές δυνάμεις.

δ) Μεταξύ των ηλεκτρονίων (ή πρωτονίων) και νετρονίων δεν ασκούνται δυνάμεις.

Τις ιδιότητες αυτές καταλαβαίνομε όταν λέμε ότι:

α) Τα ηλεκτρόνια έχουν ***αρνητικό φορτίο*** ή είναι ηλεκτρισμένα αρνητικά.

β) Τα πρωτόνια έχουν ***θετικό φορτίο*** ή είναι ηλεκτρισμένα θετικά.

γ) Τα νετρόνια δεν έχουν ηλεκτρικό φορτίο ***(ουδέτερα).***

Από τα παραπάνω συμπεραίνομε ότι μεταξύ ***ομωνύμων*** φορτίων (δηλ. φορτίων που ανήκουν στο ίδιο είδος) ασκούνται ***απωστικές*** δυνάμεις και μεταξύ ***ετερωνύμων*** φορτίων (δηλ. φορτίων διαφορετικού είδους) ***ελκτικές.***

Το φορτίο του πρωτονίου είναι ίσο (και αντίθετο) με το φορτίο του ηλεκτρονίου και το παριστάνομε με το γράμμα e.

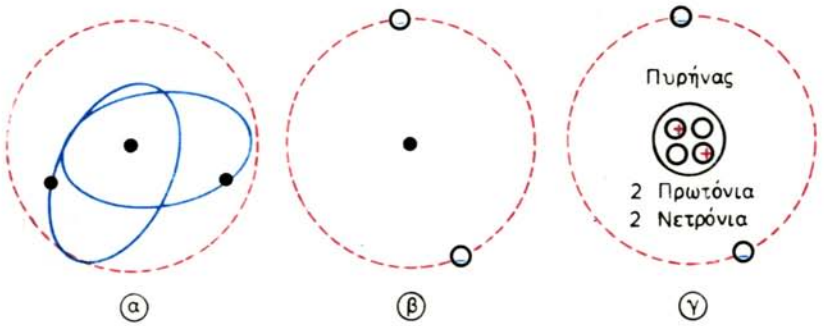
Κάθε άτομο μοιάζει σε μικρογραφία με το ηλιακό μας σύστημα. Στο κέντρο του βρίσκεται ο ***πυρήνας*** που αποτελείται από πρωτόνια και νετρόνια (νουκλεόνια). Γύρω του περιστρέφονται σε κυκλικές ή ελλειπτικές τροχιές τα ηλεκτρόνια. Η περιφορά αυτή των ηλεκτρονίων γύρω από τον πυρήνα οφείλεται στις ηλεκτρικές έλξεις που ασκεί ο θετικός πυρήνας στα ηλεκτρόνια. (Αυτές είναι κεντρομόλοι δυνάμεις).

Στο σχήμα 1.1β έχει παρασταθεί το άτομο του ηλίου. Ο πυρήνας αποτελείται από δυο πρωτόνια και δυο νετρόνια. Τα δυο περιφερειακά ηλεκτρόνια διαγράφουν δυο διαφορετικές τροχιές γύρω από τον πυρήνα που ανήκουν στον ίδιο φλοιό.

Σε κάθε άτομο ο αριθμός των ηλεκτρονίων είναι ίσος με τον αριθμό των πρωτονίων και επειδή το φορτίο του πρωτονίου είναι ίσο και αντίθετο με το φορτίο του ηλεκτρονίου, συμπεραίνομε ότι το ***άτομο*** (σαν σύνολο) ***είναι ηλεκτρικά ουδέτερο.***

Αν μπορέσομε με κάθε τρόπο να διώξομε ένα ή περισσότερα ηλεκτρόνια, το άτομο θα μείνει θετικά φορτισμένο. Τότε ονομάζεται ***θετικό ιόν.*** Αν τα ηλεκτρόνια αυτά έλθουν σε άλλο άτομο, τότε αυτό στο σύνολό του θα παρουσιάζει αρνητικό φορτίο και ονομάζεται ***αρνητικό ιόν.*** Ώστε:

Ιόντα είναι άτομα (ή συγκροτήματα ατόμων π.χ. NH_4^+) με ***περίσσευμα ή έλλειμμα ηλεκτρονίων*** και το φαινόμενο ονομάζεται ***ιονισμός.*** Στη φύση δεν υπάρχει φορτίο μικρότερο από το φορτίο του ηλεκτρονίου και κάθε άλλο φορτίο (θετικό ή αρνητικό) είναι (σε απόλυτη τιμή) ακέραιο πολλαπλάσιο του



Σχ. 1.26.
Άτομο ηλίου.
α) Οι ελλειπτικές τροχίες των ηλεκτρονίων. β) Ο φλοιός των ηλεκτρονίων. γ) Ο πυρήνας του ατόμου και ο φλοιός ηλεκτροδιών.

φορτίου του ηλεκτρονίου (γι' αυτό ονομάζεται και ***στοιχειώδες ηλεκτρικό φορτίο***). Άρα για κάθε φορτίο q μπορούμε να γράψομε:

$$q = ne$$

όπου e το στοιχειώδες ηλεκτρικό φορτίο (απόλυτα) και n ακέραιος αριθμός θετικός ή αρνητικός.

Τα ηλεκτρόνια έχουν κατανεμηθεί γύρω από τον πυρήνα σε ***στοιβάδες*** ή ***φλοιούς*** (K, L, M, N, O, P, Q). Κάθε φλοιός περιλαμβάνει ένα ορισμένο αριθμό τροχιών που αποτελούν τις ***υποστοιβάδες*** (s, p, d, f). Οι τροχιές αυτές παρουσιάζουν ορισμένους προσανατολισμούς στο χώρο, όταν το άτομο βρεθεί μέσα σε μαγνητικό πεδίο.

Κάθε ηλεκτρόνιο, εκτός από τη περιφορά του γύρω από τον πυρήνα, περιστρέφεται και γύρω από τον εαυτό του (spin). Η περιστροφή αυτή γίνεται κατά τη φορά της περιστροφής του ηλεκτρονίου γύρω από τον πυρήνα (θετικό spin) ή αντίθετα (αρνητικό spin).

Το 1924 ο De Broglie εισάγει την υπόθεση της Κυματομηχανικής και δίνει νέα ερμηνεία στο ατομικό συγκρότημα.

Σύμφωνα με τη θεωρία αυτή το ηλεκτρόνιο δεν πρέπει να θεωρείται σαν διάκριτο υλικό σωμάτιο που κινείται σε ελλειπτική τροχιά, αλλά σαν σωμάτιο που έχει κυματοειδή χαρακτήρα με μήκος κύματος:

$$\lambda = \frac{h}{m \cdot u}$$

όπου h η σταθερά του Plank, m η μάζα και u η ταχύτητα του ηλεκτρονίου.

Δέχεται δηλαδή ότι το ηλεκτρικό φορτίο είναι διεσπαρμένο σαν νέφος γύρω από τον πυρήνα του ατόμου.

1.3 Ελεύθερα ηλεκτρόνια. Αγωγοί και μονωτές.

Σε ορισμένα άτομα (κυρίως στα άτομα των μετάλλων), τα ηλεκτρόνια της

εξωτερικής στοιβάδας, επειδή βρίσκονται σε πολύ μεγάλη απόσταση, έλκονται από τον πυρήνα με μικρή σχετικά δύναμη. Η έλξη αυτή είναι μικρότερη από την έλξη που ασκούν οι πυρήνες των γειτονικών ατόμων, με αποτέλεσμα τα ηλεκτρόνια να μεταπηδούν από την εξωτερική στοιβάδα ενός ατόμου στην εξωτερική στοιβάδα γειτονικού ατόμου. Τα ηλεκτρόνια αυτά που μπορούν να κινούνται ελεύθερα μέσα στο σώμα, ονομάζονται ***ελεύθερα ηλεκτρόνια*** και σ' αυτά, όπως θα δούμε παρακάτω, οφείλεται η ηλεκτρική αγωγιμότητα. Τα σώματα που τα άτομά τους διαθέτουν μεγάλο αριθμό ελεύθερων ηλεκτρονίων, ονομάζονται ***αγωγοί.*** Τα σώματα που τα ατομά τους διαθέτουν μικρό αριθμό ***ελεύθερων ηλεκτρονίων*** ονομάζονται ***μονωτές ή διηλεκτρικά*** (αμέταλλα, γυαλί, πορσελάνη, αέρας, εβονίτης κλπ).

Τέλος έχομε και μια ενδιάμεση κατηγορία υλικών που τα άτομά τους διαθέτουν περιορισμένο αριθμό ελεύθερων ηλεκτρονίων. Τα υλικά αυτά ονομάζονται ***ημιαγωγοί*** (γερμάνιο, πυρίτιο, γη κλπ).

1.4 Νόμος του Coulomb.

Η δύναμη (έλξη ή άπωση) που ασκείται ανάμεσα σε δυο σημειακά φορτία q_1 και q_2 (φορτισμένα σώματα μικρών διαστάσεων σε σχέση με την απόσταση μεταξύ τους) που απέχουν μεταξύ τους απόσταση α παρέχεται από το νόμο του Coulomb:

$$F = k \frac{q_1 q_2}{a^2} \qquad (1)$$

Η σταθερά k εξαρτάται από το σύστημα μονάδων και από τη φύση του μέσου που περιβάλλει τα φορτία.

Η μονάδα φορτίου ορίζεται αν στο τύπο (1) θέσομε $q_1 = q_2$. $k = 1$ (για το κενό ή τον αέρα) $F = 1$ dyn, $a = 1$ cm και ονομάζεται ***ηλεκτροστατική μονάδα φορτίου*** (ΗΣΜ-φορτίου) δηλαδή:

1 ΗΣΜ-φορτίου είναι το φορτίο εκείνο που όταν βρίσκεται σε απόσταση 1 cm από ίσο φορτίο και μέσα στο κενό εξασκεί σ' αυτό δύναμη ίση με μία dyn.

Το σύστημα που έχει σαν βάση την ΗΣΜ«φορτίου και μηχανικές μονάδες τις μονάδες του συστήματος CGS, ονομάζεται ***ηλεκτροστατικό σύστημα μονάδων.***

Στην πράξη χρησιμοποιείται η πρακτική μονάδα φορτίου, το Coulomb, έτσι:

$$1 \text{ Coulomb} = 1 \text{ Cb} = 3.10^9 \text{ ΗΣΜ-φορτ.}$$

Το σύστημα που έχει σαν βάση τη πρακτική μονάδα φορτίου και μηχανικές μονάδες τις μονάδες του πρακτικού συστήματος MKS ονομάζεται ***πρακτικό σύστημα μονάδων*** (MKSA) και αυτό θα χρησιμοποιήσομε κυρίως στο βιβλίο αυτό.

Στο MKSA ο νόμος του Coulomb γράφεται:

$$F = \frac{1}{4\pi\varepsilon\varepsilon_0} \frac{q_1 q_2}{a^2} \qquad (2)$$

Η σταθερά ε εξαρτάται από τη φύση του μέσου που περιβάλλει τα φορτία και ονομάζεται ***σχετική διηλεκτρική σταθερά.***

Η ε_2 ονομάζεται ***απόλυτη διηλεκτρική σταθερά του κενού.***

Στη σχέση (2): F → Nt, q → Cb, α → m και

$$\varepsilon_0 = 8.85.10^{-12}\ \frac{Cb^2}{Nt.m^2}\left(= \frac{Cb^2}{Joule.m} = \frac{Cb}{Volt>m} = \frac{Farad}{m}\right)$$

1.5 Ηλεκτρικό πεδίο – Δυναμικές γραμμές.

Αν φέρομε σε τυχαίο σημείο Μ, γύρω από το ηλεκτρισμένο σώμα Α, ένα πολύ μικρό (απειροστό)* φορτίο q (σχ. 1.5α), θα ασκηθεί σ' αυτό, σύμφωνα με το νόμο του Coulomb, δύναμη F που οφείλεται στο q΄ του Α. Παρατηρούμε δηλαδή ότι ο χώρος που περιβάλλει το φορτισμένο σώμα Α, αποκτά την ιδιότητα να ασκεί δυνάμεις σε κάθε άλλο φορτίο που βρίσκεται μέσα στο χώρο αυτόν. Ο χώρος αυτός ονομάζεται ***ηλεκτρικό πεδίο.***

Η δύναμη που ασκείται στο φορτίο q βρίσκεται ότι είναι ανάλογη προς το φορτίο:

$$F = E \cdot q$$

Ο συντελεστής Ε ονομάζεται ένταση του ηλεκτρικού πεδίου στο σημείο Μ:

(1) $$E_M = \frac{F}{q}$$



Σχ. 1.5α.
Η αρχή του ηλεκτρικού πεδίου.

Η ένταση του πεδίου είναι ανυσματικό μέγεθος που έχει διεύθυνση τη διεύθυνση της δυνάμεως F και φορά τη φορά της δυνάμεως που ασκείται σε θετικό φορτίο.

Μπορούμε λοιπόν, σύμφωνα με τον παραπάνω ορισμό, να γράψομε:

$$\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q}$$

όπου το q θα το λαμβάνομε αλγεβρικά. Άρα q>0 τότε $\vec{F} \uparrow\uparrow \vec{E}$ και αν q<0 τότε $\vec{F} \uparrow\downarrow \vec{E}$.

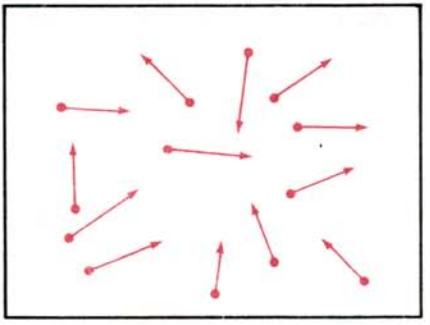
Το φορτίο q λαμβάνεται απειροστό για να μη μεταβάλλει η παρουσία του τη μορφή του πεδίου.

Η μονάδα εντάσεως προκύπτει από τον τύπο (1):

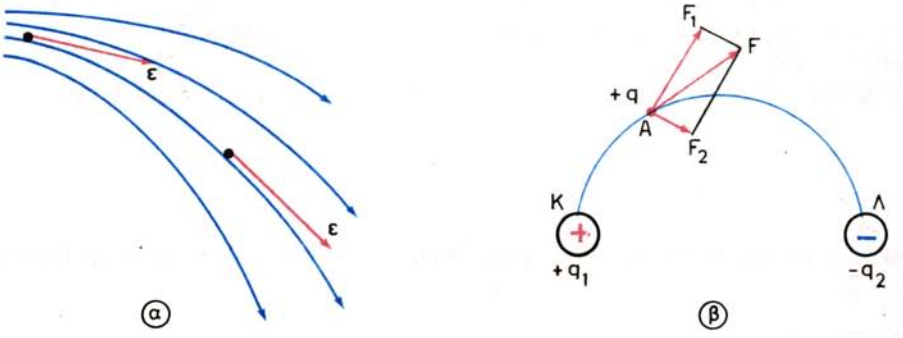
$$1\ \frac{Nt}{Cb}\ \text{ή}\ 1\ \frac{Volt}{m}\left(\text{γιατί}\ 1\ \frac{Nt}{Vb} = 1\frac{Joule}{m\ .\ Cb} = 1\ \frac{Volt}{m}\right)$$

Το ηλεκτρικό πεδίο είναι απόλυτα καθορισμένο, όταν σε κάθε σημείο του χώρου γνωρίζομε την έντασή του. Όπως φαίνεται όμως και από το σχήμα 1.5β θα είχαμε ένα μεγάλο αριθμό ανυσμάτων και η παραστατική εικόνα δεν θα ήταν καθόλου εποπτική. Γι' αυτό σχεδιάζομε τις δυναμικές γραμμές.

Δυναμική γραμμή ονομάζεται κάθε γραμμή όπου σε κάθε σημείο της η ένταση του πεδίου είναι εφαπτομένη. Οι δυναμικές γραμμές σχεδιάζονται (σχ. 1.5γ) έτσι, ώστε εκτός από τη διεύθυνση και φορά να μας δίνουν και το μέτρο της εντάσεως. Δεχόμαστε δηλαδή (συμβατικά) ότι από επιφάνεια με εμβαδό ίσο με τη μονάδα (κάθετη προς τις δυναμικές γραμμές) διέρχονται τόσες δυναμικές γραμμές όσο είναι το μέτρο της εντάσεως του πεδίου. Όπου λοιπόν αυτές είναι ***πυκνότερες*** εκεί και το πεδίο είναι ***ισχυρότερο,*** αντίθετα όπου είναι ***αραιότερες*** εκεί και το πεδίο είναι ***ασθενέστερο.***



Σχ. 1.5β.
Ηλεκτρικό πεδίο με τυχαία ανύσματα.



Σχ. 1.5γ.
α) Δυναμικές γραμμές ηλεκτρικού πεδίου. β) Η έννοια της δυναμικής γραμμής.

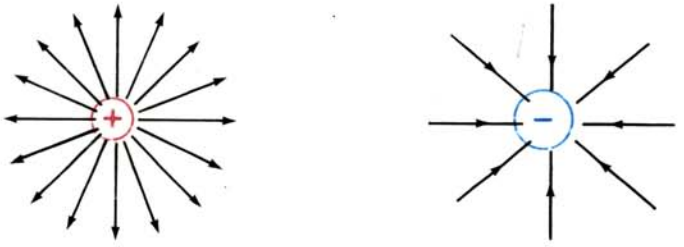
Για να καταλάβομε καλύτερα την έννοια της δυναμικής γραμμής θεωρούμε δυο φορτία +q και $-q_2$ και ένα τρίτο σημειακό φορτίο +q στο σημείο Α. Στο φορτίο +q θα ασκηθεί η συνισταμένη $\vec{F}$ των δυνάμεων $\vec{F}_1$ και $\vec{F}_2$ (δυνάμεις Coulomb) με αποτέλεσμα το φορτίο +q να κινηθεί και να διαγράψει στο χώρο την καμπύλη ΚΑΛ. Αυτήν ακριβώς τη γραμμή ονομάσαμε δυναμική γραμμή.

Παρακάτω σχεδιάζομε το ηλεκτροστατικό πεδίο (το ηλεκτρικό πεδίο που δημιουργείται από ακίνητα ηλεκτρικά φορτία) σαν σύνολο δυναμικών γραμμών σε μερικές περιπτώσεις. Παρατηρούμε ότι οι δυναμικές γραμμές είναι ***ανοικτές*** και έχουν πάντα ***την αρχή τους σε θετικά και το τέλος τους σε αρνητικά φορτία*** (σχ. 1.5δ).

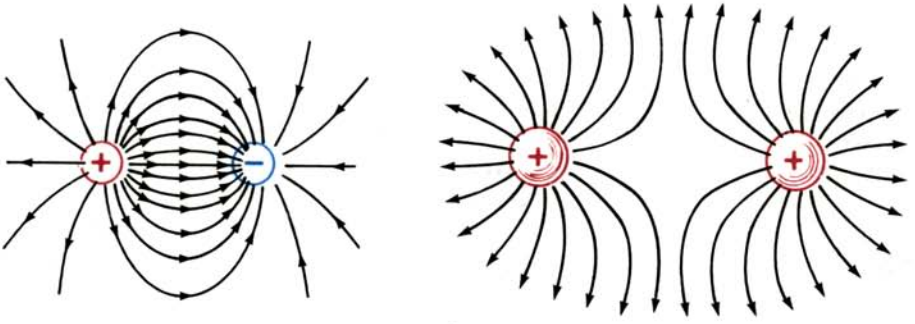
Ένα ηλεκτρικό πεδίο ονομάζεται ***ομογενές*** αν η εντασή του σε όλα τα σημεία του είναι η ίδια. Από τον τρόπο που συμφωνήσαμε να σχεδιάζομε τις δυναμικές γραμμές συμπεραίνομε ότι το ομογενές πεδίο θα πρέπει να το παριστάνομε με δυναμικές γραμμές που να είναι παράλληλες και να ισαπέχουν. Ένα τέτοιο πεδίο σχηματίζεται ανάμεσα σε δυο παράλληλες πλάκες που έχουν ίσα και αντίθετα φορτία (σχ. 1.5ε). Αν το ηλεκτρικό πεδίο δεν είναι ομογενές, ονομάζεται ***ανομοιογενές.***

Πεδίο Coulomb. Έτσι ονομάζεται το πεδίο που παράγεται γύρω από ένα σημειακό φορτίο +q (σχ. 1.5στ). Σύμφωνα με το νόμο του Coulomb αν σε απόσταση α από το q (σημείο Α) θέσομε φορτίο +q, θα ασκηθεί σ' αυτό δύναμη:

$$F = \frac{1}{4\pi\varepsilon\varepsilon_0} \cdot \frac{q.q_1}{\alpha^2}$$



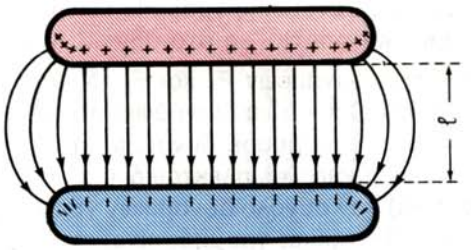
α



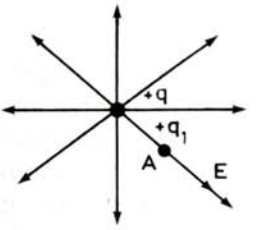
β

Σχ. 1.5δ.

α) Διάταξη των δυναμικών γραμμών γύρω από φορτισμένη (θετικά ή αρνητικά) σφαίρα. β) Οι δυναμικές γραμμές του πεδίου γύρω από δυο ετερώνυμα ή ομώνυμα φορτισμένα σφαιρίδια.



Σχ. 1.5ε.
Ομογενές Ηλεκτρικό πεδίο.



Σχ. 1.5στ.
Το ηλεκτρικό πεδίο Coulomb.

Άρα $$E_A = \frac{F}{q} = \frac{1}{4\pi\varepsilon\varepsilon_0} \frac{q}{q^2}$$

Αν το ηλεκτρικό πεδίο στο σημείο Α οφείλεται στη παρουσία πολλών σημειακών φορτίων q, q΄, q΄΄ . . ., τότε η ένταση του $\vec{E}_A$ βρίσκεται, αν συνθέσομε όλες τις εντάσεις $\vec{E}_1$, $\vec{E}_2$,. . . που κάθε φορτίο δημιουργεί στο σημείο Α δηλαδή:

$$\vec{E}_A = \vec{E}_1 + \vec{E}_2 \; 5 \; . \; . \; . + \vec{E}_n$$

1.6 Διαχωρισμός ηλεκτρικών φορτίων (Ηλέκτριση των σωμάτων).

α) Ηλέκτριση με τριβή.

Όταν προστρίβομε δυο διαφορετικά σώματα, τότε τα σώματα έρχονται σε πολύ στενή επαφή μεταξύ τους. Εύκολα μπορούμε να διαπιστώσομε ότι τα δυο σώματα αποκτούν ίσα και αντίθετα ηλεκτρικά φορτία. Αυτό συμβαίνει, γιατί ηλεκτρόνια φεύγουν από το ένα σώμα και πηγαίνουν στο άλλο με αποτέλεσμα να εμφανίζεται το ένα σώμα θετικά και το άλλο αρνητικά φορτισμένο.

β) Ηλέκτριση με επίδραση (ηλεκτροστατική επαγωγή).

Αν αγωγός βρεθεί μέσα σε ηλεκτρικό πεδίο $\vec{E}$, τότε στα ελεύθερα ηλεκτρόνιά του θα εξασκηθεί δύναμη:

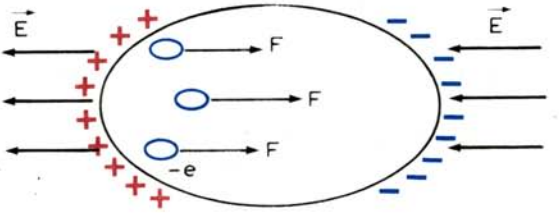
$$\vec{F} = -e \; . \; \vec{E}$$

που θα έχει σαν αποτέλεσμα την μετακίνηση των ηλεκτρονίων (αντίθετα της $\vec{E}$ σύμφωνα με τον ορισμό της εντάσεως) (σχ. 1.6α). Έτσι το ένα άκρο του αγωγού εμφανίζεται αρνητικά φορτισμένο και το άλλο θετικά. Η εμφάνιση ίσων και αντιθέτων φορτίων στα άκρα αγωγού που βρίσκεται μέσα σε ηλεκτρικό πεδίο ονομάζεται ***ηλεκτροστατική επαγωγή.***

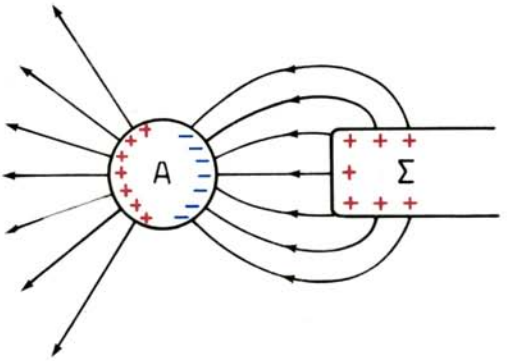
Εύκολα τώρα μπορούμε να εξηγήσομε γιατί ανάμεσα σε ένα φορτισμένο σώμα Σ και σε ένα ουδέτερο αγωγό Α, (σχ. 1.6β), παρουσιάζεται πάντα έλξη, ανεξάρτητα από το φορτίο του σώματος Σ.

γ) Ηλέκτριση με επαφή.

Αν θετικά φορτισμένο σώμα Α έλθει σε επαφή με ουδέτερο αγωγό Β, τότε



Σχ. 1.6α.
Ηλέκτριση με επίδραση.

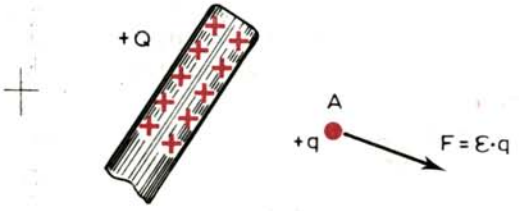


Σχ. 1.6β.
Μεταξύ φορτισμένου και ουδέτερου σώματος παρατηρείται έλξη.

ένα μέρος των ελευθέρων ηλεκτρονίων του Β έρχεται στο Α και έτσι ο αγωγός Β παρουσιάζεται θετικά φορτισμένος. Αντίθετα αν το Α είναι αρνητικά φορτισμένο και έλθει σε επαφή με τον Β, τότε ένα μέρος από τα ηλεκτρόνια του Α έρχονται στον Β και έτσι ο αγωγός Β φορτίζεται αρνητικά.

1.7 Η έννοια του δυναμικού. Διαφορά δυναμικού ή τάση.

Αν σε ένα σημείο Α ενός ηλεκτρικού πεδίου φέρομε το φορτίο +q (σχ. 1.7α), θα εξασκηθεί σ' αυτό δύναμη $\vec{F}$ που θα μετακινήσει το φορτίο από το σημείο Α μέχρι το άπειρο, δηλαδή μέχρι την περιοχή του χώρου που η



Σχ. 1.7α.
Η έννοια των δυναμικού του πεδίου.

ένταση του πεδίου (άρα και η δύναμη) θα γίνει μηδέν. (Γιατί η $F + k \frac{Q \cdot q}{a^2}$ θα γίνει μηδέν όταν $a \to \infty$). Κατά τη μετακίνηση όμως αυτή του φορτίου q παράγεται έργο : $W_{A \cdot \infty}$. ***Δυναμικό U_A του πεδίου στο σημείο Α ονομάζεται το πηλίκο του έργου που παράγεται κατά τη μετακίνηση του φορτίου +q, από το σημείο Α μέχρι το άπειρο δια του φορτίου q:***

$$U = \frac{W_{A \cdot \infty}}{+q} \qquad (1)$$

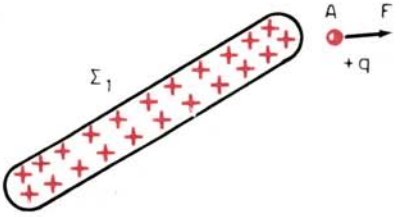
Το ηλεκτρικό πεδίο αρχίζει από τα σημεία της επιφάνειας του αγωγού, όπου το φορτίο Q βρίσκεται σε ισορροπία. Γι' αυτό ισχύει ο εξής ορισμός:

Δυναμικό ενός ηλεκτρισμένου αγωγού ονομάζεται το πηλίκο του έργου που παράγεται κατά τη μετακίνηση του φορτίου +q από την επιφάνεια του αγωγού μέχρι το άπειρο δια του φορτίου q.

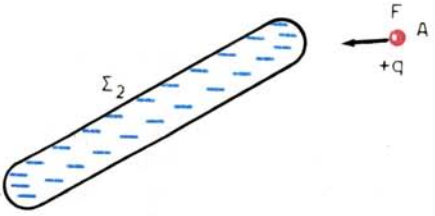
Το δυναμικό του ηλεκτρικού πεδίου είναι μέγεθος αλγεβρικό και αυτό μπορούμε να το αποδείξομε με τον ακόλουθο τρόπο:

Ας θεωρήσομε (σχ. 1.7β) ότι το ηλεκτρικό πεδίο δημιουργείται από το θετικά φορτισμένο σώμα Σ_1.

Η δύναμη $\vec{F}$ που ασκείται στο φορτίο +q παράγει έργο κατά τη μεταφορά του από το σημείο Α μέχρι το άπειρο, δηλαδή θα είναι $W_{A,\infty} > 0$ άρα και $U_A > 0$.



Σχ. 1.7β.
Σε θετικό φορτίο αντιστοιχεί θετικό δυναμικό.



Σχ. 1.7γ.
Σε αρνητικό φορτίο αντιστοιχεί αρνητικό δυναμικό.

Αν όμως το σώμα Σ_2 που δημιουργεί το ηλεκτρικό πεδίο, είναι αρνητικά φορτισμένο, τότε η δύναμη $\vec{F}$ καταναλίσκει έργο, δηλαδή $W_{A,\infty} < 0$ άρα και $U_A < 0$. Δηλαδή ***το δυναμικό στα διάφορα σημεία του πεδίου είναι θετικό όταν το πεδίο δημιουργείται από θετικά φορτία και αρνητικό όταν το πεδίο δημιουργείται από αρνητικά φορτία*** (σχ. 1.7γ).

Για το ***χρονικά αμετάβλητο ηλεκτρικό πεδίο*** (αυτό που ονομάσαμε ηλεκτροστατικό πεδίο) ισχύει η ακόλουθη πρόταση: ***Το έργο που παράγεται κατά τη μετακίνηση ηλεκτρικού φορτίου, είναι ανεξάρτητο της τροχιάς που θα ακολουθήσει το φορτίο.***

Διαφορά δυναμικού ή τάση μεταξύ δυο σημείων (ή αγωγών) Α και Β ονομάζεται η διαφορά των δυναμικών των δυο σημείων:

$$U_{AB} = U_A - U_B$$

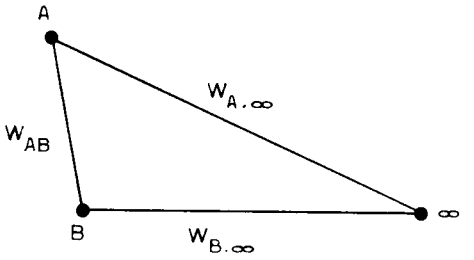
Επειδή το έργο είναι ανεξάρτητο της τροχιάς (σχ. 1.7δ), θα έχομε:

$$W_{A,B} = W_{A,\infty} + W_{\infty,B} = W_{A,\infty} - W_{B,\infty} \qquad \text{άρα}$$

$$U_{AB} = U_A - U_B = \frac{W_{A,\infty}}{q} - \frac{W_{B,\infty}}{q} = \frac{1}{q}(W_{A,\infty} - W_{B,\infty})$$

δηλαδή:

$$U_{AB} = \frac{W_{AB}}{q} \qquad (2)$$



Σχ. 1.7δ.

Δηλαδή: ***Η διαφορά δυναμικού U_{AB} μεταξύ δυο σημείων Α και Β είναι ίση με το πηλίκο του έργου που παράγεται κατά τη μετακίνηση του φορτίου q από το Α στο Β δια του φορτίου q.***

Η πρακτική μονάδα τάσεως ορίζεται από τη σχέση (2) και ονομάζεται Volt. ***Έτσι 1 Volt είναι η τάση ανάμεσα σε δυο σημεία Α και Β, όταν παράγεται έργο 1 Joule, αν μεταφέρομε από το Α στο Β φορτίο 1 Cb:***

$$1\ V = \frac{1\ \text{Joule}}{1\ \text{Cb}}$$

Επίσης από τη σχέση (2) προκύπτει ότι:

$$W_{AB} = q(U_A - U_B) \qquad (3)$$

Η σχέση (3) μας επιτρέπει να υπολογίζομε το έργο που παράγεται κατά τη μεταφορά φορτίου q μεταξύ δυο σημείων που παρουσιάζουν γνωστή διαφορά δυναμικού.

Από τη σχέση (3) ορίζεται μία νέα μονάδα έργου που ονομάζεται ***ηλεκτρονιοβόλτ*** (1 eV). Αυτό είναι το έργο που παράγεται κατά τη μετακίνηση του φορτίου του ***ηλεκτρονίου*** μεταξύ δυο σημείων που παρουσιάζουν διαφορά δυναμικού 1 Volt.

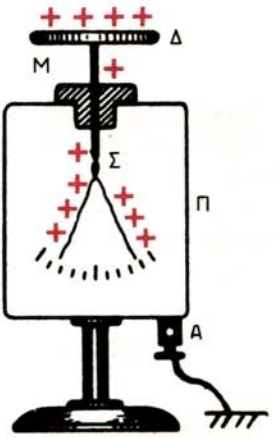
Επειδή στην εξέταση των διαφόρων φαινομένων του Ηλεκτρισμού χρησιμοποιούμε πάντοτε διαφορές δυναμικού (και όχι τις απόλυτες τιμές δυναμικού), γι' αυτό μας είναι αδιάφορο σε ποιο σημείο του πεδίου θα δεχθούμε το δυναμικό μηδέν.

Έτσι στις πρακτικές εφαρμογές, λαμβάνεται σαν στάθμη μηδενικού δυναμικού το δυναμικό της Γης και ως προς αυτό αναφέρομε στη συνέχεια το δυναμικό των διαφόρων σημείων ή σωμάτων. Όταν αγωγός συνδέεται με τη Γη, έχει πάντοτε το δυναμικό της γης και λέμε ότι ο αγωγός είναι ***προσγειωμένος.***

1.8 Ηλεκτροσκόπιο.

Αποτελείται (σχ. 1.8) από μεταλλικό περίβλημα Π, στο εσωτερικό του οποίου υπάρχει μεταλλικό στέλεχος Σ (που είναι μονωμένο από το Π με το μονωτικό Μ). Το εξωτερικό του άκρο καταλήγει σε δίσκο Δ, ενώ το εσωτερικό του σε δυο ελαφρά μεταλλικά φύλλα. Ο ακροδέκτης Α, κατά τα διάφορα πειράματα, συνδέεται με τη Γη.

Όταν φέρομε ηλεκτρισμένο σώμα (π.χ. θετικά) σε επαφή με το δίσκο Δ, ο δίσκος, το στέλεχος Σ και τα μεταλλικά φύλλα ηλεκτρίζονται. Τα ομώνυμα φορτισμένα φύλλα τότε απωθούνται και σχηματίζουν γωνία που είναι τόσο μεγαλύτερη όσο μεγαλύτερο είναι το φορτίο. Επειδή όμως το δυναμικό αγωγού είναι ανάλογο του φορτίου του, μπορούμε με το ηλεκτροσκόπιο να μετρήσομε και το δυναμικό ενός σώματος, αφού προηγουμένως το βαθμολογήσομε. Το όργανο τότε ονομάζεται ***ηλεκτρόμετρο.***



Σχ. 1.8.
Το ηλεκτροσκόπιο.

1.9 Ηλεκτρική ροή. Νόμος της ηλεκτρικής ροής.

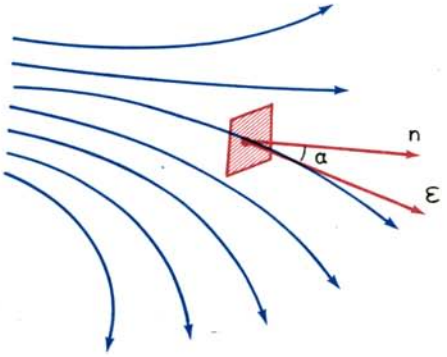
Ας θεωρήσομε ότι μέσα σε ηλεκτρικό πεδίο (σχ. 1.9α) βρίσκεται η στοιχειώδης επιφάνεια ΔS. Αν η κάθετος $\vec{n}$ στην επιφάνεια σχηματίζει με την ένταση $\vec{E}$ του πεδίου τη γωνία α, τότε ορίζομε σαν ηλεκτρική ροή ΔΦ (που διέρχεται από την επιφάνεια ΔS) το γινόμενο:

$$\Delta\Phi = E.\Delta S.\sigma\upsilon\nu\alpha$$

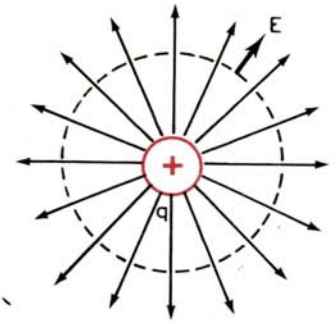
Η ηλεκτρική ροή Φ που διέρχεται από επιφάνεια S βρίσκεται αν αθροίσομε όλες τις στοιχειώδεις ροές ΔΦ που διέρχονται από τα αντίστοιχα στοιχειώδη τμήματα ΔS που αποτελούν την επιφάνεια S. Δηλαδή:

$$\Phi = \Sigma\Delta\Phi = \Sigma E\Delta S\sigma\upsilon\nu\alpha$$

Για το ομογενές ηλεκτρικό πεδίο (Ε = σταθ.) και για επίπεδη επιφάνεια (συνα = σταθ.) θα έχομε:



Σχ. 1.9α.
Η έννοια της ηλεκτρικής ροής.



Σχ. 1.9β.
Η ηλεκτρική ροή σφαιρικής επιφάνειας.

$$\Phi = E\sigma\upsilon\nu\alpha\Sigma\Delta \text{ και} \qquad \text{επειδή } \Sigma\Delta S = S \rightarrow F = ES\sigma\upsilon\nu\alpha \tag{1}$$

Επειδή η ένταση Ε παριστάνει τον αριθμό των δυναμικών γραμμών που διέρχονται από τη μονάδα της επιφάνειας, συμπεραίνομε ότι ***η ηλεκτρική ροή παριστάνει το συνολικό αριθμό των δυναμικών γραμμών που διέρχονται από όλη την επιφάνεια S.***

Ας θεωρήσομε σφαιρική επιφάνεια ακτίνας α (σχ. 1.9β) που στο κέντρο της βρίσκεται το σημειακό φορτίο +q. Η ηλεκτρική ροή που διέρχεται από τη σφαιρική επιφάνεια θα είναι ίση με:

$$\Phi = ES\sigma\upsilon\nu\alpha = ES = \frac{1}{4\pi\varepsilon\varepsilon_0}\,\frac{q}{\alpha^2}\,4\pi\alpha^2$$

$$\rightarrow \Phi = \frac{Q}{\varepsilon\varepsilon_0} \tag{2}$$

Η σχέση (2) αποτελεί τη μαθηματική έκφραση του νόμου του Gauss:
Η ηλεκτρική ροή (αποτέλεσμα) είναι ανάλογη του ηλεκτρικού φορτίου που τη δημιουργεί (αίτιο).

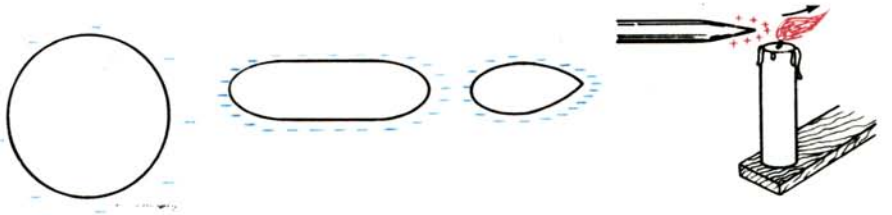
1.10 Επιφανειακή πυκνότητα φορτίου. Συσσώρευση φορτίων.

Ας θεωρήσομε γύρω από ένα σημείο Α της επιφάνειας φορτισμένου αγωγού μικρό τμήμα εμβαδού ΔS. Αν Δq είναι το φορτίο που βρίσκεται στην επιφάνεια ΔS, ονομάζομε ***επιφανειακή πυκνότητα φορτίου*** στο σημείο Α το πηλίκο:

$$\sigma = \frac{\Delta q}{\Delta S}$$

Όταν η κατανομή του φορτίου είναι ομοιόμορφη (σφαιρικός αγωγός ή επίπεδος) η επιφανειακή πυκνότητα είναι σταθερή και μπορούμε να γράψομε:

$$\sigma = \frac{q}{S}$$



Σχ. 1.10.
Επιφανειακή πυκνότητα και συσσώρευση φορτίων.

Πειραματικές έρευνες έδειξαν ότι η κατανομή του φορτίου, άρα και η επιφανειακή πυκνότητα, εξαρτάται από τη μορφή του αγωγού (σχ. 1.10).

Όταν ο αγωγός παρουσιάζει οξύ σημείο (π.χ. ακίδα) στη περιοχή αυτή, η επιφανειακή πυκνότητα παρουσιάζει τη μέγιστη τιμή, γιατί το άκρο της ακίδας αποτελεί περιοχή μέγιστης καμπυλότητας. Αν μάλιστα κοντά στην ακίδα φορτισμένου αγωγού πλησιάσομε φλόγα, παρατηρούμε ότι δημιουργείται ***φύσημα*** που μπορεί να σβήσει τη φλόγα. (Η συγκέντρωση του φορτίου στην ακίδα είναι τόσο μεγάλη ώστε το φορτίο να εγκαταλείπει την ακίδα).

1.11 Ηλεκτροστατική μελέτη φορτισμένου αγωγού.

α) Στο εσωτερικό φορτισμένου αγωγού (συμπαγής ή κοίλος) δεν μπορεί να παραμείνει κανένα φορτίο.

Αν στο εσωτερικό αγωγού (σχ. 1.11α) φέρομε ηλεκτρικά φορτία, αυτά απωθούνται μεταξύ τους, εξέρχονται και κατανέμονται στην εξωτερική επιφάνεια του αγωγού. Στην εξωτερική επιφάνεια δεν κατανέμονται μόνο φορτία που φέρνομε σ' αυτούς, αλλά και όσα αναπτύσσονται με ηλεκτρική επίδραση.

β) Η ένταση του ηλεκτρικού πεδίου στο εσωτερικό φορτισμένου αγωγού είναι μηδέν.

Αν υπήρχε ηλεκτρικό πεδίο θα υπήρχαν και δυναμικές γραμμές που το ένα άκρο τους θα έπρεπε να βρίσκεται στην εξωτερική επιφάνεια του αγωγού, όπου έχουν κατανεμηθεί τα ηλεκτρικά φορτία, και το άλλο άκρο τους θα έπρεπε να καταλήγει σε ετερώνυμα φορτία στο εσωτερικό του αγωγού. Αυτό όμως βρίσκεται σε αντίθεση με την πρώτη πρόταση.

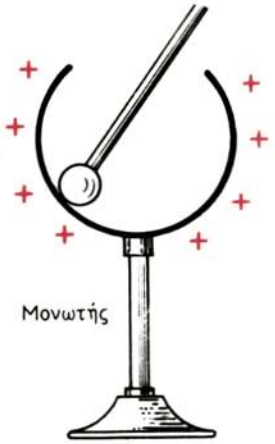
Την ιδιότητα αυτή εκμεταλλευόμαστε για να προφυλάξομε χώρους από ανεπιθύμητα εξωτερικά ηλεκτρικά πεδία. (Ηλεκτρική θωράκιση). Αυτό γίνεται αν περιβάλλομε το χώρο με μεταλλικό πλέγμα (κλωβός του Faraday).

Για να αποδείξομε πειραματικά τα παραπάνω τοποθετούμε μέσα στον κλωβό ένα ηλεκτρικό εκκρεμές και πλησιάζομε μια φορτισμένη ράβδο, οπότε παρατηρούμε ότι το εκκρεμές δεν παρουσιάζει καμιά απόκλιση (σχ. 1.11β).

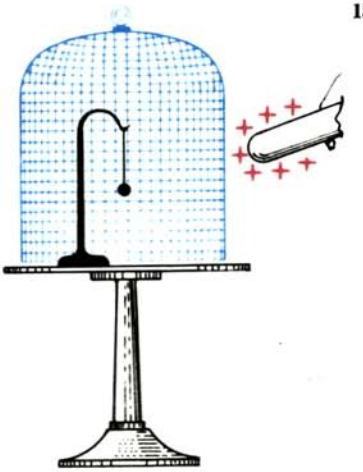
γ) Όλα τα σημεία του εσωτερικού και της επιφάνειας αγωγού έχουν το ίδιο δυναμικό.

Αυτό προκύπτει από τη σχέση $E = \Delta U/\Delta l$ αν θέσομε $E = 0$ οπότε και $\Delta U = 0$ άρα $U = \sigma\tau\alpha\theta$. Συμπεραίνομε λοιπόν ότι η επιφάνεια του αγωγού είναι ισοδυναμική επιφάνεια.

ΔΡΥΜΑ ΣΥΓΓΡΑΦΕΩΝ 1954



Σχ. 1.11α.
Στο εσωτερικό αγωγού δεν μπορεί να παραμείνουν φορτία.



Σχ. 1.11β.
Ο κλωβός του Faraday.

δ) Το άνυσμα της εντάσεως του πεδίου, που σχηματίζεται γύρω από αγωγό, είναι κάθετο στην εξωτερική του επιφάνεια.

Αυτό είναι φανερό, αφού η εξωτερική επιφάνεια του αγωγού είναι ισοδυναμική επιφάνεια.

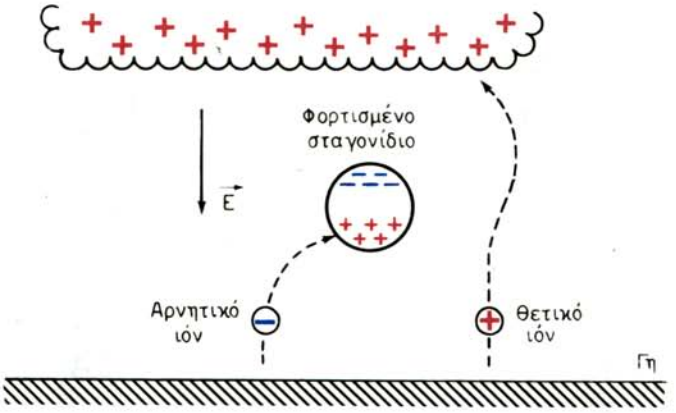
1.12 Ηλεκτρική εκκένωση. Αλεξικέραυνο.

Όταν πλησιάσομε τις ακίδες δυο σωμάτων, τα οποία έχουν φορτισθεί με μεγάλη ποσότητα αντίθετων ηλεκτρικών φορτίων (παρουσιάζουν διαφορά δυναμικού 500V – 10kV), παρατηρούμε ότι μεταξύ των ακίδων εμφανίζεται σπινθήρας (αγωγιμότητα στον αέρα). Το φαινόμενο αυτό ονομάζεται ***ηλεκτρική εκκένωση*** και οφείλεται στο ισχυρό ηλεκτρικό πεδίο που αναπτύσσεται μεταξύ των ακίδων λόγω της μεγάλης διαφοράς δυναμικού και της μικρής επιφάνειας των ακίδων (βλ. παράγραφο 1.10). Η απόσταση των ακίδων που παρατηρείται ο σπινθήρας είναι ανάλογη της διαφοράς δυναμικού, μεταξύ των σωμάτων και ελαττώνεται όσο αυξάνεται η ατμοσφαιρική πίεση. Το φαινόμενο αυτό εφαρμόζεται στους ***σπινθηριστές*** (μπουζί) που χρησιμοποιούνται στους κινητήρες βενζίνας και υγραερίου για την ανάφλεξη του μίγματος αέρα - βενζίνης.

Σε παρόμοιο αίτιο οφείλονται και ***οι ατμοσφαιρικές ηλεκτρικές εκκενώσεις (κεραυνοί).***

Από μετρήσεις έχει αποδειχθεί ότι η γη περιβάλλεται από ηλεκτρικό πεδίο, του οποίου οι δυναμικές γραμμές είναι κατακόρυφες με φορά προς το έδαφος. Η ύπαρξη του πεδίου αυτού σημαίνει ότι στο έδαφος υπάρχει περίσσεια αρνητικών φορτίων και στο χώρο της ατμόσφαιρας υπάρχει περίσσεια θετικών φορτίων.

Η ένταση του ηλεκτρικού πεδίου της γης ελαττώνεται όσο αυξάνεται το ύψος. Έτσι στην επιφάνεια της θάλασσας είναι $E = 130$ V/m, και σε ύψος 15 km περίπου μηδενίζεται.



Σχ. 1.12.
Μηχανισμός φορτίσεως των σταγόνων της βροχής.

Επίσης:

– Η χωρητικότητα της γης είναι: C = 708 μF.

– Το ηλεκτρικό φορτίο της είναι: q = 0,586 . 10^{-6} Cb

– Το απόλυτο δυναμικό της (ως προς τα πολύ μακρυνά ουράνια σώματα, είναι: U = 827,7 MV.

Κάθε σταγονίδιο νερού που αιωρείται στην ατμόσφαιρα φορτίζεται λόγω του ηλεκτρικού πεδίου της γης (σχ. 1.12). Κατά τη βροχόπτωση είναι δυνατό να συναντήσουν ιόντα, ειδικά κατά τις θερμές χρονικές περιόδους, οπότε τα αρνητικά ιόντα έλκονται από τα φορτισμένα σταγονίδια, ενώ τα θετικά απωθούνται. Έτσι, τα αρνητικά φορτισμένα σταγονίδια κατά την πτώση τους φορτίζουν το έδαφος αρνητικά. Έτσι στην ατμόσφαιρα υπερτερούν τα θετικά ιόντα.

Όμως λόγω αυτής της φορτίσεως, τα νέφη σε ορισμένες εκτάσεις αποτελούνται από σταγονίδια φορτισμένα θετικά και σε άλλες από σταγονίδια φορτισμένα αρνητικά. Όταν οι διαφορές φορτίων στα νέφη είναι μεγάλες (μεγάλες διαφορές δυναμικού) και οι αποστάσεις μεταξύ περιοχών είναι μικρές, παρατηρούνται ατμοσφαιρικές ηλεκτρικές εκκενώσεις (κεραυνοί - αστραπές).

Τα φορτία που βρίσκονται στις κατώτερες περιοχές στα νέφη, επάγουν στο έδαφος ίσα και αντίθετα φορτία, με αποτέλεσμα μεταξύ εδάφους και νέφους να δημιουργείται ισχυρό ηλεκτρικό πεδίο. Ο κεραυνός δημιουργείται όταν (ανάλογα με τη διαφορά φορτίων σε συνάρτηση με το ύψος του νέφους), η ένταση του ηλεκτρικού πεδίου γίνει μεγαλύτερη από μια ορισμένη τιμή. Η διαφορά δυναμικού που αναπτύσσεται πριν ακριβώς από τη δημιουργία του κεραυνού, αυξάνεται περίπου ανάλογα με το τετράγωνο του ύψους των νεφών και κυμαίνεται από 100 – 1000 MV. Το ρεύμα που διαρρέει τη φωτεινή φλέβα είναι της τάξεως των 20.000Α. Γι' αυτό οι κεραυνοί είναι τόσο επικίνδυνοι.

Η προστασία των κτιρίων από κεραυνούς επιτυγχάνεται με τα αλεξικέραυνα. Αυτά είναι δυο ειδών:

α) Αλεξικέραυνο τύπου κλωβού. Αποτελείται από μεταλλικές ταινίες μεγά-

λης διατομής που προσαρμόζονται στην εξωτερική επιφάνεια των κτιρίων (κυρίως της στέγης) και συνδέονται με αγωγό μεγάλης διατομής στο υγρό έδαφος. Έτσι, το κτίριο περιβάλλεται από ένα προστατευτικό κλωβό Faraday.

β) Αλεξικέραυνο τύπου ακίδας. Αποτελείται από χάλκινη ράβδο που καταλήγει σε ακίδα. Η ράβδος στερεώνεται κατακόρυφα στη στέγη, με την ακίδα προς τα επάνω και συνδέεται με αγωγό μεγάλης διατομής με πλακίδα από μόλυβδο μεγάλης επιφάνειας, τα οποία είναι θαμμένα βαθιά στο έδαφος. Όπως είδαμε στην παράγραφο 1.10, τα φορτία που επάγονται από φορτισμένο σύννεφο, συγκετρώνονται στην ακίδα, όπου αναπτύσσεται πολύ ισχυρό ηλεκτρικό πεδίο που προκαλεί την εκκένωση, κάνοντας έτσι τον γύρω αέρα αγώγιμο. Μέσα από τον αγώγιμο αέρα και το αλεξικέραυνο τα φορτία του σύννεφου διοχετεύονται στη γη, χωρίς δυσάρεστα αποτελέσματα.

Όταν πέσει κεραυνός σε σπίτι χωρίς αλεξικέραυνο, τα φορτία κινούνται μέσα από αγώγιμες εγκαταστάσεις (δίκτυο νερού, καλοριφέρ, καπνοδόχοι, κεραίες). Επειδή η αγωγιμότητα των εγκαταστάσεων αυτών, είτε λόγω διατομής είτε λόγω φθοράς; είναι ανεπαρκής για τη διοχέτευση όλων των φορτίων στη γη, πρέπει κατά τη διάρκεια καταιγίδων να απομακρυνόμαστε από τις εγκαταστάσεις αυτές.

1.13 Χωρητικότητα αγωγού.

Αν το φορτίο αγωγού γίνει διαδοχικά q, 2q, 3q, . ., τότε με το ηλεκτρόμετρο βρίσκομε ότι το δυναμικό του γίνεται U, 2U, 3U. . , δηλαδή το πηλίκο του φορτίου ενός αγωγού δια του δυναμικού του είναι σταθερό. Το σταθερό αυτό πηλίκο ονομάζομε ***χωρητικότητα C του αγωγού:***

$$c = \frac{q}{U}$$

Κάθε αγωγός έχει δική του χωρητικότητα. Η πρακτική μονάδα χωρητικότητας ονομάζεται ***Farad*** και είναι η ***χωρητικότητα αγωγού που αποκτά δυναμικό 1 V όταν φορτισθεί με φορτίο 1 Cb:***

$$1 \text{ Farad} = 1 \text{ F} = 1 \text{ Cb/V}.$$

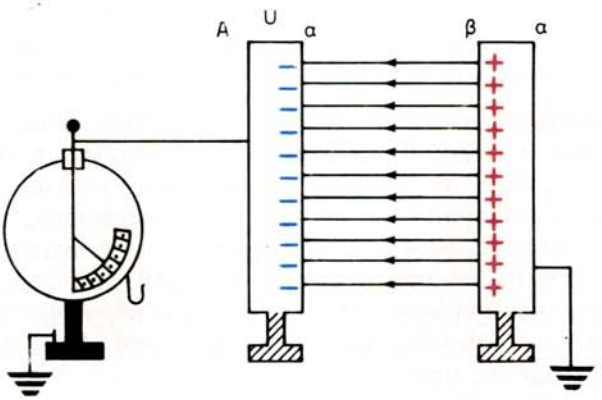
Χρησιμοποιούνται επίσης τα υποπολλαπλάσια του Farad δηλαδή 1 mF = 10^{-3}F, 1 μF = $^{-6}$F, 1 mμF ή nF = 10^{-9} F (νανοφαράντ) και 1 μμF ή PF = 10^{-12} F (πικοφαράντ).

Η χωρητικότητα σφαιρικού αγωγού θα είναι:

$$C = \frac{q}{U} = 4\pi\varepsilon\varepsilon_0 R$$

1.14 Πυκνωτές.

Ας θεωρήσομε επίπεδη μεταλλική πλάκα Α (σχ. 1.14) που είναι μονωμένη και φορτισμένη με φορτίο –q. Συνδέομε την πλάκα με ηλεκτρόμετρο και βρίσκομε



Σχ. 1.14.
Απλή διάταξη πυκνωτή.

ότι το δυναμικό της είναι U. Πλησιάζομε στην πλάκα Α μία άλλη όμοια πλάκα Β που είναι προσγειωμένη. Παρατηρούμε τότε με το ηλεκτρόμετρο, ότι η παρουσία της πλάκας Β προκαλεί ελάττωση του δυναμικού της Α, που σημαίνει ότι η χωρητικότητα της Α (C = q/U) αυξήθηκε. Άρα η ***χωρητικότητα φορτισμένου αγωγού αυξάνεται αν πλησιάσομε στον αγωγό άλλο προσγειωμένο αγωγό.***

Το σύστημα των δυο αγωγών ονομάζεται ***πυκνωτής.*** Οι δυο αγωγοί ονομάζονται ***οπλισμοί*** του πυκνωτή. Η απόσταση των οπλισμών ονομάζεται ***πάχος*** του πυκνωτή. Το μονωτικό υλικό που παρεμβάλλεται μεταξύ των οπλισμών (αέρας, χαρτί, γυαλί, μίκα, παραφινέλαιο κλπ.) ονομάζεται ***διηλεκτρικό*** του πυκνωτή.

Η πλάκα Β ηλεκτρίζεται με επαγωγή. Το ένα άκρο της αποκτά θετικά φορτία και το άλλο αρνητικά. Τα αρνητικά φορτία διαφεύγουν στο έδαφος και έτσι η πλάκα Β παραμένει θετικά φορτισμένη. Μεταξύ των δυό πλακών σχηματίζεται ομογενές ηλεκτρικό πεδίο.

Το συνολικό φορτίο των δυο οπλισμών του πυκνωτή είναι ίσο με μηδέν. Κατά τη μελέτη των διαφόρων θεμάτων που αναφέρονται στους πυκνωτές, θα ονομάζομε φορτίο πυκνωτή το φορτίο του ενός οπλισμού.

Ο προσγειωμένος οπλισμός Β του πυκνωτή έχει δυναμικό μηδέν και ο οπλισμός Α έχει δυναμικό U. Έτσι μεταξύ των δυο οπλισμών υπάρχει διαφορά δυναμικού U. ***Χωρητικότητα πυκνωτή ονομάζομε το σταθερό πηλίκο του ηλεκτρικού φορτίου q δια της τάσεως U που υπάρχει μεταξύ των οπλισμών του:***

$$C = \frac{q}{U} \qquad (1)$$

Διηλεκτρική σταθερά. Ας συμβολίσομε με C_0 τη χωρητικότητα πυκνωτή, αν μεταξύ των οπλισμών του υπάρχει αέρας. Από τα πειράματα αποδεικνύεται ότι, αν μεταξύ των οπλισμών του πυκνωτή θέσομε ένα διηλεκτρικό, τότε η χωρητικότητά του αυξάνεται και γίνεται C. Το σταθερό πηλίκο:

$$\varepsilon = \frac{C}{C_0}$$

ονομάζομε ***σχετική διηλεκτρική σταθερά ε του διηλεκτρικού*** (καθαρός αριθμός) και είναι αυτή ακριβώς που γνωρίσαμε στο νόμο του Coulomb.

Η διηλεκτρική σταθερά, για ορισμένη θερμοκρασία, εξαρτάται μόνο από το διηλεκτρικό και είναι ανεξάρτητη της καταστάσεως φορτίσεως και των γεωμετρικών στοιχείων του πυκνωτή.

Σχετικές διηλεκτρικές σταθερές

Κενό 1,00000	Καουτσούκ 2,4	Πετρέλαιο 2,1
Υδρογόνο 1,00022	Κολοφώνιο 2,6	Βενζόλιο 2,3
Οξυγόνο 1,00055	Ήλεκτρο 2,8	Ακετόνη 21,5
Αέρας (ξηρός) 1,00059	Πορσελάνη 4 έως 5	Νιτροβενζόλιο 36
Ξύλο ..... 1 έως 7	Μαρμαρυγίας 4	Γλυκερίνη 56
Χάρτης (ξηρός) ..... 1,5 έως 2,6	έως 8	Νερό 81
	Γυαλί ..... 2 έως 16	Κεραμεικές μάζες ,,,,,,,, 100
Παραφίνη ..... 2 έως 2,3	Μάρμαρο 8,5	

1.15 Επίπεδος πυκνωτής.

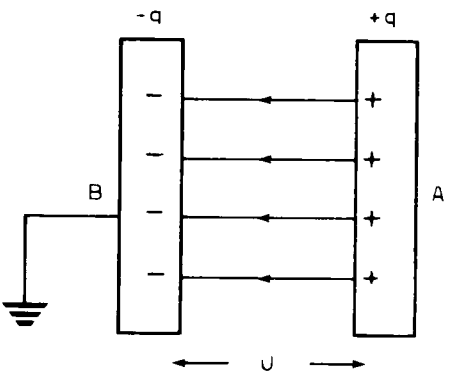
Αποτελείται από δυο επίπεδους και παράλληλους οπλισμούς (σχ. 1.15). Το εμβαδό της επιφάνειας κάθε οπλισμού είναι S και η απόσταση των δυο οπλισμών είναι *l*. Το ομογενές ηλεκτρικό πεδίο που σχηματίζεται μεταξύ των οπλισμών είναι:

$$E = \frac{U}{l}$$

Από την επιφάνεια S της πλάκας Α διέρχεται ηλεκτρική ροή:

$$\Phi = E \cdot S = \frac{U}{l} \cdot S \qquad (1)$$

Από την επιφάνεια S διέρχεται όλη η ροή Φ που παράγει το ηλεκτρικό φορτίο



Σχ. 1.15.
Ο επίπεδος πυκνωτής.

q της πλάκας Α. Συμφωνα με το νόμο της ηλεκτρικής ροής θα είναι:

$$\Phi = \frac{q}{\varepsilon\varepsilon_0} \qquad (2)$$

Από τις σχέσεις (1) και (2), σε συνδυασμό με τη σχέση C = q/u, λαμβάνομε:

$$C = \varepsilon\varepsilon_0 \frac{S}{l}$$

$$\left(C \rightarrow \text{Farad},\ S \rightarrow m^2,\ il \rightarrow m \ \text{και}\ \varepsilon^0 = 8{,}85 \cdot 10^{-12}\ \frac{\text{Farad}}{m}\right)$$

1.16 Συνδεσμολογία πυκνωτών.

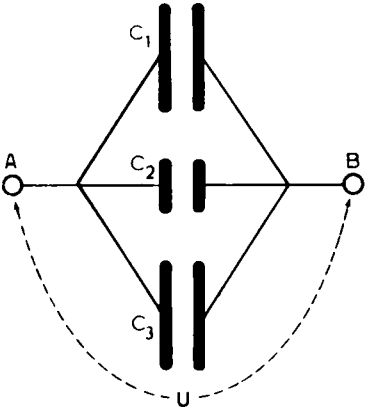
α) Παράλληλη σύνδεση.

Στα άκρα Α και Β των πυκνωτών (σχ. 1.16α) υπάρχει η ίδια τάση U. Τα φορτία των τριών πυκνωτών είναι ίσα με $q_1 = C_1 U$, $q_2 = C_2 U$, $q_3 = C_3 U$.

Επειδή είναι $q_{ολ} = q_1 + q_2 + q_3$ θα έχομε:

$$C_{ολ} = \frac{q_{ολ}}{U} = \frac{q_1 + q_2 + q_2}{U}$$

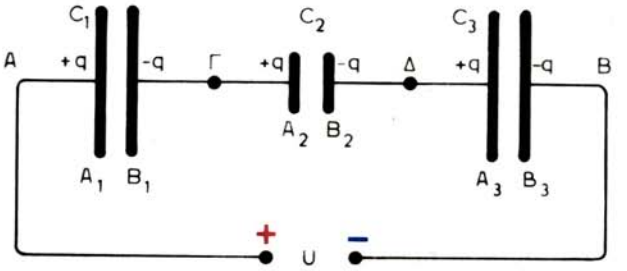
δηλαδή: $$C_{ολ} = C_1 + C_2 + C_3$$



Σχ. 1.16α.
Παράλληλη σύνδεση πυκνωτών.

β) Σύνδεση σε σειρά.

Και οι τρεις πυκνωτές (σχ. 1.16β) θα έχουν το ίδιο φορτίο q. Γιατί αν ο οπλισμός Α φορτισθεί με φορτίο +q εμφανίζεται με επαγωγή στον οπλισμό Β φορτίο –q. Οι οπλισμοί όμως Β και Α στην αρχή είχαν φορτίο μηδέν. Θα πρέπει



Σχ. 1.16β.
Σύνδεση πυκνωτών σε σειρά.

λοιπόν, σύμφωνα με την αρχή της διατηρήσεως του φορτίου, ο οπλισμός Α να αποκτήσει φορτίο +q για να είναι πάλι –q + q = 0. Αυτό επαναλαμβάνεται και για τους επόμενους οπλισμούς, με αποτέλεσμα ***όλοι οι πυκνωτές της συνδεσμολογίας να έχουν το ίδιο φορτίο q.***

Επειδή $U = U_A - U_B = (U_A - U_\Gamma) + (U_\Gamma - U_\Delta) + (U_\Delta - U_B)$ θα έχομε:

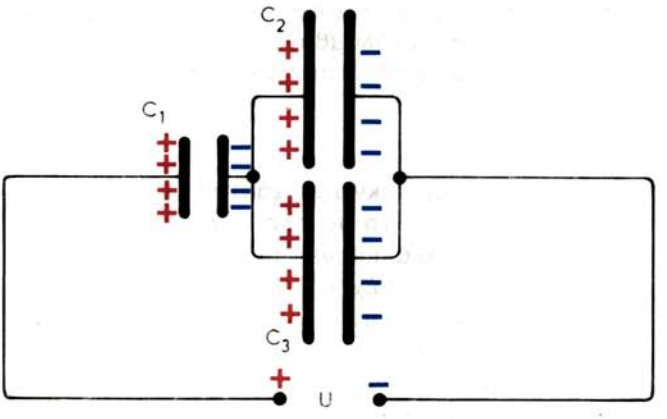
$$C_{o\lambda} = \frac{q}{U_A - U_B} \qquad \frac{q}{(U_A - U_\Gamma) + (U_\Gamma - U_\Delta) + (U_\Delta - U_B)}$$

$$\frac{1}{C_{o\lambda}} = \frac{U_A - U_\Gamma}{q} + \frac{U_\Gamma - U_\Delta}{q} + \frac{U_\Delta - U_B}{q}$$

δηλ.
$$\frac{1}{C_{o\lambda}} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3}$$

γ) Μικτή σύνδεση.

Μια τέτοια συνδεσμολογία φαίνεται στο σχήμα 1.16γ. Η ισοδύναμη χωρητικό-



Σχ. 1.16γ.
Μικτή σύνδεση πυκνωτή.

τητα των τριών πυκνωτών θα είναι:

$$C_{23} = C_2 + C_3$$

$$C_{ολ} = \frac{C_1 C_{23}}{C_1 + C_{23}} = \frac{C_1(C_2 + C_3)}{C_1 + C_2 + C_3}$$

1.17 Ενέργεια φορτισμένου πυκνωτή.

Η φόρτιση ενός πυκνωτή συνίσταται στη μεταφορά ελευθέρων ηλεκτρονίων από τον ένα οπλισμό στον άλλο. Αυτή η εργασία απαιτεί κατανάλωση ενεργείας.

Στην πράξη η φόρτιση του πυκνωτή γίνεται με την παροχή φορτίων από ηλεκτρική πηγή συνεχούς τάσεως και η ενέργεια παρέχεται από την ίδια την πηγή.

Η αύξηση των φορτίων των οπλισμών του πυκνωτή έχει σαν αποτέλεσμα την αύξηση της τάσεως μεταξύ των οπλισμών του και συνεπώς ($E = U/l$) την αύξηση της εντάσεως του ηλεκτρικού πεδίου. Η ενέργεια λοιπόν που παρέχομε σε ένα πυκνωτή για να τον φορτίσομε αποθηκεύεται σαν ***ενέργεια ηλεκτρικού πεδίου*** στο χώρο μεταξύ των δυο οπλισμών. Η ενέργεια φορτισμένου πυκνωτή παρέχεται από τη σχέση:

$$W = \frac{1}{2} CU^2$$

Ο πυκνωτής λοιπόν μπορεί να χαρακτηρισθεί και σαν μια αποθήκη ενεργείας, που την αποθηκεύει όταν φορτίζεται και την παρέχει όταν εκφορτίζεται.

1.18 Τύποι και κατασκευή πυκνωτών.

α) Πυκνωτές χάρτου.

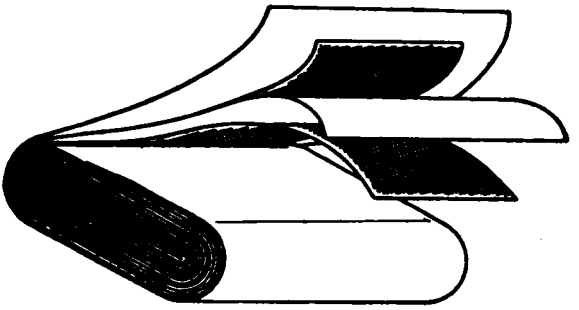
Κατασκευάζονται από λωρίδες μεταλλικών φύλλων κασσιτέρου ή αλουμινίου που διαχωρίζονται από ταινίες παραφινωμένου χάρτου (σχ. 1.18α). Το σύνολο τυλίγεται σε ρόλο, για να καταλαμβάνει μικρότερο όγκο. Εξωτερικά ο πυκνωτής προστατεύεται με επικάλυψη ειδικής ασφάλτου και με κατάλληλο περίβλημα.

β) Πυκνωτές μίκας.

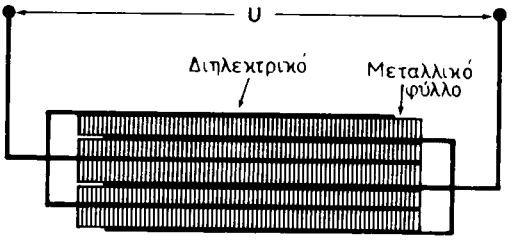
Κατασκευάζονται όπως και οι πυκνωτές χάρτου με τη διαφορά ότι χρησιμοποιείται σαν διηλεκτρικό η μίκα. Το σύνολο δεν τυλίγεται σε ρόλο (επειδή η μίκα είναι εύθραυστο υλικό) αλλά παίρνει τη μορφή ορθογώνιου παραλληλεπίπεδου (σχ. 1.18β). Επειδή η μίκα έχει μεγαλύτερη διηλεκτρική σταθερά και διηλεκτρική αντοχή από το χαρτί, οι πυκνωτές μίκας αντέχουν σε μεγαλύτερη τάση λειτουργίας και έχουν λιγότερες απώλειες. Από το σχήμα φαίνεται ότι αν η είναι ο αριθμός των μεταλλικών φύλλων, τότε το σύστημα συμπεριφέρεται όπως η-1 επίπεδοι πυκνωτές σε παράλληλη σύνδεση. Άρα η ισοδύναμη χωρητικότητα θα είναι:

$$C = \frac{(n-1)\varepsilon\varepsilon_0 \cdot S}{l}$$

ΔΑΡΥΝΑ ΣΥΓΚΛΟΔΟΣ 1954



Σχ. 1.18α.
Πυκνωτής χάρτου



Σχ. 1.18β.
Πυκνωτής μήκους

όπου S το εμβαδόν της επιφάνειας της μιάς όψεως ενός διηλεκτρικού φύλλου και *l* το πάχος του διηλεκτρικού φύλλου.

γ) Κεραμικοί πυκνωτές.

Με κατάλληλη επεξεργασία ενώσεων του τιτανίου λαμβάνονται κεραμικά προϊόντα πολύ μεγάλης διηλεκτρικής σταθεράς (100-1000) που χρησιμοποιούνται για την κατασκευή των κεραμικών πυκνωτών. Οι πυκνωτές αυτοί παρουσιάζουν μεγάλη χωρητικότητα με μικρές σχετικά διαστάσεις (μέχρι 0,015 μF) και μπορούν να λειτουργούν σε μεγάλες τάσεις.

δ) Πυκνωτές υψηλής τάσεως.

Κατασκευάζονται με κατάλληλα μονωτικά σε αρκετό πάχος, ώστε να λειτουργούν σε υψηλές τάσεις (αρκετών χιλιάδων βολτ). Έχουν αρκετά μεγάλο όγκο και χρησιμοποιούνται στους πομπούς και στη βιομηχανία.

ε) Ηλεκτρολυτικοί πυκνωτές.

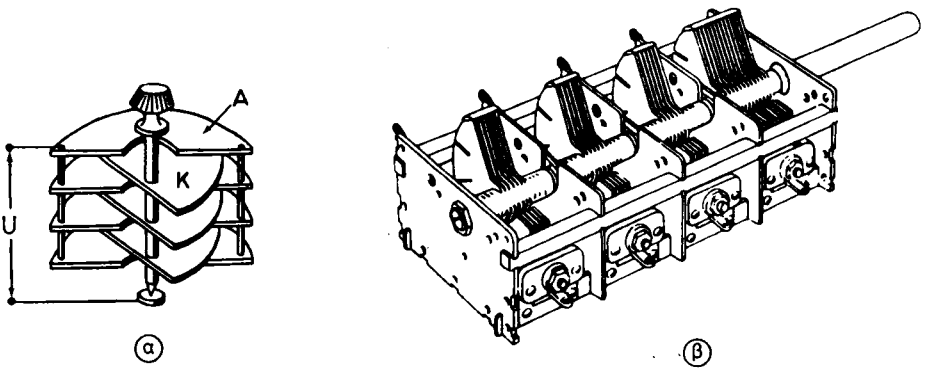
Ορισμένα μέταλλα, π.χ. το αργίλιο, όταν βρεθούν μέσα σε κατάλληλο ηλεκτρολυτικό διάλυμα (π.χ. βορικού οξέος ή αλάτων του αργιλίου) καλύπτονται από λεπτό μονωτικό στρώμα οξειδίου που αποτελεί το διηλεκτρικό του πυκνωτή. (Η διάταξη λειτουργεί σαν πυκνωτής μόνο όταν το στέλεχος του

αργιλίου συνδέεται με το θετικό πόλο ηλεκτρικής πηγής, δηλ. λειτουργεί σαν θετικό ηλεκτρόδιο). Οι οπλισμοί του πυκνωτή αποτελούνται από τον ηλεκτρολύτη και το ηλεκτρόδιο του αργιλίου. Επειδή η επικάλυψη είναι εξαιρετικά μικρή (0,1 μ), η χωρητικότητα των ηλεκτρολυτικών πυκνωτών που έχουν μικρές σχετικά διαστάσεις είναι μεγάλη (της τάξεως 1000 μF) αλλά η τάση λειτουργίας δεν υπερβαίνει τα 600 V περίπου. Ένα άλλο μειονέκτημα είναι ότι καταστρέφονται αν η πολικότητα της τάσεως που θα εφαρμοσθεί δεν είναι η σωστή ή όταν συνδεθούν σε εναλλασσομένη τάση.

στ) Μεταβλητοί πυκνωτές.

Αποτελούνται από δυο ομάδες ημικυκλικών ελασμάτων (σχ. 1.18γ). Η μια ομάδα είναι ακίνητη και αποτελεί τον ένα οπλισμό. Η άλλη είναι κινητή και αποτελεί το δεύτερο οπλισμό. (Ο μεταβλητός δηλ. πυκνωτής είναι συστοιχία πυκνωτών που συνδέονται παράλληλα). Όταν περιστρέφεται ο δεύτερος οπλισμός, τα φύλλα του εισέρχονται ή εξέρχονται μεταξύ των φύλλων του άλλου οπλισμού με αποτέλεσμα να αυξάνεται ή να ελαττώνεται η χωρητικότητα του συστήματος (μεταβάλλεται η S επομένως και η $C = (n-1)\,\varepsilon\, S/l$, $\varepsilon = 1$ γιατί σαν διηλεκτρικό χρησιμοποιείται ο αέρας).

Οι μεταβλητοί πυκνωτές χρησιμοποιούνται στους πομπούς, στα ραδιόφωνα και σε πολλές άλλες διατάξεις που απαιτούν ρύθμιση της χωρητικότητας.



1.18γ.
Μεταβλητός πυκνωτής
α) Απλός. β) Τετραπλός

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΔΕΥΤΕΡΟ

ΗΛΕΚΤΡΙΚΟ ΡΕΥΜΑ

2.1 Φορείς και φορά του ρεύματος.

Ηλεκτρικό ρεύμα ονομάζεται η προσανατολισμένη κίνηση ηλεκτρικών φορτίων.

Τα φορτία φέρονται από υλικά σώματα που ονομάζονται ***φορείς*** του ηλεκτρικού ρεύματος και είναι τα ηλεκτρόνια και τα ιόντα.

α) Αν το ρεύμα διέρχεται μέσα από μεταλλικούς αγωγούς, οι φορείς που κινούνται είναι τα ελεύθερα ηλεκτρόνια.

β) Αν το ρεύμα διέρχεται μέσα από υγρά (ηλεκτρολύτες), οι φορείς που κινούνται είναι ιόντα (θετικά ή αρνητικά).

γ) Αν το ρεύμα διέρχεται μέσα από αέρια (ηλεκτρική εκκένωση), οι φορείς είναι ηλεκτρόνια και ιόντα.

Οι φορείς θα κινηθούν αν, μέσα στο μέσο που βρίσκονται, δημιουργήσομε ηλεκτρικό πεδίο $\vec{E}$. Τότε σε κάθε φορέα που φέρει το φορτίο q, θα εξασκηθεί δύναμη $\vec{F} = \vec{E}q$, με αποτέλεσμα να μετακινηθεί ο φορέας (κατά τη φορά της $\vec{E}$ αν $q > 0$ και κατ' αντίθετη αν $q < 0$).

Η κίνηση αυτή αποτελεί το ηλεκτρικό ρεύμα.

Επειδή στους μεταλλικούς αγωγούς μόνο ελεύθερα ηλεκτρόνια κινούνται, η φορά του ρεύματος θα συμπίπτει με τη φορά της κινήσεως των ηλεκτρονίων (Πραγματική φορά).

2.2 Ηλεκτρικές πηγές. Ηλεκτρικό κύκλωμα.

Το ηλεκτρικό πεδίο $\vec{E}$ (σ' αυτό οφείλεται το ηλεκτρικό ρεύμα) δημιουργείται από μια ηλεκτρική πηγή.

Ηλεκτρική πηγή ονομάζεται συσκευή που διατηρεί σε δυο σημεία της Α και Β, (σχ. 2.2α), σταθερή διαφορά δυναμικού.

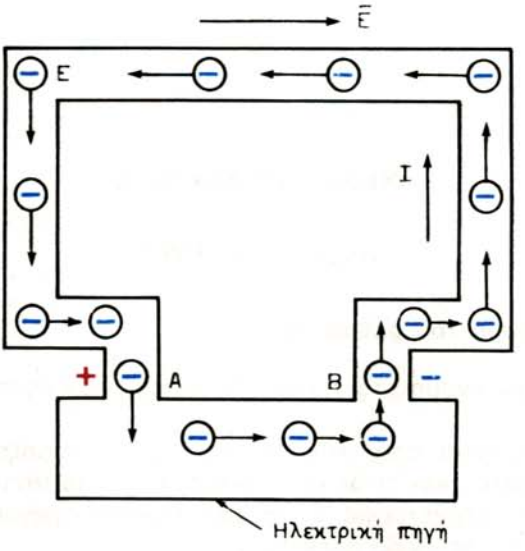
Τα σημεία αυτά ονομάζονται ***πόλοι*** της πηγής.

Αν συνδέσομε τους πόλους πηγής με ένα σύρμα, δημιουργείται μέσα σ' αυτό ηλεκτρικό πεδίο $\vec{E}$ που η φορά του είναι από τον πόλο που έχει το υψηλότερο δυναμικό (θετικός πόλος) προς τον άλλο που έχει το χαμηλότερο δυναμικό (αρνητικός πόλος).

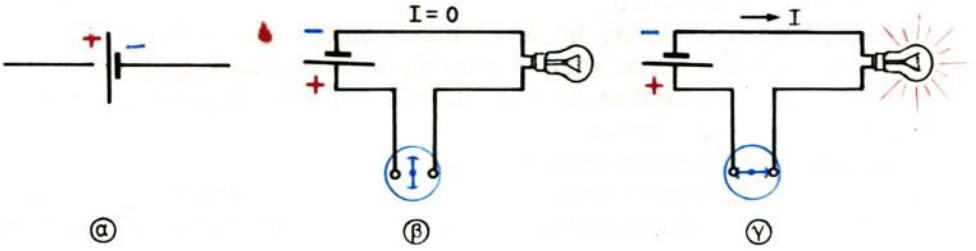
Τα ελεύθερα ηλεκτρόνια που υπάρχουν μέσα στο σύρμα, θα αρχίσουν να κινούνται, γιατί σ' αυτά θα ασκηθεί δύναμη $\vec{F} = \vec{E} \cdot q$. Έτσι προκύπτει ηλεκτρικό ρεύμα 1.

Ονομάζεται ***ηλεκτρικό κύκλωμα*** το σύνολο που αποτελείται από ηλεκτρική πηγή και αγωγό (ή σειράς αγωγών) που συνδέει τους πόλους της.

ΔΡΥΜΑ ΣΥΓΓΡΑΦΕΩΝ 1954



Σχ. 2.2α
Στοιχειώδες ηλεκτρικό κύκλωμα.



Σχ. 2.2β.
α) Σχηματική παράσταση ηλεκτρικής πηγής. β) Κυκλωμα ανοικτό. γ) Κύκλωμα κλειστό.

Αν δεν υπάρχει διακοπή σε κανένα σημείο του κυκλώματος, το κύκλωμα ονομάζεται ***κλειστό*** και διαρρέεται από ρεύμα [σχ. 2.2β (γ)].

Αν υπάρχει διακοπή ονομάζεται ***ανοικτό*** και δεν διαρρέεται από ρεύμα [σχ. 2.2β (β)]. Το άνοιγμα ή το κλείσιμο ενός κυκλώματος γίνεται συνήθως με ειδικά μέσα που ονομάζονται ***διακόπτες.***

2.3 Ένταση του ρεύματος.

Ένταση Ι ηλεκτρικού ρεύματος ονομάζομε το πηλίκο του φορτίου q που διέρχεται από μια διατομή του αγωγού σε χρόνο t, δια του χρόνου t:

$$I = \frac{q}{t} \qquad \text{Μονάδα: 1 Αμπέρ (1Α)} = 1\,\frac{\text{Cb}}{\text{sec}}$$

δηλ. ***η ένταση του ρεύματος που διαρρέει αγωγό είναι 1 A, όταν από μία διατομή του σε χρόνο 1 sec διέρχεται φορτίο 1 Cb.***

Επειδή σε κανένα σημείο του αγωγού δεν έχομε συσσώρευση ή απώλεια (διαρροή) ηλεκτρικών φορτίων, συμπεραίνομε ότι όσο φορτίο διέρχεται από μία διατομή του αγωγού σε ορισμένο χρόνο, το ίδιο φορτίο θα διέρχεται και από κάθε άλλη διατομή στον ίδιο χρόνο. Δηλαδή ***η ένταση του ρεύματος έχει την ίδια τιμή σε όλο το μήκος του αγωγού.***

Το ρεύμα ονομάζεται ***συνεχές*** αν η φορά του δεν μεταβάλλεται. Το συνεχές ρεύμα μπορεί να είναι ***σταθερό*** (αν η έντασή του δεν μεταβάλλεται με το χρόνο) ή ***μεταβλητό.*** Στην τελευταία περίπτωση ονομάζομε στιγμιαία ένταση το πηλίκο:

$$I = \underset{\Delta t \to 0}{\text{ορ}} \frac{\Delta q}{\Delta t} = \frac{dq}{dt}$$

Σε περιπτώσεις ασθενών ρευμάτων χρησιμοποιούνται και οι μονάδες: 1 μιλιαμπέρ = 1 mA = 10^{-3} A και 1 μικροαμπέρ = 1 μA = 10^{-6} A.

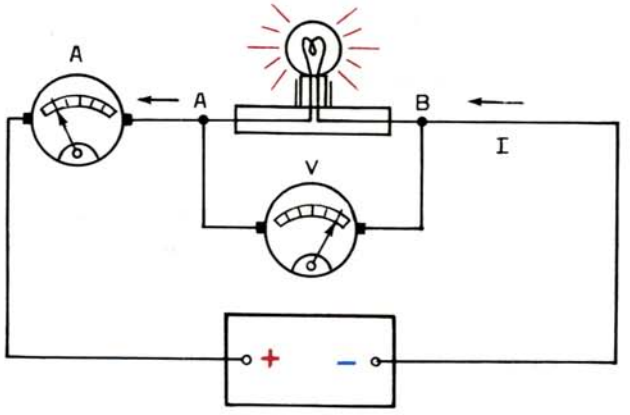
Επίσης σαν μεγάλη μονάδα φορτίου χρησιμοποιείται το ***αμπερώριο:*** 1 A.h = 1 A.3600 sec = 3600 A.sec = 3600 Cb. Αν το εμβαδό της διατομής αγωγού είναι S και η ένταση του ρεύματος που τον διαρρέει I, ονομάζομε πυκνότητα του ρεύματος J το πηλίκο:

$$J = \frac{I}{S}$$

Στο σύστημα MKSA που εργαζόμαστε η μονάδα πυκνότητας είναι το 1 A/m^2 αλλά χρησιμοποιούνται πολύ στην πράξη και οι μονάδες: 1 A/cm^2 και 1 A/mm^2.

2.4 Μέτρηση τάσεων και εντάσεων.

Για να μετρήσομε την ένταση ρεύματος χρησιμοποιούμε οργανα που ονομάζονται ***αμπερόμετρα.*** Για να μετρήσομε τη τάση σε δυο σημεία κυκλώμα-



Σχ. 2.4.
Μέτρηση τάσεως και εντάσεων.

τος χρησιμοποιούμε όργανα που ονομάζονται ***βολτόμετρα.*** Και τα δυο όργανα φέρουν δυο σύρματα που ονομάζονται ***ακροδέκτες.***

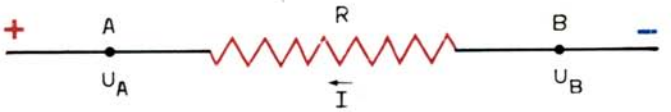
Για να μετρήσομε την τάση μεταξύ δυο σημείων Α και Β (σχ. 2.4), συνδέομε τους ακροδέκτες του βολτομέτρου με τα σημεία Α και Β. (Το βολτόμετρο συνδέεται πάντοτε παράλληλα). Το όργανο δείχνει τότε την τάση $U = U_A - U_B$. Για να μετρήσομε όμως την ένταση κόβομε το σύρμα και συνδέομε τους ακροδέκτες του αμπερομέτρου με τα άκρα της τομής. (Συνδέεται πάντοτε σε σειρά).

2.5 Νόμος του Ohm. Αντίσταση αγωγού.

Έχει αποδειχθεί πειραματικά ότι η ένταση του ρεύματος I που διαρρέει αγωγό είναι ανάλογη της τάσεως U_{AB} που εφαρμόζεται στα άκρα του.

Η τιμή του πηλίκου U_{AB}/I (σχ. 2.5) εξαρτάται από τη φύση του αγωγού, τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά του (πάχος και μήκος) και τη θερμοκρασία και ονομάζεται ***αντίσταση του αγωγού R:***

$$R = \frac{U_{AB}}{I} \rightarrow I = \frac{U_A - U_B}{R}$$ ***Νόμος του Ohm***



Σχ. 2.5.
Αρχή του νόμου του Ohm.

Μονάδα αντιστάσεως είναι το ***Ohm*** (1Ω): $1\Omega = \frac{1V}{1\ A}$ δηλ.

1Ω είναι η αντίσταση αγωγού που διαρρέεται από ρεύμα με ένταση 1 A αν στα άκρα του επικρατεί τάση 1 V. Πολλαπλάσια του Ω είναι το 1 ΜΩ (μεγκώμ) = 10^6 Ω, 1 κΩ (κιλοώμ) = 10^3 Ω.

Από το νόμο του Ohm έχομε ότι: $U_A - U_B = IR$.

Με τη σχέση αυτή μπορούμε να υπολογίσομε την τάση που επικρατεί μεταξύ δυο σημείων αγωγού, αν γνωρίζομε την αντίσταση του αγωγού και το ρεύμα που τον διαρρέει.

Ειδική αντίσταση.

Έχει αποδειχθεί πειραματικά, ότι η αντίσταση αγωγού εξαρτάται από το μήκος του *l*, τη διατομή του S (συνήθως οι αγωγοί είναι κυλινδρικοί και η διατομή είναι κύκλος $S = \pi r^2$ και από το είδος του υλικού του:

$$R = \rho \frac{l}{S}$$

Ο σταθερός συντελεστής ρ εξαρτάται από το υλικό και τη θερμοκρασία και

ονομάζεται ***ειδική αντίσταση.*** Η μονάδα της στο MKSA είναι το 1 Ω.m αλλά χρησιμοποιούνται πολύ στη πράξη και οι μονάδες: 1 Ω.cm, 1 Ω.mm^2/m.

Η ειδική αντίσταση των μετάλλων είναι πολύ μικρή, των μονωτών πολύ μεγάλη και των ημιαγωγών έχει ενδιάμεση τιμή.

Ονομάζομε ***αγωγιμότητα*** G αγωγού το πηλίκο: $G = \frac{1}{R}$

και ***ειδική αγωγιμότητα*** το πηλίκο: $k = \frac{1}{\rho}$

2.6 Τύποι και κατασκευή αντιστάσεων. Ποντεσιόμετρα.

Η βιομηχανία κατασκευάζει αντιστάσεις διαφόρων τύπων. Οι αντιστάσεις σύρματος κατασκευάζονται από μεταλλικά κράματα με μεγάλη ειδική αντίσταση, όπως π.χ. η χρωμονικελίνη. Το σύρμα τυλίγεται πάνω σε σωλήνα από κατάλληλο μονωτικό υλικό. Όλη η κατασκευή προστατεύεται συχνά με επίστρωση εμαγιέ, βερνικιού ή άλλου μονωτικού υλικού.

Οι αντιστάσεις άνθρακα κατασκευάζονται αν αναμίξομε σκόνη γραφίτη με ένα αδρανές υλικό (π.χ. τσιμέντο). Με το ημιαγωγό αυτό μίγμα γίνεται μια λεπτή επάλειψη σε ένα μικρό μονωτικό σωλήνα από πορσελάνη, κεραμεικό ή άλλο υλικό. Το μίγμα προστατεύεται εξωτερικά με επάλειψη από εμαγιέ ή βερνίκι.

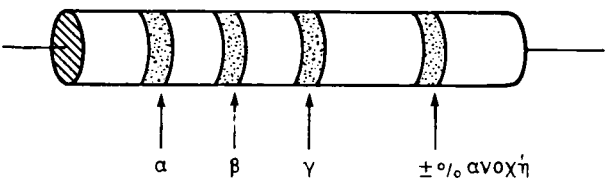
Τα χαρακτηριστικά των αντιστάσεων είναι η τιμή τους σε Ω και η ισχύς τους σε Watts (η μεγαλύτερη ισχύς που μπορεί να αναπτυχθεί στην αντίσταση χωρίς να προκαλέσει την καταστροφή της).

Η ισχύς των αντιστάσεων σύρματος υπερβαίνει τα 1000 W και είναι ανάλογη από το φυσικό μεγέθος των αντιστάσεων.

Η ισχύς των αντιστάσεων άνθρακα φθάνει μέχρι τα 2 W.

Η αντίσταση αναγράφεται με ένα αριθμό ή συνολικά με διάφορους χρωματισμούς (σχ. 2.6α). Ο κώδικας χρωμάτων είναι ο παρακάτω:

Μαύρο	0	Μπλε	6
Καφέ	1	Μωβ	7
Ερυθρό	2	Γκρι	8
Πορτοκαλί	3	Λευκό	9
Κίτρινο	4	Χρυσαφί	5%
Πράσινο	5	Ασημί	10%



Σχ. 2.6α.
Αντίσταση άνθρακα με λωρίδες χρωμάτων.

Στις αντιστάσεις άνθρακα τοποθετούνται συνήθως 4 λωρίδες από τα παραπάνω χρώματα. Τα χρώματα των τριών πρώτων λωρίδων δίνουν την τιμή της αντιστάσεως σε Ω και το χρώμα της τέταρτης δίνει την ανοχή (επί τοις εκατό).

Τα δύο πρώτα χρώματα α, β δίνουν τα δύο πρώτα ψηφία της αντιστάσεως και το τρίτο γ, δίνει τον αριθμό των μηδενικών που θα προσθέσομε στα δυο πρώτα ψηφία (π.χ. αν γ = 2 ή αντίσταση θα είναι αβ00 = αβ.10^2 Ω).

Το τρίτο γράμμα γ μπορεί να αντιπροσωπεύει και αρνητικό εκθέτη της δυνάμεως του 10 όταν η αντίσταση είναι μικρότερη από 10 Ω. Αν το γ είναι χρυσαφί, τότε γ = 10^{-1} και αν είναι ασημί γ = 10^{-2}.

Τέλος αν το χρώμα της τέταρτης λωρίδας είναι χρυσαφί η ανοχή είναι ± 5% και αν είναι ασημί ± 10%.

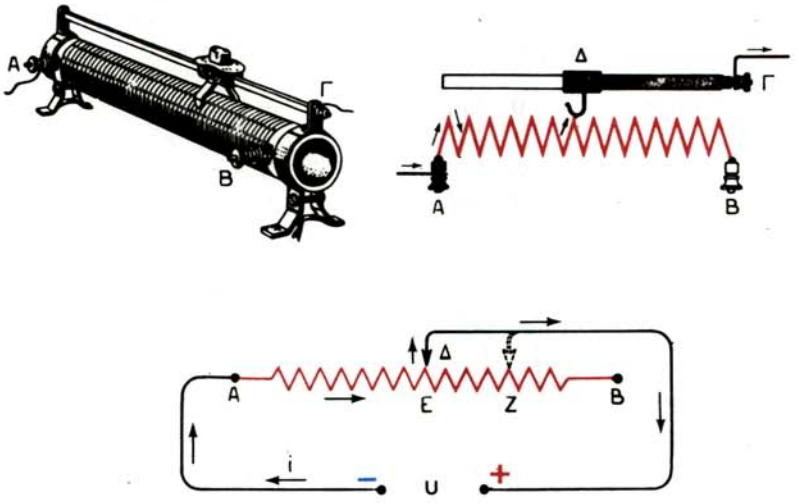
Οι αντιστάσεις άνθρακα χρησιμοποιούνται πολύ στις ηλεκτρονικές κατασκευές.

Σε πολλές περιπτώσεις είναι ανάγκη να ρυθμίζεται η ένταση του ρεύματος που διαρρέει ένα κύκλωμα. Αυτό μπορούμε να το επιτύχομε με ειδικές διατάξεις που ονομάζονται ***ρυθμιστικές αντιστάσεις*** (ροοστάτες). Αποτελούνται από σύρμα που τυλίγεται γύρω από μονωτικό σωλήνα (σχ. 2.66β). Οι ακροδέκτες Α και Β αποτελούν τα άκρα του τυλιγμένου σύρματος και ο Γ αποτελεί μια ενδιάμεση λήψη που μπορεί να μεταβάλλει θέσεις, αν μετακινήσομε το δρομέα Δ. Σύμφωνα με το νόμο του Ohm, αν ο Δ βρίσκεται στη θέση Ε θα είναι: $I = U/R_{AE}$. Αν μετακινηθεί και έλθει στη θέση Ζ θα έχομε: $I' = U/R_{AZ}$ και επειδή $R_{AE} < R_{AZ}$ (γιατί ΑΕ < ΑΖ) θα έχομε $I > I'$.

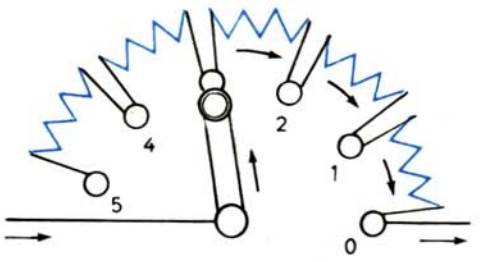
Ένας άλλος τύπος ρυθμιστικής αντιστάσεως φαίνεται στο σχήμα 2.6γ.

Ο δρομέας περιστρέφεται γύρω από άξονα και ανάλογα με τη φορά περιστροφής αυξάνεται ή ελαττώνεται η αντίσταση. (Χρησιμοποιείται πολύ στις ραδιοφωνικές συσκευές).

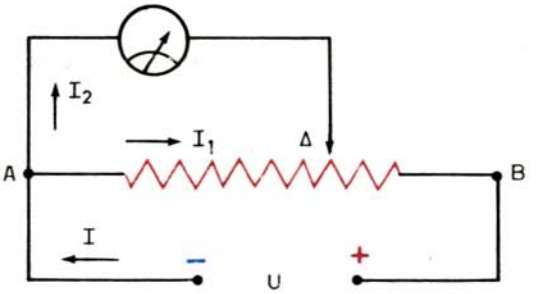
Για τη ρύθμιση της τάσεως που επικρατεί στα άκρα ενός καταναλωτή



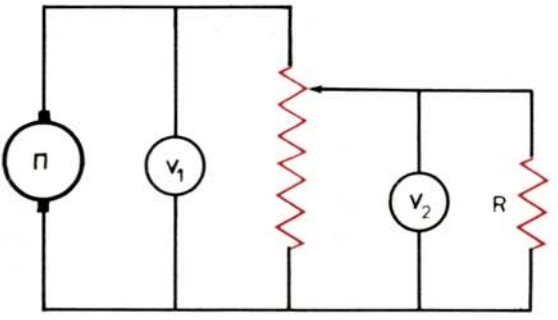
Σχ. 2.66.
Διατάξεις ρυθμιστικών αντιστάσεων με συνεχή ρύθμιση.



Σχ. 2.6γ.
Ρυθμιστική αντίσταση με βηματιστική ρύθμιση.



Σχ. 2.6δ.
Το ποτενσιόμετρο.



Σχ. 2.6ε.
Τροφοδότηση αντιστάσεως με ποτενσιόμετρο.

χρησιμοποιούμε όργανα που ονομάζονται ***ποτενσιόμετρα*** (σχ. 2.6δ). Τα άκρα Α και Β μιας αντιστάσεως συνδέονται με την τάση U του δικτύου. Ο ένας ακροδέκτης του βολτόμετρου συνδέεται με το σημείο Α και ο άλλος με δρομέα Δ που κινείται πάνω στην ΑΒ. Επειδή τα βολτόμετρα (όπως θα δούμε αργότερα) κατασκευάζονται με πολύ μεγάλη εσωτερική αντίσταση το ρεύμα I_2 θα είναι πολύ μικρό και μπορούμε να θεωρήσομε ότι όλο το ρεύμα I θα περάσει από την αντίσταση ΑΒ. Δηλαδή $I = I_1$. Αλλά:

$$I = \frac{U}{R_{AB}} \text{ άρα: } U_\Delta - U_A = I, \quad R_{A\Delta} = \frac{U}{R_{AB}} R_{A\Delta}$$

Αν λοιπόν μετακινούμε το δρομέα, θα μεταβάλλεται η αντίσταση $R_{A\Delta}$ με αποτέλεσμα να μεταβάλλεται και η $U_{\Delta A}$.

Αν $R_{A\Delta} = 0 \rightarrow U_{\Delta A} = 0$

Αν $R_{AB} = R \rightarrow U_{\Delta A} = U$,

δηλαδή η $U_{\Delta A}$ μπορεί να μεταβάλλεται από 0 μέχρι U.

Στο σχήμα, το βολτόμετρο V_1 μετράει την τάση της πηγής και το V_2 τη ρυθμιζόμενη με το ποτενσιόμετρο τάση που επικρατεί στα άκρα της αντιστάσεως R. (σχ. 2.6ε).

2.7 Συνδεσμολογία αντιστάσεων.

Ονομάζομε ολική ή ισοδύναμη αντίσταση μιας συνδεσμολογίας αντιστάσεων το σταθερό πηλίκο:

$$R_{o\lambda} = \frac{U}{I_{o\lambda}} \qquad (1)$$

όπου U η τάση στα άκρα της συνδεσμολογίας και $I_{o\lambda}$ η ολική ένταση του ρεύματος που την διαρρέει.

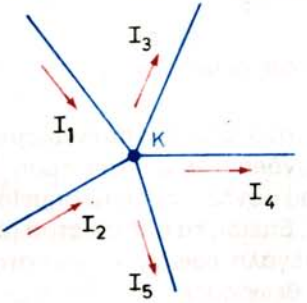
Σύμφωνα με τον παραπάνω ορισμό θα υπολογίσομε την ολική αντίσταση στις διάφορες περιπτώσεις, αφού πρώτα αναφέρομε τον κανόνα των κόμβων: (Κόμβο ονομάζομε το σημείο που ενώνονται τρεις ή περισσότεροι αγωγοί). (Πρώτος κανόνας του Κίρχωφ).

Το άθροισμα των ρευμάτων που φθάνουν σε ένα κόμβο είναι ίσο με το άθροισμα των ρευμάτων που φεύγουν από τον κόμβο.

Στο σχήμα 2.7α θα έχομε:

$$I_1 + I_2 = I_3 + I_4 + I_5$$

Ο κανόνας αυτός προκύπτει από το συλλογισμό ότι όσα φορτία φθάνουν στον κόμβο Κ σε ορισμένο χρόνο, πρέπει να είναι ίσα με τα φορτία που αναχωρούν από τον κόμβο στον ίδιο χρόνο, όταν σε κανένα σημείο του κυκλώματος δεν έχομε συσσώρευση ή απώλεια ηλεκτρικών φορτίων.



Σχ. 2.7α.
Ο κόμβος ρευμάτων.

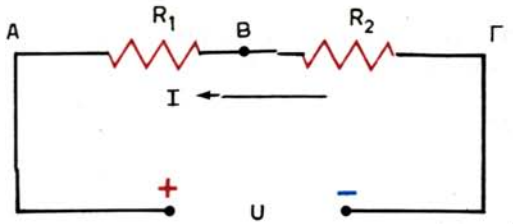
α) Σύνδεση αντιστάσεων σε σειρά.

Δύο ή περισσότερες αντιστάσεις συνδέονται σε σειρά όταν διαρρέονται από το ίδιο ρεύμα I (σχ. 2.76).

Αν $U = U_A - U_Γ$ η τάση που εφαρμόζεται στα άκρα Α και Γ της συνδεσμολογίας, τότε σύμφωνα με τη σχέση (1) θα έχομε:

$$R_{oλ} = \frac{U}{I} = \frac{U_A - U_Γ}{I} = \frac{(U_A - U_B) + (U_B - U_Γ)}{I} =$$

$$= \frac{U_A - U_B}{I} + \frac{U_B - U_Γ}{I} = R_1 + R_2$$

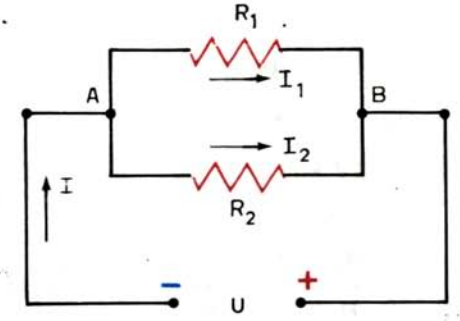


Σχ. 2.76.
Σύνδεση αντιστάσεων σε σειρά.

Αν οι αντιστάσεις είναι n τότε: $R_{oλ} = R_1 + R_2 + ... + R_n$
Αν $R_1 = R_2 = ... = R_n$ τότε: $R_{oλ} = nR$

β) Παράλληλη σύνδεση αντιστάσεων.

Δυο ή περισσότερες αντιστάσεις συνδέονται παράλληλα, όταν στα άκρα τους εφαρμόζεται η ίδια τάση (σχ. 2.7γ).



Σχ. 2.7γ.
Παράλληλη σύνδεση αντιστάσεων.

Σύμφωνα με τη σχέση (1) θα έχομε:

$$R = \frac{U}{I} = \frac{U_{AB}}{I_1 + I_2} \rightarrow \frac{1}{R_{oλ}} = \frac{I_1}{U} + \frac{I_2}{U} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}$$

Αν έχομε n αντιστάσεις θα είναι:

$$\frac{1}{R_{o\lambda}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \ldots + \frac{1}{R_n}$$

Αν $R_1 = R_2 = \ldots = R_n = R$ τότε: $R_{o\lambda} = \frac{R}{n}$

Ειδικά για δυο αντιστάσεις R_1 και R_2 θα έχομε:

$$R_{o\lambda} = R_{12} = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}$$

Εύκολα διαπιστώνομε ότι η $R_{o\lambda}$ είναι η μικρότερη από τη μικρότερη από τις αντιστάσεις που συνδέονται παράλληλα.

γ) Μικτή σύνδεση.

Θέλομε να υπολογίσομε την ισοδύναμη αντίσταση της συνδεσμολογίας ($R_1 = R_3 = 3\Omega$, $R_2 = 6\Omega$, $U = 30$ V) [σχ. 2.7δ (α)].

Οι αντιστάσεις R_1 και R_2 συνδέονται παράλληλα γιατί έχουν κοινά τα άκτα Α και Β. Άρα θα έχομε:

$$R_{12} = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2} = 2\ \Omega$$

Οι αντιστάσεις R_{12} και R_3 συνδέονται σε σειρά, γιατί διαρρέονται από το ίδιο ρεύμα I [σχ. 2.7δ (β)]. Άρα:

$$R_{123} = R_{o\lambda} = R_{12} + R_3 = 5\ \Omega$$

Το ρεύμα I θα είναι:

$$I = \frac{U_\Gamma - U_A}{R_{o\lambda}} = \frac{U}{R_{o\lambda}} = \frac{30}{5} = 6\ A$$

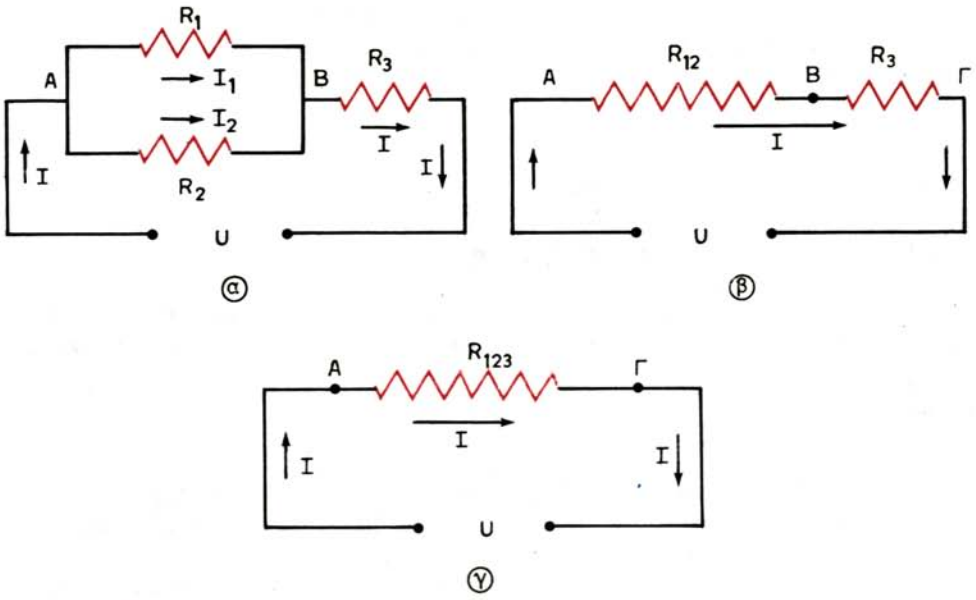
Άρα $U_B - U_A = IR_{12} = 12V$ και $U_\Gamma - U_B = IR_3 = 18$ V

Επίσης:

$$I_1 = \frac{U_{AB}}{R_1} = I\ \frac{R_{12}}{R_1} = I\ \frac{R_2}{R_1 + R_2} = 4\ A$$

και $$I_2 = \frac{U_{BA}}{R_2} = 2\ A$$

Τις σχέσεις: $$I_1 = I\ \frac{R_2}{R_1 + R_2}$$ και $$I_2 = I\ \frac{R_1}{R_1 + R_2}$$

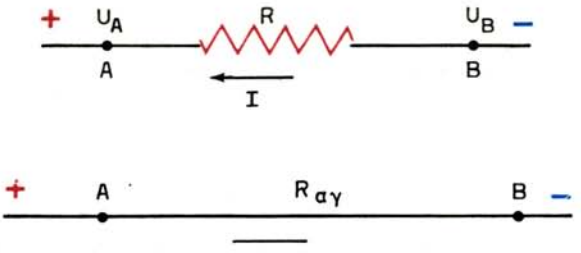


Σχ. 2.7δ.
α) Κύκλωμα με μικτή σύνδεση αντιστάσεων. β) Ισοδύναμο κύκλωμα του α). γ) Ισοδύναμο κύκλωμα του β).

που νας δίνουν τα ρεύματα που διαρρέουν τους κλαδους R_1 και R_2 (όταν γνωρίζομε το ρεύμα I που διαρρέει το κύκλωμα και τις αντιστάσεις R_1 και R_2) μπορούμε να τις χρησιμοποιούμε και σαν τύπους.

2.8 Πτώση τάσεως.

Ο αγωγός AB (σχ. 2.8) έχει αντίσταση R και στα άκρα του επικρατεί τάση $U = U_A - U_B$. Αν I το ρεύμα που τον διαρρέει, τότε $U = IR$. Η διαφορά δυναμικού $U_A - U_B$ ονομάζεται και ***πτώση τάσεως***, γιατί κατά μήκος του αγωγού AB το δυναμικό ελαττώνεται από την τιμή U_A στην τιμή U_B (φανερό είναι ότι αν $U_A = U_B$ δηλαδή $U = 0$, τότε ο αγωγός δεν θα διαρρέεται από ρεύμα). Αν ανάμεσα στα σημεία A και B δεν έχομε παρεμβάλλει αντίσταση αλλά ο αγωγός έχει τη



Σχ. 2.8.
Αρχή της πτώσεως τάσεως.

φυσική του αντίσταση $R_{αγ} = ρ. AB/S$, τότε μπορούμε, αν η διατομή S είναι αρκετά μεγάλη και το μήκος του σχετικά μικρό (οπότε $R_{αγ} \to 0$), να θεωρήσομε ότι:

$$U_A - U_B = IR = 0$$

δηλαδή ο αγωγός AB δεν παρουσιάζει πτώση τάσεως.

2.9 Ηλεκτρεγερτική δύναμη. Γενίκευση του νόμου Ohm.

Ηλεκτρεγερτική δύναμη (ΗΕΔ) μιας ηλεκτρικής πηγής ορίζεται η διαφορά δυναμικού στους πόλους της Α και Β, όταν η πηγή δεν διαρρέεται από ρεύμα. Δηλαδή:

$$ΗΕΔ = E = U_A - U_B \qquad \text{όταν } I = 0$$

(Διακόπτης Δ ανοικτός [σχ. 2.9(α)]. Όπως θα δούμε αργότερα, η πηγή παρουσιάζει και αυτή μιαν αντίσταση στη διέλευση του ρεύματος που ονομάζεται ***εσωτερική αντίσταση της πηγής (r).***

Όταν κλείσομε το διακόπτη Δ, [σχ. 2.9(β)], η πηγή θα διαρρέεται από ρεύμα I και η τάση $U_A - U_B$ που ονομάζεται ***πολική τάση,*** θα είναι μικρότερη της ΗΕΔ E, γιατί μέσα στην πηγή προκαλείται διαφορά δυναμικού I.r (πτώση τάσεως) που οφείλεται στη διέλευση του ρεύματος I. Θα είναι δηλαδή:

$$U_A - U_B = E - Ir \qquad (1)$$

Από τη σχέση (1) προκύπτει ότι, όταν η πηγή δεν διαρρέεται από ρεύμα (I = 0), η πολική τάση $U_A - U_B$ είναι ίση με την ΗΕΔ της πηγής. (Το ίδιο ισχύει όταν η εσωτερική αντίσταση της πηγής είναι αμελητέα).

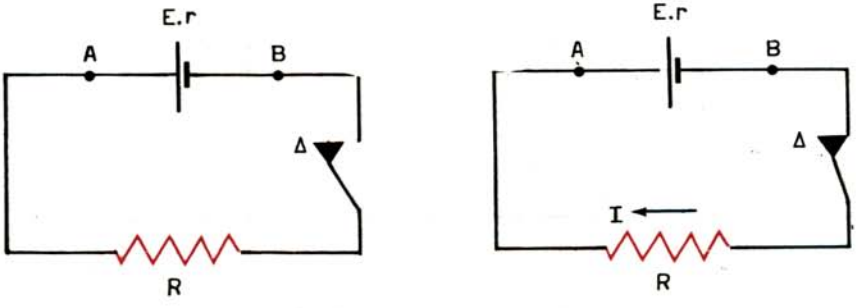
Την πολική τάση την υπολογίζομε ή με τον τύπο (1) ή με τον τύπο:

$$U_A - U_B = IR \qquad (2)$$

όπου R η εξωτερική αντίσταση του κυκλώματος.

Από τις 1) και 2) έχομε:

$$E = IR + Ir \qquad (3) \qquad \to \quad I = \frac{E}{R + r} \qquad (4)$$



(α) (β)

Σχ. 2.9.

Με τον τύπο (4) που εκφράζει το νόμο του Ohm σε κλειστό κύκλωμα, υπολογίζομε το ρεύμα που διαρρέει κλειστό κύκλωμα.

Η σχέση (3) δείχνει ότι:

Η ΗΕΔ μιας πηγής είναι ίση με το άθροισμα των πτώσεων τάσεων στην εσωτερική αντίσταση της πηγής και στην εξωτερική αντίσταση του κυκλώματος.

2.10 Ενέργεια και ισχύς του ηλεκτρικού ρεύματος.

Ας θεωρήσομε τον αγωγό ΑΒ που διαρρέεται από ρεύμα I ότι έχει αντίσταση R και στα άκρα του επικρατεί τάση $U = U_A - U_B$ (σχ. 2.10). Σε χρόνο t ηλεκτρικό φορτίο $q = It$ μεταφέρεται από το σημείο Β στο σημείο Α άρα παράγεται ηλεκτρικό έργο W, που, σύμφωνα με τον ορισμό που δώσαμε για τη διαφορά δυναμικού, θα είναι:

$$W = qU = UIt \qquad (1)$$

Σε συνδυασμό με το νόμο του Ohm, $U = IR$, θα έχομε:

$$W = I^2 Rt = \frac{U^2}{R} t \qquad (2)$$

Η ηλεκτρική ισχύς που καταναλίσκει η αντίσταση R θα είναι:

$$N = \frac{W}{t} = UI = I^2 R = \frac{U^2}{R}$$

Η πρακτική μονάδα μετρήσεως της ισχύος ονομάζεται ***Watt*** (W) και ορίζεται από τη σχέση:

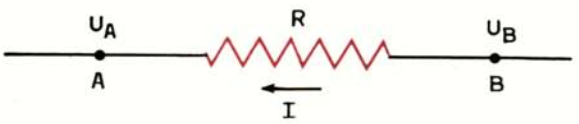
$$1W = 1\frac{\text{Joule}}{\text{sec}}$$

Χρησιμοποιούμε επίσης και τα πολλαπλάσια του Watt:

$$1\ kW = 10^3\ W, \qquad 1\ MW = 10^6\ W$$

$$1\ CV\ (PS) = 75\ \frac{kgm}{sec} = 736\ W, \qquad 1\ HP = 76\ \frac{kgm}{sec} = 746\ W$$

Πολλαπλάσια της μονάδας Joule = 1 W . sec είναι το ***βαττώριο*** (1 Wh) και το ***κιλοβαττώριο*** (1 kWh). Είναι:



Σχ. 2.10.

1 Wh = 1 W . 3600 sec = 3.600 W . sec δηλ. 1 Wh = 3600 Joule

και $1\ kWh = 10^3\ Wh = 3.600.000\ Joule$

Οι διάφορες μονάδες ενεργείας συνδέονται με τις σχέσεις:

$$1\ kgm = 9{,}81\ Joule = 9{,}81 \cdot 10^7\ erg,\ 1\ Joule = 0{,}24\ cal.$$

2.10.1 Ισχύς ηλεκτρικής πηγής.

Από το νόμο του Ohm σε κλειστό κύκλωμα (σχ. 2.9) έχομε:

$$E = IR + Ir \rightarrow E.I = I\,(IR + Ir) = I^2 R + I^2 r$$

Αλλά ο προσθετέος I^2R είναι η ισχύς που καταναλίσκει η εξωτερική αντίσταση R του κυκλώματος και I^2r είναι η ισχύς που καταναλίσκει η εσωτερική αντίσταση της πηγής. Την ισχύ αυτή την παρέχει η ηλεκτρική πηγή στο κύκλωμα:

Ισχύς ηλεκτρικής πηγής N = E.I

Η ενέργεια που παρέχει η πηγή στο κύκλωμα σε χρόνο t θα είναι:

$$W = E.I.t$$

2.11 Φαινόμενο Joule.

Η ηλεκτρική ενέργεια μετατρέπεται ολόκληρη μέσα στις αντιστάσεις σε θερμότητα (Φαινόμενο Joule).

Η θερμότητα που αναπτύσσεται οφείλεται στις συγκρούσεις των κινουμένων ηλεκτρονίων με τα άτομα (ιόντα) του αγωγού, με αποτέλεσμα να αυξάνεται το πλάτος της ταλαντώσεώς τους.

Έτσι τα άτομα αποκτούν μεγαλύτερη κινητική ενέργεια και ο αγωγός θερμαίνεται. Μπορούμε λοιπόν να γράψομε ότι η θερμότητα που αναπτύσσεται (εκλύεται) σε έναν αγωγό είναι ίση με την ηλεκτρική ενέργεια:

$$Q = W \qquad (1)$$

Η θερμότητα που δίνει ο τύπος (1) δίνεται σε Joule.

Αν θέλομε τη θερμότητα σε θερμίδες (cal) χρησιμοποιούμε τη σχέση:

$$Q = aW$$

όπου α συντελεστής που πειραματικά βρέθηκε ότι είναι:

$$a = 0{,}24\ \frac{cal}{Joule}$$

Έτσι έχομε:

$$Q = 0{,}24\ W = 0{,}24\ Nt = 0{,}24\ I^2\ Rt = 0{,}24\ UIt = 0{,}24\ \frac{U^2}{R}\ t$$

Όταν ηλεκτρική πηγή τροφοδοτεί καταναλωτή, αυτός μετατρέπει την

ηλεκτρική ενέργεια σε μια άλλη μορφή, οπότε μέρος από την ενέργεια της πηγής μετατρέπεται σε θερμότητα που οφείλεται στην ωμική αντίσταση του καταναλωτή και των αγωγών που τον συνδέουν με την πηγή. Αυτή ακριβώς η ενέργεια που μετατρέπεται σε θερμότητα ονομάζεται ***απώλεια Joule.***

2.12 Εφαρμογές των θερμικών αποτελεσμάτων του ρεύματος.

α) Λαμπτήρες πυρακτώσεως.

Αυτοί αποτελούνται από γυάλινο δοχείο που περιέχει αδρανές αέριο (αργό ή άζωτο) σε πολύ μικρή πίεση. Μέσα στο δοχείο υπάρχει λεπτό νήμα από δύστηκτο μέταλλο (βολφράμιο συνήθως) που τα άκρα του καταλήγουν σε δυο ακροδέκτες στη βάση του λαμπτήρα. Τη βάση του λαμπτήρα προσαρμόζομε σε ειδική υποδοχή (ντουί) και με τη βοήθεια ενός διακόπτη συνδέομε με την τάση τροφοδοτήσεώς του.

Τότε λόγω της θερμότητας που αναπτύσσεται, καθώς το ρεύμα διέρχεται από το σύρμα, η θερμοκρασία του αυξάνεται και ***σταθεροποιείται*** σε μία ορισμένη τιμή. (Η θερμοκρασία δεν αυξάνεται συνέχεια γιατί η θερμότητα που αναπτύσσεται σε κάποιο χρόνο γίνεται ίση με τη φωτεινή ενέργεια που ακτινοβολείται και τη θερμότητα που αποβάλλεται στο περιβάλλον, στον ίδιο χρόνο).

Η θερμοκρασία ισορροπίας είναι περίπου 2700°C. Επειδή η θερμοκρασία αυτή είναι πολύ μεγάλη, το νήμα πυρακτώνεται και φωτοβολεί ισχυρά.

Το αδρανές αέριο περιορίζει την εξάχνωση του σύρματος και ο λαμπτήρας μπορεί να εργάζεται και σε υψηλότερη θερμοκρασία (αν στα άκρα του εφαρμοσθεί μεγαλύτερη τάση από τη κανονική του) χωρίς να ελαττώνεται σημαντικά η διάρκεια της ζωής του.

Κάθε λαμπτήρας (αλλά και κάθε οικιακή συσκευή) φέρει δυο ενδείξεις π.χ. «220 V, 100 W» που σημαίνουν ότι ο λαμπτήρας καταναλίσκει ισχύ 100 W όταν τροφοδοτείται με τάση 220 V. Από τις ενδείξεις αυτές μπορούμε να υπολογίσομε:

1) ***Το κανονικό ρεύμα*** λειτουργίας του λαμπτήρα:

$I_κ = N/U = 0,45$ A. Όταν το ρεύμα που διαρρέει τη λάμπα είναι μικρότερο, ο λαμπτήρας δεν φωτοβολεί, ενώ όταν είναι μεγαλύτερο καταστρέφεται.

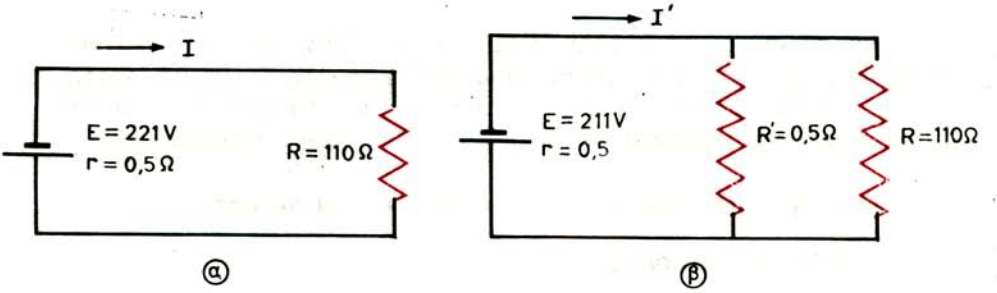
2) ***Τη αντίσταση του λαμπτήρα:*** $R = \frac{U^2}{N} = 484\ \Omega.$

3) ***Την ηλεκτρική ενέργεια*** που καταναλώνει ο λαμπτήρας σε 1 ώρα:

$$W = N.t = 100.1\ W.h = 0,1\ kWh.$$

β) Βραχυκύκλωμα – Ασφάλειες.

Όταν συνδέσομε τους πόλους μιας πηγής με αγωγό αμελητέας αντιστάσεως, τότε λέμε ότι προκαλούμε ***βραχυκύκλωμα.*** Στην περίπτωση αυτή η ένταση του ρεύματος που διαρρέει το κύκλωμα γίνεται πολύ μεγάλη, οπότε και η θερμότητα Joule που αναπτύσσεται γίνεται πολύ μεγάλη, με αποτέλεσμα να καταστραφούν οι μονώσεις των αγωγών και να προκληθούν δυσάρεστα αποτελέσματα.



Σχ. 2.12α.
Παραδείγματα: α) Κυκλώματος. β) Βραχυκυκλώματος.

Για παράδειγμα ας υπολογίσομε το ρεύμα που διαρρέει το κύκλωμα στις περιπτώσεις του σχήματος 2.12α(α) και (β):

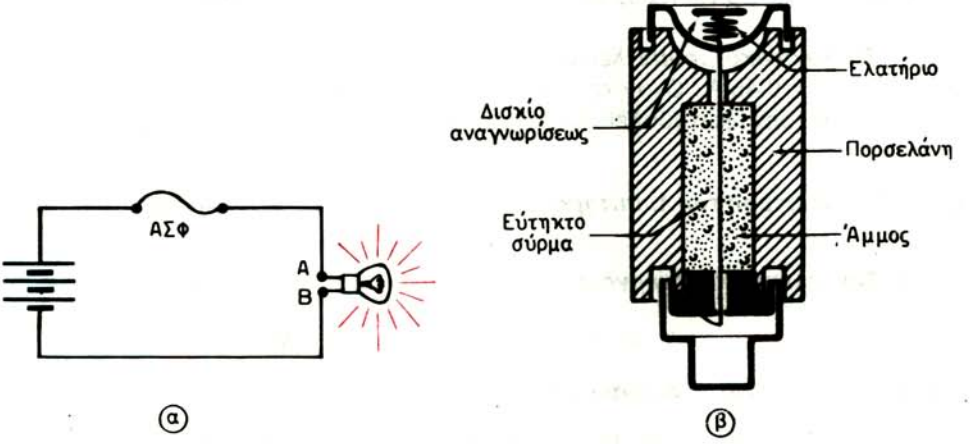
α) $$I = \frac{E}{R + r} = \frac{221}{110 + 0,5} = 2A$$

β) $$I' = \frac{E}{r + \frac{RR'}{R+R'}} = \frac{221}{0,5 + \frac{110.0,5}{110,5}} \simeq 221\ A$$

Η μεγάλη αυτή αύξηση του ρεύματος μπορεί να προκαλέσει μεγάλες βλάβες στο κύκλωμα ή ακόμη και πυρκαϊά.

Γι' αυτό όλα τα κυκλώματα προστατεύονται με ***ασφάλειες*** που συμβολίζονται όπως στο σχήμα 2.12β(α).

– ***Η τηκόμενη ασφάλεια*** [σχ. 2.12β(β)], είναι ασφάλεια που περιέχει λεπτό μολύβδινο σύρμα που λειώνει (τήκεται), επειδή αυξάνει η θερμοκρασία του,



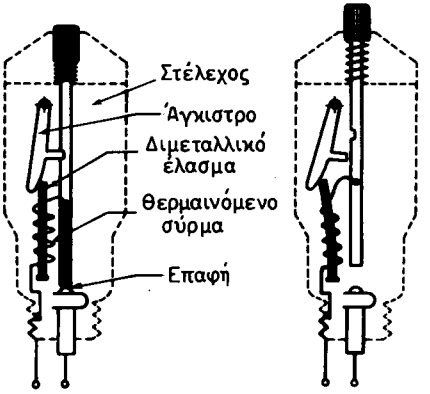
Σχ. 2.12β.
α) Συμβολισμός των ασφαλειών. β) Η τηκόμενη ασφάλεια.

όταν η ένταση του ρεύματος είναι μεγαλύτερη από την κανονική και διακόπτει το κύκλωμα. Έτσι αποφεύγονται δυσάρεστα επακόλουθα.

– ***Οι αυτόματες ασφάλειες*** (σχ. 2.12γ) είναι ασφάλειες που περιέχουν δυο ελάσματα με διαφορετικούς συντελεστές θερμικής διαστολής. (Όταν το έλασμα θερμαίνεται παραμορφώνεται).

Το διμεταλλικό έλασμα περιβάλλεται από σύρμα που διαρρέεται από το ρεύμα του κυκλώματος. Στο κέντρο της ασφάλειας υπάρχει στέλεχος που συγκρατείται με άγκιστρο σε ορισμένη θέση. Όταν το κύκλωμα διαρρέεται από κανονικό ρεύμα, η θερμότητα που αναπτύσσεται είναι μικρή και το έλασμα διατηρείται ευθύγραμμο (τεντωμένο).

Όταν όμως η ένταση του ρεύματος γίνει μεγαλύτερη από τη κανονική, τότε το έλασμα στρεβλώνεται και σπρώχνει το άγκιστρο. Έτσι το στέλεχος ελευθερώνεται και με τη βοήθεια ελατηρίου απομακρύνεται και διακόπτει το κύκλωμα. Η ασφάλεια μπορεί να λειτουργήσει πάλι όταν πιέσομε την κεφαλή του στελέχους, ώστε αυτό να αγκιστρωθεί και να κλείσει το κύκλωμα.



Σχ. 2.12γ.

Πως θα εκλέξομε την κατάλληλη ασφάλεια.

Όπως είναι γνωστό, όλες οι ηλεκτρικές συσκευές μιας οικιακής εγκαταστάσεως συνδέονται παράλληλα μεταξύ τους. Στα άκρα τους λοιπόν θα εφαρμόζεται η τάση U του δικτύου. Από τη συνολική ισχύ:

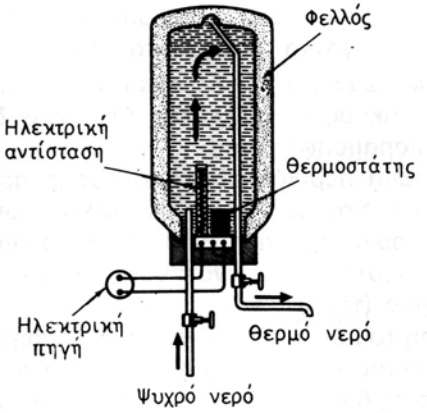
$$N_{ολ} = N_1 + N_2 + N_3 + ...$$

που καταναλίσκουν οι καταναλωτές όταν συνδεθούν με τη τάση U του δικτύου υπολογίζομε το ρεύμα I που διαρρέει το κύκλωμα:

$$I = \frac{N_{ολ}}{U}$$

Αν π.χ. $N_{ολ}$ = 6300 W και U = 220V τότε I = 28,6 A.

Η ασφάλεια που θα χρησιμοποιήσομε θα πρέπει να είναι λίγο μεγαλύτερη από την παραπάνω τιμή. Επειδή οι ασφάλειες που κυκλοφορούν στο εμπόριο είναι 6A, 10 A, 16 A, 25 A, 30 A, 35 A κλπ. θα χρησιμοποιήσομε ασφάλεια των 30 A.



Σχ. 2.12δ.

γ) Οικιακές συσκευές.

1) Ηλεκτρικός θερμοσίφωνας (σχ. 2.12δ). Αποτελείται από μεταλλικό δοχείο με διπλά τοιχώματα. Για να έχομε καλύτερη θερμική μόνωση μεταξύ των τοιχωμάτων παρεμβάλλεται ένας κακός αγωγός της θερμότητας (φελλός ή υαλοβάμβακας). Στο εσωτερικό του δοχείου υπάρχει ηλεκτρική αντίσταση R που στα άκρα της εφαρμόζεται η τάση U του δικτύου και ο θερμοστάτης που ανοίγει και κλείνει αυτόματα το κύκλωμα και ρυθμίζει έτσι την επιθυμητή θερμοκρασία του νερού.

Βασική εξίσωση. Αν το νερό έχει μάζα m, τότε για να αυξηθεί η θερμοκρασία του κατά $\Delta\theta = \theta_{τελ} - \theta_{αρχ}$ χρειάζεται θερμότητα:

$$Q_1 = mc\Delta\theta$$

Η θερμότητα που αναπτύσσεται στην αντίσταση είναι:

$$Q_2 = 0{,}24\ W = 0{,}24\ \frac{U^2}{R}t$$

Αν δεν έχομε απώλειες (n = 1) θα πρέπει:

$$Q_1 = Q_2 \rightarrow mc\Delta\theta = 0{,}24\ \frac{U^2}{R}t$$

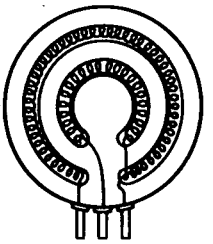
Αν ο συντελεστής αποδόσεως είναι n, τότε, σύμφωνα με το γενικό ορισμό του n, θα έχομε:

$$n = \frac{Q_1}{Q_2} \rightarrow mc\Delta\theta = n.0{,}24.\ \frac{U^2}{R}t$$

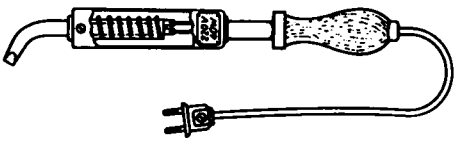
2) Ηλεκτρικό σίδερο (σχ. 2.12ε). Η αντιστασή του αποτελείται από χρωμονικελίνη (κράμα Cr, Ni, Fe και Mn) που έχει την ιδιότητα να θερμαίνεται γρήγορα και



Σχ. 2.12ε.



Σχ. 2.12στ.



Σχ. 2.12ζ.

να τήκεται σε πολύ μεγάλη θερμοκρασία. Το σύρμα μονώνεται κατάλληλα με φύλλα μίκας.

3) Ηλεκτρική κουζίνα. Το σχήμα 2.12στ δείχνει την αντίσταση σε μια πλάκα ηλεκτρικής κουζίνας. Το σύρμα (χρωμονικελίνη) είναι τυλιγμένο γύρω από μονωτική ουσία (πορσελάνη ή μίκα).

4) Ηλεκτρικό κολλητήρι (σχ. 2.12ζ). Είναι ένα χρήσιμο όργανο για τη συγκόλληση διαφόρων μεταλλικών αντικειμένων με τη βοήθεια καταλλήλου κράματος μολύβδου και κασσιτέρου (καλάι). Στο ένα άκρο του υπάρχει χάλκινη ράβδος που θερμαίνεται από ηλεκτρική αντίσταση.

2.13 Αποδέκτες. Αντιηλεκτρεγερτική δύναμη (ΑΗΕΔ) αποδέκτη.

Ηλεκτρική πηγή, όπως αναφέραμε, είναι η συσκευή που μετατρέπει ενέργεια μιας μορφής σε ηλεκτρική ενέργεια.

Τα ηλεκτρικά στοιχεία π.χ. μετατρέπουν τη χημική ενέργεια σε ηλεκτρική, οι γεννήτριες τη μηχανική σε ηλεκτρική κ.λ.π.

Ηλεκτρικός αποδέκτης ονομάζεται η συσκευή που μετατρέπει την ηλεκτρική ενέργεια σε ενέργεια άλλης μορφής.

Τα βολτάμετρα π.χ. είναι αποδέκτες, γιατί μετατρέπουν την ηλεκτρική ενέργεια σε χημική, οι κινητήρες είναι αποδέκτες γιατί μετατρέπουν την ηλεκτρική ενέργεια σε μηχανική κλπ.

Η ισχύς ηλεκτρικής πηγής, όπως γνωρίζομε, είναι:

$$N = EI.$$

Σε ένα αποδέκτη, η ισχύς της ηλεκτρικής ενέργειας που μετατρέπεται σε άλλη ωφέλιμη μορφή ενέργειας (εκτός από θερμότητα) είναι:

$$\text{Ισχύς αποδέκτη: } N' = E'I$$

Ο συντελεστής Ε΄ ονομάζεται ***αντιηλεκτρεγερτική δύναμη*** (ΑΗΕΔ) του αποδέκτη:

ΑΗΕΔ αποδέκτη ονομάζεται το σταθερό πηλίκο της ωφέλιμης ισχύος που απορροφά ο αποδέκτης προς την ένταση του ρεύματος που διέρχεται από αυτόν.

Ας υπολογίσομε το ρεύμα που διαρρέει το κύκλωμα με ηλεκτρική πηγή και αποδέκτη του σχήματος 2.13.

Η πηγή παρέχει ισχύ: $N = E \cdot I$

Ο αποδέκτης απορροφά ισχύ: $N' = E' \cdot I$

Προσθέτομε: $0 = E_1 - I_1r_1 - I_3R_3 + i_2r_2 - E_2 - I_4R_4 + E_3 + I_5r_3$ που είναι η σχέση (1). Αν στο κύκλωμα δεν υπάρχουν πηγές τότε θα έχομε:

$$\Sigma IR = 0$$

Παράδειγμα: Να υπολογισθούν τα ρεύματα I_1, I_2 και I_3. (σχ. 2.146).

α) Σχεδιάζομε αυθαίρετα τα ρεύματα I_1, I_2 και I_3.
β) Ορίζομε αυθαίρετα σαν θετική φορά, τη φορά την αντίθετη των δεικτών του ρολογιού.
γ) Εφαρμόζομε τους κανόνες του Κίρχωφ:
Κόμβος Β:

$$I_1 = I_2 + I_3 \qquad (1)$$

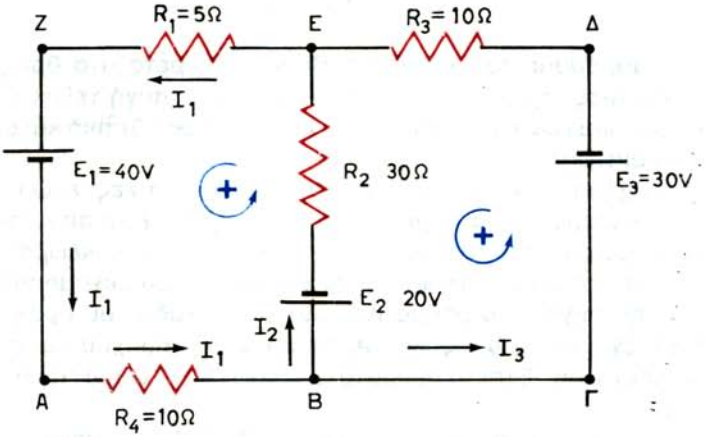
Βρόχος ΑΒΕΖΑ: $E_1 + E_2 = I_1R_1 + I_2R_2 + I_1R_4$ (2)

Βρόχος ΒΓΔΕΒ: $-E_2 + E_3 = -I_2R_2 + I_3R_3$ (3)

Αφού αντικαταστήσομε τις τιμές, λύνομε το παραπάνω σύστημα και υπολογίζομε τα ρεύματα I_1, I_2 και I_3:

$$I_1 = 3\ A, \quad I_2 = 0{,}5\ A \quad \text{και} \quad I_3 = 2{,}5\ A$$

Τα τρία ρεύματα προκύψανε θετικά, επομένως η αυθαίρετη φορά τους που λάβαμε στην αρχή, συμπίπτει με την πραγματική.



Σχ. 2.146.
Διάταξη σύνθετου κυκλώματος.

Παρατήρηση: Ο αριθμός των εξισώσεων δεν πρέπει ποτέ να είναι μεγαλύτερος από τον αριθμό των αγνώστων. Στο παράδειγμά μας θα μπορούσαμε να είχαμε και άλλη μία εξίσωση από το βρόχο ΑΓΔΖΑ:

$$E_1 + E_3 = I_1R_1 + I_1R_4 + I_3R_3$$

Αυτή όμως προκύπτει αν προσθέσομε τις (2) και (3) κατά μέλη.

Θα πρέπει λοιπόν στην κατάστρωση του συστήματος να προσέχομε, ώστε οι εξισώσεις να είναι ανεξάρτητες μεταξύ τους. Επίσης αν το ρεύμα σε κάποιο κλάδο βρεθεί αρνητικό, αυτό σημαίνει ότι η φορά του είναι αντίθετη από αυτήν που σημειώσαμε αυθαίρετα στην αρχή.

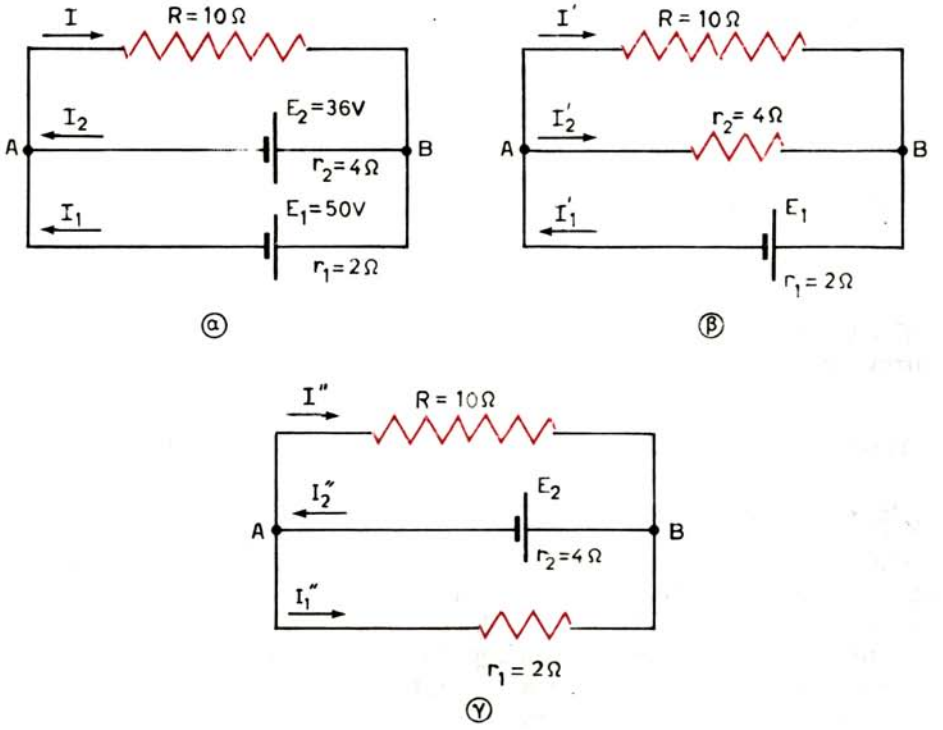
β) Μέθοδος της επαλληλίας.

Σε κύκλωμα με πολλές πηγές τα αποτελέσματα κάθε πηγής είναι ανεξάρτητα από την παρουσία των άλλων πηγών.

Κατά τη μέθοδο αυτή θεωρούμε ότι μηδενίζονται όλες οι ΗΕΔ των πηγών εκτός από μια και προσδιορίζομε τα ρεύματα σε όλους τους κλάδους του κυκλώματος.

Στη συνέχεια επιλύομε όλα τα κυκλώματα που προκύπτουν, όταν υπάρχει κάθε φορά μια μόνο ΗΕΔ, και προσδιορίζομε τα ρεύματα σε όλους τους κλάδους. Η ένταση του ρεύματος σε ένα κλάδο θα είναι ίση με το αλγεβρικό άθροισμα όλων των μερικών εντάσεων του κλάδου.

Ας εφαρμόσομε τη μέθοδο στο κύκλωμα του σχήματος 2.14γ.



Σχ. 2.14γ.

α) Διάταξη κυκλώματος με δυο πηγές E_1 και E_2. β) Ισοδύναμο κύκλωμα με την πηγή E_2 μηδενισμένη. γ) Ισοδύναμο κύκλωμα με την πηγή E_1 μηδενισμένη.

Θεωρούμε πρώτα ότι υπάρχει μόνο η E_1 και υπολογίζομε τις εντάσεις:

$$I'_1 = \frac{E_1}{r_1 + \dfrac{Rr_2}{R + r_2}} = \frac{175}{17}\,A$$

οπότε:

$$U_B - U_A = E_1 - I'_1 \cdot r_1 = \frac{500}{17} V$$

Άρα $$I'_2 = \frac{U_{BA}}{r_2} = \frac{125}{17} A$$

και $$I' = \frac{U_{BA}}{\rho} = \frac{50}{17} A$$

Δεχόμαστε τώρα ότι υπάρχει μόνο η E_2. Αν εργασθούμε όπως και παραπάνω θα έχουμε:

$$I''_2 = \frac{108}{17} A, \quad I''_1 = \frac{90}{17} A, \quad I'' = \frac{18}{17} A$$

Επομένως θα έχομε: $$I_1 = I'_1 - I''_1 = \frac{175}{17} - \frac{90}{17} = 5A \text{ και}$$

$$I_2 = I''_2 - I''_1 = -1A$$

(Το αρνητικό σημείο σημαίνει ότι η πραγματική φορά του I είναι αντίθετη από αυτήν που σημειώσαμε αυθαίρετα στην αρχή).

Τέλος $$I = I' + I'' = \frac{50}{17} + \frac{18}{17} = 4A.$$

γ) Μέθοδος του Maxwell.

Και στη μέθοδο αυτή που παρέχει ευκολότερη λύση στα προβλήματα των πολυπλόκων κυκλωμάτων, διατηρούνται όλες οι προϋποθέσεις που αναφέραμε στους κανόνες του Κίρχωφ.

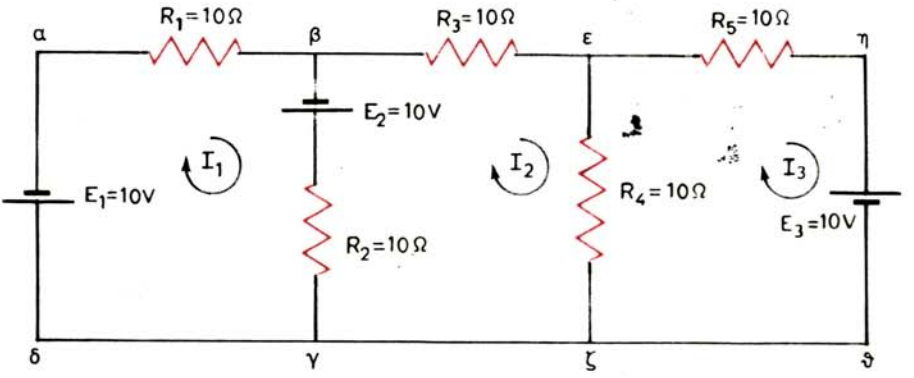
Κατά τη μέθοδο Maxwell, θεωρούμε ότι σε κάθε βρόχο κυκλοφορεί η ίδια ένταση ρεύματος σε όλους τους κλάδους του. Στην περίπτωση που αντίσταση διαρρέεται από τα ρεύματα δυο βρόχων, η πτώση τάσεως που δημιουργούν τα ρεύματα και των δυο βρόχων θα λαμβάνεται υπόψη στις εξισώσεις και των δυο βρόχων. Επίσης το ρεύμα που διαρρέει την παραπάνω αντίσταση, θα προκύπτει σαν το αλγεβρικό άθροισμα των δυο ρευμάτων. Οι εξισώσεις που θα καταστρώσομε θα είναι τόσες, όσοι είναι οι βρόχοι του κυκλώματος.

Παράδειγμα.

Να υπολογισθούν οι εντάσεις των ρευμάτων που διαρρέουν τους διαφόρους κλάδους του κυκλώματος (σχ. 2.14δ).

Έστω I_1, I_2 και I_3 τα ρεύματα που διαρρέουν τους τρεις βρόχους του σχήματος. (Η αυθαίρετη φορά πρέπει να είναι κοινή και στους τρεις βρόχους) θα έχομε:

Βρόχος αβγδα: $E_1 - E_2 = I_1R_1 + I_1R_2 - I_2R_2$ (1)



Σχ. 2.14δ.
Διάταξη συνθέτου κυκλώματος.

Βρόχος βεζγβ: $E_2 = I_2R_3 + I_2R_4 - I_3R_4 - I_1R_2 + I_2R_2$ (2)

Βρόχος εηθζε: $E_3 = I_3R_4 + I_3R_5 - I_2R_4$ (3)

Αφού αντικαταστήσομε τις τιμές, λύνομε το παραπάνω σύστημα και υπολογίζομε τα ρεύματα I_1, I_2 και I_3:

$$I_1 = 0{,}125\ A,\quad I_2 = 0{,}25\ A \text{ και } I_3 = -0{,}375\ A.$$

Η αρνητική τιμή του ρεύματος I_3 σημαίνει ότι η πραγματική φορά του είναι αντίθετη από αυτήν που σημειώσαμε αυθαίρετα στην αρχή.

Ο κλάδος βγ διαρρέεται από ρεύμα $I_{γβ} = I_2 - I_1 = 0{,}125$ A με φορά από το γ στο β.

Ο κλάδος εζ διαρρέεται από ρεύμα $I_{εζ} = I_2 + I_3 = 0{,}625$ A με φορά από το ε στο ζ.

2.15 Γέφυρα Wheatstone. Γέφυρα με χορδή.

Στη γέφυρα Wheatstone 4 αντιστάσεις συνδέονται, όπως δείχνει το σχήμα 2.15α. (Η R_4 είναι ροοστάτης). Τις κορυφές Α και Β τις συνδέομε με ηλεκτρική πηγή και τις Γ, Δ με τους ακροδέκτες του γαλβανομέτρου G [ευαίσθητο αμπερόμετρο, (παράγρ. 3.6)]. Αν μεταβάλλομε την αντίσταση R_4 θα παρατηρήσομε, ότι για μια τιμή της R_4 το γαλβανόμετρο δείχνει ένταση ρεύματος μηδέν. (Ο κλάδος ΓΔ δεν διαρρέεται από ρεύμα). Στην περίπτωση αυτή της ***ισορροπίας*** της γέφυρας θα έχομε:

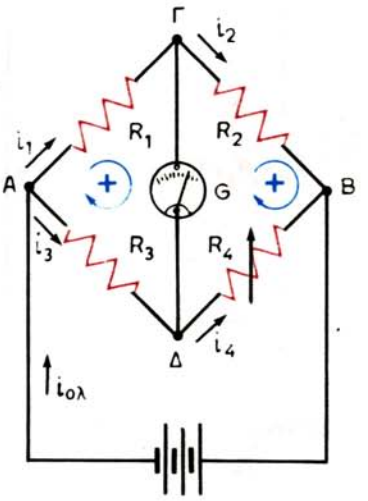
$$I_1 = I_2,\quad I_3 = I_4,$$

Βρόχος ΑΓΔΑ: $I_1R_1 - I_3R_3 = 0$
Βρόχος ΓΒΔΓ: $I_2R_2 - I_4R_4 = 0$

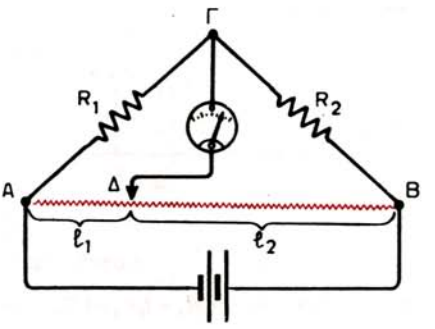
Από τις εξισώσεις αυτές έχομε τη σχέση:

$$\frac{R_1}{R_2} + \frac{R_3}{R_4} \qquad (1)$$

Αν λοιπόν από τις 4 αντιστάσεις οι τρεις είναι γνωστές, μπορούμε με τη σχέση (1) να υπολογίσομε την τιμή της τέταρτης.



Σχ. 2.15α.
Γέφυρα Wheatstone.



Σχ. 2.15β.
Γέφυρα με χορδή.

Στη γέφυρα με χορδή (σχ. 2.15β), οι αντιστάσεις R_3 και R_4 έχουν αντικατασταθεί από σύρμα (χορδή) που πάνω του μπορεί να μετακινείται ο δρομέας Δ.

Για μια θέση του δρομέα Δ το γαλβανόμετρο δεν διαρρέεται από ρεύμα, οπότε θα ισχύει η σχέση (1):

$$\frac{R_1}{R_2} = \frac{R_{A\Delta}}{R_{\Delta B}} \rightarrow \frac{R_1}{R_2} = \frac{\rho \dfrac{l_1}{S}}{\rho \dfrac{l_2}{S}}$$

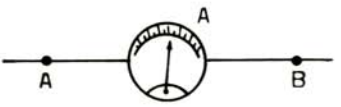
$$R_1 = R_2 \frac{l_1}{l_2} \qquad (2)$$

Στη θέση ισορροπίας μετράμε με ένα κανόνα τα μήκη l_1 και l_2 και υπολογίζομε με τη σχέση (2) την τιμή της άγνωστης αντιστάσεως R_1, αν γνωρίζομε την τιμή της R_2.

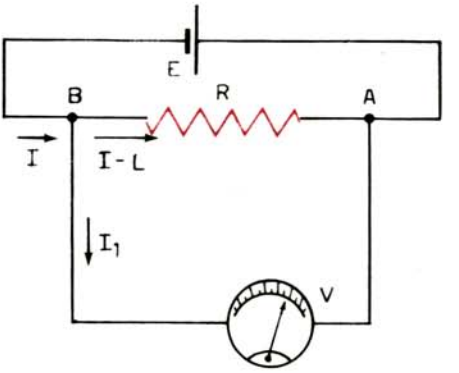
2.16 Γενικά περί αμπερομέτρων και βολτομέτρων.

Όπως έχομε αναφέρει και στην παράγραφο 2.3, για να μετρήσομε την ένταση του ρεύματος που διαρρέει ένα τμήμα κυκλώματος ΑΒ χρησιμοποιούμε όργανα που ονομάζονται ***αμπερόμετρα.*** Πριν τοποθετηθεί το όργανο στο κύκλωμα η ένταση του ρεύματος I που διαρρέει το κλάδο ΑΒ είναι:

$$I = \frac{U_{AB}}{R_{AB}}$$



Σχ. 2.16α.
Σύνδεση αμπερομέτρου.



Σχ. 2.16β.
Σύνδεση βολτομέτρου.

όπου R_{AB} η αντίσταση του κλάδου ΑΒ. Μετά την τοποθέτηση του αμπερομέτρου (σχ. 2.16α) η ένταση του ρεύματος γίνεται:

$$I' = \frac{U_{AB}}{R_{AB} + r}$$

όπου r η εσωτερική αντίσταση του οργάνου.

Παρατηρούμε δηλαδή, ότι η τοποθέτηση του οργάνου μεταβάλλει την ένταση του ρεύματος I που θέλομε να μετρήσομε.

Η μεταβολή αυτή είναι τόσο μικρότερη, όσο η r είναι μικρότερη. ***Γι' αυτό τα αμπερόμετρα πρέπει να έχουν, όσο είναι δυνατόν, πολύ μικρή εσωτερική αντίσταση.***

Τα βολτόμετρα, όπως είναι γνωστό, μετρούν διαφορές δυναμικού. Αν π.χ. θέλομε να μετρήσομε την τάση που επικρατεί στα άκρα του κλάδου ΑΒ (σχ. 2.16β), συνδέομε τους ακροδέκτες του οργάνου με τα σημεία Α και Β. Το όργανο τότε θα διαρρέεται από ρεύμα:

$$I_1 = \frac{U_{AB}}{r}$$

όπου r η εσωτερική αντίσταση του οργάνου. Επειδή η εκτροπή του δείκτη του οργάνου είναι ανάλογη προς την ένταση I_1 (όπως θα δούμε στην κατασκευή των οργάνων), θα είναι ανάλογη και προς την τάση U_{AB}. Μπορεί επομένως το όργανο να βαθμολογηθεί σε Volt.

Η τοποθέτηση του οργάνου στο κύκλωμα, μεταβάλλει το ρεύμα I που το διαρρέει με αποτέλεσμα να μεταβάλλεται και η τάση U_{AB}. Ενώ δηλαδή πριν την τοποθέτηση του οργάνου ήταν:

$$I = E/R \text{ και } U_{AB} = IR,$$

μετά από αυτήν είναι: $I' = E/R' \text{ και } U_{AB} = I' \cdot R'$

όπου: $$R' = \frac{R \cdot r}{R + r} = \frac{R}{\frac{R}{r} + 1}$$

η ισοδύναμη αντίσταση των R και r.

Αν η r είναι πολύ μεγάλη, τότε $R/r \to 0$, $R' \to R$, $I' \to I$ και $U'_{AB} \to U_{AB}$, δηλ. η μεταβολή της U_{AB} είναι τόσο μικρότερη, όσο η r είναι μεγαλύτερη. ***Γι' αυτό, τα βολτόμετρα πρέπει να έχουν, όσο είναι δυνατό, πολύ μεγάλη εσωτερική αντίσταση.***

2.17 Όργανα με πολλές περιοχές μετρήσεων.

Κάθε όργανο μετρήσεως μπορεί να μετρήσει ρεύματα μέχρι μιας ορισμένης εντάσεως. (Η μεγίστη ένταση εξαρτάται, όπως θα δούμε παρακάτω, από τα κατασκευαστικά στοιχεία του οργάνου).

Το μέγιστο ρεύμα που υποχρεώνει το δείκτη (βελόνη) του οργάνου να δείχνει τη μεγαλύτερη ένδειξη της κλίμακάς του, ονομάζεται ευαισθησία του οργάνου.

Η ευαισθησία του οργάνου είναι τόσο μεγαλύτερη, όσο το μέγιστο ρεύμα είναι μικρότερο (οπότε και οι μετρήσεις θα είναι ακριβέστερες).

Η ευαισθησία των μιλλιαμπερομέτρων που χρησιμοποιούνται στις ραδιοτεχνικές μετρήσεις είναι 1 mA, ενώ στις βιομηχανικές εγκαταστάσεις τα μιλλιαμπερόμετρα έχουν ευαισθησία 50 mA ή και 100 mA. Επειδή τα ρεύματα αυτά δεν καλύπτουν τις πρακτικές ανάγκες, η κλίμακα του οργάνου πολλαπλασιάζεται έμμεσα, με τρόπους που αναφέρομε αμέσως παρακάτω.

α) Πολλαπλασιασμός της κλίμακας αμπερομέτρου.

Για να μετρήσομε με ένα αμπερόμετρο ρεύματα μεγαλύτερα από την ευαισθησία του, συνδέομε παράλληλα προς το όργανο μίαν αντίσταση.

Η αντίσταση αυτή είναι μικρότερη από την εσωτερική αντίσταση του οργάνου και ονομάζεται συνήθως ***Shunt*** (R_s).

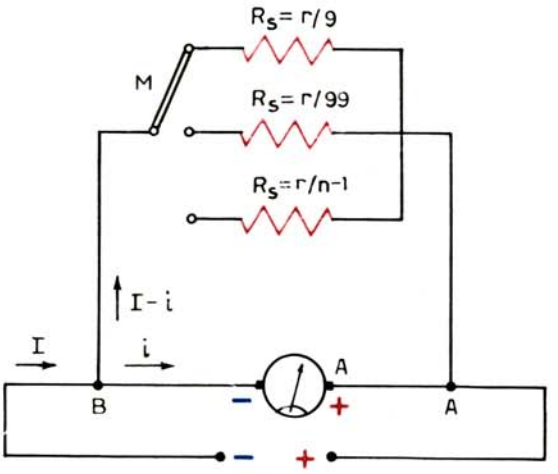
Έτσι το συνολικό ρεύμα I, (σχ. 2.17α), που θέλομε να μετρήσομε, διακλαδίζεται στον κόμβο Β και το μεγαλύτερο μέρος του I-i διέρχεται από την παράλληλη αντίσταση R_s, ενώ ένα μικρό μέρος του I (που πρέπει να είναι μικρότερο από την ευαισθησία του οργάνου) διέρχεται από το όργανο. (Υπενθυμίζομε ότι το όργανο συνδέεται πάντοτε σε σειρά στο κύκλωμα, και με την ορθή πολικότητα. Λανθασμένη σύνδεση προκαλεί αντίθετη εκτροπή της βελόνας που μπορεί να έχει σαν αποτέλεσμα τη στρέβλωσή της).

Σύμφωνα με το νόμο του Ohm θα έχομε:

$$U_{AB} = ir = (I-i)\, R_s \to I = \frac{R_s + r}{R_s} \cdot i = \left(\frac{r}{R_s} + 1 \right) i = ni \qquad (1)$$

Ο συντελεστής $n = I/i$ ονομάζεται ***πολλαπλασιαστική δύναμη της διακλαδώσεως.***

Από την (1) έχομε:



Σχ. 2.17α.
Διάταξη πολλαπλασιασμού της κλίμακας αμπερομέτρου.

$$R_s = \frac{r}{n-1} \qquad (2)$$

Για n = 10, δηλαδή για να μετρά το όργανο δεκαπλάσια ρεύματα από την ευαισθησία του, θα πρέπει η Shunt να έχει τιμή: $R_s = r/9$ (r η εσωτ. αντίσταση του οργάνου).

Για $n = 100 \rightarrow R_s = \frac{r}{99}$ κλπ.

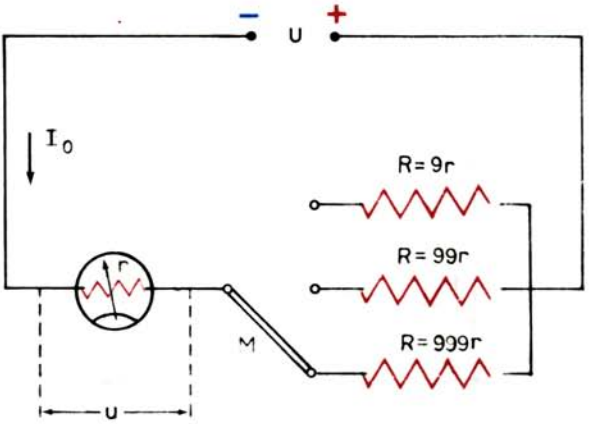
Το ίδιο όργανο μπορεί να έχει πολλές αντιστάσεις (με τη βοήθεια του μεταγωγέα Μ συνδέεται η κατάλληλη αντίσταση παράλληλα προς το όργανο) που επιτρέπουν να χρησιμοποιείται για μετρήσεις σε πολλές περιοχές εντάσεων.

Από την ισχύ και την τάση λειτουργίας του καταναλωτή μπορούμε να εκτιμήσομε, κατά κάποιο τρόπο, το ρεύμα που πρόκειται να μετρήσομε, οπότε εκλέγομε και την αντίστοιχη περιοχή ρευμάτων του οργάνου. Σε περιπτώσεις αμφιβολίας προχωρούμε δοκιμαστικά αρχίζοντας τη μέτρηση με τη μεγαλύτερη κλίμακα. Αν η ένδειξη είναι μικρή, προχωρούμε στην αμέσως μικρότερη κλίμακα. Τελικά εκτελούμε τη μέτρηση στην περιοχή εκείνη, όπου η βελόνα ισορροπεί στη μέση περίπου της κλίμακας του οργάνου.

Αν η ευαισθησία του οργάνου είναι $I_0 = 1$ mA και η εσωτερική του αντίσταση r = 10 Ω, τότε το όργανο θα μπορούσε να μετρήσει τάσεις μέχρι $u = I_0 . r = 10$ mV.

Για να μετρήσομε μεγαλύτερες τάσεις, πρέπει να συνδέσομε σε σειρά προς το μιλλιαμπερόμετρο, μία κατάλληλη αντίσταση R που ονομάζεται ***πολλαπλασιαστής*** (σχ. 2.17β).

Αν U η μεγίστη τάση που θέλομε να μετρά το όργανο, r η εσωτερική αντίσταση του οργάνου και I_0 το μέγιστο ρεύμα (ευαισθησία) που μπορεί να μετρήσει το όργανο, τότε σύμφωνα με το νόμο του Ohm θα έχομε:



Σχ. 2.176.
Διάταξη πολλαπλασιασμού της κλίμακας βολτομέτρου.

$$I_0 = \frac{U}{R + r} \rightarrow R = \frac{U}{I_0} - r \qquad (3)$$

Για να μετατρέψομε π.χ. το μιλλιαμπερόμετρό μας σε βολτόμετρο που να μετρά μέγιστη τάση 10 V, θα πρέπει να συνδέσομε σε σειρά προς το όργανο μιαν αντίσταση:

$$R = \frac{10}{1.10^{-3}} - 10 = 9900$$

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΤΡΙΤΟ

ΗΛΕΚΤΡΟΜΑΓΝΗΤΙΣΜΟΣ

3.1 Προέλευση των μαγνητικών πεδίων. Πείραμα Oersted.

Τα μαγνητικά πεδία προέρχονται πάντα από την κίνηση ηλεκτρικών φορτίων.

Έτσι:

α) Γύρω από ρευματοφόρο αγωγό δημιουργείται μαγνητικό πεδίο που οφείλεται στην κίνηση των ελευθέρων ηλεκτρονίων.

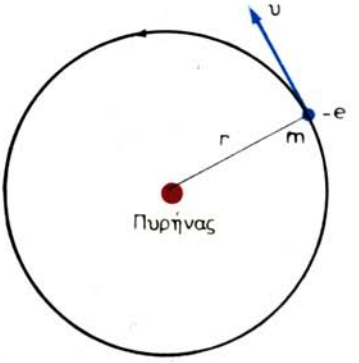
β) Γύρω από ένα ηλεκτρολύτη, όταν διέρχεται από αυτόν ηλεκτρικό ρεύμα, δημιουργείται μαγνητικό πεδίο που οφείλεται στην κίνηση των ιόντων.

γ) Το μαγνητικό πεδίο των μαγνητών οφείλεται στις κινήσεις των ηλεκτρονίων που περιφέρονται γύρω από τους πυρήνες των ατόμων.

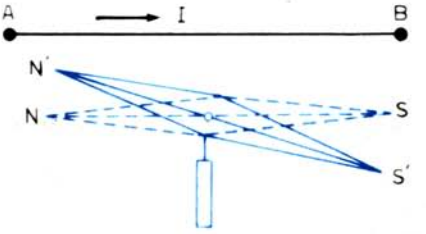
Ηλεκτρόνιο που περιστρέφεται με συχνότητα ν γύρω από πυρήνα (σχ. 3.1α) ισοδυναμεί με ηλεκτρικό ρεύμα εντάσεως:

$$I = \frac{q}{t} = \frac{q}{T} = e \cdot \nu$$

Ο Oersted για να αποδείξει, ότι γύρω από ρευματοφόρο αγωγό δημιουργείται μαγνητικό πεδίο, έβαλε πάνω από μαγνητική βελόνα που μπορεί να στρέφεται γύρω από κατακόρυφο άξονα ευθύγραμμο αγωγό ΑΒ παράλληλο προς τη διεύθυνσή της (σχ. 3.16). Όταν διοχέτευσε ρεύμα στον αγωγό παρατήρησε ότι



Σχ. 3.1α.
Η κίνηση του ηλεκτρονίου γύρω από τον πυρήνα του.



Σχ. 3.16.
Η μαγνητική βελόνα εκτρέπεται λόγω του μαγνητικού πεδίου που δημιουργεί το ρεύμα.

η βελόνα στρέφεται και ισορροπεί σε νέα θέση N΄S΄.

Όταν άλλαξε τη φορά του ρεύματος, παρατήρησε ότι η βελόνα στρέφεται κατ' αντίθετη φορά.

3.2 Μορφές μαγνητικών πεδίων.

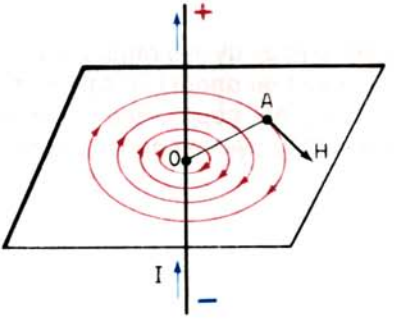
α) Μαγνητικό πεδίο ευθυγράμμου ρευματοφόρου αγωγού.

Ευθύγραμμος ρευματοφόρος αγωγός (σχ. 3.2α) (θεωρητικά άπειρου μήκους) δημιουργεί γύρω του μαγνητικό πεδίο. Οι δυναμικές γραμμές είναι συγκεντρικές περιφέρειες που τα κέντρα τους βρίσκονται στον αγωγό και τα επίπεδά τους είναι κάθετα στον αγωγό. Η φορά των δυναμικών γραμμών βρίσκεται με τον κανόνα της αριστερής παλάμης: Όταν κρατούμε τον αγωγό με την αριστερή παλάμη, έτσι ώστε ο αντίχειρας να δείχνει τη φορά του ρεύματος, τότε τα άλλα δάκτυλα δείχνουν τη φορά των δυναμικών γραμμών.

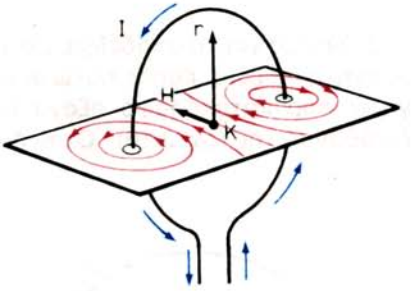
Η ένταση H_A του μαγνητικού πεδίου στο σημείο Α, που απέχει απόσταση r από τον αγωγό, παρέχεται από τον τύπο:

α) Σύστημα MKSA: $$H_A = \frac{1}{4\pi} \cdot \frac{2I}{r}$$ σε A/m.

β) HMM-σύστημα: $$H_A = \frac{2I}{r}$$ σε Gauss.



Σχ. 3.2α.
Μαγνητικό πεδίο ευθύγραμμου ρευματοφόρου αγωγού.



Σχ. 3.2β.
Μαγνητικό πεδίο κυκλικού ρευματοφόρου αγωγού.

β) Μαγνητικό πεδίο κυκλικού ρευματοφόρου αγωγού.

Κυκλικός ρευματοφόρος αγωγός δημιουργεί γύρω του μαγνητικό πεδίο. Οι δυναμικές γραμμές είναι καμπύλες που τα επίπεδα τους είναι κάθετα προς το επίπεδο του αγωγού (σχ. 3.2β). Η φορά των δυναμικών γραμμών βρίσκεται με το κανόνα του κοχλία ή της αριστερής παλάμης. Το μέτρο Η της εντάσεως του μαγνητικού πεδίου στο κέντρο Κ του κυκλικού αγωγού (στα άλλα σημεία ο υπολογισμός είναι δύσκολος) δίνεται από τη σχέση:

ΔΡΥΜΑ ΣΥΓΓΡΑΦΕΩΝ 1954

α) Σύστημα MKSA: $H_K = \frac{I}{2r}$

β) ΗΜΜ-σύστημα: $H_K \frac{2I\pi}{r}$

γ) Μαγνητικό πεδίο σωληνοειδούς.

Αν τυλίξομε μονωμένο σύρμα γύρω από ένα κοίλο μονωτικό κύλινδρο, (σχ. 3.2γ), έτσι, ώστε τα επίπεδα των σπειρών να είναι κάθετα προς τον άξονα του κυλίνδρου, τότε δημιουργείται ένα πηνίο. Όταν σε ένα πηνίο:

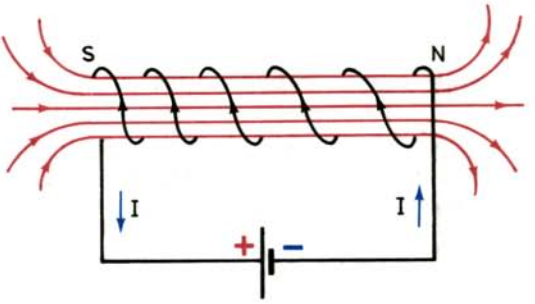
α) Οι σπείρες του έχουν την ίδια ακτίνα.

β) Απέχουν το ίδιο μεταξύ τους.

γ) Το μήκος του πηνίου είναι τουλάχιστον δεκαπλάσιο της διαμέτρου του και

δ) Διαρρέεται από ρεύμα,

τότε το πηνίο ονομάζεται ***σωληνοειδές.***



Σχ. 3.2γ.
Μαγνητικό πεδίο σωληνοειδούς.

Το μαγνητικό πεδίο στο εσωτερικό του σωληνοειδούς είναι ***ομογενές.*** Οι δυναμικές γραμμές είναι παράλληλες προς τον άξονα του σωληνοειδούς (κάθετες στο επίπεδο των σπειρών του) και η φορά τους βρίσκεται με ***τον κανόνα της αριστερής παλάμης.***

Αν κρατήσομε το σωληνοειδές έτσι, ώστε τα 4 δάκτυλα να είναι κατά τη φορά του ρεύματος που διαρρέει τις σπείρες, τότε ο αντίχειρας δείχνει τη φορά των δυναμικών γραμμών (που είναι και η φορά της εντάσεως του μαγνητικού πεδίου). Το μέτρο της εντάσεως του πεδίου στο εσωτερικό σωληνοειδούς που έχει N σπείρες και μήκος l παρέχεται από τη σχέση:

$$H = k \frac{4\pi NI}{l} = k \cdot 4\pi I \cdot \eta^* \qquad (1)$$

όπου η^* ο αριθμός των σπειρών ανά μονάδα μήκους.

Στο σύστημα MKSA είναι $k = 1/4\pi$ και η σχέση (1) γράφεται:

$$H = \frac{NI}{l} = \eta^* . I \qquad (2)$$

(I → A, l → m και H → Αμπεροστροφές/m = A/m).

Στο ΗΜΜ-σύστημα είναι k = 1 και η (1) γράφεται:

$$H = \frac{4\pi NI}{l} \qquad (3)$$

(H → Gauss, l → cm, I → ΗΜΜ-εντάσεως).

Το μαγνητικό πεδίο έξω από το σωληνοειδές είναι ***ανομοιογενές*** και μοιάζει με το μαγνητικό πεδίο ενός ευθύγραμμου μαγνήτη.

Το σωληνοειδές συμπεριφέρεται ακριβώς όπως ένας μαγνήτης:

Το άκρο που εξέρχονται οι δυναμικές γραμμές αντιπροσωπεύει το βόρειο πόλο του και το άκρο που εισέρχονται το νότιο. Αν εξαρτήσομε το σωληνοειδές από το κέντρο βάρους του θα παρατηρήσομε ότι προσανατολίζεται (όπως ή μαγνητική βελόνα) και στρέφει το βόρειο πόλο του στο Βορρά και το νότιο στο Νότο.

Το γινόμενο NI ονομάζομε ***αμπεροστροφές*** και το πηλίκο NI/l ***ειδικές αμπεροστροφές.***

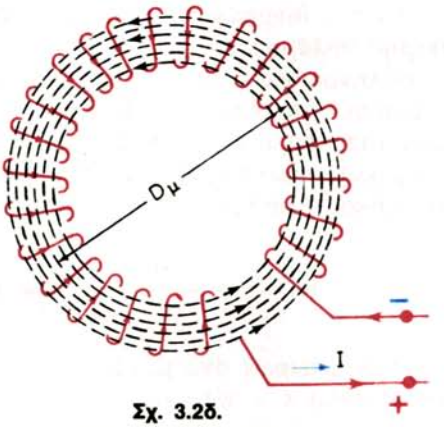
Αν κάμψομε ένα σωληνοειδές (σχ. 3.2δ) έτσι, ώστε να σχηματισθεί δακτύλιος, προκύπτει το ***δακτυλιοειδές*** πηνίο. Η ένταση Η παρέχεται πάλι από τους παραπάνω τύπους μόνο που το l είναι τώρα το μήκος της μέσης περιφέρειας: $l = \pi D_\mu$ όπου:

$$D_\mu = \frac{D_{\varepsilon\xi} + D_{\varepsilon\sigma}}{2}$$

η μέση διάμετρος του πηνίου.

Αν S το εμβαδό κάθε σπείρας τότε η μαγνητική ροή Φ θα είναι:

α) Σύστημα MKSA: $\Phi = BS = \mu_0 . HS = \mu_0 . S.NI/l$ σε Wb.
β) ΗΜΜ-σύστημα: $F = HS = 4\pi NIS/l$ σε Mx.



Σχ. 3.2δ.
Δακτυλιοειδές πηνίο.

Στην περίπτωση που μέσα στο σωληνοειδές υπάρχει πυρήνας μαγνητικής διαπερατότητας μ οι παραπάνω τύποι γίνονται:

$$\Phi = BS = \mu \cdot \mu_0 \cdot HS = \mu \cdot \mu_0 \cdot S \cdot NI/l$$

και

$$\Phi = \mu HS = 4\pi \cdot NI \cdot S \cdot \mu/l.$$

3.3 Ηλεκτρομαγνήτες και εφαρμογές των ηλεκτρομαγνητών.

Ο ***ηλεκτρομαγνήτης*** είναι σωληνοειδές εφοδιασμένο με πυρήνα από μαλακό σίδηρο. Όταν το σωληνοειδές διαρρέεται από ρεύμα, ο πυρήνας μαγνητίζεται. Όταν διακοπεί το ρεύμα, ο πυρήνας απομαγνητίζεται.

Με τους ηλεκτρομαγνήτες μπορούμε να αναπτύξομε ισχυρά μαγνητικά πεδία πολύ ισχυρότερα των μονίμων μαγνητών. Η ένταση του μαγνητικού πεδίου μέσα στον ηλεκτρομαγνήτη δίνεται από τη γνωστή σχέση:

$$B = \mu \cdot H = \frac{4\pi NI}{l} \cdot \mu \quad \text{σε Gauss}$$

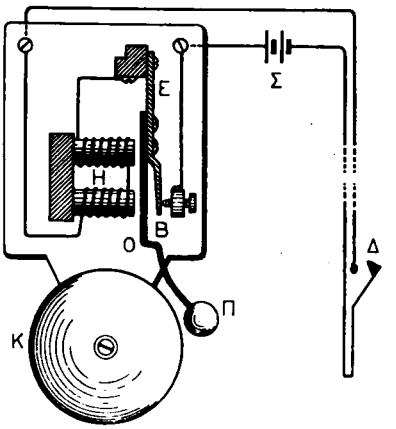
ή

$$B = \mu.\mu_0 H = \mu.\mu_0 \frac{NI}{l} \quad \text{σε Wb/m}^2.$$

Παρακάτω αναφέρομε μερικές εφαρμογές των ηλεκτρομαγνητών:

α) Ηλεκτρικό κουδούνι.

Στο ηλεκτρικό κουδούνι (σχ. 3.3α) ο ευκίνητος οπλισμός Ο του ηλεκτρομαγνήτη Η καταλήγει σε πλήκτρο Π. Όταν πιέσομε το διακόπτη Δ, κλείνομε το κύκλωμα, ο ηλεκτρομαγνήτης διεγείρεται και έλκει τον οπλισμό Ο. Τότε όμως διακόπτεται το ρεύμα (στην επαφή Β) και ο οπλισμός επανέρχεται στην αρχική του θέση με τη βοήθεια του ελατηρίου Ε. Το κύκλωμα κλείνει πάλι και επαναλαμβάνεται το ίδιο. Σε κάθε έλξη του οπλισμού αντιστοιχεί μια κρούση του πλήκτρου στο κουδούνι Κ. Έτσι το ρεύμα που διαρρέει τον ηλεκτρομαγνή-



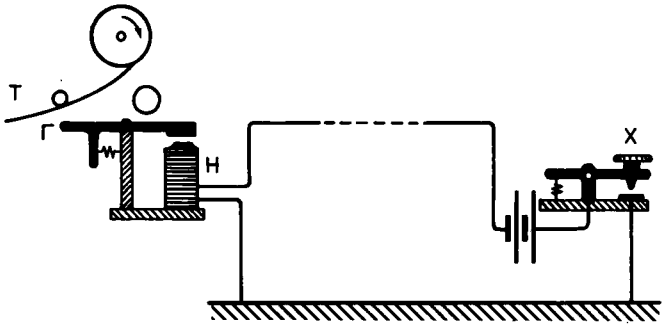
Σχ. 3.3α.
Το ηλεκτρικό κουδούνι.

τη διακόπτεται και αποκαθίσταται διαδοχικά πολλές φορές στο δευτερόλεπτο. Η συσκευή λειτουργεί και στο εναλλασσόμενο ρεύμα.

β) Ενσύρματος τηλέγραφος.

Με το χειριστήριο Χ του πομπού (σχ. 3.3β) κλείνει και ανοίγει αυτόματα ηλεκτρικό κύκλωμα. Έτσι διεγείρεται ο ηλεκτρομαγνήτης Η του δέκτη και έλκει τον οπλισμό Ο. Στον οπλισμό έχει στερεωθεί η γραφίδα Γ. Η γραφίδα καταγράφει τα σήματα Morse που λαμβάνονται στην ταινία Τ που κινείται μπροστά από τη γραφίδα.

(Το μήκος των γραμμών που καταγράφονται είναι ανάλογο προς τη διάρκεια του ρεύματος που πέρασε από τον ηλεκτρομαγνήτη).



Σχ. 3.3β.
Ο ενσύρματος τηλεγράφος.

γ) Αυτόματοι διακόπτες.

Με τους αυτόματους διακόπτες μπορούμε να διακόψομε ένα ηλεκτρικό κύκλωμα όταν η ένταση του ρεύματος υπερβεί μια ορισμένη τιμή (διακόπτης μεγίστου) ή κατέλθει κάτω από μια ορισμένη τιμή (διακόπτης ελαχίστου).

Ο διακόπτης μεγίστου (σχ. 3.3γ) λειτουργεί ως εξής:

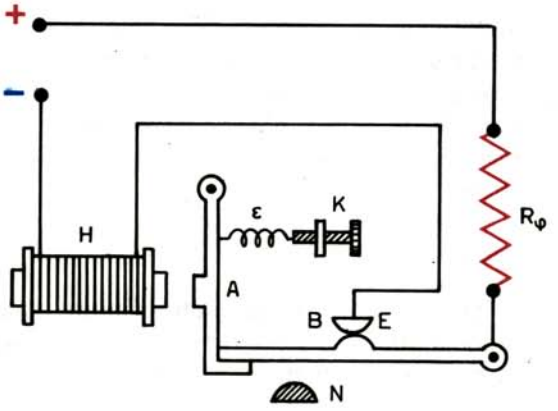
Όταν η ένταση του ρεύματος που διαρρέει το κύκλωμα είναι κανονική, η έλξη που εξασκείται από τον ηλεκτρομαγνήτη Η στον οπλισμό Α δεν είναι ικανή να υπερνικήσει την έλξη του ελατηρίου ε και οι οπλισμοί Α και Β παραμένουν στη θέση τους. Όταν όμως το ρεύμα αυξηθεί, τότε η δύναμη που ασκεί ο Η στον οπλισμό Α είναι μεγαλύτερη από τη δύναμη που εξασκεί το ελατήριο, με αποτέλεσμα να έλκεται από τον ηλεκτρομαγνήτη ο οπλισμός Α και το κύκλωμα να διακόπτεται. (Ο οπλισμός Β ελευθερώνεται και κατέρχεται προς τη νεκρή επαφή Ν).

Ο διακόπτης ελαχίστου (σχ. 3.3δ) λειτουργεί ως εξής: Όταν η ένταση του ρεύματος είναι κανονική, τότε ο ηλεκτρομαγνήτης Η ασκεί στον οπλισμό Ο έλξη μεγαλύτερη από εκείνη που ασκεί το ελατήριο ε και ο οπλισμός παραμένει προσκολλημένος στον πυρήνα του Η. Όταν όμως το ρεύμα γίνει μικρότερο από μία ορισμένη τιμή, τότε η έλξη του ελατηρίου γίνεται μεγαλύτερη από την έλξη του ηλεκτρομαγνήτη, η επαφή Ε διακόπτεται και το κύκλωμα παραμένει ανοικτό.

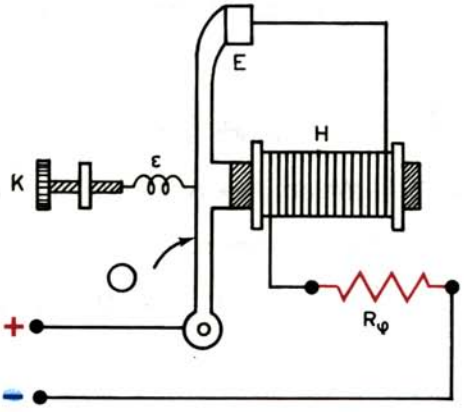
δ) Ηλεκτρονόμοι (relays).

Είναι διατάξεις που χρησιμοποιούμε, για την αποκατάσταση ή διακοπή ενός

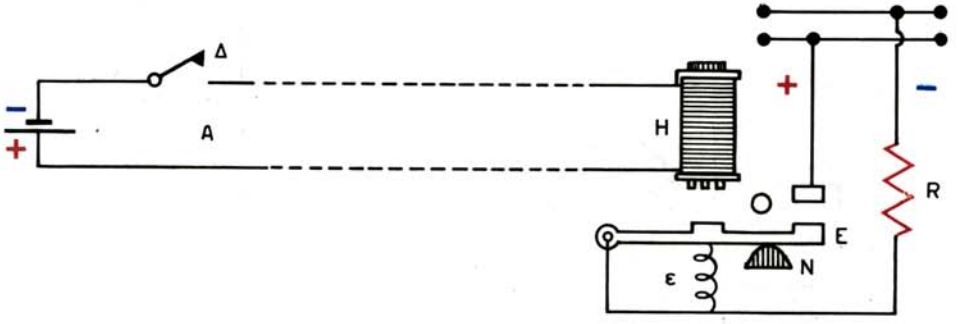
ΔΡΥΜΑ ΣΥΓΓΡΑΦΕΩΝ 1954



Σχ. 3.3γ.
Αυτόματος διακόπτης μεγίστου.



Σχ. 3.3δ.
Αυτόματος διακόπτης ελαχίστου



Σχ. 3.3ε.
Διάταξη ηλεκτρονόμου.

κυκλώματος από μεγάλη απόσταση, όπως στο σχήμα 3.3ε.

Όταν ο διακόπτης Δ είναι ανοικτός, τότε ο οπλισμός Ο εφάπτεται στη νεκρή επαφή Ν και το κύκλωμα τροφοδοτήσεως του καταναλωτή R είναι ανοικτό. Όταν κλείσομε το διακόπτη, τότε ο ηλεκτρομαγνήτης διεγείρεται, έλκει τον οπλισμό Ο, η επαφή Ε αποκαθίσταται και το κύκλωμα του καταναλωτή διαρρέεται από ρεύμα.

3.4 Νόμος του Laplace.

Αν φέρομε μέσα σε μαγνητικό πεδίο ευθύγραμμο ρευματοφόρο αγωγό $AB = l$ [σχ. 3.4(α)] παρατηρούμε ότι στον αγωγό εξασκείται μια δύναμη F. Η δύναμη αυτή (δύναμη Laplace) είναι:

α) Κάθετη στο επίπεδο που ορίζεται από τον αγωγό και από την ένταση $\vec{H}$ του μαγνητικού πεδίου.

β) Η φορά της προσδιορίζεται από τον ***κανόνα των τριών δακτύλων:***

Εκτείνομε τον αντίχειρα, το δείκτη και το μέσο της αριστερής παλάμης [σχ. 3.4(β)] έτσι, ώστε να σχηματίζουν μεταξύ τους ορθές γωνίες. Αν ο αντίχειρας δείχνει τη φορά του ρεύματος και ο δείκτης τη φορά του πεδίου, τότε ο μέσος μας παρέχει τη φορά της δυνάμεως.

γ) Το μέτρο της δυνάμεως είναι:

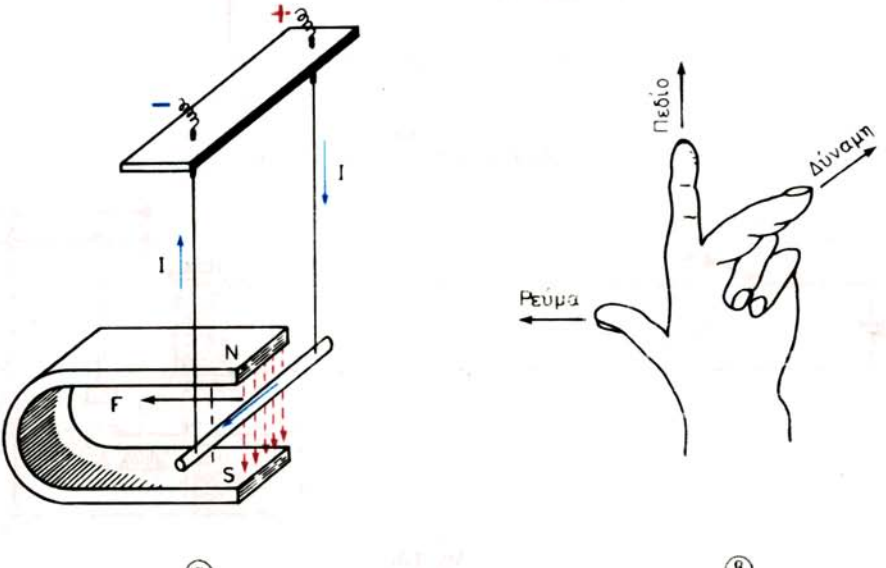
$$F = BIl\eta\mu\varphi = \mu\mu_0 HIl\eta\mu\varphi \qquad \text{(MKSA)}$$

$$(F \rightarrow Nt,\ B \rightarrow Wb/m^2,\ I \rightarrow A,\ l \rightarrow m,\ H \rightarrow A/m).$$

και

$$F = BIl\eta\mu\varphi = \mu HIl\eta\mu\varphi \qquad \text{(HMM-συστ.)}$$

$(F \rightarrow dyn,\ B \rightarrow Gauss,\ I \rightarrow HMM\text{-εντ.},\ l \rightarrow cm,\ H \rightarrow Gauss)$



Σχ. 3.4.

α) Δύναμη Laplace σε ρευματοφόρο αγωγό. β) Ο κανόνας των τριών δακτύλων.

Αν ο αγωγός είναι κάθετος στις δυναμικές γραμμές του πεδίου (φ = 90°) τότε:

$$F = BIl$$

Αν ο αγωγός είναι παράλληλος προς τις δυναμικές γραμμές (φ = 90° ή 180°) τότε:

$$F = 0$$

Ας υποθέσομε τώρα ότι φορτίο q κινείται με ταχύτητα $\vec{u}$ μέσα σε ομογενές μαγνητικό πεδίο εντάσεως $\vec{H}$ (ή μαγνητικής επαγωγής $\vec{B}$ και ότι η ταχύτητα $\vec{u}$ σχηματίζει με την ένταση $\vec{H}$ τη γωνία φ.

Επειδή I = q/t θα είναι και $Il = q \cdot l/t = qu$ δηλαδή ***φορτίο q που κινείται με ταχύτητα υ ισοδυναμεί με ηλεκτρικό ρεύμα που έχει ένταση I και διαρρέει αγωγό μήκους l.***

Άρα:

$$F = BIl\eta\mu\varphi = Bqu \cdot \eta\mu\varphi$$

Η φορά της δυνάμεως βρίσκεται πάλι με τον κανόνα των τριών δακτύλων (ο αντίχειρας τώρα θα δείχνει τη φορά της $\vec{u}$).

3.5 Εφαρμογές του νόμου Laplace.

Στις δυνάμεις Laplace στηρίζεται η λειτουργία των ηλεκτρικών κινητήρων και πολλών ηλεκτρικών οργάνων που περιγράφομε σε επόμενα κεφάλαια. Παρακάτω αναφέρομε μερικές εφαρμογές του νόμου.

α) Δυνάμεις μεταξύ παραλλήλων ρευματοφόρων αγωγών.

Ας θεωρήσομε δυο κατακόρυφους αγωγούς Α και Β που διαρρέονται από ομόρροπα ρεύματα I_1 και I_2 (σχ. 3.5α). Αν r η απόσταση των αγωγών, τότε το ρεύμα I που διαρρέει τον Α, παράγει σε απόσταση r μαγνητικό πεδίο εντάσεως:

$$H_1 = \frac{I_1}{2\pi r} \qquad \text{(MKSA)}$$

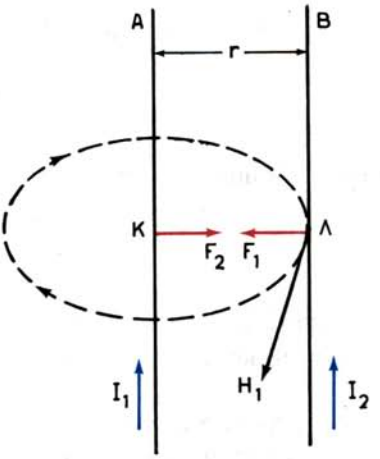
Έτσι όλα τα σημεία του αγωγού Β βρίσκονται μέσα σε μαγνητικό πεδίο που η ένταση του H_1 είναι οριζόντια, δηλαδή κάθετη στον αγωγό Β (ημφ = 1).

Αν *l* είναι το κοινό μήκος των αγωγών, τότε στον αγωγό Β ασκείται δύναμη Laplace:

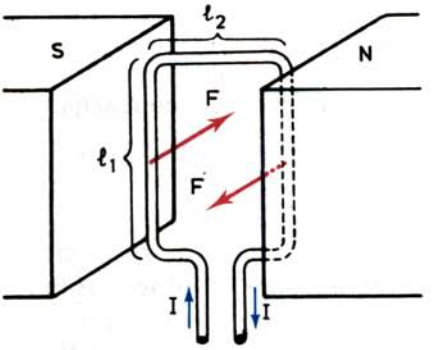
$$\therefore \quad F_1 = BI_2 l = \mu_0 H I_2 \, l = \frac{\mu_0}{2\pi} \cdot \frac{I_1 \cdot I_2 \cdot l}{r}$$

(μ = 1) που η διεύθυνσή της είναι κάθετη στο επίπεδο H_1ΛΒ και η φορά της βρίσκεται με τον κανόνα των τριών δακτύλων.

Με τους ίδιους συλλογισμούς βρίσκομε ότι και στον αγωγό Α εξασκείται δύναμη F_2 που είναι ίση και αντίθετη με τη F_1.



Σχ. 3.5α.
Δυνάμεις μεταξύ παραλλήλων ρευματοφόρων αγωγών.



Σχ. 3.5β.
Ρευματοφόρο πλαίσιο μέσα σε μαγνητικό πεδίο.

Άρα δυο παράλληλοι αγωγοί που διαρρέονται από ομόρροπα ρεύματα έλκονται. (Όταν τα ρεύματα είναι αντίρροπα απωθούνται).

β) Κλειστός αγωγός μέσα σε ομογενές μαγνητικό πεδίο.

Ας θεωρήσομε ορθογώνιο πλαίσιο που το επίπεδό του είναι παράλληλο με τις δυναμικές γραμμές του πεδίου και διαρρέεται από ρεύμα I (σχ. 3.5β). Σε κάθε πλευρά του πλαισίου θα εξασκηθεί μία δύναμη κατά Laplace.

Οι δυνάμεις που εξασκούνται στις δυο πλευρές l_2 είναι μηδέν (ημφ = 0). Στις δυο άλλες πλευρές όμως l_1 του πλαισίου θα εξασκηθούν ίσες δυνάμεις F που έχουν αντίθετη φορά και μέτρο:

$$F = BIl_1 = \mu_0 HIl_1 \quad (\mu = 1)$$

Οι δυνάμεις αυτές αποτελούν ζεύγος δυνάμεων που έχει ροπή:

$$M = F \cdot l_2 = \mu\, HIl_1 \cdot l_2 = \mu_0 HI.S$$

όπου $S = l_1 \cdot l_2$ το εμβαδό του πλαισίου.

3.6 Τύποι και κατασκευή ηλεκτρικών οργάνων.

Τα όργανα που χρησιμοποιούνται για τη μέτρηση της εντάσεως (ή τάσεως) του ρεύματος τα διαιρούμε σε τρεις κατηγορίες: τα ***ηλεκτρομαγνητικά,*** τα ***ηλεκτροδυναμικά*** και τα ***θερμικά.***

α) Ηλεκτρομαγνητικά όργανα.

Τα όργανα αυτά χρησιμοποιούνται περισσότερο σε γενικές χρήσεις και η λειτουργία τους βασίζεται στις δυνάμεις Laplace και ειδικότερα στο ζεύγος δυνάμεων που εξασκείται σε πλαίσιο, όταν αυτό βρίσκεται μέσα σε ομογενές

μαγνητικό πεδίο [παράγρ. 3.5(6)].

Το κινητό πηνίο Π (σχήματος πλαισίου) περιβάλλει κύλινδρο από μαλακό σίδηρο Μ που βρίσκεται στο χώρο, μεταξύ των πόλων ισχυρού πεταλοειδούς μόνιμου μαγνήτη NS [σχ. 3.6α(α)].

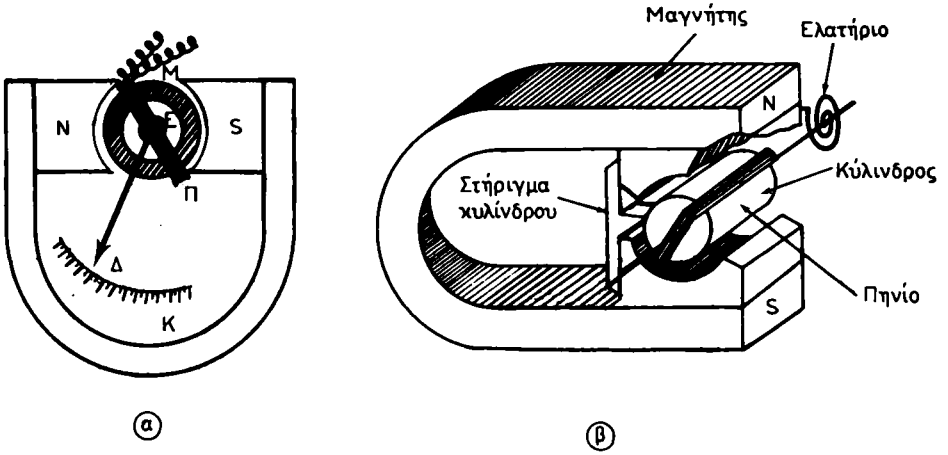
Ο κύλινδρος στερεώνεται σε άξονα (έτσι ώστε να μπορεί να περιστραφεί) και τα άκρα του άξονα στηρίζονται σε ειδικά έδρανα (ρουμπίνια ή άλλους πολύτιμους λίθους).

Μεταξύ του άξονα και του ακίνητου μέρους, στερεώνεται σπειροειδές ελατήριο Ε που συγκρατεί το πηνίο στη θέση ισορροπίας του. Όταν από το πηνίο περάσει ρεύμα, το πηνίο στρέφεται και ισορροπεί σ' εκείνη τη θέση, στην οποία η ροπή του ζεύγους των δυνάμεων Laplace (που εξασκούνται στους πλευρικούς αγωγούς του πηνίου) γίνει ίση και αντίθετη προς τη ροπή που θα αναπτυχθεί από τη παραμόρφωση του ελατηρίου. Μαζί με το πηνίο στρέφεται και ο δείκτης (βελόνα) Δ, κατά γωνία ανάλογη προς το ρεύμα που περνά από το πηνίο. (Επειδή η δύναμη Laplace και επομένως και η ροπή του ζεύγους των δυνάμεων Laplace είναι ανάλογη προς την ένταση του ρεύματος).

Επειδή η ροπή που στρέφει το πηνίο εξαρτάται από τη φορά του ρεύματος, το όργανο δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί για μετρήσεις σε εναλλασσόμενο ρεύμα (εκτός αν συνδεθεί ανορθωτής σε σειρά προς το πηνίο που επιτρέπει τη διέλευση του ρεύματος κατά μία φορά. Το όργανο τότε δείχνει την ενεργό ένταση του εναλλασσόμενου ρεύματος).

Η βαθμολόγηση της κλίμακας του οργάνου γίνεται με πρότυπα όργανα μεγάλης ακρίβειας.

Κατασκευάζονται και ηλεκτρομαγνητικά όργανα που έχουν το μηδέν στη μέση της κλίμακάς τους. Τα όργανα αυτά χρησιμοποιούνται σε μόνιμες εγκαταστάσεις και με κατάλληλο διακόπτη δυο θέσεων (μεταγωγέας) μπορούν να μετρούν ρεύματα αντίθετης φοράς. Η μεγίστη ένταση ρεύματος (ευαισθησία) που μπορεί να μετρήσει το όργανο, εξαρτάται από τη διατομή του σύρματος του πηνίου και από την κατασκευή του ελατηρίου.



Σχ. 3.6α.
α) Ηλεκτρομαγνητικό όργανο. β) Γαλβανόμετρο.

Αν στερεώσομε τον κύλινδρο με το πηνίο με ειδικά νήματα (από χαλκό, άργυρο ή φωσφορούχο ορείχαλκο) [σχ. 3.6α(β)] και όχι με έδρανα, και αντικαταστήσομε τη βελόνα του οργάνου με ελαφρό κάτοπτρο, τότε κατορθώνομε να αυξήσομε σημαντικά την ευαισθησία του οργάνου. Το όργανο τότε ονομάζεται ***γαλβανόμετρο*** και χρησιμοποιείται για τη μέτρηση ασθενών ρευμάτων (ή τάσεων), μέχρι και της τάξεως των εκατοστών του δισεκατομμυριοστού του Αμπέρ. (Τα παραπάνω όργανα ονομάζονται και όργανα τύπου d' Arsonval).

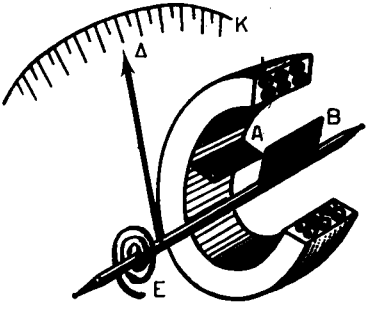
Όργανα με μαλακό σίδηρο.

Στις πρακτικές εφαρμογές χρησιμοποιούνται επίσης και τα όργανα με μαλακό σίδηρο (σχ. 3.6β). Στο εσωτερικό πηνίου υπάρχουν δυο τεμάχια από μαλακό σίδηρο Α και Β. Το τεμάχιο Α είναι ακίνητο, ενώ το Β μπορεί να στρέφεται γύρω από άξονα και συγκρατείται σε ορισμένη θέση με τη βοήθεια του ελατηρίου Ε. Στον άξονα είναι στερεωμένος και ο δείκτης Δ που κινείται μπροστά από βαθμολογημένη κλίμακα Κ. Όταν από το πηνίο περάσει ρεύμα, τότε δημιουργείται μαγνητικό πεδίο και τα δυο τεμάχια μαγνητίζονται κατά τέτοιο τρόπο, ώστε οι δυο βόρειοι πόλοι και οι δυο νότιοι να είναι ακριβώς απέναντι. Έτσι τα δυο τεμάχια απωθούνται και αποκλίνει ο δείκτης του οργάνου. Αν αντιστραφεί η φορά του ρεύματος, αντιστρέφονται και οι δύο πόλοι στα δυο τεμάχια, δηλαδή έχομε πάλι άπωση. Έτσι τα όργανα αυτά μπορεί να χρησιμοποιηθούν και στα εναλλασσόμενα ρεύματα.

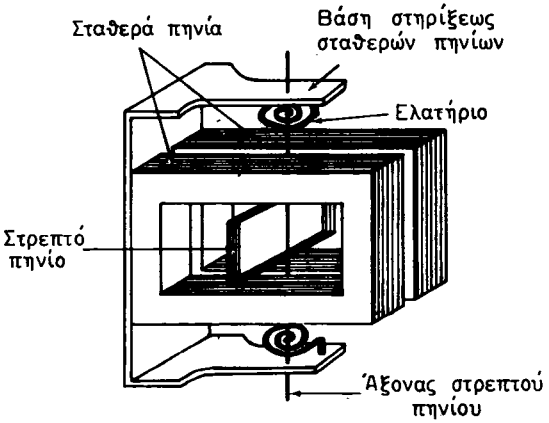
β) Ηλεκτροδυναμικά όργανα (Ηλεκτροδυναμόμετρα).

Τα όργανα αυτά (σχ. 3.6γ) αποτελούνται από ένα στρεπτό πηνίο που μπορεί να στρέφεται μέσα στο μαγνητικό πεδίο που δημιουργείται από το ηλεκτρικό ρεύμα (που θέλομε να μετρήσομε) που διαρρέει ζεύγος σταθερών πηνίων.

Πριν περάσει ηλεκτρικό ρεύμα από το σύστημα των πηνίων, το στρεπτό πηνίο ισορροπεί σε μία ορισμένη θέση με τη βοήθεια ελατηρίων που χρησιμοποιούνται πολλές φορές και σαν αγωγοί συνδέσεως του στρεπτού πηνίου με το ζεύγος των σταθερών πηνίων (ο δείκτης του οργάνου που έχει συνδεθεί με το στρεπτό πηνίο δείχνει τότε το μηδέν της κλίμακας).



Σχ. 3.6β.
Όργανο με μαλακό σίδηρο.



Σχ. 3.6γ.
Ηλεκτροδυναμικά όργανα.

Αν διαβιβάσομε ηλεκτρικό ρεύμα και από τα σταθερά πηνία (έστω I_1) θα παρατηρήσομε ότι το στρεπτό πηνίο στρέφεται και τείνει να καταστήσει το επίπεδο των σπειρών του παράλληλο προς το επίπεδο των σπειρών των σταθερών πηνίων. Αυτό οφείλεται στο ζεύγος των δυνάμεων Laplace που ασκούνται στους αγωγούς του στρεπτού πηνίου από το μαγνητικό πεδίο των σταθερών πηνίων. Έτσι ο δείκτης του οργάνου θα στραφεί κατά γωνία φ που βρίσκεται ανάλογη προς το γινόμενο $I_1 \cdot I_2$ των ρευμάτων που διαρρέουν τα πηνία. (Η γωνία φ είναι ανάλογη προς τη ροπή Μ που εξασκείται στο στρεπτό πηνίο).

Η ροπή Μ είναι ανάλογη της δυνάμεως Laplace F. Η F όμως είναι:

$$F = BI_2l$$

όπου Β η ένταση του μαγνητικού πεδίου που οφείλεται στο ρεύμα I_1 που διαρρέει τα σταθερά πηνία. Επειδή όμως η Β είναι ανάλογη προς το ρεύμα I_1 συμπεραίνομε τελικά ότι η γωνία θα είναι ανάλογη του γινομένου $I_1 \cdot I_2$.

Αν τα πηνία συνδεθούν σε σειρά ($I_1 = I_2 = I$), τότε η γωνία στροφής φ θα είναι ανάλογη του I^2, η φορά περιστροφής δηλαδή δεν θα αλλάξει, αν αλλάξει η φορά του ρεύματος. Επομένως το όργανο μπορεί να χρησιμοποιηθεί και για τη μέτρηση (ενεργός τιμή) της εντάσεως εναλλασσομένου ρεύματος.

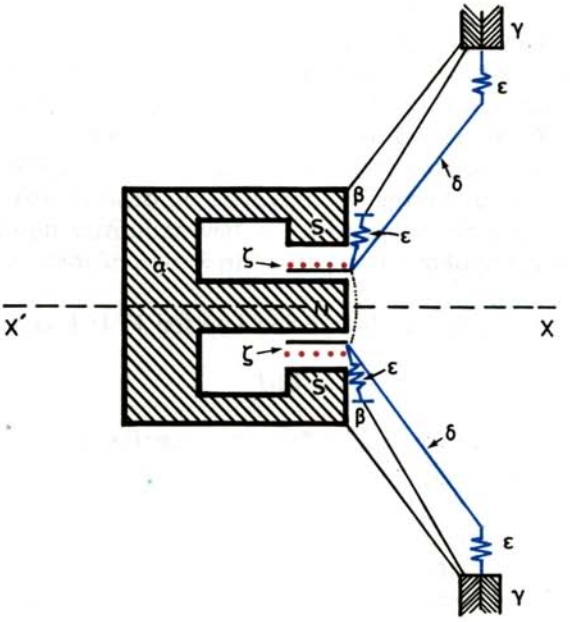
Επειδή η εκτροπή του δείκτη του οργάνου είναι ανάλογη προς το I^2, η βαθμολόγηση της κλίμακας δεν είναι ομοιόμορφη.

3.7 Το μεγάφωνο κινητού πηνίου.

Το ***μεγάφωνο*** είναι το μέσο το οποίο τροφοδοτείται με εναλλασσόμενο ρεύμα της περιοχής ακουστικών συχνοτήτων (20 c/s – 20 kc/s) και πραγματοποιεί μηχανικές ταλαντώσεις στην ίδια συχνότητα. Οι μηχανικές αυτές ταλαντώσεις εξαναγκάζουν σε ταλαντώσεις τα μόρια του αέρα και δημιουργείται ηχητικό κύμα με την ίδια συχνότητα. Δηλαδή το μεγάφωνο μετατρέπει την ενέργεια των ηλεκτρικών ταλαντώσεων ακουστικών συχνοτήτων σε ενέργεια ηχητικών κυμάτων.

Ο τύπος μεγαφώνου που συνήθως χρησιμοποιείται στα συστήματα αναπαραγωγής ήχου, είναι το μεγάφωνο κινητού πηνίου, ενώ περιορισμένης χρήσεως είναι το κρυσταλλικό και το ηλεκτροστατικό μεγάφωνο.

Στο σχήμα 3.7 φαίνεται τομή μεγαφώνου κινητού πηνίου που ονομάζεται και ***δυναμικό μεγάφωνο.*** Ο μόνιμος μαγνήτης (α) στερεώνεται με βραχίονες αλουμινίου (β) στο κυκλικό πλαίσιο του μεγαφώνου (γ). Στα διάκενα μεταξύ του κοινού βόρειου πόλου (Ν) και των δυο νότιων πόλων (S) του μόνιμου μαγνήτη δημιουργείται ισχυρή σταθερή και ομοιογενής μαγνητική ροή. Στους βραχίονες στηρίξεως και στο πλαίσιο προσαρμόζεται το κωνικό διάφραγμα (δ) (ή κώνος) από σκληρό χαρτί με μεγάλη ελαστικότητα. Για να εξασφαλίζεται η μέγιστη δυνατή ελαστικότητα και να μπορεί το κωνικό διάφραγμα να πάλλεται σε μεγάλη περιοχή των ακουστικών συχνοτήτων, κοντά στα σημεία στηρίξεώς του φέρει πτυχές (ε). Το κωνικό διάφραγμα καταλήγει σε κύλινδρο μικρού μήκους που περιβάλλει το βόρειο πόλο του μαγνήτη κατά τέτοιο τρόπο, ώστε να συμπίπτουν οι άξονές τους, χωρίς να εφάπτονται, και να μπορεί ο κύλινδρος



Σχ. 3.7.
Τομή μεγαφώνου κινητού πηνίου.
α) Μόνιμος μαγνήτης. β) Βραχιόνες αλουμίνιου. γ) Πλαίσιο στερεώσεως. δ) Κωνικό διάφραγμα. ε) Πτυχές κωνικού διαφράγματος. ζ) Τυλίγματα πηνίου φωνής.

να κινείται και να κάμπτεται το διάφραγμα κατά τον άξονα Χ΄Χ. Στην εξωτερική επιφάνεια του κυλίνδρου αυτού στερεώνονται σταθερά τα τυλίγματα του πηνίου φωνής (ζ), ώστε το σύρμα τους σε κάθε σημείο να είναι κάθετο στις δυναμικές γραμμές της μαγνητικής ροής.

Όταν το πηνίο διαρρέεται από εναλλασσόμενο ρεύμα, στα τυλιγματά του, και επομένως στο κωνικό διάφραγμα, θα ασκείται δύναμη Laplace εναλλασσόμενης φοράς και μεταβαλλόμενου μέτρου:

$$F = BIi.$$

όπου: Β η μαγνητική επαγωγή στο χώρο των διακένων μεταξύ των πόλων του μαγνήτη, l το μήκος του σύρματος των τυλιγμάτων του πηνίου φωνής και $i = I_{0}ημωt = I_{0}ημ2πft$ το εναλλασσόμενο ρεύμα που διαρρέει το πηνίο φωνής. Η δύναμη αυτή εξαναγκάζει το κωνικό διάφραγμα σε ταλάντωση κατά τον άξονα Χ΄Χ και αυτό ως έμβολο εξαναγκάζει σε ταλάντωση τα μόρια του αέρα και δημιουργείται το ηχητικό κύμα.

Όταν το πηνίο φωνής διαρρέεται από ρεύμα σταθερής συχνότητας προκύπτει και ήχος σταθερού τόνου ίσης συχνότητας. Όταν διαρρέεται από ρεύμα που προέρχεται από φωνή ή μουσική, ο ήχος που προκύπτει ανταποκρίνεται στον τόνο της φωνής ή της μουσικής.

Σε ορισμένες περιπτώσεις αντί για μόνιμος μαγνήτης χρησιμοποιείται ηλεκτρομαγνήτης με πυρήνα ίδιου σχήματος, του οποίου τα τυλίγματα τροφοδοτούνται με σταθερό συνεχές ρεύμα, οπότε στο χώρο των διακένων δημιουργείται η απαιτούμενη μαγνητική ροή. Το μεγάφωνο αυτό ονομάζεται ***ηλεκτροδυναμικό.***

ΔΑΡΥΝΑ ΣΥΓΓΡΑΦΕΩΝ 1954

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΤΕΤΑΡΤΟ

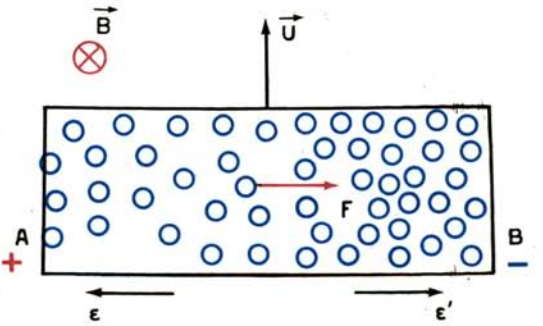
ΗΛΕΚΤΡΟΜΑΓΝΗΤΙΚΗ ΕΠΑΓΩΓΗ

4.1 Πρώτος νόμος της επαγωγής.

Ας θεωρήσομε αγωγό l = ΑΒ (σχ. 4.1α) που κινείται με ταχύτητα $\vec{u}$, κάθετα προς τις δυναμικές γραμμές ομογενούς μαγνητικού πεδίου, μαγνητικής επαγωγής $\vec{B}$. Στα ελεύθερα ηλεκτρόνια που υπάρχουν μέσα στον αγωγό θα ασκηθούν δυνάμεις Laplace:

$$F = e \cdot u \cdot B$$

που θα έχουν σαν αποτέλεσμα τη μετακίνηση των ηλεκτρονίων και τη συγκέντρωσή τους στο άκρο Β του αγωγού.



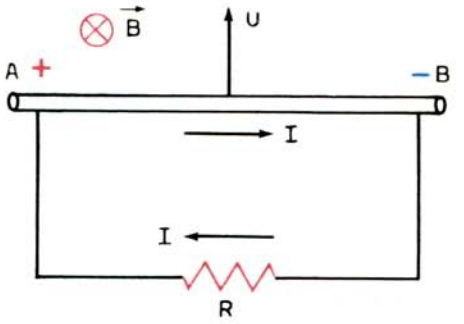
Σχ. 4.1α.

Έτσι το άκρο Β εμφανίζεται ***αρνητικά*** φορτισμένο και το άκρο Α ***θετικά,*** με αποτέλεσμα την εμφάνιση διαφοράς δυναμικού $U_A - U_B$ μεταξύ των άκρων Α και Β του αγωγού. Αυτή ακριβώς η διαφορά δυναμικού ονομάζεται ***επαγωγική ηλεκτρεγερτική δύναμη*** και παρέχεται από τη σχέση:

$$U_A - U_B = E = Blu \qquad (1)$$

(E → Volt, l → m, u → m/sec, B → Tesla για το MKSA
και E → HMM-τάσεως, B → Gauss, l → cm, u → cm/sec για το HMM-συστ.).

Η πολικότητα της ΗΕΔ Ε εξαρτάται βέβαια από τη δύναμη F που βρίσκεται με το γνωστό κανόνα των τριών δακτύλων. Αν ο αγωγός αποτελεί κλειστό κύκλωμα αντιστάσεως R (σχ. 4.1β), τότε το κύκλωμα θα διαρρέεται από ρεύμα I



Σχ. 4.16.

που ονομάζεται ***επαγωγικό ρεύμα:***

$$I = \frac{E}{R} = \frac{Blu}{R}$$

Στη γενική περίπτωση που η ταχύτητα του αγωγού σχηματίζει με την ένταση $\vec{B}$ τη γωνία φ, η σχέση (1) γίνεται:

$$E = Blu\eta\mu(\hat{\vec{u}, \vec{B}}) = Blu\eta\mu\varphi \qquad (2)$$

Αν ο αγωγός κινείται ***παράλληλα*** προς τις δυναμικές γραμμές (φ = 0° ή 180°), τότε η ***επαγωγική ΗΕΔ είναι ίση με μηδέν.***

4.2 Δεύτερος νόμος (γενικός) της επαγωγής.

Αν η μαγνητική ροή που διέρχεται μέσα από πλαίσιο μεταβληθεί κατά ΔΦ, μέσα σε χρόνο ΔΤ, τότε στα άκρα του πλαισίου αναπτύσσεται διαφορά δυναμικού που ονομάζεται επαγωγική ηλεκτρεγερτική δύναμη και δίνεται από τη σχέση:

$$E = -\frac{\Delta\Phi}{\Delta t} \quad \text{ή} \quad E = -\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}.N \qquad (1)$$

αν το πλαίσιο έχει N σπείρες
(E → Volt, ΔΦ → Wb για το MKSA
και E → ΗΜΜ-τάσεως, ΔΦ → Mx για το ΗΜΜ-συστ.)

Η εξίσωση (1) είναι η μαθηματική διατύπωση του γενικού νόμου της επαγωγής.

Το αρνητικό σημείο σημαίνει ότι η φορά της E είναι αντίθετη προς τη φορά μεταβολής της μαγνητικής ροής.

Αν το κύκλωμα έχει ολική αντίσταση R, τότε η ένταση του επαγωγού ρεύματος που το διαρρέει θα είναι:

$$I = \frac{E}{R} = -\frac{\Delta\Phi}{R\Delta t}.N \qquad (2)$$

Ας σημειωθεί ότι οι παραπάνω τύποι παρέχουν τη μέση τιμή των μεγεθών E

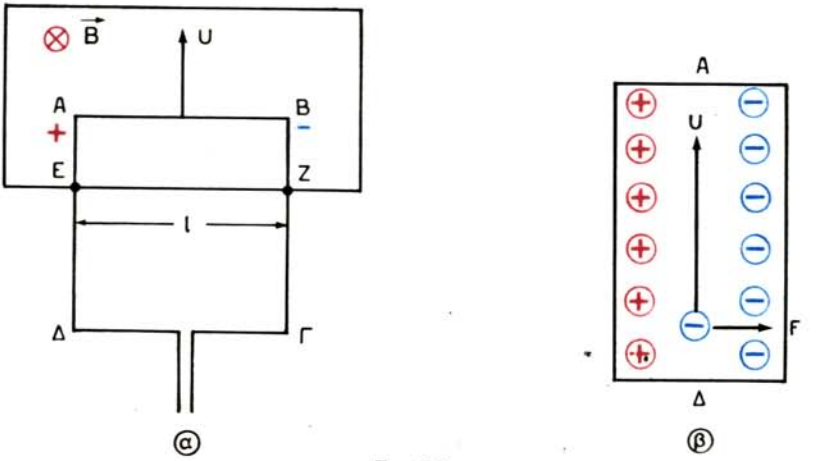
και I μέσα στο χρόνο Δt. Οι στιγμιαίες τιμές εξαρτώνται από τη συνάρτηση Φ = f (t) Π.χ. η στιγμιαία τιμή E_1 της ΗΕΔ εξ επαγωγής θα είναι:

$$E_1 = \lim_{\Delta t \to 0} -\frac{\Delta\Phi}{\Delta t} = -\frac{d\Phi}{dt}.$$

Απόδειξη της σχέσεως (1). Ας θεωρήσομε ότι πλαίσιο ΑΒΓΔ [σχ. 4.2(α)] εισέρχεται μέσα σε μαγνητικό πεδίο Β με ταχύτητα $\vec{u}$. (υ = ΔS/Δt). Επαγωγική ΗΕΔ αναπτύσσεται μόνο στον αγωγό ΑΒ, γιατί στους αγωγούς ΑΔ [σχ. 4.2(β)] και ΒΓ παρατηρείται μόνο μία μικρή πλευρική διαφορά δυναμικού (ακριβέστερα στους αγωγούς ΑΕ και ΒΖ) που δεν μας ενδιαφέρει, ενώ ο αγωγός ΓΔ βρίσκεται έξω από το μαγνητικό πεδίο, θα έχομε:

$$E = Blu = Bl\frac{\Delta s}{\Delta t} = B\frac{\Delta S}{\Delta t} = \frac{\Delta\Phi}{\Delta t}.$$

(ΔS = lΔs είναι η μεταβολή της επιφανείας και ΒΔS = ΔΦ η μεταβολή της μαγνητικής ροής).



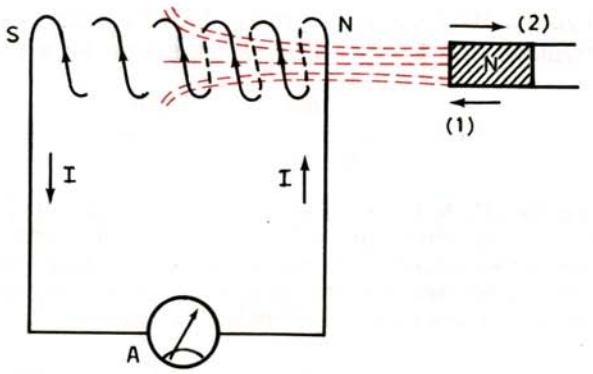
Σχ. 4.2.
α) Πλαίσιο εισερχόμενο σε μαγνητικό πεδίο Β. β) Η πλευρική διαφορά δυναμικού.

4.3 Τρίτος νόμος της επαγωγής ή κανόνας του Lenz.

Ο κανόνας του Lenz είναι συνέπεια του αξιώματος διατηρήσεως της ενέργειας και αναφέρει τα εξής:

Τα επαγωγικά ρεύματα (και δυνάμεις) έχουν τέτοια φορά, ώστε να αντιδρούν στο αίτιο που τα παράγει.

Αν π.χ. ο μαγνήτης του σχήματος 4.3 κινηθεί κατά τη φορά (1), τότε μεταβάλλεται (αυξάνεται) η μαγνητική ροή που διέρχεται από το πηνίο και αναπτύσσεται στα άκρα του επαγωγική ΗΕΔ και επαγωγικό βέβαια ρεύμα, εφ' όσον το κύκλωμα είναι κλειστό. Το ρεύμα αυτό, σύμφωνα με το κανόνα του Lenz, θα πρέπει να έχει τέτοια φορά, ώστε να αντιτίθεται στο αίτιο που το παράγει. Το αίτιο είναι η αύξηση της μαγνητικής ροής (που προκαλείται από



Σχ. 4.3.
Η έννοια του κανόνα του Lenz.

την κίνηση του βόρειου πόλου του μαγνήτη κατά τη φορά 1), επομένως το άκρο του πηνίου, στο οποίο πλησιάζει ο βόρειος πόλος του μαγνήτη θα γίνει βόρειος πόλος (για να προκληθεί άπωση) και το άλλο άκρο θα γίνει νότιος.

Για να συμβεί αυτό πρέπει το ρεύμα που διαρρέει τις σπείρες, να έχει τη φορά που σημειώνεται στο σχήμα. (Αντίθετη φορά θα έχει, όταν ο μαγνήτης κινηθεί κατά τη φορά 2).

4.4 Τρόποι μεταβολής της μαγνητικής ροής και παραγωγής επαγωγικών ρευμάτων.

Από τα παραπάνω γίνεται φανερό, ότι για να αναπτυχθεί σε πλαίσιο επαγωγική ΗΕΔ, πρέπει οπωσδήποτε να μεταβληθεί η μαγνητική ροή που διέρχεται από αυτό. Επειδή η μαγνητική ροή ορίζεται γενικά από τη σχέση:

$$\Phi = BS\sigma\upsilon\nu\alpha = \mu.\mu_0 HS\sigma\upsilon\nu\alpha,$$

συμπεραίνομε ότι η μεταβολή της ροής μπορεί να γίνει:

α) Όταν μεταβάλλεται η μαγνητική διαπερατότητα μ.

Αν π.χ. εισάγομε ή εξάγομε κομμάτι σίδηρο μέσα στο πλαίσιο ή το πηνίο.

β) Όταν μεταβάλλεται η ένταση Η του μαγνητικού πεδίου.

Αν π.χ. μεταβάλλομε την ένταση του ρεύματος που διαρρέει το πηνίο Π (σχ. 4.4α) παρατηρούμε απόκλιση του δείκτη του αμπερομέτρου Α στο πλαίσιο Δ. Αυτή οφείλεται στην επαγωγική ΗΕΔ που αναπτύχθηκε στο πλαίσιο Δ, επειδή άλλαξε η ένταση του μαγνητικού πεδίου (και επομένως και η μαγνητική ροή).

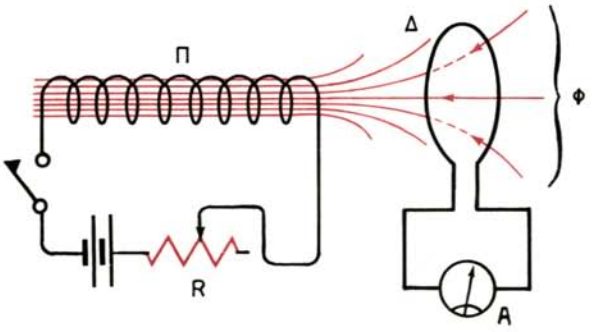
Επίσης επαγωγικό ρεύμα παράγεται στο Δ αν πλησιάζομε ή απομακρύνομε το πηνίο Π. Το ίδιο συμβαίνει αν στη θέση του πηνίου Π υπάρχει μόνιμος μαγνήτης.

γ) Όταν μεταβάλλεται το εμβαδό S του πλαισίου.

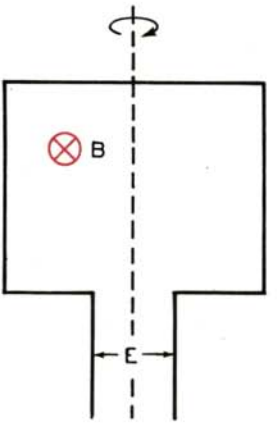
δ) Όταν μεταβάλλεται η γωνία α.

Όταν π.χ. πλαίσιο στρέφεται μέσα σε ομογενές μαγνητικό πεδίο (σχ. 4.4β),

ΔΡΥΜΟΣ ΣΥΓΓΡΑΦΕΩΝ 1954



Σχ. 4.4α.
Μεταβολή της μαγνητικής ροής με μεταβολή της εντάσεως του μαγνητικού πεδίου.



Σχ. 4.4β.
Μεταβολή της μαγνητικής ροής με μεταβολή της γωνίας α.

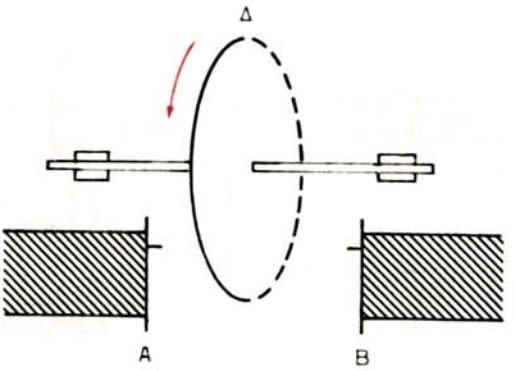
τότε μεταβάλλεται η γωνία α που σχηματίζει η ένταση του πεδίου με την κάθετη στο πλαίσιο, με αποτέλεσμα να μεταβάλλεται η μαγνητική ροή και να αναπτύσσεται στα άκρα του πλαισίου επαγωγική ΗΕΔ. (Ο τρόπος αυτός αναπτύξεως επαγωγικής ΗΕΔ εφαρμόζεται στις ηλεκτρικές γεννήτριες).

4.5 Ρεύματα Foucault (Δινορρεύματα).

Τα επαγωγικά ρεύματα που αναπτύσσονται μέσα σε συμπαγείς μεταλλικές μάζες (μικρής δηλ. αντιστάσεως) όταν κινούνται μέσα σε ανομοιογενή μαγνητικά πεδία ονομάζονται ρεύματα ***Foucault.***

Τα ρεύματα Foucault διαφέρουν από τα συνήθη επαγωγικά ρεύματα στο ότι ***διανύουν κλειστές τροχιές μέσα στις μεταλλικές μάζες και επομένως δεν μπορούν να διοχετευθούν σε εξωτερικό κύκλωμα.***

Η φορά των ρευμάτων Foucault είναι τέτοια, ώστε οι δυνάμεις Laplace που εξασκούνται να τείνουν να αναιρέσουν την κίνηση. Έτσι ο περιστρεφόμενος δίσκος του σχήματος 4.5 υφίσταται ισχυρή πέδηση (φρενάρισμα), όταν



Σχ. 4.5.
Ηλεκτρομαγνητική πέδηση.

διεγερθεί ο ηλεκτρομαγνήτης ΑΒ. (Στα επαγωγικά ρεύματα που δημιουργούνται ασκούνται δυνάμεις Laplace που, σύμφωνα με τον κανόνα του Lenz, τείνουν να αναιρέσουν την κίνηση του δίσκου).

Γι' αυτό το λόγο τα ρεύματα Foucault βρίσκουν πρακτική εφαρμογή στην κατασκευή ηλεκτρομαγνητικών φρένων, στους τροχιοδρόμους, καθώς και στην απόσβεση της κινήσεως των κινητών συστημάτων των ηλεκτρικών οργάνων μετρήσεως.

Ρεύματα Foucault αναπτύσσονται επίσης σε ακίνητες μεταλλικές μάζες, όταν βρίσκονται μέσα σε μεταβαλλόμενο μαγνητικό πεδίο.

Σε πολλές ηλεκτρικές μηχανές (γεννήτριες, κινητήρες, μετασχηματιστές) αναπτύσσονται ρεύματα Foucault που η ενέργειά τους μετατρέπεται σε θερμότητα. Έτσι προκύπτει άσκοπη δαπάνη ενέργειας, ενώ, επειδή ανυψώνεται η θερμοκρασία, μπορεί να πάθει βλάβη η μηχανή. Για να περιορίζονται τα ρεύματα Foucault, οι μεταλλικές μάζες δεν είναι συμπαγείς αλλά αποτελούνται από σύρματα (από μαλακό σίδηρο) ή λεπτά ελάσματα που έχουν στρώμα βερνικιού στην επιφάνειά τους για να αυξάνει η μεταξύ τους αντίσταση.

4.6 Αυτεπαγωγή.

Αυτεπαγωγή ονομάζεται το φαινόμενο της αναπτύξεως επαγωγικής ΗΕΔ σε κύκλωμα που διαρρέεται από ρεύμα, εξαιτίας της μεταβολής της εντάσεως του ρεύματος που διαρρέει το κύκλωμα αυτό.

Γνωρίζομε ότι ρεύμα που διαρρέει κλειστό κύκλωμα παράγει μαγνητικό πεδίο. Από το κύκλωμα επομένως διέρχεται μαγνητική ροή που οφείλεται στο πεδίο αυτό. Αν το ρεύμα μεταβληθεί, μεταβάλλεται ανάλογα και η ένταση του πεδίου σε κάθε σημείο, άρα μεταβάλλεται και η ροή Φ. Η μεταβολή όμως της ροής θα προκαλέσει ανάπτυξη επαγωγικής ΗΕΔ. Αυτή την ΗΕΔ την ονομάζομε ***αυτεπαγωγική*** ΗΕΔ.

Μπορούμε λοιπόν συνοπτικά να γράψομε:

$$\Delta I \rightarrow \Delta H \rightarrow \Delta \Phi \rightarrow E = -\frac{\Delta \Phi}{\Delta t}$$

Ιδιαίτερα έντονο είναι το φαινόμενο της αυτεπαγωγής όταν ο αγωγός έχει σχήμα πηνίου (γιατί η ροή που προέρχεται από μια σπείρα, διέρχεται και από όλες τις άλλες).

4.6.1 Υπολογισμός της αυτεπαγωγής ΗΕΔ.

Ας θεωρήσομε σωληνοειδές που διαρρέεται από ρεύμα I_1 και έστω ότι μετά από Δt το ρεύμα μεταβάλλεται και γίνεται I_2 ($\Delta I = I_2 - I_1$). Η μεταβολή της μαγνητικής ροής θα είναι:

$$\Delta\Phi = \Phi_2 - \Phi_1 = S(B_2 - B_1) = S\,(\mu\mu_0 H_2 - \mu\mu_0 H_1) = \mu\mu_0 S(H_2 - H_1) =$$

$$= \mu\mu_0 S\left(\frac{NI_2}{l} - \frac{NI_1}{l}\right) = \frac{\mu\mu_0 SN}{l}(I_2 - I_1).$$

Άρα: $$E_{\alpha\upsilon\tau} = -\frac{\Delta\Phi}{\Delta t} \cdot N = -\frac{\mu\mu_0 . S . N^2}{l}\,\frac{\Delta I}{\Delta t} \qquad (1)$$

Ο συντελεστής $$L = \frac{\mu\mu_0 . N^2 . S}{l} \qquad (2)$$

ονομάζεται ***συντελεστής αυτεπαγωγής*** του πηνίου.

$$(1) \rightarrow E = -L\frac{\Delta I}{\Delta t} \qquad (3)$$

Η σχέση (3) εκφράζει το ***νόμο της αυτεπαγωγής.***

Η αυτεπαγωγική ΗΕΔ είναι ανάλογη προς την ταχύτητα μεταβολής της εντάσεως του ρεύματος (ΔI/Δt) που διαρρέει το κύκλωμα.

Αν το πηνίο δεν φέρει πυρήνα η σχέση (2) γράφεται:

$$L = \frac{\mu_0 . N^2 . S}{l} \qquad (4)$$

Στην περίπτωση αυτή ο L είναι σταθερός (για γνωστό πηνίο) γιατί δεν εξαρτάται από τη μαγνητική διαπερατότητα μ.

Στο σύστημα MKSA η μονάδα του συντελεστή αυτεπαγωγής ονομάζεται ***Henry*** και ορίζεται από τη σχέση (3):

$$1\ \text{Henry} = 1\ \text{H} = 1\ \frac{\text{V.sec}}{\text{A}} = 1\ \frac{\text{Wb}}{\text{A}}$$

δηλαδή:

Λέμε ότι ο συντελεστής αυτεπαγωγής αγωγού είναι 1Η όταν αναπτύσσεται στα άκρα του ΗΕΔ ίση με 1 V, αν το ρεύμα μεταβάλλεται κατά 1Α ανά sec.

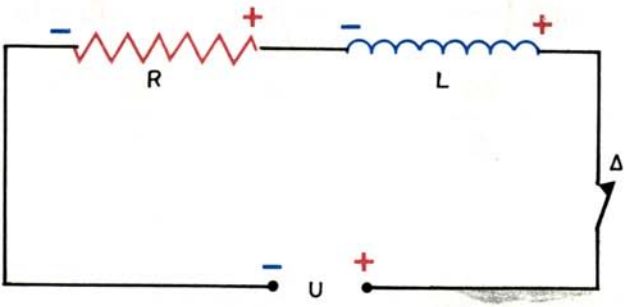
Συνήθως στην πράξη χρησιμοποιούνται τα υποπολλαπλάσια του Η:

$$1\ \text{mH} = 10^{-3}\text{H} \text{ και } 1\ \mu\text{H} = 10^{-6}\ \text{H}.$$

4.6.2 Αποτελέσματα της αυτεπαγωγής.

α) Κατά το κλείσιμο ενός κυκλώματος.

Ας θεωρήσομε ότι, εις τα άκρα πηνίου ωμικής αντιστάσεως R και συντελεστή αυτεπαγωγής L, (σχ. 4.6α), εφαρμόζεται η τάση U. Αν κλείσομε το διακόπτη, το ρεύμα δεν λαμβάνει αμέσως την τιμή $I_0 = U/R$ που προβλέπεται από το νόμο του Ohm, αλλά βαθμιαία. Αυτό συμβαίνει γιατί στο πηνίο αναπτύσσεται αυτεπαγωγική ΗΕΔ (επειδή μεταβάλλεται και συγκεκριμένα αυξάνεται η μαγνητική ροή) που σύμφωνα με το κανόνα του Lenz, έχει αντίθετη πολικότητα από τη τάση U. Η αυτεπαγωγική ΗΕΔ Ε τείνει να προκαλέσει αντίρροπο ρεύμα που ονομάζεται ***αντίρρευμα αποκαταστάσεως.***



Σχ. 4.6α.
Πολικότητα της αυτεπαγωγικής ΗΕΔ κατά το κλείσιμο.

Στο κύκλωμα λοιπόν, εκτός από την τάση U της πηγής υπάρχει και η αυτεπαγωγική ΗΕΔ:

$$E = -L\frac{dI}{dt}$$

και σύμφωνα με το 2ο κανόνα του Kirchhoff θα έχομε:

$$U - E = I.R \quad I = \frac{U - E}{R} \qquad (\text{δηλ. } I < I_0)$$

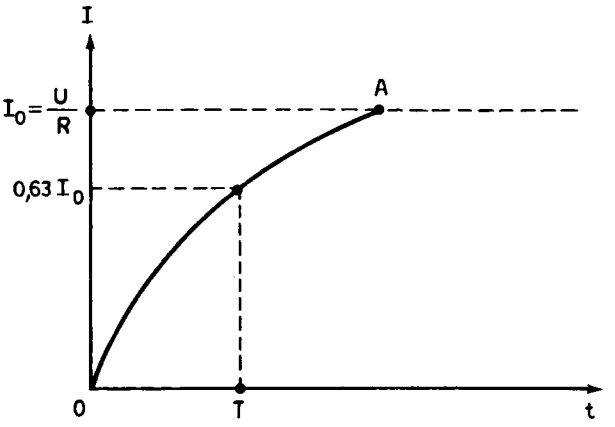
Το ρεύμα I παρέχεται από την εκθετική εξίσωση:

$$I = I_0\left[1 - e^{-\frac{R}{L}t}\right] \qquad (1)$$

που παριστάνεται γραφικά από τη καμπύλη ΟΑ (σχ. 4.6β).

(Η σταθερά e είναι η βάση των φυσικών λογαρίθμων $e \simeq 2{,}72$).

Από την (1) για $t = \infty$ έχομε $I = I_0$, δηλαδή θεωρητικά μετά από άπειρο χρόνο το ρεύμα λαμβάνει την τιμή $I_0 = U/R$. Πρακτικά όμως αυτό συμβαίνει περίπου μετά από χρόνο:



Σχ. 4.66.
Η εκθετική αύξηση του ρεύματος.

$$t = 4\frac{L}{R} \qquad (2)$$

Η σταθερά $$\tau = \frac{L}{P} \qquad (3)$$

ονομάζεται ***σταθερά χρόνου.***

Αν στην (1) θέσομε t = τ θα έχομε:

$$I = I_0\left(1 - \frac{1}{\frac{R}{L}\cdot\frac{L}{R}}\right) = I_0\left(1 - \frac{1}{e}\right) \simeq 0{,}63\ I_0$$

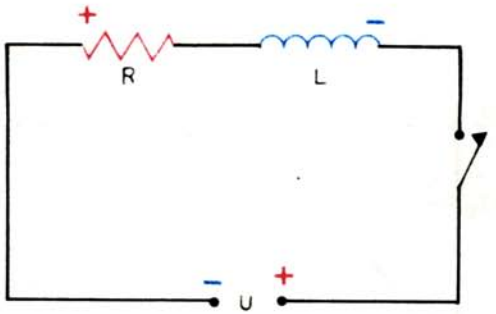
δηλαδή ***σταθερά χρόνου είναι ο χρόνος που απαιτείται για να αποκτήσει το ρεύμα τα 63 εκατοστά της τελικής του τιμής I_0.***

β) Κατά το άνοιγμα του κυκλώματος.

Αν ανοίξομε το διακόπτη (σχ. 4.6γ), θα παρατηρήσομε ότι το ρεύμα δεν μηδενίζεται αμέσως, αλλά μετά από παρέλευση ορισμένου χρόνου. Αυτό συμβαίνει γιατί στο πηνίο αναπτύσσεται αυτεπαγωγική ΗΕΔ (μειώνεται τώρα η μαγνητική ροή) που σύμφωνα με τον κανόνα του Lenz, έχει την ίδια φορά (πολικότητα) με την τάση U.

Η αυτεπαγωγική ΗΕΔ Ε τείνει να προκαλέσει ομόρροπα ρεύμα (με το ρεύμα της πηγής που μειώνεται) που ονομάζεται ***επίρρευμα διακοπής.***

Η αυτεπαγωγική ΗΕΔ μπορεί να λάβει πολύ μεγάλες τιμές, γιατί η ταχύτητα μεταβολής του ρεύματος (dI/dt) είναι πάρα πολύ μεγάλη (επειδή ο χρόνος που παρέρχεται για να διακοπεί το κύκλωμα είναι ελάχιστος), με αποτέλεσμα κατά το άνοιγμα του διακόπτη, να εμφανίζεται μεταξύ των επαφών του ηλεκτρικός



Σχ. 4.6γ.
Η πολικότητα της αυτεπαγωγικής ΗΕΔ κατά το άνοιγμα.

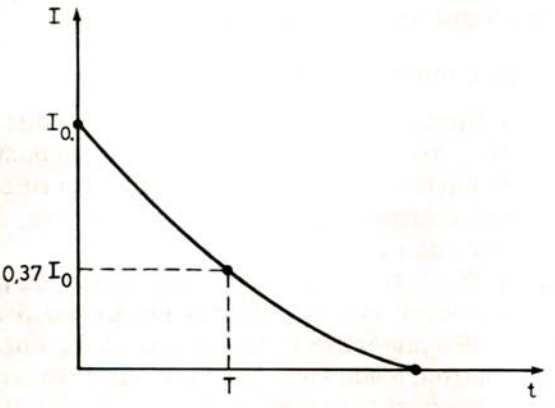
σπινθήρας. Ο σπινθήρας οφείλεται στη μεγάλη ένταση του ρεύματος που τείνει να κυκλοφορήσει η αυτεπαγωγική ΗΕΔ, και στα κυκλώματα που παρουσιάζουν μεγάλη αυτεπαγωγή είναι πάρα πολύ έντονος ώστε μπορεί να προκαλέσει δυσάρεστα αποτελέσματα (τήξη των επαφών του διακόπτη, να τεθεί σε κίνδυνο ο χειριστής κλπ.).

Γι' αυτό το λόγο, οι διακόπτες κυκλωμάτων μεγάλης αυτεπαγωγής χειρίζονται από απόσταση και οι επαφές τους τοποθετούνται μέσα σε λάδι, για να ψύχονται και να εξουδετερώνεται ο σπινθήρας.

Το ρεύμα I που ελαττώνεται εκθετικά (σχ. 4.6δ), παρέχεται από την εκθετική εξίσωση:

$$I = I_0 \cdot e^{-\frac{R}{L} \cdot t} \qquad (5)$$

όπου I_0 η ένταση του ρεύματος πριν από τη διακοπή και R η ολική αντίσταση του κυκλώματος, δηλ. η ωμική αντίσταση του πηνίου και η ηλεκτρική αντίσταση του αέρα. (Αν θεωρήσομε ότι δεν παράγεται σπινθήρας, τότε $R = R_{πηνίου}$).



Σχ. 4.6δ.
Η εκθετική ελάττωση του ρεύματος.

Αν στη (5) θέσομε $t = \frac{I}{R}$ θα έχομε:

$$I = I_0 \frac{1}{e^{\left(\frac{P}{L} \cdot \frac{L}{R}\right)}} = \frac{I_0}{e} \simeq 0{,}37\ I_0.$$

Η σταθερά τ = L/R (6) ονομάζεται ***σταθερά χρόνου. Δηλαδή σταθερά χρόνου είναι ο χρόνος που απαιτείται για να μειωθεί το ρεύμα και να λάβει τα 37 εκατοστά της αρχικής του τιμής I_0.***

4.6.3 Ενέργεια του μαγνητικού πεδίου.

Όπως είδαμε προηγουμένως, όταν κλείσομε το κύκλωμα, το ρεύμα δεν λαμβάνει αμέσως την τιμή $I_0 = U/R$ που προβλέπεται από το νόμο του Ohm. Αυτό συμβαίνει, γιατί κατά τη διάρκεια της αποκαταστάσεως του ρεύματος, ένα μέρος από την ενέργεια που παρέχει η πηγή στο κύκλωμα, μετατρέπεται σε θερμότητα, ενώ το υπόλοιπο μέρος αποταμιεύεται στο μαγνητικό πεδίο του πηνίου.

Όταν το ρεύμα λάβει τη σταθερή του τιμή I_0, τότε παύει η αποταμίευση ενέργειας στο μαγνητικό πεδίο του πηνίου και η ενέργεια του μαγνητικού πεδίου διατηρείται σταθερή. Αν τώρα διακόψομε το ρεύμα, ολόκληρη η ενέργεια που έχει αποθηκευθεί στο μαγνητικό πεδίο του πηνίου, μετατρέπεται σε ηλεκτρική και έτσι προκύπτει το επίρρευμα διακοπής.

Την ενέργεια του μαγνητικού πεδίου θα την υπολογίζομε με τη σχέση:

$$W = \frac{1}{2} LI^2 \qquad \text{(MKSA)}$$

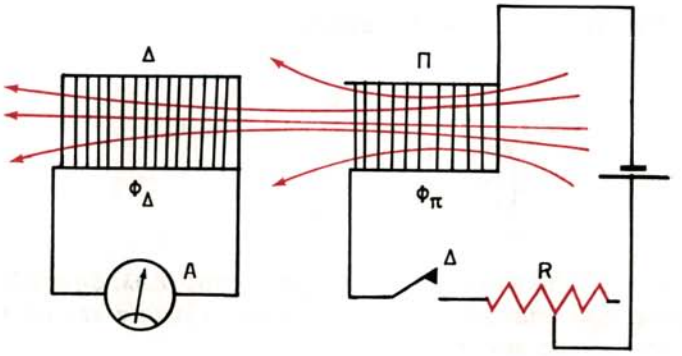
4.7 Αμοιβαία επαγωγή.

Ας θεωρήσομε τη διάταξη του σχήματος 4.7 που αποτελείται από δυο πηνία Π (πρωτεύον) και Δ (δευτερεύον). Αν μεταβάλλομε το ρεύμα που διαρρέει το πρωτεύον κατά ΔΙ, τότε μεταβάλλεται η ροή Φ_π που διέρχεται από το πρωτεύον, αλλά μεταβάλλεται επίσης και η ροή Φ_Δ που διέρχεται από το δευτερεύον, με αποτέλεσμα να αναπτύσσεται στο Δ επαγωγική ΗΕΔ.

Το φαινόμενο αυτό της αναπτύξεως επαγωγικής ΗΕΔ σε ένα κύκλωμα, όταν μεταβάλλεται το ρεύμα που διαρρέει γειτονικό κύκλωμα, ονομάζεται αμοιβαία επαγωγή και τα δυο πηνία ονομάζονται συζευγμένα πηνία (ή συζευγμένα κυκλώματα).

Αν σε χρόνο Δt το ρεύμα μεταβάλλεται στο πρωτεύον κατά ΔΙ, τότε η επαγωγική ΗΕΔ που αναπτύσσεται στο δευτερεύον παρέχεται από τη σχέση:

$$E = M \frac{\Delta I}{\Delta t} \qquad (1)$$



Σχ. 4.7.
Πηνία σε αμοιβαία επαγωγή.

Ο Μ ονομάζεται ***συντελεστής αμοιβαίας επαγωγής*** και εξαρτάται από το ***σχήμα*** και τη ***σχετική θέση*** των δυο πηνίων καθώς και από τη μαγνητική διαπερατότητα του μέσου που βρίσκεται μεταξύ των πηνίων (εκφράζεται σε Henry).

Αν στη σχέση (1) θέσομε $\Delta I = 1$ A και $\Delta t = 1$ sec λαμβάνομε $E = M$, δηλαδή ***ο συντελεστής αμοιβαίας επαγωγής εκφράζει την επαγωγική ΗΕΔ που αναπτύσσεται στο δευτερεύον, όταν στο πρωτεύον το ρεύμα μεταβάλλεται κατά 1Α ανά sec.***

4.8 Σύζευξη – Συντελεστής συζεύξεως.

Όταν η θέση των δυο πηνίων είναι τέτοια, ώστε το μεγαλύτερο μέρος της ροής του πρωτεύοντος να διέρχεται από το δευτερεύον, τότε λέμε ότι η σύζευξη των δυο πηνίων είναι ***έντονη*** ενώ στην αντίθετη περίπτωση (όταν π.χ. απομακρύνονται τα πηνία) η σύζευξη είναι ***χαλαρή.***

Ονομάζομε ***συντελεστή συζεύξεως δυο πηνίων*** το λόγο της μαγνητικής ροής Φ_Δ που διέρχεται από το δευτερεύον, προς τη ροή Φ_π που διέρχεται από το πρωτεύον:

$$k_1 = \frac{\Phi_\Delta}{\Phi_\pi}$$

Αν μεταφέρομε την πηγή στο πηνίο Δ, τότε ο συντελεστής συζεύξεως των πηνίων θα είναι:

$$k_2 = \Phi_\pi/\Phi_\Delta.$$

Την παράσταση: $\sqrt{k_1 k_2} = k$

ονομάζομε ***συντελεστή συζεύξεως k των δυο πηνίων,*** χωρίς πια να κάνομε τη διάκριση ποιο από τα πηνία λειτουργεί σαν πρωτεύον και ποιο σαν δευτερεύον.

Αν τα δυο πηνία έχουν την ίδια γεωμετρική μορφή, τότε:

$$k_1 = k_2 = k$$

Ο συντελεστής συζεύξεως k είναι αριθμός μικρότερος από τη μονάδα (ή το πολύ ίσος στην περίπτωση που δεν υπάρχει μαγνητική σκέδαση και ολόκληρη η

ροή του πρωτεύοντος διέρχεται από το δευτερεύον) και εκφράζεται συνήθως επί τοις εκατό (όταν π.χ. k = 0,7 λέμε ότι μεταξύ των πηνίων υπάρχει σύζευξη 70%).

Μεταξύ των συντελεστών αυτεπαγωγών L_1 και L_2 των συντελεστών συζεύξεως k_1 και k_2 και του συντελεστή αμοιβαίας επαγωγής M υπάρχει η σχέση:

$$M^2 = k_1 \cdot k_2 \cdot L_1 \cdot L_2 \quad \text{ή} \quad M = \sqrt{L_1 \cdot L_2}$$

4.9 Συνδεσμολογία πηνίων αυτεπαγωγής.

α) Σύνδεση πηνίων σε σειρά.

Ας θεωρήσομε δυο πηνία L_1 και L_2 που δεν παρουσιάζουν αμοιβαία επαγωγή (M = 0) και ότι το ρεύμα I που τα διαρρέει μεταβάλλεται κατά ΔI μέσα σε χρόνο Δt (σχ. 4.9α). Οι αυτεπαγωγικές ΗΕΔ που θα αναπτυχθούν στα πηνία θα είναι:

$$E_{A\Gamma} = - L_1 \frac{\Delta I}{\Delta t} \quad \text{και} \quad E_{\Gamma B} = - L_2 \frac{\Delta I}{\Delta t}$$

Επειδή η ταχύτητα μεταβολής του ρεύματος (ΔI/Δt) είναι η ίδια και στα δυο πηνία, συμπεραίνομε ότι η ολική ΗΕΔ που θα αναπτυχθεί στα άκρα A,B των πηνίων θα είναι:

$$E_{AB} = E_{A\Gamma} + E_{\Gamma B} = - (L_1 + L_2) \frac{\Delta I}{\Delta t} = - L \frac{\Delta I}{\Delta t}$$

όπου L η ισοδύναμη αυτεπαγωγή των δυο πηνίων. Άρα:

$$L = L_1 + L_2$$

Όταν $M \neq 0$ τότε οι αυτεπαγωγές ΗΕΔ στα δυο πηνία θα είναι:

$$E_{A\Gamma} = - (L_1 \pm M) \frac{\Delta I}{\Delta t} \quad \text{και} \quad E_{\Gamma B} = - (L_2 \pm M) \frac{\Delta I}{\Delta t}$$

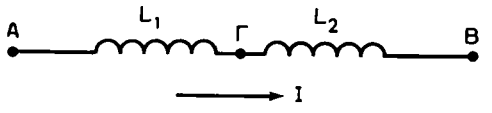
Ο συντελεστής M είναι θετικός όταν τα μαγνητικά πεδία των πηνίων έχουν την ίδια φορά και αρνητικός όταν έχουν αντίθετη.

Η αυτεπαγωγική ΗΕΔ στα άκρα των πηνίων θα είναι:

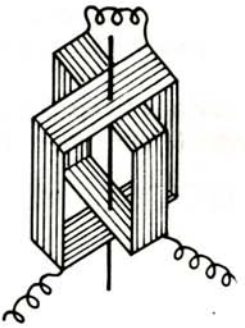
$$E_{AB} = E_{A\Gamma} + E_{\Gamma B} = - (L_1 + L_2 \pm 2M) \frac{\Delta I}{\Delta t} = - L \frac{\Delta I}{\Delta t}$$

δηλαδή:

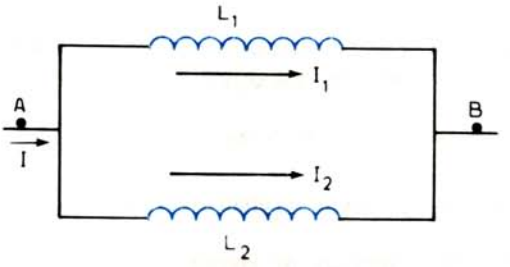
$$L = L_1 + L_2 \pm 2M$$



Σχ. 4.9α.



Σχ. 4.9β.



Σχ. 4.9γ.

Ο συντελεστής Μ, όπως είδαμε, εξαρτάται από τη σχετική θέση των δυο πηνίων. Όταν επομένως μεταβάλλεται η θέση των πηνίων, θα μεταβάλλεται και η ισοδύναμη αυτεπαγωγή.

Στην αρχή αυτή στηρίζεται η κατασκευή των ***βαριομέτρων*** (σχ. 4.9β).

Αυτά αποτελούνται από δυο πηνία που οι περιελίξεις τους συνδέονται σε σειρά. Το ένα πηνίο είναι σταθερό και το άλλο κινητό. Όταν στρέφεται το κινητό πηνίο, στρέφεται και το μαγνητικό του πεδίο και ο συντελεστής αμοιβαίας επαγωγής μεταβάλλεται από +2Μ, όταν τα μαγνητικά πεδία των πηνίων έχουν την ίδια φορά (αυτό συμβαίνει όταν τα ρεύματα που διαρρέουν τα πηνία και η περιέλιξη των σπειρών τους είναι της ίδιας φοράς) μέχρι – 2Μ, όταν έχουν αντίθετη φορά (αν π.χ. αντιστραφεί η φορά περιελίξεως των σπειρών ή η φορά του ρεύματος στο ένα από τα πηνία). Τα βαριόμετρα χρησιμοποιούνται πολύ σε συσκευές ρυθμίσεως και σε ραδιοηλεκτρικές κατασκευές.

β) Παράλληλη σύνδεση πηνίων (σχ. 4.9γ).

Αν Μ = 0 και L η ισοδύναμη αυτεπαγωγή, τότε η αυτεπαγωγική ΗΕΔ που θα αναπτυχθεί στα άκρα ΑΒ όταν το ρεύμα I μεταβληθεί κατά ΔI σε χρόνο Δt. (I = $I_1 + I_2 \rightarrow \Delta I = \Delta I_1 + \Delta I_2$) θα είναι:

$$E = L\frac{\Delta I}{\Delta t} \rightarrow \frac{1}{L} = \frac{\Delta I/\Delta t}{E} = \frac{\Delta i_1/\Delta t}{E} + \frac{\Delta I_2/\Delta T}{E} = \frac{1}{L_1} + \frac{1}{L_2}$$

δηλαδή

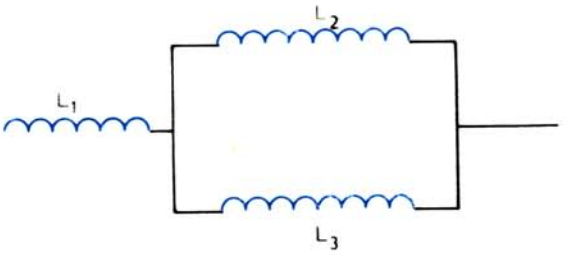
$$L = \frac{L_1 L_2}{L_1 + L_2} \qquad (1)$$

Όταν $M \neq 0$ τότε η σχέση (1) γίνεται:

$$L = \frac{L_1 L_2 - M^2}{L_1 + L_2 \pm 2M}$$

γ) Μικτή σύνδεση.

Αυτή αποτελεί συνδυασμό των δυο παραπάνω συνδέσμων (σχ. 4.9δ), και ο



Σχ. 4.9δ.

υπολογισμός της ολικής (ισοδύναμη) αυτεπαγωγής γίνεται με τον εξής τρόπο:

$$L_{23} = \frac{L_2 L_3}{L_2 + L_3} \qquad \text{και}$$

$$L_{123} = L_{ολ} = L_1 + L_{23} = L_1 + \frac{L_2 L_3}{L_2 + L_3}$$

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΠΕΜΠΤΟ

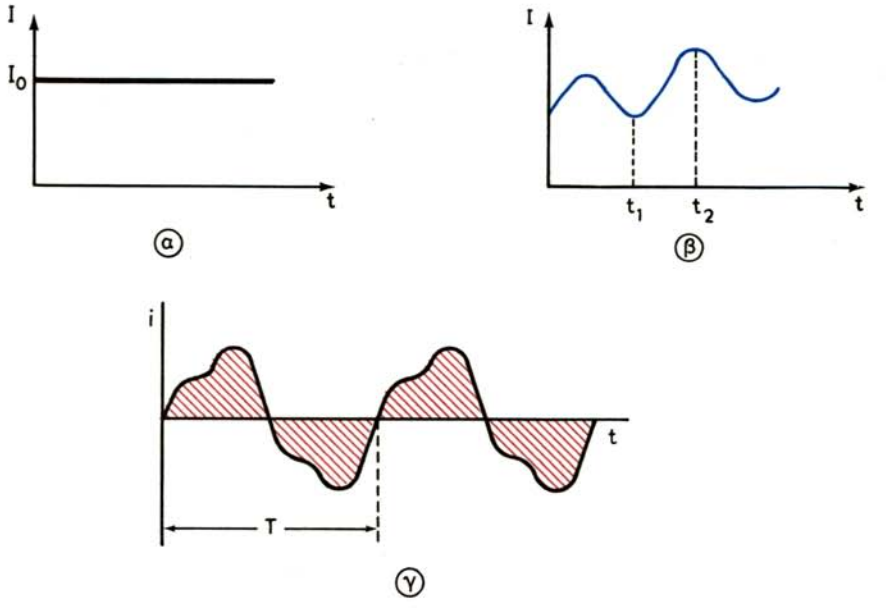
ΕΝΑΛΛΑΣΣΟΜΕΝΑ ΡΕΥΜΑΤΑ

5.1 Εναλλασσόμενο ρεύμα.

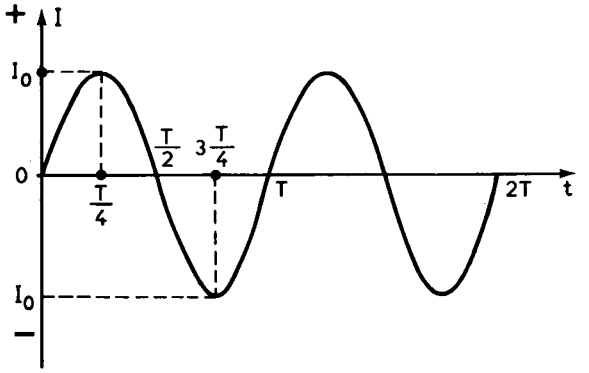
Μέχρι τώρα μιλήσαμε για τα συνεχή ρεύματα, δηλαδή τα ρεύματα που η φορά τους δεν μεταβάλλεται. Τα συνεχή ρεύματα μπορεί να είναι ***σταθερά*** [στις διάφορες τιμές του χρόνου η έντασή τους έχει την ίδια τιμή I, όπως δείχνει το σχήμα 5.1α (α)] ή ***μεταβλητά*** [στις διάφορες τιμές του χρόνου η έντασή τους έχει διάφορες τιμές όπως φαίνεται στο σχήμα 5.1α(β)].

Παρακάτω θα ασχοληθούμε με τα ***εναλλασσόμενα ρεύματα,*** δηλαδή με ρεύματα που η φορά τους μεταβάλλεται.

Εναλλασσόμενο ονομάζεται το ρεύμα, αν η έντασή του είναι περιοδική συνάρτηση του χρόνου και σε χρόνο ίσο προς μία ημιπερίοδο T/2 έχει μία φορά και στην άλλη ημιπερίοδο αντίθετη.



Σχ. 5.1α.
α) Σταθερό συνεχές ρεύμα. β) Μεταβλητό συνεχές ρεύμα. γ) Εναλλασσόμενο ρεύμα γενικής μορφής.



Σχ. 5.16.
Ημιτονικό εναλλασσόμενο ρεύμα.

Επίσης τα μεταφερόμενα κατά μία φορά ηλεκτρικά φορτία είναι ίσα προς τα μεταφερόμενα κατά την αντίθετη, επομένως ***τα εμβαδά πάνω και κάτω από τον άξονα των χρόνων πρέπει να είναι ίσα*** [σχ. 5.1α(γ)] Η σκιασμένη επιφάνεια παριστάνει το γινόμενο της εντάσεως του ρεύματος επί το χρόνο, δηλαδή το μεταφερόμενο ηλεκτρικό φορτίο.

Ειδικότερα, εναλλασσόμενο ***αρμονικό*** (ή ημιτονικό) (σχ. 5.16) ονομάζεται το ρεύμα, αν η έντασή του I παρέχεται σε κάθε χρονική στιγμή από την εξίσωση:

$$I = I_0 \eta\mu\omega t \qquad (1)$$

Στην εξίσωση (1) το I είναι η ***στιγμιαία*** τιμή της εντάσεως. Το I_0 είναι η ***μέγιστη*** (κατ' απόλυτη τιμή) τιμή που μπορεί να λάβει η ένταση και ονομάζεται ***πλάτος*** της εντάσεως. Το μέγεθος $\omega t = \alpha$ ονομάζεται ***φάση*** της εντάσεως και μετράται σε ακτίνια (rad) ή μοίρες. Το μέγεθος ω ονομάζεται ***κυκλική συχνότητα*** του ρεύματος και μετράται ($\omega = \alpha/t$) σε rad/sec.

Όταν η φάση αυξηθεί κατά 2π, 2.2π... (γενικά κατά 2Kπ) η στιγμιαία ένταση I λαμβάνει την ίδια τιμή:

$$I = I_0 \eta\mu\omega t = I_0 \eta\mu(\omega t + 2\pi) = I_0 \eta\mu(\omega + 2.2\pi) = \ldots$$

Αυτό συμβαίνει όταν ο χρόνος αυξηθεί κατά T, 2T,..., KT. Το χρόνο αυτό T υπολογίζομε από τη σχέση:

$$\omega t + 2\pi = \omega (t + T) \quad \text{δηλ.} \quad T = \frac{2\pi}{\omega}$$

Ο χρόνος αυτός είναι η ***περίοδος*** του εναλλασσομένου ρεύματος: ***Περιόδος εναλλασσομένου ρεύματος*** (ή γενικότερα κάθε εναλλασσομένου μεγέθους) ***ονομάζομε το σταθερό χρόνο T που απαιτείται για να συμπληρώσει το εναλλασσόμενο ρεύμα μία πλήρη εναλλαγή ή κύκλο.***

Αφού το εναλλασσόμενο ρεύμα συμπληρώνει ένα κύκλο σε χρόνο T, είναι φανερό ότι σε χρόνο 1 sec συμπληρώνει 1/T κύκλους.

Ο σταθερός αριθμός των κύκλων στη μονάδα του χρόνου ονομάζεται συχνότητα f του εναλλασσομένου ρεύματος, δηλαδή:

$$f = \frac{1}{T}$$

Η συχνότητα μετρείται με τις μονάδες: 1 κύκλος/sec = 1 sec^{-1} = 1 Hertz.
Πολλαπλάσια: 1 kHz (χιλιόκυκλος) = 10^3 Hz, 1 MHz (μεγάκυκλος) = 10^6 Hz.
Από τα παραπάνω συμπεραίνομε ότι η στιγμιαία ένταση I αρμονικού εναλλασσομένου ρεύματος θα παρέχεται από τις σχέσεις:

$$I = I_0 \eta\mu\omega t = I_0 \eta\mu \frac{2\pi}{T} t = I_0 \eta\mu 2\pi f t$$

Το σχήμα 5.16 μας δείχνει, πώς μεταβάλλεται η ένταση $I = I_0 \eta\mu \frac{2\pi}{T} t$ σε συνάρτηση με το χρόνο t, I_0 είναι το πλάτος του ρεύματος και T η περίοδος. Όταν ο χρόνος αυξάνεται από 0 μέχρι T/4, το ρεύμα αυξάνεται από 0 μέχρι I_0, από T/4 μέχρι T/2 το ρεύμα ελαττώνεται από I_0 μέχρι 0. Μετά η φορά του ρεύματος αντιστρέφεται. Από T/2 μέχρι 3 T/4, το ρεύμα αυξάνεται από 0 μέχρι I_0 και από 3T/4 μέχρι T το ρεύμα ελαττώνεται από I_0 μέχρι 0. Οι ίδιες μεταβολές γίνονται και κατά τις επόμενες περιόδους.

Σημείωση: Στην Αμερική τα βιομηχανικά εναλλασσόμενα ρεύματα έχουν συχνότητα 60 Hz. Στην Ευρώπη έχουν συχνότητα 50 Hz, δηλαδή περίοδο T = 1/f = 0,02 sec.

5.2 Παραγωγή εναλλασσομένης τάσεως.

Το αρμονικό εναλλασσόμενο ρεύμα παράγεται από αρμονική εναλλασσόμενη τάση, δηλ. τάση της μορφής:

$$\upsilon = \upsilon_0 \eta\mu\omega t$$

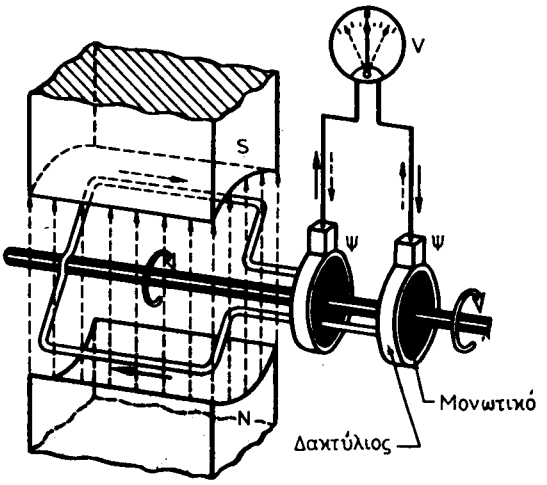
Μια τέτοια τάση μπορεί να παραχθεί με τον εξής τρόπο: Ας θεωρήσομε αγωγό σε σχήμα πλαισίου που έχει εμβαδό S και βρίσκεται μέσα σε ομογενές μαγνητικό πεδίο (σχ. 5.2α).

Αν περιστρέψομε το πλαίσιο με σταθερή γωνιακή ταχύτητα ω (γύρω από άξονα κάθετο στην ένταση του πεδίου) (σχ. 5.2β) τότε η μαγνητική ροή που διέρχεται από το πλαίσιο ΑΓΔΒ θα μεταβάλλεται σύμφωνα με τη σχέση:

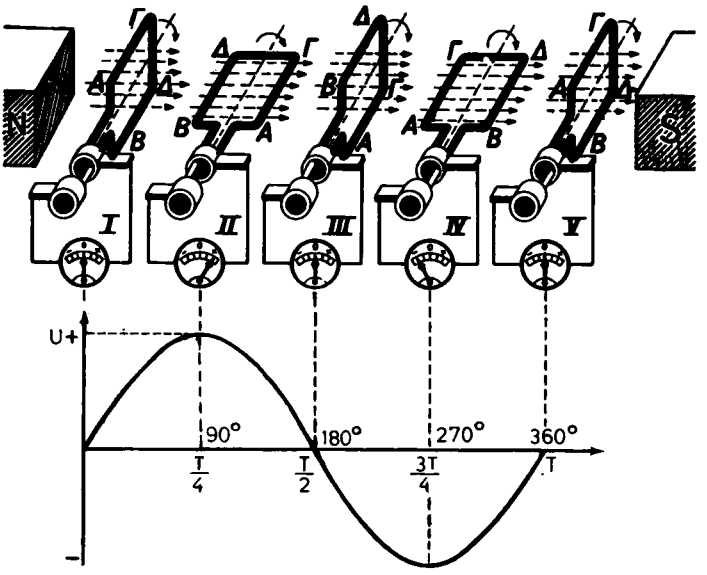
$$\Phi = BS\sigma\upsilon\nu\alpha = BS\sigma\upsilon\nu\omega t = \Phi_0 \sigma\upsilon\nu\omega t \qquad (1)$$

όπου α = ωt η γωνία που σχηματίζει, στις διάφορες θέσεις του πλαισίου, η κάθετος στο πλαίσιο με την ένταση του πεδίου και Φ_0 = BS η μέγιστη μαγνητική ροή που διέρχεται από αυτό.

Η σχέση (1) δείχνει ότι, η μαγνητική ροή είναι αρμονική συνάρτηση του χρόνου, με πλάτος Φ_0 = BS και κυκλική συχνότητα ω ίση με τη γωνιακή ταχύτητα του στρεφομένου πλαισίου. Αφού λοιπόν μεταβάλλεται η μαγνητική



Σχ. 5.2α.
Παραγωγή εναλλασσομένης τάσεως. (Αρχή του εναλλακτήρα).



Σχ. 5.2β.
Κατά μια στροφή του πλαισίου μέσα στο μαγνητικό πεδίο παράγεται ένας κύκλος τάσεως.

ροή, θα αναπτύσσεται στα άκρα του πλαισίου, σύμφωνα με το γενικό νόμο της επαγωγής, εναλλασσόμενη τάση της μορφής:

$$U = -\frac{\Delta\Phi}{\Delta t} = \omega \cdot \Phi_0 \eta\mu\omega t = U_0 \eta\mu\omega t \qquad (2)$$

όπου $U_0 = \Phi_0 \cdot \omega = \omega \cdot B \cdot S$ το πλάτος της τάσεως.

Από τη σχέση (2) παρατηρούμε ότι η τάση είναι ημιτονική συνάρτηση του χρόνου. Το μέγεθος U εκφράζει τη στιγμιαία τιμή της τάσεως, το U_0 το πλάτος της τάσεως και η γωνία α = ωt τη φάση της τάσεως.

Επίσης από τη σχέση (2) παρατηρούμε ότι η τάση μηδενίζεται, όταν το πλαίσιο είναι κάθετο στις δυναμικές γραμμές του πεδίου (στην περίπτωση αυτή η μαγνητική ροή λαμβάνει τη μέγιστη τιμή της), ενώ λαμβάνει τη μέγιστη τιμή U_0, όταν το πλαίσιο είναι παράλληλο προς τις δυναμικές γραμμές του πεδίου (η μαγνητική ροή είναι μηδέν).

Στην εξίσωση (2) θα μπορούσαμε να καταλήξομε αν υπολογίζαμε τις ΗΕΔ που αναπτύσσονται στα άκρα των αγωγών ΑΓ και ΒΔ σύμφωνα με τον πρώτο νόμο της επαγωγής.

Με το παρακάτω παράδειγμα γίνεται σαφής και πλήρης κατανόηση του τρόπου παραγωγής της εναλλασσομένης τάσεως.

Παράδειγμα.

Σπείρα ΑΓΔΒ περιστρέφεται με ταχύτητα n = 50 στρ./sec, μέσα σε ομογενές μαγνητικό πεδίο (που σχηματίζεται μεταξύ των πόλων διπολικής μηχανής) εντάσεως B = 1 Wb/m^2 (σχ. 5.2γ). Οι πλευρές ΑΓ και ΒΔ της σπείρας που τέμνουν τις μαγνητικές γραμμές έχουν μήκος 0,2 m και η ακτίνα της περιφέρειας που διαγράφουν είναι R = 5 cm.

Ζητούνται:

1) Η συχνότητα, η περίοδος και η κυκλική συχνότητα της παραγομένης εναλλασσομένης τάσεως.

2) Πόσα ακτίνια και πόσες μοίρες διανύει η σπείρα σε χρόνο: α) t = 0. β) t = 1/200 sec. γ) t = 1/100 sec. δ) t = 3/200 sec. ε) t = 1/50 sec.

3) Η στιγμιαία τιμή της εναλλασσομένης τάσεως που αντιστοιχεί στον καθένα από τους παραπάνω χρόνους.

4) Αν πρόκειται για πηνίο που αποτελείται από 30 σπείρες να υπολογισθεί η παραγόμενη εναλλασσόμενη τάση.

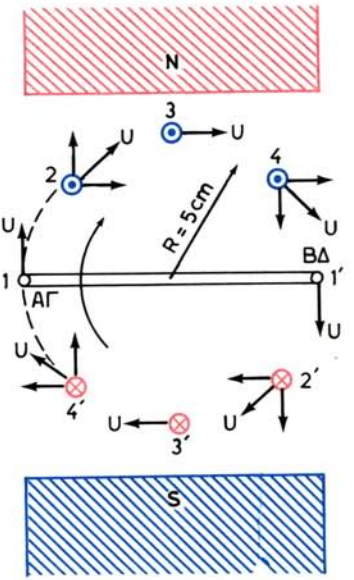
5) Να σχεδιασθεί η καμπύλη u = f (t). (Υπενθυμίζομε τις σχέσεις u = ωR = 2πηR, όπου u η γραμμική ταχύτητα, ω η γωνιακή και η η συχνότητα).

Λύση:

1) Η ΗΕΔ που αναπτύσσεται στον αγωγό ΑΓ στη θέση 1 είναι μηδέν, γιατί η ταχύτητά του είναι παράλληλη προς τις δυναμικές γραμμές. Το ίδιο συμβαίνει και στον αγωγό ΒΔ, δηλ. η ολική ΗΕΔ στη θέση 1-1΄ είναι μηδέν. (Η θέση 1-1΄ ονομάζεται ***ουδέτερη γραμμή).*** Όταν ο αγωγός ΑΓ λάβει τη θέση 2, θα αναπτύσσεται στα άκρα του επαγωγική ΗΕΔ που η φορά της, σύμφωνα με το κανόνα των τριών δακτύλων, θα είναι από το επίπεδο του σχεδίου προς τον αναγνώστη. Όταν ο αγωγός ΑΓ λάβει τη θέση 2, ο ΒΔ θα λάβει τη θέση 2΄ και θα αναπτυχθεί στα άκρα του ΗΕΔ που θα έχει φορά από τον αναγνώστη προς το επίπεδο της σελίδας. Παρατηρούμε δηλ. ότι σε κάθε χρονική στιγμή, οι δυο ΗΕΔ (που έχουν το ίδιο μέτρο) προστίθενται και έτσι η σπείρα θα διαρρέεται από ηλεκτρικό ρεύμα ορισμένης φοράς.

Όταν ο αγωγός ΑΓ λάβει τις θέσεις 3,4,..., η φορά της ΗΕΔ που αναπτύσσεται

ΔΡΥΜΑ ΣΥΓΧΡΟΝΟ 1954



Σχ. 5.2γ.
Τέσσερις χαρακτηριστικές θέσεις των αγωγών του πλαισίου κατά μια στροφή του.

στα άκρα του, παραμένει η ίδια, ενώ στη θέση 1′ η ΗΕΔ μηδενίζεται. Στις θέσεις 2′, 3′, 4′,... η ΗΕΔ στον αγωγό ΑΓ αλλάζει φορά, δηλ. τώρα είναι από τον αναγνώστη προς το επίπεδο της σελίδας. Επίσης και στον αγωγό ΒΔ που έχει λάβει τις θέσεις 2, 3, 4... η ΗΕΔ αλλάζει φορά (από το επίπεδο του σχεδίου προς τον αναγνώστη). Έτσι το ρεύμα που διαρρέει τώρα τη σπείρα, θα έχει φορά αντίθετη από τη προηγούμενη.

Τέλος όταν ο αγωγός επανέλθει στη θέση 1 η ΗΕΔ μηδενίζεται. Παρατηρούμε δηλαδή, ότι όταν η σπείρα εκτελέσει μία πλήρη στροφή, η ΗΕΔ έχει εκτελέσει μία πλήρη εναλλαγή (κύκλο). Άρα η συχνότητα f της εναλλασσόμενης τάσεως που παράγεται θα είναι ίση με τη συχνότητα η της σπείρας:

$$f = \eta = 50 \text{ Hz}$$

Η περίοδος: $$T = \frac{1}{f} = \frac{1}{50} \text{ sec}$$

και η κυκλική συχνότητα: $\omega = 2\pi f = 314$ rad/sec.

2) Παρατηρούμε ότι: $\frac{1}{200}$ sec $= \frac{1}{4.50} = \frac{T}{4}$ $\frac{1}{100}$ sec $= \frac{T}{2}$

$\frac{3}{200}$ sec $= \frac{3T}{4}$ και $\frac{1}{50}$ sec $= T$. Άρα:

α) $t = \rightarrow \alpha = \omega t = 0$ rad ή 0°.

β) $t = \frac{T}{4} \rightarrow \alpha = \frac{2\pi}{T} \cdot t = \frac{\pi}{2}$ rad ή 90°.

γ) $t = \frac{T}{2} \rightarrow \alpha = \frac{2\pi}{T} \cdot t = \pi$ rad ή 180°

δ) $t = \frac{3T}{4} \rightarrow \alpha = \frac{2\pi}{T} \cdot t = \frac{3\pi}{2}$ rad ή 270°.

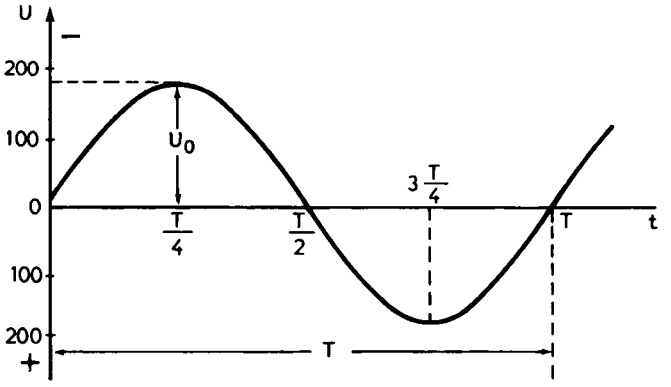
ε) $t = T \rightarrow \alpha = \frac{2\pi}{T} \cdot t = 2\pi$ rad ή 360°.

3) Σύμφωνα με το α΄ νόμο της επαγωγής η ΗΕΔ που αναπτύσσεται στα άκρα του αγωγού ΑΓ θα είναι:

$$U_1 = \upsilon \cdot B\ell\eta\mu\alpha = \omega R.B\ell\eta\mu\omega t = 314.\ 0{,}05\ .\ 1.0{,}2\ .\ \eta\mu\omega t = 3{,}14\eta\mu\omega t$$

Επειδή η ίδια ΗΕΔ αναπτύσσεται και στον αγωγό ΒΔ συμπεραίνομε ότι η ΗΕΔ που αναπτύσσεται στη σπείρα θα είναι:

$$U = 6{,}28\ \eta\mu\omega t$$



Σχ. 5.2δ.
Η καμπύλη της υ = f (t).

Όταν έχομε 30 σπείρες (συνολικά 60 αγωγούς) η ολική ΗΕΔ θα είναι:

$$\upsilon = 6{,}28\ .\ 30\eta\mu\omega t = 188{,}4\ \eta\mu\omega t\ \text{Volt}$$

α) $t = 0 \rightarrow \upsilon = 188{,}4\ \eta\mu \frac{2\pi}{T} \cdot t = 0$

β) $t = \frac{T}{4} \rightarrow \upsilon = 188{,}4\ \eta\mu \frac{2\pi}{T} \cdot \frac{T}{4} = 188{,}4\ V$

γ) $t = \frac{T}{2} \rightarrow u = 188{,}4\ \eta\mu \frac{2\pi}{T} \cdot \frac{T}{2} = 0$

δ) $t = \frac{3T}{4} \rightarrow u = 188{,}4\ \eta\mu \frac{2\pi}{T} \cdot \frac{3T}{4} = -188.4\ V$

ε) $t = T \rightarrow u = 188{,}4\ \eta\mu \frac{2\pi}{T} \cdot T = 0.$

5.3 Διαφορά φάσεως.

Όπως θα δούμε παρακάτω, αν στα άκρα ωμικής αντιστάσεως R εφαρμόσομε εναλλασσόμενη τάση της μορφής:

$$u = U_0 \eta\mu\omega t \qquad (1)$$

η αντίσταση θα διαρρέεται από εναλλασσόμενο ρεύμα της μορφής:

$$I = I_0 \eta\mu\omega t \qquad (2)$$

Αν παραστήσομε γραφικά τις εξισώσεις (1) και (2), θα λάβομε τις καμπύλες του σχήματος 5.3α.

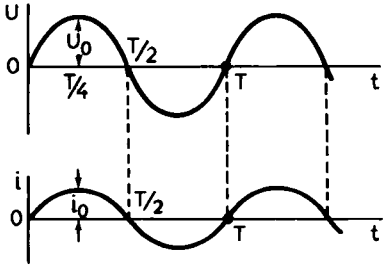
Παρατηρούμε ότι κατά τη χρονική στιγμή t = 0, η τάση είναι μηδέν αλλά και η ένταση είναι μηδέν. Κατά τη χρονική στιγμή t = T/4, η τάση έχει λάβει τη μέγιστη τιμή της $υ_0$, αλλά και η ένταση έχει λάβει επίσης τη μέγιστη τιμή της I_0. Τη χρονική στιγμή t = T/2 η τάση έχει μηδενισθεί, αλλά και η ένταση επίσης. Στην περίπτωση αυτή λέμε ότι τα δυο εναλλασσόμενα μεγέθη είναι ***συμφασικά,*** δηλ. ότι έχουν την ίδια φάση.

Υπάρχουν όμως και περιπτώσεις που δυο εναλλασσόμενα μεγέθη παρουσιάζουν ***διαφορά φάσεως.*** Αν π.χ. τροφοδοτήσομε πηνίο με εναλλασσόμενη τάση της μορφής $u = U_0 \eta\mu\omega t$, το πηνίο (όπως θα δούμε σε άλλη παράγραφο), θα διαρρέεται από ρεύμα της μορφής:

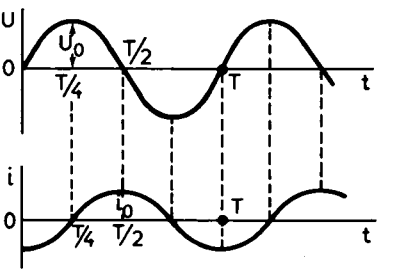
$$I = I_0 \eta\mu(\omega t - 90°)$$

Παρατηρούμε ότι η φάση (ωt – 90°) της εντάσεως του ρεύματος διαφέρει από τη φάση ωt της τάσεως κατά 90°. Στην περίπτωση αυτή λέμε ότι η τάση και η ένταση παρουσιάζουν διαφορά φάσεως 90°.

Το σχήμα 5.3β παριστάνει γραφικά τις παραπάνω εξισώσεις.



Σχ. 5.3α.
Μηδενική διαφορά φάσεως.



Σχ. 5.3β.
Διαφορά φάσεως 90°.

Παρατηρούμε ότι τη χρονική στιγμή t = 0 η τάση είναι μηδέν, αλλά η ένταση έχει λάβει τη μέγιστη (αρνητική) τιμή I_0. Τη χρονική στιγμή t = T/4 η τάση έχει λάβει τη μέγιστη τιμή U_0 ενώ η ένταση έχει μηδενισθεί. Τη χρονική στιγμή t = T/2 η τάση είναι μηδέν, ενώ η ένταση έχει λάβει τη μέγιστη τιμή I_0. Παρατηρούμε δηλαδή, ότι όταν η τάση μηδενίζεται, η ένταση λαμβάνει τη μέγιστη τιμή $\pm I_0$ και αντίστοιχα.

Γενικά διαφορά φάσεως φ° μεταξύ δυο εναλλασσομένων μεγεθών σημαίνει ότι, όταν το ένα μέγεθος λαμβάνει κάποια τιμή για να λάβει το άλλο μέγεθος την ανάλογη τιμή πρέπει να παρέλθει χρόνος που να αντιστοιχεί στη γωνία φ.

Ο χρόνος αυτός βρίσκεται με την απλή μέθοδο των τριών, αν λάβομε υπόψη ότι γωνία 360° ή 2π rad αντιστοιχεί σε μία περίοδο.

5.4 Ενεργός ένταση. Ενεργός τάση και μέση τιμή.

Όπως γνωρίζομε, το συνεχές ρεύμα είναι μία συνεχής ροή των ελευθέρων ηλεκτρόνιων. Στο εναλλασσόμενο ρεύμα τα ελεύθερα ηλεκτρόνια εκτελούν ταλαντώσεις γύρω από μία μέση θέση ισορροπίας, δηλ. σε χρόνο T/2 κινούνται προς μία κατεύθυνση και έπειτα σε χρόνο πάλι T/2 κινούνται προς την αντίθετη κατεύθυνση. Και στις δυο περιπτώσεις όμως, επειδή έχομε κρούσεις των ηλεκτρονίων με τα άτομα του μετάλλου, θα έχομε ανάπτυξη θερμότητας Joule. Η θερμότητα αυτή για το συνεχές ρεύμα παρέχεται από τη σχέση:

$$Q = 0{,}24UIt = 0{,}24 = I^2Rt.$$

Στην περίπτωση όμως του εναλλασσόμενου ρεύματος, επειδή η τάση και η ένταση μεταβάλλονται περιοδικά με το χρόνο, η γνώση των στιγμιαίων τιμών τους δεν έχει πρακτική σημασία. Γι' αυτό, και επειδή η παραγόμενη θερμότητα είναι ανεξάρτητη από τη φορά του ρεύματος (εξαρτάται από το τετράγωνο της εντάσεως), εισάγομε ένα νέο μέγεθος που ονομάζομε ενεργό ένταση του εναλλασσόμενου ρεύματος και που δεν εξαρτάται από το χρόνο, δηλ. σταθερά:

Ενεργός ένταση (τιμή) εναλλασσόμενου ρεύματος ονομάζομε την ένταση εκείνη του συνεχούς ρεύματος που παράγει το ίδιο ποσόν θερμότητας (με το εναλλασσόμενο), όταν διαρρέει την ίδια αντίσταση στον ίδιο χρόνο.

Ορίζομε επίσης σαν ***ενεργό τάση $U_{εν}$ ενός εναλλασσόμενου ρεύματος την τάση ενός συνεχούς που θα προκαλούσε στην ίδια ωμική αντίσταση συνεχές ρεύμα εντάσεως ίσης προς την ενεργό ένταση του εναλλασσόμενου ρεύματος.***

Μεταξύ ενεργών τιμών και πλάτους εντάσεως υπάρχουν οι σχέσεις:

$$I_{εν} = \frac{I_0}{\sqrt{2}} \qquad \text{και} \qquad U_{εν} = \frac{U_0}{\sqrt{2}}$$

Φανερό από τα παραπάνω είναι ότι η θερμότητα που αναπτύσσεται όταν εναλλασσόμενο ρεύμα ενεργού τιμής $I_{εν}$ διαρρέει αντίσταση R θα παρέχεται από τη σχέση:

$$Q = 0{,}24\, I_{εν}^2\, Rt \qquad \text{(σε cal)}$$

Μέση τιμή. Ορίζομε σαν μέση τιμή εναλλασσόμενου ρεύματος το μέσο όρο

των στιγμιαίων τιμών της θετικης ημιπεριόδου. Η σχέση της με το πλάτος είναι:

$$I_\mu = 0{,}3185 \cdot I$$

Αν με ανορθωτική διάταξη μετατραπεί και η αρνητική ημιπερίοδος σε θετική, τότε η μέση τιμή λαμβάνει τιμή ίση μέ:

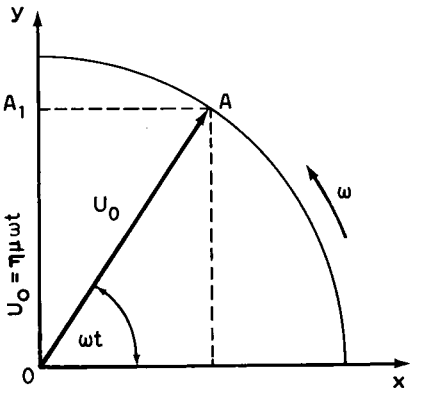
$$I_\mu = 0{,}637 \cdot I$$

Στις επόμενες παραγράφους θα συμβολίζομε με i την στιγμιαία τιμή εναλλασσόμενου ρεύματος και με I την ενεργό τιμή. Επίσης με u τη στιγμιαία τιμή εναλλασσόμενης τάσεως και με U την ενεργό τιμή.

5.5 Διανυσματική παράσταση εναλλασσομένων μεγεθών.

Η ημιτονική καμπύλη μας παρέχει ένα τρόπο παραστάσεων των εναλλασσομένων μεγεθών. Η παράσταση αυτή έχει το βασικό πλεονέκτημα, να μας παρέχει σε κάθε χρονική στιγμή την αντίστοιχη στιγμιαία τιμή του εναλλασσόμενου μεγέθους. Αλλά ο τρόπος αυτός της παραστάσεως είναι δύσχρηστος και απαιτεί ακριβή γεωμετρική χάραξη. Η ανάγνωση της διαφοράς φάσεως είναι δυσχερής και γενικά δεν εξυπηρετεί στις περιπτώσεις που έχομε να προσθέσομε πολλά εναλλασσόμενα μεγέθη. Γι' αυτό το λόγο παριστάνομε συμβολικά τα εναλλασσόμενα μεγέθη με διανύσματα. Η απεικόνιση αυτή γίνεται με τον ακόλουθο τρόπο: Θεωρούμε στο επίπεδο xOy, ένα άνυσμα OA που έχει μέτρο ίσο με το πλάτος U_0 μιας εναλλασσόμενης τάσεως (Για παράδειγμα). Το άνυσμα αυτό στρέφεται γύρω από την αρχή των αξόνων με σταθερή γωνιακή ταχύτητα ω. Στην αρχή των χρόνων (t = 0) το άνυσμα συμπίπτει με τον άξονα Ox (που λαμβάνεται σαν άξονας αρχής μετρήσεως των φάσεων) ενώ κατά τη χρονική στιγμή t έχει έλθει στη θέση OA και έχει διαγράψει τη γωνία α = ωt. Η αλγεβρική τιμή της προβολής του περιστρεφόμενου ανύσματος στον άξονα Oy μας παρέχει την στιγμιαία τιμή της εναλλασσόμενης τάσεως:

$$u = OA_1 = OA\ \eta\mu\omega t = U_0\ \eta\mu\omega t.$$



Σχ. 5.5

Το άνυσμα λοιπόν ΟΑ μας παρέχει όλα τα χαρακτηριστικά της εναλλασσόμενης τάσεως. Το μήκος του μας παρέχει το πλάτος της εναλ. τάσεως, η γωνιακή ταχύτητα περιστροφής μας παρέχει την κυκλική συχνότητα της εναλ. τάσεως, η γωνία $A\hat{O}x$μας παρέχει τη φάση και η προβολή του στον άξονα Oy μας παρέχει τη στιγμιαία τιμή της εναλλασσόμενης τάσεως (και γενικότερα κάθε εναλλασσόμενου μεγέθους).

Στην πράξη το μήκος του ανύσματος λαμβάνεται ίσο με την ενεργό τιμή του εναλ. μεγέθους (τάσεως, εντάσεως κλπ.), οπότε η προβολή του, για να παριστάνει στιγμιαία τιμή, θα πρέπει να πολλαπλασιασθεί επί $\sqrt{2} = 1{,}41$.

5.6 Κύκλωμα που περιλαμβάνει μόνο ωμική αντίσταση.

Έστω ότι, στα άκρα της ωμικής αντιστάσεως R (σχ. 5.6α) εφαρμόζεται η εναλλασσόμενη τάση:

$$u = U_0 \eta\mu\omega t \qquad (1)$$

Η στιγμιαία τιμή του ρεύματος που διαρρέει το κύκλωμα θα είναι:

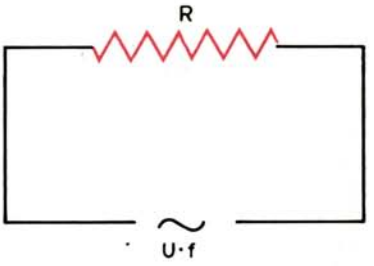
$$I = \frac{u}{R} = \frac{U}{R}\eta\mu\omega = I_0\eta\mu t$$

όπου $$I_0 = \frac{U_0}{P}$$

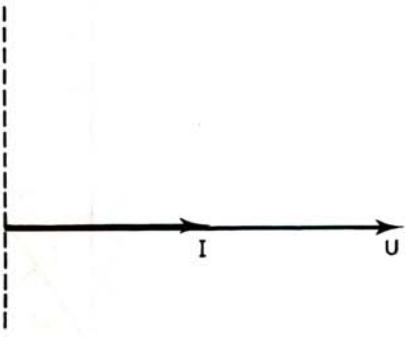
το πλάτος της εναλλασσόμενης τάσεως:

$$(3) \rightarrow 1\sqrt{2} = \frac{U\sqrt{2}}{R} \rightarrow I = \frac{U}{R} \qquad (4)$$

Από τη σχέση (2) παρατηρούμε ότι, το ρεύμα έχει την ίδια συχνότητα και την ίδια φάση με την τάση, επομένως τα ανύσματα U και I θα είναι συγγραμμικά (σχ. 5.6β).



Σχ. 5.6α.
Κύκλωμα με ωμική αντίσταση.



Σχ. 5.6β.
Τάση και ρεύμα έχουν την ίδια φάση.

5.7 Κύκλωμα που περιλαμβάνει μόνο αυτεπαγωγή.

Έστω ότι στα άκρα ιδανικού πηνίου (δηλ. πηνίου που δεν παρουσιάζει ωμική αντίσταση) (σχ. 5.7α) εφαρμόζεται η εναλλασσόμενη τάση:

$$U = U_0 \eta\mu\omega t \qquad (1)$$

Όπως αποδεικνύεται, το κύκλωμα θα διαρρέεται από εναλλασσόμενο ρεύμα της μορφής:

$$I = I_0 \eta\mu(\omega t - 90°) \qquad (2)$$

όπου $$I_0 = \frac{U_0}{\omega L} \qquad (3)$$

το πλάτος της εντάσεως $$(3) \rightarrow 1\sqrt{2} = \frac{U\sqrt{2}}{\omega L} \rightarrow I = \frac{U}{\omega L} \qquad (4)$$

Από τη σχέση (2) παρατηρούμε ότι το ρεύμα έχει την ίδια συχνότητα με την εναλλασσόμενη τάση, αλλά η φάση του υστερεί της φάσεως της εφαρμοζόμενης τάσεως κατά 90°(σχ. 5.7β).

Σε αναλογία με το νόμο του Ohm:

$$\text{αντίσταση} = \frac{\text{τάση}}{\text{ένταση}}$$

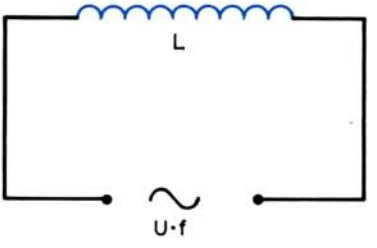
ορίζομε σαν ***επαγωγική αντίσταση*** x_L το πηλίκο του πλάτους της τάσεως που εφαρμόζεται στα άκρα του πηνίου (αγωγού γενικά) προς το πλάτος της εντάσεως του ρεύματος που το διαρρέει:

$$x_L = \frac{U_0}{I_0} = \frac{U}{I} \qquad (5)$$

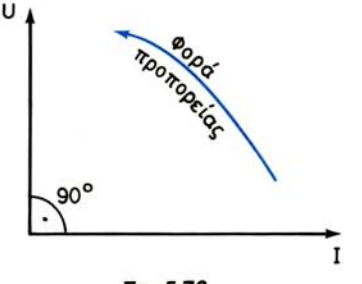
Σύμφωνα με τη σχέση (3) ή (5) γράφεται:

$$x_L = \omega L = 2\pi f L \qquad (6)$$

Η σχέση (6) μας δείχνει ότι, η επαγωγική αντίσταση ενός πηνίου δεν είναι



Σχ. 5.7α.
Κύκλωμα με καθαρή αυτεπαγωγή.



Σχ. 5.7β.
Η τάση παρουσιάζει προπορεία φάσεως κατά 90° από το ρεύμα.

σταθερή (όπως η ωμική), αλλά εξαρτάται από τη συχνότητα της εναλλασσόμενης τάσεως (και από τον L βέβαια). Σε μεγάλες συχνότητες τα πηνία παρουσιάζουν μεγάλη επαγωγική αντίσταση, ενώ για το συνεχές ρεύμα (ω = 0) η επαγωγική αντίσταση είναι μηδέν. Έτσι τα πηνία εμποδίζουν τη δίοδο ρευμάτων μεγάλης συχνότητας, ενώ επιτρέπουν τη δίοδο ρευμάτων μικρής συχνότητας και του συνεχούς.

Πηνία που χρησιμοποιούνται για να παρεμποδίζουν τη διέλευση ρευμάτων που η συχνότητά τους είναι μεγαλύτερη από μία ορισμένη συχνότητα, ονομάζονται ***αποπνικτικά*** ή ***στραγγαλιστικά πηνία.*** (Μπορούμε να κατασκευάσομε πηνίο που να έχει μεγάλη αυτεπαγωγή, ώστε σε χαμηλή συχνότητα να παρουσιάζει φραγμό στη διέλευση εναλλασσόμενου ρεύματος. Θα πρέπει να είναι εφοδιασμένο με πυρήνα και να αποτελείται από μεγάλο αριθμό σπειρών).

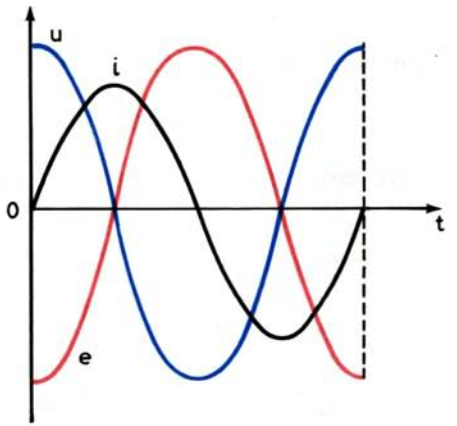
Η διαφορά φάσεως μεταξύ τάσεως-εντάσεως σε κυκλώματα με αυτεπαγωγή μπορεί να εξηγηθεί με τον παρακάτω τρόπο:

Επειδή το ρεύμα που διαρρέει το πηνίο μεταβάλλεται, αναπτύσσεται στα άκρα του αυτεπαγωγική ΗΕΔ:

$$e = -L\frac{di}{dt}$$

που σύμφωνα με τον κανόνα του Lenz, έχει φορά αντίθετη από την εφαρμοζόμενη τάση u (Διαφορά φάσεως 180°) (σχ. 5.7γ).

Έτσι, όταν η τάση λαμβάνει κάποια τιμή, π.χ. τη μέγιστη, η ένταση του ρεύματος δεν μπορεί να λάβει, αντίστοιχα, τη μέγιστη τιμή εξαιτίας ακριβώς της αυτεπαγωγικής ΗΕΔ e που αναπτύσσεται στα άκρα του πηνίου. Όταν η τάση λάβει την τιμή μηδέν το ρεύμα, που στο μεταξύ έχει λάβει τη μέγιστη τιμή, τείνει να την διατηρήσει γιατί προμηθεύεται την ενέργεια που απαιτείται από την ενέργεια του μαγνητικού πεδίου του πηνίου (άρα έχει τιμή διάφορη του μηδενός). Έτσι εξηγείται η διαφορά φάσεως τάσεως - εντάσεως.



Σχ. 5.7γ.
Η τάση παρουσιάζει προπορεία φάσεως κατά 90° από το ρεύμα και κατά 180° από την αυτεπαγωγική ΗΕΔ.

5.8 Κύκλωμα που περιλαμβάνει μόνο χωρητικότητα.

Έστω ότι στα άκρα πυκνωτή (σχ. 5.8α) εφαρμόζεται η εναλλασσόμενη τάση:

$$u = U_0 \eta\mu\omega t \quad (1)$$

Όπως θα αποδείξομε παρακάτω, το κύκλωμα θα διαρρέεται από εναλλασσόμενο ρεύμα της μορφής:

$$i = I_0 \eta\mu(\omega + 90°) \quad (2)$$

όπου:

$$I_0 = U_0 \,.\, \omega C \quad (3)$$

το πλάτος της εντάσεως (3):

$$I\sqrt{2} = U\sqrt{2}\,\omega C \rightarrow I = U \,.\, \omega C \quad (4)$$

Από τη σχέση (2) παρατηρούμε, ότι το ρεύμα έχει την ίδια συχνότητα με την εναλλασσόμενη τάση, αλλά η φάση του προηγείται της φάσεως της εφαρμοζόμενης τάσεως κατά 90° (σχ. 5.8β).

Η αντίσταση που παρουσιάζει πυκνωτής στο εναλλασσόμενο ρεύμα ονομάζεται ***χωρητική αντίσταση*** και ορίζεται ως το πηλίκο του πλάτους της τάσεως που εφαρμόζεται στα άκρα του πυκνωτή (αγωγού γενικά) προς το πλάτος της εντάσεως του ρεύματος που τον διαρρέει:

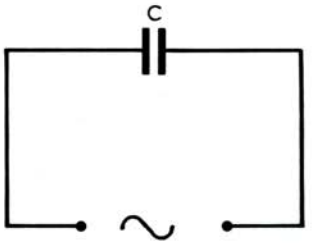
$$x_c = \frac{U_0}{I_0} = \frac{U}{I} \quad (5)$$

Σύμφωνα με τη σχέση (3) ή (5) γράφεται:

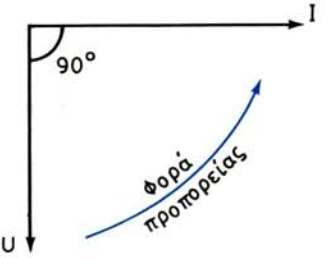
$$x_c = \frac{1}{\omega C} = \frac{1}{2\pi FC} \quad (6)$$

Η σχέση (6) μας δείχνει ότι η χωρητική αντίσταση δεν είναι σταθερή, αλλά εξαρτάται από τη συχνότητα της εναλλασσόμενης τάσεως.

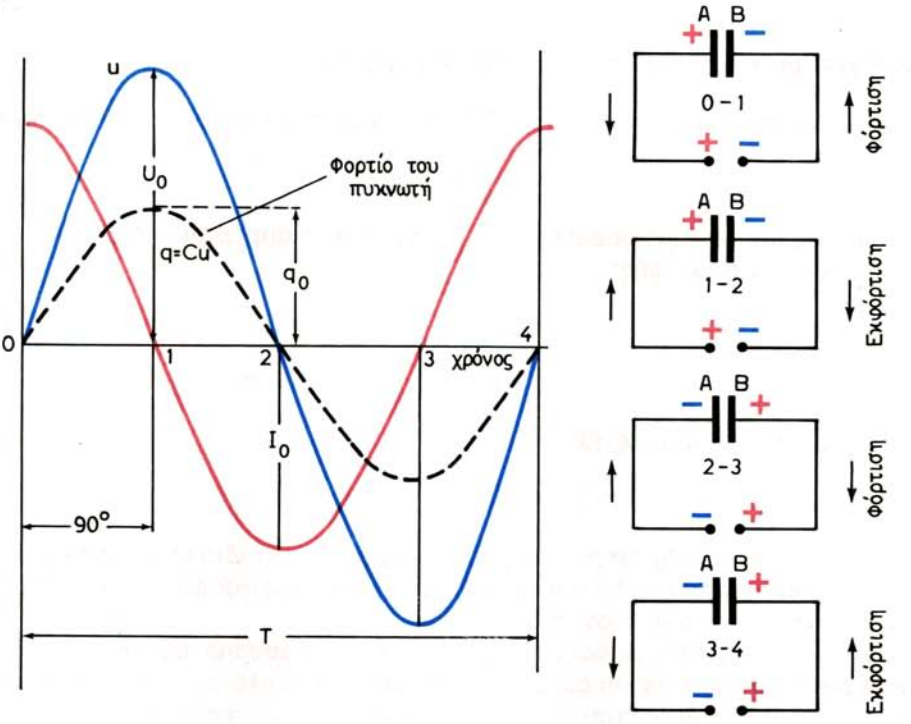
Σε μεγάλες συχνότητες οι πυκνωτές παρουσιάζουν μικρή χωρητική αντίσταση, ενώ σε μικρές συχνότητες μεγάλη. Για το συνεχές ρεύμα (ω=0) η χωρητική



Σχ. 5.8α.
Κύκλωμα με πυκνωτή.



Σχ. 5.8β.
Το ρεύμα παρουσιάζει προπορεία φάσεως κατά 90° από την τάση.



Σχ. 5.8γ.
Το ρεύμα παρουσιάζει προπορεία φάσεως κατά 90° από την τάση. Η τάση και το φορτίο του πυκνωτή έχουν την ίδια φάση.

αντίσταση είναι άπειρος, (δηλαδή είναι αδύνατη η διέλευση ρεύματος).

Η διέλευση εναλλασσόμενου ρεύματος από τον πυκνωτή και η διαφορά φάσεως τάσεως - εντάσεως εξηγούνται με τον ακόλουθο τρόπο:

Στο χρονικό διάστημα 0-1 (από 0 μέχρι T/4) (σχ. 5.8γ) όπου η τάση u αυξάνεται, ο πυκνωτής φορτίζεται. Το φορτίο του q ($q = C.u = C.U_0 ημωt = q_0 ημωt$, δηλ. η διαφορά φάσεως τάσεως - φορτίου είναι μηδέν) είναι σε κάθε χρονική στιγμή ανάλογο της τάσεως u. Το ρεύμα φορτίσεως i (που οφείλεται στη μεταφορά ελευθέρων ηλεκτρονίων από τον οπλισμό (Α) στον οπλισμό (Β) θα είναι:

$$i = \frac{\Delta q}{\Delta t} \qquad (7)$$

δηλ. θα είναι ανάλογο προς τη κλίση της καμπύλης q = f (t).

Τη χρονική στιγμή t = T/4 (όπου η τάση και το φορτίο έχουν τη μέγιστη τιμή) η εφαπτομένη στη καμπύλη q = f (t) είναι οριζόντια, δηλ. η κλίση ΔqΔt είναι μηδέν, άρα και το ρεύμα θα είναι μηδέν. Τη χρονική στιγμή 0, η κλίση έχει λάβει τη μέγιστη τιμή, άρα και το ρεύμα θα έχει τη μέγιστη τιμή.

Στο χρονικό διάστημα 1-2 (από T/4 μέχρι T/2) η τάση u ελαττώνεται, οπότε θα ελαττώνεται και το φορτίο του πυκνωτή q = C . u, δηλαδή ο πυκνωτής

εκφορτίζεται. Το ρεύμα εκφορτίσεως i (που οφείλεται τώρα στη μετάβαση ηλεκτρονίων από τον οπλισμό (Β) στον οπλισμό (Α) αλλάζει φορά και αρχίζει να αυξάνεται μέχρις ότου λάβει τη μέγιστη τιμή I_0. Αυτό συμβαίνει τη χρονική στιγμή t = T/2, όπου η κλίση της καμπύλης q = f (t) έχει λάβει τη μέγιστη τιμή.

Στα χρονικά διαστήματα 2-3 και 3-4 (στην επόμενη ημιπερίοδο δηλ.) η τάση αλλάζει φορά και έχομε διαδοχικά φόρτιση (η τάση αυξάνεται) και εκφόρτιση του πυκνωτή (η τάση μειώνεται).

Παρατηρούμε δηλ. σε τελευταία ανάλυση ότι, η διέλευση εναλλασσόμενου ρεύματος από τον πυκνωτή οφείλεται σε διαδοχικές φορτίσεις και εκφορτίσεις του πυκνωτή (δηλ. στην παλινδρομική κίνηση που εκτελούν τα ηλεκτρόνια μέσα στους αγωγούς που συνδέουν τους οπλισμούς του πυκνωτή). Σε καμία περίπτωση δεν διέρχονται, μέσα από τα διηλεκτρικά φορτία για να μεταβούν από τον ένα οπλισμό του πυκνωτή στον άλλο.

5.9 Κύκλωμα που περιλαμβάνει ωμική αντίσταση, αυτεπαγωγή και χωρητικότητα σε σειρά.

Έστω ότι στα άκρα του κυκλώματος του σχήματος 5.9α εφαρμόζεται η εναλλασσόμενη τάση:

$$u = U_0 \eta\mu\omega t \qquad (1)$$

Όπως θα αποδείξομε παρακάτω, το κύκλωμα θα διαρρέεται από εναλλασσόμενο ρεύμα:

$$i = I_0 \eta\mu(\omega t - \varphi) \qquad (2)$$

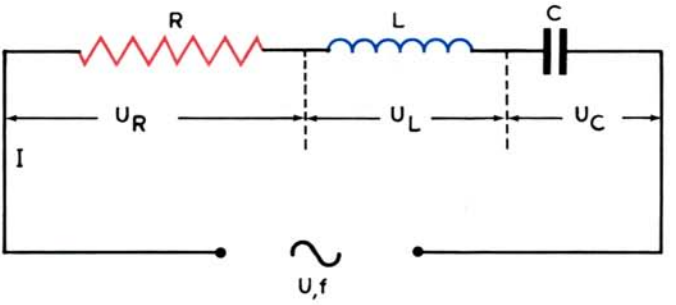
όπου

$$I_0 = \frac{U_0}{\sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2}} \qquad (3)$$

το πλάτος της εντάσεως.

Από τη (3) θα έχομε ότι και:

$$I = \frac{U_0}{\sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2}} \qquad (4)$$



Σχ. 5.9α.
Κύκλωμα με ωμική αντίσταση, αυτεπαγωγή και χωρητικότητα σε σειρά.

Η διαφορά φάσεως φ μεταξύ τάσεως και εντάσεως παρέχεται από τη σχέση:

$$\text{εφφ} = \frac{x_L - x_c}{R} \tag{5}$$

Σαν ***σύνθετη αντίσταση*** του κυκλώματος ορίζεται το πηλίκο:

$$Z = \frac{U_0}{I_0} = \frac{U}{I} \tag{6}$$

Σύμφωνα με τη σχέση (3) η (6) γράφεται:

$$Z = \sqrt{R^2 + (x_L - x_c)^2} = \sqrt{R^2 + \left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right)^2} \tag{7}$$

Ανυσματικό διάγραμμα των τάσεων.

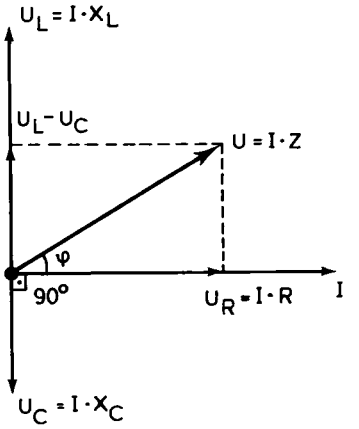
Η ενεργός τιμή U της τάσεως που εφαρμόζεται στο κύκλωμα είναι το ανυσματικό άθροισμα τριών τάσεων (σχ. 5.96):

1) Της τάσεως $U_R = IR$ που έχει την ίδια φάση με το ρεύμα I που διαρρέει το κύκλωμα.

2) Της τάσεως $U_L = I.x_L$ στα άκρα του πηνίου που, όπως γνωρίζομε, προηγείται της εντάσεως I κατά 90°.

3) Της τάσεως $U_c = I.x_c$ στα άκρα του πυκνωτή που έπεται της εντάσεως I κατά 90°.

Συνθέτομε τα τρία ανύσματα U_R . U_L και U_c και βρίσκομε πρώτα τη συνισταμένη των U_L και U_c που είναι το άνυσμα $U_L - U_c$. (Τα ανύσματα U_L και U_c βρίσκονται στον ίδιο άξονα, γιατί σχηματίζουν γωνία 180°. Μετά συνθέτομε τα ανύσματα $U_L - U_c$ και U_R. Η διαγώνιος του παραλληλογράμμου θα μας δώσει τη



Σχ. 5.96.
Το ανυσματικό άθροισμα των τάσεων.

συνισταμένη τάση U που είναι ακριβώς και η τάση (ενεργός τιμή) που εφαρμόζεται στο κύκλωμα.

Από το διάγραμμα των τάσεων θα έχομε:

1) $U^2 = U_R^2 + (U_L - U_c)^2 \rightarrow U^2 = I^2R^2 + I^2 (x_L - x_c)^2 \rightarrow$

$$I = \frac{U}{\sqrt{R^2 + (x_L - x_c)^2}} \quad \text{και} \quad Z = \frac{U}{I} = \sqrt{R^2 + (x_L - x_c)^2}$$

2) $$\varepsilon\varphi\varphi = \frac{U_L - U_c}{U_R} = \frac{I(x_L - x_c)}{IR} = \frac{x_L - x_c}{R}$$

3) $$\sigma\upsilon\nu\varphi = \frac{U_R}{U} = \frac{I.R}{I.Z} = \frac{R}{Z} \qquad (8)$$

Το συνφ ονομάζεται ***συντελεστής ισχύος του κυκλώματος*** και έχει μεγάλη σημασία στην πράξη.

Από τη σχέση $\varepsilon\varphi\varphi = \frac{x_L - x_c}{R}$ προκύπτουν τα ακόλουθα:

α) Όταν $x_L > x_C$, δηλ. $\omega L > 1/\omega C$, η διαφορά φάσεως είναι θετική, δηλ. η τάση προηγείται της εντάσεως, οπότε λέμε ότι το κύκλωμα παρουσιάζει ***επαγωγική συμπεριφορά.***

β) Όταν $x_L < x_c$ δηλ. $\omega L < 1/\omega C$, η διαφορά φάσεως φ είναι αρνητική, δηλ. η ένταση προηγείται της τάσεως, οπότε λέμε ότι το κύκλωμα παρουσιάζει ***χωρητική*** συμπεριφορά. (Στην περίπτωση αυτή θα είναι $Ix_L < Ix_c$ δηλ. $U_L < U_c$ οπότε η συνισταμένη τάση U θα βρίσκεται κάτω από τον άξονα του I που σημαίνει ακριβώς ότι το ρεύμα προηγείται της τάσεως.

γ) Η περίπτωση $x_L = x_c$ εξετάζεται ιδιαίτερα στην επόμενη παράγραφο.

Μερικές περιπτώσεις:

α) Κύκλωμα που περιλαμβάνει ωμική και επαγωγική αντίσταση σε σειρά.

Όταν το κύκλωμα δεν παρουσιάζει χωρητικότητα (C = 0) (σχ. 5.9γ), οι εξισώσεις γίνονται:

$$u = U_0 \eta\mu\omega t$$

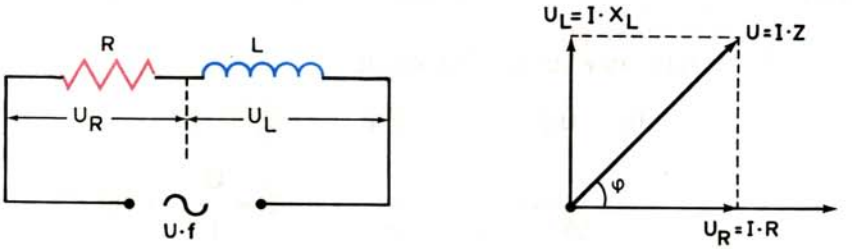
$$i = I_0 \eta\mu(\omega t - \varphi)$$

$$I_0 = \frac{U_0}{\sqrt{R^2 + x_L^2}} \qquad (9)$$

$$I = \frac{U}{\sqrt{R^2 + x_L^2}} \qquad (10)$$

$$\varepsilon\varphi\varphi = \frac{x_L}{R} \qquad (11)$$

ΔΡΥΜΑ ΣΥΓΓΡΑΦΕΩΝ 1954



Σχ. 5.9γ.
α) Κύκλωμα με ωμική αντίσταση και αυτεπαγωγή με σειρά. β) Η τάση παρουσιάζει προπορεία τάσεως κατά $0° < \varphi° < 90°$ από το ρεύμα.

και
$$\sigma\upsilon\nu\varphi = \frac{R}{Z_L} \qquad (12)$$

όπου
$$Z_L = \frac{U}{I} = \sqrt{R^2 + x_L^2} \qquad (13)$$

η σύνθετη αντίσταση του κυκλώματος. (Οι παραπάνω σχέσεις προκύπτουν εύκολα από το διάγραμμα των τάσεων).

β) Κύκλωμα που περιλαμβάνει ωμική και χωρητική αντίσταση σε σειρά.

Όταν το κύκλωμα δεν παρουσιάζει αυτεπαγωγή (L = 0) (σχ. 5.9δ), οι εξισώσεις γίνονται:

$$u = U_o \eta\mu\omega t$$

$$i = I_o \eta\mu(\omega t - \varphi)$$

$$I_o = \frac{U_o}{\sqrt{R^2 + x_c^2}} \qquad (14)$$

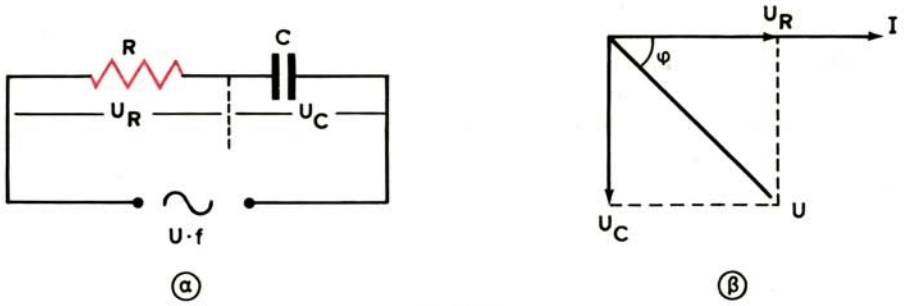
$$I = \frac{U}{\sqrt{R^2 + x_c^2}} \qquad (15)$$

$$\varepsilon\varphi\varphi = -\frac{x_c}{R} = -\frac{1}{\omega CR} \qquad (16)$$

και
$$\sigma\upsilon\nu\varphi = \frac{R}{Z_c} \qquad (17)$$

όπου
$$Z_c = \frac{U}{I} = \sqrt{R^2 + x^2} \qquad (18)$$

η σύνθετη αντίσταση του κυκλώματος.



Σχ. 5.9δ.

α) Κύκλωμα με ωμική αντίσταση και χωρητικότητα σε σειρά. β) Το ρεύμα παρουσιάζει προπορεία φάσεως $0° < φ° < 90°$ από την τάση.

(Παρατηρούμε ότι εφφ $< 0 \rightarrow φ < 0$ δηλ. η ένταση, όπως προκύπτει και από το ανυσματικό διάγραμμα των τάσεων, προηγείται της τάσεως κατά γωνία φ. Γι' αυτό καλύτερα είναι η εξίσωση του ρεύματος να γράφεται $i = I_0 ημ (ωt + φ)$,

όπου η γωνία $φ = τοξεφ \frac{X_c}{R}$ θα λαμβάνεται θέβαια θετική).

5.10 Συντονισμός σειράς.

Ας εξετάσομε το κύκλωμα (R, L,C) της προηγούμενης παραγράφου, όπου τα μεγέθη U, R, L και C είναι σταθερά, ενώ την κυκλική συχνότητα ω της εναλλασσομένης τάσεως μπορούμε να τη μεταβάλλομε.

Όταν η κυκλική συχνότητα ω της τάσεως λάβει την τιμή:

$$ω_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}} \quad (\text{οπότε και} \quad ω_0 L = \frac{1}{ω_0 C})$$

τότε:

1) Η επαγωγική αντίσταση $X_L = ω_0 L$ του πηνίου γίνεται ίση με τη χωρητική αντίσταση $X_c = 1/ω_0 C$ του πυκνωτή, οπότε η σύνθετη αντίσταση του κυκλώματος Z γίνεται ίση με την ωμική αντίσταση του κυκλώματος και το κύκλωμα παρουσιάζει ωμική συμπεριφορά:

$$(Z = \sqrt{R^2 + (X_L - X_c)^2} = \sqrt{R^2} = R).$$

2) Επειδή η αντίσταση Z έχει λάβει την ελάχιστη τιμή (Z = R), το ρεύμα λαμβάνει τη μέγιστη τιμή:

$$I = \frac{U}{Z} = \frac{U}{R}$$

3) Η διαφορά φάσεως μεταξύ τάσεως και εντάσεως γίνεται μηδέν:

$$(εφφ = \frac{X_L - X_c}{R} = \frac{0}{R} = 0 \rightarrow φ = 0)$$

4) $U_L = Ix_L$. $U_c = I$. x_c και επειδή $x_L = x_c \rightarrow U_L = U_c$ δηλ. οι δυο τάσεις U_L και U_c είναι ίσες και αντίθετες (σχ. 5.10), άρα η τάση U που εφαρμόζεται στο κύκλωμα, θα είναι ίση με την τάση U_R στα άκρα της ωμικής αντιστάσεως R.

Εξάλλου, επειδή το ρεύμα I γίνεται μέγιστο, οι τρεις τάσεις $U_R = IR$, $U_I = I$. x_L και $U_c = I.x_c$ λαμβάνουν τις μέγιστες τιμές τους. Η τάση U_L στα άκρα του πηνίου είναι:

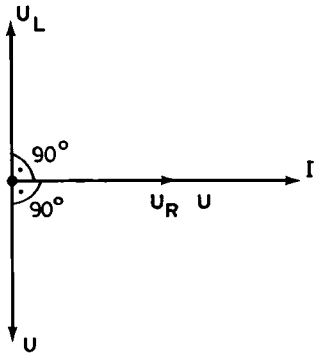
$$U_L = I.x_L = IL\omega_0 = \frac{U}{R} L\omega_0 = \frac{L\omega_0}{R} . U_L = QU \qquad (1)$$

Η τάση U_c στα άκρα του πυκνωτή είναι:

$$U_c = I.x_c = I \cdot \frac{1}{C\omega_0} = \frac{U}{R} \cdot \frac{1}{C\omega_0} = \frac{L\omega_0}{R} . U = QU \qquad (2)$$

δηλ.
$$U_L = U_c = QU \qquad (3)$$

όπου
$$Q = \frac{L\omega_0}{R} \qquad (4)$$



Σχ. 5.10.
Κατά το συντονισμό $U_L = U_c$ και το ρεύμα με την τάση έχουν την ίδια φάση.

Το συντελεστή Q ονομάζομε συντελεστή υπερτάσεως του κυκλώματος ή γενικότερα συντελεστή ποιότητας.

Από τα παραπάνω συμπεραίνομε ότι, για ορισμένη τιμή ω της κυκλικής συχνότητας της εναλλασσόμενης τάσεως, η επαγωγική αντίσταση του πηνίου αντισταθμίζει τη χωρητική αντίσταση του πυκνωτή, με αποτέλεσμα να περιορίζεται η σύνθετη αντίσταση του κυκλώματος στην ωμική αντίσταση και έτσι η ένταση του ρεύματος να γίνεται μέγιστη. ***Στην περίπτωση αυτή λέμε ότι το κύκλωμα σειράς είναι συντονισμένο ή ότι βρίσκεται σε συντονισμό με την πηγή τροφοδοτήσεως.***

Η τιμή:

$$\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}} \qquad (5)$$

ονομάζεται ***κυκλική ιδιοσυχνότητα του κυκλώματος.***

Από τη σχέση (5) μπορούμε να υπολογίσομε την ***ιδιοπερίοδο*** T_0 και την ***ιδιοσυχνότητα*** f_0 του κυκλώματος με τις σχέσεις:

$$T_0 = 2\pi\sqrt{L.C} \qquad (6)$$

$$f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \qquad (7)$$

Αν το κύκλωμα δεν περιλαμβάνει ωμική αντίσταση τότε στο συντονισμό το ρεύμα I τείνει προς το άπειρο ($I = U/R = U/0 \rightarrow \infty$).

Το ίδιο συμβαίνει και για τις τάσεις U_L και U_c.

Πρακτικά βέβαια αυτό δέν είναι δυνατόν, γιατί το πηνίο παρουσιάζει πάντα ωμική αντίσταση $R = \rho \frac{l}{S}$ που είναι ικανή να περιορίσει το ρεύμα και το συντελεστή ποιότητας του κυκλώματος. Στην πράξη ο συντελεστής ποιότητας μπορεί να λάβει τιμές από 10 μέχρι 300.

Στα κυκλώματα L, C σε σειρά που η ωμική τους αντίσταση περιορίζεται στην ωμική αντίσταση του πηνίου, πρέπει η προσοχή μας να είναι μεγάλη, εξαιτίας της υπερεντάσεως και των υπερτάσεων που λαμβάνουν επικίνδυνες τιμές.

Παράδειγμα.

α) Σε κύκλωμα R, L, C σε σειρά είναι: R = 10 Ω, L = 50 mH και C = 140 μF. Ζητούνται: 1) Η ιδιοσυχνότητα του κυκλώματος. 2) Το ρεύμα στην περίπτωση του συντονισμού, όταν η ενεργός τιμή τάσεως που τροφοδοτεί το κύκλωμα είναι 100 V. 3) Ο συντελεστής ποιότητας. 4) Οι τάσεις U_R, U_L και U_c κατά το συντονισμό. 5) Η σύνθετη αντίσταση και το ρεύμα για την ίδια τάση τροφοδοτήσεως στις συχνότητες $f_1 = (f_0 - 10)$ Hz και $f_2 = (f_0 + 10)$ Hz. 6) Η διαφορά φάσεως μεταξύ τάσεως – εντάσεως για τις συχνότητες f_1 και f_2 και η συμπεριφορά του κυκλώματος.

Λύση:

1) $$f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} = \frac{1}{6{,}28\sqrt{50.10^{-3}} \,.\, 140 \,.\, 10^{-6}} = 60 \text{ Hz}$$

2) $$I = \frac{U}{R} = \frac{100}{10} = 10 \text{ A}$$

3) $$Q = \frac{L\omega_0}{R} = \frac{L.2\pi f_0}{R} = \frac{6{,}28.60.50.10^{-3}}{10} = 1{,}884$$

4) $U_R = I.R = 10.10 = 100$ V, $U_L = Q.U = 188{,}4$ V, $U_c = Q.U = 188{,}4$ V.

5) Για συχνότητα $f_1 = f_0 - 10 = 50$ Hz θα έχομε:

$$Z_1 = \sqrt{R^2 + (2\pi f_1 \,.\, L - 1/2\ \pi f_1 \,.\, C)^2} = \sqrt{100 + (16{,}1 - 22{,}6)^2} \rightarrow 11{,}9\ \Omega$$

$$I_1 = \frac{U}{Z_1} = \frac{100}{11,9} \simeq 8,4 \text{ A.}$$

Για συχνότητα $f_2 = f_0 + 10 = 70$ Hz θα έχομε:

$$Z_2 = \sqrt{R^2 + (2\pi f_2 L - 1/2\pi f_2 \,.\, C)^2} = \sqrt{100 + (21,98 - 16,8)^2} \simeq 11,2\ \Omega$$

$$I_2 = \frac{U}{Z_2} = \frac{100}{11,2} \simeq 8,9 \text{ A.}$$

6) $$\varepsilon\varphi\varphi_1 = \frac{2\pi f_1 \,.\, L - 1/2\pi f_1 . C}{R} = \frac{-6,5}{10} = -0,65 \rightarrow \varphi_1 = -33°.$$

7) $$\varepsilon\varphi\varphi_2 = \frac{2\pi f_2 . L - 1/2\pi f_2 . C}{R} = \frac{5.2}{10} = 0,52 \rightarrow \varphi_2 = 27,5°.$$

Άρα το κύκλωμα στη συχνότητα των 50 Hz ($f_1 < f_0$) παρουσιάζει χωρητική συμπεριφορά, ενώ στη συχνότητα των 70 Hz ($f_2 > f_0$) επαγωγική.

6) Να υπολογισθούν τα παραπάνω μεγέθη όταν L = 0,4 H και C = 17,6 μF.

1) $f_0 = 1/2\pi\sqrt{LC} = 1/6,28\ \sqrt{0,4 \,.\, 17,6 \,.\, 10^{-6}} = 60$ Hz

2) $I = U/R = 10$ A

3) $Q = 2\pi L f_0/R = 6,28.60.0,4/10 \rightarrow \simeq 15$

4) $U_R = IR = 10.10 = 100$ V, $U_L = U_c = Q.U = 1500$ V.

5) Για συχνότητα $f_1 = 50$ Hz θα έχομε:

$$Z_1 = \sqrt{R^2 + (2\pi f_1 L - 1/2\pi f_1 . C)^2} = \sqrt{10 + (125,6 - 181)^2} = 52,8\ \Omega$$

$$I_1 = \frac{U}{Z_1} = \frac{100}{52,8} \simeq 1,8 \text{ A.}$$

Για συχνότητα $f_2 = 70$ Hz θα έχομε:

$$Z_2 = \sqrt{R^2 + (2\pi f_2 L - 1/2\pi f_2 C)^2} = \sqrt{100 + (175 - 129)^2} \simeq 47\ \Omega$$

$$I_2 = \frac{U}{Z_2} = \frac{100}{47} \simeq 2,13 \text{ A.}$$

6) $$\varepsilon\varphi\varphi_1 = \frac{2\pi f_1 L - 1/2\pi f_1 C}{R} = \frac{-55,4}{10} = -5,54 \rightarrow \varphi_1 = -79°,7$$

$$\varepsilon\varphi\varphi_2 = \frac{2\pi f_2 L - 1/2\pi f_2 C}{R} = \frac{45}{10} = 4,6 \rightarrow \varphi_2 = 77°,7$$

Το κύκλωμα πάλι στη συχνότητα των 50 Hz παρουσιάζει χωρητική συμπεριφορά ενώ στη συχνότητα των 70 Hz επαγωγική.

5.11 Χαρακτηριστικά συντονισμού σειράς. Καμπύλες συντονισμού.

Από τη σχέση $f_0 = 1/2\pi\sqrt{LC}$ προκύπτει, ότι μπορούμε με πολλούς συνδυα-

σμούς πηνίων και πυκνωτών διαφόρων τιμών να επιτύχομε την ίδια τιμή f_0 (Συντονισμός) σε κύκλωμα R, L, C σε σειρά (η συχνότητα f της τάσεως διατηρείται βέβαια σταθερή).

Από τα δυο παραδείγματα της προηγούμενης παραγράφου προκύπτει επίσης ότι, τα δυο κυκλώματα έχουν στην ίδια συχνότητα συντονισμού διαφορετικές τιμές συντελεστή ποιότητας Q και διαφορετική μεταβολή του ρεύματος και της σύνθετης αντιστάσεως, για τις ίδιες συχνότητες f_1 και f_2 (εκτός συντονισμού).

Για να εννοήσομε ευκολότερα τη συμπεριφορά των κυκλωμάτων R, L, C. κατασκευάζομε τα διαγράμματα των συναρτήσεως:

$$I = \sigma(f)$$

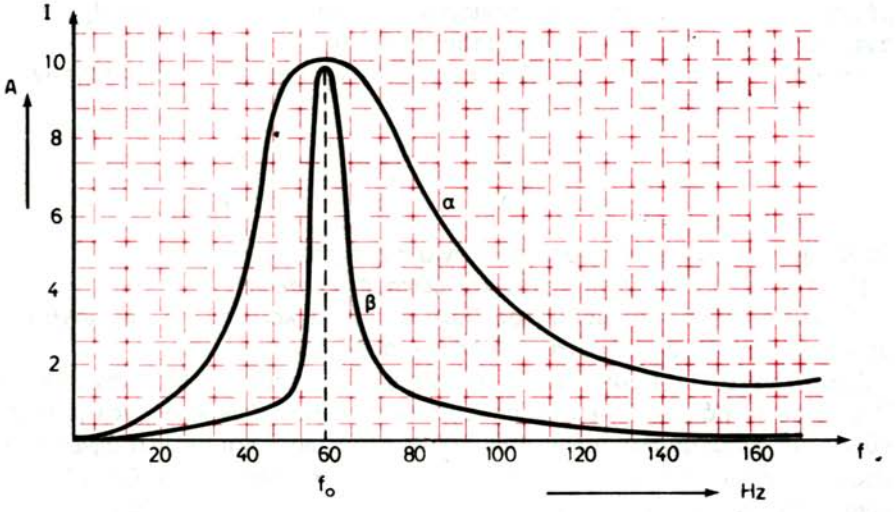
και

$$Z = \sigma(f)$$

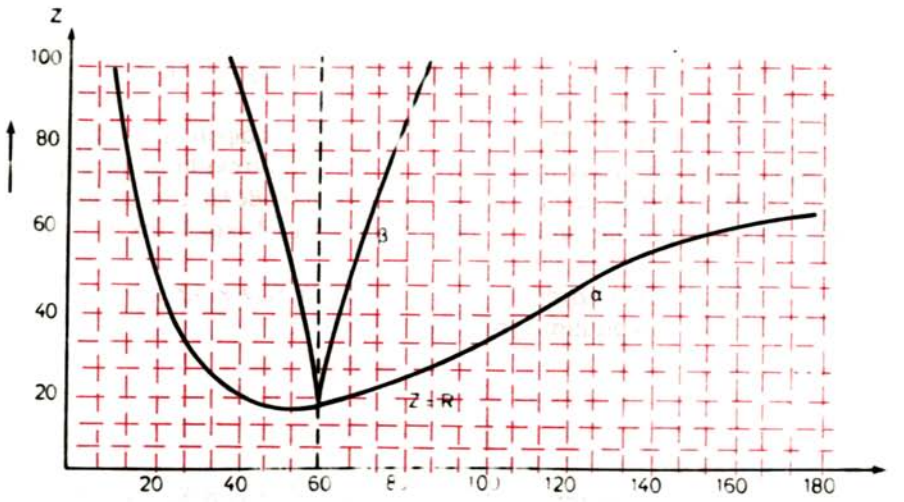
Οι καμπύλες (α) και (β) (σχ. 5.11α) μας δείχνουν τις διάφορες τιμές που λαμβάνει η ένταση του ρεύματος και η σύνθετη αντίσταση, (σχ. 5.11β), όταν μεταβάλλεται η συχνότητα f της τάσεως. (Πρόκειται για τα κυκλώματα των προηγουμένων παραδειγμάτων). Η καμπύλη (α) αντιστοιχεί στο κύκλωμα που έχει συντελεστή ποιότητας Q = 1,8 και η (β) σ' αυτό που έχει Q = 15. Παρατηρούμε και στις δυο περιπτώσεις ότι, όταν η συχνότητα f της τάσεως λάβει την τιμή f_0 = 60 Hz (που είναι η ιδιοσυχνότητα των κυκλωμάτων) το ρεύμα λαμβάνει τη μέγιστη τιμή I = U/R = 10 A, ενώ η σύνθετη αντίσταση την ελάχιστη Z = R.

Από τη σύγκριση των καμπυλών (α) και (β) προκύπτει ότι, όταν η συχνότητα f λαμβάνει τιμές μεγαλύτερες ή μικρότερες από την ιδιοσυχνότητα f_0, το ρεύμα μειώνεται πάρα πολύ στο κύκλωμα που έχει υψηλό Q (καμπύλη β) παρά στο κύκλωμα που έχει χαμηλό Q (καμπύλη α).

Αν στο κύκλωμα δεν υπάρχει άλλη ωμική αντίσταση, εκτός από την αντίσταση



Σχ. 5.11α.
Μεταβολή του ρεύματος σε συνάρτησή με τη συχνότητα για δυο διαφορετικής τιμές Q.



Σχ. 5.116.
Μεταβολή της σύνθετης αντιστάσεως σε συνάρτηση με τη συχνότητα για δυο διαφορετικές τιμές Q.

του πηνίου, ο Q λαμβάνει πολύ μεγάλες τιμές που παρουσιάζεται απότομη μείωση του ρεύματος σε συχνότητες μεγαλύτερες ή μικρότερες από την ιδιοσυχνότητα f_0.

Επομένως, ένα κύκλωμα L,C σε σειρά συμπεριφέρεται, για μια πολύ μικρή ζώνη συχνοτήτων (αριστερά και δεξιά της συχνότητας συντονισμού), σαν μικρή ωμική αντίσταση (ίση με την ωμική αντίσταση του πηνίου), ενώ για συχνότητες που βρίσκονται έξω από τη ζώνη συχνοτήτων παρουσιάζει μεγάλη αύξηση της σύνθετης αντιστάσεως. Έχει αποδειχθεί ότι, το ρεύμα μειώνεται στα 0,707 της μέγιστης τιμής I_{max} του συντονισμού σε συχνότητες f_1 και f_2 που είναι αντίστοιχα μικρότερη ή μεγαλύτερη από την f_0 κατά $f_0/2Q$.

Δηλαδή στις ακραίες συχνότητες f_1 και f_2 (της ζώνης συχνοτήτων):

$$f_2 - f_1 = \frac{f_0}{Q} = \frac{f_0 \cdot R}{2\pi f_0 L} = \frac{R}{2\pi L} \qquad (1)$$

το ρεύμα πέφτει στα 0,707 της μέγιστης τιμής I_{max}.

(Το εύρος $f_2 - f_1$ ονομάζεται και ***ζώνη διαβάσεως***).

Η μείωση αυτή του ρεύματος (που σημαίνει και μείωση της ισχύος) έχει μεγάλη σημασία σε θέματα ραδιοηλεκτρολογίας.

Από τη σχέση (1) προκύπτει ότι μπορούμε να χρησιμοποιήσομε ένα κύκλωμα R, L, C σε σειρά που θα επιτρέπει τη διέλευση μιας ζώνης συχνοτήτων που το εύρος της είναι ανάλογο της ωμικής αντιστάσεως R και αντιστρόφως ανάλογο της αυτεπαγωγής του πηνίου. Ή, με διαφορετική έκφραση, η ζώνη διαβάσεως είναι αντιστρόφως ανάλογη του συντελεστή ποιότητας Q (γι' αυτό ο συντελεστής Q ονομάζεται και ***συντελεστής επιλεκτικότητας του κυκλώματος***).

5.12 Κύκλωμα που περιλαμβάνει αντίσταση και αυτεπαγωγή σε παράλληλη σύνδεση.

Έστω ότι στα άκρα του κυκλώματος του σχήματος 5.12(α) εφαρμόζεται εναλλασσόμενη τάση ενεργού τιμής U και συχνότητας f. Το ρεύμα που διαρρέει την ωμική αντίσταση R είναι:

$$I_R = \frac{U}{R}$$

Το ρεύμα που διαρρέει το πηνίο είναι:

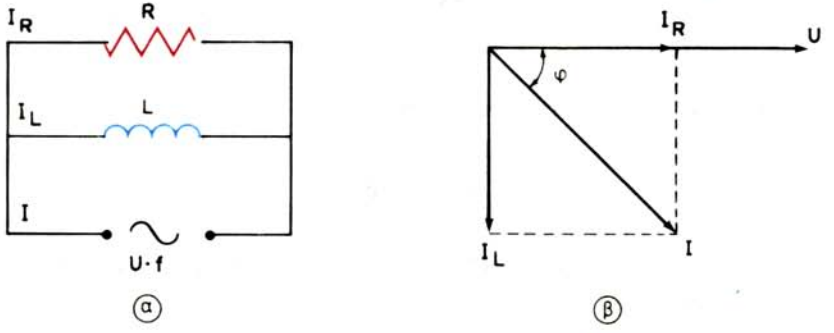
$$I_L = \frac{U}{x_L} = \frac{U}{2\pi fL}$$

Το ρεύμα I, όπως φαίνεται και από το ανυσματικό διάγραμμα των εντάσεων, [σχ. 5.12(6)] θα είναι το ανυσματικό άθροισμα των δυο ρευμάτων I_R και I_L δηλ.

$$I^2 = I_R^2 + I_L^2 \rightarrow I = \sqrt{\left(\frac{U}{R}\right)^2 + \left(\frac{U}{x_L}\right)^2} = U\sqrt{\frac{1}{R^2} + \frac{1}{x_L^2}}$$

Η σύνθετη αντίσταση του κυκλώματος Z, σύμφωνα με το γενικό ορισμό Z = U/I θα είναι:

$$Z = \frac{1}{\sqrt{\frac{1}{R^2} + \frac{1}{x_L^2}}} = \frac{R.x_L}{\sqrt{R^2 + x_L^2}}$$



Σχ. 5.12.
α) Κύκλωμα με ωμική αντίσταση και αυτεπαγωγή σε σειρά. 6) Το ρεύμα παρουσιάζει επιπορεία φάσεως κατά $0° < \varphi° < 90°$ από την τάση.

Από το διάγραμμα προκύπτει επίσης ότι:

$$\varepsilon\varphi\varphi = \frac{-I_L}{I_R} = -\frac{R}{x_L} \quad \text{και} \quad \sigma\upsilon\nu\varphi = \frac{I_R}{I} = \frac{Z}{R}.$$

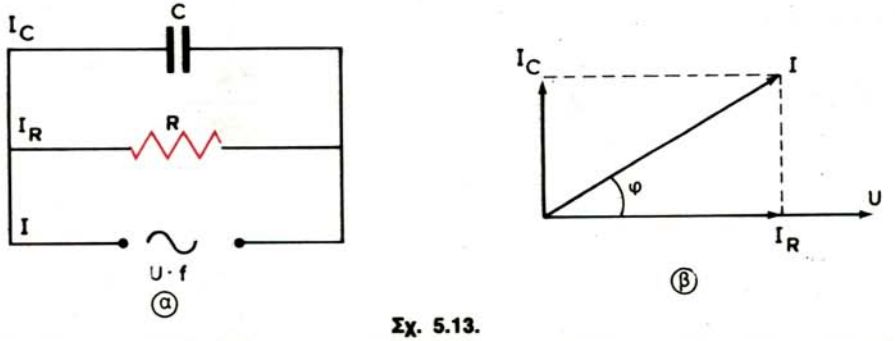
Σημείωση: Στα παράλληλα κυκλώματα, επειδή η ίδια τάση U εφαρμόζεται στα άκρα κάθε κλάδου, τοποθετούμε σε οριζόντιο άξονα την τάση U (που λαμβάνομε σαν αρχή των φάσεων) και μετά τοποθετούμε τις εντάσεις που διαρρέουν τους διάφορους κλάδους του κυκλώματος. (Κατασκευάζομε δηλ. το ανυσματικό διάγραμμα των εντάσεων). Στα κυκλώματα σειράς, όπως είδαμε, τοποθετούμε σε οριζόντιο άξονα το ρεύμα I που διαρρέει το κύκλωμα και μετά κατασκευάζομε το ανυσματικό διάγραμμα των τάσεων.

5.13 Κύκλωμα που περιλαμβάνει αντίσταση και χωρητικότητα σε παράλληλη σύνδεση.

Έστω ότι στα άκρα του κυκλώματος του σχήματος 5.13(α) εφαρμόζεται εναλλασσόμενη τάση ενεργού τιμής U και συχνότητας f.

Το ρεύμα που διαρρέει την ωμική αντίσταση R είναι:

$$I_R = \frac{U}{R}$$



Σχ. 5.13.

α) Κύκλωμα με ωμική αντίσταση και χωρητικότητα παράλληλα. β) Το ρεύμα παρουσιάζει προπορεία φάσεως κατά $0° < \varphi° < 90°$ από την τάση.

Το ρεύμα που διαρρέει τον πυκνωτή είναι:

$$I_c = \frac{U}{x_c} = U.2\pi f.C$$

Το ρεύμα I που διαρρέει το κύκλωμα, όπως φαίνεται και από το διάγραμμα του σχήματος, είναι:

$$I^2 = I_R^2 + I_0^2$$

$$I = \sqrt{\left(\frac{U}{R}\right)^2 + \left(\frac{U}{x_c}\right)^2} = U\sqrt{\frac{1}{R^2} + \frac{1}{x_c^2}}$$

Η σύνθετη αντίσταση του κυκλώματος Z θα είναι:

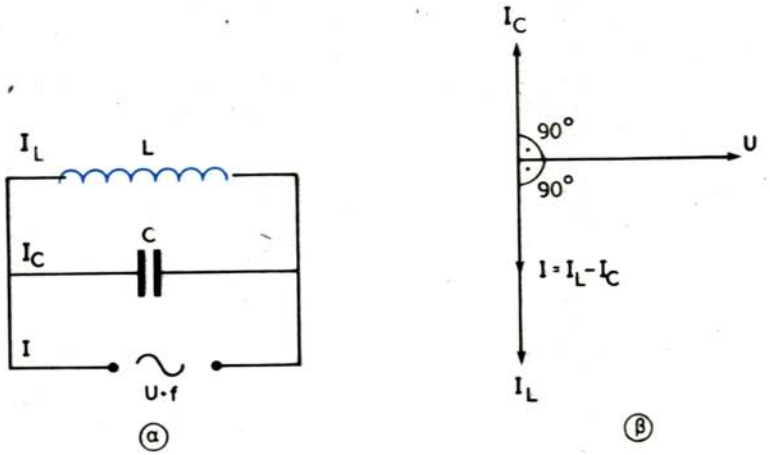
$$Z = \frac{U}{I} = \frac{1}{\sqrt{\frac{1}{R^2} + \frac{1}{x_c^2}}} = \frac{R \cdot x_c}{\sqrt{R^2 + x_c^2}}$$

Από το διάγραμμα προκύπτει επίσης ότι:

$$\text{εφφ} = \frac{I_C}{I_R} = \frac{R}{x_c} \qquad \text{και} \quad \text{συνφ} = \frac{I_R}{I} = \frac{Z}{R}$$

5.14 Κύκλωμα που περιλαμβάνει αυτεπαγωγή και χωρητικότητα σε παράλληλη σύνδεση (Κύκλωμα Thomson).

Έστω ότι στα άκρα του κυκλώματος του σχήματος 5.14α (α) εφαρμόζεται εναλλασσόμενη τάση ενεργού τιμής U και συχνότητας f. (Το πηνίο θεωρείται ιδανικό και ο πυκνωτής χωρίς απώλειες).



Σχ. 5.14α.
α) Κύκλωμα με αυτεπαγωγή και χωρητικότητα παράλληλα. β) Το ανυσματικό άθροισμα των ρευμάτων του κυκλώματος Thomson.

Το ρεύμα που διαρρέει το πηνίο είναι:

$$I_L = \frac{U}{x_L} \qquad (1)$$

Το ρεύμα που διαρρέει τον πυκνωτή είναι:

$$I_C = \frac{U}{x_c} \qquad (2)$$

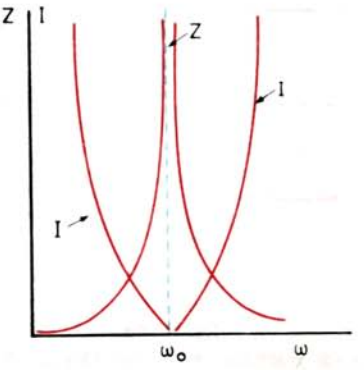
Το ρεύμα I που διαρρέει το κύκλωμα, όπως φαίνεται και από το διάγραμμα του σχήματος 5.14α(β), είναι:

$$I = I_L - I_C = U\left(\frac{1}{x_L} - \frac{1}{x_c}\right) \qquad (3)$$

Η σύνθετη αντίσταση του κυκλώματος είναι:

$$Z = \frac{U}{I} = \frac{1}{\frac{1}{x_L} - \frac{1}{x_c}} = \frac{1}{\frac{1}{\omega L} - \omega C} \qquad (4)$$

Όταν $1/\omega L = \omega C$, δηλ. όταν η κυκλική συχνότητα της τάσεως λάβει την τιμή: $\omega_0 = 1/\sqrt{LC}$, τότε η $Z \to \infty$ και το $I \to 0$. (Συντονισμός (σχ. 5.14β). Στην πραγματικότητα παράλληλο κύκλωμα L,C (χωρίς ωμική αντίσταση) δεν υπάρχει, γιατί πάντα το πηνίο θα παρουσιάζει μιάν ωμική αντίσταση ($R = \rho\frac{l}{S}$) καθώς και ο πυκνωτής.
(Ο πυκνωτής εμφανίζει ωμική αντίσταση, εξαιτίας απωλειών που οφείλονται στη διηλεκτρική υστέρηση και διαρροή του διηλεκτρικού).



Σχ. 5.14β.
Μεταβολή του ρεύματος και της σύνθετης αντιστάσεως σε συνάρτηση με τη συχνότητα.

ΜΕΡΟΣ ΔΕΥΤΕΡΟ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΠΡΩΤΟ

ΤΑ ΗΛΕΚΤΡΟΜΑΓΝΗΤΙΚΑ ΚΥΜΑΤΑ

1.1 Γενικά.

Γνωρίζομε ότι η κινητική ενέργεια σώματος, το οποίο πέφτει στην ήρεμη επιφάνεια νερού, δημιουργεί τα κύματα νερού. Αυτά είναι κατακόρυφη ταλάντωση των μορίων του νερού, πάνω και κάτω από τη στάθμη ηρεμίας (αν δεν υπάρχουν ρεύματα ή δεν πνέει άνεμος). Η ταλάντωση αυτή διαδίδεται ακτινικά προς όλες τις κατευθύνσεις με σταθερή ταχύτητα. Επίσης γνωρίζομε τα ηχητικά κύματα, τα οποία είναι αυξομειώσεις της πυκνότητας (ταλαντώσεις) των μορίων του ατμοσφαιρικού αέρα, οι οποίες προέρχονται από τη μηχανική ενέργεια μηχανικών μέσων που πάλλονται. Κατά τον ίδιο τρόπο, δημιουργούνται και τα κύματα υπερήχων μέσα στο θαλάσσιο νερό. Η ταχύτητα διαδόσεως των κυμάτων ήχων και υπερήχων είναι σταθερή, όταν το μέσο διαδόσεώς τους είναι ομοιογενές.

Στην περίπτωση των ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων, ενέργεια, που παρέχεται από πηγή εναλλασσόμενου ρεύματος, ακτινοβολείται στο χώρο από την κεραία.

Όπως γνωρίζομε από την καθημερινή μας εμπειρία, στην πιο απλή μορφή της, η κεραία είναι οριζόντιος ή κατακόρυφος αγωγός, που μπορεί να εκπέμπει και να λαμβάνει. Η κεραία εκπομπής συνδέεται στον πομπό. Ο πομπός γενικά είναι γεννήτρια ηλεκτρικών ταλαντώσεων (εναλλασσόμενου ρεύματος), με σχετικά υψηλή συχνότητα (ραδιοσυχνότητα), που τροφοδοτεί την κεραία και αυτή εκπέμπει (ακτινοβολεί) ηλεκτρομαγνητικά κύματα στο χώρο.

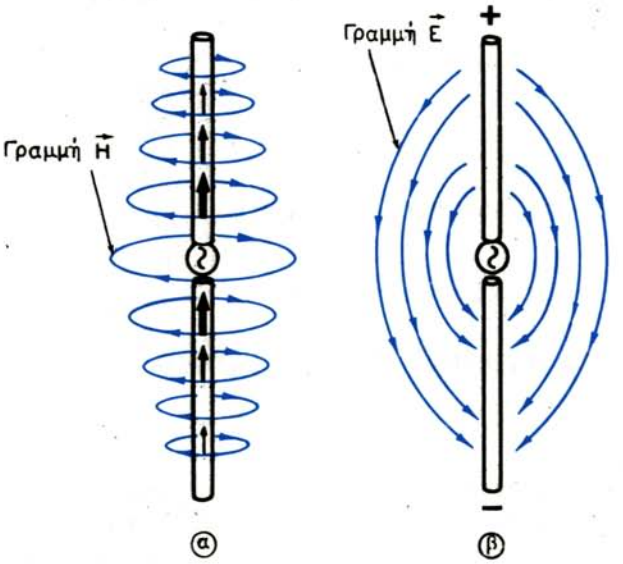
Όταν ηλεκτρομαγνητικό κύμα προσπέσει στην κεραία, επάγει σ' αυτήν ασθενείς ηλεκτρικές ταλαντώσεις (εναλλασσόμενο ρεύμα) με την ίδια συχνότητα, οι οποίες οδηγούνται στο δέκτη και γίνεται η λήψη.

1.2 Εκπομπή ηλεκτρομαγνητικού κύματος.

Ας θεωρήσομε δύο ίσα ευθύγραμμα τμήματα αγωγού, τα οποία συνδέονται σε πηγή εναλλασσόμενου ρεύματος, όπως φαίνεται στο σχήμα 1.2α, όπου οι διαστάσεις της πηγής θεωρούνται αμελητέες. Η διάταξη αυτή των αγωγών ονομάζεται ***κεραία δίπολο*** ή ***κεραία Hertz.*** Η πηγή κυκλοφορεί εναλλασσόμενο ρεύμα στα δύο τμήματα αγωγού, και εξαιτίας του ρεύματος αναπτύσσεται κατά μήκος των δύο αγωγών εναλλασσόμενη τάση, η οποία έχει την ίδια συχνότητα και την ίδια φάση με το ρεύμα.

Το ρεύμα που διαρρέει τους δύο αγωγούς, δημιουργεί γύρω από αυτούς μαγνη-

ΔΡΥΜΑ ΣΥΓΧΡΟΝΟΥ 1954



Σχ. 1.2α.

α) Η ένταση του μαγνητικού πεδίου είναι μέγιστη στο μέσο, επειδή μέγιστη είναι και η ένταση του ρεύματος. β) Η πολικότητα που σημειώνεται ισχύει κατά τη θετική ημιπερίοδο. Η ένταση του ηλεκτρικού πεδίου είναι μέγιστη στο μέσο επειδή οι δυναμικές γραμμές από σημεία του ενός τμήματος καταλήγουν σε αντίστοιχα σημεία του άλλου τμήματος. Τα δύο πεδία $\vec{E}$ και $\vec{H}$ συνυπάρχουν στην περιοχή των ιδίων αγωγών και είναι κάθετα μεταξύ τους.

τικό πεδίο, του οποίου η ένταση είναι ανάλογη με την ένταση του ρεύματος. Σε κάθε στιγμιαία τιμή του, το ρεύμα έχει μέγιστη ένταση στο μέσο του συστήματος των δύο αγωγών. Έτσι και το μαγνητικό πεδίο $\vec{H}$ έχει μέγιστη ένταση στο μέσο του συστήματος των δύο αγωγών.

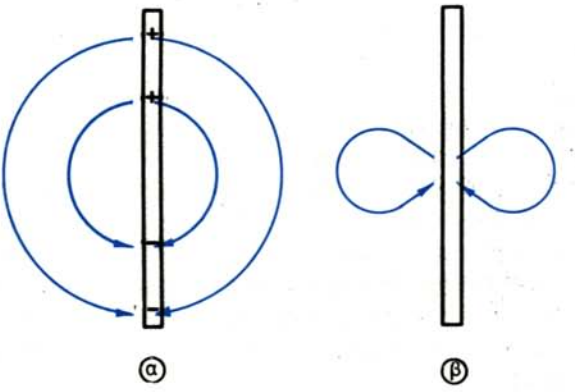
Καθώς το εναλλασσόμενο ρεύμα, που διαρρέει τους δύο αγωγούς μεταβάλλει φάση από 0° - 360°, τις ίδιες μεταβολές φάσεως ακολουθεί και το μαγνητικό πεδίο. Δηλαδή οι κυκλικές και κάθετες δυναμικές γραμμές του μαγνητικού πεδίου $\vec{H}$, στο διάμηκες των αγωγών μεταβάλλουν τιμή σε κάθε σημείο του αγωγού, από τη μηδενική μέχρι τη μέγιστη και από τη μέγιστη μέχρι τη μηδενική. Εξάλλου, καθώς οι δυναμικές γραμμές ακολουθούν τις ημιτονικές μεταβολές του ρεύματος, εναλλάσσεται και η φορά τους δύο φορές σε κάθε κύκλο του ρεύματος.

Η εναλλασσόμενη τάση, που αναπτύσσεται κατά μήκος των αγωγών, έχει μέγιστη τιμή μεταξύ των άκρων του συστήματος και μηδενίζεται στο μέσο. Λόγω της τάσεως αυτής, κατά μήκος των αγωγών, αναπτύσσεται ηλεκτρικό πεδίο $\vec{E}$, όπως φαίνεται στο σχήμα 1.2α(β). Η ένταση του ηλεκτρικού πεδίου ακολουθεί τις ημιτονικές μεταβολές της εναλλασσόμενης τάσεως από την οποία δημιουργείται, όπως και το μαγνητικό πεδίο ακολουθεί τις ημιτονικές μεταβολές του ρεύματος. Οι δυναμικές γραμμές του ηλεκτρικού πεδίου $\vec{E}$ δεν είναι κλειστές περιφέρειες κύκλου, όπως οι δυναμικές γραμμές του μαγνητικού πεδίου $\vec{H}$, αλλά ανοικτές καμπύλες. Αυτές έχουν ως αρχή σημείο του ενός αγωγού που είναι θετικό και καταλήγουν σε αντίστοιχο συμμετρικό σημείο του άλλου, που είναι αρνητικό και είναι κάθετες στις

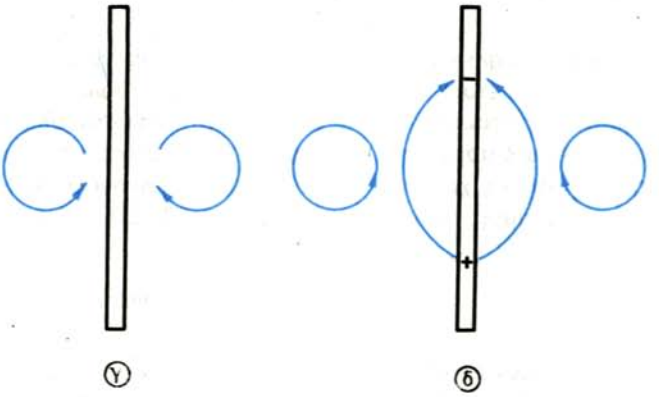
δυναμικές γραμμές του μαγνητικού πεδίου. Επομένως, στην περιοχή κατά μήκος των δύο αγωγών, όταν αυτοί τροφοδοτούνται από την πηγή, δημιουργούνται ταυτόχρονα εναλλασσόμενο ηλεκτρικό πεδίο και εναλλασσόμενο μαγνητικό πεδίο. Τα δύο πεδία είναι κάθετα μεταξύ τους και η ταχύτητα μεταβολής τους (το μέγεθος της στιγμιαίας μεταβολής τους) είναι ίδια με την ταχύτητα μεταβολής του εναλλασσόμενου ρεύματος που διαρρέει τους αγωγούς. Η ταχύτητα μεταβολής λαμβάνει τις μέγιστες τιμές, κατά τις χρονικές στιγμές που το ημιτονικό ρεύμα και η τάση λαμβάνουν μηδενικές τιμές, δηλαδή στις φάσεις 0, Π, 2Π, 3Π κλπ.

$$i = I_0 \, \eta\mu\omega t \Rightarrow \frac{di}{dt} = I_0 \, \omega\sigma\upsilon\nu\omega t$$

Αν θεωρήσομε τη χρονική στιγμή, κατά την οποία η τάση κατά μήκος του αγωγού λαμβάνει τη φάση 90° (π/2 ακτίνια - μέγιστη θετική τιμή), την ίδια στιγμή το ηλεκτρικό πεδίο $\vec{E}$ λαμβάνει τη μέγιστη θετική τιμή [σχ. 1.2β(α)]. Καθώς μετά τη φάση 90°, η τάση ελαττώνεται από τη μέγιστη θετική τιμή προς τη μηδενική, ελαττώνονται και οι δυναμικές γραμμές του ηλεκτρικού πεδίου και πλησιάζουν τους αγωγούς. Αν η τάση είναι χαμηλής συχνότητας (βιομηχανική συχνότητα), ελαττώνεται με αργό ρυθμό. Τότε οι δυναμικές γραμμές του ηλεκτρικού πεδίου προφθαίνουν να πλησιάσουν τους αγωγούς και να εξαφανισθούν εντελώς, οπότε η ενέργεια του ηλεκτρικού πεδίου αποδίδεται στους αγωγούς. Αν όμως η συχνότητα της τάσεως είναι υψηλή (ραδιοσυχνότητα), η τάση ελαττώνεται με γρήγορο ρυθμό. Τότε, οι δυναμικές γραμμές του ηλεκτρικού πεδίου δεν προφθαίνουν να ακολουθήσουν το ρυθμό, με τον οποίο ελαττώνεται η τάση και να πλησιάσουν τους αγωγούς. Τη στιγμή που η τάση πλησιάζει τη φάση 180° (σχεδόν τη μηδενική τιμή), το ηλεκτρικό πεδίο γύρω από τους αγωγούς έχει σημαντική ένταση και οι δυναμικές γραμμές του έχουν διαμορφωθεί όπως στο σχήμα 1.2β(β). Όταν η τάση φθάνει



Σχ. 1.2β.
Η μεταβολή του ηλεκτρικού πεδίου κατά τη μεταβολή της φάσεως της τάσεως από 90° - 200°.



Σχ. 1.2β.
Η μεταβολή του ηλεκτρικού πεδίου κατά τη μεταβολή της φάσεως της τάσεως από 90° - 200°.

στη φάση 180° (μηδενική τιμή) το ηλεκτρικό πεδίο δεν έχει μηδενισθεί. Έτσι τη στιγμή αυτή υπάρχει ηλεκτρικό πεδίο, χωρίς να υπάρχει η αντίστοιχη τάση και οι δυναμικές γραμμές του τείνουν να σχηματίσουν κλειστούς βρόγχους [σχ. 1.2β(γ)].

Στη συνέχεια όμως ακολουθεί η αρνητική ημιπερίοδος τάσεως, με την έναρξη της οποίας αναπτύσσεται νέο ηλεκτρικό πεδίο, του οποίου η ένταση αυξάνει ανάλογα με την τάση. Η φορά του νέου ηλεκτρικού πεδίου είναι αντίθετη από τη φορά του πεδίου της θετικής ημιπεριόδου. Τη στιγμή αυτή, οι δυναμικές γραμμές του πεδίου, που είχε παραμείνει, σχηματίζουν κλειστούς βρόγχους, ενώ οι δυναμικές γραμμές του αναπτυσσόμενου πεδίου, που αντιστοιχεί στην αρνητική ημιπερίοδο τάσεως, έχουν αρχή και τέλος [σχ. 1.2β(δ)]. Έτσι οι κλειστές δυναμικές γραμμές του πεδίου που είχε παραμείνει, αποκτούν στο σημείο γειτνιάσεώς τους με τις νέες ανοικτές δυναμικές γραμμές του αναπτυσσόμενου πεδίου την ίδια φορά και απωθούνται. Κατά την αύξηση της τάσεως και ώσπου αυτή να φθάσει στη φάση 270°, επειδή το αναπτυσσόμενο πεδίο αυξάνει, οι δυναμικές γραμμές του απομακρύνονται από τους αγωγούς που απωθούν τις δυναμικές γραμμές του πεδίου που είχαν παραμείνει μακριά από τους αγωγούς. Έτσι, το ηλεκτρικό πεδίο που είχε παραμείνει, αποδεσμεύεται από τους αγωγούς και εκπέμπεται στο χώρο. Κατά την ολοκλήρωση της αρνητικής ημιπεριόδου και την έναρξη της επόμενης θετικής ημιπεριόδου, για τον ίδιο λόγο, παραμένει ηλεκτρικό πεδίο από την αρνητική ημιπερίοδο. Αυτό απωθείται από το αναπτυσσόμενο πεδίο της επόμενης θετικής ημιπεριόδου και εκπέμπεται στο χώρο. Στην πραγματικότητα, ηλεκτρικό πεδίο με την ίδια φορά αποδεσμεύεται κατά τη διάρκεια της ημιπεριόδου που έχει στιγμιαία τιμή ανάλογη προς την ταχύτητα μεταβολής της τάσεως. Το φαινόμενο αυτό επαναλαμβάνεται σε κάθε εναλλαγή της τάσεως και έτσι η εκπομπή ηλεκτρικού πεδίου είναι συνεχής.

Κατά τον ίδιο τρόπο και για τον ίδιο λόγο, από τους ίδιους αγωγούς αποδεσμεύεται ταυτόχρονα και εκπέμπεται στο χώρο μαγνητικό πεδίο $\vec{H}$, που έχει την ίδια φάση με το πεδίο $\vec{E}$.

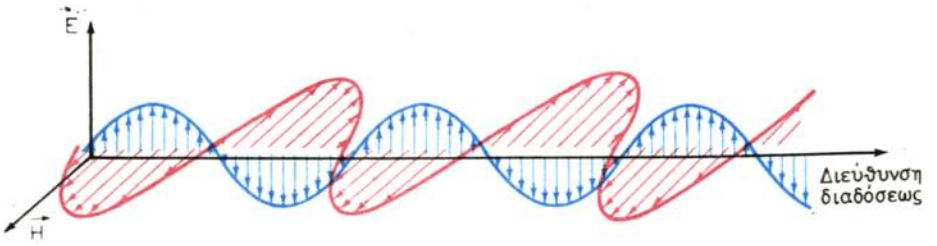
Τα δύο πεδία, το ηλεκτρικό $\vec{E}$ και το μαγνητικό $\vec{H}$, διαδίδονται στο χώρο με την

ταχύτητα του φωτός, $c = 3 \times 10^8$ m/s. Είναι και τα δύο εναλλασσόμενα πεδία με ίδια συχνότητα, που είναι ίση με τη συχνότητα του ρεύματος και της τάσεως των αγωγών (κεραίας), από όπου προήλθαν και συγκροτούν το ***ηλεκτρομαγνητικό κύμα.*** Έτσι, μπορούμε να ορίσομε ότι: ***Ηλεκτρομαγνητικό κύμα είναι χωροχρονική μεταβολή ηλεκτρικού πεδίου $\vec{E}$ και μαγνητικού πεδίου $\vec{H}$, που διαδίδονται στο χώρο με την ταχύτητα του φωτός.***

Η ισχύ (ένταση) του ηλεκτρομαγνητικού κύματος που διέρχεται από μοναδιαία επιφάνεια, είναι και αυτή διανυσματικό μέγεθος και ισούται με το εξωτερικό γινόμενο των διανυσμάτων του ηλεκτρικού και του μαγνητικού πεδίου, δηλαδή:

$$\vec{P} = \vec{E} \times \vec{H}$$

Το γινόμενο αυτό ονομάζεται διάνυσμα Poynting και από αυτό καθορίζεται και η διεύθυνση και η φορά διαδόσεως του κύματος. Έτσι σ' ένα επίπεδο κάθετο προς την κεραία, κάθε ακτίνα περιφέρειας κύκλου με κέντρο την κεραία είναι και διεύθυνση διαδόσεως του κύματος που ακτινοβολείται από αυτή. Οι δυναμικές γραμμές του ηλεκτρικού και του μαγνητικού πεδίου είναι κάθετες μεταξύ τους, αλλά και κάθετες προς τη διεύθυνση διαδόσεως του κύματος (σχ. 1.2γ).

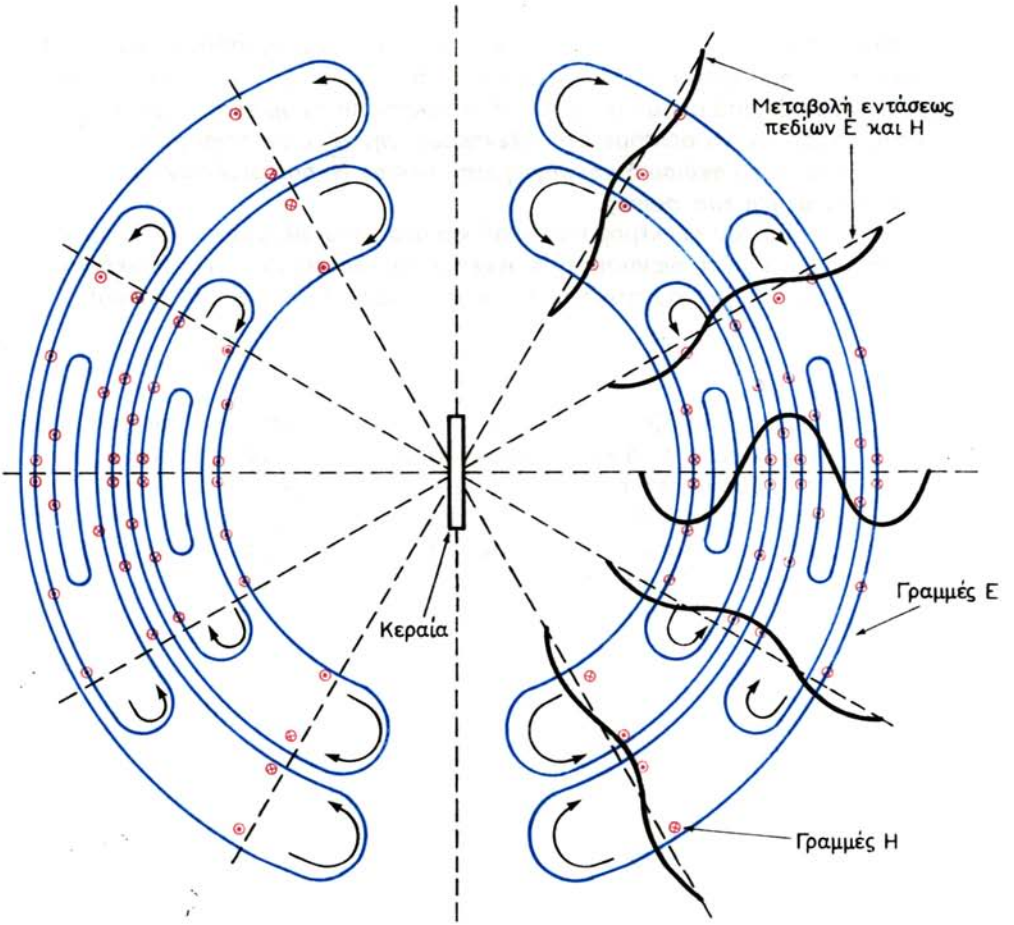


Σχ. 1.2γ.
Τα πεδία $\vec{E}$ και $\vec{H}$ είναι κάθετα μεταξύ τους και κάθετα στη διεύθυνση διαδόσεως.

Στο σχήμα 1.2δ φαίνεται κατακόρυφη τομή του χώρου κατανομής ηλεκτρομαγνητικού κύματος, το οποίο ακτινοβολείται στο χώρο από κατακόρυφη κεραία, κατά μία εναλλαγή ρεύματος. Οι δυναμικές γραμμές του ηλεκτρικού πεδίου σχηματίζουν κλειστούς βρόγχους, των οποίων το επίπεδο είναι παράλληλο προς την κεραία. Οι δυναμικές γραμμές του μαγνητικού πεδίου ενώ στο χώρο σχηματίζουν περιφέρειες κύκλου, που έχουν κέντρο την κεραία, στην τομή του χώρου η είσοδός τους σημειώνεται με μικρούς σταυρούς και η έξοδός τους με τελείες.

Τα δύο πεδία έχουν μέγιστη ένταση στη διεύθυνση της μεσοκαθέτου στην κεραία. Η έντασή τους ελαττώνεται ανάλογα με το συνημίτονο της γωνίας που σχηματίζεται από την κάθετο στην κεραία και τη θεωρούμενη κατεύθυνση. Έτσι, σε κατεύθυνση παράλληλη προς την κεραία η ένταση των πεδίων μηδενίζεται. Οι έντονες ημιτονικές καμπύλες του σχήματος 1.2δ δείχνουν τις εντάσεις των δύο πεδίων και την ισχύ του ακτινοβολούμενου κύματος στις αντίστοιχες κατευθύνσεις.

Σύμφωνα με τα παραπάνω, η κεραία έχει κατευθυντικότητα και ακτινοβολεί με

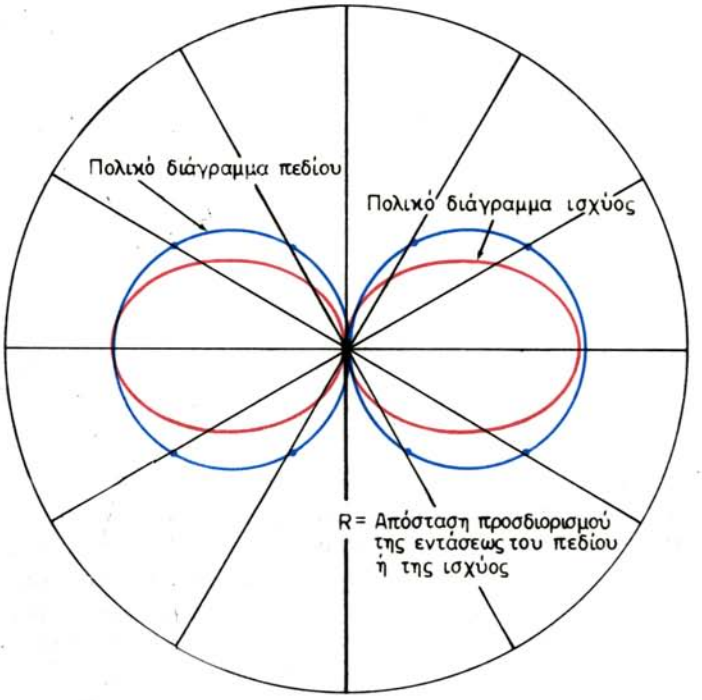


Σχ. 1.2δ.
Κατακόρυφη τομή ηλεκτρομαγνητικού κύματος, που ακτινοβολείται από κατακόρυφη κεραία κατά μία εναλλαγή ρεύματος.

μέγιστη ισχύ προς την κατεύθυνση οποιασδήποτε μεσοκάθετης σ' αυτήν. Στον άξονα της κεραίας η ακτινοβολία είναι μηδενική και γύρω από τις προεκτάσεις του στον ελεύθερο χώρο δημιουργούνται κώνοι σιγής.

Πολικό διάγραμμα ακτινοβολίας μιας κεραίας είναι η γραφική απεικόνιση σε πολικές συντεταγμένες της μεταβολής της εντάσεως (ή ισχύος) ακτινοβολίας σε ένα επίπεδο. Διακρίνομε το πολικό διάγραμμα της εντάσεως πεδίου (ηλεκτρικού πεδίου) και το πολικό διάγραμμα ισχύος. Η κατασκευή του πολικού διαγράμματος πεδίου γίνεται ως εξής:

Από σημείο του επιπέδου που αντιπροσωπεύει την κεραία (τον πόλο) (σχ. 1.2ε), χαράζονται ακτίνες που αντιστοιχούν στις διάφορες κατευθύνσεις. Προσδιορίζεται η ένταση του πεδίου στις διάφορες κατευθύνσεις του επιπέδου για την ίδια ορισμένη απόσταση, με υπολογισμούς ή με μετρήσεις. Στις ακτίνες που αντιστοιχούν στις κατευθύνσεις μέγιστης εντάσεως πεδίου, σημειώνεται ορισμένο μήκος, ενώ

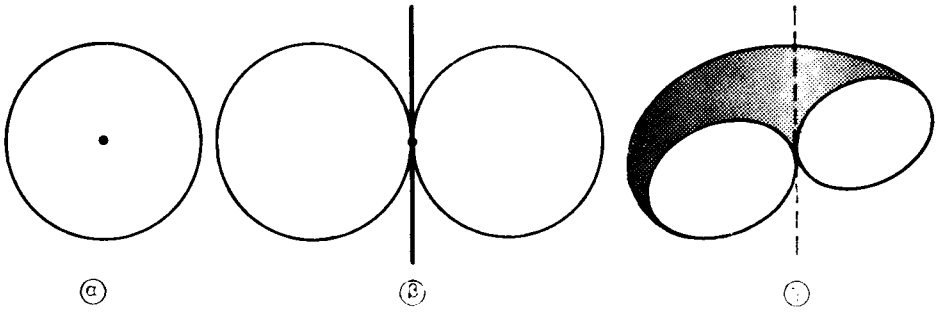


Σχ. 1.2ε.
Κατασκευή πολικού διαγράμματος πεδίου και ισχύος.

στις υπόλοιπες σημειώνεται μήκος ελαττωμένο κατά ποσό ανάλογο με την ελάττωση της εντάσεως του πεδίου στις αντίστοιχες κατευθύνσεις. Ενώνοντας τα παραπάνω σημεία προκύπτει το πολικό διάγραμμα πεδίου.

Από το πολικό διάγραμμα πεδίου προκύπτει εύκολα το πολικό διάγραμμα ισχύος ως εξής: Θεωρούμε τα σημεία μέγιστης εντάσεως πεδίου ως μονάδα ή ως 100%. Επειδή η ισχύ είναι ανάλογη με το τετράγωνο της εντάσεως του πεδίου, τα ίδια σημεία αντιστοιχούν σε μέγιστη ισχύ, την οποία θεωρούμε ως μονάδα ή ως 100%. Όπως φαίνεται στο σχήμα 1.2ε, αν υψώσομε στο τετράγωνο τα υπόλοιπα σημεία του πολικού διαγράμματος πεδίου, προκύπτουν τα αντίστοιχα σημεία του πολικού διαγράμματος ισχύος. Σημειώνεται ότι σε σημεία, όπου η ένταση του πεδίου ελαττώνεται στα 0,707 της μέγιστης εντάσεως, η ισχύ, ως το τετράγωνο της εντάσεως του πεδίου, ελαττώνεται στο 0,5 της μέγιστης ισχύος (ελάττωση κατά 3db). Τα σημεία αυτά ονομάζονται σημεία μισής ισχύος (half power points) και με τέτοια καθορίζονται τα όρια της δέσμης ακτινοβολίας (ή λοβού) των κεραιών ραντάρ.

Η κατακόρυφη κεραία δεν έχει κατευθυντικότητα για το επίπεδο του ορίζοντα και το οριζόντιο πολικό διάγραμμα ακτινοβολίας της είναι περιφέρεια κύκλου [σχ. 1.2στ(α)]. Αντίθετα, σε οποιοδήποτε κατακόρυφο επίπεδο, που διέρχεται από την κεραία έχει κατευθυντικότητα και το κατακόρυφο πολικό διάγραμμα ακτινοβολίας της είναι σχήματος οκτώ [σχ. 1.2στ(β)]. Στο σχήμα 1.2στ(γ) φαίνεται η κατανομή



Σχ. 1.2στ.
α) Πολικό διάγραμμα ακτινοβολίας κατακόρυφης κεραίας για οριζόντιο επίπεδο. β) Πολικό διάγραμμα ακτινοβολίας κατακόρυφης κεραίας για κατακόρυφο επίπεδο. γ) Η κατανομή της ακτινοβολούμενης ισχύος στο χώρο από κατακόρυφη κεραία.

της ισχύος που ακτινοβολείται στο χώρο από κεραία δίπολο.

Όπως είπαμε οι ημιτονικές καμπύλες στο σχήμα 1.2δ αντιπροσωπεύουν, σε θεωρούμενη χρονική στιγμή, την ημιτονική μεταβολή της εντάσεως των πεδίων $\vec{E}$ και $\vec{H}$ ή την ένταση του ηλεκτρομαγνητικού κύματος σε κατευθύνσεις κατακόρυφου επιπέδου. Οι εντάσεις των καμπυλών αυτών αντιστοιχούν σε μία εναλλαγή (κύκλο) ρεύματος που διαρρέει την κεραία. Μόλις συμπληρωθεί η επόμενη εναλλαγή ρεύματος κεραίας, δηλαδή μετά από μια περίοδο, η εναλλαγή των πεδίων, που φαίνονται σε κάθε κατεύθυνση (σχ. 1.2δ), θα έχει προχωρήσει κατά διάστημα ίσο με εκείνο που καταλαμβάνει. Τη θέση της τότε καταλαμβάνει η εναλλαγή των πεδίων που ακτινοβολείται από την επόμενη εναλλαγή ρεύματος. Η διάδοση (μετακίνηση) των εναλλαγών των πεδίων που γίνεται με τον τρόπο αυτό επαναλαμβάνεται σε κάθε εναλλαγή ρεύματος.

Αυτές οι συνεχείς ημιτονικές εναλλαγές ηλεκτρικού και μαγνητικού πεδίου μεταφέρουν στο χώρο την ηλεκτρομαγνητική ενέργεια με την ταχύτητα του φωτός.

1.3 Χαρακτηριστικά ηλεκτρομαγνητικού κύματος.

Είπαμε ότι το εξωτερικό γινόμενο των διανυσμάτων της εντάσεως του ηλεκτρικού πεδίου και του μαγνητικού πεδίου, $\vec{P} = \vec{E} \times \vec{H}$, τα οποία είναι εναλλασσόμενα, συμφασικά και κάθετα μεταξύ τους, δίνει την ένταση (ισχύ) του ηλεκτρομαγνητικού κύματος ανά μοναδιαία επιφάνεια. Συνεπώς και το ηλεκτρομαγνητικό κύμα είναι εναλλασσόμενο ημιτονικό μέγεθος και έχει τα χαρακτηριστικά του εναλλασσόμενου ρεύματος, από το οποίο διαρρέεται η κεραία που το ακτινοβολεί. Τα χαρακτηριστικά ηλεκτρομαγνητικού κύματος είναι:

α) ***Η συχνότητα.*** Ως συχνότητα (frequency) ορίζεται ο αριθμός των κύκλων (εναλλαγών) ηλεκτρομαγνητικού κύματος, που συμπληρώνεται στη μονάδα του χρόνου. Μετράται σε c/s και τα πολλαπλάσια kc/s, Mc/s και Gc/s. Η συχνότητα καθορίζεται από τον πομπό (γεννήτρια) που παράγει το ρεύμα (ηλεκτρικές ταλαντώσεις) υψηλής συχνότητας, με το οποίο τροφοδοτείται η κεραία. Επομένως, για να διατηρείται σταθερή η συχνότητα του κύματος, πρέπει να διατηρείται σταθερή η συχνότητα του ρεύματος που παράγει ο πομπός και τροφοδοτεί την κεραία.

ΔΡΥΜΑ ΣΥΓΧΡΟΝΟ 1954

β) ***Η περίοδος.*** Δηλαδή ο χρόνος Τ που παρέρχεται για να συμπληρωθεί ένας κύκλος (εναλλαγή) κύματος.

γ) ***Η φάση.*** Ως φάση (phase) ηλεκτρομαγνητικού κύματος ορίζεται η γωνία που έχει η εναλλαγή του κύματος σε ορισμένο σημείο πάνω στη διεύθυνση διαδόσεώς του κατά τη θεωρούμενη χρονική στιγμή. Έτσι, σε ορισμένο σημείο του χώρου, από το οποίο διέρχεται ηλεκτρομαγνητικό κύμα, σε χρονικό διάστημα ίσο με την περίοδο «Τ» του κύματος, η φάση του κύματος αυτού μεταβάλλεται κατά 360° ή 2π rad.

δ) ***Το μήκος κύματος.*** Είπαμε ότι η ταχύτητα διαδόσεως του ηλεκτρομαγνητικού κύματος στο χώρο είναι ίση με την ταχύτητα διαδόσεως του φωτός, $c = 3 \times 10^8$ m/s. Στο χώρο όμως της ατμόσφαιρας η διάδοση γίνεται με μικρότερη ταχύτητα, c = 299 800 000 m/s (161 800 v.μ./s).

Έτσι, αν θεωρήσομε ότι ορισμένη χρονική στιγμή αρχίζει η τροφοδότηση της κεραίας (σχ. 1.3) με εναλλασσόμενο ρεύμα συχνότητας f, μετά από χρονικό διάστημα ίσο με την περίοδο Τ του ρεύματος θα ολοκληρώνεται η εκπομπή ενός κύκλου κύματος. Τη στιγμή αυτή το μέτωπο του κύκλου θα έχει απομακρυνθεί από την κεραία κατά διάστημα:

$$\lambda = c.T$$

όπου: c η ταχύτητα διαδόσεως του κύματος και Τ η περίοδός του.

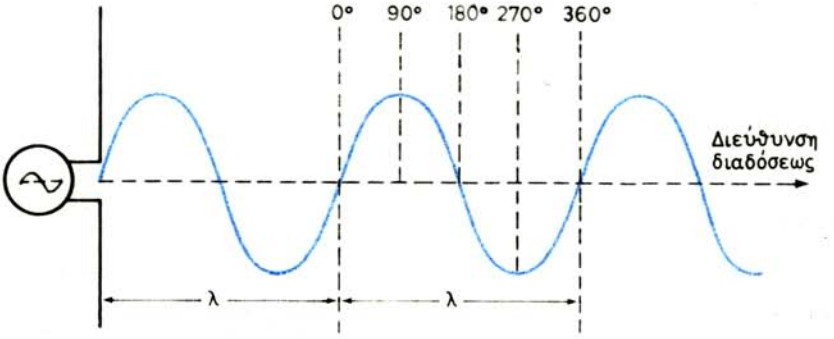
Ενώ συνεχίζεται η τροφοδότηση της κεραίας, μετά από άλλο ένα χρονικό διάστημα Τ θα έχει ολοκληρωθεί η εκπομπή του δεύτερου κύκλου.

Ο δεύτερος κύκλος θα καταλαμβάνει το ίδιο διάστημα λ, κατά το οποίο θα έχει απομακρυνθεί ο πρώτος κύκλος με την ταχύτητα c, που καθώς κινείται καταλαμβάνει συνέχεια το ίδιο διάστημα λ.

Το διάστημα αυτό $\lambda = c.T$ ονομάζεται μήκος κύματος (wavelength) και επειδή:

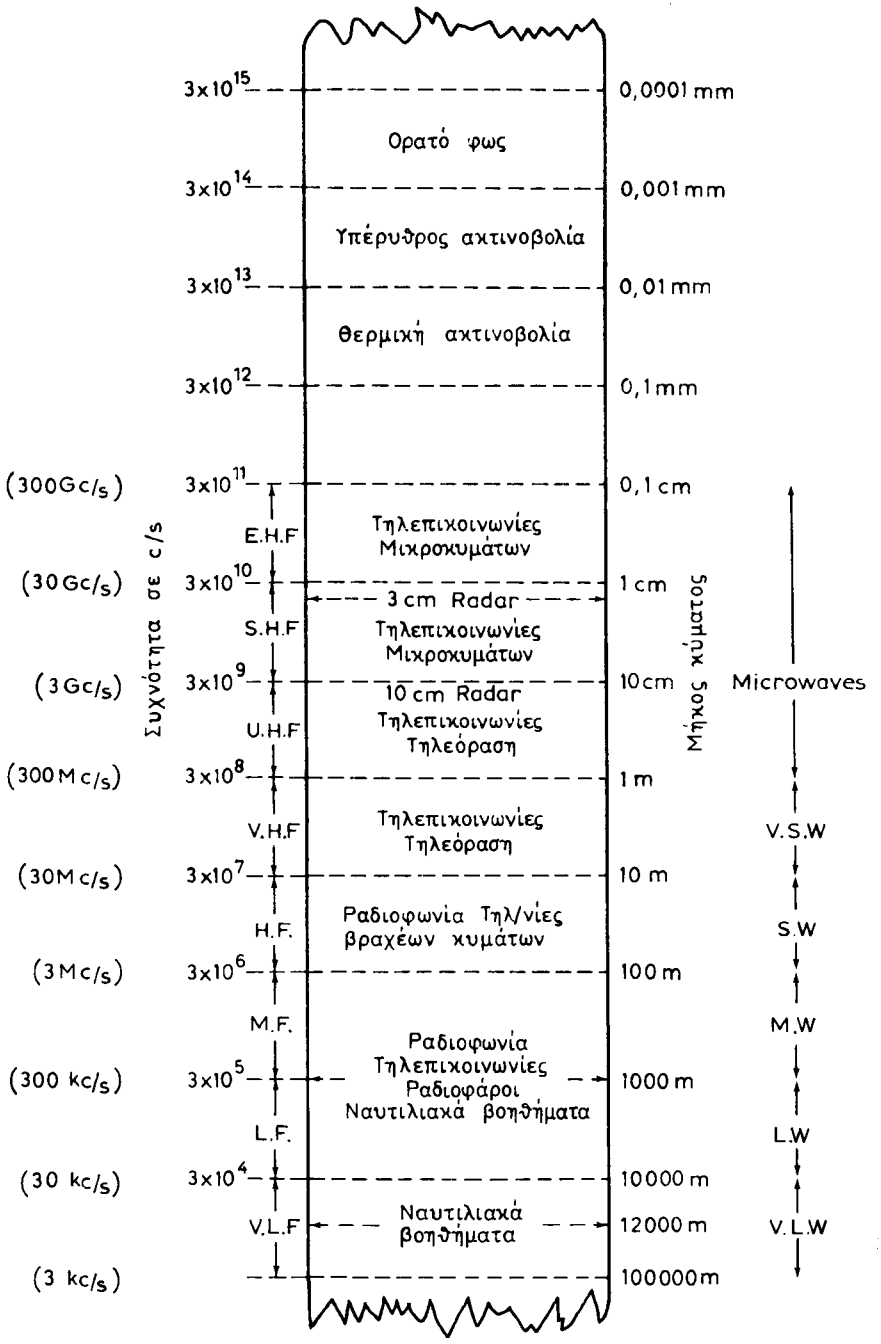
$$T = \frac{1}{f} \quad \Rightarrow \lambda = \frac{c}{f} \quad \left(\frac{m/s}{c/s} = m/c\right)$$

όπου: c η ταχύτητα διαδόσεως του ηλεκτρομαγνητικού κύματος, f η συχνότητα του σε c/s και λ το μήκος κύματος σε μέτρα ανά κύκλο ή όπως συνηθίζεται σε μέτρα.



Σχ. 1.3.
Σε διάστημα ενός μήκους κύματος παρατηρείται μεταβολή της φάσεως του κύματος κατά 360°.

ΠΙΝΑΚΑΣ 1.3.1.


Συχνότητα σε c/s
Μήκος κύματος
3x10^15
0,0001 mm
Ορατό φως
3x10^14
0,001 mm
Υπέρυθρος ακτινοβολία
3x10^13
0,01 mm
Θερμική ακτινοβολία
3x10^12
0,1 mm
(300Gc/s)
3x10^11
0,1 cm
E.H.F
Τηλεπικοινωνίες Μικροκυμάτων
(30Gc/s)
3x10^10
1 cm
3 cm Radar
S.H.F
Τηλεπικοινωνίες Μικροκυμάτων
(3Gc/s)
3x10^9
10 cm
10 cm Radar
U.H.F
Τηλεπικοινωνίες Τηλεόραση
(300Mc/s)
3x10^8
1 m
V.H.F
Τηλεπικοινωνίες Τηλεόραση
(30Mc/s)
3x10^7
10 m
H.F.
Ραδιοφωνία Τηλ/νίες βραχέων κυμάτων
(3Mc/s)
3x10^6
100 m
M.F.
Ραδιοφωνία Τηλεπικοινωνίες Ραδιοφάροι Ναυτιλιακά βοηθήματα
(300 kc/s)
3x10^5
1000 m
L.F.
(30 kc/s)
3x10^4
10000 m
V.L.F
Ναυτιλιακά βοηθήματα
12000 m
(3 kc/s)
100000 m
Microwaves
V.S.W
S.W
M.W
L.W
V.L.W

V.L.F.	→ Very Low Frequencies	⟷	V.L.W.	→ Very Long Waves
L.F.	→ Low Frequencies	⟷	L.W.	→ Long Waves
M.F.	→ Medium Frequencies	⟷	M.W.	→ Medium Waves
H.F.	→ High Frequencies	⟷	S.W.	→ Short Waves
V.H.F.	→ Very High Frequencies	⟷	V.S.W.	→ Very Short Waves
U.H.F.	→ Ultra High Frequencies	⟷	Microwaves	
S.H.F.	→ Super High Frequencies	⟷	Microwaves	
E.H.F.	→ Extremly High Frequencies	⟷	Microwaves	



Όπως φαίνεται στο σχήμα 1.3, σε διάστημα ίσο με ένα μήκος κύματος, πάνω στη διεύθυνση διαδόσεως παρατηρείται μεταβολή της φάσεως του κύματος κατά 360° ή 2π rad. Έτσι μπορούμε να πούμε ότι η ***φάση του κύματος μεταβάλλεται σε συνάρτηση με το χρόνο και σε συνάρτηση με το χώρο.*** Δηλαδή, για ορισμένο σημείο σε κάθε διεύθυνση διαδόσεως του κύματος, η φάση του μεταβάλλεται κατά 360°/T ή 2π rad/T. Αλλά και για ορισμένη χρονική στιγμή, πάνω σε κάθε διεύθυνση διαδόσεως του κύματος παρατηρείται μεταβολή της φάσεώς του κατά 360°/λ ή 2π rad/λ.

Στον πίνακα 1.3.1 φαίνονται οι περιοχές συχνοτήτων (frequency bands) στις οποίες κατανέμεται το φάσμα της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας, τα αντίστοιχα μήκη κύματος και τα συστήματα που λειτουργούν σε κάθε περιοχή συχνοτήτων.

ε) ***Πόλωση.*** Ως πόλωση (polarization) του ηλεκτρομαγνητικού κύματος ορίζεται η διεύθυνση των δυναμικών γραμμών του ηλεκτρικού πεδίου του κύματος. Επομένως η κατακόρυφη κεραία ακτινοβολεί κατακόρυφα πολωμένο κύμα, ενώ η οριζόντια κεραία ακτινοβολεί οριζόντια πολωμένο κύμα.

Υπάρχουν όμως συστήματα κεραιών, όπως η ελικοειδής κεραία, που ακτινοβολούν κύματα με περιστρεφόμενη πόλωση.

Το να γνωρίζομε την πόλωση ενός κύματος έχει σημασία για τη λήψη του. Κατά τη λήψη το εναλλασσόμενο ηλεκτρικό πεδίο του κύματος, που προσπίπτει στον αγωγό της κεραίας λήψεως, εξαναγκάζει τα ελεύθερα ηλεκτρόνια σε ταλάντωση στη συχνότητα του κύματος και κατά μήκος της κεραίας κυκλοφορεί ρεύμα με την ίδια συχνότητα. Μ' άλλα λόγια, κατά την πρόσπτωση ηλεκτρομαγνητικού κύματος στην κεραία λήψεως, επειδή αυτή τέμνεται από τις δυναμικές γραμμές του εναλλασσόμενου μαγνητικού πεδίου του κύματος, επάγεται στην κεραία εναλλασσόμενο ρεύμα με την ίδια συχνότητα. Για να αναπτύσσονται όμως ρεύματα με μεγαλύτερο πλάτος στην κεραία λήψεως από το ίδιο κύμα, πρέπει η κεραία λήψεως να έχει τη διεύθυνση της πολώσεως του ηλεκτρομαγνητικού κύματος, του οποίου πρόκειται να γίνει λήψη.

Κατά την ανάκλαση του κύματος σε διάφορα αντικείμενα, μεγαλύτερο ποσό ενέργειας ανακλάται, όταν το αντικείμενο έχει σημαντική διάσταση παράλληλη με τη διεύθυνση της πολώσεως του ανακλώμενου κύματος. Οι κεραίες των ραντάρ ναυτιλιακού τύπου με μικρή σχετικά εμβέλεια εκπέμπουν με οριζόντια πόλωση ώστε να περιορίζεται η ανεπιθύμητη ανάκλαση από τον κυματισμό και να εξασφαλίζεται σημαντική ανάκλαση από χαμηλές επίπεδες ακτογραμμές. Αντίθετα τα ραντάρ ναυτιλιακού τύπου με μεγάλη εμβέλεια που χρησιμοποιούν μεγαλύτερο μήκος κύματος, εκπέμπουν με κατακόρυφη πόλωση. Αυτό επιβάλλεται, γιατί κατά τη διά-

δοση του κατακόρυφα πολωμένου κύματος πάνω από την αγώγιμη επιφάνεια της θάλασσας, η διεύθυνση διαδόσεώς του καμπυλώνεται περισσότερο και αυξάνει η απόσταση ανιχνεύσεως. Η μεγαλύτερη καμπύλωση οφείλεται στην ιδιότητα των δυναμικών γραμμών του ηλεκτρικού πεδίου να τείνουν να είναι κάθετες στην αγώγιμη επιφάνεια της θάλασσας.

1.4 Διάδοση ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων.

Η διάδοση (propagation) των ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων ποικίλλει, ανάλογα με τη συχνότητά τους ή το αντίστοιχο μήκος κύματος και την ηλεκτρομαγνητική δομή του χώρου μέσα στον οποίο διαδίδονται. Η διάδοση μπορεί να πραγματοποιηθεί με ***κύματα εδάφους*** (ground waves), με ***ιονοσφαιρικά κύματα*** (sky waves) και με ***κύματα χώρου*** (space waves).

1.4.1 Διάδοση με κύματα εδάφους.

Το κύμα εδάφους κατά τη διάδοσή του ακολουθεί την επιφάνεια της γης και θεωρούμε ότι σύρεται (έρπεται) σ' αυτή.

Με κύματα εδάφους διαδίδονται οι πολύ χαμηλές συχνότητες (V.L.F.), οι χαμηλές συχνότητες (L.F.) και οι μεσαίες συχνότητες (M.F.). Το μήκος κύματος που αντιστοιχεί σ' αυτές τις περιοχές συχνοτήτων είναι αρκετά μεγάλο και σ' αυτά τα μήκη κύματος το έδαφος συμπεριφέρεται ως αγωγός. Όσο περισσότερο υγρό είναι το έδαφος, τόσο μεγαλύτερη αγωγιμότητα παρουσιάζει και η απορρόφηση ενέργειας στα παραπάνω κύματα γίνεται μικρότερη. Έτσι πάνω από την επιφάνεια της θάλασσας, λόγω της σημαντικής αγωγιμότητας που παρουσιάζει το θαλάσσιο νερό, εξασφαλίζεται διάδοση σε μεγαλύτερες αποστάσεις. Αντίθετα στην ξηρά, επειδή τα βραχώδη και τα αμμώδη εδάφη παρουσιάζουν περιορισμένη αγωγιμότητα, απορροφούν την ηλεκτρομαγνητική ενέργεια και η απόσταση διαδόσεως των κυμάτων περιορίζεται.

Θα πρέπει να σημειωθεί ότι τα κύματα πάρα πολύ χαμηλών συχνοτήτων (V.L.F.) εισχωρούν κατά τη διάδοσή τους και μέσα στο θαλάσσιο νερό, σε σημαντικό βάθος. Γι' αυτό, στην περιοχή των συχνοτήτων αυτών λειτουργούν σταθμοί Ασυρμάτου, με τους οποίους διαβιβάζονται πληροφορίες στα υποβρύχια, όταν αυτά βρίσκονται σε κατάδυση. Επίσης, στην περιοχή των συχνοτήτων αυτών λειτουργούν οι 8 σταθμοί του συστήματος ραδιοναυσιπλοΐας Omega, που επινοήθηκε, για να εξυπηρετήσει αρχικά ανάγκες υποβρύχιας ναυσιπλοΐας, άσχετα αν σήμερα εξυπηρετεί και ανάγκες ναυσιπλοΐας των εμπορικών πλοίων. Περιορισμένη διάδοση μέσα στο θαλάσσιο νερό παρατηρείται και στα κύματα των σταθμών LORAN τύπου C, οι οποίοι λειτουργούν στη συχνότητα των 100 kc/s.

Όσο η συχνότητα αυξάνεται και το αντίστοιχο μήκος κύματος λ γίνεται μικρότερο, η μέση αγωγιμότητα της εξωτερικής γήινης μάζας ελαττώνεται. Έτσι η απορρόφηση ηλεκτρομαγνητικής ενέργειας αυξάνεται και η απόσταση διαδόσεως του κύματος περιορίζεται. Πρακτικά, σε συχνότητες υψηλότερες από 3000 kc/s η διάδοση με κύμα εδάφους θεωρείται ανύπαρκτη.

1.4.2 Διάδοση με ιονοσφαιρικά κύματα.

Η διάδοση με ιονοσφαιρικά κύματα ή ουράνια κύματα βασίζεται στην ανάκλαση

ΔΡΥΜΑ ΣΥΓΓΡΑΦΕΩΝ 1954

των εκπεμπομένων κυμάτων στα στρώματα της ιονόσφαιρας, γι' αυτό ονομάζεται και ***ιονοσφαιρική διάδοση.***

Η ***ιονόσφαιρα*** (ionosphere) είναι ιονισμένος χώρος, που αρχίζει από ύψος 60 km και φθάνει μέχρι το ύψος των 380 km. Ο ιονισμός των αερίων στο χώρο αυτό οφείλεται στην ηλιακή δραστηριότητα. Γι' αυτό η δομή της ιονόσφαιρας κατά τη διάρκεια της ημέρας διαφέρει από εκείνη της νύκτας.

α) Την ημέρα. Κατά τη διάρκεια της ημέρας που η ηλιακή δραστηριότητα είναι έντονη, η ιονόσφαιρα αποτελείται από τέσσερα κανονικά στρώματα, τα οποία ονομάζονται D, E, F_1 και F_2.

1) ***Το ιονοσφαιρικό στρώμα D.*** Αυτό αρχίζει από ύψος 60 km από την επιφάνεια της γης και εκτείνεται μέχρι το ύψος 90 km. Η μέγιστη ηλεκτρονική πυκνότητά του (ένταση ιονισμού) είναι 10^3 ηλεκτρόνια ανά cm^3 στο ύψος των 70 km. Η ηλεκτρονική πυκνότητα του στρώματος D μεταβάλλεται με τη γωνία εισόδου των ηλιακών ακτίνων στο χώρο του και έτσι αυτή γίνεται μέγιστη τις μεσημβρινές ώρες. Επίσης, η ηλεκτρονική πυκνότητα είναι μεγαλύτερη το καλοκαίρι και μικρότερη το χειμώνα.

2) ***Το ιονοσφαιρικό στρώμα E.*** Αυτό εκτείνεται από τα 90 km μέχρι τα 130 km από την επιφάνεια της γης και την ημέρα έχει μέση ηλεκτρονική πυκνότητα 10^5 ηλεκτρόνια ανά cm^3. Τη νύκτα η ηλεκτρονική πυκνότητά του ελαττώνεται σημαντικά. Όπως και στο στρώμα D, η ηλεκτρονική πυκνότητα παρουσιάζει ημερήσια και ετήσια μεταβολή, λόγω της μεταβολής της ηλιακής δραστηριότητας. Μία άλλη παράμετρος μεταβολής της ηλεκτρονικής πυκνότητας των στρωμάτων D και E είναι το γεωγραφικό πλάτος, επειδή και η ηλιακή δραστηριότητα μεταβάλλεται ανάλογα με το συνημίτονο του πλάτους φ. Έτσι ανάλογη μεταβολή ακολουθεί και η ηλεκτρονική πυκνότητα των στρωμάτων αυτών.

3) ***Το ιονοσφαιρικό στρώμα F_1.*** Αυτό εμφανίζεται σε ύψος μεγαλύτερο από 160 km και έχει μέγιστη ηλεκτρονική πυκνότητα 4×10^5 ηλεκτρόνια ανά cm^3 στος ύψος των 200 km. Ακολουθεί και αυτό τις μεταβολές του στρώματος E.

4) ***Το ιονοσφαιρικό στρώμα F_2.*** Αυτό εκτείνεται σε ύψος από 280 km μέχρι 370 km. Η μέγιστη ηλεκτρονική πυκνότητα φθάνει τα 10^6 ηλεκτρόνια ανά cm^3 και παρατηρείται σε ύψος 300 km την ημέρα και 360 km τη νύκτα. Η μεταβολή της ηλεκτρονικής πυκνότητας στο χρόνο και στο χώρο είναι ακανόνιστη.

Σημειώνεται, ότι η ηλεκτρονική πυκνότητα στο χώρο του στρώματος αυτού είναι μεγαλύτερη το χειμώνα από το καλοκαίρι. Η ανωμαλία αυτή, κατά ένα μέρος οφείλεται στη διαστολή που παρατηρείται στην περιοχή του κατά το καλοκαίρι, λόγω της πολύ υψηλής θερμοκρασίας.

β) Τη νύκτα. Επειδή περιορίζεται η ηλιακή δραστηριότητα, το στρώμα D εξαφανίζεται. Το στρώμα F_1 ανεβαίνει, ενώνεται με το στρώμα F_2 και σχηματίζουν το στρώμα F. Έτσι, τη νύκτα η ιονόσφαιρα αποτελείται από δύο στρώματα, το στρώμα E και το στρώμα F.

γ) Μη κανονικά στρώματα. Στο χώρο της ιονόσφαιρας παρατηρούνται και δύο μη κανονικά στρώματα, το σποραδικό E και το διάχυτο F.

1) ***Το σποραδικό στρώμα E.*** Αυτό παρεμβάλλεται στο χώρο του κανονικού στρώματος E, σε ύψος 100-110 km, κατά τη διάρκεια της ημέρας και της νύκτας. Είναι τοπικές αυξήσεις της ηλεκτρονικής πυκνότητας, η οποία ανέρχεται σε 10^6 ηλεκτρόνια ανά cm^3. Η έκτασή του έχει διάμετρο 100-200 km και η μέση διάρκεια υπάρξεώς του κυμαίνεται από 2-3 ώρες.

2) ***Το διάχυτο στρώμα F*** σύγκειται από ανομοιογένειες της ηλεκτρονικής πυκνότητας του στρώματος F. Δηλαδή μικρής εκτάσεως τοπικές αυξήσεις ή ελαττώσεις της ηλεκτρονικής πυκνότητας, που εναλλάσσονται χρονικά.

δ) Η επίδραση της ιονόσφαιρας στη διάδοση. Κατά τη διάδοση των ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων στην ιονόσφαιρα, τα ελεύθερα ηλεκτρόνια στο χώρο των στρωμάτων της εξαναγκάζονται σε ταλάντωση. Αυτό σημαίνει, ότι στο χώρο των στρωμάτων της ιονόσφαιρας υπάρχει αγωγιμότητα. Η αγωγιμότητα αυτή προκαλεί ελάττωση της ταχύτητας διαδόσεως των ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων, που έχει σαν συνέπεια τη διάθλαση των ακτίνων του κύματος. Η μεγαλύτερη διάθλαση παρατηρείται όταν στις ταλαντώσεις των ηλεκτρονίων επικρατούν συνθήκες συντονισμού. Όταν δεν επικρατούν συνθήκες συντονισμού και η ταλάντωση των ελευθέρων ηλεκτρονίων είναι εξαναγκασμένη, λόγω του μεγάλου αριθμού συγκρούσεων ελευθέρων ηλεκτρονίων και ιόντων απορροφάται ενέργεια και το διαδιδόμενο κύμα εξασθενίζει. Τη μεγαλύτερη εξασθένιση την προκαλεί το ιονοσφαιρικό στρώμα D, που έχει μικρή ηλεκτρονική πυκνότητα.

Έτσι, κατά τη διάρκεια της ημέρας, που υπάρχει το στρώμα D, έχομε κύματα χώρου στην περιοχή των πολύ χαμηλών συχνοτήτων (V.L.F.) και στη μισή κατώτερη περιοχή (30-150 kc/s) των χαμηλών συχνοτήτων (L.F.). Όμως, δεν έχομε κύματα χώρου στη μισή ανώτερη περιοχή (150-300 kc/s) των χαμηλών συχνοτήτων (L.F.) και στην περιοχή των μεσαίων συχνοτήτων (M.F.), επειδή στις συχνότη-

τες αυτές η ηλεκτρομαγνητική ενέργεια απορροφάται από το στρώμα D.

Στις υψηλές συχνότητες όμως, οι ταλαντώσεις των ελευθέρων ηλεκτρονίων στο χώρο του στρώματος D πλησιάζουν το συντονισμό και έτσι δεν απορροφάται σημαντικό ποσό ενέργειας. Η εξασθένιση στις συχνότητες αυτές ελαττώνεται με ρυθμό αντίστροφα ανάλογο προς το τετράγωνο της συχνότητας. Έτσι οι ακτίνες των κυμάτων των υψηλών συχνοτήτων (H.F.), αφού υποστούν μικρή εξασθένιση, διαπερνούν το στρώμα αυτό και παθαίνουν μικρή διάθλαση κατά τη διέλευσή τους στο χώρο του. Για τον ίδιο λόγο διαπερνούν και το στρώμα E και εισχωρούν στο χώρο των στρωμάτων F_1 και F_2. Επειδή τα στρώματα αυτά έχουν μεγαλύτερη ηλεκτρονική πυκνότητα, η διάθλαση των ακτίνων των ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων στο χώρο τους είναι μεγαλύτερη. Η συνεχής διάθλαση των ακτίνων στα στρώματα αυτά μοιάζει με ανάκλαση, γι' αυτό δεχόμαστε ότι τα κύματα υψηλών συχνοτήτων ανακλώνται στα στρώματα F_1 και F_2 της ιονόσφαιρας. Οι ακτίνες που ανακλώνται διαπερνούν προς τα κάτω τα στρώματα E και D, όπου παθαίνουν πάλι μικρή διάθλαση και επιστρέφουν στην επιφάνεια της γης σε μεγάλη απόσταση από την κεραία εκπομπής. Τα κύματα αυτά, που επιστρέφουν στη γη, ονομάζονται ***κύματα απλού άλματος F*** (one hop F waves). Κατά την πρόσπτωσή τους στην επιφάνεια της γης οι ακτίνες ανακλώνται πάλι προς την ιονόσφαιρα, ειδικά όταν η επιφάνεια της γης είναι υγρή (παρουσιάζει αγωγιμότητα). Οι ακτίνες αυτές ανακλώνται για δεύτερη φορά στα στρώματα F_1 και F_2 και επιστρέφουν πάλι στην επιφάνεια της γης σε διπλάσια απόσταση από την κεραία εκπομπής. Έτσι προκύπτουν ***κύματα διπλού άλματος F*** (two hop F waves). Επειδή τα άλματα αυτά καλύπτουν πολύ μεγάλες αποστάσεις, γι' αυτό εξασφαλίζουν τη διάδοση σε πολύ μεγάλες αποστάσεις. Αυτός είναι ο λόγος που οι υψηλές συχνότητες (βραχέα κύματα) χρησιμοποιούνται στις τηλεπικοινωνίες μεγάλων αποστάσεων.

Από τις πολύ υψηλές συχνότητες (V.H.F.) και πάνω η ιονόσφαιρα είναι διαφανής. Έτσι, όταν κύματα των συχνοτήτων αυτών διέρχονται μέσα από τα στρώματα της ιονόσφαιρας, ελαττώνεται η ταχύτητα διαδόσεώς τους και οι ακτίνες τους παθαίνουν μικρή διάθλαση. Πολλές φορές όμως έχουν παρατηρηθεί κύματα χώρου μέχρι και τη συχνότητα των 70 Mc/s. Αυτά προέρχονται από ανάκλαση των ακτίνων τους στο σποραδικό στρώμα E. Επειδή όμως είναι ασταθή, δεν είναι εκμεταλλεύσιμα.

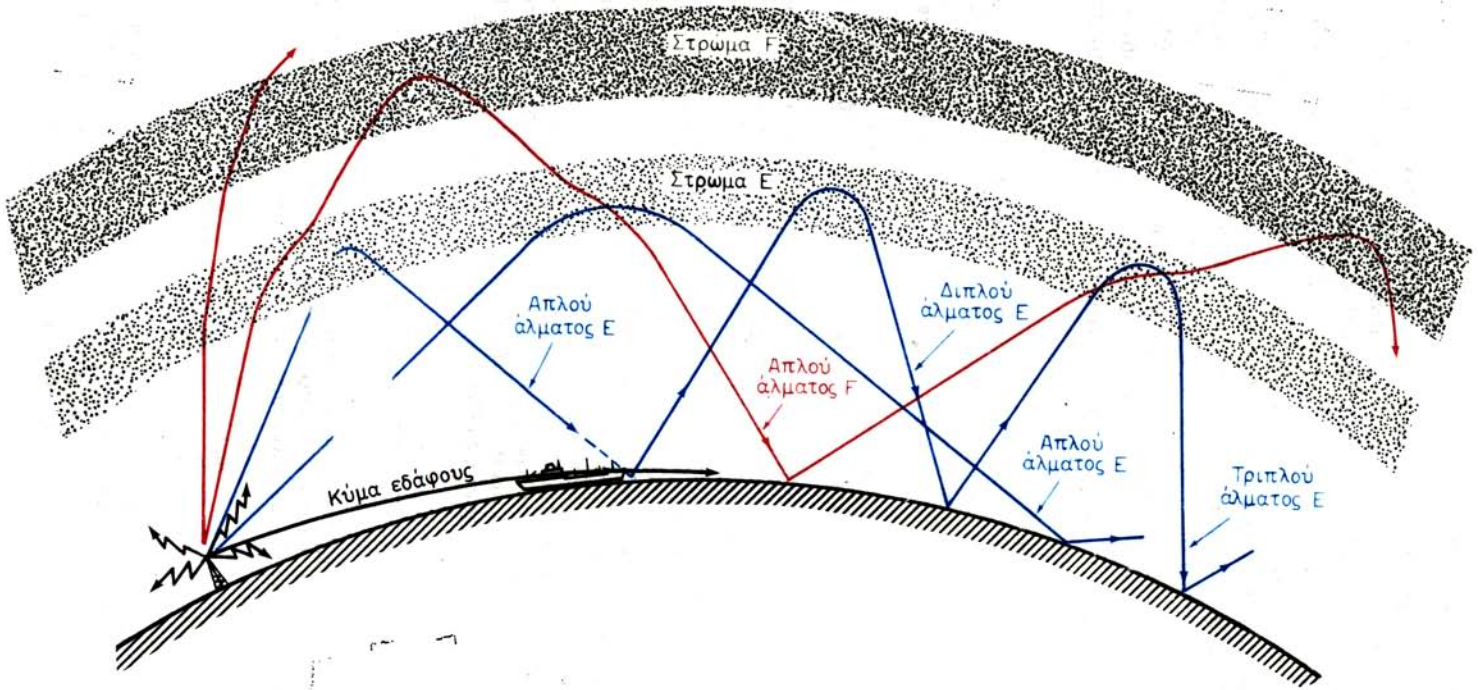
Όπως είπαμε, κατά τη διάρκεια της νύκτας, η ιονόσφαιρα αποτελείται από τα δύο στρώματα E και F (σχ. 1.4α). Έτσι τα κύματα των πολύ χαμηλών, των χαμηλών και των μεσαίων συχνοτήτων (V.L.F., L.F. & M.F.) συναντούν κατευθείαν το στρώμα E, το οποίο, λόγω της μεγαλύτερης ηλεκτρονικής πυκνότητάς του, δεν απορροφά σημαντικό ποσό ενέργειας. Κατά τη διάδοσή τους μέσα στο στρώμα E, οι ακτίνες των ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων των συχνοτήτων αυτών διαθλώνται συνεχώς. Η διάθλαση είναι ανάλογη με τη γωνία εισόδου των ακτίνων στο στρώμα E. Έτσι η συνολική διάθλαση ορισμένων ακτίνων ισοδυναμεί με ανάκλαση, μετά από την οποία επιστρέφουν στη γη ως ***κύματα απλού άλματος E*** (one hop E waves). Μετά από την ανάκλαση των ακτίνων αυτών στην επιφάνειά της και την αντανάκλασή τους στο στρώμα E, προκύπτουν ***κύματα διπλού άλματος E*** (two hop E waves). Όσες ακτίνες υποστούν μικρότερη διάθλαση, εισχωρούν στο στρώμα F. Πολλές από τις ακτίνες αυτές ανακλώνται στο στρώμα F και προκύπτουν ***κύματα απλού άλματος*** F (one hope F waves) και ακολούθως ***διπλού άλματος*** F (two hop F waves) (σχ. 1.4α).

Τα κύματα απλού άλματος E είναι αρκετά σταθερά και χρησιμοποιούνται στα συστήματα ραδιοναυσιπλοΐας. Τα κύματα όμως διπλού άλματος E, απλού άλματος F και διπλού άλματος F είναι ασταθή και γι' αυτό δεν χρησιμοποιούνται στα συστήματα ραδιοναυσιπλοΐας. Το μήκος κάθε άλματος είναι ανάλογο με τη γωνία εισόδου της ακτίνας στο αντίστοιχο στρώμα. Εξαρτάται όμως και από το μήκος κύματος· στις χαμηλότερες συχνότητες το άλμα είναι μεγαλύτερου μήκους.

Όπως φαίνεται στο σχήμα 1.4α, για τις περιοχές συχνοτήτων V.L.F., L.F. και M.F. και σε μικρές αποστάσεις από το σταθμό λαμβάνονται μόνο κύματα εδάφους. Μετά ακολουθούν ενδιάμεσες αποστάσεις, όπου λαμβάνονται κύματα εδάφους και ιονοσφαιρικά κύματα απλού άλματος E. Η λήψη κυμάτων εδάφους και ιονοσφαιρικών κυμάτων απλού άλματος E στις αποστάσεις αυτές δημιουργεί προβλήματα στη λειτουργία των οργάνων ραδιοναυσιπλοΐας. Τα προβλήματα αυτά οφείλονται στην αλλοίωση της φάσεως του κύματος εδάφους, στη διαφοροποίηση της πολώσεως και στην αναγνώριση του κύματος εδάφους και του ιονοσφαιρικού κύματος. Στη συνέχεια ακολουθούν αποστάσεις, όπου λαμβάνονται μόνο κύματα απλού άλματος E και τέλος αποστάσεις, όπου λαμβάνονται κύματα απλού άλματος E, διπλού άλματος E, απλού άλματος F κλπ.

Σημειώνεται, ότι στις υψηλές συχνότητες (H.F.), στις οποίες το κύμα εδάφους θεωρείται πρακτικά ανύπαρκτο επικρατεί ***ζώνη σιγής*** (skip zone) μέχρι τις αποστάσεις εκείνες από το σταθμό εκπομπής, που επιστρέφουν οι πρώτες ακτίνες απλού άλματος F.

ΔΡΥΜΑ ΣΥΓΓΡΑΦΕΩΝ 1954



Σχ. 1.4α.
Ιονοσφαιρική διάδοση στα στρώματα Ε και F.

ΙΔΡΥΜΑ ΕΥΓΕΝΙΔΟΥ 1956

1.4.3 Διάδοση με κύματα χώρου.

Κατά τη διάδοση με κύματα χώρου τα ηλεκτρομαγνητικά κύματα διαδίδονται μέσα στην τροπόσφαιρα, γι' αυτό ονομάζεται και ***τροποσφαιρική διάδοση.***

Τα κύματα χώρου αποτελούνται από απευθείας κύματα (direct waves) και ανακλόμενα κύματα (reflected waves) κυρίως στο έδαφος. Με αυτά διαδίδονται τα ηλεκτρομαγνητικά κύματα των πολύ υψηλών συχνοτήτων (V.H.F), των υπερυψηλών συχνοτήτων (U.H.F., S.H.F) και των άκρως υψηλών συχνοτήτων (E.H.F.), δηλαδή τα υπερβραχέα κύματα και τα μικροκύματα. Επειδή στις περιοχές αυτές το μήκος κύματος είναι πολύ μικρό, οι ακτίνες, που προσπίπτουν στην επιφάνεια της γης ή σε άλλα αντικείμενα, ανακλώνται προς την τροπόσφαιρα και ανάλογα με τη φάση τους ενισχύουν ή εξασθενίζουν τις απευθείας ακτίνες. Ακτίνες που κατευθύνονται στην ιονόσφαιρα τη διαπερνούν και κατά τη διάδοσή τους στα στρώματά της παθαίνουν μικρή διάθλαση ανάλογα με τη γωνία εισόδου τους.

Τροπόσφαιρα ονομάζεται το κατώτερο στρώμα της ατμόσφαιρας, που αρχίζει από την επιφάνεια της γης και εκτείνεται μέχρι μέσο ύψος 10 km. Στις πολικές περιοχές το ύψος της τροπόσφαιρας περιορίζεται στα 6 km, ενώ στην περιοχή του ισημερινού φθάνει στο ύψος των 18 km. Σύμφωνα με τις διεθνείς ατμοσφαιρικές σταθερές (international standar atmospheris), οι βασικές παράμετροι της τροπόσφαιρας είναι: η βαρομετρική πίεση (barometric pressure), η θερμοκρασία (temperature) και η σχετική υγρασία (relative humidity).

- Στην επιφάνεια της θάλασσας, η μέση τιμή της βαρομετρικής πιέσεως είναι 1015 mbrs και σε συνάρτηση με το ύψος ελαττώνεται γραμμικά κατά 120 mbrs ανά 1000 m ύψους (36 mbrs ανά 1000 ft ύψους).
- Στην επιφάνεια της θάλασσας, η μέση θερμοκρασία είναι 15°C και σε συνάρτηση με το ύψος ελαττώνεται γραμμικά κατά 6°C ανά 1000m ύψος (2°C ανά 1000 ft ύψους).
- Η μέση τιμή της σχετικής υγρασίας είναι 60% και παραμένει σταθερή σε όλο το ύψος της τροπόσφαιρας.

Στην κανονική αυτή τροπόσφαιρα ο δείκτης διαθλάσεως ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας, που στην επιφάνεια της θάλασσας είναι 1,000325, σε συνάρτηση με το ύψος ελαττώνεται γραμμικά κατά 0,000043 ανά 1000 m ύψος (0,000013 ανά 1000 ft ύψος) (σχ. 1.4β).

Ως δείκτης διαθλάσεως n ορίζεται ο λόγος της ταχύτητας διαδόσεως στο κενό u_0 προς την ταχύτητα διαδόσεως σε ένα μέσο u, δηλαδή $n = u_0/u$.

Σύμφωνα με το νόμο του Shell, το μέγεθος της διαθλάσεως κατά τη διέλευση κύματος από δύο διαφορετικά μέσα είναι ίσο με τη σταθερά $\eta\mu.\theta_1/\eta\mu.\theta_2$ [σχ. 1.4γ(α)], όπου θ_1 η γωνία της αρχικής κατευθύνσεως της ακτίνας και θ_2 η γωνία της τελικής κατευθύνσεως της ακτίνας μετά τη διάθλασή της. Αν λάβομε υπόψη μας τους δείκτες διαθλάσεως n_1 και n_2 των δύο μέσων έχομε:

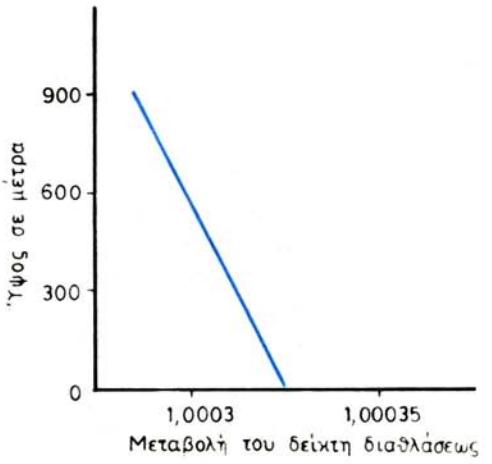
$$\frac{\eta\mu.\,\theta_1}{\eta\mu.\theta_2} = \frac{n_2}{n_1} = \frac{u_1}{u_2}$$

Όταν οι γωνίες της αρχικής και της τελικής κατευθύνσεως της ακτίνας μετρούνται σε σχέση με την επιφάνεια σφαίρας, όπως συμβαίνει με τα σφαιρικά στρώματα διαφορετικού δείκτη διαθλάσεως της τροπόσφαιρας [σχ. 1.4γ (β)], με ικανοποιητική προσέγγιση ισχύει:

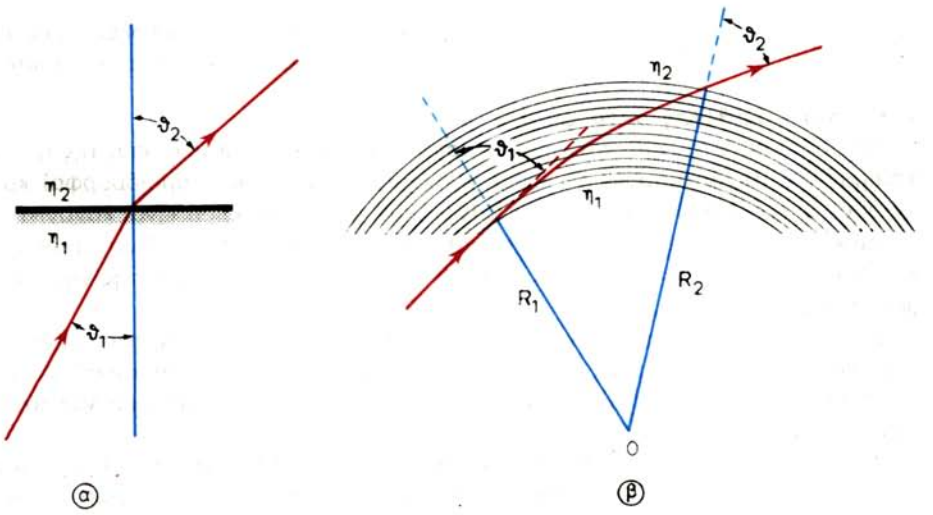
$$\frac{\eta\mu\theta_1}{\eta\mu\theta_2} = \frac{n_2R_2}{n_1R_1}$$

όπου R_1 και R_2 οι ακτίνες της επιφάνειας του πρώτου και του τελευταίου σφαιρικού στρώματος.

Έτσι κατά τη διάδοση ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων των συχνοτήτων V.H.F., U.H.F., S.H.F. και E.H.F. μέσα στην κανονική τροπόσφαιρα, που δεν είναι ομοιογενής, η ταχύτητα διαδόσεώς τους μεταβάλλεται αντιστρόφως ανάλογα με το δείκτη διαθλάσεως. Δηλαδή, καθώς τα κύματα διαδίδονται, όταν ανέρχονται σε μεγαλύτερο ύψος η ταχύτητα διαδόσεώς τους αυξάνεται, με αποτέλεσμα οι ακτί-



Σχ. 1.4β.
Μεταβολή του δείκτη διαθλάσεως.



Σχ. 1.4γ.
Διάθλαση ακτίνων ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων.

νες διαδόσεως των κυμάτων να διαθλώνται προς τα κάτω. Από τη συνεχή αυτή διάθλαση, οι ακτίνες των κυμάτων καμπυλώνονται συνέχεια προς την επιφάνεια της γης. Έτσι αυτές δεν ακολουθούν ευθύγραμμη τροχιά, αλλά τροχιά τόξου περιφέρειας κύκλου με ακτίνα 4/3 R όπου R, η ακτίνα της γης.

Για να υπολογίζομε την απόσταση, στην οποία θα ληφθεί ένα κύμα τροποσφαιρικής διαδόσεως, θεωρούμε ότι η διάδοση είναι ευθύγραμμη και ότι η γη έχει καμπυλότητα σφαίρας με ακτίνα 4/3 R, όπου πάλι R η πραγματική ακτίνα της γης. Πολλές φορές όμως, ορισμένες καιρικές συνθήκες αλλοιώνουν την ομοιόμορφη (γραμμική) ελάττωση του δείκτη διαθλάσεως και τη διάθλαση των ακτίνων των ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων κατά τη διάδοσή τους μέσα στην τροπόσφαιρα.

Πάντως, αντικείμενο για μελέτη αποτελεί η διάδοση δέσμης μικροκυμάτων (microwaves), δηλαδή

ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων των συχνοτήτων που χρησιμοποιούνται στα ραντάρ και ακτινοβολούνται με μορφή δέσμης. Οι συχνότητες αυτές είναι υψηλότερες από 1000 Mc/s και το αντίστοιχο μήκος κύματος είναι μικρότερο από 30 cm.

Δέσμη ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων χρησιμοποιούν και οι ραδιοζεύξεις των τηλεπικοινωνιακών φερεσύχνων.

1.4.4 Διάδοση δέσμης ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων.

Η κεραία του ραντάρ εστιάζει τις ακτίνες των ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων που παράγει και τα εκπέμπει σε καθορισμένη λεπτή ***δέσμη*** (beam). Επίσης η ίδια κεραία λαμβάνει ηλεκτρομαγνητικά κύματα που έχουν αντίθετη φορά διαδόσεως από αυτά που εκπέμπει. Δηλαδή η δέσμη εκπομπής, που ονομάζεται και ***λοβός*** (lobe), είναι και δέσμη λήψεως. Ονομάζεται επίσης και ***δέσμη ακτινοβολίας*** (radiation beam).

Η χρησιμοποίηση της δέσμης ακτινοβολίας στο ραντάρ επιβάλλεται, γιατί μ' αυτήν εξασφαλίζεται η πληροφορία της διοπτεύσεως. Με την κεραία, που εκπέμπει με μορφή δέσμης και δέχεται από το χώρο κύματα της ίδιας δέσμης εξασφαλίζεται ότι:

- Η ισχύς που παράγεται από τον πομπό δεν ακτινοβολείται προς όλες τις κατευθύνσεις στο χώρο, όπου θα σπαταλιόταν άσκοπα, αλλά συγκεντρώνεται στο χώρο της δέσμης που είναι απαραίτητη.
- Η κεραία δε λαμβάνει τους θορύβους και τις παρεμβολές από όλες τις κατευθύνσεις του χώρου, που προκαλούν δυσχέρειες στη λειτουργία του ραντάρ.

α) Κανονική διάθλαση δέσμης.

Όπως είπαμε στην προηγούμενη παράγραφο, ο δείκτης διαθλάσεως της τροπόσφαιρας, σε συνάρτηση με το ύψος, ελαττώνεται γραμμικά (ομοιόμορφα) κατά 0,000043 ανά 1000 m ύψος (σχ. 1.4β), όταν η τροπόσφαιρα είναι κανονική. Η γραμμική αυτή ελάττωση του δείκτη διαθλάσεως προκαλεί καμπύλωση των ακτίνων της δέσμης ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων προς την επιφάνεια της γης, όπως φαίνεται στο σχήμα 1.4δ.

Όπως γνωρίζομε και οι ακτίνες φωτός, λόγω της μεταβολής της ταχύτητάς τους, κατά τη διάθλασή τους μέσα στα ανομοιογενή στρώματα της τροπόσφαιρας διαθλώνται προς τα κάτω. Για το λόγο αυτό ο ορατός ορίζοντας είναι μεγαλύτερος από το γεωμετρικό ορίζοντα.

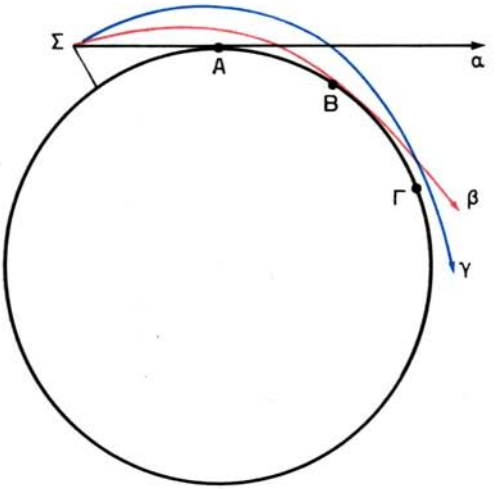
Οι ακτίνες της δέσμης των ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων όμως, επειδή έχουν μεγαλύτερο μήκος κύματος, παθαίνουν μεγαλύτερη διάθλαση (refraction). Έτσι ο ορίζοντας ραντάρ (radar horizon) ή ραδιοηλεκτρικός ορίζοντας (radio horizon) είναι μεγαλύτερος από τον ορατό ορίζοντα. Στο σχήμα 1.4ε (α) φαίνεται η καμπύλωση της δέσμης κατά την ***κανονική διάθλαση*** (normal refraction) των ακτίνων της μέσα στην κανονική τροπόσφαιρα.

Πολλές φορές οι παράμετροι της τροπόσφαιρας δεν παρουσιάζουν κανονική μεταβολή. Τότε η ελάττωση του δείκτη διαθλάσεως δεν είναι γραμμική και κατά τη διάδοση της δέσμης ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων παρατηρούνται ανωμαλίες, από τις οποίες άλλες ευνοούν και άλλες δυσχεραίνουν τη λειτουργία του ραντάρ.

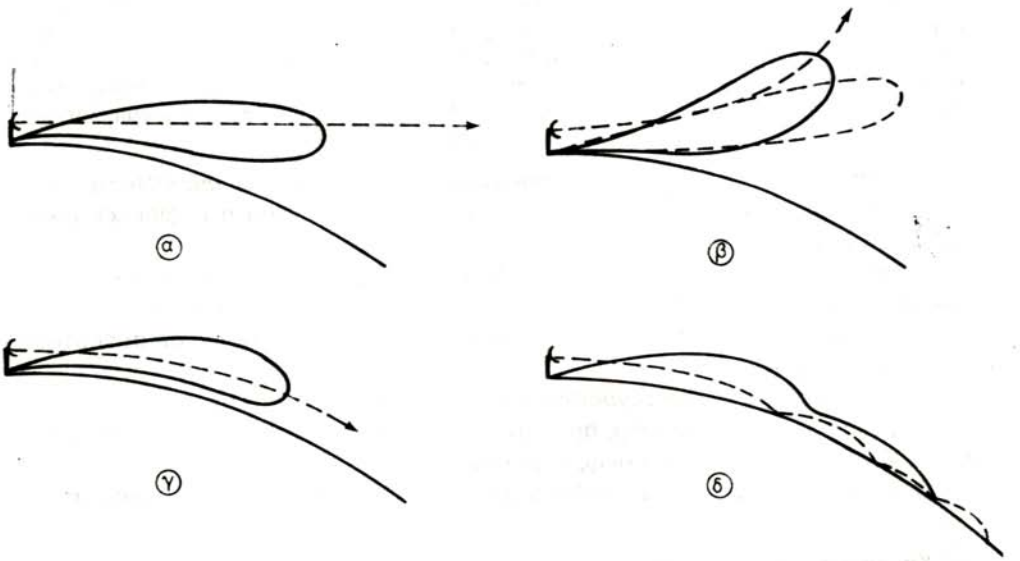
β) Υποκανονική διάθλαση.

Μπορεί, η ελάττωση του δείκτη διαθλάσεως σε συνάρτηση με το ύψος να είναι μικρότερη από την κανονική, οπότε η διάθλαση των ακτίνων της δέσμης προς τα

ΕΛΛΗΝΙΚΟ ΚΕΝΤΡΟ ΕΥΡΕΤΗΡΙΟΥ 1954

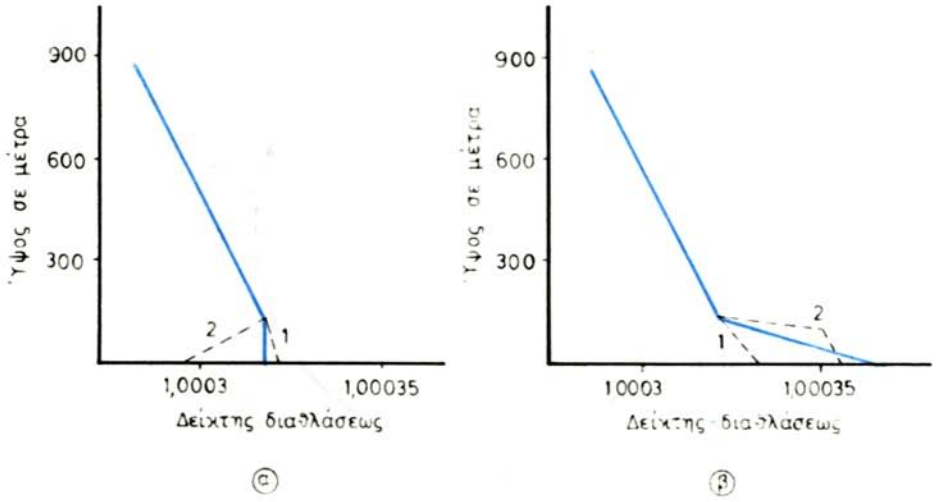


Σχ. 1.4δ.
Διάθλαση των ακτίνων.
α Εφαπτομένη από το σημείο Σ. β Οπτική ακτίνα. γ Ραδιοηλεκτρική ακτίνα.



Σχ. 1.4ε.
α) Κανονική διάθλαση. β) Υποκανονική διάθλαση. γ) Υπερδιάθλαση. δ) Παγίδευση.

κάτω είναι μικρότερη. Επίσης, είναι δυνατό, ο δείκτης διαθλάσεως να παραμένει σταθερός ή ακόμα και να αυξάνει, όπως φαίνεται στο σχήμα 1.4στ (α). Η σταθερή τιμή του δείκτη διαθλάσεως έχει ως αποτέλεσμα την ευθύγραμμη διάδοση των ακτίνων της δέσμης, ενώ η αύξηση της τιμής του συνεπάγεται καμπύλωση (διάθλαση) των ακτίνων της δέσμης προς τα πάνω, όπως φαίνεται στο σχήμα 1.4ε (β).



Σχ. 1.4στ.

α) Η συνεχής καμπύλη αντιπροσωπεύει σταθερό δείκτη διαθλάσεως μέχρι το ύψος 150 m, πάνω από το οποίο η ελάττωση είναι κανονική. Η διακοπτόμενη καμπύλη (1) αντιπροσωπεύει ελάττωση του δείκτη μικρότερη από την κανονική μέχρι 150 m ύψος. Η διακοπτόμενη καμπύλη (2) αντιπροσωπεύει μεγάλη αύξηση του δείκτη διαθλάσεως μέχρι τα 150 m ύψος. β) Η συνεχής καμπύλη αντιπροσωπεύει ελάττωση του δείκτη διαθλάσεως πολύ μεγαλύτερη από την κανονική μέχρι το ύψος 150 m, πάνω από το οποίο γίνεται κανονική. Η διακοπτόμενη καμπύλη (1), αντιπροσωπεύει ελάττωση του δείκτη διαθλάσεως λίγο μεγαλύτερη από την κανονική μέχρι 150 m ύψος. Η διακοπτόμενη καμπύλη (2) αντιπροσωπεύει κανονική ελάττωση του δείκτη με το ύψος 75 m και απότομη ελάττωση του δείκτη από τα 75 m μέχρι τα 150 m ύψος.

Το φαινόμενο αυτό ονομάζεται ***υποκανονική διάθλαση*** ή ***υποδιάθλαση*** (sub-refraction) και προκαλεί την ελάττωση του ορίζοντα ραντάρ ή ραδιοηλεκτρικού ορίζοντα μέχρι και 40%.

Οι παραπάνω ανωμαλίες στη μεταβολή του δείκτη διαθλάσεως και οι αντίστοιχες περιπτώσεις υποκανονικής διαθλάσεως οφείλονται αντίστοιχα σε:

- Μεγαλύτερη από την κανονική ελάττωση της θερμοκρασίας σε συνάρτηση με το ύψος.
- Αύξηση της σχετικής υγρασίας σε συνάρτηση με το ύψος.
- Συνδυασμό μεγαλύτερης από την κανονική ελαττώσεως της θερμοκρασίας και αυξήσεως της σχετικής υγρασίας.

Οι ανωμαλίες αυτές παρατηρούνται στα κατώτερα στρώματα της τροπόσφαιρας και στις πολικές περιοχές.

γ) Υπερκανονική διάθλαση.

Όταν η ελάτωση του δείκτη διαθλάσεως σε συνάρτηση με το ύψος είναι μεγαλύτερη από την κανονική, οι ακτίνες της δέσμης ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων καμπυλώνονται περισσότερο προς την επιφάνεια της γης, όπως στο σχήμα 1.4ε (γ). Το φαινόμενο αυτό ονομάζεται ***υπερκανονική διάθλαση*** ή ***υπερδιάθλαση*** (super-refraction) και έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση του ορίζοντα ραντάρ ή ραδιοηλεκτρικού ορίζοντα μέχρι και 60%. Οι καμπύλες του σχήματος 1.4στ (β) αντιπροσωπεύουν τις συνήθεις ανωμαλίες στη μεταβολή του δείκτη διαθλάσεως, που προκαλούν υπερκανονική διάθλαση. Έτσι:

- Η συνεχής καμπύλη αντιπροσωπεύει ελάττωση του δείκτη διαθλάσεως πολύ μεγαλύτερη από την κανονική μέχρι τα 150 m ύψος, πάνω από το οποίο η ελάττωση επανέρχεται στην κανονική τιμή της. Το φαινόμενο αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι διατηρείται η θερμοκρασία σε σταθερή τιμή μέχρι το ύψος αυτό, αντί να ελαττώνεται ή στο ότι ελαττώνεται η σχετική υγρασία αντί να διατηρείται σταθερή. Στην περίπτωση αυτή οι ακτίνες της δέσμης διαθλώνται προς την επιφάνεια της γης τόσο, που σχεδόν ακολουθούν την καμπυλότητά της.
- Η διακεκομμένη καμπύλη «1» του σχήματος 1.4στ (β) αντιπροσωπεύει ελάττωση του δείκτη διαθλάσεως λίγο μεγαλύτερη από την κανονική μέχρι τα 150 m ύψος. Αυτή οφείλεται σε ελάττωση της θερμοκρασίας λίγο μικρότερη από την κανονική και προκαλεί μικρή υπερδιάθλαση των ακτίνων της δέσμης.

δ) Παγίδευση της δέσμης.

Η διακεκομμένη καμπύλη «2» του σχήματος 1.4στ (β) αντιπροσωπεύει κανονική ελάττωση του δείκτη διαθλάσεως μέχρι τα 75 m ύψος, ενώ από τα 75 m μέχρι τα 150 m παρατηρείται πολύ μεγάλη ελάττωση. Πάνω από τα 150 m η ελάττωση επανέρχεται στην κανονική της τιμή. Η ανωμαλία αυτή οφείλεται σε αναστροφή της θερμοκρασίας στο στρώμα αυτό της τροπόσφαιρας που συνδυάζεται με απότομη ελάττωση της σχετικής υγρασίας.

Κάτω από αυτές τις μεταβολές του δείκτη διαθλάσεως, οι κατώτερες ακτίνες της δέσμης ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων, που διαδίδονται μέχρι το ύψος των 75 m, παθαίνουν κανονική διάθλαση. Όμως οι μεσαίες ακτίνες της δέσμης, πού κατά τη διάδοσή τους εισχωρούν στο στρώμα της τροπόσφαιρας από τα 75 μέχρι τα 150 m ύψος, παθαίνουν πολύ μεγάλη διάθλαση, η οποία ισοδυναμεί με ανάκλαση. Έτσι οι ακτίνες ανακλώνται στο στρώμα αυτό και επιστρέφουν στην επιφάνεια της γης (θάλασσας ή εδάφους) [σχ. 1.4ε(δ)], όπου ανακλώνται με τη γωνία που προσπίπτουν. Αυτό συμβαίνει γιατί η επιφάνεια της γης και ιδιαίτερα η επιφάνεια της θάλασσας είναι λεία και αρκετά αγώγιμη. Μετά την ανάκλασή τους αυτή επανέρχονται στο παραπάνω στρώμα της τροπόσφαιρας, όπου ανακλώνται για δεύτερη φορά και με την ίδια γωνία, οπότε επιστρέφουν για δεύτερη φορά στην επιφάνεια της γης. Το φαινόμενο αυτό επαναλαμβάνεται και με τις συνεχείς ανακλάσεις, ακολουθούν κατά τη διάδοσή τους την επιφάνεια της γης και εξασφαλίζουν την υπερβολική αύξηση του ορίζοντα ραντάρ.

Μπορούμε δηλαδή να πούμε ότι το στρώμα αυτό της τροπόσφαιρας συμπεριφέρεται ως αγώγιμη επιφάνεια, η οποία με την αγώγιμη και λεία επιφάνεια της θάλασσας δημιουργούν ραδιαγωγό (κυματοδηγό-waveguide). Μέσα στο ραδιαγωγό αυτό, οι μεσαίες ακτίνες της δέσμης παγιδεύονται και με διαδοχικές ανακλάσεις διαδίδονται σε πολύ μεγάλες αποστάσεις. Αυτός ο τρόπος διαδόσεως των μεσαίων ακτίνων της δέσμης ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων ονομάζεται ***παγίδευση*** (ducting).

Οι ανώτερες ακτίνες της δέσμης, που εισέρχονται στο στρώμα αυτό της τροπόσφαιρας με μεγαλύτερη γωνία, παθαίνουν μικρότερη διάθλαση και αφού εξέλθουν από την επάνω επιφάνεια του στρώματος εισέρχονται σε στρώματα κανονικής διαθλάσεως και δεν επιστρέφουν στη γη. Συνεπώς ***παγίδευση παθαίνουν μόνο οι μεσαίες ακτίνες της δέσμης.***

ΔΡΥΜΑ ΣΥΓΧΡΟΝΟ 1954

Προφανώς, αφού το φαινόμενο της παγιδεύσεως αυξάνει τον ορίζοντα ραντάρ, είναι ευνοϊκό για τη λειτουργία του ραντάρ. Πολλές φορές από ραντάρ πολεμικών πλοίων με συνθήκες παγιδεύσεως έχουν ανιχνευθεί στόχοι σε τριπλάσια απόσταση από την κανονική. Η μέτρηση όμως της αποστάσεως των στόχων που ανιχνεύονται με παγιδευμένες ακτίνες δεν είναι ακριβής επειδή αυτές διαδίδονται με συνεχείς ανακλάσεις. Επίσης, όταν κατά τη λειτουργία του ραντάρ επικρατούν συνθήκες παγιδεύσεως, εμφανίζονται στο ραντάρ ***ψευδοηχοί*** επόμενης διαδρομής, για τις οποίες θα μιλήσομε αργότερα.

Η παγίδευση ευνοεί πολύ τη λειτουργία των σταθμών αναμεταδόσεως των τηλεφωνικών φερεσύχνων ασύρματης ζεύξεως, γιατί επιτρέπει σημαντική αύξηση της μεταξύ τους αποστάσεως. Πολλές φορές όμως γίνεται αιτία παρεμβολών μεταξύ τέτοιων σταθμών, που λειτουργούν στις περιοχές V.H.F. και U.H.F., οι οποίες δυσχεραίνουν την τηλεφωνική επικοινωνία.

1.4.5 Πρόγνωση συνθηκών ανώμαλης διαθλάσεως.

Αξιόπιστη πρόγνωση για τις συνθήκες διαδόσεως των ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων δεν είναι δυνατή. Αυτό οφείλεται στο μεγάλο αριθμό των παραμέτρων, που επηρεάζουν τη διάδοση και στην έλλειψη των απαραιτήτων μετεωρολογικών πληροφοριών. Γι' αυτό κρίνεται απαραίτητη η γνώση ορισμένων μετεωρολογικών φαινομένων, τα οποία επηρεάζουν τη διάδοση.

Κατ' αρχήν, κάποια ανωμαλία διαδόσεως πρέπει να αναμένεται, όταν επικρατούν καιρικές συνθήκες ηρεμίας. Όταν επικρατούν ισχυροί άνεμοι ή συνθήκες αναταραχής στην ατμόσφαιρα, τα στρώματα αέρα αναμιγνύονται και η τροπόσφαιρα παραμένει κανονική. Τότε αποκλείονται έντονες μεταβολές του δείκτη διαθλάσεως και πρέπει να αναμένομε κανονική (ομαλή) διάδοση της δέσμης ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων. Σε περιοχές αντικυκλώνα, όπου η επιφάνεια της θάλασσας καλύπτεται από θερμό ξηρό αέρα, συνήθως παρατηρούνται φαινόμενα υπερδιαθλάσεως (super-refraction).

Κατά τους διάπλους ωκεανών, σπάνια συναντάμε ανωμαλίες διαδόσεως και μόνο σε περιοχές αντικυκλώνα ή σε περιοχές που επικρατούν ετήσιοι θερμοί άνεμοι παρατηρείται έντονη υπερδιάθλαση. Στις μικρές όμως θάλασσες τα φαινόμενα υπερδιαθλάσεως είναι συνηθισμένα, ιδιαίτερα κοντά στις ακτές. Στην περιοχή π.χ. της νότιας Μεσογείου κατά το 70% της διάρκειας του έτους επικρατούν συνθήκες υπερκανονικής διαθλάσεως.

Στις πολικές περιοχές συνήθως επικρατούν ψυχροί άνεμοι, που προέρχονται από την ψυχρή στεριά και πνέουν πάνω από τη θερμότερη θάλασσα. Έτσι προκαλείται απότομη ελάττωση της θερμοκρασίας σε συνάρτηση με το ύψος, η οποία πολλές φορές συνδυάζεται με αύξηση της σχετικής υγρασίας. Γι' αυτό στις πολικές περιοχές επικρατούν συνήθως συνθήκες υποκανονικής διαθλάσεως (sub-refraction).

Στις εύκρατες και τις τροπικές περιοχές αντίθετα, επικρατούν θερμοί άνεμοι, που πνέουν πάνω από τη σχετικά ψυχρή θάλασσα προς τη θερμότερη στεριά. Έτσι, σε συνάρτηση με το ύψος, προκαλείται ελάττωση της θερμοκρασίας μικρότερη από την κανονική ή σταθερή θερμοκρασία ή ελάττωση της σχετικής υγρασίας, ακόμα και συνδυασμός των δύο και παρατηρούνται φαινόμενα υπερκανονικής διαθλάσεως (super-refraction). Τις περισσότερες όμως φορές, όταν η διαφορά

θερμοκρασίας στεριάς-θάλασσας είναι μεγάλη, προκαλείται αναστροφή της θερμοκρασίας, η οποία συνδυάζεται με ελάττωση της σχετικής υγρασίας, οπότε παρατηρούνται φαινόμενα παγιδεύσεως (ducting).

1.4.6 Ορίζοντας ραντάρ — Απόσταση εντοπισμού στόχων.

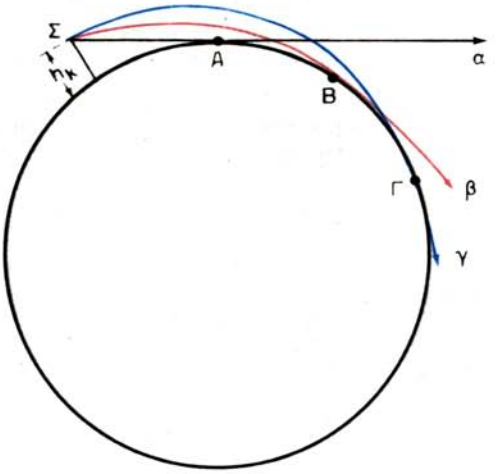
Στην επιφάνεια της θάλασσας η απόσταση του σημείου επαφής ευθείας από σημείο Σ (σχ. 1.4ζ), που βρίσκεται σε ορισμένο ύψος h ονομάζεται ***γεωμετρικός ορίζοντας*** (geometrical horizon).

Η οπτική ακτίνα όμως από το μάτι παρατηρητή, που βρίσκεται στο ίδιο σημείο Σ, λόγω διαθλάσεως παθαίνει καμπύλωση προς τα κάτω και εφάπτεται στην επιφάνεια της θάλασσας σε απόσταση μεγαλύτερη από εκείνη του γεωμετρικού ορίζοντα. Η μεγαλύτερη αυτή απόσταση, στην οποία βρίσκεται το σημείο επαφής της οπτικής ακτίνας, ***ονομάζεται ορατός ορίζοντας*** ή ***οπτικός ορίζοντας*** (optical horizon ή apparent horizon).

Οι ακτίνες της δέσμης ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων στις περιοχές των μικροκυμάτων, ενώ διαδίδονται με συνθήκες κανονικής διαθλάσεως στην κανονική τροπόσφαιρα, παθαίνουν μεγαλύτερη καμπύλωση από τις ακτίνες φωτός, επειδή έχουν μεγαλύτερο μήκος κύματος (χαμηλότερη συχνότητα). Έτσι οι εκπεμπόμενες ακτίνες δέσμης ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων από κεραία ραντάρ, που βρίσκεται στο σημείο Σ (σχ. 1.4ζ), εφάπτονται στην επιφάνεια της θάλασσας σε απόσταση μεγαλύτερη από εκείνη του ορατού ορίζοντα. Η μεγαλύτερη αυτή απόσταση, στην οποία βρίσκεται το σημείο επαφής των ακτίνων δέσμης ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων, ονομάζεται ***ραδιοηλεκτρικός ορίζοντας*** (radio horizon) ή ***ορίζοντας ραντάρ*** (radar horizon).

Για τον ορατό ορίζοντα, και κάτω από κανονικές ατμοσφαιρικές συνθήκες, ισχύει η σχέση:

$$D = 1{,}15\sqrt{h} \quad \text{ή} \quad D = 2{,}07\sqrt{H}$$



Σχ. 1.4ζ.
Οριζόντιο ραντάρ.
α) Εφαπτομένη από το σημείο Σ. β) Οπτική ακτίνα. γ) Ραδιοηλεκτρική ακτίνα.

όπου: D η απόσταση του ορατού ορίζοντα σε ναυτικά μίλια και h ή H το ύψος του οφθαλμού του παρατηρητή σε πόδια ή μέτρα αντίστοιχα.

Για τον ορίζοντα ραντάρ και κάτω από κανονικές ατμοσφαιρικές συνθήκες ισχύει η σχέση:

$$D = 1{,}22\sqrt{h} \quad \text{ή} \quad D = 2{,}2\sqrt{H}$$

όπου: D ο ορίζοντας ραντάρ σε ναυτικά μίλια και h ή H το ύψος της κεραίας σε πόδια ή μέτρα αντίστοιχα.

Στην περίπτωση του ραντάρ, ανάλογα με το ύψος κάθε στόχου, θα προσπίπτουν και θα ανακλώνται σ' αυτόν ακτίνες της δέσμης, που ακολουθούν κατά τη διάδοσή τους υψηλότερες τροχιές (σχ. 1.4η). Έτσι η απόσταση εντοπισμού κάθε στόχου θα είναι ίση με το άθροισμα του ραδιοηλεκτρικού ορίζοντα της κεραίας ραντάρ και του ραδιοηλεκτρικού ορίζοντα του στόχου, δηλαδή:

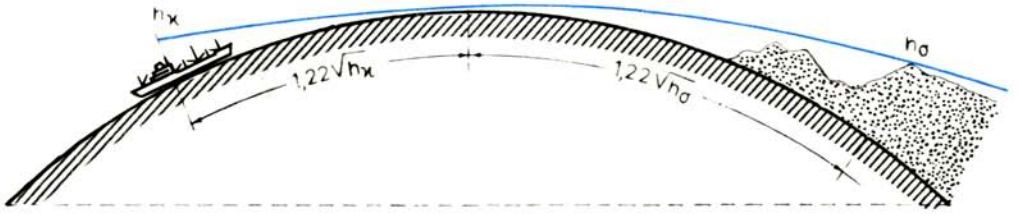
$$D = 1{,}22\,(\sqrt{h_\kappa} + \sqrt{h_\sigma}) \quad \text{ή} \quad D = 2{,}2(\sqrt{H_\kappa} + \sqrt{H_\sigma})$$

όπου: D η μέγιστη απόσταση εντοπισμού στόχου σε ναυτικά μίλια, h_κ ή H_κ το ύψος της κεραίας ραντάρ σε πόδια ή μέτρα αντίστοιχα και h_σ ή H_σ το ύψος του στόχου σε πόδια ή μέτρα αντίστοιχα.

Η μέγιστη αυτή απόσταση εντοπισμού στόχου είναι μεγαλύτερη από τη μέγιστη απόσταση οπτικής παρατηρήσεως κατά 6%. Επίσης θα πρέπει να έχομε υπόψη μας, όπως φαίνεται και στο σχήμα 1.4η, ότι ενώ το πλοίο μας πλησιάζει σε ακτές, πέρα από τις οποίες ακολουθούν ανισοϋψή (βουνά), πρώτα εμφανίζονται στο ραντάρ τα υψηλότερα σημεία και καθώς η απόσταση ελαττώνεται εμφανίζονται και τα χαμηλότερα σημεία.

Η παραπάνω σχέση για τον ορίζοντα ραντάρ και τη μέγιστη απόσταση εντοπισμού στόχου ισχύει για ραντάρ που χρησιμοποιούν μήκος κύματος 3 cm (λειτουργούν στην περιοχή συχνοτήτων των 10 Gc/s). Σε ραντάρ που χρησιμοποιούν μεγαλύτερα μήκη κύματος (λειτουργούν σε χαμηλότερες συχνότητες) ο ορίζοντας ραντάρ και η μέγιστη απόσταση εντοπισμού στόχου έχουν μεγαλύτερες τιμές.

Ο ορίζοντας ραντάρ και από αυτόν η μέγιστη απόσταση εντοπισμού στόχου παρέχεται και από πίνακες (όπως ο πίνακας 1.4.1) ή διαγράμματα (σχ. 1.4θ) ή νομογράφους (σχ. 1.4ι), που προκύπτουν από την επίλυση του παραπάνω τύπου. Ση-



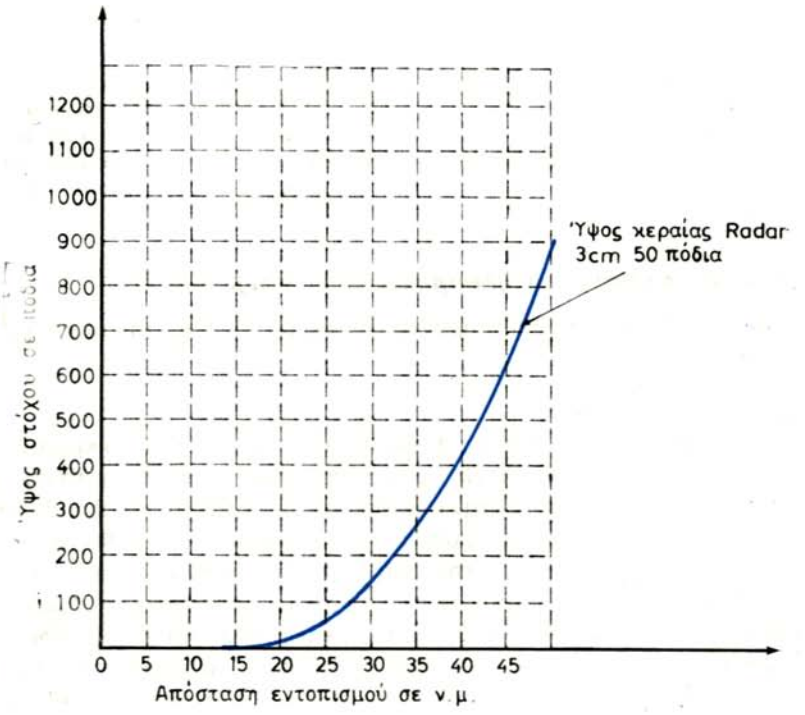
Σχ. 1.4η.
Απόσταση εντοπισμού στόχων.

ΠΙΝΑΚΑΣ 1.4.1.
Ορίζοντας ραντάρ

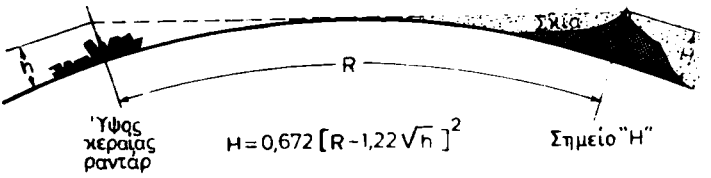
ύψος σε πόδια	απόσταση σε ν.μ.	ύψος σε πόδια	απόσταση σε ν.μ.	ύψος σε πόδια	απόσταση σε ν.μ.	ύψος σε πόδια	απόσταση σε ν.μ.
5	2 1/2	55	9	110	13	445	26
10	4	60	9 1/2	130	14	520	28
15	4 1/2	65	10	150	15	595	30
20	5 1/2	70	10	170	16	680	32
25	6	75	10 1/2	190	17	770	34
30	6 1/2	80	11	215	18	860	36
35	7	85	11	240	19	960	38
40	7 1/2	90	11 1/2	265	20	1060	40
45	8	95	12	320	22	1340	45
50	8 1/2	100	12	380	24	1650	50

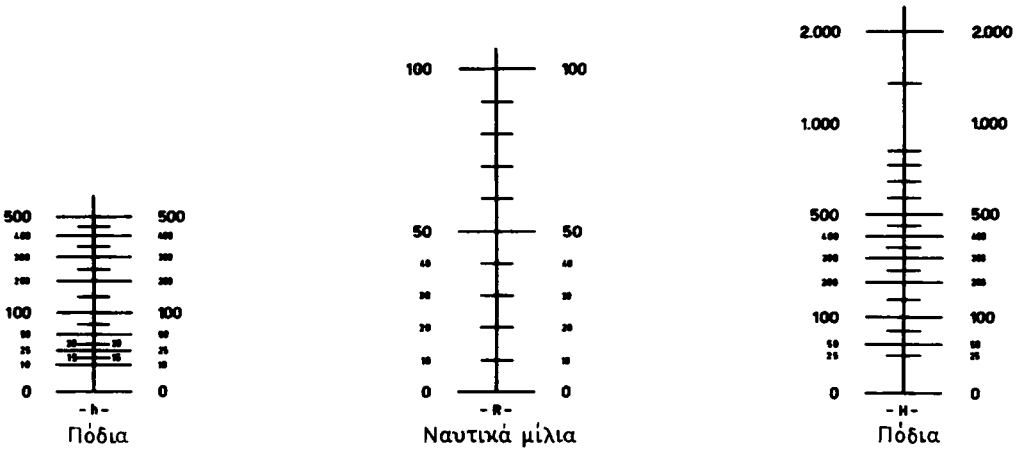
Για να βρούμε την απόσταση εντοπισμού ενός στόχου προσθέτομε τον ορίζοντα ραντάρ της κεραίας και του στόχου. Παράδειγμα: Ύψος κεραίας 40 ft και ύψος στόχου 400 ft. Απόσταση εντοπισμού 7,5 + 24,5 = 32 ν.μ.

μειώνεται ότι ο παραπάνω τύπος, οι πίνακες και τα διαγράμματα ισχύουν όταν επικρατούν κανονικές συνθήκες διαθλάσεως.



Σχ. 1.4θ.





Σχ. 1.4ι.

Νομογράφος ορίζοντα ραντάρ - αποστάσεως ανιχνεύσεως.

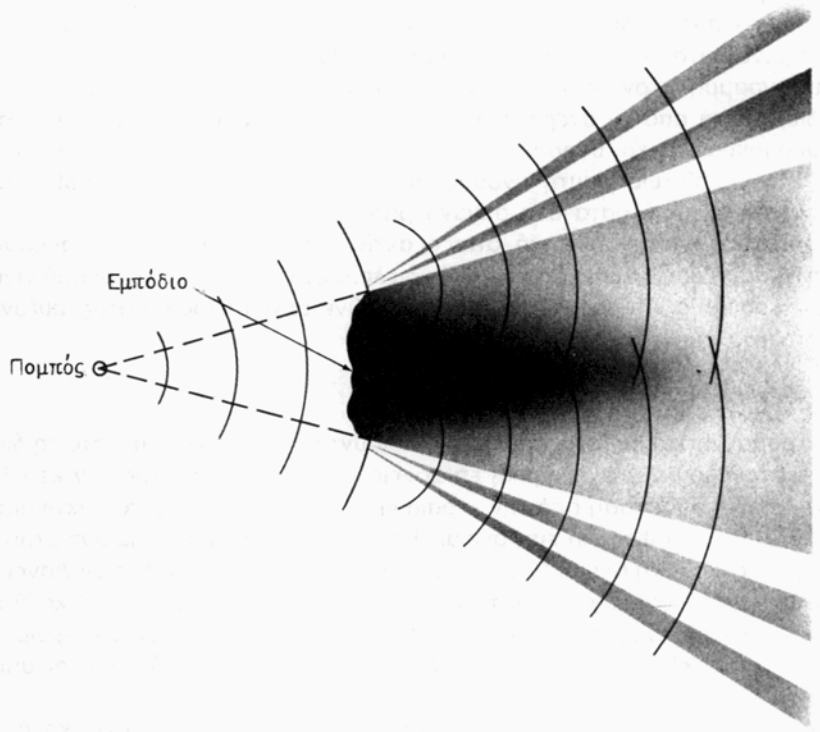
h = ύψος κεραίας ραντάρ σε ft. H = ύψος στόχου σε ft. R = απόσταση ανιχνεύσεως σε ν.μ. Τοποθετώντας τον κανόνα ώστε να διέρχεται από τις γνωστές τιμές δύο μεγεθών, η τιμή του ζητούμενου μεγέθους είναι εκείνη από την οποία διέρχεται ο κανόνας. Π.χ. αν το ύψος κεραίας είναι 30 ft και ο στόχος ανιχνεύεται σε απόσταση 35 ν.μ., τότε το ύψος του στόχου είναι 520 ft περίπου.

1.4.7 Άλλες ιδιότητες των ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων.

Κατά τη διάδοση των ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων παρατηρούνται και τα παρακάτω φαινόμενα:

α) Ανάκλαση (reflection).

Όταν ηλεκτρομαγνητικό κύμα προσπίπτει σε σχετικά ηλεκτρικώς αγώγιμο σώμα ανακλάται. Για την ανάκλαση των ακτίνων των ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων ισχύουν οι νόμοι που διέπουν την ανάκλαση του φωτός. Η ανάκλαση είναι σημαντική, όταν το σώμα στο οποίο προσπίπτει το κύμα έχει διαστάσεις συγκρίσιμες με το μήκος κύματος (πλησιάζουν την τιμή λ/4). Έτσι στην περιοχή των μικροκυμάτων παρατηρείται ανάκλαση από τα σύννεφα και τις σταγόνες της βροχής. Στις συχνότητες V.L.F., L.F. και M.F. ανάκλαση προκαλείται από ακτές, νησίδες, πλοία και βιομηχανικές εγκαταστάσεις. Η ανάκλαση αυτή αν και είναι ασθενής, προκαλεί σφάλματα στα όργανα ραδιοναυσιπλοΐας, που λειτουργούν σ' αυτές τις περιοχές συχνοτήτων.



Σχ. 1.4ια.
Περίθλαση ηλεκτρομαγνητικού κύματος.

β) Περίθλαση (diffraction).

Όταν κατά τη διάδοσή τους τα ηλεκτρομαγνητικά κύματα συναντήσουν εμπόδιο (σχ. 1.4ια) τότε, ανάλογα με την αγωγιμότητα του εμποδίου, ένα μέρος από την ενέργεια των ακτίνων που προσπίπτουν σ' αυτό ανακλάται και το υπόλοιπο απορροφάται από το εμπόδιο. Έτσι, σε ένα τομέα πίσω από το εμπόδιο δεν διαδίδεται κύμα από τις απ' ευθείας ακτίνες. Στον τομέα αυτόν όμως δεν είναι εντελώς ανύπαρκτο το ηλεκτρομαγνητικό κύμα, επειδή ο χώρος του καλύπτεται από δευτερεύουσες ακτίνες του κύματος, προερχόμενες από περίθλαση (diffraction) ακτίνων που διέρχονται από τις πλευρές του εμποδίου. Ο τομέας αυτός πίσω από το εμπόδιο ονομάζεται ***τομέας σκιάς*** (shadow sector).

Για να δημιουργηθεί τομέας σκιάς πρέπει οι διαστάσεις του αντικειμένου, που τον δημιουργεί, να είναι συγκρίσιμες με το μήκος κύματος, επειδή τότε προκαλεί σημαντική ανάκλαση και απορρόφηση σημαντικού ποσού ηλεκτρομαγνητικής ενέργειας.

γ) Διάθλαση (refraction).

Εκτός από τη διάθλαση στην ιονόσφαιρα, από την οποία, όπως είδαμε, προκύπτουν τα ιονοσφαιρικά κύματα, τα ηλεκτρομαγνητικά κύματα διαθλώνται και όταν διαδίδονται με κύμα εδάφους. Η διάθλαση αυτή εκτρέπει τη διεύθυνση διαδόσεώς

τους στην επιφάνεια της γης. Οφείλεται στην ανομοιογενή θερμοκρασία και υγρασία που υπάρχει πολλές φορές στην επιφάνεια της γης μέχρι μικρό ύψος.

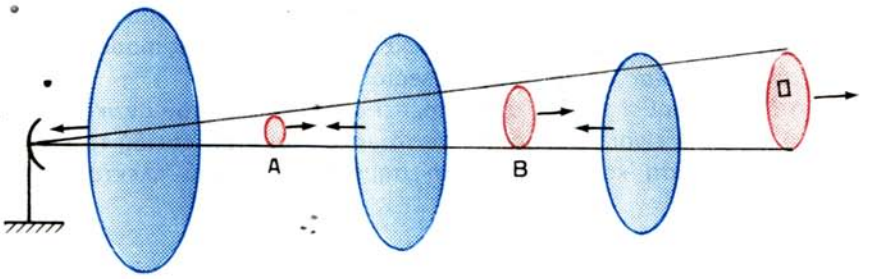
Το φαινόμενο αυτό ονομάζεται και ***εκτροπή*** (deflection) και παρατηρείται έντονα στην ακτογραμμή, όταν ηλεκτρομαγνητικά κύματα των συχνοτήτων V.L.F., L.F. και M.F. διέρχονται από τη στεριά στη θάλασσα και αντίστροφα· οφείλεται στη διαφορά θερμοκρασίας και υγρασίας που επικρατούν πάνω από τη στεριά και τη θάλασσα. Στην περίπτωση αυτή ονομάζεται ***παράκτια διάθλαση*** (coastal refraction) και προκαλεί σφάλματα στα όργανα ραδιοναυσιπλοΐας.

Η εκτροπή αυτή γίνεται μηδενική, όταν οι ακτίνες του κύματος διέρχονται κάθετα την ακτογραμμή και αυξάνει όσο η γωνία διελεύσεως από την ακτογραμμή γίνεται περισσότερο οξεία. Αυξάνει επίσης όσο ελαττώνεται το μήκος κύματος (αυξάνει η συχνότητα του κύματος).

1.4.8 Εξασθένιση του κύματος.

Τα ηλεκτρομαγνητικά κύματα, που ακτινοβολούνται από μια κεραία, κατά τη διάδοσή τους κατανέμονται σε σφαιρική επιφάνεια, η οποία έχει κέντρο την κεραία. Έτσι, σε ορισμένη απόσταση από την κεραία εκπομπής, η ενέργεια που ακτινοβολείται κατανέμεται σε σφαιρική επιφάνεια. Η σφαιρική αυτή επιφάνεια αντιστοιχεί σε σφαίρα με ακτίνα R τη θεωρούμενη απόσταση, οπότε η ανά μονάδα επιφάνειας ενέργεια ελαττώνεται ανάλογα με το τετράγωνο της αποστάσεως. Δηλαδή κατά τη διάδοσή του κάθε ηλεκτρομαγνητικό κύμα, λόγω της κατανομής του σε σφαιρική επιφάνεια, παθαίνει ***εξασθένιση*** (attenuation) ανάλογη με το τετράγωνο της αποστάσεως.

Όπως φαίνεται στο σχήμα 1.4ιβ, η παραπάνω εξασθένιση ισχύει και κατά τη διάδοση δέσμης ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων, που μας ενδιαφέρει περισσότερο στη λειτουργία του ραντάρ. Η ενέργεια που ακτινοβολείται κατά παλμούς κατανέμεται σε σφαιρική επιφάνεια, που αντιστοιχεί στη δέσμη και η εξασθένιση είναι ανάλογη με το τετράγωνο της αποστάσεως. Αλλά και η ηλεκτρομαγνητική ενέργεια της ηχούς που προέρχεται από την ανάκλαση του παλμού στην επιφάνεια του στόχου, καθώς διαδίδεται (επιστρέφει) προς την κεραία, κατανέμεται σε σφαιρική επιφάνεια και εξασθενίζει ανάλογα με το τετράγωνο της αποστάσεως. Έτσι, σε σχέση με την ισχύ εκπομπής, το κύμα της ηχούς εξασθενίζει ανάλογα με την τέταρτη δύναμη της αποστάσεως του στόχου από την κεραία του ραντάρ.



Σχ. 1.4ιβ.
Κατανομή της ενέργειας σε σφαιρική επιφάνεια.

Συνεπώς, για να επιστρέφει εκμεταλλεύσιμη ηχώ στην κεραία ραντάρ από τους μικρούς σχετικά στόχους, που βρίσκονται σε σχετικά μεγάλη απόσταση, εκπέμπεται πάρα πολύ μεγάλη ισχύ. Ως εκμεταλλεύσιμη ηχώ ορίζεται εκείνη, η οποία έχει πλάτος μεγαλύτερο από το πλάτος των θορύβων και μπορεί να ενισχυθεί.

Εκτός από την παραπάνω εξασθένιση, η δέσμη ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων, που διαδίδεται στα κατώτερα στρώματα της τροπόσφαιρας, εξασθενίζει λόγω ***απορροφήσεως*** (absorption) και ***σκεδάσεως*** (scattering) στα μόρια αερίων (μόρια οξυγόνου - υδρατμοί) και στα αιωρούμενα σωματίδια (ομίχλη, βροχή, χιόνι, χαλάζι, αμμοθύελλα). Η απορρόφηση από αέρια δεν είναι σημαντική για μήκη κύματος μέχρι και 3 cm, που χρησιμοποιούν τα ραντάρ. Όμως, η απορρόφηση από αιωρούμενα σωματίδια είναι σημαντική και ακολουθεί την αύξηση της ποσότητας νερού ανά μονάδα όγκου στο χώρο διαδόσεως. Η αύξηση όμως της θερμοκρασίας των αιωρουμένων σωματιδίων προκαλεί ελάττωση της απορροφήσεως.

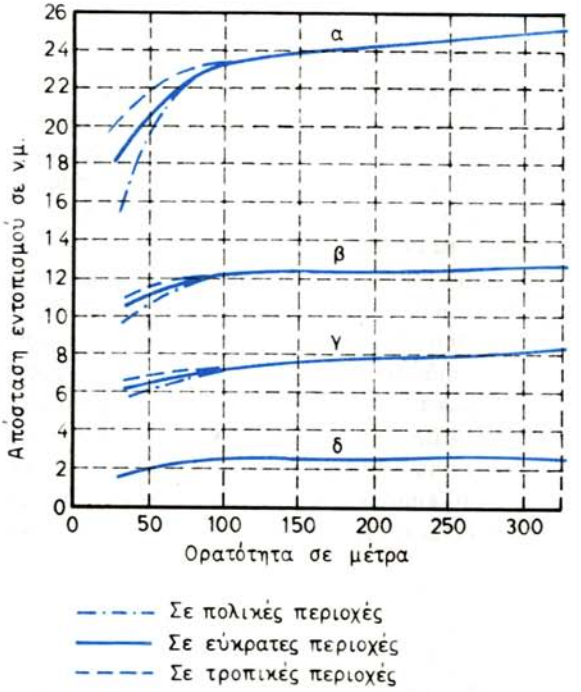
Στην περίπτωση του ραντάρ η απορρόφηση και η σκέδαση προκαλούν εξασθένιση και κατά τη διάδοση του κύματος που εκπέμπεται από την κεραία προς το στόχο και κατά τη διάδοση (επιστροφή) από το στόχο στην κεραία. Από τη διπλή αυτή εξασθένιση ελαττώνεται σημαντικά η απόσταση εντοπισμού στόχου (εμβέλεια του ραντάρ).

Η εξασθένιση των κυμάτων που διαδίδονται μέσα σε ομίχλη και η ελάττωση της αποστάσεως εντοπισμού, που οφείλεται σ' αυτήν, μπορεί να συγκριθεί με τον περιορισμό της ορατότητας. Η αύξηση της πυκνότητας της ομίχλης, που ακολουθείται από μείωση της ορατότητας, οφείλεται στην αύξηση της ποσότητας νερού ανά μονάδα όγκου και ακολουθείται από μείωση της αποστάσεως εντοπισμού των στόχων από το ραντάρ (σχ. 1.4ιγ).

Τα σύννεφα προκαλούν μεγαλύτερη εξασθένιση από την ομίχλη, επειδή όμως βρίσκονται σε μεγαλύτερο ύψος, η εξασθένιση προκαλείται μόνο στις ανώτερες ακτίνες της δέσμης, οπότε δεν περιορίζεται η απόσταση εντοπισμού στόχων. Πολλές φορές τα πυκνά σύννεφα προκαλούν και ανάκλαση στις ανώτερες ακτίνες της δέσμης και η ηχώ από αυτά εμφανίζεται στην οθόνη του ραντάρ και καλύπτει μεγάλη έκταση της οθόνης.

Η απόσταση στόχων ελαττώνεται περισσότερο, λόγω απορροφήσεως και σκεδάσεως από βροχή, αλλά και λόγω ανακλάσεως του κύματος σε όλο το βάθος (απόσταση) της βροχής, μέσα στο οποίο διαδίδεται το εκπεμπόμενο κύμα προς τους στόχους και το κύμα της ηχούς από τους στόχους προς την κεραία. Από την ανάκλαση του κύματος στις σταγόνες της βροχής επιστρέφει ανεπιθύμητη ηχώ (επιστροφές βροχής), που εμφανίζεται στην οθόνη του ραντάρ. Όταν η βροχή είναι ραγδαία και το μέγεθος των σταγόνων είναι συγκρίσιμο με το τέταρτο του μήκους κύματος (λ/4) που εκπέμπει το ραντάρ, η ηχώ που επιστρέφει από τη βροχή είναι έντονη και μπορεί να καλύπτει την ηχώ στόχων (πλοίων) που βρίσκονται στην περιοχή της βροχής.

Οι συνεχείς καμπύλες του σχήματος 1.4ιδ δίνουν την απόσταση εντοπισμού τριών στόχων διαφορετικού μεγέθους, σε συνάρτηση με την ένταση της βροχής, οι οποίοι βρίσκονται πέρα από την περιοχή της βροχής. Οι αντίστοιχες διακεκομμένες καμπύλες δίνουν την υπερβολικά ελαττωμένη απόσταση εντοπισμού των ιδίων στόχων, σε συνάρτηση με την ένταση της βροχής, όταν αυτοί βρίσκονται μέσα στην περιοχή της βροχής.



Σχ. 1.4ιγ.

Οι καμπύλες δίνουν την απόσταση εντοπισμού τεσσάρων διαφορετικού μεγέθους στόχων, κάτω από συνθήκες ομίχλης, σε συνάρτηση με την ορατότητα σε μέτρα από τύπο συσκευής ραντάρ με τα παρακάτω χαρακτηριστικά:

- μήκος κύματος (wavelenght) = 3 cm.
- ισχύς εκπομπής (peak power) = 30 kW.
- διάρκεια παλμού εκπομπής (pulse duration) = 0,25 μs.
- οριζόντιο εύρος δέσμης (horizontal beamwidth) = 2°.
- κατακόρυφο εύρος δέσμης (vertical beamwidth) = 40°.

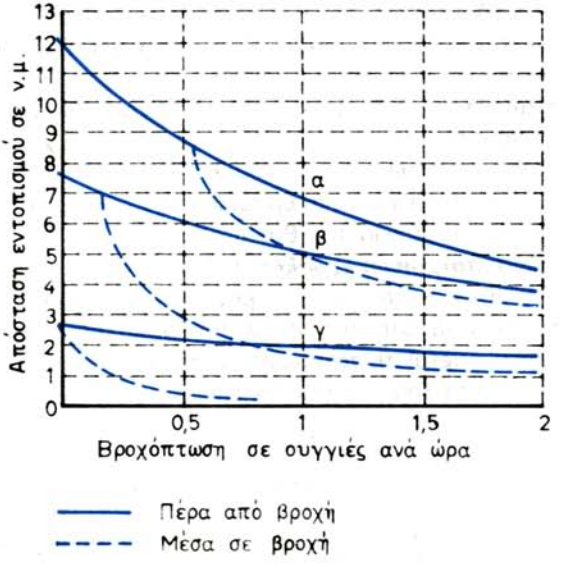
α) Απόσταση εντοπισμού μεγάλων στόχων. β) Απόσταση εντοπισμού πλοίων 10 000 t. γ) Απόσταση εντοπισμού πλοίων 1 000 t. δ) Απόσταση εντοπισμού μικρής λέμβου.

Το ίδιο φαινόμενο και για τους ίδιους λόγους συμβαίνει και κατά τη διάδοση του κύματος μέσα σε περιοχή χιονιού, χαλαζιού ή αμμοθύελλας, όπως δείχνουν οι καμπύλες του σχήματος 1.4ιε. Πάντως η σκέδαση και η απορρόφηση από χιόνι ή χαλάζι είναι μικρότερες από τις αντίστοιχες της βροχής με την ίδια ένταση. Αντίθετα το φαινόμενο της ανακλάσεως είναι εντονότερο, επειδή οι επιφάνειες των νυφάδων χιονιού και των κόκκων χαλαζιού έχουν μεγαλύτερες διαστάσεις.

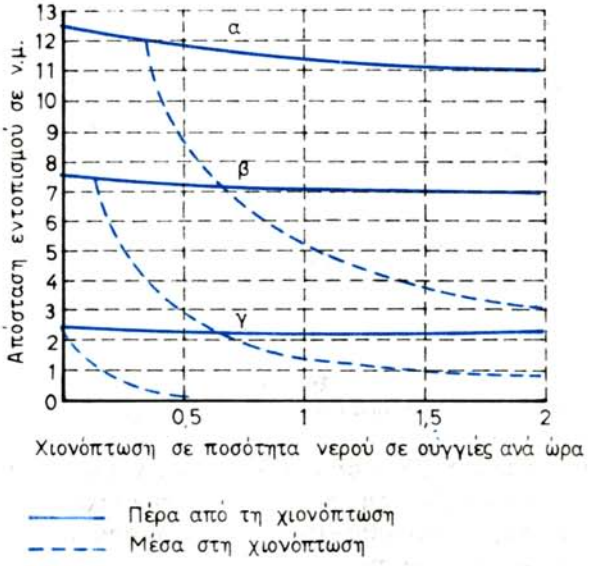
Θα πρέπει να σημειώσομε ότι όσο το μήκος κύματος λειτουργίας του ραντάρ γίνεται μεγαλύτερο (χαμηλότερη συχνότητα), τα παραπάνω φαινόμενα της απορροφήσεως, της διασποράς και της ανακλάσεως εξασθενίζουν.

1.5 Η εξίσωση ραντάρ.

Στην παράγραφο 1.4.5 είπαμε ότι, όταν επικρατούν συνθήκες ομαλής διαθλά-



Σχ. 1.4ιδ.
α) Απόσταση εντοπισμού πλοίου 10 000 t. β) Απόσταση εντοπισμού πλοίου 1 000 t. γ) Απόσταση εντοπισμού μικρής λέμβου.



Σχ. 1.4ιε.
α) Απόσταση εντοπισμού πλοίου 10 000 t. β) Απόσταση εντοπισμού πλοίου 1 000 t. γ) Απόσταση εντοπισμού μικρής λέμβου.

σεως και στην περιοχή λειτουργίας του ραντάρ δεν επικρατούν καιρικά φαινόμενα ομίχλης, βροχής, χιονοπτώσεως, αμμοθύελλες, η μέγιστη απόσταση εντοπισμού στόχων καθορίζεται από τον ορίζοντα ραντάρ.

Η μέγιστη όμως απόσταση εντοπισμού εξαρτάται και από ορισμένα χαρακτηριστικά της συσκευής και του στόχου. Για να συσχετίσομε τα χαρακτηριστικά αυτά με τη μέγιστη απόσταση εντοπισμού στόχων, θεωρούμε ότι η δέσμη ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων δεν επηρεάζεται από εμπόδια στην επιφάνεια της γης, όπως περίπου συμβαίνει με την επιφάνεια της θάλασσας.

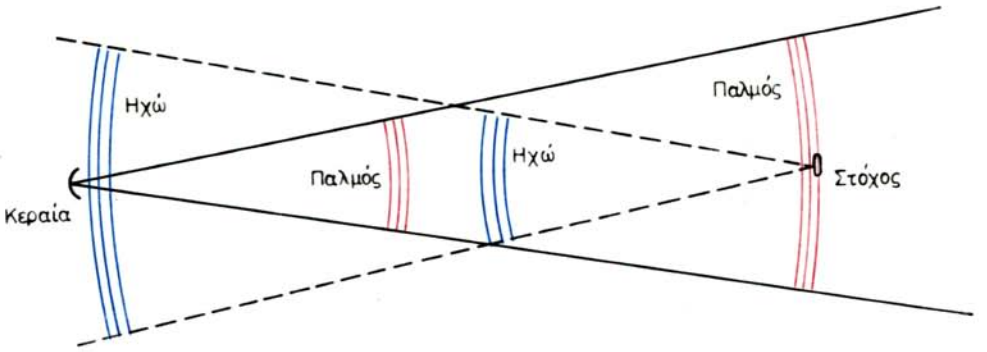
Ας θεωρήσουμε μια ***ισοτροπική κεραία*** ραντάρ, η οποία ακτινοβολεί ομοιόμορφα προς όλες τις κατευθύνσεις του χώρου, με στιγμιαία ισχύ P_t. Όταν το μέτωπο του κύματος φθάσει στην απόσταση R, στην οποία βρίσκεται ο στόχος, η ισχύ που έχει εκπεμφθεί θα κατανέμεται σε σφαιρική επιφάνεια $4\pi R^2$ και η ισχύ ανά μονάδα επιφάνειας στην απόσταση του στόχου θα είναι:

$$P_{\mu ov.\epsilon\pi.} = \frac{P_t}{4\pi R^2} \qquad (1)$$

Επειδή η κεραία ραντάρ εστιάζει την ισχύ σε δέσμη, η οποία κατευθύνεται προς το στόχο (σχ. 1.5), η ισχύ ανά μονάδα επιφάνειας που εκπέμπεται προς το στόχο θα είναι:

$$P_{\mu ov.\epsilon\pi.} = \frac{P_t}{4\pi R^2} \times G_t \qquad (2)$$

όπου: G_t το κέρδος ισχύος της κεραίας εκπομπής.



Σχ. 1.5.
Η εξασθένιση κατά τη διάδοση του κύματος του παλμού και της ηχούς.

Ως κέρδος ισχύος στην περίπτωσή μας ορίζεται ο λόγος της ισχύος που εκπέμπει η κεραία ραντάρ στο χώρο της δέσμης, προς την ισχύ που θα εκπέμπονταν ομοιόμορφα προς όλες τις κατευθύνσεις του χώρου από ισοτροπική κεραία που τροφοδοτείται από τον ίδιο πομπό.

Η ισχύ που θα ανακλασθεί από το στόχο θα είναι εκείνη που θα προσπέσει στην ενεργό επιφάνεια A_0 του στόχου. Αυτή είναι ανάλογη με την επιφάνεια του στόχου, εξαρτάται όμως και από το σχήμα και από το υλικό κατασκευής του στό-

χου και από τη συχνότητα και την πόλωση του κύματος. Αλλά η ισχύ που ανακλάται από το στόχο κατανέμεται και αυτή σε σφαιρική επιφάνεια, κατά την επιστροφή της προς την κεραία του ραντάρ. Έτσι, η ισχύ P_r του κύματος, που θα επιστρέψει στην κεραία κατά τη λήψη της ηχούς, θα είναι:

$$P_r = \frac{P_t}{4\pi R^2} \times G_t \times \frac{A_0}{4\pi R^2} \qquad (3)$$

Η ισχύ που λαμβάνεται από την κεραία είναι εκείνη από το μέτωπο του κύματος της ηχούς, που προσπίπτει στην ενεργό επιφάνεια A_r της κεραίας. Με μεγάλη προσέγγιση, η ενεργός επιφάνεια της κεραία A_r κατά τη λήψη είναι η επιφάνεια της προβολής της κεραίας σε επίπεδο κάθετο στον άξονα της δέσμης ακτινοβολίας της. Έτσι η ισχύ κατά τη λήψη της ηχούς θα είναι:

$$P_r = \frac{P_t}{4\pi R^2} \times G_t \times \frac{A_0}{4\pi R^2} \times A_r \qquad (4)$$

Για να είναι δυνατή η λήψη της ηχούς, ο παλμός της δε θα πρέπει να έχει ισχύ μικρότερη από εκείνη που μπορεί να επεξεργασθεί ο δέκτης ραντάρ. Η ελάχιστη αυτή ισχύς της ηχούς είναι W_{rmin}/T όπου: W_{rmin} είναι η ελάχιστη ενέργεια του παλμού της ηχούς που διακρίνει ο δέκτης (ευαισθησία του δέκτη) και T η διάρκεια του παλμού της ηχούς που για μικρούς στόχους είναι ίδια με τη διάρκεια του παλμού εκπομπής.

Έτσι, αν θεωρήσομε ότι η ισχύ που λαμβάνεται από την κεραία κατά την επιστροφή της ηχούς P_r είναι ίση με εκείνη που μπορεί να επεξεργασθεί ο δέκτης W_{rmin}/T και αντικαταστήσομε στην εξίσωση (4), έχομε:

$$\frac{W_{rmin}}{T} = \frac{P_t}{4\pi R^2} \times G_t \times \frac{A_0}{4\pi R^2} \times A_r \qquad (5)$$

Η μέγιστη απόσταση εντοπισμού στόχων R_{max} θα είναι:

$$R_{max} = \frac{1}{2\sqrt{\pi}} \sqrt[4]{(P_t \,.\, T) \times \left(\frac{1}{W_{rmin}}\right) \times (G_t \,.\, A_r) \times A_0} \qquad (6)$$

όπου: $(P_t \,.\, T)$ η ενέργεια που ακτινοβολείται σε κάθε παλμό που εκπέμπεται, (W_{rmin}) η ελάχιστη ενέργεια που μπορεί να επεξεργασθεί ο δέκτης ανά παλμό ηχούς (ευαισθησία του δέκτη), $(G_t \,.\, A_r)$ χαρακτηριστικά της κεραίας ραντάρ, κέρδος και ενεργός επιφάνεια αντίστοιχα και A_0 η ενεργός επιφάνεια του στόχου.

Ερωτήσεις Πρώτου Κεφαλαίου.

1. Τι είναι το ηλεκτρομαγνητικό κύμα, πώς δημιουργείται και ποια μπορεί να είναι η διεύθυνση διαδόσεώς του;
2. Πώς μεταβάλλεται στο χώρο η ισχύς του ηλεκτρομαγνητικού κύματος σε σχέση με την κατεύθυνση της κεραίας;
3. Τι ονομάζεται πολικό διάγραμμα ακτινοβολίας κεραίας; Ποια είναι τα πολικά διαγράμματα ακτινοβολίας κατακόρυφης κεραίας δίπολο για το οριζόντιο και το κατακόρυφο επίπεδο;
4. Να ορίσετε τα χαρακτηριστικά του ηλεκτρομαγνητικού κύματος.
5. Από τι καθορίζεται η συχνότητα ενός ηλεκτρομαγνητικού κύματος ή το αντίστοιχο μήκος κύματος;
6. Τι εννοείται ως φάση ηλεκτρομαγνητικού κύματος σε συνάρτηση χρόνου και σε συνάρτηση χώρου;
7. Τι εννοείται ως λήψη ηλεκτρομαγνητικού κύματος και σε ποιες αρχές βασίζεται αυτή;
8. Να αναφέρετε τις περιοχές που κατανέμονται οι συχνότητες του φάσματος ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας και την εκμετάλλευση κάθε περιοχής.
9. Με ποια είδη κύματος γίνεται η διάδοση ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων των περιοχών V L F , L F και M F ;
10. Ποια είναι η δομή της ιονόσφαιρας και πώς επιδρά η ιονόσφαιρα στη διάδοση των ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων;
11. Ποιες συχνότητες δεν διαδίδονται με κύματα την ημέρα, ενώ διαδίδονται τη νύκτα και ποιες συχνότητες διαδίδονται με ιονοσφαιρικά κύματα και κύματα εδάφους και την ημέρα και τη νύκτα και για ποιους λόγους;
12. Τι είναι τα κύματα απλού και διπλού άλματος E και F και πότε παρατηρούνται;
13. Για ποιο λόγο τα κύματα της περιοχής HF δεν διαδίδονται με κύμα εδάφους;
14. Για ποιους λόγους στην περιοχή HF δεν λειτουργούν συστήματα ραδιοναυσιπλοΐας;
15. Τι είναι η ζώνη σιγής και σε ποιες περιοχές συχνοτήτων παρατηρείται;
16. Ποιες είναι οι επιδράσεις της ιονόσφαιρας στη διάδοση των ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων των περιοχών VHF, UHF και SHF;
17. Τι είναι η τροποσφαιρική διάδοση και ποια κύματα διαδίδονται με αυτήν;
18. Ποιες είναι οι βασικές παράμετροι της τροπόσφαιρας, ποια είναι η κανονική τους μεταβολή σε συνάρτηση με το ύψος και ποια επίδραση έχουν αυτές στο δείκτη διαθλάσεως ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων;
19. Πώς μεταβάλλεται ο δείκτης διαθλάσεως στην κανονική τροπόσφαιρα σε συνάρτηση με το ύψος και ποια επίδραση έχει η μεταβολή του στη διάδοση δέσμης ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων;
20. Πότε και πού παρατηρείται υποκανονική διάθλαση δέσμης ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων, από ποιες παραμέτρους εξαρτάται το μέγεθός της και ποιες επιπτώσεις έχει αυτή στη λειτουργία του ραντάρ;
21. Πότε και πού παρατηρείται υπερκανονική διάθλαση δέσμης ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων, από ποιες παραμέτρους εξαρτάται το μέγεθός της και ποιες επιπτώσεις έχει αυτή στη λειτουργία του ραντάρ;
22. Πότε και πού παρατηρείται παγίδευση δέσμης ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων και ποιες επιπτώσεις έχει αυτή στη λειτουργία του ραντάρ;
23. Ποια είναι η τιμή του ορατού ορίζοντα και του ορίζοντα ραντάρ; Γιατί υπάρχει διαφορά μεταξύ τους; Ποια είναι η μέγιστη απόσταση εντοπισμού στόχου;
24. Ποια είναι τα αίτια εξασθενίσεως ενός ηλεκτρομαγνητικού κύματος κατά τη διάδοσή του;
25. Ποια σχέση πρέπει να υπάρχει μεταξύ ηλεκτρομαγνητικού κύματος και ενός σώματος, για να πραγματοποιείται σημαντική ανάκλαση του κύματος από το σώμα;
26. Πότε παρατηρείται περίθλαση ηλεκτρομαγνητικού κύματος και τι προκύπτει από την περίθλαση;
27. Σε τι οφείλεται η παράκτια διάθλαση των ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων και σε ποιες συχνότητες παρατηρείται;
28. Σε ποια φαινόμενα οφείλεται η εξασθένιση των ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων, όταν αυτά διαδίδονται μέσα σε ομίχλη ή μέσα σε βροχή και με ποια χαρακτηριστικά των κυμάτων έχει σχέση;

ΔΡΥΜΑ ΣΥΓΓΡΑΦΩΝ 1954

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΔΕΥΤΕΡΟ

ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΕΣ ΛΥΧΝΙΕΣ

2.1 Γενικά.

Η λειτουργία του συνόλου των παλαιοτέρων ηλεκτρονικών συσκευών κάθε είδους βασιζόταν στις ηλεκτρονικές λυχνίες. Σήμερα τα περισσότερα είδη ηλεκτρονικών συσκευών χρησιμοποιούν τρανζίστορς (κρυσταλλολυχνίες) ή ολοκληρωμένα κυκλώματα συμπαγούς δομής (solid state). Ωστόσο εξακολουθούν και σήμερα να κατασκευάζονται ηλεκτρονικές συσκευές, οι οποίες σε συνδυασμό με τα ολοκληρωμένα κυκλώματα και τρανζίστορς, χρησιμοποιούν και ηλεκτρονικές λυχνίες, ώστε να μπορούν να ανταποκριθούν σε απαιτήσεις κυρίως μεγάλης ισχύος.

Κάθε ηλεκτρονική λυχνία αποτελείται από γυάλινο ή μεταλλικό αεροστεγανό περίβλημα (φάκελο-envelope), στο οποίο περιλαμβάνεται διάταξη ηλεκτροδίων. Τα ηλεκτρόδια καταλήγουν σε ξεχωριστούς ακροδέκτες (ποδαράκια-pins), που φέρει στη βάση της ή σε άλλα σημεία της η λυχνία, με τους οποίους τα ηλεκτρόδια συνδέονται στα απαραίτητα εξωτερικά κυκλώματα και παίρνουν τα απαραίτητα για τη λειτουργία τους συνεχή δυναμικά. Στον εσωτερικό χώρο του περιβλήματος επικρατεί συνήθως υψηλό κενό και γι' αυτό ονομάζονται ***λυχνίες κενού*** (vacuum tubes). Είναι όμως δυνατό να έχει αφαιρεθεί ο ατμοσφαιρικός αέρας και να έχει γεμισθεί με αδρανές αέριο (αργό, κρυπτό, ξένο, ήλιο) ή με ατμούς υδραργύρου, οπότε ονομάζονται λυχνίες αερίου (gas tubes).

Χαρακτηριστικό της λειτουργίας των ηλεκτρονικών λυχνιών είναι η ελεγχόμενη αγωγιμότητα, που παρουσιάζεται στο χώρο κενού μεταξύ των ηλεκτροδίων. Η αγωγιμότητα αυτή επιτυγχάνεται με τα ηλεκτρόνια που εκλύει στο χώρο κενού ένα ηλεκτρόδιο, το οποίο ονομάζεται κάθοδος.

Στις λυχνίες αερίου η αγωγιμότητα αυτή αυξάνεται με τον ιονισμό του αερίου, γι' αυτό και οι λυχνίες αυτές χρησιμοποιούνται σε εφαρμογές όπου απαιτούνται μεγαλύτερα ρεύματα.

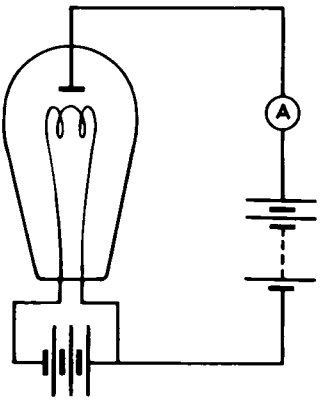
2.2 Μέθοδοι εκλύσεως ηλεκτρονίων.

Η έκλυση ηλεκτρονίων μπορεί να γίνεται με τις παρακάτω μεθόδους:

α) Θερμιονική έκλυση ηλεκτρονίων.

Η θερμιονική έκλυση (thermionic emittion) ηλεκτρονίων, που συνήθως χρησιμοποιείται στις ηλεκτρονικές λυχνίες, βασίζεται στο φαινόμενο Edison.

ΤΑΜΕΙΟ ΣΥΓΓΡΑΦΕΩΝ 1954



Σχ. 2.2α.
Η λυχνία του Edison.

Το 1883 ο Edison πειραματιζόταν με τη φωτιστική λυχνία που μόλις είχε κατασκευάσει. Στο εσωτερικό της είχε τοποθετήσει μεταλλικό πλακίδιο και την είχε συνδέσει όπως στο σχήμα 2.2α. Από την ένδειξη του μικροαμπερομέτρου Α διαπίστωσε, ότι στο κύκλωμα του πλακιδίου αυτού κυκλοφορούσε ρεύμα. Παρατήρησε επίσης ότι η αυξομείωση της τάσεως τροφοδοτήσεως του νήματος που συνεπάγεται αυξομείωση της θερμοκρασίας του, προκαλούσε αυξομείωση του ρεύματος του πλακιδίου. Επίσης, το ρεύμα αυτό ανταποκρινόταν στις μεταβολές της τάσεως που εφαρμοζόταν στο πλακίδιο.

Η λυχνία του τύπου αυτού, η οποία είναι το πρότυπο της διοδικής λυχνίας, χρησιμοποιήθηκε αρχικά ως όργανο ενδείξεως των μεταβολών της τάσεως δικτύου, με σύνδεση του νήματος στη γραμμή του δικτύου. Οι μεταβολές της τάσεως του δικτύου προκαλούσαν αντίστοιχες μεταβολές της θερμοκρασίας του νήματος και γίνονταν αντιληπτές από τις αντίστοιχες μεταβολές των ενδείξεων του μικροαμπερομέτρου.

Το φαινόμενο αυτό που παρατήρησε ο Edison εξηγήθηκε το 1896 με την ηλεκτρονική θεωρία, σύμφωνα με την οποία, στα μέταλλα υπάρχει ένας μεγάλος αριθμός ελευθέρων ηλεκτρονίων, τα οποία βρίσκονται σε συνεχή άτακτη κίνηση, που οφείλεται στη θερμοκρασία των μετάλλων. Όταν τα μέταλλα βρίσκονται σε θερμοκρασία περιβάλλοντος, η ταχύτητα κινήσεως των ελευθέρων ηλεκτρονίων τους είναι λίγα m/s, ενώ σε υψηλές θερμοκρασίες η ταχύτητά τους ανέρχεται σε εκατοντάδες km/s. Για παράδειγμα, όταν το βολφράμιο αποκτά θερμοκρασία 2000°C, το 80% περίπου των ελευθέρων ηλεκτρονίων του αποκτά μέση ταχύτητα 260 km/s, ενώ το 5% υπερβαίνει την ταχύτητα των 1260 km/s.

Έτσι, με τη θέρμανση των μετάλλων, πολλά από τα ηλεκτρόνιά τους αποκτούν μεγάλη κινητική ενέργεια, οπότε αποδεσμεύονται από τις δυνάμεις έλξεως των ατόμων ή των μορίων και εξέρχονται από την επιφάνεια των μετάλλων. Όταν γύρω από το μέταλλο που θερμαίνεται επικρατεί κενό, τα ηλεκτρόνια που εξέρχονται δημιουργούν ένα νέφος ηλεκτρονίων. Το φαινόμενο αυτό της εξόδου

ηλεκτρονίων από την επιφάνεια μετάλλων που θερμαίνονται ονομάζεται ***θερμιονική έκλυση*** ή ***θερμιονική εκπομπή*** ηλεκτρονίων.

Η ενέργεια που απαιτείται για την έξοδο ηλεκτρονίου από την επιφάνεια μετάλλου ονομάζεται έργο εξόδου του ηλεκτρονίου, του οποίου η τιμή ποικίλει στα διάφορα μέταλλα. Στον πίνακα 2.2.1 βλέπομε το έργο εξόδου ηλεκτρονίου ορισμένων μετάλλων, τη σταθερά Richardson και τη θερμοκρασία τήξεώς τους.

ΠΙΝΑΚΑΣ 2.2.1.

Μέταλλο	Σταθερά Richardson A σε $\frac{\text{Amperes}}{(cm^2).(°K)^2}$	Έργο εξόδου ($W_{εξ}$) σε eV	Θερμοκρασία τήξεως σε °K
Άνθρακας	60,2	4	3773
Βολφράμιο	60,2	4,52	3643
Θόριο	60,2	3,35	2118
Καίσιο	162	1,81	299
Λευκόχρυσος	60,2	5,08	2028
Μολυβδαίνιο	60,2	4,44	2893
Νικέλιο	60,2	2,77	1725
Ταντάλιο	60,2	4,07	3123

Το ρεύμα που αντιστοιχεί στον αριθμό ηλεκτρονίων που εκλύονται από την επιφάνεια θερμαινόμενου μετάλλου, όταν το μέταλλο δεν επηρεάζεται από εξωτερικό ηλεκτρικό πεδίο και ονομάζεται ρεύμα θερμιονικής εκπομπής, δίνεται από τη σχέση Richardson - Dushman:

$$I = A.S.T^2 . e^{-W_{εξ}/KT}$$

όπου: I το ρεύμα θερμιονικής εκπομπής σε A, S η επιφάνεια του θερμαινόμενου μετάλλου σε cm^2, T η απόλυτη θερμοκρασία σε βαθμούς °K, A η σταθερά Richardson του μετάλλου σε $A/cm^2 . °K^2$, $W_{εξ}$ το έργο εξόδου σε eV, K η σταθερά του Boltzman σε eV/°K και e = 2,718 η βάση των νεπερίων λογαρίθμων.

Από τη σχέση Richardson-Dushman φαίνεται η επίδραση της θερμοκρασίας στο ρεύμα θερμιονικής εκπομπής. Για παράδειγμα, στο βολφράμιο, όπου το έργο εξόδου είναι 4,5 eV σε θερμοκρασία 2400°K, μεταβολή της θερμοκρασίας του κατά 4% συνεπάγεται μεταβολή του ρεύματος θερμιονικής εκπομπής σχεδόν κατά 100%. Επίσης φαίνεται ότι, για να προκύψει σημαντικό ρεύμα, πρέπει το μέταλλο να αποκτήσει πολύ υψηλή θερμοκρασία. Όμως αυτή δεν μπορεί να φθάσει τη θερμοκρασία τήξεως του μετάλλου. Έτσι, για να εξασφαλισθεί σημαντική και εύκολη έκλυση ηλεκτρονίων, χρησιμοποιούνται κατάλληλα μέταλλα ή οξείδια μετάλλων.

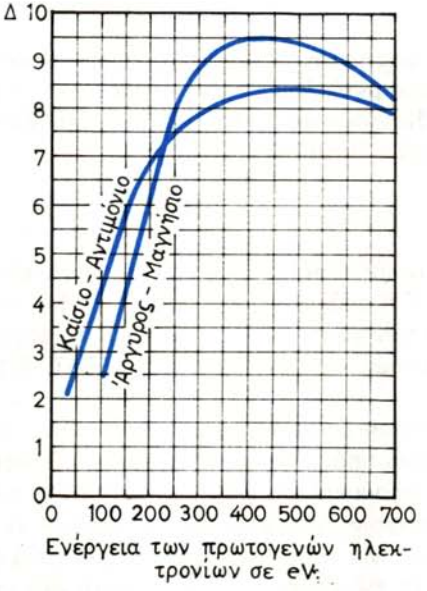
β) Έκλυση ηλεκτρονίων με βομβαρδισμό.

Όταν η επιφάνεια ενός μετάλλου βομβαρδίζεται με ηλεκτρόνια μεγάλης κινητικής ενέργειας ή με ιόντα, πολλά από τα ελεύθερα ηλεκτρόνια του μετάλλου που δέχονται τις κρούσεις, εκβάλλονται από την επιφάνειά του. Η μέθοδος αυτή ονομάζεται και ***δευτερογενής έκλυση*** ηλεκτρονίων, τα ηλεκτρόνια βομβαρδισμού ***πρωτογενή ηλεκτρόνια*** και αυτά που εκλύονται ***δευτερογενή ηλεκτρόνια.***

Οι βασικότεροι παράγοντες που επηρεάζουν τη δευτερογενή έκλυση ηλεκτρονίων είναι:

- Ο αριθμός των ηλεκτρονίων βομβαρδισμού.
- Η κινητική ενέργεια των ηλεκτρονίων βομβαρδισμού.
- Η γωνία με την οποία τα ηλεκτρόνια βομβαρδισμού προσπίπτουν στην επιφάνεια.
- Το είδος του μετάλλου και η κατάσταση στην οποία βρίσκεται η επιφάνεια που βομβαρδίζεται.

Το πηλίκο του αριθμού των δευτερογενών ηλεκτρονίων N_δ προς τον αριθμό των πρωτογενών N_π ($\Delta = N_\delta/N_\pi$) ορίζεται ως συντελεστής δευτερογενούς εκλύσεως ηλεκτρονίων. Η μέγιστη τιμή του συντελεστή Δ των καθαρών μετάλλων κυμαίνεται από 1,5-2. Όμως σε επιφάνειες από επιχρίσματα αλκαλίων, ο συντελεστής Δ λαμβάνει μέγιστη τιμή που υπερβαίνει και το 10. Οι καμπύλες του σχήματος 2.2β δείχνουν τη μεταβολή του συντελεστή δευτερογενούς εκλύσεως ηλεκτρονίων Δ σε συνάρτηση με την ενέργεια των πρωτογενών ηλεκτρονίων για επιφάνειες από καίσιο-αντιμόνιο και άργυρο-μαγνήσιο. Η ελάττωση του συν-



Σχ. 2.2β.
Μεταβολή του συντελεστή δευτερογενούς εκλύσεως σε συνάρτηση με την ενέργεια των πρωτογενών ηλεκτρονίων.

τελεστή Δ για αύξηση της κινητικής ενέργειας των πρωτογενών ηλεκτρονίων πάνω από μια τιμή, οφείλεται στο ότι τα ηλεκτρόνια που προσπίπτουν με τόσο μεγάλη κινητική ενέργεια εισχωρούν στο εσωτερικό του σώματος, οπότε τα περισσότερα δευτερογενή ηλεκτρόνια, μέχρι να φθάσουν στην επιφάνεια, χάνουν ενέργεια λόγω συγκρούσεων και δεν εκλύονται από αυτή.

Έκλυση ηλεκτρονίων με βομβαρδισμό μπορεί να γίνει και σε άτομα αερίου. Όταν ηλεκτρόνιο που κινείται μέσα σε αέριο με μεγάλη ταχύτητα συγκρουσθεί με άτομο αερίου, από τη σύγκρουση εκβάλλονται από το άτομο ένα ή και δυο ηλεκτρόνια. Έτσι, από κάθε σύγκρουση, στο χώρο του αερίου προκύπτουν ένα ή δυο ηλεκτρόνια και ένα θετικό ιόν. Το φαινόμενο αυτό ονομάζεται ***ιονισμός συγκρούσεως.***

Η δευτερογενής έκλυση ηλεκτρονίων έχει εφαρμογή στους φωτοπολλαπλασιαστές. Όμως, σε πολλές ηλεκτρονικές διατάξεις, όπου παρατηρείται, είναι ανεπιθύμητη και προκαλεί θορύβους.

γ) Φωτοηλεκτρική έκλυση ηλεκτρονίων.

Έκλυση ηλεκτρονίων παρατηρείται όταν στην επιφάνεια ορισμένων σωμάτων προσπίπτει ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία κατάλληλου μήκους κύματος. Η ενέργεια των φωτονίων της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας που προσπίπτουν στην επιφάνεια σώματος προσδίδεται στα ηλεκτρόνια και, όταν αυτά αποκτήσουν ενέργεια μεγαλύτερη από το έργο εξόδου, εκλύονται από την επιφάνεια του σώματος. Ορισμένα στοιχεία, όπως το λίθιο, το νάτριο και το καίσιο, εκλύουν ηλεκτρόνια, όταν στην επιφάνειά τους προσπίπτει ορατό φως. Το φαινόμενο αυτό ονομάζεται ***φωτοηλεκτρικό φαινόμενο*** και τα ηλεκτρόνια που εκλύονται ***φωτοηλεκτρόνια.***

Ο αριθμός των φωτοηλεκτρονίων που εκλύονται από επιφάνεια, στην οποία προσπίπτει μονοχρωματική ακτινοβολία, καθώς και το αντίστοιχο ρεύμα εξαρτώνται από την ισχύ της ακτινοβολίας (αριθμό φωτονίων και τη συχνότητά τους).

Το φωτοηλεκτρικό φαινόμενο χρησιμοποιείται στην κατασκευή των φωτολυχνιών (photo tubes) και των φωτοστοιχείων (φωτοκυττάρων-photocells). Οι επιφάνειες που χρησιμοποιούνται για την έκλυση φωτοηλεκτρονίων ονομάζονται ***φωτοκάθοδοι.***

Έκλυση ηλεκτρονίων παρατηρείται και όταν μεταξύ δυο μεταλλικών επιφανειών υπάρχει μεγάλη διαφορά δυναμικού. Το ισχυρό ηλεκτρικό πεδίο, το οποίο αναπτύσσεται μεταξύ τους, εξαναγκάζει τα ελεύθερα ηλεκτρόνια της επιφάνειας που βρίσκεται σε χαμηλότερο δυναμικό να εκλύονται από αυτή. Το φαινόμενο αυτό είναι γνωστό ως ***έκλυση ηλεκτρονίων με ηλεκτρικό πεδίο.*** Σε πολλές περιπτώσεις δημιουργείται χωρίς να είναι επιθυμητό και προκαλεί ανωμαλίες.

2.3 Κίνηση ηλεκτρονίων μέσα σε ομοιογενές ηλεκτρικό πεδίο.

Όπως είναι γνωστό, το ηλεκτρόνιο έχει αρνητικό ηλεκτρικό φορτίο $e = 1,6 \times 10^{-19}$ Cb και, όταν βρίσκεται σε κατάσταση ηρεμίας, η μάζα του είναι $m_0 = 9,11 \times 10^{-31}$ kg.

Σύμφωνα με τη θεωρία της σχετικότητας, όταν το ηλεκτρόνιο κινείται με κάποια

ταχύτητα V, η μάζα του αυξάνεται σύμφωνα με τη σχέση:

$$m = \frac{m_0}{\sqrt{1 - (\frac{V}{c})^2}}$$

όπου: c η ταχύτητα του φωτός στο κενό.

Στις περισσότερες ηλεκτρονικές εφαρμογές, η ταχύτητα κινήσεως των ηλεκτρονίων δεν είναι συγκρίσιμη με την ταχύτητα του φωτός στο κενό και έτσι η αύξηση της μάζας τους θεωρείται αμελητέα.

Λόγω του αρνητικού του φορτίου, όταν ένα ηλεκτρόνιο βρεθεί μέσα σε ομοιογενές ηλεκτρικό πεδίο, ασκούνται σ' αυτό δυνάμεις που έχουν διεύθυνση τη διεύθυνση της εφαπτομένης στις δυναμικές γραμμές του πεδίου στο σημείο που βρίσκεται κάθε στιγμή το ηλεκτρόνιο και με φορά αντίθετη προς τη φορά των δυναμικών γραμμών του ηλεκτρικού πεδίου. Σε ένα ιόν, λόγω του θετικού του φορτίου, θα ασκούνται δυνάμεις αντίθετης φοράς και για το λόγο αυτό ιόντα που θα βρεθούν μέσα σε ηλεκτρικό πεδίο κινούνται αντίθετα από τα ηλεκτρόνια.

α) Κίνηση παράλληλη με τη διεύθυνση του πεδίου.

Αν θεωρήσομε ότι στις παράλληλες πλάκες Α και Β (σχ. 2.3α), οι οποίες απέχουν κατά απόσταση *l*, εφαρμόζεται τάση $U = U_B - U_A$ και ότι στο μεταξύ τους χώρο επικρατεί κενό. Η ένταση του ηλεκτρικού πεδίου μεταξύ των πλακών θα είναι:

$$E = \frac{U}{l} \qquad (2.3.1)$$

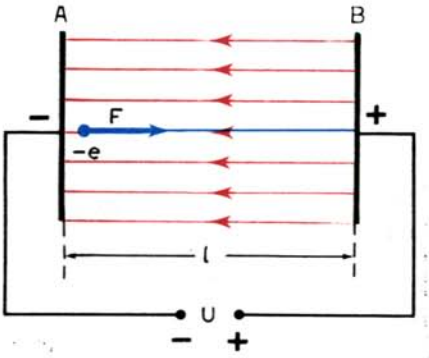
Ένα ηλεκτρόνιο που εκλύεται από την εσωτερική επιφάνεια της αρνητικής πλάκας Α (μηδενική αρχική ταχύτητα), δέχεται από το πεδίο δύναμη

$$F = -eE = -e\frac{U}{l} \qquad (2.3.2)$$

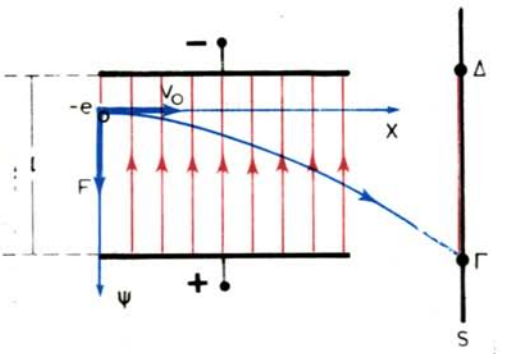
και εξαναγκάζεται σε κίνηση παράλληλη προς τις δυναμικές γραμμές, με φορά προς τη θετική πλάκα Β. Επειδή στο χώρο του πεδίου επικρατεί κενό, δεν υπάρχουν τριβές, η κίνηση του ηλεκτρονίου είναι ευθύγραμμη ομαλά επιταχυνόμενη, με επιτάχυνση:

$$\gamma = \frac{F}{m} = \frac{-e}{m} E = \frac{-e}{m}\frac{U}{l} = \text{σταθερή} \qquad (2.3.3)$$

Καθώς το ηλεκτρόνιο ξεκινά από την πλάκα Α με μηδενική ταχύτητα και καταλήγει στην πλάκα Β με ταχύτητα V, η μεταβολή της κινητικής τους ενέργειας $1/2\ mV^2 - 0$ θα είναι ίση με το έργο W που παράγεται από το ηλεκτρικό πεδίο,



Σχ. 2.3α.
Κίνηση ηλεκτρονίου παράλληλα προς τις δυναμικές γραμμές του ηλεκτρικού πεδίου.



Σχ. 2.3β.
Κίνηση ηλεκτρονίου με αρχική ταχύτητα κάθετη στις δυναμικές γραμμές του ηλεκτρικού πεδίου.

δηλαδή:

$$1/2\ mV^2 = W = -e\ (U_A - U_B) = e\ (U_B - U_A) = eU \qquad (2.3.4)$$

και η ταχύτητα του ηλεκτρονίου, όταν φθάνει στην πλάκα Β θα είναι:

$$V = \sqrt{\frac{2\ eU}{m}} \qquad (2.3.5)$$

Έτσι, η ταχύτητα με την οποία το ηλεκτρόνιο φθάνει στην πλάκα Β είναι ανεξάρτητη από την απόσταση *l* μεταξύ των πλακών.

Αντικαθιστώντας στην (2.3.5) το φορτίο και τη μάζα του ηλεκτρονίου, προκύπτει ότι η τελική ταχύτητα θα είναι:

$$V = 9{,}3 \times 10^5 \sqrt{U} \qquad (2.3.6)$$

Η ταχύτητα ιόντων θα είναι πολύ μικρότερη λόγω της μεγαλύτερης μάζας τους.

β) Κίνηση με αρχική ταχύτητα κάθετη στη διεύθυνση του πεδίου.

Αν ηλεκτρόνιο εισέρχεται στο χώρο ομοιογενούς ηλεκτρικού πεδίου Ε που προκύπτει από την τάση U, η οποία εφαρμόζεται στις παράλληλες και σε απόσταση *l* μεταξύ τους πλάκες (σχ. 2.3β), με ταχύτητα V_0 κάθετη στη διεύθυνση του ηλεκτρικού πεδίου, αυτό θα κινηθεί:

— Κατά τον άξονα Χ, επειδή δεν ασκείται δύναμη από το ηλεκτρικό πεδίο, το ηλεκτρόνιο θα ακολουθήσει ομαλή κίνηση με την ταχύτητα V_0 και σε χρόνο t θα διανύσει διάστημα:

$$X = V_0 \cdot t \qquad (2.3.7)$$

— Κατά τον άξονα Ψ, στο ηλεκτρόνιο θα ασκείται δύναμη:

$$F = eE = \frac{eU}{l} \qquad (2.3.8)$$

η οποία θα του προκαλεί επιτάχυνση:

$$\gamma = \frac{F}{m} = \frac{eE}{m} = \frac{eU}{ml} \qquad (2.3.9)$$

και σε χρόνο t θα διανύσει διάστημα:

$$\Psi = \frac{1}{2}\ \gamma t^2 = \frac{1}{2}\ \frac{eU}{ml}\ t^2 \qquad (2.3.10)$$

Από τις (2.3.7) και (2.3.10) προκύπτει:

$$\Psi = \frac{1}{2}\ \frac{eU}{ml V_0^2}\ .\ X^2 = KX^2 \qquad \text{(παραβολή)} \ (2.3.11)$$

Έτσι, η τροχιά κινήσεως του ηλεκτρονίου αυτού στο χώρο του ηλεκτρικού πεδίου θα είναι παραβολή, η οποία θα βρίσκεται στο κάθετο προς το ηλεκτρικό πεδίο επίπεδο, όπου βρίσκεται και η αρχική κίνησή του με την ταχύτητα V_0.

Μετά την έξοδό του από το ομοιογενές ηλεκτρικό πεδίο, το ηλεκτρόνιο θα ακολουθήσει ευθύγραμμη ομαλή κίνηση και θα προσπέσει στο σημείο Γ της επιφάνειας S. Τέτοια κίνηση ηλεκτρονίων έχει εφαρμογή στις καθοδικές λυχνίες, όπου η επιφάνεια S φέρει επίχρισμα από ειδική φθορίζουσα ουσία και από την πρόσπτωση των ηλεκτρονίων δημιουργείται φωτεινή κηλίδα.

Αν στο ίδιο σημείο του ηλεκτρικού πεδίου εισέρχεται συνεχής δέσμη ηλεκτρονίων με ταχύτητα V_0 και στις πλάκες Α και Β εφαρμόζεται εναλλασσόμενη τάση, εύκολα προκύπτει ότι τα ηλεκτρόνια που θα κινηθούν στο χώρο του πεδίου κατά το χρονικό διάστημα της περιόδου της τάσεως αυτής, θα προσπέσουν στο διάστημα ΓΔ της επιφάνειας S και θα δημιουργήσουν φωτεινή γραμμή.

2.4 Κίνηση ηλεκτρονίων μέσα σε ομοιογενές μαγνητικό πεδίο.

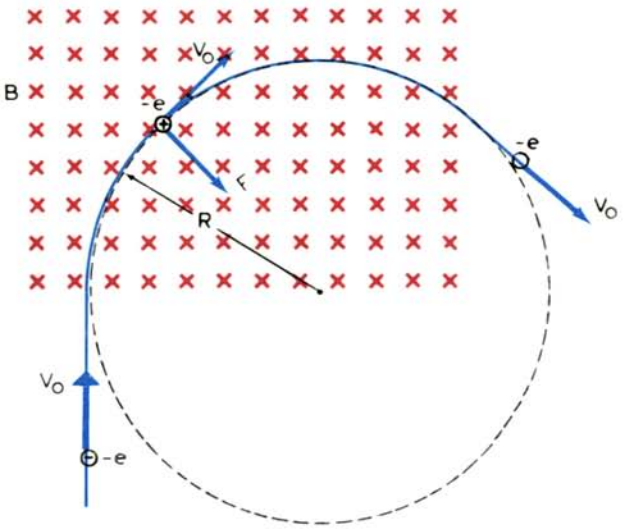
Όταν ηλεκτρόνιο κινείται με ταχύτητα $\vec{V}$ μέσα σε ομοιογενές μαγνητικό πεδίο σταθερής μαγνητικής επαγωγής $\vec{B}$, σ' αυτό ασκείται δύναμη Laplace:

$$\vec{F} = e\vec{B} \times \vec{V} \qquad F = eBV\eta\mu\theta$$

όπου: F η δύναμη σε Nt, το άνυσμα της οποίας είναι κάθετο στο επίπεδο που ορίζεται από τα διανύσματα της μαγνητικής επαγωγής και της ταχύτητας (κανόνας του αριστερού χεριού), e το φορτίο του ηλεκτρονίου $1,6 \times 10^{-19}$ Cb, B η μαγνητική επαγωγή του πεδίου σε Weber/m² (Tesla) και V η ταχύτητα του ηλεκτρονίου σε m/s.

Από τη σχέση αυτή προκύπτει ότι σε ακίνητα ηλεκτρόνια (V = 0) και σε ηλεκτρόνια που η κίνησή τους είναι παράλληλη με τη διεύθυνση των δυναμικών γραμμών του μαγνητικού πεδίου, δεν ασκούνται δυνάμεις Laplace.

ΔΡΥΜΑ ΣΥΓΓΡΑΦΕΩΝ 1954



Σχ. 2.4α.
Κίνηση ηλεκτρονίου με ταχύτητα εισόδου κάθετη στις δυναμικές γραμμές του μαγνητικού πεδίου.

α) Κίνηση ηλεκτρονίου μέσα σε ομοιογενές μαγνητικό πεδίο με ταχύτητα εισόδου V_0 κάθετη στις δυναμικές γραμμές του πεδίου.

Όταν ηλεκτρόνιο που κινείται με ταχύτητα V_0 (σχ. 2.4α), εισέρχεται κάθετα στις δυναμικές γραμμές ομοιογενούς μαγνητικού πεδίου σταθερής μαγνητικής επαγωγής $\vec{B}$, στο χώρο του οποίου επικρατεί κενό, ασκείται σ' αυτό δύναμη Laplace:

$$F = eBV_0 \qquad (2.4.1)$$

Καθώς η δύναμη αυτή είναι συνέχεια κάθετη στην ταχύτητα V_0, το ηλεκτρόνιο θα κινηθεί σε κυκλική τροχιά ακτίνας R, δηλαδή η δύναμη F ενεργεί ως κεντρομόλος δύναμη:

$$F = eBV_0 = \frac{mV_0^2}{R} \qquad (2.4.2)$$

Η ακτίνα της κυκλικής τροχιάς θα είναι:

$$R = \frac{mV_0}{eB} \qquad (2.4.3)$$

Επίσης, καθώς η δύναμη F είναι κάθετη στην ταχύτητα V_0 και τις δυναμικές γραμμές του πεδίου, η κυκλική τροχιά της κινήσεως του ηλεκτρονίου μέσα στο ομοιογενές μαγνητικό πεδίο θα βρίσκεται στο επίπεδο της αρχικής του κινήσεως.

Η γωνιακή ταχύτητα του ηλεκτρονίου θα είναι:

$$\omega = \frac{V_0}{R} = \frac{eB}{m} \qquad (2.4.4)$$

και η περίοδος της κυκλικής κινήσεώς του:

$$T = \frac{2\eta}{\omega} = \frac{2\pi m}{eB} \qquad (2.4.5)$$

όπου: $m = 9{,}11 \times 10^{-31}$ kg η μάζα του ηλεκτρονίου, $e = 1{,}6 \times 10^{-19}$ Cb το φορτίο του ηλεκτρονίου, B η μαγνητική επαγωγή του πεδίου σε Weber/m^2 και T η περίοδος της κυκλικής κινήσεως σε sec.

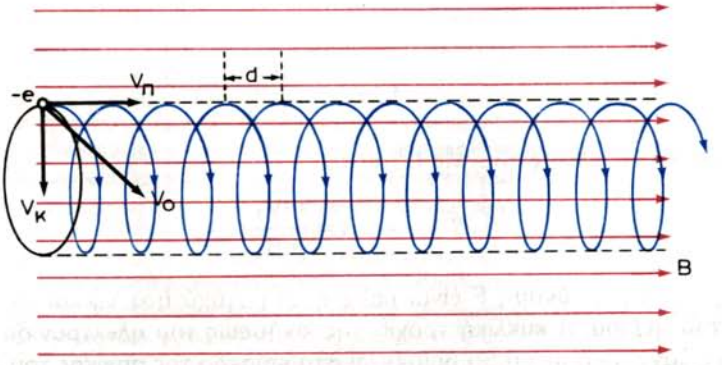
Αν στην (2.4.5) αντικαταστήσομε τις τιμές, έχομε:

$$T = \frac{3{,}57 \times 10^{-11}}{B} \text{ sec} \qquad (2.4.6)$$

Από τις σχέσεις (2.4.4) και (2.4.5) φαίνεται αντίστοιχα ότι, η γωνιακή ταχύτητα και η περίοδος της κυκλικής κινήσεως του ηλεκτρονίου μέσα στο ομοιογενές μαγνητικό πεδίο δεν εξαρτάται από την ταχύτητα εισόδου του και την ακτίνα της κυκλικής τροχιάς του. Αυτό σημαίνει ότι, αν η ταχύτητα εισόδου ηλεκτρονίου στο χώρο του μαγνητικού πεδίου αυξηθεί, το ηλεκτρόνιο θα διαγράφει κυκλική τροχιά μεγαλύτερης ακτίνας στον ίδιο χρόνο, κατά τον οποίο ηλεκτρόνιο που η ταχύτητα εισόδου του θα ελαττωθεί, θα διαγράφει τροχιά μικρότερης ακτίνας.

β) Κίνηση ηλεκτρονίου μέσα σε ομοιογενές μαγνητικό πεδίο που η ταχύτητα εισόδου του δεν είναι κάθετη στις δυναμικές γραμμές.

Όταν ηλεκτρόνιο που κινείται με ταχύτητα V_0 (σχ. 2.4β), εισέρχεται στις δυναμικές γραμμές με γωνία $\theta \neq 90°$, η ταχύτητα V_0 μπορεί να αναλυθεί σε δυο συνιστώσες. Τη $V_\pi = V_0$ συνθ, παράλληλη προς τις δυναμικές γραμμές, και τη $V_k = V_0$ημθ, κάθετη στις δυναμικές γραμμές. Έτσι, στην κατεύθυνση της συνιστώσας V_π δεν θα ασκείται δύναμη Laplace και η κίνηση του ηλεκτρονίου κατά την κατεύθυνση αυτή θα συνεχισθεί με την ίδια ταχύτητα V_0συνθ.



Σχ. 2.4β.
Ελικοειδής κίνηση ηλεκτρονίου σε μαγνητικό πεδίο.

Κατά την κατεύθυνση της συνιστώσας V_k θα ασκείται δύναμη $F = eBV_k$, η οποία ενεργεί ως κεντρομόλος και τείνει να εξαναγκάσει το ηλεκτρόνιο να κινηθεί σε κυκλική τροχιά, το επίπεδο της οποίας θα είναι κάθετο στις δυναμικές γραμμές.

Αποτέλεσμα της ευθύγραμμης ομαλής κινήσεως και της ταυτόχρονης κυκλικής κινήσεώς του είναι να ακολουθήσει το ηλεκτρόνιο κατά την κίνησή του μέσα στο μαγνητικό πεδίο την ελικοειδή τροχιά του σχήματος 2.4β.

Το βήμα της ελικοειδούς τροχιάς d θα είναι ίσο με το διάστημα, κατά το οποίο το ηλεκτρόνιο, λόγω της $V_π$ κινείται παράλληλα προς τις δυναμικές γραμμές κατά την περίοδο της κυκλικής του κινήσεως, λόγω της V_k:

$$d = TV_0 συνθ \qquad (2.4.7)$$

Από το συνδυασμό των σχέσεων (2.4.5) και (2.4.7), προκύπτει ότι το βήμα της ελικοειδούς τροχιάς του είναι:

$$d = \frac{2πm}{eB} V_0 συνθ$$

Όταν το ηλεκτρόνιο εξέλθει από το χώρο του μαγνητικού πεδίου, ακολουθεί ευθύγραμμη ομαλή κίνηση, η οποία έχει την κατεύθυνση της εφαπτομένης επί της ελικοειδούς στο σημείο εξόδου.

Στο φαινόμενο της παραπάνω ελικοειδούς κινήσεως βασίζεται και η ηλεκτρομαγνητική εστίαση της δέσμης ηλεκτρονίων στις καθοδικές λυχνίες.

2.5 Η δίοδος λυχνία.

Η δίοδος λυχνία ή λυχνία δυο ηλεκτροδίων αποτελείται από το ηλεκτρόδιο που εκλύει τα ηλεκτρόνια και ονομάζεται ***κάθοδος*** και από το ηλεκτρόδιο που τα έλκει και ονομάζεται ***άνοδος*** ή ***πλάκα.***

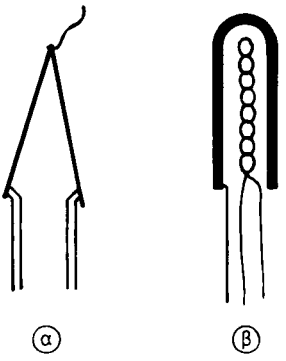
Ανάλογα με την κατασκευή τους, διακρίνομε την ***κάθοδο άμεσης θερμάνσεως*** και την ***κάθοδο έμμεσης θερμάνσεως.***

Στο πρώτο είδος, το ίδιο το νήμα, όταν θερμανθεί, εκλύει τα ηλεκτρόνια [σχ. 2.5α(α)], ενώ στο δεύτερο είδος, το νήμα που πυρακτώνεται χρησιμεύει για τη θέρμανση μεταλλικού κυλίνδρου που το περιβάλλει, ο οποίος εκλύει τα ηλεκτρόνια [σχ. 2.5α(β)].

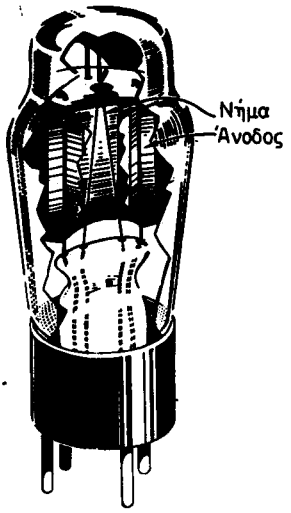
Το νήμα των καθόδων άμεσης θερμάνσεως κατασκευάζεται από βολφράμιο ή φθοριωμένο βολφράμιο και ταντάλιο, ώστε να έχει μεγάλη αντοχή, υψηλή θερμοκρασία τήξεως και να εκλύει σημαντικό αριθμό ηλεκτρονίων.

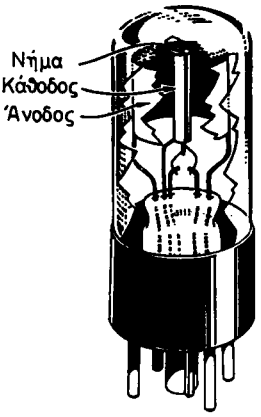
Ο μεταλλικός κύλινδρος της καθόδου έμμεσης θερμάνσεως φέρει στην εξωτερική του επιφάνεια επίχρισμα από μίγμα οξειδίων βαρίου και στροντίου, πράγμα που εξασφαλίζει μεγαλύτερη απόδοση και μεγαλύτερο χρόνο λειτουργίας.

Η άνοδος είναι κυλινδρικού σχήματος, περιβάλλει την κάθοδο και κατασκευάζεται από νικέλιο, μολυβδαίνιο ή και άνθρακα. Έτσι αποφεύγεται η δευτερογενής έκλυση ηλεκτρονίων από βομβαρδισμό που δέχεται από τα ηλεκτρόνια που έλκει. Επίσης, δεν εκλύει σημαντικό αριθμό ηλεκτρονίων όταν



Σχ. 2.5α.
Κάθοδοι άμεσης και έμμεσης θερμάνσεως.





Σχ. 2.5β.
Τομή διόδου άμεσης και έμμεσης θερμάνσεως.

θερμαίνεται και αντέχει σε υψηλές θερμοκρασίες.

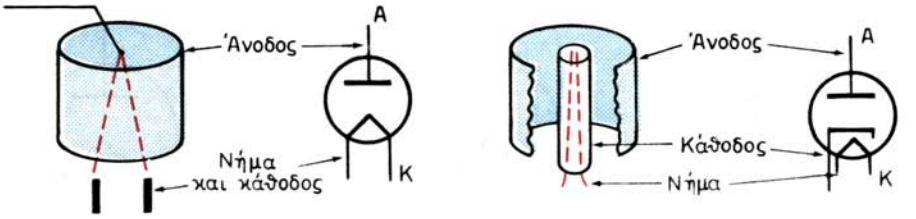
Τα δυο ηλεκτρόδια κάθοδος και άνοδος τοποθετούνται μέσα σε γυάλινο ή μεταλλικό περίβλημα (σχ. 2.5β), το οποίο ονομάζεται φάκελος. Από το φάκελο, όπως συμβαίνει σε όλους τους τύπους των λυχνιών, αφαιρείται ο ατμοσφαιρικός αέρας και επικρατεί υψηλό κενό, εκτός από τις λυχνίες αερίου. Το αερόκενο είναι απαραίτητο, για να μην προκαλείται οξείδωση ή και κάψιμο του νήματος και της καθόδου και για να εξασφαλίζεται ελεύθερη κίνηση των ηλεκτρονίων από την κάθοδο προς την άνοδο, χωρίς να συγκρούονται με μόρια του αέρα. Θα πρέπει να σημειωθεί ότι τα μόρια αερίου έχουν μάζα τουλάχιστον 1800 φορές μεγαλύτερη από τη μάζα του ηλεκτρονίου.

Το κενό στο εσωτερικό του φακέλου επιτυγχάνεται με αφαίρεση του αέρα με τη βοήθεια ειδικής αντλίας, ενώ, ταυτόχρονα, θερμαίνονται τα μεταλλικά τμήματα της λυχνίας με δινορεύματα που επάγονται σ' αυτά από πηνία, τα οποία περιβάλλουν το φάκελο και τροφοδοτούνται με ρεύματα υψηλής συχνότητας. Για την εξασφάλιση υψηλότερου κενού, μέσα στο φάκελο και πάνω σε μικρή μεταλλική υποδοχή τοποθετείται μικρή ποσότητα ***βαρίου*** ή ***μαγνησίου*** με λίγη πυρίτιδα που ονομάζεται απορροφητής. Έτσι, τα παραπάνω δινορεύματα θερμαίνουν και τη μεταλλική υποδοχή και προκαλείται ανάφλεξη του απορροφητή. Αυτός συντίθεται με τα υπόλοιπα αέρια και σχηματίζει ένα αργυρόχρωμο επίστρωμα στο εσωτερικό του φακέλου. Το επίστρωμα αυτό του ανθρακικού μαγνησίου καταλαμβάνει πολύ μικρότερο όγκο από τον αέρα και έτσι αυξάνεται το κενό.

Η απόσταση μεταξύ των ηλεκτροδίων της λυχνίας εξαρτάται βασικά από:

— Τη συχνότητα στην οποία προορίζεται να λειτουργήσει η λυχνία.

— Την τάση που θα εφαρμόζεται στα ηλεκτρόδιά της και



Σχ. 2.5γ.
Παράσταση διόδου άμεσης και έμμεσης θερμάνσεως.

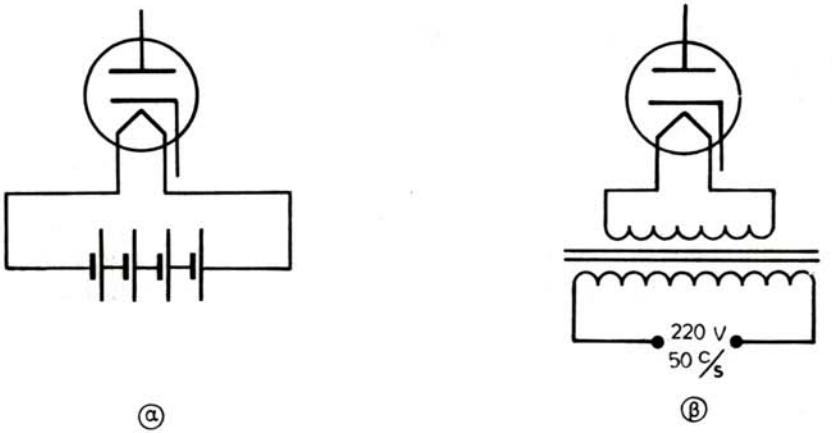
— την εσωτερική της αντίσταση.

Στο σχήμα 2.5γ φαίνονται τα παραστατικά διαγράμματα των διόδων λυχνιών άμεσης και έμμεσης θερμάνσεως.

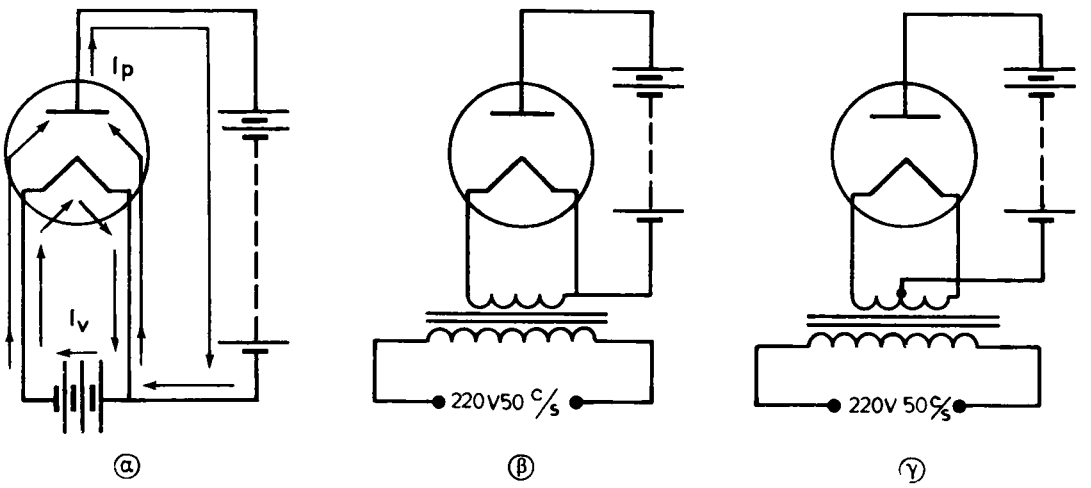
2.6 Μέθοδοι τροφοδοτήσεως των νημάτων θερμάνσεως.

Τα νήματα θερμάνσεως των καθόδων των λυχνιών τροφοδοτούνται με χαμηλή είτε συνεχή είτε εναλλασσόμενη τάση.

Στα σχήματα 2.6α(α) και (β) φαίνεται αντίστοιχα η τροφοδότηση του νήματος λυχνίας έμμεσης θερμάνσεως από μπαταρία και από πηγή εναλλασσόμενου ρεύματος με μετασχηματιστή, ο οποίος υποβιβάζει την τάση του δικτύου στην κατάλληλη χαμηλή τάση. Στις λυχνίες έμμεσης θερμάνσεως, το κύκλωμα του νήματος είναι ανεξάρτητο από το κύκλωμα καθόδου-ανόδου και δεν δημιουργείται κανένα πρόβλημα στη λειτουργία των λυχνιών. Αντίθετα, τα κυκλώματα τροφοδοτήσεως του νήματος στις λυχνίες άμεσης θερμάνσεως συνδυάζονται με τα κυκλώματα καθόδου-ανόδου και δημιουργούν προβλήματα στη λειτουργία των λυχνιών.



Σχ. 2.6α.
Τροφοδότηση του νήματος έμμεσης θερμάνσεως.



Σχ. 2.6β.
Τρόποι τροφοδοτήσεως του νήματος άμεσης θερμάνσεως.

Στο σχήμα 2.6β (α) φαίνεται τροφοδότηση του νήματος λυχνίας άμεσης θερμάνσεως από μπαταρία χαμηλής τάσεως και του κυκλώματος ανόδου-καθόδου από μπαταρία υψηλής τάσεως, όπου στο νήμα (κάθοδο) κυκλοφορούν δυο ρεύματα, το ρεύμα νήματος και το ρεύμα ανόδου με τη φορά των αντιστοίχων βελών. Από τη φορά των ρευμάτων, παρατηρούμε ότι το ρεύμα που διαρρέει το αριστερό τμήμα του νήματος είναι μεγαλύτερο από το ρεύμα που διαρρέει το δεξιό τμήμα του, επειδή τα ρεύματα νήματος και ανόδου είναι αντίστοιχα ίδιας και αντίθετης φοράς. Αυτό όμως έχει ως αποτέλεσμα, να φθείρεται περισσότερο το αριστερό τμήμα του νήματος.

Η τροφοδότηση του νήματος λυχνίας άμεσης θερμάνσεως από δίκτυο εναλλασσόμενου ρεύματος με μετασχηματιστή, όπως στο σχήμα 2.6β(β), έχει ως αποτέλεσμα να μη διατηρείται σταθερή η διαφορά δυναμικού μεταξύ καθόδου-ανόδου, αλλά να κυμαίνεται πάνω και κάτω από την τάση που τους παρέχει η μπαταρία υψηλής τάσεως κατά τη μέγιστη τιμή της εναλλασσόμενης τάσεως τροφοδοτήσεως του νήματος. Η διακύμανση αυτή, η οποία προκαλεί ανωμαλίες στη λειτουργία των λυχνιών, περιορίζεται σημαντικά, αν ο αρνητικός πόλος της μπαταρίας που παρέχει την υψηλή τάση ανόδου, συνδεθεί στο μέσο του δευτερεύοντος του μετασχηματιστή που παρέχει τη χαμηλή εναλλασσόμενη τάση νήματος [σχ. 2.6β(γ)]. Έτσι, το ρεύμα ανόδου-καθόδου διαμοιράζεται στα δυο τμήματα του νήματος με την ίδια φορά και το μέσο του δευτερεύοντος διατηρείται σε σταθερό δυναμικό.

Πάντως, λυχνίες άμεσης θερμάνσεως χρησιμοποιούνται σε συσκευές που τροφοδοτούνται από μπαταρίες και σε συσκευές μεγάλης ισχύος, γιατί αυτές παρουσιάζουν μεγαλύτερη απόδοση στην έκλυση ηλεκτρονίων.

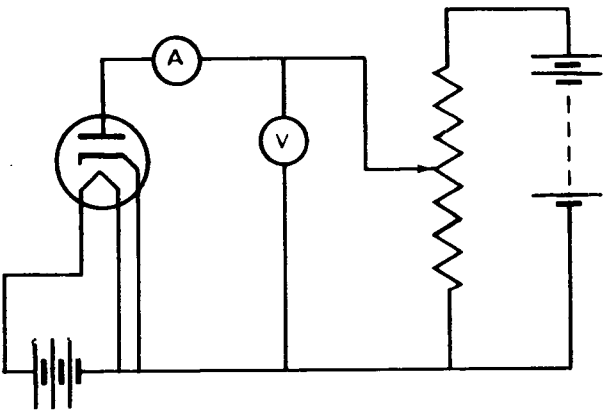
ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΕΥΓΕΝΙΔΟΣ 1954

2.7 Η χαρακτηριστική της διόδου.

Όπως είπαμε ήδη, η κάθοδος της διόδου, όταν θερμαίνεται, εκλύει ηλεκτρόνια με ρυθμό (ταχύτητα) που εξαρτάται από τη θερμοκρασία της. Τα ηλεκτρόνια αυτά έλκονται από την άνοδο, όταν αυτή βρίσκεται σε υψηλότερο δυναμικό από την κάθοδο, λόγω του ηλεκτρικού πεδίου που αναπτύσσεται μεταξύ ανόδου-καθόδου, και συγκροτούν το ρεύμα ανόδου. Αντίθετα, όταν η άνοδος βρεθεί σε χαμηλότερο δυναμικό από την κάθοδο, το ηλεκτρικό πεδίο στο μεταξύ τους χώρο είναι αντίθετης φοράς και απωθεί τα ηλεκτρόνια προς την κάθοδο, οπότε δεν υπάρχει και ρεύμα ανόδου.

Αυτό σημαίνει ότι, όταν η άνοδος έχει θετικό δυναμικό ως προς την κάθοδο, η δίοδος λυχνία λειτουργεί ως βαλβίδα και επιτρέπει τη ροή ρεύματος από την κάθοδο προς την άνοδο. Δεν επιτρέπει τη ροή ρεύματος (διακόπτης) από την άνοδο προς την κάθοδο, όταν η άνοδος έχει αρνητικό δυναμικό ως προς την κάθοδο.

Με το κύκλωμα του σχήματος 2.7α μπορούμε να διαπιστώσομε πώς μεταβάλλεται το ρεύμα ανόδου I_p, όταν μεταβάλλεται η τάση ανόδου V_p. Ρυθμίζομε την τάση ανόδου με το ποτενσιόμετρο και καταγράφομε τις τιμές ρεύματος που αντιστοιχούν σε διάφορες τιμές της τάσεως ανόδου.

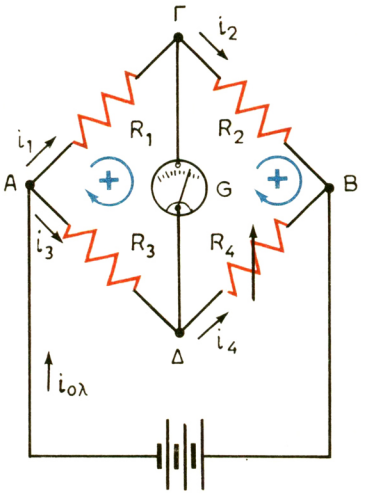


Σχ. 2.7α.
Κύκλωμα για τη χάραξη της χαρακτηριστικής της διόδου.

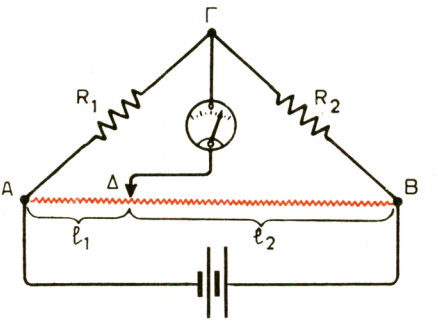
Η καμπύλη του σχήματος 2.7β δείχνει τις μεταβολές του ρεύματος ανόδου I_p σε συνάρτητη με τις μεταβολές της τάσεως ανόδου V_p και ονομάζεται ***χαρακτηριστική καμπύλη*** της διόδου.

Από τη χαρακτηριστική αυτή, παρατηρούμε ότι για χαμηλές τάσεις ανόδου δεν έχομε γραμμική αύξηση του ρεύματος ανόδου. Αυτό οφείλεται στο αρνητικό φορτίο χώρου γύρω από την κάθοδο που δημιουργεί το νέφος ηλεκτρονίων, το οποίο εξουδετερώνει το χαμηλό δυναμικό της ανόδου. Πάνω όμως από μια τιμή του δυναμικού ανόδου, το φορτίο χώρου εξουδετερώνεται και έχομε γραμμική αύξηση του ρεύματος ανόδου.

ΔΡΥΜΑ ΣΥΓΧΡΟΝΟ 1954



Σχ. 2.15α.
Γέφυρα Wheatstone.



Σχ. 2.15β.
Γέφυρα με χορδή.

Στη γέφυρα με χορδή (σχ. 2.15β), οι αντιστάσεις R_3 και R_4 έχουν αντικατασταθεί από σύρμα (χορδή) που πάνω του μπορεί να μετακινείται ο δρομέας Δ.

Για μια θέση του δρομέα Δ το γαλβανόμετρο δεν διαρρέεται από ρεύμα, οπότε θα ισχύει η σχέση (1):

$$\frac{R_1}{R_2} = \frac{R_{A\Delta}}{R_{\Delta B}} \rightarrow \frac{R_1}{R_2} = \frac{\rho \dfrac{l_1}{S}}{\rho \dfrac{l_2}{S}}$$

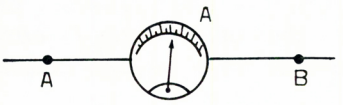
$$R_1 = R_2 \frac{l_1}{l_2} \qquad (2)$$

Στη θέση ισορροπίας μετράμε με ένα κανόνα τα μήκη l_1 και l_2 και υπολογίζομε με τη σχέση (2) την τιμή της άγνωστης αντιστάσεως R_1, αν γνωρίζομε την τιμή της R_2.

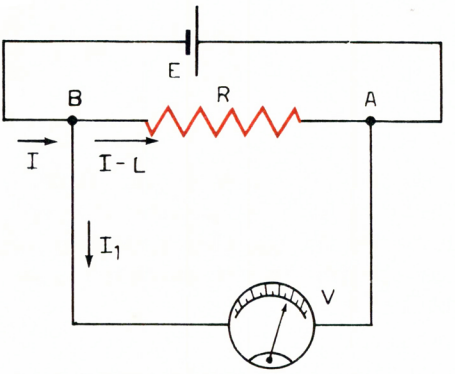
2.16 Γενικά περί αμπερομέτρων και βολτομέτρων.

Όπως έχομε αναφέρει και στην παράγραφο 2.3, για να μετρήσομε την ένταση του ρεύματος που διαρρέει ένα τμήμα κυκλώματος ΑΒ χρησιμοποιούμε όργανα που ονομάζονται ***αμπερόμετρα.*** Πριν τοποθετηθεί το όργανο στο κύκλωμα η ένταση του ρεύματος Ι που διαρρέει το κλάδο ΑΒ είναι:

$$I = \frac{U_{AB}}{R_{AB}}$$



Σχ. 2.16α.
Σύνδεση αμπερομέτρου.



Σχ. 2.16β.
Σύνδεση βολτομέτρου.

όπου R_{AB} η αντίσταση του κλάδου ΑΒ. Μετά την τοποθέτηση του αμπερομέτρου (σχ. 2.16α) η ένταση του ρεύματος γίνεται:

$$I' = \frac{U_{AB}}{R_{AB} + r}$$

όπου r η εσωτερική αντίσταση του οργάνου.

Παρατηρούμε δηλαδή, ότι η τοποθέτηση του οργάνου μεταβάλλει την ένταση του ρεύματος I που θέλομε να μετρήσομε.

Η μεταβολή αυτή είναι τόσο μικρότερη, όσο η r είναι μικρότερη. ***Γι' αυτό τα αμπερόμετρα πρέπει να έχουν, όσο είναι δυνατόν, πολύ μικρή εσωτερική αντίσταση.***

Τα βολτόμετρα, όπως είναι γνωστό, μετρούν διαφορές δυναμικού. Αν π.χ. θέλομε να μετρήσομε την τάση που επικρατεί στα άκρα του κλάδου ΑΒ (σχ. 2.16β), συνδέομε τους ακροδέκτες του οργάνου με τα σημεία Α και Β. Το όργανο τότε θα διαρρέεται από ρεύμα:

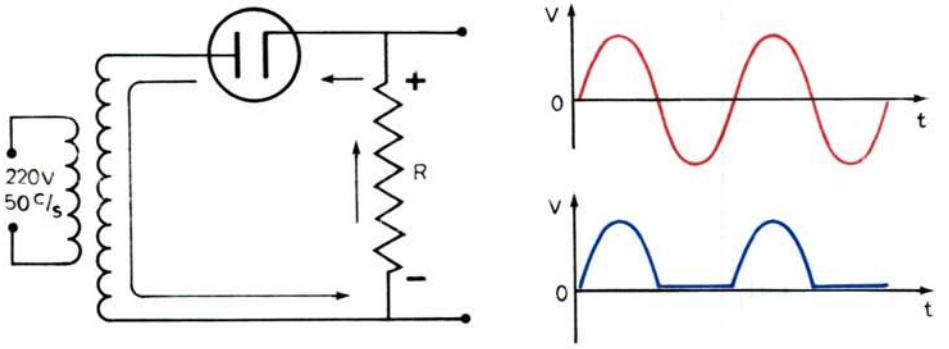
$$I_1 = \frac{U_{AB}}{r}$$

όπου r η εσωτερική αντίσταση του οργάνου. Επειδή η εκτροπή του δείκτη του οργάνου είναι ανάλογη προς την ένταση I_1 (όπως θα δούμε στην κατασκευή των οργάνων), θα είναι ανάλογη και προς την τάση U_{AB}. Μπορεί επομένως το όργανο να βαθμολογηθεί σε Volt.

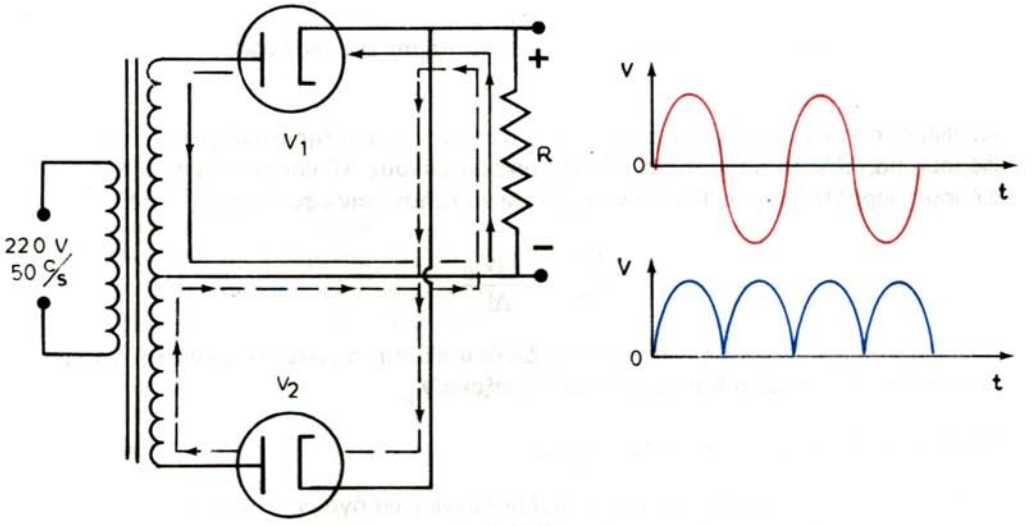
Η τοποθέτηση του οργάνου στο κύκλωμα, μεταβάλλει το ρεύμα I που το διαρρέει με αποτέλεσμα να μεταβάλλεται και η τάση U_{AB}. Ενώ δηλαδή πριν την τοποθέτηση του οργάνου ήταν:

$$I = E/R \text{ και } U_{AB} = IR,$$

μετά από αυτήν είναι: $I' = E/R'$ και $U_{AB} = I' \cdot R'$

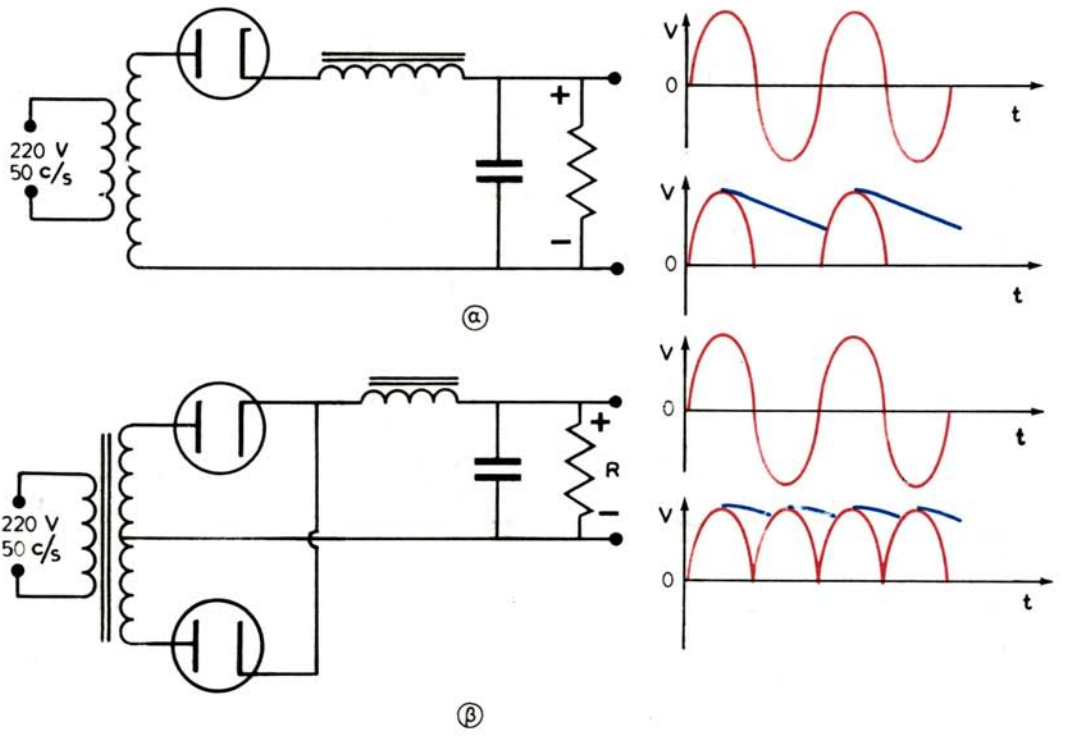


Σχ. 2.9α.
Κύκλωμα απλής ανορθώσεως και κυματομορφές της εναλλασσόμενης και της ανορθωμένης τάσεως.



Σχ. 2.9β.
Κύκλωμα διπλής ανορθώσεως και κυματομορφές της εναλλασσόμενης και της ανορθωμένης τάσεως.

νοδος της λυχνίας V_2 θα είναι αρνητική σε σχέση με την κάθοδό της. Τα αντίθετα θα ισχύουν υποχρεωτικά κατά την αρνητική ημιπερίοδο της εναλλασσόμενης τάσεως που πρόκειται να ανορθωθεί. Έτσι, κατά τη θετική ημιπερίοδο άγει η λυχνία V_1 και το ρεύμα ανόδου της διέρχεται από την αντίσταση R με τη φορά του συνεχούς βέλους, ενώ η λυχνία V_2 διατηρείται σε διακοπή. Κατά την αρνητική ημιπερίοδο της εναλλασσόμενης τάσεως, βρίσκεται σε διακοπή η λυχνία V_1 και άγει η λυχνία V_2, της οποίας το ρεύμα ανόδου (φορά διακοπτόμενου βέλους) διέρχεται από την αντίσταση R με την ίδια φορά. Στο σχήμα 2.9β φαίνεται επίσης και η κυματομορφή της τάσεως που επικρατεί στα άκρα της αντιστάσεως R, όπου



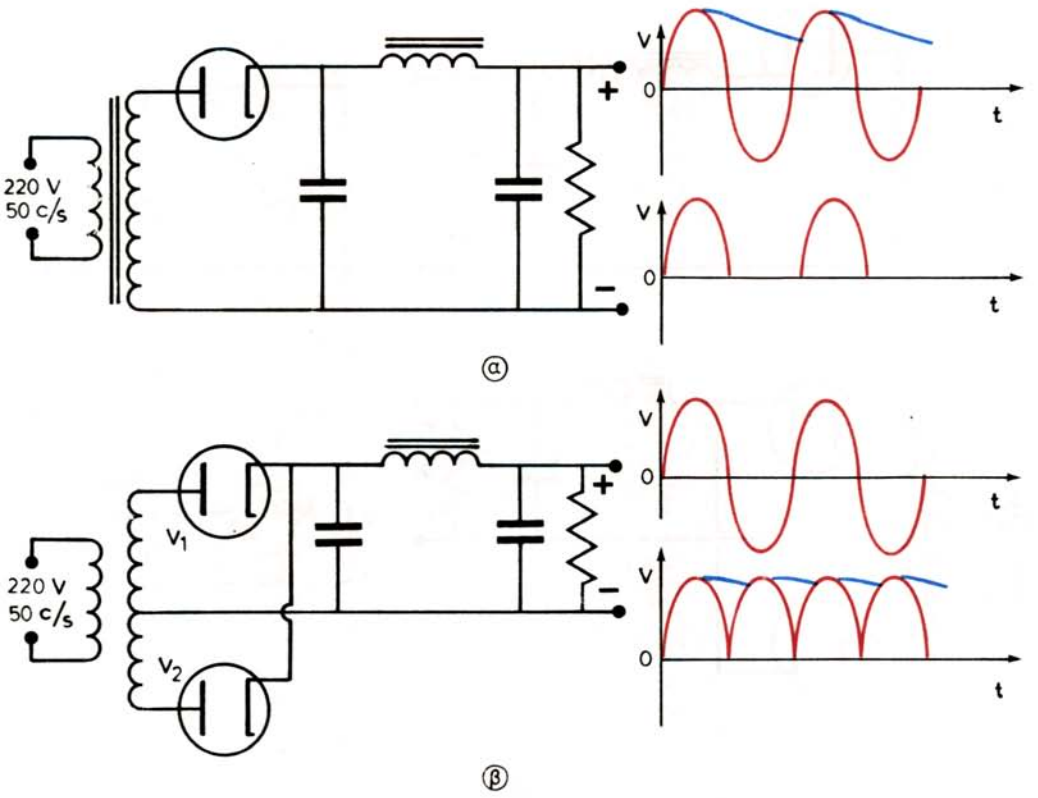
Σχ. 2.9γ.
Κύκλωμα απλής και διπλής ανορθώσεως με φίλτρο επαγωγικής εισόδου και κυματομορφές.

και η αρνητική ημιπερίοδος έχει μετατραπεί σε θετική.

Με την προσθήκη φίλτρων εξομαλύνσεως, η μεταβαλλόμενη τάση της ίδιας φοράς στην έξοδο του κυκλώματος ανορθώσεως εξομαλύνεται και μετατρέπεται πρακτικά σε σταθερή συνεχή τάση.

Στα σχήματα 2.9γ(α) και (β) φαίνονται αντίστοιχα κυκλώματα απλής και διπλής ανορθώσεως και εξομαλυντικά φίλτρα πηνίου και πυκνωτή (επαγωγικής εισόδου). Το πηνίο είναι με πυρήνα και έχει μεγάλη αυτεπαγωγή, η οποία παρουσιάζει αντίδραση στις μεταβολές του ρεύματος της αντιστάσεως φορτίου R, το οποίο διέρχεται και από το πηνίο, λόγω της συνδέσεώς του σε σειρά. Αλλά και ο πυκνωτής έχει σημαντική χωρητικότητα, ώστε να παρουσιάζει πολύ μικρότερη αντίσταση από την τιμή της αντιστάσεως φορτίου R στις μεταβολές του ρεύματος. Λόγω της παράλληλης συνδέσεώς του με την αντίσταση φορτίου, οι μεταβολές του ρεύματος διέρχονται από τον πυκνωτή. Αποτέλεσμα της συμπεριφοράς αυτής του πηνίου και του πυκνωτή είναι, από την αντίσταση φορτίου R να διέρχεται μόνο η συνεχής συνιστώσα του ανορθωμένου ρεύματος, δηλαδή πρακτικά συνεχές ρεύμα.

Στα σχήματα 2.9γ(α) και (β) φαίνονται επίσης τόσο η κυματομορφή των τάσεων που προκύπτουν από την ανόρθωση της εναλλασσόμενης τάσεως όσο και η



Σχ. 2.9δ.
Κύκλωμα απλής και διπλής ανορθώσεως με εξομαλυντικά φίλτρα τύπου Π και κυματομορφές.

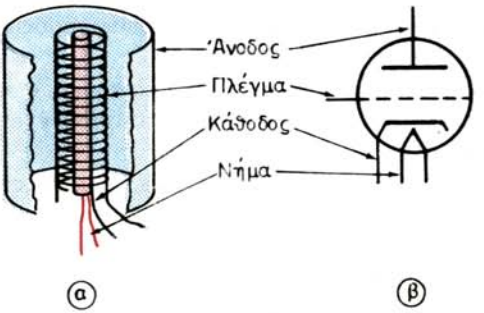
μορφή των τάσεων που επικρατούν στην έξοδο των φίλτρων.

Καλύτερα αποτελέσματα εξομαλύνσεως επιτυγχάνονται με τα φίλτρα σχήματος Π [σχ. 2.9δ(α) και (β)], τα οποία χρησιμοποιούνται περισσότερο.

2.10 Η τρίοδος λυχνία.

Με την προσθήκη ενός τρίτου ηλεκτροδίου στη δίοδο λυχνία, στο χώρο μεταξύ καθόδου-ανόδου, προέκυψε η τρίοδος λυχνία. Το τρίτο αυτό ηλεκτρόδιο ονομάζεται ***πλέγμα*** ή ***εσχάρα*** (grid), επειδή έχει παρόμοιο σχήμα και κατασκευάζεται είτε από σύρμα σε σχήμα ελικοειδούς σπειρώματος, είτε από μεταλλικό πλέγμα σε σχήμα κυλίνδρου.

Όπως φαίνεται στο σχήμα 2.10(α) (τομή της τριόδου), το πλέγμα βρίσκεται σε αρκετά μικρή απόσταση από την κάθοδο. Έτσι αποκτά τη δυνατότητα να ασκεί μεγάλο έλεγχο του αριθμού των ηλεκτρονίων που, κατά την κίνησή τους από την κάθοδο προς την άνοδο, θα διέλθουν υποχρεωτικά από το πλέγμα. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα οι μικρές μεταβολές της τάσεως πλέγματος να προκαλούν μεγάλες



Σχ. 2.10.
Τομή και παραστατικό διάγραμμα της τριόδου.

μεταβολές του ρεύματος ανόδου.

Στο σχήμα 2.10(β) φαίνεται το παραστατικό διάγραμμα της τριόδου. Στην τρίοδο λυχνία, η μεταβολή τόσο του δυναμικού ανόδου V_p, όσο και του δυναμικού πλέγματος V_g, συνεπάγεται μεταβολή του ρεύματος I_p. Η επίδραση όμως του δυναμικού πλέγματος V_g είναι εντονότερη και αυτό οφείλεται στο ότι η μικρή διαφορά δυναμικού V_g μεταξύ πλέγματος-καθόδου δημιουργεί ισχυρό ηλεκτρικό πεδίο στο μεταξύ τους χώρο, λόγω της μεταξύ τους μικρής αποστάσεως. Αν στο πλέγμα εφαρμοσθεί αρνητικό δυναμικό σε σχέση με το δυναμικό καθόδου, τότε στο μεταξύ τους χώρο θα αναπτυχθεί ηλεκτρικό πεδίο. Το πεδίο αυτό έχει φορά προς το πλέγμα και ασκεί δυνάμεις στα ηλεκτρόνια που εκλύει η κάθοδος, οι οποίες έχουν φορά προς την κάθοδο. Αποτέλεσμα των δυνάμεων αυτών είναι να ελαττώνονται οι ελκτικές δυνάμεις που ασκεί στα ηλεκτρόνια το ηλεκτρικό πεδίο, το οποίο δημιουργείται από το θετικό δυναμικό που εφαρμόζεται στην άνοδο σε σχέση με την κάθοδο. Το δυναμικό της καθόδου λαμβάνεται ως δυναμικό αναφοράς και, καθώς στην πράξη η κάθοδος συνδέεται στο σασσί (γειώνεται), είναι μηδέν. Έτσι ελαττώνεται ο αριθμός των ηλεκτρονίων που θα περάσουν από το πλέγμα και θα φθάσουν στην άνοδο. Ελαττώνεται δηλαδή το ρεύμα ανόδου.

Είναι φανερό ότι η αύξηση του αρνητικού δυναμικού που εφαρμόζεται στο πλέγμα, συνεπάγεται αύξηση της εντάσεως του ηλεκτρικού πεδίου στο χώρο μεταξύ πλέγματος και καθόδου, το οποίο εμποδίζει περισσότερο την κίνηση των ηλεκτρονίων προς την άνοδο και προκαλεί μεγαλύτερη ελάττωση του ρεύματος ανόδου. Αν το αρνητικό αυτό δυναμικό αυξηθεί μέχρι μια ορισμένη τιμή, η οποία εξαρτάται από τον τύπο της λυχνίας, διακόπτεται η κίνηση ηλεκτρονίων προς την άνοδο και το ρεύμα ανόδου μηδενίζεται, παρόλο που το δυναμικό της διατηρείται σταθερό. Το αρνητικό αυτό δυναμικό του πλέγματος, με το οποίο μηδενίζεται το ρεύμα ανόδου της λυχνίας, ονομάζεται ***δυναμικό αποκοπής*** ή ***τάση αποκοπής*** της λυχνίας. Για ένα ορισμένο τύπο τριόδου λυχνίας, σε κάθε τιμή της τάσεως ανόδου αντιστοιχεί μια ορισμένη τάση αποκοπής.

Αν το αρνητικό δυναμικό που εφαρμόζεται στο πλέγμα λάβει τιμή μόλις μικρότερη από την κρίσιμη τιμή αποκοπής, τότε το πλέγμα επιτρέπει τη διέλευση μικρού αριθμού ηλεκτρονίων προς την άνοδο που αντιστοιχεί σε ένα μικρό ρεύμα ανόδου. Όσο το αρνητικό δυναμικό του πλέγματος ελαττώνεται, αυξάνεται αντίστοιχα το ρεύμα ανόδου. Όταν το δυναμικό αυτό μηδενισθεί, τότε το πλέγμα δεν

έχει καμιά επίδραση στην κίνηση των ηλεκτρονίων προς την άνοδο και η τρίοδος λυχνία πλησιάζει τη συμπεριφορά της διόδου.

Τέλος, αν στο πλέγμα εφαρμοσθεί θετικό δυναμικό, έλκει και αυτό ηλεκτρόνια, οπότε παρατηρείται και το ρεύμα πλέγματος, το οποίο έχει ως αποτέλεσμα να μην αυξάνεται το ρεύμα ανόδου.

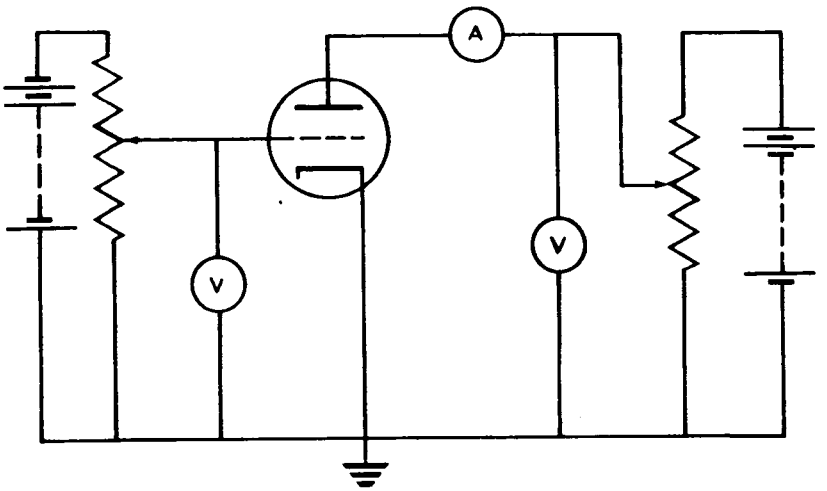
Στην πράξη, κατά τη λειτουργία των τριόδων, εφαρμόζεται στο πλέγμα σταθερό αρνητικό δυναμικό σε σχέση με την κάθοδο, το οποίο λέγεται ***πόλωση*** (bias), και μόνο σε ελάχιστες ειδικές περιπτώσεις το δυναμικό του πλέγματος λαμβάνει στιγμιαίες θετικές τιμές. Οι θετικές τιμές αποφεύγονται, επειδή το ρεύμα πλέγματος, από το οποίο ακολουθούνται, προκαλεί παραμόρφωση κατά την ενίσχυση ή και καταστροφή της λυχνίας.

2.11 Η χαρακτηριστική ανόδου της τριόδου.

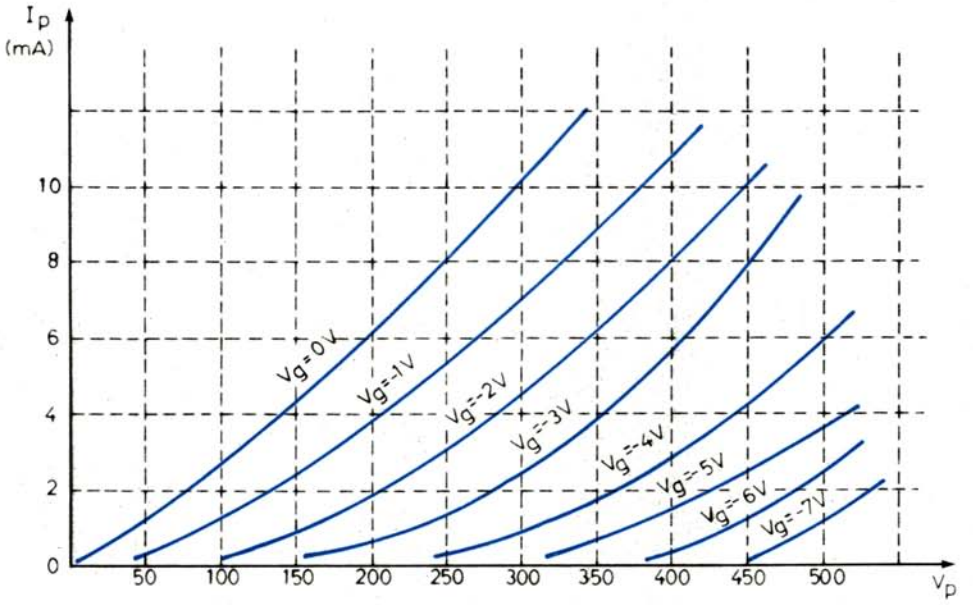
Όπως είδαμε, το ρεύμα ανόδου I_p της τριόδου μπορεί να μεταβάλλεται είτε με μεταβολή της τάσεως ανόδου V_p, είτε με μεταβολή της τάσεως πλέγματος V_g.

Η καμπύλη που παριστάνει τη μεταβολή του ρεύματος ανόδου I_p σε συνάρτηση με τη μεταβολή της τάσεως ανόδου V_p για σταθερό δυναμικό πλέγματος V_g, [$I_p = F(V_p)/V_g$ = σταθερό], ονομάζεται ***χαρακτηριστική ανόδου*** της τριόδου.

Στο σχήμα 2.11α φαίνεται διάταξη κυκλώματος, με το οποίο μπορούμε να πάρομε τις κατάλληλες μετρήσεις για τη χάραξη της χαρακτηριστικής ανόδου. Με την ποτενσιομετρική διάταξη πλέγματος καθόδου, μπορούμε να ρυθμίζομε το αρνητικό δυναμικό του πλέγματος V_g, για κάθε τιμή του οποίου αντιστοιχεί μια ορισμένη χαρακτηριστική. Με την ποτενσιομετρική διάταξη ανόδου-καθόδου, μπορούμε να μεταβάλλομε την τάση ανόδου V_p, την τιμή της οποίας μας δείχνει το βολτόμετρο, ενώ το αμπερόμετρο μας δείχνει την τιμή του ρεύματος ανόδου I_p.



Σχ. 2.11α.
Κύκλωμα μετρήσεων για τη χάραξη της χαρακτηριστικής ανόδου και πλέγματος της τριόδου.



Σχ. 2.11β.
Σμήνος χαρακτηριστικών ανόδου.

Με τις αντίστοιχες τιμές των V_p και I_p χαράζομε τη χαρακτηριστική καμπύλη.

Στο σχήμα 2.11β φαίνονται χαρακτηριστικές ανόδου για διάφορες τιμές τάσεως πλέγματος V_g. Η ομάδα τέτοιων χαρακτηριστικών ονομάζεται ***σμήνος*** ή ***οικογένεια*** χαρακτηριστικών ανόδου της τριόδου.

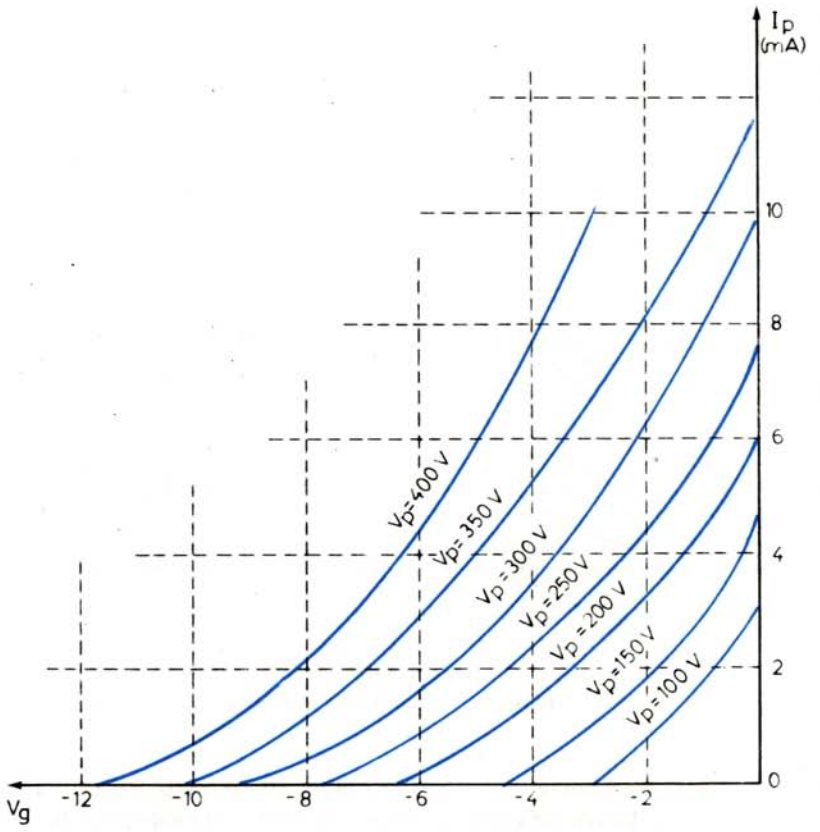
2.12 Η χαρακτηριστική πλέγματος της τριόδου.

Η χαρακτηριστική πλέγματος ή χαρακτηριστική $V_g - I_p$ είναι η καμπύλη που παριστάνει τη μεταβολή του ρεύματος ανόδου I_p σε συνάρτηση με τη μεταβολή του δυναμικού πλέγματος V_g για σταθερή τάση ανόδου V_p.

$$[I_p = F(V_g)/V_p \text{ σταθερό}]$$

Για τις μετρήσεις που απαιτούνται για τη χάραξη της χαρακτηριστικής πλέγματος, χρησιμοποιούμε το κύκλωμα του σχήματος 2.11α. Με την ποτενσιομετρική διάταξη πλέγματος - καθόδου μεταβάλλομε το δυναμικό πλέγματος, τις τιμές του οποίου δείχνει το αντίστοιχο βολτόμετρο, ενώ το αμπερόμετρο δείχνει τις τιμές του ρεύματος ανόδου. Με την ποτενσιομετρική διάταξη ανόδου-καθόδου και με το αντίστοιχο βολτόμετρο ρυθμίζομε την τάση ανόδου, την οποία διατηρούμε σταθερή στην τιμή που επιθυμούμε να αντιστοιχεί η χαρακτηριστική κατά το χρονικό διάστημα που μεταβάλλομε το δυναμικό πλέγματος.

Έτσι, σε κάθε τιμή της τάσεως ανόδου V_p αντιστοιχεί και μια χαρακτηριστική



Σχ. 2.12.
Χαρακτηριστικές πλέγματος της τριόδου.

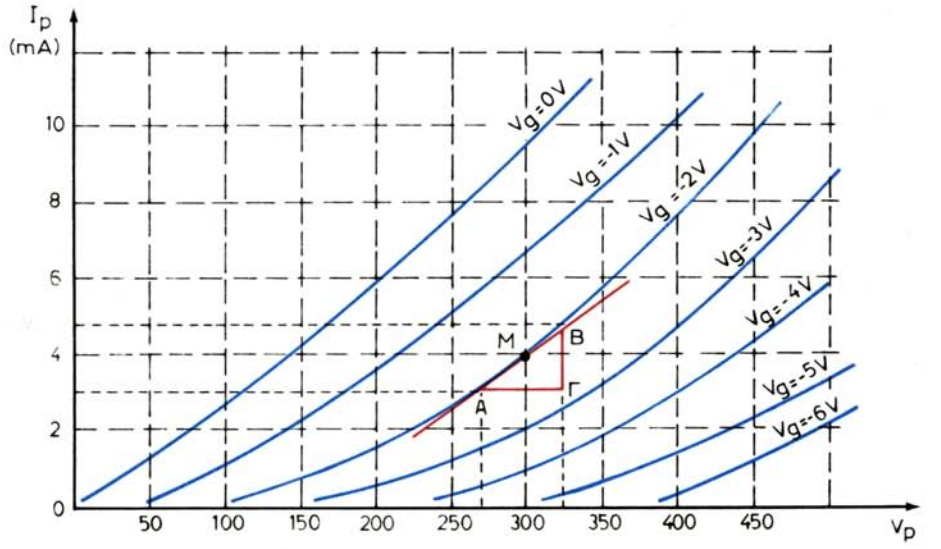
πλέγματος ($V_g - I_p$). Στο σχήμα 2.12 φαίνεται ομάδα χαρακτηριστικών πλέγματος τριόδου, για διάφορες τιμές της τάσεως ανόδου. Από την ομάδα των χαρακτηριστικών αυτών φαίνεται ότι, για μεγαλύτερες τιμές της τάσεως ανόδου, απαιτούνται αντίστοιχα μεγαλύτερες τιμές δυναμικού αποκοπής της λυχνίας.

2.13 Η εσωτερική αντίσταση της τριόδου.

Ως εσωτερική αντίσταση της τριόδου λυχνίας ορίζεται ο λόγος των μικρών μεταβολών της τάσεως ανόδου προς τις αντίστοιχες μεταβολές του ρεύματος ανόδου για σταθερό δυναμικό πλέγματος, δηλαδή:

$$\rho = \frac{\Delta V_p}{\Delta I_p} \text{ Omhs για } V_g \text{ σταθερό}$$

Η εσωτερική αντίσταση που προκύπτει με τον τρόπο αυτό ονομάζεται και αν-



Σχ. 2.13.
Γραφική εκτίμηση των ρ, gm και μ στο σμήνος των χαρακτηριστικών.

τίσταση της λυχνίας στο εναλλασσόμενο ρεύμα και πρέπει να διαχωρίζεται από την αντίσταση της λυχνίας στο συνεχές ρεύμα. Η αντίσταση της λυχνίας στο συνεχές ρεύμα είναι ο λόγος της σταθερής τάσεως ανόδου προς το αντίστοιχο σταθερό ρεύμα ανόδου.

Η εσωτερική αντίσταση της λυχνίας μεταβάλλει τιμή στα διάφορα σημεία του καμπύλου τμήματος της χαρακτηριστικής της, ενώ στο ευθύγραμμο τμήμα της διατηρεί σταθερή τιμή. Η τιμή της μπορεί να βρεθεί γραφικά από την ομάδα χαρακτηριστικών ανόδου της λυχνίας. Θεωρούμε ότι το σημείο λειτουργίας της λυχνίας είναι το σημείο Μ στην ομάδα των χαρακτηριστικών (σχ. 2.13), όπου το δυναμικό πλέγματος $V_g = -2$ V, η τάση ανόδου $V_p = 300$ V και το ρεύμα ανόδου $I_p = 4$ mA. Φέρνομε την εφαπτομένη επί της χαρακτηριστικής στο σημείο Μ και πάνω σ' αυτή παίρνομε μικρό τμήμα ΑΒ, με μέσο του το σημείο Μ. Φέρνομε τα ευθύγραμμα τμήματα ΑΓ και ΒΓ παράλληλα στους άξονες V_p και I_p αντίστοιχα. Στο ορθογώνιο τρίγωνο ΑΒΓ που σχηματίζεται, η πλευρά ΑΓ αντιστοιχεί στη μεταβολή της τάσεως ανόδου $\Delta V_p = 325 - 275 = 50$ V και η ΒΓ στη μεταβολή του ρεύματος ανόδου $\Delta I_p = 5 - 3 = 2$ mA. Έτσι, στο σημείο Μ η εσωτερική αντίσταση της λυχνίας είναι:

$$\rho = \frac{\Delta V_p}{\Delta I_p} = \frac{A\Gamma}{B\Gamma} = \frac{50\ V}{2\ mA} = 25\ k\Omega \quad \text{για} \quad V_g = -2\ V$$

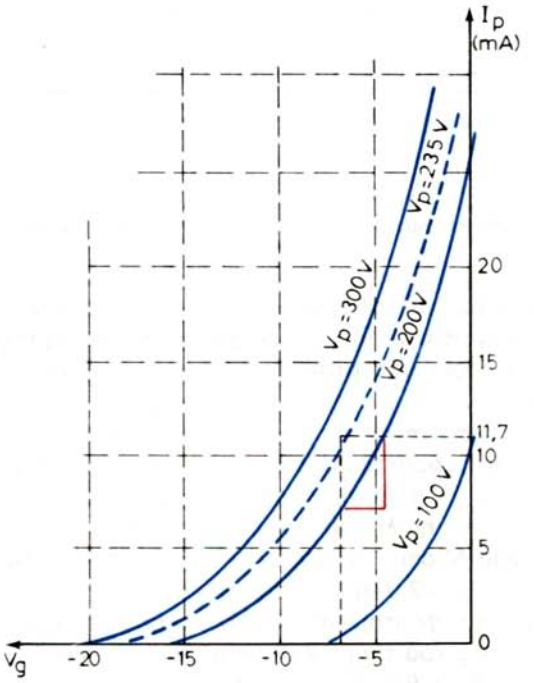
Από το σχήμα 2.13 και την ισότητα προκύπτει ότι, όπως και στη δίοδο λυχνία, η εσωτερική αντίσταση της τριόδου είναι ίση με τη συνεφαπτομένη στο σημείο λειτουργίας.

2.14 Η διαγωγιμότητα της τριόδου.

Ως διαγωγιμότητα ή κλίση gm της τριόδου λυχνίας ορίζεται ο λόγος της μεταβολής του ρεύματος ανόδου ΔI_p προς τη μικρή μεταβολή της τάσεως πλέγματος ΔV_g για σταθερή τάση ανόδου V_p, δηλαδή:

$$gm = \frac{\Delta I_p}{\Delta V_g} \text{ Hmos} \quad \text{ή} \quad \text{A/V για } V_p \text{ σταθερή}$$

Η διαγωγιμότητα της τριόδου μπορεί να βρεθεί γραφικά από την ομάδα χαρακτηριστικών πλέγματος (σχ. 2.14), αν ορισθεί το σημείο λειτουργίας της λυχνίας



Σχ. 2.14.
Προσδιορισμός του gm και του μ από τις χαρακτηριστικές πλέγματος.

και βρεθεί σ' αυτό η μεταβολή του ρεύματος ανόδου που αντιστοιχεί σε ορισμένη μικρή μεταβολή της τάσεως πλέγματος. Με αντικατάσταση των τιμών αυτών στον παραπάνω τύπο, υπολογίζεται η διαγωγιμότητα. Μπορεί επίσης να βρεθεί από την ομάδα των χαρακτηριστικών ανόδου της λυχνίας. Αν στο σημείο λειτουργίας Μ του σχήματος 2.13 μεταβάλομε την τάση πλέγματος από −1,5 V σε −2,5 V, ενώ διατηρούμε την τάση ανόδου σταθερή 325 V, το ρεύμα ανόδου μεταβάλλεται από 5 mA σε 3 mA. Επομένως η διαγωγιμότητα της λυχνίας θα είναι:

$$gm = \frac{\Delta I_p}{\Delta V_g} = \frac{2\ mA}{1V} = 2\ mA/V = 0{,}002\ A/V$$

Δηλαδή, για να μεταβληθεί το ρεύμα ανόδου κατά 2 mA, πρέπει να μεταβληθεί η τάση πλέγματος κατά 1 V, ενώ τη τάση ανόδου διατηρείται σταθερή.

2.15 Ο συντελεστής ενισχύσεως της τριόδου.

Ως συντελεστής ενισχύσεως λυχνίας ορίζεται ο λόγος της μεταβολής της τάσεως ανόδου ΔV_p προς τη μικρή μεταβολή της τάσεως πλέγματος ΔV_g για σταθερό ρεύμα ανόδου I_p, δηλαδή:

$$\mu = \frac{\Delta V_p}{\Delta V_g} \text{ για } I_p \text{ σταθερό}$$

Δείχνει δηλαδή ο συντελεστής ενισχύσεως τη σχετική επίδραση της τάσεως ανόδου και της τάσεως πλέγματος στη ροή του ρεύματος ανόδου:

Από τις σχέσεις: $\rho = \frac{\Delta V_p}{\Delta I_p} \rightarrow \Delta V_p = \rho \Delta I_p$ και

$gm = \frac{\Delta I_p}{\Delta V_g} \rightarrow \Delta V_g = \frac{\Delta I_p}{gm}$ συνεπάγεται ότι

$$\mu = \frac{\Delta V_p}{\Delta V_g} = \rho \,.\, gm \text{ καθαρός αριθμός}$$

Ο συντελεστής ενισχύσεως μ προκύπτει από τις τιμές ρ και gm, αλλά και γραφικά από την ομάδα των χαρακτηριστικών ανόδου της λυχνίας. Στο σχήμα 2.13 βλέπομε ότι για τάση ανόδου $V_p = 275$ V και τάση πλέγματος $V_g = -2$ V το ρεύμα ανόδου $I_p = 3$ mA. Αν η τάση ανόδου αυξηθεί σε 325 V, $\Delta V_p = 50$ V, και το ρεύμα ανόδου παραμείνει σταθερό στα 3 mA, πρέπει να αυξηθεί και η τάση πλέγματος σε −2,7 V, $\Delta V_g = 0{,}7$ V, οπότε $\mu = 50\ V/0{,}7\ V \simeq 71$.

Μπορεί όμως να βρεθεί γραφικά και από την ομάδα χαρακτηριστικών πλέγματος, αφού ορισθεί το σημείο λειτουργίας της λυχνίας. Στο σχήμα 2.14 βλέπομε ότι, αν το δυναμικό της ανόδου είναι $V_p = 200$ και το δυναμικό πλέγματος $V_g = -5$ V, το ρεύμα ανόδου είναι 11,7 mA. Αν το δυναμικό πλέγματος αυξηθεί στα −7 V, τότε το ρεύμα ανόδου θα μειωθεί στα 6,7 mA. Για να διατηρηθεί σταθερό το ρεύμα ανόδου στα 11,7 mA, όταν το δυναμικό πλέγματος αυξάνεται από −5 σε −7 V, $\Delta V_g = -2$ V, η τάση ανόδου πρέπει να αυξηθεί από 200 σε 235 V, $\Delta V_p = 35$ V, οπότε $\mu = 35\ V/2\ V = 17{,}5$.

Αν λάβομε υπόψη μας το αρνητικό πρόσημο του δυναμικού πλέγματος, προκύπτει ότι ο συντελεστής ενισχύσεως μ είναι αρνητικός αριθμός και αυτό συνεπάγεται ότι κατά την ενίσχυση δημιουργείται αναστροφή φάσεως.

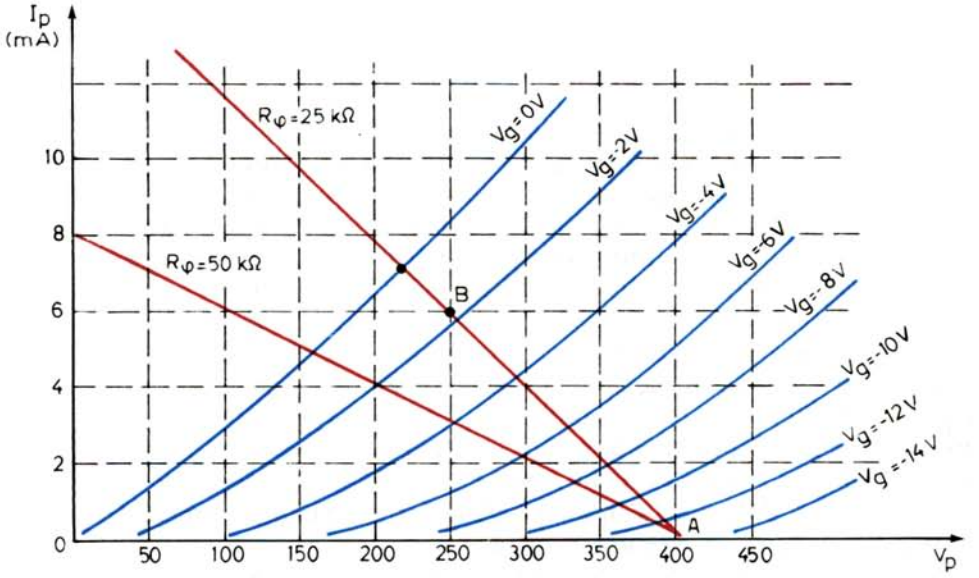
ΔΡΥΜΑ ΣΥΓΓΡΑΦΕΩΝ 1954

2.16 Η γραμμή φόρτου.

Η γραμμή φόρτου χαράζεται στην ομάδα χαρακτηριστικών ανόδου της λυχνίας. Στο σχήμα 2.16 φαίνεται γραμμή φόρτου τριόδου λυχνίας με τις χαρακτηριστικές ανόδου του σχήματος, τάση τροφοδοτήσεως 400 V και αντίσταση φόρτου 25 kΩ, η οποία χαράσσεται ως εξής:

Θεωρούμε ότι η λυχνία βρίσκεται σε διακοπή, οπότε το ρεύμα ανόδου είναι μηδέν, η τάση ανόδου είναι ίση με την τάση που της παρέχει η πηγή V_{π}, δηλαδή 400 V, και το σημείο λειτουργίας της λυχνίας είναι το Α. Όταν η λυχνία άγει, τότε, λόγω του ρεύματος ανόδου, η τάση ανόδου θα είναι $V_p = V_{\pi} - I_p R_{\phi}$. Αν το ρεύμα ανόδου είναι 6 mA, η αντίστοιχη τάση ανόδου θα είναι $V_p = 400 - (6 \times 10^{-3} \times 25 \times 10^3) = 250$ V και το σημείο λειτουργίας της θα είναι το Β. Η ευθεία που διέρχεται από τα σημεία Α και Β είναι η γραμμή φόρτου της λυχνίας, που έχει χαρακτηριστικές ανόδου εκείνες του σχήματος 2.16, τάση τροφοδοτήσεως της ανόδου 400 V και αντίσταση φορτίου 25 kΩ.

Κατά τον ίδιο τρόπο μπορούμε να χαράξομε τη γραμμή φόρτου για αντίσταση φόρτου 50 kΩ, όπως φαίνεται στο ίδιο σχήμα. Η γραμμή φόρτου είναι ευθεία, επειδή η πτώση τάσεως στην αντίσταση φόρτου $I_p R_{\phi}$ και κατά συνέπεια η ελάττωση της τάσεως ανόδου V_p είναι ανάλογη του ρεύματος. Όπως φαίνεται στο σχήμα 2.16, η κλίση της γραμμής φόρτου είναι ανάλογη προς την τιμή της αντιστάσεως φόρτου. Αν μεταβληθεί η τάση τροφοδοτήσεως της ανόδου, για την ίδια αντίσταση φόρτου, η γραμμή φόρτου μετατίθεται παράλληλα, ώστε να τέμνει τον άξονα V_p στο σημείο που αντιστοιχεί η νέα τάση τροφοδοτήσεως, ενώ η κλίση της παραμένει η ίδια.



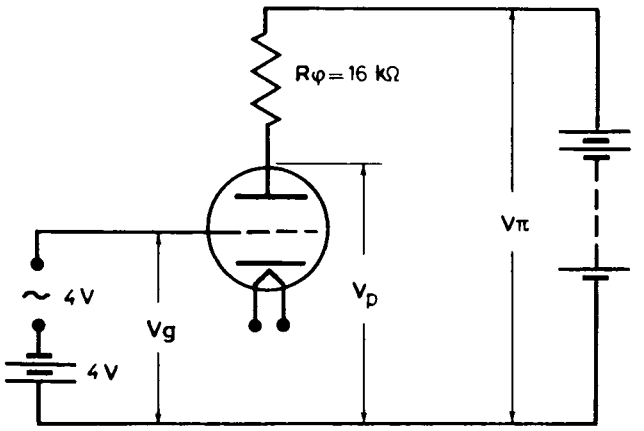
Σχ. 2.16.
Χάραξη γραμμών φόρτου στο σμήνος χαρακτηριστικών ανόδου.

2.17 Ενίσχυση.

Με τις χαρακτηριστικές ανόδου και τη γραμμή φόρτου μπορούμε εύκολα να μελετήσομε τον τρόπο μεταβολής του ρεύματος ανόδου I_p και της τάσεως ανόδου V_p σε συνάρτηση με τις μεταβολές της τάσεως πλέγματος.

Ας θεωρήσομε το κύκλωμα του σχήματος 2.17α, όπου η αντίσταση φόρτου είναι 16 kΩ και η τάση τροφοδοτήσεως της ανόδου $V_π$ = 300 V. Στο πλέγμα εφαρμόζεται ταυτόχρονα συνεχής τάση −4 V και εναλλασσόμενη τάση πλάτους 4 V, οπότε η τάση πλέγματος V_g μεταβάλλεται κατά 4 V πάνω και κάτω από τη σταθερή τιμή −4 V, δηλαδή κυμαίνεται από 0 V μέχρι −8 V.

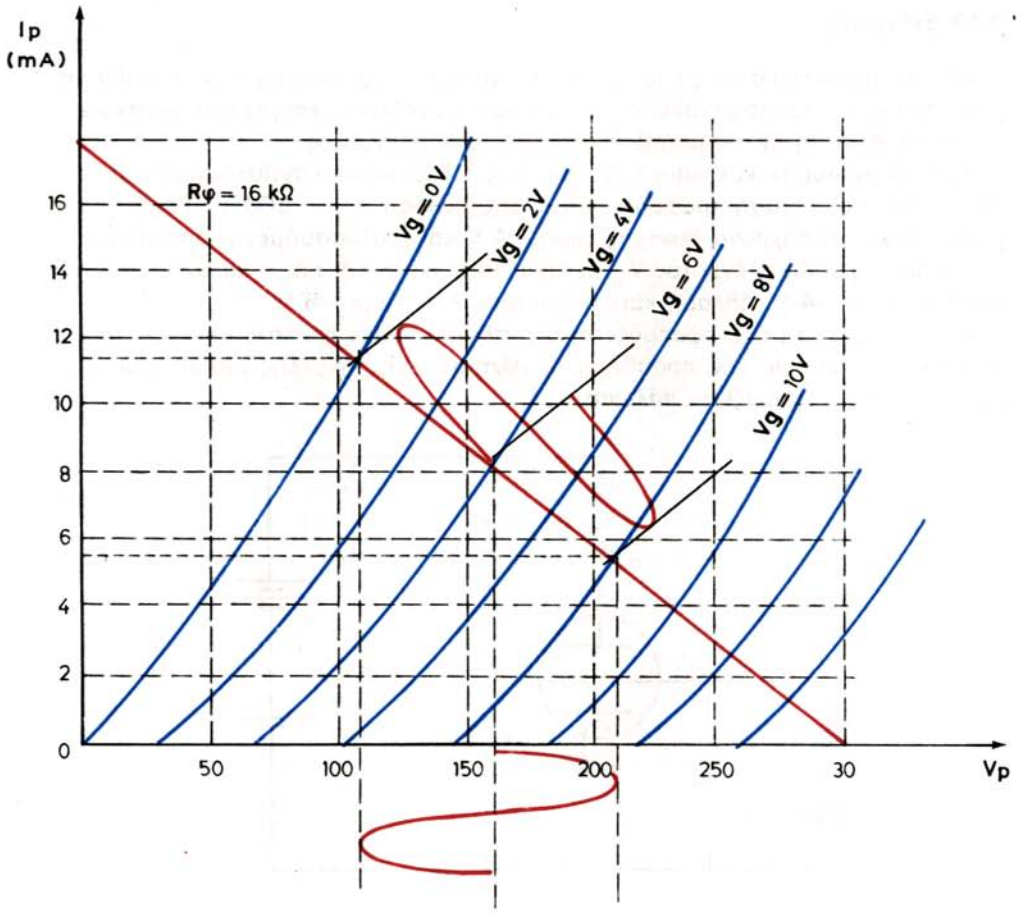
Η συνεχής τάση που εφαρμόζεται στο πλέγμα, πάνω και κάτω από την οποία γίνεται μεταβολή με την προσθήκη εναλλασσόμενης ή άλλης μεταβαλλόμενης γενικά τάσεως, ονομάζεται ***πόλωση.***



Σχ. 2.17α.
Βασικό κύκλωμα ενισχυτή με τρίοδο λυχνία.

Αν η λυχνία του σχήματος 2.17α έχει ως ομάδα χαρακτηριστικών ανόδου αυτές του σχήματος 2.17β και χαράξομε σ' αυτές τη γραμμή φόρτου για αντίσταση 16 kΩ, προκύπτει ότι, όταν η τάση πλέγματος V_g = 0 V, το ρεύμα ανόδου I_p = 11,8 mA και η τάση ανόδου V_p = 110 V. Όταν η τάση πλέγματος V_g = −8 V το ρεύμα ανόδου I_p = 5,7 mA και η τάση ανόδου V_p = 210 V. Δηλαδή, όταν η τάση πλέγματος μεταβάλλεται κατά 8 V, η τάση ανόδου μεταβάλλεται κατά 100 V και η μεταβολή έχει πολλαπλασιασθεί κατά μ = 12,5.

Στην ιδιότητα αυτή της τριόδου βασίζεται η χρησιμοποίησή της ως ενισχυτή μικρών εναλλασσομένων τάσεων που εφαρμόζονται στο πλέγμα της. Είναι φανερό ότι οι μεταβολές τόσο του ρεύματος ανόδου I_p όσο και της τάσεως ανόδου V_p έχουν την ίδια μορφή με την εναλλασσόμενη τάση που εφαρμόζεται στο πλέγμα για να ενισχυθεί, μόνο όταν η τρίοδος λειτουργεί στα ευθύγραμμα τμήματα των χαρακτηριστικών της, όπως στο σχήμα 2.17α. Σε αντίθετη περίπτωση, οι μεταβολές του ρεύματος ανόδου I_p δεν θα είναι ανάλογες με τις



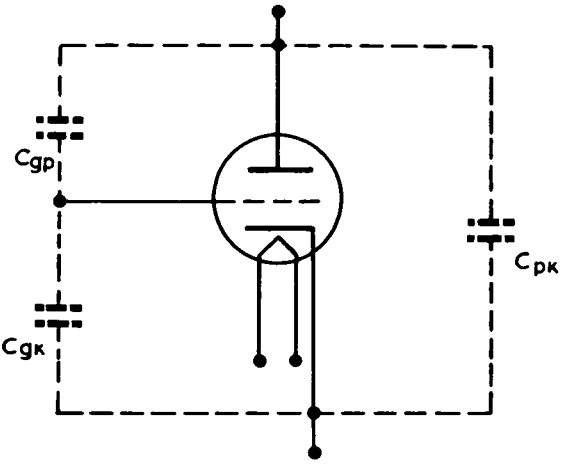
Σχ. 2.17β.
Γραφική παράσταση της ενισχύσεως.

μεταβολές της τάσεως πλέγματος V_g και θα προκαλείται ***παραμόρφωση.*** Θα πρέπει να σημειωθεί ότι μεταξύ των μεταβολών της τάσεως πλέγματος και των μεταβολών της τάσεως ανόδου υπάρχει διαφορά φάσεως 180° και γι' αυτό σε κάθε βαθμίδα ενισχύσεως κατά την ενίσχυση του σήματος παρατηρείται παραμόρφωση φάσεως 180°.

2.18 Η ενδοχωρητικότητα μεταξύ των ηλεκτροδίων.

Όπως είναι γνωστό, μεταξύ αγωγίμων επιφανειών όπου επικρατεί διηλεκτρικό, παρατηρείται το φαινόμενο της χωρητικότητας, η τιμή της οποίας εξαρτάται από το μέγεθος των επιφανειών, από τη μεταξύ τους απόσταση και από το είδος του διηλεκτρικού. Έτσι, μεταξύ των ηλεκτροδίων της τριόδου υπάρχει χωρητικότητα, η οποία προκαλεί ανωμαλίες στη λειτουργία της λυχνίας.

Η χωρητικότητα μεταξύ των διαφόρων ηλεκτροδίων ονομάζεται ***ενδο-***



Σχ. 2.18.
Οι ενδοχωρητικότητες της τριόδου λυχνίας.

χωρητικότητα και φαίνεται στο σχήμα 2.18. Διακρίνομε τον πυκνωτή $C_{gκ}$ μεταξύ πλέγματος-καθόδου, τον πυκνωτή C_{gp} μεταξύ πλέγματος-ανόδου και τον πυκνωτή $C_{pκ}$ μεταξύ ανόδου-καθόδου.

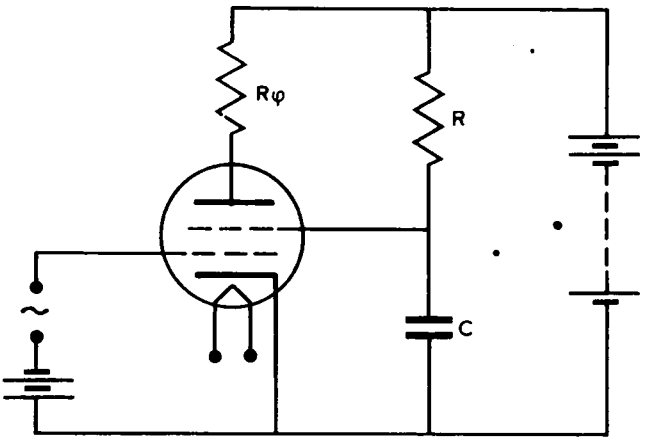
Οι τιμές των ενδοχωρητικοτήτων αυτών εξαρτώνται βασικά από την επιφάνεια των ηλεκτροδίων και από τη μεταξύ τους απόσταση, αλλά η τιμή τους αυξάνει και από τους ακροδέκτες και τους αγωγούς συνδέσεως των ηλεκτροδίων με τα εξωτερικά κυκλώματα. Κατά τη λειτουργία της τριόδου σε χαμηλές συχνότητες, οι μικρές αυτές ενδοχωρητικότητες παρουσιάζουν μεγάλη χωρητική αντίσταση και δεν δημιουργούν προβλήματα. Στις υψηλές όμως συχνότητες, η χωρητική τους αντίσταση $X_c = 1/C\omega$ γίνεται αρκετά μικρή και δημιουργεί σοβαρά προβλήματα.

Η ενδοχωρητικότητα μεταξύ πλέγματος-καθόδου $C_{gκ}$, από μια συχνότητα και πάνω συμπεριφέρεται ως βραχυκύκλωμα στην εναλλασσόμενη τάση σήματος που εφαρμόζεται στο πλέγμα για να ενισχυθεί. Μεγαλύτερη ανωμαλία προκαλεί στις υψηλές συχνότητες η ενδοχωρητικότητα μεταξύ πλέγματος-ανόδου C_{gp}, λόγω της ανασυζεύξεως (ανατροφοδοτήσεως) που προκαλεί από το κύκλωμα ανόδου στο κύκλωμα πλέγματος. Η ανασύζευξη αυτή κατά τη λειτουργία της λυχνίας ως ενισχυτή δημιουργεί ανεπιθύμητες παρασιτικές ταλαντώσεις.

Για τους λόγους αυτούς η χρησιμοποίηση της τριόδου στις υψηλές συχνότητες είναι περιορισμένη.

2.19 Η τέτροδος λυχνία.

Ανάγκη για την κατασκευή της τετρόδου λυχνίας υπήρξε η ελάττωση της ενδοχωρητικότητας μεταξύ πλέγματος-ανόδου C_{gp} της τριόδου. Η τέτροδος προκύπτει από την τρίοδο, με την προσθήκη ενός ακόμη πλέγματος στο μεταξύ του πλέγματος και της ανόδου χώρο.



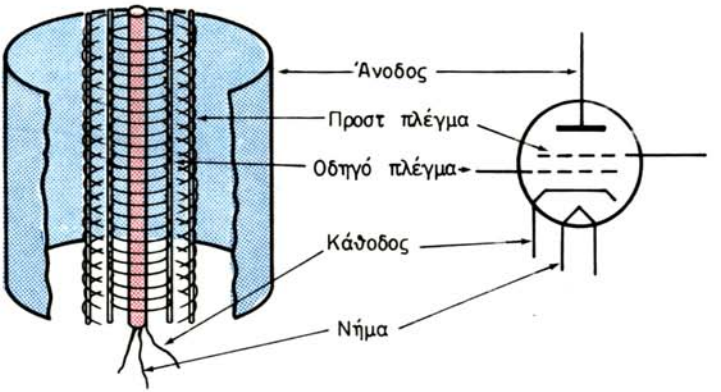
Σχ. 2.19α.
Τομή και παραστατικό διάγραμμα της τετρόδου.

Στο σχήμα 2.19α φαίνεται το παραστατικό διάγραμμα της τετρόδου, όπου το πρώτο προς την κάθοδο πλέγμα ονομάζεται ***οδηγό πλέγμα*** ή ***εσχάρα ελέγχου.*** Το δεύτερο πλέγμα ονομάζεται ***προστατευτικό πλέγμα*** ή ***προστατευτική εσχάρα.***

Με την προσθήκη του προστατευτικού πλέγματος, εκτός από το ότι περιορίζεται η ενδοχωρητικότητα μεταξύ του πλέγματος ελέγχου και της ανόδου, ελαττώνεται και η ικανότητα της ανόδου στο να έλκει τα ηλεκτρόνια που εκλύει η κάθοδος. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα να αυξάνει η εσωτερική αντίσταση της λυχνίας, χωρίς να ελαττώνεται αισθητά η διαγωγιμότητά της. Έτσι αυξάνεται ο συντελεστής ενισχύσεως της λυχνίας $\mu = \Delta V_p/\Delta V_p = \rho \cdot gm$ που μπορεί να φθάσει και την τιμή 800.

Κατά τη λειτουργία της λυχνίας, το προστατευτικό πλέγμα τηρείται σε χαμηλότερο θετικό δυναμικό από αυτό της ανόδου. Με τη συνδεσμολογία της λυχνίας όπως στο σχήμα 2.18β, εξασφαλίζεται η τροφοδότηση της ανόδου και του προστατευτικού πλέγματος με υψηλή τάση από την ίδια πηγή. Η χαμηλότερη τάση προστατευτικού πλέγματος προκύπτει με τη σύνδεση της αντιστάσεως R σε σειρά μεταξύ προστατευτικού πλέγματος και πηγής. Επειδή το προστατευτικό πλέγμα τηρείται σε θετικότερο δυναμικό σε σχέση με την κάθοδο, έλκει ένα μικρό αριθμό από τα ηλεκτρόνια της καθόδου. Έτσι δημιουργείται ένα μικρό ρεύμα προστατευτικού πλέγματος, το οποίο διέρχεται από την αντίσταση R που παρεμβάλλεται σε σειρά. Το μικρό ρεύμα του προστατευτικού πλέγματος προκαλεί πτώση τάσεως στην αντίσταση R, οπότε η τάση που επικρατεί σ' αυτό θα είναι $V_{g_2} = V_\pi - I_{g_2}R$, δηλαδή χαμηλότερη από την τάση τροφοδοτήσεως V_π κατά την πτώση τάσεως στην αντίσταση R.

Όταν όμως στο οδηγό πλέγμα εφαρμόζεται η εναλλασσόμενη τάση σήματος για να ενισχυθεί, τότε θα μεταβάλλεται και το ρεύμα προστατευτικού πλέγματος, οπότε θα μεταβάλλεται και η τάση που επικρατεί σ' αυτό, επειδή τις μεταβολές του ρεύματος αυτού θα τις ακολουθεί και η πτώση τάσεως στην αντίσταση R. Δηλαδή



Σχ. 2.19β.
Η τροφοδότηση της τετρόδου.

το ρεύμα πλέγματος αποτελείται από μια συνεχή και μια εναλλασσόμενη συνιστώσα με τη συχνότητα της τάσεως σήματος, η οποία δημιουργεί την αστάθεια της τάσεως. Με τη σύνδεση του πυκνωτή C, ο οποίος παρουσιάζει για την εναλλασσόμενη συνιστώσα πολύ μικρότερη αντίσταση από την αντίσταση R, μεταξύ προστατευτικού πλέγματος και καθόδου, αποφεύγεται η διέλευση της εναλλασσόμενης συνιστώσας από την αντίσταση R και η τάση του προστατευτικού πλέγματος τηρείται σταθερή.

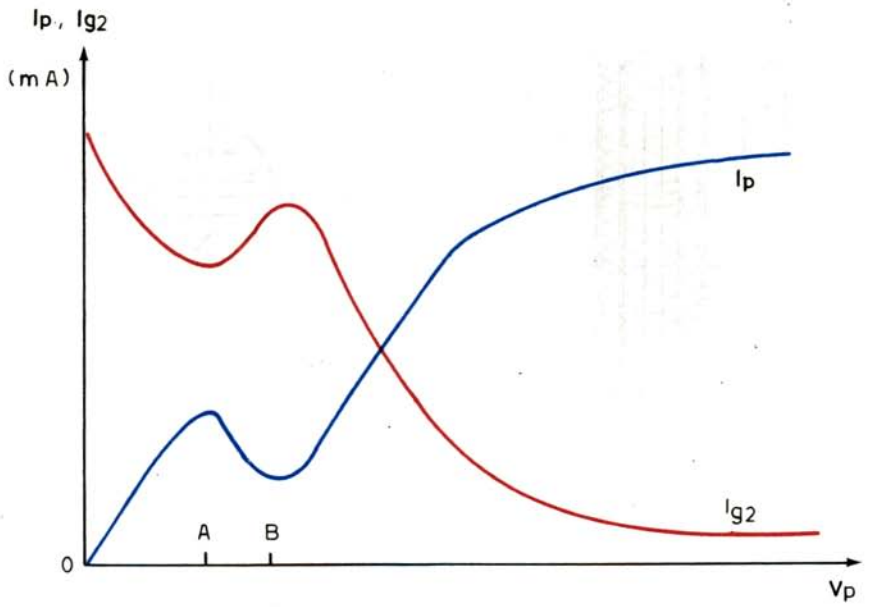
Έτσι, το προστατευτικό πλέγμα συμπεριφέρεται ως θώρακας μεταξύ ανόδου και προστατευτικού πλέγματος, με αποτέλεσμα να ελαττώνεται σημαντικά η μεταξύ τους ανεπιθύμητη ενδοχωρητικότητα C_{gp}.

2.20 Η χαρακτηριστική ανόδου της τετρόδου.

Η χαρακτηριστική ανόδου της τετρόδου είναι η καμπύλη που δείχνει τη μεταβολή του ρεύματος ανόδου σε συνάρτηση με τη μεταβολή της τάσεως ανόδου, για τάσεις οδηγού πλέγματος και προστατευτικού πλέγματος σταθερές $I_p = F(V_p)/V_{g_1}$ και V_{g_2} = σταθερές.

Η χαρακτηριστική ανόδου έχει τη μορφή της συνεχούς γραμμής του σχήματος 2.20α, ενώ η διακοπτόμενη καμπύλη παριστάνει τη μεταβολή του ρεύματος προστατευτικού πλέγματος I_{g_2} σε συνάρτηση με την τάση ανόδου V_p. Κατά τη χάραξη των χαρακτηριστικών αυτών, η τάση προστατευτικού πλέγματος τηρείται σταθερή στην τιμή Β.

Όταν η τάση ανόδου $V_p = 0$ V, δεν κυκλοφορεί ρεύμα ανόδου. Επειδή όμως το προστατευτικό πλέγμα βρίσκεται σε θετικό δυναμικό σε σχέση με την κάθοδο, έλκει ηλεκτρόνια και σ' αυτό κυκλοφορεί ένα σημαντικό ρεύμα I_{g_2}. Αν η τάση ανόδου αρχίσει να αυξάνεται, παρατηρείται και ένα αυξανόμενο ρεύμα I_p ανόδου, ενώ ελαττώνεται το ρεύμα προστατευτικού πλέγματος I_{g_2}, επειδή μέρος από τα ηλεκτρόνια που προηγουμένως έφθασαν στο προστατευτικό πλέγμα, έλκονται



Σχ. 2.20α.
Η χαρακτηριστική ανόδου και προστατευτικού πλέγματος της τετρόδου.

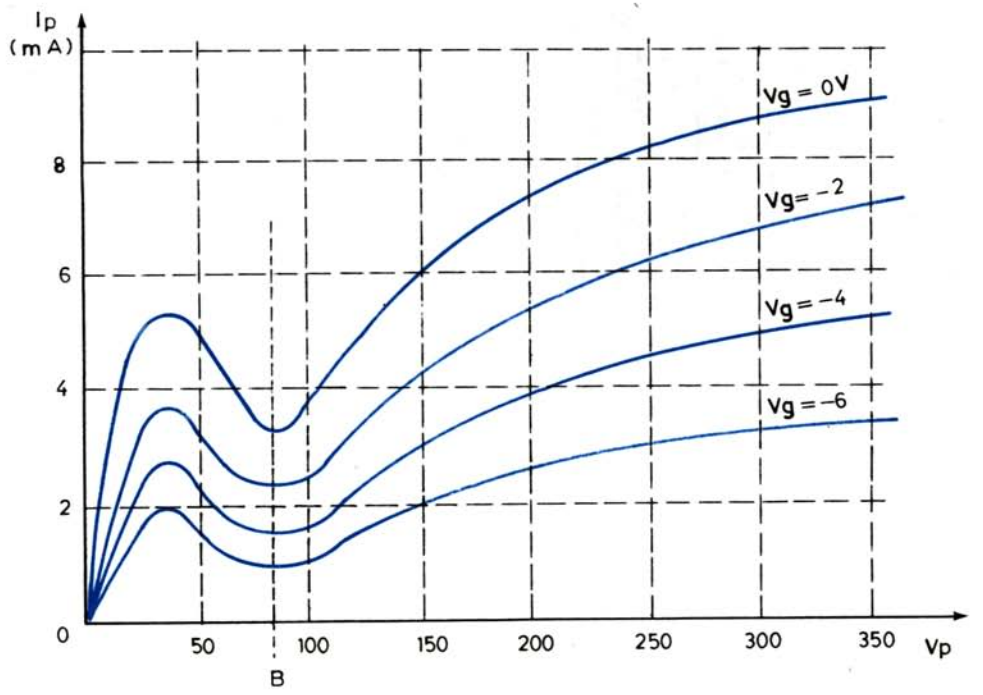
τώρα από την άνοδο. Η με τον τρόπο αυτό αύξηση του ρεύματος ανόδου I_p και ελάττωση του ρεύματος προστατευτικού πλέγματος I_{g_2} συνεχίζεται, μέχρι η τάση ανόδου να αυξηθεί στην τιμή Α (σχ. 2.20α), πάνω από την οποία παρατηρείται αναστροφή.

Καθώς η τάση ανόδου αυξάνεται πάνω από την τιμή Α, τα ηλεκτρόνια που φθάνουν στην άνοδο έχουν αποκτήσει σημαντική κινητική ενέργεια και κατά την πρόσκρουσή τους σ' αυτή προκαλούν δευτερογενή έκλυση ηλεκτρονίων από το βομβαρδισμό τους στην άνοδο. Τα δευτερογενή ηλεκτρόνια που εκλύονται από την άνοδο έλκονται από το προστατευτικό πλέγμα, επειδή αυτό βρίσκεται σε υψηλότερο δυναμικό από την άνοδο. Έτσι, για τιμές της τάσεως ανόδου λίγο μικρότερες από την τάση προστατευτικού πλέγματος, ενώ σ' αυτή φθάνουν περισσότερα ηλεκτρόνια, παρατηρείται ελάττωση του ρεύματος ανόδου, επειδή την ίδια στιγμή εξέρχονται από αυτή τα δευτερογενή ηλεκτρόνια.

Όταν η τάση ανόδου αυξηθεί σε τιμές μεγαλύτερες από την τάση του προστατευτικού πλέγματος, τα δευτερογενή ηλεκτρόνια συγκρατούνται από την άνοδο και παρατηρείται αύξηση του ρεύματος ανόδου I_p και αντίστοιχη ελάττωση του ρεύματος προστατευτικού πλέγματος I_{g_2}.

Στο τμήμα της χαρακτηριστικής ανόδου που αντιστοιχεί σε τιμές τάσεως ανόδου από Α μέχρι Β, κατά το οποίο παρατηρείται ελάττωση του ρεύματος ανόδου, ενώ η τάση ανόδου αυξάνεται, λέμε ότι η λυχνία παρουσιάζει ***αρνητική αντίσταση.***

Στο σχήμα 2.20β φαίνεται ομάδα χαρακτηριστικών ανόδου τετρόδου λυχνίας. Θα πρέπει να σημειωθεί ότι, αν η λυχνία λειτουργεί στο τμήμα χαρακτηριστικών



Σχ. 2.20β.
Σμήνος χαρακτηριστικών ανόδου τετρόδου λυχνίας.

για τάση ανόδου από 0 V μέχρι την τιμή Β, δηλαδή η τάση ανόδου είναι χαμηλότερη από την τάση προστατευτικού πλέγματος, η μεταβολή της τάσεως ανόδου ΔV_p δεν είναι ανάλογη με τη μεταβολή της τάσεως του οδηγού πλέγματος ΔV_g. Η μορφή της μεταβολής του ρεύματος ανόδου δεν θα είναι πιστή απεικόνιση της μεταβολής της τάσεως του οδηγού πλέγματος και κατά την ενίσχυση θα παρατηρείται μεγάλη παραμόρφωση.

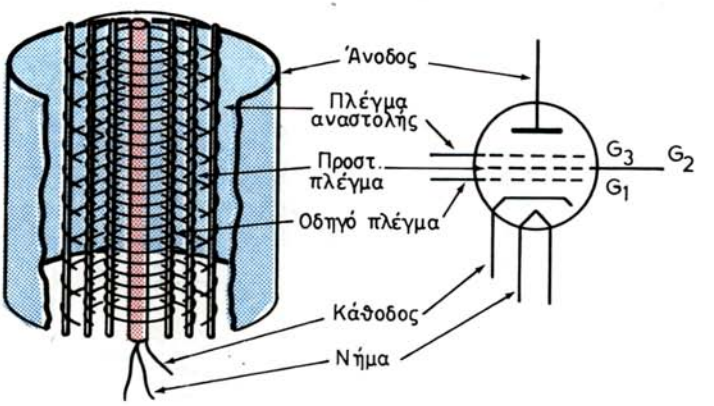
Η εσωτερική αντίσταση ρ, η διαγωγιμότητα gm και ο συντελεστής ενισχύσεως μ της τετρόδου υπολογίζονται κατά τον ίδιο τρόπο, όπως και στην τρίοδο λυχνία.

2.21 Η πέντοδος λυχνία.

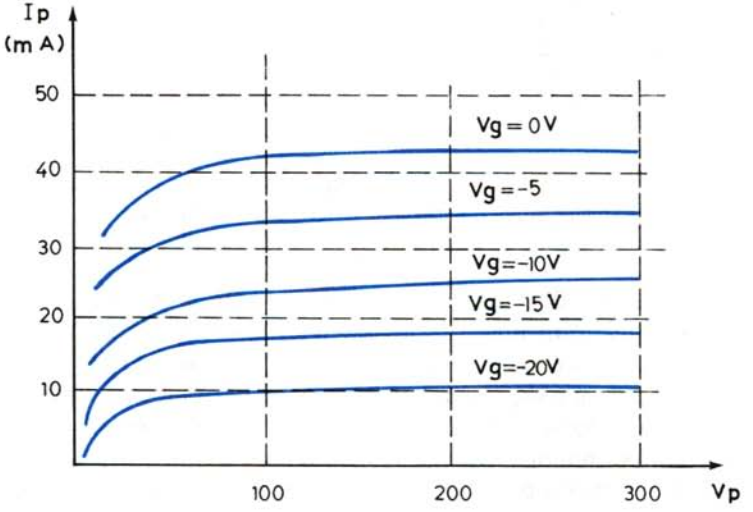
Για να εξαφανισθεί η ανωμαλία των χαρακτηριστικών ανόδου της τετρόδου, δηλαδή για να αντισταθμισθεί η αρνητική αντίσταση, προστέθηκε σ' αυτή και στο χώρο μεταξύ προστατευτικού πλέγματος-ανόδου και τρίτο πλέγμα. Έτσι προέκυψε η πέντοδος λυχνία.

Στο σχήμα 2.21α φαίνεται το παραστατικό διάγραμμα της πεντόδου. Το τρίτο πλέγμα ονομάζεται ***ανασταλτικό πλέγμα,*** το οποίο συνήθως συνδέεται με την κάθοδο, οπότε, κατά τη λειτουργία της λυχνίας, βρίσκεται σε δυναμικό μηδέν.

Με την προσθήκη του ανασταλτικού πλέγματος, τα δευτερογενή ηλεκτρόνια



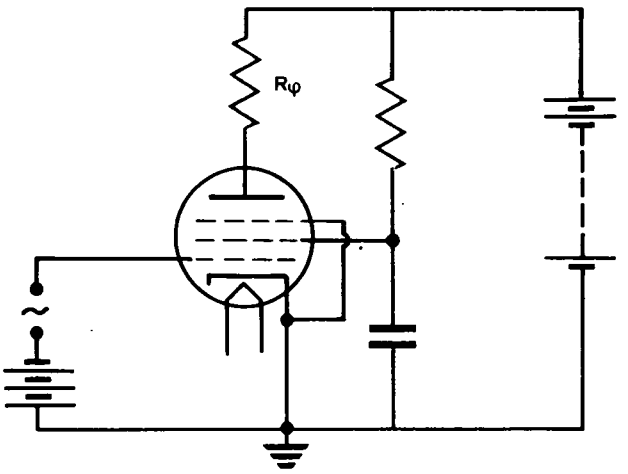
Σχ. 2.21α.
Τομή και παραστατικό διάγραμμα της πεντόδου.



Σχ. 2.21β.
Σμήνος χαρακτηριστικών ανόδου της πεντόδου.

που εκλύονται από την άνοδο λόγω βομβαρδισμού εμποδίζονται να φθάσουν στο προστατευτικό πλέγμα, επειδή το ανασταλτικό πλέγμα, το οποίο βρίσκεται σε δυναμικό μηδέν, είναι αρνητικότερο από την άνοδο και απωθεί προς αυτό τα δευτερογενή ηλεκτρόνια. Δηλαδή το τρίτο αυτό πλέγμα που βρίσκεται σε πολύ αρνητικότερο δυναμικό σε σχέση με την άνοδο, επενεργεί ως πλέγμα ελέγχου για τα δευτερογενή ηλεκτρόνια.

Αποτέλεσμα της ενέργειας αυτής του ανασταλτικού πλέγματος είναι οι



Σχ. 2.21γ.
Τροφοδότηση της πεντόδου λυχνίας.

χαρακτηριστικές ανόδου της πεντόδου να μην παρουσιάζουν το βύθισμα των χαρακτηριστικών της τετρόδου λυχνίας. Σμήνος χαρακτηριστικών πεντόδου λυχνίας φαίνονται στο σχήμα 2.21β. Σημειώνεται ότι το ανασταλτικό πλέγμα δεν εμποδίζει τα πρωτογενή ηλεκτρόνια κατά την κίνησή τους από την κάθοδο προς την άνοδο, επειδή αυτό βρίσκεται στο ίδιο δυναμικό με την κάθοδο.

Η συνδεσμολογία και η τροφοδότηση της πεντόδου γίνεται όπως στο σχήμα 2.21γ. Ο συντελεστής ενισχύσεως μ της πεντόδου κυμαίνεται από 100-200, ενώ παρουσιάζει κατά πολύ μεγαλύτερες τιμές εσωτερικής αντιστάσεως ρ (μεγαλύτερες του ΜΩ) και διαγωγιμότητα gm. Οι παράμετροι μ, ρ και gm υπολογίζονται όπως και στην τρίοδο λυχνία.

Στο σμήνος των χαρακτηριστικών ανόδου μπορεί να χαραχθεί η γραμμή φόρτου για ορισμένη αντίσταση φόρτου και ορισμένη τάση τροφοδοτήσεως ανόδου V_{π} και να υπολογισθεί η ενίσχυση, όπως στο σχήμα 2.17β της τριόδου λυχνίας.

Ερωτήσεις Δεύτερου Κεφαλαίου.

1. Τι είναι η θερμιονική έκλυση ηλεκτρονίων, ποια είναι η τιμή του ρεύματος που αντιστοιχεί στα ηλεκτρόνια που εκλύονται από την επιφάνεια θερμαινόμενου μετάλλου και ποιος είναι ο κύριος παράγοντας που επηρεάζει την τιμή του ρεύματος αυτού;
2. Από ποιους παράγοντες εξαρτάται η δευτερογενής έκλυση ηλεκτρονίων, τι ορίζεται ως συντελεστής δευτερογενούς εκλύσεως ηλεκτρονίων και ποιες τιμές μπορεί να λαμβάνει;
3. Σε ποιες περιπτώσεις μπορεί να παρατηρηθεί δευτερογενής έκλυση ηλεκτρονίων, πού χρησιμοποιείται και ποια ανεπιθύμητα προβλήματα μπορεί να προκαλέσει;
4. Τι είναι το φωτοηλεκτρικό φαινόμενο, από τι εξαρτάται η έντασή του και πού χρησιμοποιείται;

5. Σε δυο παράλληλες πλάκες, που βρίσκονται σε απόσταση *l* μεταξύ τους, όπου επικρατεί κενό, εφαρμόζεται τάση U. Ποια κίνηση θα ακολουθήσει ένα ηλεκτρόνιο που εκλύεται από την αρνητική πλάκα, πού και με ποια ταχύτητα θα τερματισθεί η κίνησή του;
6. Σε δυο παράλληλες πλάκες που βρίσκονται σε απόσταση *l* μεταξύ τους, όπου επικρατεί κενό, εφαρμόζεται τάση U. Ένα ηλεκτρόνιο εισέρχεται στο μεταξύ των δυο πλακών χώρο με ταχύτητα V_0 παράλληλη προς την επιφάνεια των πλακών. Ποια τροχιά θα ακολουθήσει το ηλεκτρόνιο κατά την κίνησή του στο χώρο μεταξύ των δυο πλακών και μετά την έξοδό του από το χώρο αυτό; Πού έχει εφαρμογή μια τέτοια κίνηση;
7. Ένα ηλεκτρόνιο εισέρχεται στο χώρο ομοιογενούς μαγνητικού πεδίου σταθερής μαγνητικής επαγωγής B με ταχύτητα V_0 κάθετη στις δυναμικές γραμμές. Αν στο χώρο του πεδίου επικρατεί κενό, ποια κίνηση θα ακολουθήσει το ηλεκτρόνιο στο χώρο του μαγνητικού πεδίου και ποια θα είναι τα στοιχεία της κινήσεως αυτής;
8. Ηλεκτρόνιο εισέρχεται στο χώρο ομοιογενούς μαγνητικού πεδίου σταθερής μαγνητικής επαγωγής B με ταχύτητα V_0 που δεν είναι κάθετη στις δυναμικές γραμμές. Αν στο χώρο του πεδίου επικρατεί κενό, ποια κίνηση θα ακολουθήσει το ηλεκτρόνιο στο χώρο του μαγνητικού πεδίου και ποια θα είναι τα στοιχεία της κινήσεώς του;
9. Ποια ηλεκτρόδια περιλαμβάνει η δίοδος λυχνία, πώς και από τι κατασκευάζονται, ποια είναι η χρησιμότητά τους και από ποιες παραμέτρους καθορίζεται η μεταξύ τους απόσταση;
10. Πώς δημιουργείται το αερόκενο στο φάκελο των ηλεκτρονικών λυχνιών κενού και για ποιους λόγους είναι απαραίτητο;
11. Ποια προβλήματα υπάρχουν στην τροφοδότηση του νήματος θερμάνσεως των λυχνιών άμεσης θερμάνσεως και κατά ποιους τρόπους αντιμετωπίζονται;
12. Σε τι οφείλεται η μη γραμμικότητα του αρχικού τμήματος της χαρακτηριστικής καμπύλης της διόδου και το σημείο κόρου της λυχνίας, τι ορίζεται ως εσωτερική αντίσταση της διόδου και πώς μπορεί να υπολογισθεί γραφικά;
13. Πώς λειτουργεί η διάταξη της απλής και της διπλής ανορθώσεως, από τι μπορεί να αποτελείται το εξομαλυντικό φίλτρο και ποια είναι η χρησιμότητά του σε κάθε ανορθωτική διάταξη;
14. Για ποιο λόγο στην τρίοδο λυχνία οι μικρές μεταβολές του δυναμικού πλέγματος προκαλούν μεγάλες μεταβολές του ρεύματος ανόδου και δεν συμβαίνει το ίδιο και για τις μικρές μεταβολές του δυναμικού ανόδου;
15. Τι είναι το δυναμικό αποκοπής της τριόδου και από τι εξαρτάται η τιμή του;
16. Τι ορίζεται ως διαγωγιμότητα, εσωτερική αντίσταση και συντελεστής ενισχύσεως της τριόδου και πώς μπορούν να υπολογισθούν;
17. Πώς χαράζεται η γραμμή φόρτου της τριόδου, γιατί είναι ευθεία και από τι εξαρτάται η κλίση της;
18. Σε ποια ιδιότητα της τριόδου βασίζεται η ενίσχυση και για ποιο λόγο κατά την ενίσχυση του σήματος παρατηρείται παραμόρφωση φάσεως 180°;
19. Σε τι οφείλονται οι ενδοχωρητικότητες της τριόδου, από τι εξαρτάται η τιμή τους και ποια προβλήματα δημιουργεί κάθε μία στη λειτουργία της λυχνίας;
20. Ποιες βελτιώσεις επιφέρει στα χαρακτηριστικά της τριόδου λυχνίας η προσθήκη του προστατευτικού πλέγματος της τετρόδου;
21. Σε τι οφείλεται η ανωμαλία της χαρακτηριστικής ανόδου της τετρόδου σε τιμές τάσεως χαμηλότερες από την τάση του προστατευτικού πλέγματος;
22. Πώς επενεργεί το ανασταλτικό πλέγμα της πεντόδου λυχνίας και ποιες βελτιώσεις προκαλεί στα χαρακτηριστικά της τετρόδου λυχνίας;

ΔΡΥΜΟΣ ΣΥΓΓΡΑΦΕΩΝ 1954

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΤΡΙΤΟ

ΚΡΥΣΤΑΛΛΟΛΥΧΝΙΕΣ – ΤΡΑΝΖΙΣΤΟΡΣ

3.1 Γενικά.

Ως κρυσταλλολυχνίες εννοούνται κατασκευές από ημιαγωγά κρύσταλλα, οι οποίες παρουσιάζουν βασικές ιδιότητες όμοιες με εκείνες των λυχνιών κενού. Βασικότεροι τύποι κρυσταλλολυχνιών είναι οι ***κρυσταλλοδίοδοι,*** που ονομάζονται και ***διόδια,*** και οι ***κρυσταλλοτρίοδοι,*** που στην πράξη ονομάζονται ***τρανζίστορς.***

Οι κρυσταλλοδίοδοι παρουσιάζουν πρακτικά τη μονόπλευρη αγωγιμότητα των διόδων λυχνιών κενού και χρησιμοποιούνται σε ίδιες εφαρμογές όπως και εκείνες. Οι κρυσταλλοτρίοδοι ανταποκρίνονται στη συμπεριφορά των τριόδων λυχνιών κενού και χρησιμοποιούνται σε αντίστοιχες εφαρμογές. Η ονομασία transistor προέρχεται από τις λέξεις transfer και resistor (μεταφορά αντιστάσεως).

Άλλη κατηγορία κρυσταλλολυχνιών είναι τα ολοκληρωμένα κυκλώματα, τα οποία τείνουν να αντικαταστήσουν τα τρανζίστορς. Είναι τεμάχια ημιαγωγών κρυστάλλων, μέσα στα οποία έχουν διαμορφωθεί τρανζίστορς, διόδια και άλλα εξαρτήματα (αντιστάσεις, πυκνωτές), έτσι ώστε να συγκροτούν διατάξεις σημαντικού αριθμού κυκλωμάτων (ενισχυτές, ταλαντωτές, πολυδονητές κλπ.).

Όπως θα δούμε, σε ό,τι αφορά την κατασκευή τους και τη λειτουργία τους, οι κρυσταλλολυχνίες παρουσιάζουν σημαντικές διαφορές σε σύγκρισή τους με τις λυχνίες κενού. Βασικότερη διαφορά είναι ότι στις κρυσταλλολυχνίες η αγωγιμότητα εξασφαλίζεται και ελέγχεται μέσα στη συμπαγή μάζα ημιαγωγών κρυστάλλων και όχι στο μεταξύ ανόδου-καθόδου κενό των λυχνιών. Παρουσιάζουν όμως και σημαντικά πλεονεκτήματα, όπως π.χ. μικρότερο όγκο, δεν απαιτούν κατανάλωση ενέργειας για τη θέρμανση της καθόδου, λειτουργούν με πάρα πολύ χαμηλά δυναμικά και έχουν μεγαλύτερη αντοχή στους κραδασμούς και μεγαλύτερο χρόνο ζωής. Μειονεκτούν στο ότι παρέχουν πολύ μικρότερη ισχύ από τις λυχνίες κενού.

3.2 Οι ημιαγωγοί.

Μεταξύ των αγωγών και των μονωτικών υπάρχει μια ενδιάμεση κατηγορία υλικών που ονομάζονται ***ημιαγωγοί.***

Ως ημιαγωγός θεωρείται κάθε σώμα με μικρότερη αγωγιμότητα από τους αγωγούς, αλλά και μεγαλύτερη από τους μονωτές. Η μικρή αγωγιμότητα οφείλεται στο ότι, τα ημιαγωγά σώματα διαθέτουν μικρότερο αριθμό ελευθέρων

ηλεκτρονίων. Η μικρή αυτή αγωγιμότητα δεν είναι σταθερή. Αυξάνεται με την αύξηση της θερμοκρασίας των ημιαγωγών, όπως συμβαίνει στα μονωτικά υλικά και τους ηλεκτρολύτες, εξαρτάται όμως και από τη χημική καθαρότητα της ύλης τους.

Υπάρχουν ημιαγωγά υλικά, τα οποία, όταν έχουν χαμηλή θερμοκρασία, συμπεριφέρονται ως μονωτές, ενώ, όταν η θερμοκρασία τους αυξηθεί πάνω από μια ορισμένη τιμή, συμπεριφέρονται ως αγωγοί.

Τα ημιαγωγά υλικά που κυρίως χρησιμοποιούνται για την κατασκευή των κρυσταλλολυχνιών είναι το γερμάνιο Ge, το πυρίτιο Si και οι προσμίξεις τους.

3.3 Τα κρύσταλλα γερμανίου και πυριτίου.

Το καθαρό γερμάνιο είναι υλικό σκληρό, εύθραυστο και παρουσιάζει αγωγιμότητα περίπου υποδεκαπλάσια από την αγωγιμότητα του χαλκού. Το άτομό του έχει 32 ηλεκτρόνια, τα οποία κατανέμονται στους φλοιούς ενέργειας, όπως δείχνει ο πίνακας 3.3.1. Είναι δηλαδή τετρασθενές στοιχείο, όπως και το πυρίτιο, ο μόλυβδος, ο κασσίτερος και ο άνθρακας.

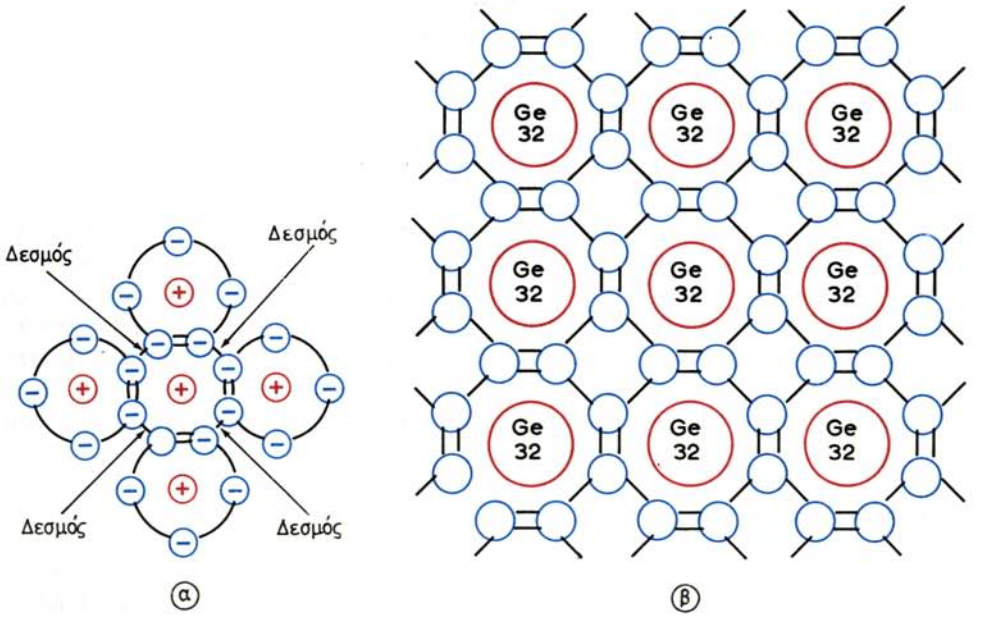
ΠΙΝΑΚΑΣ 3.3.1
Τετρασθενή στοιχεία

ΣΤΟΙΧΕΙΟ	ΣΥΜΒΟΛΟ	K	L	M	N	O	P	Q
Άνθρακας	C	2	4					
Πυρίτιο	Si	2	8	4				
Γερμάνιο	Ge	2	8	18	4			
Κασσίτερος	Sn	2	8	18	18	4		
Μόλυβδος	Pb	2	8	18	32	18	4	

Όπως φαίνεται στον πίνακα 3.3.1, τα ηλεκτρόνια σθένους του κασσιτέρου και του μολύβδου βρίσκονται στους φλοιούς ενέργειας O και P αντίστοιχα και, επειδή βρίσκονται μακριά από τον πυρήνα, ελευθερώνονται ακόμη και στη θερμοκρασία περιβάλλοντος. Γι' αυτό τα τετρασθενή αυτά στοιχεία είναι αγωγοί. Αντίθετα, τα ηλεκτρόνια σθένους του τετρασθενούς άνθρακα βρίσκονται στο φλοιό L, κοντά στον πυρήνα, έλκονται από αυτόν με μεγάλη δύναμη και δεν ελευθερώνονται. Γι' αυτό ο άνθρακας είναι μονωτής. Τα ηλεκτρόνια σθένους του πυριτίου και του γερμανίου, βρίσκονται στους φλοιούς ενέργειας M και N αντίστοιχα, δηλαδή σε ενδιάμεση απόσταση από τον πυρήνα. Έτσι έλκονται από αυτόν με μέτρια δύναμη. Γι' αυτό συμπεριφέρονται ως ημιαγωγοί και η αγωγιμότητα του πυριτίου είναι μικρότερη από του γερμανίου, όταν βρίσκονται στην ίδια θερμοκρασία.

Το γερμάνιο που χρησιμοποιείται για την κατασκευή των κρυσταλλολυχνιών καθαρίζεται από όλες τις ξένες ουσίες. Η περιεκτικότητά του σε ξένα άτομα δεν πρέπει να είναι μεγαλύτερη από ένα άτομο ανά 10^{12} άτομα γερμανίου. Σε θερμοκρασίες χαμηλότερες από 100°C, το γερμάνιο βρίσκεται στην κρυσταλλική του μορφή.

ΔΑΡΥΝΑ ΣΥΓΓΕΝΟΥΣ 1954



Σχ. 3.3.
α) Το κρυσταλλικό πλέγμα του γερμανίου. β) Η συγκρότηση των δεσμών από ηλεκτρόνια σθένους.

Τα τετρασθενή στοιχεία, όπως το γερμάνιο και το πυρίτιο, τείνουν να συμπληρώσουν τον εξωτερικό φλοιό των ατόμων τους με οκτώ ηλεκτρόνια σθένους, όπως στο σχήμα 3.3(α) (όπου έχουν παραλειφθεί οι εσωτερικοί φλοιοί ηλεκτρονίων). Έτσι κάθε άτομο γερμανίου συνδυάζει ανά ένα τα ηλεκτρόνια σθένους του με ένα από τα ηλεκτρόνια σθένους των τεσσάρων γειτονικών του ατόμων και σχηματίζει τέσσερις μονοπολικούς δεσμούς. Κατά τον ίδιο τρόπο σχηματίζουν δεσμούς όλα τα άτομα μέρους ύλης και δημιουργείται το κρυσταλλικό πλέγμα.

Στο σχήμα 3.3(β) φαίνεται ο τρόπος κατά τον οποίο τακτοποιούνται τα άτομα του γερμανίου και δημιουργείται το κρυσταλλικό πλέγμα. Οι πυρήνες βρίσκονται στα κέντρα των ατόμων και τα ηλεκτρόνια σθένους τους σχηματίζουν τους δεσμούς.

Όταν το γερμάνιο βρίσκεται στη θερμοκρασία του απόλυτου μηδενός, τα ηλεκτρόνια σθένους που σχηματίζουν τους δεσμούς, συνδέονται στενά με τον πυρήνα των ατόμων τους και δεν μπορούν να κινηθούν. Τότε το γερμάνιο συμπεριφέρεται ως μονωτής. Στη θερμοκρασία περιβάλλοντος τα άτομα αρχίζουν να πάλλονται. Λόγω της παλμικής κινήσεως των ατόμων, οι δεσμοί που σχηματίζουν τα ηλεκτρόνια σθένους απομακρύνονται από τους πυρήνες. Ελαττώνεται τότε η δύναμη έλξεως από αυτούς και ένα ή περισσότερα ηλεκτρόνια ξεφεύγουν από το δεσμό τους και αρχίζουν να κινούνται άτακτα μέσα στη μάζα της ύλης.

Στη θερμοκρασία περιβάλλοντος το γερμάνιο διαθέτει μικρό αριθμό ελευθέρων

ηλεκτρονίων. Γι' αυτό και συμπεριφέρεται ως ημιαγωγός. Όταν η θερμοκρασία του αυξηθεί στους 100°C, διασπώνται οι δεσμοί του κρυσταλλικού πλέγματος, οπότε ελευθερώνεται μεγάλος αριθμός ηλεκτρονίων και το γερμάνιο συμπεριφέρεται ως αγωγός. Έτσι, όταν η θερμοκρασία του γερμανίου υπερβεί τους 100°C, είναι αδύνατος ο έλεγχος της αγωγιμότητας μέσα στη μάζα του. Γι' αυτό τα τρανζίστορς γερμανίου, κατά τη λειτουργία τους, πρέπει να βρίσκονται σε χαμηλή θερμοκρασία.

Το πυρίτιο είναι τεφρόχρωμο με μεταλλική λάμψη και το κρυσταλλικό του πλέγμα παρουσιάζει μορφή κανονικών οκταέδρων. Όπως και το γερμάνιο, σε χαμηλές θερμοκρασίες είναι ημιαγωγό και η αγωγιμότητά του αυξάνεται με την αύξηση της θερμοκρασίας. Επειδή στο άτομο του πυριτίου τα ηλεκτρόνια σθένους βρίσκονται στο φλοιό Μ (σε αντίθεση με το άτομο του γερμανίου όπου αυτά βρίσκονται στο φλοιό Ν) και έλκονται με μεγαλύτερη δύναμη από τον πυρήνα τους, οι δεσμοί διασπώνται σε υψηλότερη θερμοκρασία. Γι' αυτό και τα τρανζίστορς πυριτίου αντέχουν σε υψηλότερες θερμοκρασίες.

3.4 Ημιαγωγοί με πρόσμιξη.

Για να δημιουργηθούν κρύσταλλα με μεγαλύτερη αγωγιμότητα, πραγματοποιούνται προσμίξεις στα κρύσταλλα γερμανίου ή πυριτίου. Η δόση προσμίξεως που χρησιμοποιείται είναι πολύ μικρή, αρκετή όμως για να αυξηθεί αισθητά η αγωγιμότητα των κρυστάλλων και να προκαλέσουν σημαντική διαφοροποίηση στις ιδιότητές τους. Η συνηθισμένη δόση προσμίξεως είναι ένα άτομο ξένου στοιχείου ανά 10^6-10^9 άτομα γερμανίου ή πυριτίου, η οποία και αλλοιώνει σημαντικά τη συμπεριφορά τους.

Τα υλικά που χρησιμοποιούνται στις προσμίξεις (νοθεύσεις) των κρυστάλλων είναι δυο βασικών ειδών.

Στο πρώτο είδος ανήκουν πεντασθενή στοιχεία, τα οποία ονομάζονται ***δότες***. Τα κρύσταλλα γερμανίου ή πυριτίου, στα οποία έχει γίνει πρόσμιξη, ονομάζονται κρύσταλλα τύπου Ν, επειδή, όπως θα δούμε, στη μάζα τους υπερτερούν τα ελεύθερα ηλεκτρόνια.

Στον πίνακα 3.4.1 φαίνεται ομάδα πεντασθενών στοιχείων, που μπορούν να χρησιμοποιηθούν στις προσμίξεις. Στις προσμίξεις χρησιμοποιείται περισσότερο το

ΠΙΝΑΚΑΣ 3.4.1
Πεντασθενή στοιχεία

ΣΤΟΙΧΕΙΟ	ΣΥΜΒΟΛΟ	K	L	M	N	O	P	Q
Άζωτο	N	2	5					
Φωσφόρος	P	2	8	5				
Αρσενικό	As	2	8	18	5			
Αντιμόνιο	Sb	2	8	18	18	5		
Βισμούθιο	Bi	2	8	18	32	18	5	

ΔΡΥΜΑ ΣΥΓΧΡΟΝΟ 1954

αρσενικό, επειδή οι διαστάσεις του ατόμου του είναι περίπου ίδιες με τις διαστάσεις του ατόμου του γερμανίου και του πυριτίου. Το αρσενικό (As) είναι λευκόφαιο, έχει μεταλλική λάμψη και το κρυσταλλικό του πλέγμα είναι εξαγωνικό.

Στο δεύτερο είδος ανήκουν τρισθενή στοιχεία, τα οποία ονομάζονται ***λήπτες*** ή ***αποδέκτες.*** Τα κρύσταλλα γερμανίου ή πυριτίου, στα οποία έχει γίνει πρόσμιξη, ονομάζονται τύπου P, επειδή, όπως θα δούμε, στη μάζα τους υπερτερεί η έλλειψη ηλεκτρονίων.

Στον πίνακα 3.4.2 φαίνεται ομάδα τρισθενών στοιχείων που μπορούν να χρησιμοποιηθούν στις προσμίξεις. Περισσότερο χρησιμοποιείται το Ίνδιο (In), επειδή οι διαστάσεις του ατόμου του είναι περίπου ίδιες με τις διαστάσεις του ατόμου του γερμανίου και του πυριτίου.

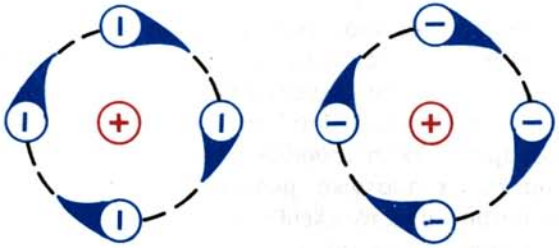
ΠΙΝΑΚΑΣ 3.4.2
Τρισθενή στοιχεία

ΣΤΟΙΧΕΙΟ	ΣΥΜΒΟΛΟ	K	L	M	N	O	P	Q
Βόριο	B	2	3					
Αλουμίνιο	Al	2	8	3				
Γάλιο	Ga	2	8	18	3			
Ίνδιο	In	2	8	18	18	3		
Θάλιο	Ti	2	8	18	32	18	3	

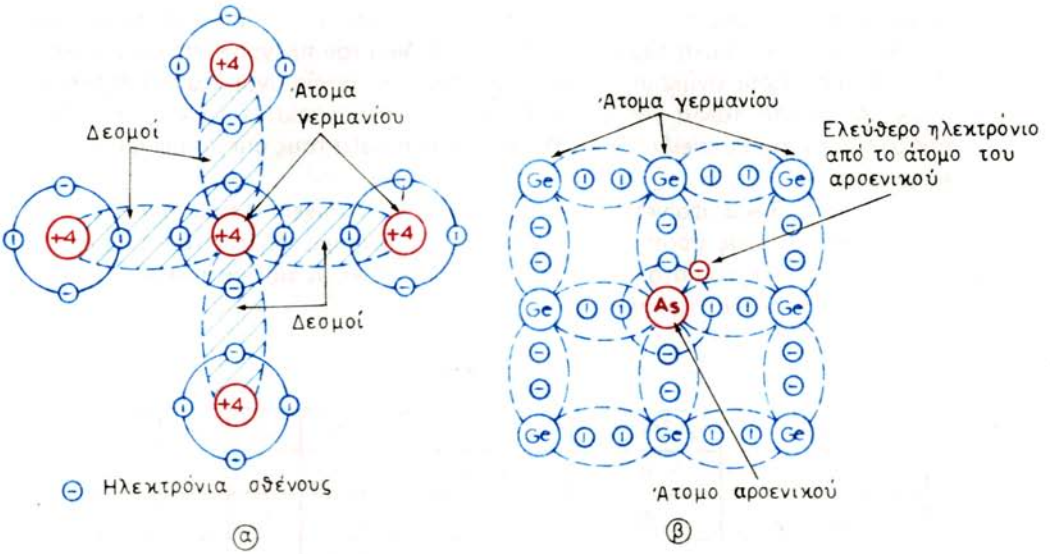
3.5 Κρύσταλλο τύπου N.

Για την κατασκευή κρυστάλλων τύπου N χρησιμοποιούνται ημιαγωγά τετρασθενή υλικά, εντελώς καθαρά, όπως το γερμάνιο και το πυρίτιο, στα οποία γίνεται πρόσμιξη με ***πεντασθενές*** στοιχείο, συνήθως αρσενικό. Η ποσότητα του αρσενικού που ενσωματώνεται στο κομμάτι κρυστάλλου γερμανίου είναι πολύ μικρή (ένα άτομο ανά 10^6-10^9 άτομα) και μετά την πρόσμιξη το νοθευμένο κρύσταλλο γερμανίου παρουσιάζει λίγο μεγαλύτερη αγωγιμότητα.

Στο σχήμα 3.5α φαίνεται άτομο γερμανίου και αρσενικού, μόνο με τα ηλεκτρό-



Σχ. 3.5α.



Σχ. 3.5β.
α) Συγκρότηση δεσμών από τα ηλεκτρόνια σθένους γερμανίου. β) Η κρυσταλλική δομή ημιαγωγού τύπου Ν.

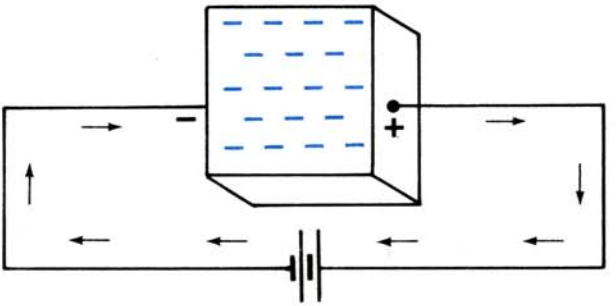
νια σθένους, επειδή μόνο αυτά συμμετέχουν στο σχηματισμό των δεσμών και στην τακτοποίηση των ατόμων για τη διαμόρφωση του κρυσταλλικού πλέγματος. Βέβαια, ως υλικό προσμίξεως μπορεί να χρησιμοποιηθούν και άλλα πεντασθενή στοιχεία, όπως φωσφόρος (P), αντιμόνιο (Sb) και βισμούθιο (Bi).

Αν μέσα σε κομμάτι κρυστάλλου γερμανίου (σχ. 3.5β), εισαχθεί ένα άτομο αρσενικού (δότης), τότε τέσσερα από τα ηλεκτρόνια σθένους του ατόμου του αρσενικού θα δεσμευθούν με ανά ένα από τα ηλεκτρόνια σθένους των τεσσάρων γειτονικών ατόμων γερμανίου και θα σχηματίσουν δεσμούς. Το πέμπτο ηλεκτρόνιο παραμένει αδέσμευτο, λόγω της μορφής του κρυσταλλικού πλέγματος (τετράγωνο).

Το αδέσμευτο ηλεκτρόνιο έλκεται από τον πυρήνα του ατόμου του με ελάχιστη δύναμη και, με την εφαρμογή της παραμικρής δυνάμεως ή θερμικής διεγέρσεως αποσπάται από αυτόν και κινείται ελεύθερα μέσα στη μάζα του κρυστάλλου. Αν στο κομμάτι κρυστάλλου γερμανίου ενσωματωθούν περισσότερα άτομα αρσενικού, θα αποδεσμευθούν και ισάριθμα ηλεκτρόνια. Επειδή κατά την πρόσμιξη (νόθευση) γερμανίου με αρσενικό, μέσα στη μάζα του κρυστάλλου, με την αποδέσμευση προκύπτουν αρκετά ελεύθερα ηλεκτρόνια (αρνητικά φορτία), το κομμάτι αυτό του κρυστάλλου ονομάζεται τύπου N (Negative). Αυτό δεν σημαίνει ότι το κρύσταλλο τύπου N είναι αρνητικό ως κρύσταλλο, αφού στο σύνολό τους τα άτομα του νοθευμένου κομματιού έχουν το φυσιολογικό σύνολο ηλεκτρονίων, αλλά ότι η ροή του ρεύματος (φορείς) είναι ηλεκτρόνια (αρνητικά φορτία), όπως θα δούμε.

Για να συνεχίσει το νοθευμένο κρύσταλλο γερμανίου να έχει τη συμπεριφορά του ημιαγωγού, δεν πρέπει η αναλογία προσμίξεως να είναι μεγαλύτερη από ένα άτομο αρσενικού ανά 10^9 άτομα γερμανίου. Αν η αναλογία προσμίξεως είναι μεγαλύτερη, αποδεσμεύονται πολλά ηλεκτρόνια και το νοθευμένο κομμάτι γερμανίου παρουσιάζει συμπεριφορά αγωγού. Το νοθευμένο κρύσταλλο γερμανίου μετατρέπεται επίσης σε αγωγό, όταν η θερμοκρασία του υπερβεί τους 100°C, επειδή διασπώνται οι δεσμοί (καταστρέφεται το κρυσταλλικό πλέγμα) και ελευθερώνονται πολλά ηλεκτρόνια.

Αν σε κομμάτι κρυστάλλου τύπου Ν εφαρμόσομε χαμηλή συνεχή τάση, μέσα στη μάζα του κρυστάλλου αναπτύσσεται ηλεκτρικό πεδίο, το οποίο εξαναγκάζει τα ελεύθερα ηλεκτρόνια σε κίνηση. Έτσι παρατηρείται ροή ηλεκτρονίων (ρεύμα), με φορά ανάλογη με την πολικότητα της τάσεως που εφαρμόζεται (σχ. 3.5γ).



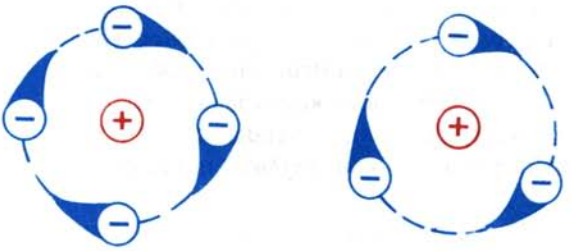
Σχ. 3.5γ.
Κίνηση ηλεκτρονίων σε κρύσταλλο τύπου Ν.

3.6 Κρύσταλλο τύπου Ρ.

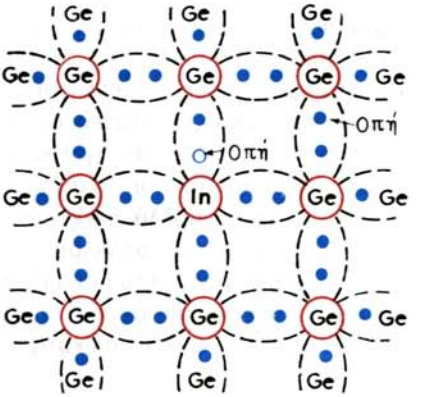
Για την κατασκευή κρυστάλλου τύπου Ρ, όπως και στον τύπο Ν, χρησιμοποιείται γερμάνιο ή πυρίτιο, αλλά ως υλικό προσμίξεως χρησιμοποιείται τρισθενές υλικό, συνήθως ίνδιο ή ακόμη και γάλλιο ή αλουμίνιο. Επειδή οι διαστάσεις του ατόμου του ινδίου είναι παραπλήσιες με τις διαστάσεις του ατόμου του γερμανίου, αν ενσωματώσομε ένα άτομο ινδίου σε κομμάτι κρυστάλλου γερμανίου, το άτομο του ινδίου τακτοποιείται στο κρυσταλλικό πλέγμα του γερμανίου.

Στο σχήμα 3.6α φαίνεται ο πυρήνας και τα ηλεκτρόνια σθένους ατόμων γερμανίου και ινδίου. Η πρόσμιξη (νόθευση) κομματιού κρυστάλλου γερμανίου με μικρή ποσότητα ινδίου, έχει ως αποτέλεσμα τη μικρή αύξηση της αγωγιμότητάς του.

Κατά την τακτοποίηση ενός ατόμου ινδίου στο κρυσταλλικό πλέγμα του γερμανίου, τα τρία ηλεκτρόνια σθένους του ινδίου σχηματίζουν δεσμούς με ανά ένα από τα ηλεκτρόνια σθένους των τριών γειτονικών ατόμων γερμανίου. Δεν διαθέτει όμως το άτομο του ινδίου τέταρτο ηλεκτρόνιο σθένους για να σχηματισθεί δεσμός με το αντίστοιχο ηλεκτρόνιο σθένους του τέταρτου αμέσως



Σχ. 3.6α.



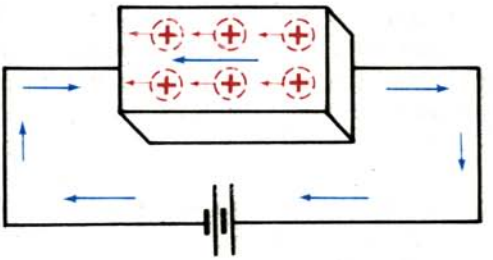
Σχ. 3.6β.
Κρυσταλλική δομή ημιαγωγού τύπου Ρ.

γειτονικού ατόμου γερμανίου. Δεν θα συμπληρωθεί δηλαδή ο τέταρτος δεσμός επειδή λείπει ένα ηλεκτρόνιο.

Για να συμπληρωθεί και ο τέταρτος δεσμός, ώστε να υπάρχει ομοιόμορφο κρυσταλλικό πλέγμα στο σημείο αυτό, αποσπάται ένα ηλεκτρόνιο από άλλο δεσμό ενός γειτονικού ατόμου (σχ. 3.6β) και καταλαμβάνει τη θέση του κενού. Δηλαδή το τρισθενές άτομο του ινδίου δέχεται ένα ηλεκτρόνιο. Γι' αυτό και τα τρισθενή στοιχεία, που χρησιμοποιούνται για την πρόσμιξη, ονομάζονται ***λήπτες.*** Όταν όμως από ένα δεσμό αποχωρήσει ένα ηλεκτρόνιο, στη θέση αυτή δημιουργείται ένα κενό ηλεκτρονίου το οποίο ονομάζεται ***οπή.*** Επειδή η οπή είναι έλλειψη ηλεκτρονίου, μπορούμε να δεχθούμε ότι αυτή αντιπροσωπεύει ισόποση ποσότητα θετικού φορτίου και μπορεί να αποτελέσει φορέα ρεύματος. Αυτό σημαίνει ότι οι δεσμοί που δημιουργούνται από τα ηλεκτρόνια σθένους πρέπει να είναι συμπληρωμένοι. Όταν όμως διασπάται ένας δεσμός κατά τον παραπάνω τρόπο, στο σημείο αυτό του κρυστάλλου δημιουργείται μια οπή (θετικό δυναμικό). Ο δεσμός που διασπάται έλκει ένα ηλεκτρόνιο από γειτονικό δεσμό και η οπή συμπληρώνεται βέβαια στο δεσμό αυτό αλλά μια νέα οπή δημιουργείται στο γειτονικό δεσμό. Έχομε δηλαδή μετακίνηση της οπής σε άλλη θέση. Αν αυτό συνεχίζεται, τότε μέσα στη μάζα του κομματιού του νοθευμένου κρυστάλλου λέμε ότι έχομε ροή θετικού φορτίου, δηλαδή οπών. Μέσα στη μάζα του κρυστάλλου τύπου Ρ, η οπή κινείται από άτομο σε άτομο, ακριβώς όπως ένα ηλεκτρόνιο, αλλά με αντίθετη φορά.

Αν σε ένα κομμάτι κρυστάλλου τύπου Ρ εφαρμοσθεί χαμηλή συνεχής τάση (σχ. 3.6γ), μέσα στη μάζα του κρυστάλλου θα παρατηρηθεί κίνηση οπών, από την έδρα όπου συνδέεται ο θετικός πόλος της πηγής προς την έδρα όπου συνδέεται ο αρνητικός της πόλος.

Θα πρέπει να σημειωθεί ότι, όταν μια οπή κινείται προς μια ορισμένη κατεύθυνση, ένα ηλεκτρόνιο κινείται ταυτόχρονα προς την αντίθετη. Για το λόγο αυτό, στο εκτός του κρυστάλλου κύκλωμα η φορά του ρεύματος είναι αντίθετη



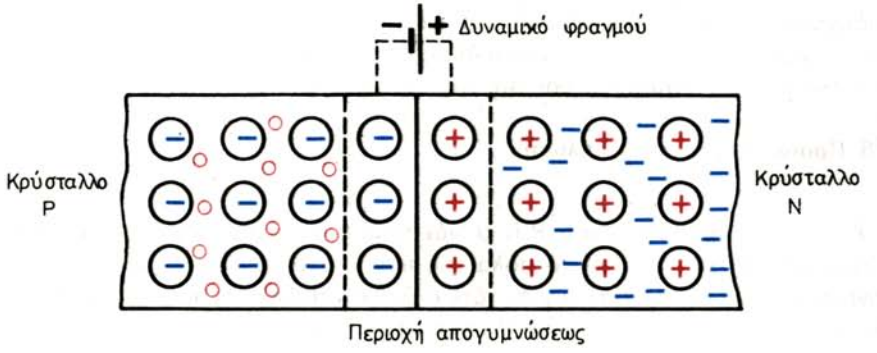
Σχ. 3.6γ.
Κίνηση οπών και ηλεκτρονίων σε κρύσταλλο τύπου P.

από τη φορά κινήσεως των οπών μέσα στη μάζα του κρυστάλλου. Σ' αυτό το φαινόμενο της κινήσεως των οπών βασίζεται η λειτουργία των κρυσταλλολυχνιών.

3.7 Επαφή P-N. Δυναμικό φραγμού.

Αν ένα κομμάτι κρυστάλλου τύπου P έλθει σε επαφή με ένα ίσου μεγέθους κομμάτι κρυστάλλου τύπου N, έτσι ώστε να συγκρατούνται σε συνεχή επαφή, δημιουργείται η ***επαφή κρυστάλλων τύπου P-N*** (σχ. 3.7). Στην πραγματικότητα, η επαφή P-N δημιουργείται από ένα κομμάτι κρυστάλλου, του οποίου το μισό τμήμα νοθεύεται με λήπτη και το άλλο μισό με δότη. Έτσι το μισό μετατρέπεται σε τύπου P και το άλλο μισό σε τύπου N αντίστοιχα.

Θα περιμέναμε ίσως ότι, όταν έλθουν τα δυο αντίθετου τύπου κρύσταλλα σε επαφή, αμέσως τα ελεύθερα ηλεκτρόνια του κρυστάλλου τύπου N θα κινηθούν, θα εισχωρήσουν στη μάζα του κρυστάλλου τύπου P και θα εξουδετερώσουν τις οπές του. Αυτό δεν συμβαίνει όμως, επειδή στην περιοχή επαφής των δυο κρυστάλλων δημιουργείται μια περιοχή απογυμνώσεως, η οποία δεν επιτρέπει την



Σχ. 3.7.
Η επαφή P-N.

εύκολη διέλευση των ηλεκτρονίων από το κρύσταλλο τύπου N στο τύπου P. Η περιοχή απογυμνώσεως οφείλεται σε ένα χαμηλό δυναμικό (μερικά δέκατα του Volt), το οποίο έχει την πολικότητα που σημειώνεται στο σχήμα 3.7. Το χαμηλό αυτό δυναμικό απωθεί τόσο τα ηλεκτρόνια του κρυστάλλου τύπου N όσο και τις οπές του κρυστάλλου τύπου P μακριά από την περιοχή επαφής και ονομάζεται ***δυναμικό φραγμού.***

Το δυναμικό φραγμού μοιάζει να προέρχεται από φανταστική πηγή συνεχούς ρεύματος, της οποίας ο θετικός πόλος βρίσκεται μέσα στη μάζα του κρυστάλλου τύπου N και ο αρνητικός μέσα στη μάζα του κρυστάλλου τύπου P. Στην πραγματικότητα, το δυναμικό φραγμού δημιουργείται από τα υλικά προσμίξεως των κρυστάλλων τύπου P και τύπου N που ήλθαν σε επαφή.

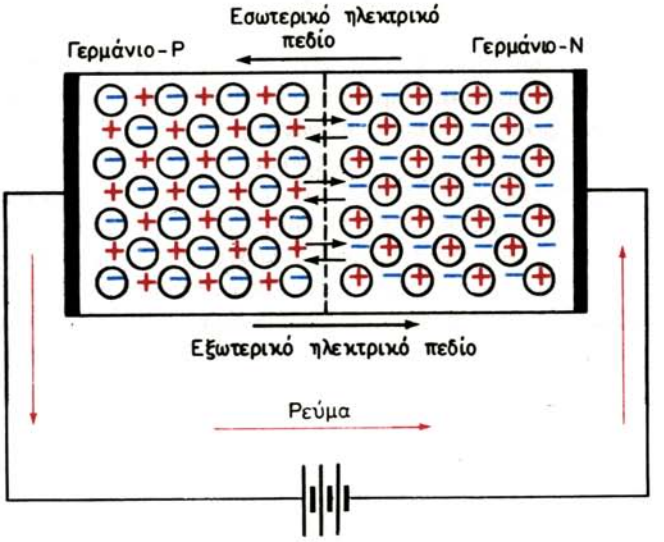
Όπως γνωρίζομε, όταν ένα άτομο χάσει ένα ηλεκτρόνιο μετατρέπεται σε θετικό ιόν και αποκτά θετικό δυναμικό, ενώ, όταν προσλάβει ένα ηλεκτρόνιο, μετατρέπεται σε αρνητικό ιόν και αποκτά αρνητικό δυναμικό. Είδαμε ότι το κρύσταλλο τύπου N είναι νοθευμένο γερμάνιο ή πυρίτιο με υλικό προσμίξεως το πεντασθενές αρσενικό, ενώ το κρύσταλλο τύπου P είναι νοθευμένο γερμάνιο ή πυρίτιο με υλικό προσμίξεως το τρισθενές ίνδιο.

Τα άτομα του αρσενικού, κατά το σχηματισμό των δεσμών μέσα στη μάζα του κρυστάλλου τύπου N, χάνουν ένα ηλεκτρόνιο σθένους και μετατρέπονται σε θετικά ιόντα. Αντίθετα, τα άτομα του ινδίου, κατά το σχηματισμό των δεσμών μέσα στη μάζα του κρυστάλλου τύπου P, προσλαμβάνουν ένα ηλεκτρόνιο και μετατρέπονται σε αρνητικά ιόντα. Έτσι, τα θετικά ιόντα του κρυστάλλου τύπου N απωθούν τις οπές του κρυστάλλου τύπου P και τα αρνητικά ιόντα του κρυστάλλου τύπου P απωθούν τα ελεύθερα ηλεκτρόνια του κρυστάλλου τύπου N μακριά από την επαφή P-N.

Αυτή η ενέργεια των θετικών και των αρνητικών ιόντων του κρυστάλλου τύπου N και P αντίστοιχα, δημιουργεί το δυναμικό φραγμού, εξαιτίας του οποίου στο χώρο της περιοχής απογυμνώσεως δημιουργείται ηλεκτρικό πεδίο με φορά από το κρύσταλλο τύπου N προς το τύπου P. Η τιμή του δυναμικού φραγμού είναι ανάλογη με το βαθμό (ποσοστό) προσμίξεως των δυο κρυστάλλων που σχηματίζουν την επαφή P-N. Με την απομάκρυνση των οπών και των ηλεκτρονίων στην περιοχή της επαφής P-N δημιουργείται η περιοχή απογυμνώσεως, στην οποία δεν υπάρχουν ελεύθερα ηλεκτρόνια και οπές αντίστοιχα. Το εύρος της περιοχής απογυμνώσεως είναι αντίστροφα ανάλογο με το ποσοστό προσμίξεως και για τις συνηθισμένες προσμίξεις είναι της τάξεως των 10^{-6} m.

3.8 Προωστική ή ορθή πόλωση.

Αν σε επαφή κρυστάλλου P-N συνδέσομε πηγή συνεχούς τάσεως όπως στο σχήμα 3.8, δηλαδή το θετικό πόλο της πηγής στο κρύσταλλο τύπου P και τον αρνητικό στο κρύσταλλο τύπου N, τότε ο θετικός πόλος της πηγής απωθεί τις οπές (θετικά φορτία) του κρυστάλλου P προς την επαφή. Έτσι αυτές πλησιάζουν προς την επαφή και ένα μέρος από αυτές εισέρχονται στην περιοχή απογυμνώσεως και εξουδετερώνουν τα αρνητικά ιόντα του ινδίου. Ταυτόχρονα ο αρνητικός πόλος της πηγής απωθεί τα ελεύθερα ηλεκτρόνια του κρυστάλλου N προς την επαφή και έτσι



Σχ. 3.8.
Τροφοδότηση επαφής P-N με ορθή πόλωση.

αυτά πλησιάζουν προς αυτή. Ένα μέρος από τα ηλεκτρόνια που εισχωρούν στην περιοχή απογυμνώσεως εξουδετερώνουν τα θετικά ιόντα του αρσενικού. Η εξουδετέρωση των θετικών και των αρνητικών ιόντων έχει ως αποτέλεσμα τη μεγάλη ελάττωση του δυναμικού φραγμού, οπότε οι οπές και τα ηλεκτρόνια διασπούν (διαπερνούν) την περιοχή απογυμνώσεως και ως αντίθετα φορτία ενώνονται. Αποτέλεσμα της ενώσεώς τους είναι να κυκλοφορεί μέσα στο κρύσταλλο P-N ρεύμα με τη φορά που φαίνεται στο σχήμα 3.8.

Εξυπακούεται ότι για κάθε ηλεκτρόνιο του κρυστάλλου N που διαπερνά την περιοχή απογυμνώσεως και ενώνεται με μια οπή, ένα ηλεκτρόνιο παρέχεται από τον αρνητικό πόλο της πηγής στο κρύσταλλο N. Όπως και για κάθε οπή του κρυστάλλου P, που διαπερνά την περιοχή απογυμνώσεως και ενώνεται με ηλεκτρόνιο, ο θετικός πόλος της πηγής απομακρύνει (αφαιρεί) ένα ηλεκτρόνιο από το κρύσταλλο P και στη μάζα δημιουργείται μια νέα οπή.

Η τάση που εφαρμόζεται στα κρύσταλλα της επαφής P-N με αυτή την πολικότητα και προκαλεί ροή ρεύματος μέσα στη μάζα τους, κατά τον τρόπο που είδαμε παραπάνω, ονομάζεται ***προωστική*** ή ***ορθή*** ή ***κανονική πόλωση***. Σημειώνεται ότι η τροφοδότηση των κρυστάλλων επαφής P-N με ορθή πόλωση προκαλεί ροή ρεύματος από φορείς πλειονότητας ή κύριους φορείς, ηλεκτρόνια στο κρύσταλλο τύπου N και οπές στο τύπου P.

Για ένα ορισμένο κρύσταλλο το ρεύμα είναι ανάλογο προς την τάση ορθής πολώσεως. Η πόλωση αυτή δεν πρέπει να λαμβάνει μεγάλες τιμές, γιατί, πάνω από μια ορισμένη τιμή, το δυναμικό φραγμού μηδενίζεται. Ο μηδενισμός όμως του δυναμικού φραγμού συνεπάγεται υπερβολική αύξηση του ρεύματος και από αυτή υπερθέρμανση στην περιοχή απογυμνώσεως και καταστροφή της επαφής P-N.

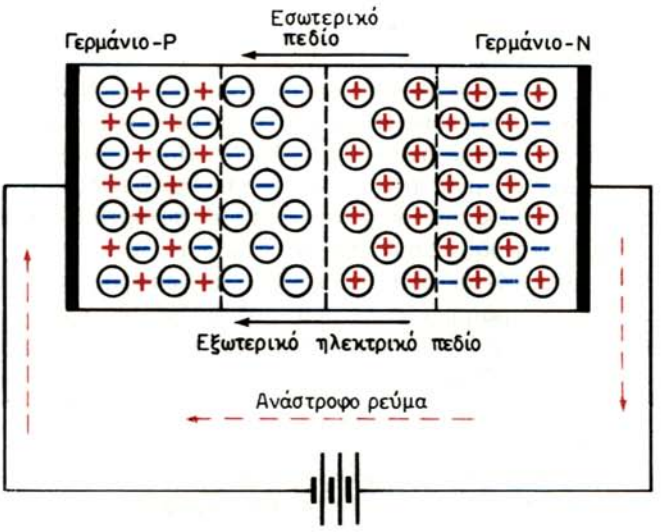
Το ρεύμα αυτό, που προκύπτει κατά τον παραπάνω τρόπο από την κίνηση των οπών και των ελευθέρων ηλεκτρονίων των κρυστάλλων τύπου P και τύπου N αντίστοιχα, λόγω της εξωτερικής τάσεως ονομάζεται ***ρεύμα ολισθήσεως***.

Οι οπές και τα ηλεκτρόνια που προκύπτουν από την πρόσμιξη των κρυστάλλων ονομάζονται ***κύριοι φορείς*** ή ***φορείς πλειονότητας***.

Όμως, στην περιοχή απογυμνώσεως είναι δυνατό να δημιουργηθεί μικρός αριθμός ηλεκτρονίων και οπών, εξαιτίας διασπάσεως δεσμών του γερμανίου ή του πυριτίου, κυρίως λόγω θερμοκρασίας. Οι οπές και τα ηλεκτρόνια που προκύπτουν από διάσπαση ονομάζονται ***δευτερεύοντες φορείς*** ή ***φορείς μειονότητας***. Σε χαμηλές θερμοκρασίες δημιουργείται από αυτούς ένα μικρό ρεύμα που ονομάζεται ***ανάστροφο ρεύμα.*** Με την αύξηση όμως της θερμοκρασίας το ρεύμα αυτό μπορεί να αυξηθεί σημαντικά και είναι δυνατό να προκαλέσει καταστροφή της επαφής P-N.

3.9 Αντίστροφη πόλωση.

Αν αντιστρέψομε την πολικότητα της πηγής, αν δηλαδή συνδέσομε όπως στο σχήμα 3.9 τον αρνητικό πόλο της πηγής στο κρύσταλλο τύπου P και το θετικό στο κρύσταλλο τύπου N, τότε ο αρνητικός πόλος της πηγής έλκει τις οπές του κρυστάλλου τύπου P και ο θετικός τα ηλεκτρόνια του κρυστάλλου τύπου N μακριά από την επαφή. Η απομάκρυνση αυτή των οπών και των ηλεκτρονίων από την επαφή P-N έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση του εύρους της περιοχής απογυμνώσεως και την αύξηση του δυναμικού φραγμού, επειδή κοντά στην επαφή θα επικρατούν περισσότερα αρνητικά και θετικά ιόντα. Η αύξηση όμως του δυναμικού φραγμού δεν επιτρέπει τη ροή ρεύματος από φορείς πλειονότητας μέσα στο κρύσταλλο P-N.



Σχ. 3.9.
Τροφοδότηση επαφής P-N με ανάστροφη πόλωση.

Η τάση που εφαρμόζεται στο κρύσταλλο P-N με την παραπάνω πολικότητα, η οποία αυξάνει το δυναμικό φραγμού και διακόπτει το ρεύμα ολισθήσεως, ονομάζεται ***αντίστροφη*** ή ***ανάστροφη πόλωση.*** Όταν στα κρύσταλλα επαφής P-N εφαρμόζεται αντίστροφη πόλωση, σ' αυτά κυκλοφορεί ένα μικρό ανάστροφο ρεύμα. Το ρεύμα αυτό οφείλεται στους φορείς μειονότητας, δηλαδή στο μικρό αριθμό οπών που υπάρχουν στο κρύσταλλο τύπου N και στο μικρό αριθμό ελευθέρων ηλεκτρονίων που υπάρχουν στο κρύσταλλο τύπου P. Ο μικρός αυτός αριθμός οπών και ηλεκτρονίων απωθούνται αντίστοιχα από το θετικό πόλο της πηγής, που συνδέεται στο κρύσταλλο τύπου N, και από τον αρνητικό πόλο της, που συνδέεται στο κρύσταλλο τύπου P, προς την επαφή P-N. Λόγω της απωθήσεως αυτής, οι οπές και τα ηλεκτρόνια (φορείς μειονότητας) διαπερνούν (διασπούν) την περιοχή απογυμνώσεως, ενώνονται μεταξύ τους και έτσι, κατά την εφαρμογή της αντίστροφης πολώσεως, παρατηρείται η ροή πολύ μικρού ανάστροφου ρεύματος.

3.10 Η κρυσταλλοδίοδος και η χαρακτηριστική της.

α) Η κατασκευή της κρυσταλλοδιόδου.

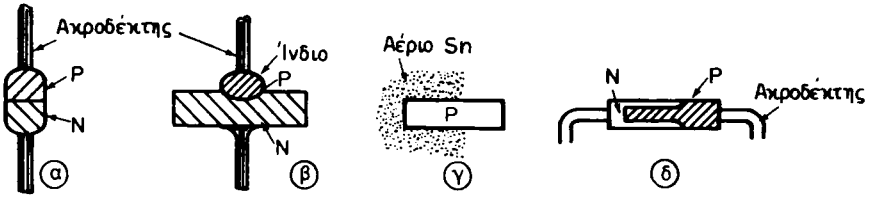
Η κρυσταλλοδίοδος είναι επαφή P-N και, ανάλογα με τον προορισμό της, κατασκευάζεται με ένα από τους παρακάτω τρόπους:

1) Κατασκευή με ανάπτυξη.

Κατά την κατασκευή κρυσταλλοδιόδου με ανάπτυξη (grown junction), ένα μικρό κομμάτι κρυστάλλου (συνήθως πυριτίου) τύπου P βυθίζεται σε τηγμένο υλικό τύπου N για πολύ μικρό χρονικό διάστημα, ώστε να μην αλλοιώνεται το κρύσταλλο τύπου P. Καθώς το κομμάτι τύπου P ανασύρεται, δημιουργείται ένα επίχρισμα από υλικό τύπου N, το οποίο μετά την ψύξη του κρυσταλλώνεται. Έτσι σχηματίζεται η επαφή P-N και, με την προσθήκη των μεταλλικών ακροδεκτών [σχ. 3.10α(α)], διαμορφώνεται η δίοδος. Με τη μέθοδο αυτή δημιουργείται επαφή P-N μεγάλης επιφάνειας, γι' αυτό και η δίοδος αυτή μπορεί να χρησιμοποιείται για ανόρθωση μεγάλων ρευμάτων.

2) Κατασκευή με επαφή κράματος.

Κατά την κατασκευή κρυσταλλοδιόδου με επαφή κράματος (alloy junction) [σχ. 3.10α(β)], σε ένα πλακίδιο κρυστάλλου τύπου N τοποθετείται ένα δισκίο ινδίου ή άλλου τρισθενούς στοιχείου. Η διάταξη αυτή θερμαίνεται ώστε να τηχθεί μόνο το



Σχ. 3.10α.
Μέθοδοι κατασκευής κρυσταλλοδιόδων.

δισκίο ινδίου, οπότε στην περιοχή επαφής τους δημιουργείται κράμα In-Ge. Με την ψύξη της διατάξεως, στην έκταση του κράματος In-Ge δημιουργείται η επαφή P-N.

Οι διαστάσεις του πλακιδίου κρυστάλλου N και του δισκίου ινδίου καθορίζονται από τον προορισμό της διόδου. Με τη μέθοδο επαφής κράματος είναι δυνατή η κατασκευή κρυσταλλοδιόδων που λειτουργούν σε υψηλές συχνότητες.

3) Κατασκευή με επαφή διαχύσεως.

Κατά την κατασκευή κρυσταλλοδιόδου με επαφή διαχύσεως (diffusion junction), ένα τμήμα μικρού κομματιού κρυστάλλου τύπου P τοποθετείται σε χώρο ατμών αντιμονίου Sn σε υψηλή θερμοκρασία [σχ. 3.10α(γ)]. Άτομα αντιμονίου διαχέονται μέσα στη μάζα του κομματιού κρυστάλλου P και μετατρέπουν την περιοχή στην οποία εισχωρούν από τύπου P σε τύπου N [σχ. 3.10α(δ)], με αποτέλεσμα να σχηματίζεται επαφή P-N. Το ποσοστό προσμίξεως είναι ανάλογο με το χρόνο παραμονής του κρυστάλλου P στο χώρο των ατμών αντιμονίου και με τη θερμοκρασία των ατμών. Με κατάλληλη ρύθμισή τους καθορίζονται τα χαρακτηριστικά της κρυσταλλοδιόδου, η οποία θα προκύψει από την επαφή P-N που θα δημιουργηθεί.

Στα σχήματα 3.10β(α), (β) και (γ) φαίνονται:

- Ο συμβολισμός της κρυσταλλοδιόδου επαφής P-N, όπου το υλικό τύπου N αντιστοιχεί με την κάθοδο και το τύπου P με την άνοδο.
- Η αντιστοιχία της κρυσταλλοδιόδου με τη δίοδο λυχνία κενού, όπου η παύλα αντιστοιχίζεται με την κάθοδο και το τριγωνάκι με την άνοδο.

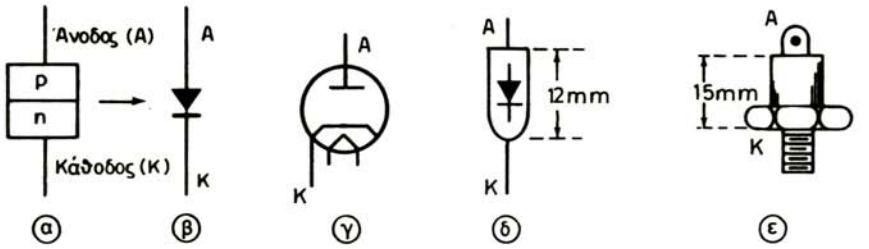
Στα σχήματα 3.10β(δ) και (ε) φαίνονται αντίστοιχα η εξωτερική εικόνα κρυσταλλοδιόδου ανορθώσεως τύπου BY-127 και κρυσταλλοδιόδου ανορθώσεως μεγάλων ρευμάτων μέχρι και 20 A.

β) Η χαρακτηριστική της διόδου.

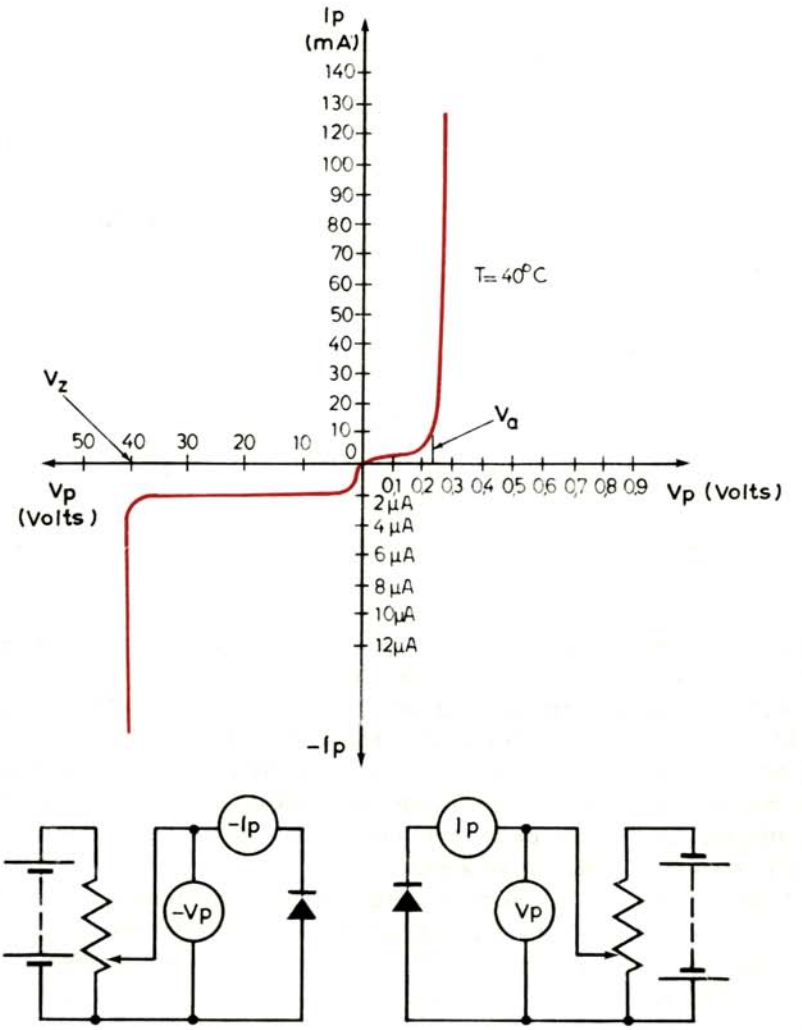
Στο σχήμα 3.10γ φαίνονται τα κυκλώματα ρυθμίσεως της τάσεως κρυσταλλοδιόδου για ορθή και αντίστροφη πόλωση και χαρακτηριστική καμπύλη της μεταβολής του ρεύματος της διόδου I_D σε συνάρτηση με τη μεταβολή της τάσεως της V_D. Οι άξονες της τάσεως και των ρευμάτων ορθής και αντίστροφης πολώσεως έχουν χαραχθεί με διαφορετικές κλίμακες για να είναι εμφανής η διαφορά τους.

Από τη χαρακτηριστική, παρατηρούμε ότι, όταν η τάση που εφαρμόζεται κατά την ορθή φορά έχει μικρές τιμές, το ρεύμα είναι ασήμαντο, ενώ, όταν η τάση αυτή αυξηθεί σε μερικά δέκατα του Volt, το ρεύμα αυξάνει απότομα, ακολουθώντας στη συνέχεια εκθετική αύξηση. Η τιμή της τάσεως αυτής $V_α$, στην οποία αντιστοιχεί απότομη αύξηση του ρεύματος, εξαρτάται από το είδος της κρυσταλλοδιόδου, δηλαδή αν είναι γερμανίου ή πυριτίου, και από το ποσοστό προσμίξεως. Αυτή έχει άμεση σχέση με το δυναμικό φραγμού της επαφής P-N και στις κρυσταλλοδιόδους γερμανίου και πυριτίου είναι περίπου 0,3 V και 0,7 V αντίστοιχα.

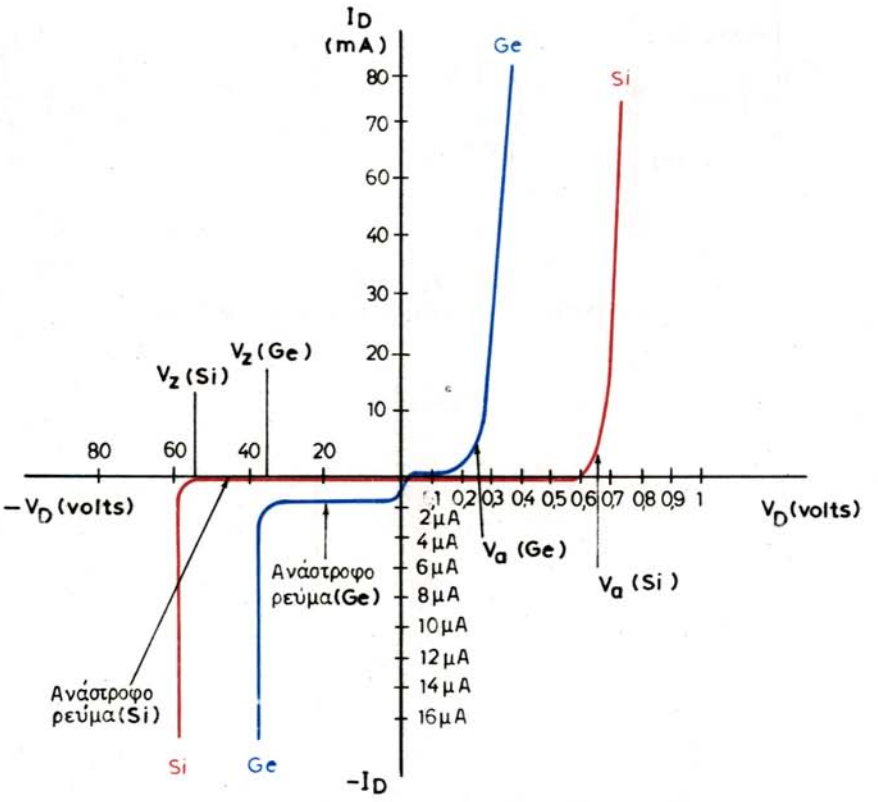
Κατά την αντίστροφη πόλωση, με μικρή τιμή τάσεως παρατηρείται ένα μικρό ρεύμα του οποίου η τιμή παραμένει σταθερή (ρεύμα κόρου) για σημαντική αύξηση της τάσεως (μέχρι και μερικές δεκάδες Volts). Το μικρό αυτό ανάστροφο ρεύμα προέρχεται από τους φορείς μειονότητας. Όταν η τάση κατά την αντίστροφη



Σχ. 3.10β.
Συμβολισμός, αντιστοιχία και τύποι κρυσταλλοδιόδων.



Σχ. 3.10γ.
Κυκλώματα μετρήσεων για τη χάραξη της χαρακτηριστικής και η χαρακτηριστική κρυσταλλοδιόδου γερμανίου.



Σχ. 3.10δ.
Διαφορές των χαρακτηριστικών κρυσταλλοδιόδων γερμανίου και πυριτίου.

πόλωση αυξηθεί σε μια σημαντική τιμή, το ανάστροφο ρεύμα αυξάνεται απότομα, ενώ η τάση στα άκρα της διόδου παραμένει σταθερή.

Η απότομη αύξηση του ανάστροφου ρεύματος οφείλεται στα παρακάτω αίτια:

1) Με την αύξηση της τάσεως κατά την αντίστροφη πόλωση, μέσα στην περιοχή απογυμνώσεως δημιουργείται ισχυρό ηλεκτρικό πεδίο, το οποίο προκαλεί διάσπαση πολλών δεσμών στα καθαρά κρύσταλλα, με αποτέλεσμα να δημιουργείται πλήθος φορέων. Η διάσπαση των δεσμών λόγω του ισχυρού ηλεκτρικού πεδίου ονομάζεται ***φαινόμενο Zener.***

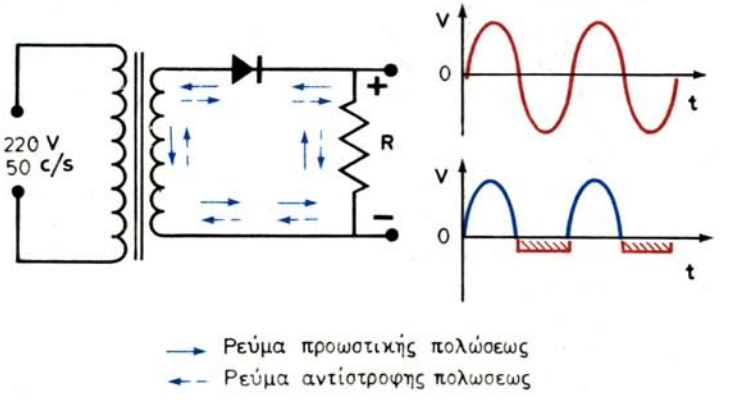
2) Με την αύξηση της τάσεως κατά την αντίστροφη πόλωση, τα ηλεκτρόνια κινούνται στην περιοχή απογυμνώσεως με μεγάλη ταχύτητα και από τις κρούσεις τους στην περιοχή αυτή προκαλείται διάσπαση δεσμών και αποδεσμεύονται ηλεκτρόνια. Από τις κρούσεις των νέων ηλεκτρονίων αποδεσμεύονται άλλα ισάριθμα ηλεκτρόνια και το φαινόμενο αυτό συνεχίζεται αλυσιδωτά, με αποτέλεσμα την απότομη αύξηση των φορέων. Το φαινόμενο αυτό ονομάζεται ***χιονοστιβάδα*** (avalanche), επειδή μοιάζει με εκείνο της χιονοστιβάδας.

Η τάση κατά την αντίστροφη πόλωση, κατά την οποία, λόγω και των δυο παραπάνω φαινομένων εμφανίζεται η απότομη αύξηση του ανάστροφου ρεύματος, ονομάζεται ***τάση εκκενώσεως*** (breakdown voltage). Στην πράξη ονομάζεται ***τάση Zener (V_z),*** ανεξάρτητα από το αν η απότομη αύξηση του ανάστροφου ρεύματος οφείλεται στο φαινόμενο Zener ή στο φαινόμενο χιονοστιβάδας. Όπως φαίνεται στο σχήμα 3.10δ, η τάση Zener εξαρτάται απο το είδος του ημιαγωγού υλικού που χρησιμοποιεί η κρυσταλλοδίοδος (γερμάνιο ή πυρίτιο). Είναι όμως ανάλογο με το ποσοστό προσμίξεως και επηρεάζεται από τη θερμοκρασία στην οποία λειτουργεί κάθε φορά η κρυσταλλοδίοδος. Από τις δυο καμπύλες του σχήματος 3.10δ φαίνονται επίσης οι διαφορές των τάσεων $V_α$ που προκαλούν απότομη αύξηση ρεύματος κατά την ορθή πόλωση και οι διαφορές των τιμών των αναστρόφων ρευμάτων και των τάσεων V_z μεταξύ κρυσταλλοδιόδων γερμανίου και πυριτίου.

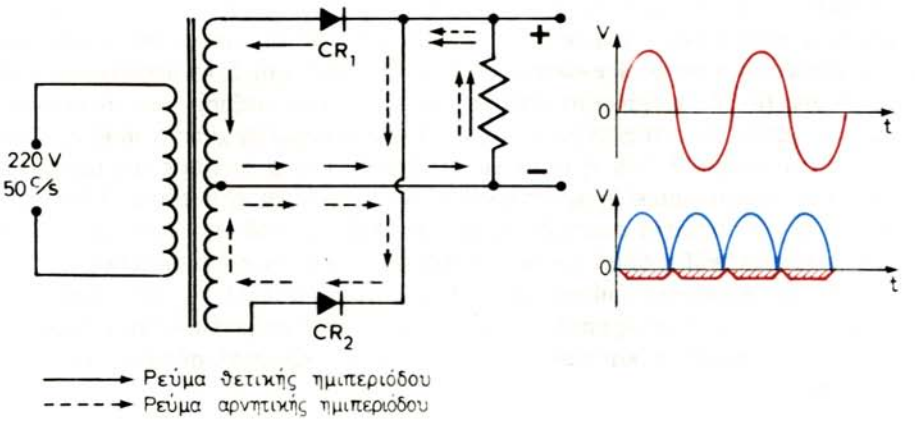
3.11 Ανόρθωση με κρυσταλλοδίοδο.

Όπως είδαμε στην προηγούμενη παράγραφο, η κρυσταλλοδίοδος P-N επιτρέπει τη ροή ρεύματος (παρουσιάζει μικρή αντίσταση), όταν σ' αυτή εφαρμόζεται ορθή πόλωση, ενώ δεν την επιτρέπει (ασήμαντο ρεύμα — παρουσιάζει μεγάλη αντίσταση), όταν εφαρμόζεται σ' αυτή αντίστροφη πόλωση. Η ιδιότητα αυτή παρέχει τη δυνατότητα στην κρυσταλλοδίοδο να χρησιμοποιηθεί ως ανορθωτής.

Στο σχήμα 3.11α φαίνεται διάταξη απλής ανορθώσεως με κρυσταλλοδίοδο και η κυματομορφή του ρεύματος που διέρχεται από την αντίσταση μετά την ανόρθωση της εναλλασσόμενης τάσεως. Κατά τη θετική ημιπερίοδο της εναλλασσόμενης τάσεως, το άνω άκρο του δευτερεύοντος του μετασχηματιστή (υποβιβασμού τάσεως) είναι θετικό και το κάτω αρνητικό. Δηλαδή στην κρυσταλλοδίοδο επικρατεί ορθή πόλωση, οπότε αυτή άγει και στο κύκλωμα κυκλοφορεί



Σχ. 3.11α.
Κύκλωμα απλής ανορθώσεως με κρυσταλλοδίοδο και οι κυματομορφές της εναλλασσόμενης και της ανορθωμένης τάσεως.



Σχ. 3.11β.
Κύκλωμα διπλής ανορθώσεως με κρυσταλλοδιόδους και οι κυματομορφές της εναλλασσόμενης και της ανορθωμένης τάσεως.

ρεύμα με φορά εκείνη του συνεχόμενου βέλους. Κατά την αρνητική ημιπερίοδο της εναλλασσόμενης τάσεως όμως, αναστρέφεται η πολικότητα στα άκρα του δευτερεύοντος, οπότε είναι αντίστροφη και η πόλωση που επικρατεί στα άκρα της κρυσταλλοδιόδου. Αυτή πρακτικά δεν άγει, οπότε και δεν κυκλοφορεί ρεύμα στην αντίσταση R. Στην πραγματικότητα, κατά την αρνητική ημιπερίοδο, οπότε επικρατεί αντίστροφη πόλωση, η κρυσταλλοδίοδος επιτρέπει τη διέλευση ενός ασήμαντου ρεύματος, με φορά εκείνη του διακοπτόμενου βέλους, το οποίο οφείλεται στους φορείς μειονότητας.

Ανάλογη με την ένταση του ρεύματος είναι και η τάση που επικρατεί στα άκρα της αντιστάσεως R. Έτσι και κατά την αρνητική ημιπερίοδο της εναλλασσόμενης τάσεως που ανορθώνεται, στα άκρα της αντιστάσεως επικρατεί μια μικρή τάση. Η τάση αυτή έχει αντίθετη πολικότητα από τη συνεχή τάση που παρέχει η ανόρθωση και γι' αυτό η ανόρθωση με κρυσταλλοδίοδο δεν είναι τέλεια.

Η μέγιστη εναλλασσόμενη τάση που μπορεί να ανορθωθεί με ορισμένη κρυσταλλοδίοδο, εξαρτάται από την αντίστροφη τάση ή τάση Zener, στην οποία αντέχει η κρυσταλλοδίοδος αυτή.

Η κρυσταλλοδίοδος πλεονεκτεί σε σχέση με τη δίοδο κενού, επειδή δεν απαιτεί κατανάλωση ενέργειας για την τροφοδότηση του νήματος θερμάνσεως και έχει πολύ μικρότερες διαστάσεις. Μειονεκτεί όμως επειδή δεν έχει υψηλή αντίστροφη τάση, δεν διακόπτει εντελώς την αγωγιμότητά της κατά την αρνητική ημιπερίοδο και δεν αντέχει σε υψηλές θερμοκρασίες.

Στο σχήμα 3.11β φαίνεται διάταξη διπλής ανορθώσεως με δυο κρυσταλλοδιόδους. Στη διάταξη αυτή, κατά τη θετική ημιπερίοδο της εναλλασσόμενης τάσεως άγει η κρυσταλλοδίοδος CR_1, η CR_2 δεν άγει και το ρεύμα που κυκλοφορεί στο κύκλωμα έχει τη φορά των συνεχών βελών. Κατά την αρνητική ημιπερίοδο της εναλλασσόμενης τάσεως αντιστρέφεται η πολικότητα, οπότε δεν άγει η κρυσταλλοδίοδος CR_1 και άγει η CR_2. Και πάλι όμως το ρεύμα που κυκλοφορεί στο

κύκλωμα με τη φορά των διακοπτομένων βελών, έχει στην αντίσταση την ίδια φορά που είχε και κατά τη θετική ημιπερίοδο.

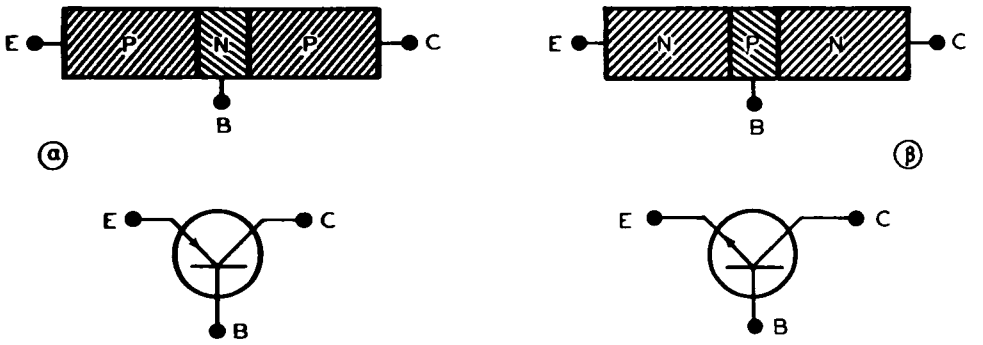
Στο σχήμα 3.11β φαίνεται η κυματομορφή της ανορθωμένης τάσεως με διπλή ανόρθωση και η μικρή αντίστροφη τάση που οφείλεται στους φορείς μειονότητας και αφαιρείται από την κανονική συνεχή τάση. Με την προσθήκη εξομαλυντικών φίλτρων, όπως και στην ανόρθωση με διόδους κενού, οι κυματομορφές της ανορθωμένης τάσεως μετατρέπονται σε πρακτικά σταθερή συνεχή τάση.

3.12 Το τρανζίστορ.

Η λειτουργία των τρανζίστορς ή κρυσταλλοτριόδων βασίζεται στην ελεγχόμενη ροή ηλεκτρονίων και οπών μέσα στη μάζα των ημιαγωγών υλικών (γερμανίου-πυριτίου), σε αντίθεση με τις λυχνίες κενού που η λειτουργία τους βασίζεται στην ελεγχόμενη κίνηση ηλεκτρονίων στο κενό.

Αν και η αρχή λειτουργίας των τρανζίστορς είναι η ίδια, στην πράξη συναντούμε δυο είδη: Τα τρανζίστορς τύπου NPN και τα τρανζίστορς τύπου PNP.

Στο πρώτο είδος δυο κομμάτια κρυστάλλου τύπου N έρχονται σε επαφή με ένα τρίτο κομμάτι κρυστάλλου τύπου P που έχει κατά πολύ μικρότερες διαστάσεις (σχ. 3.12α) και σχηματίζουν τις δυο επαφές N-P και P-N.

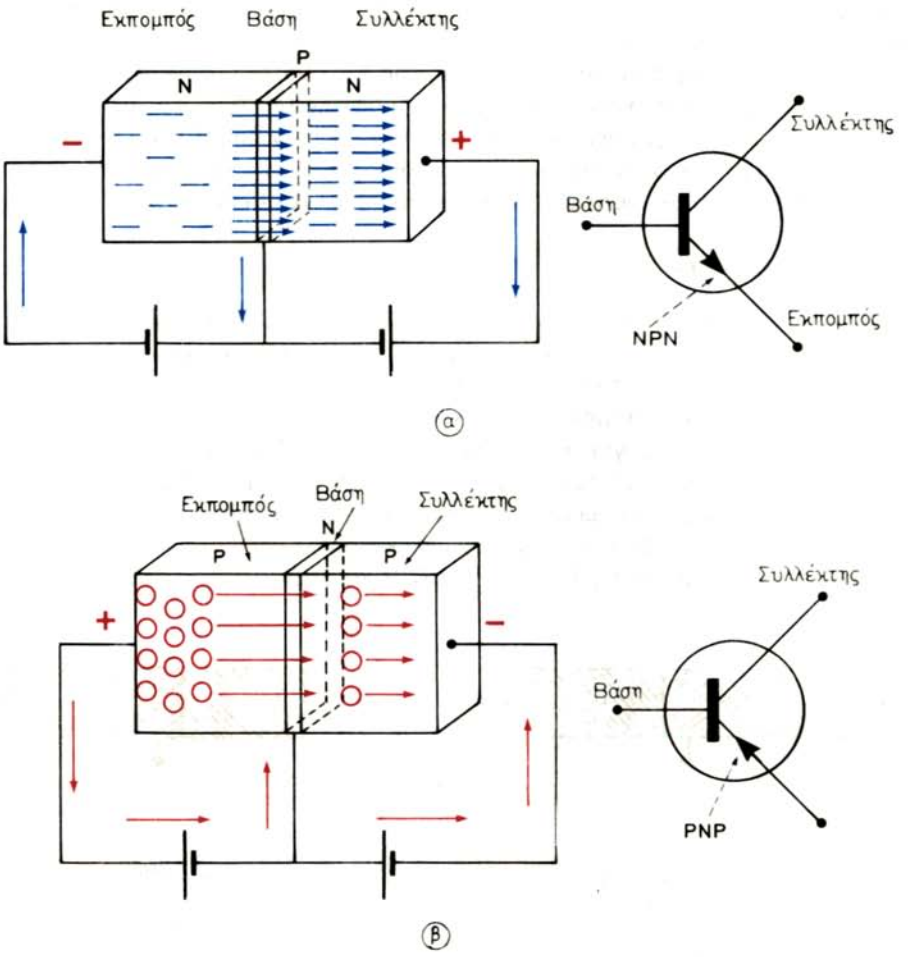


Σχ. 3.12α.
Οι επαφές P-N και N-P των τρανζίστορς PNP και NPN και τα παραστατικά τους διαγράμματα.

Αντίθετα, στο δεύτερο είδος, δυο κομμάτια κρυστάλλου P έρχονται σε επαφή με ένα τρίτο πολύ μικροτέρων διαστάσεων κρύσταλλο N (σχ. 3.12α) και σχηματίζουν τις δυο αντίστοιχες επαφές P-N και N-P.

Η κατασκευή των επαφών P-N και N-P γίνεται με μια από τις μεθόδους κατασκευής των επαφών των κρυσταλλοδιόδων. Σε κάθε ένα από τα τρία κομμάτια κρυστάλλου προσαρμόζεται και ένας ακροδέκτης, για να είναι δυνατή η σύνδεσή τους με τα εξωτερικά κυκλώματα.

Στα τρία κομμάτια κρυστάλλου έχουν δοθεί οι ονομασίες ***εκπομπός*** (emitter), ***βάση*** (base) και ***συλλέκτης*** (collector) και μπορούμε να τα αντιστοιχίσομε με την κάθοδο, το πλέγμα και την άνοδο της τριόδου λυχνίας κενού. Στο σχήμα 3.12α

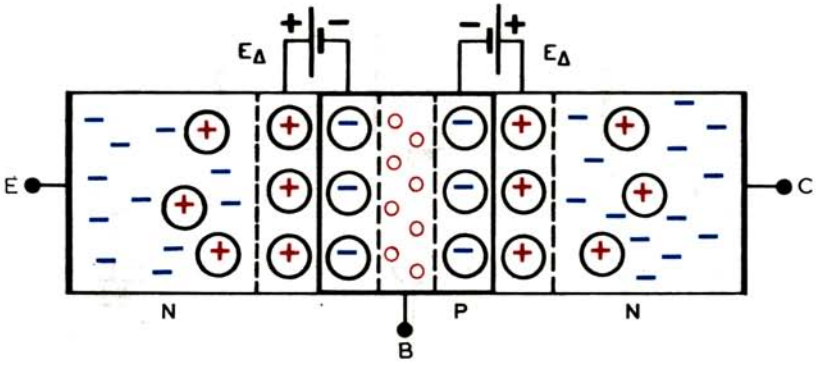


Σχ. 3.12β.
Πολικότητες τροφοδοτήσεως των τρανζίστορς PNP και NPN και τα παραστατικά τους διαγράμματα.

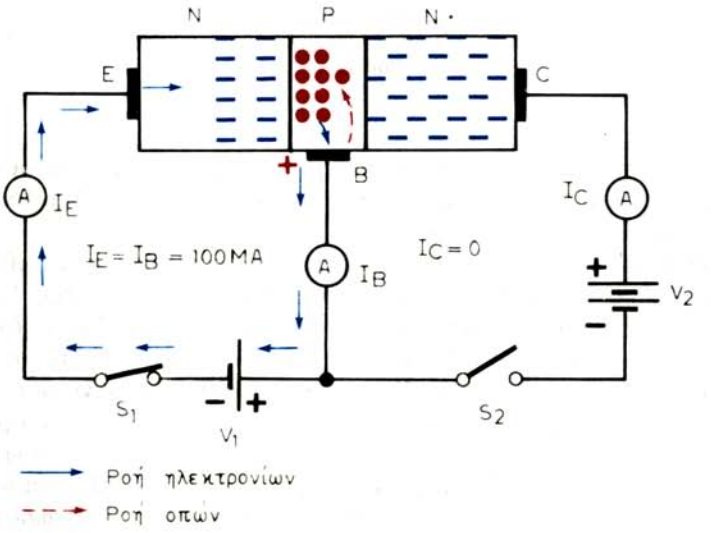
φαίνεται και το παραστατικό διάγραμμα των τρανζίστορς τύπου NPN και τύπου PNP. Στο σχήμα 3.12β φαίνεται η κανονική πολικότητα των τάσεων που πρέπει να εφαρμοσθούν για να λειτουργήσουν τα τρανζίστορς NPN και PNP. Θα πρέπει να παρατηρήσομε ότι στο τρανζίστορ NPN οι φορείς ρεύματος στη μάζα των κρυστάλλων N είναι ηλεκτρόνια, ενώ στο τρανζίστορ PNP οι φορείς ρεύματος στη μάζα των κρυστάλλων P είναι οπές.

3.13 Το τρανζίστορ τύπου NPN.

Στο σχήμα 3.13α φαίνεται τρανζίστορ τύπου NPN με τους τρεις ακροδέκτες του και την αντιστοιχία των κρυστάλλων τους ως εκπομπό, βάση και συλλέκτη. Στην



Σχ. 3.13α.
Παράσταση των περιοχών απογυμνώσεως και των δυναμικών φραγμού σε τρανζίστορς NPN.

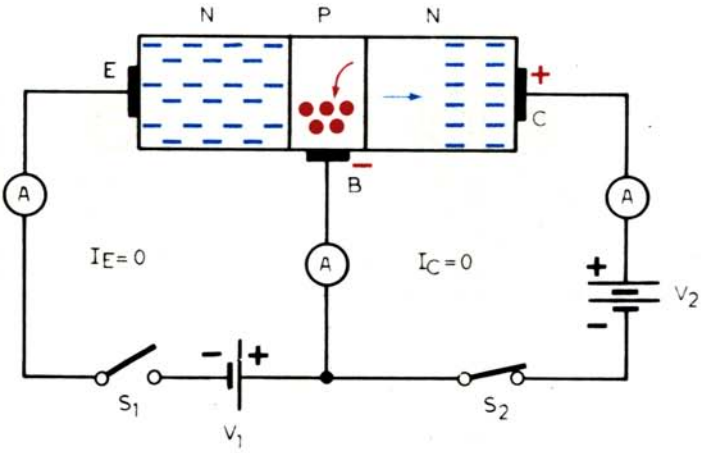


Σχ. 3.13β.
Κίνηση των φορέων σε τρανζίστορ NPN, όταν εφαρμόζεται μόνο ορθή πόλωση εκπομπού βάσεως.

πραγματικότητα, το κρύσταλλο P της βάσεως είναι πάρα πολύ μικρότερο από όσο φαίνεται στο σχήμα. Αυτό είναι απαραίτητο, λόγω του ότι για να λειτουργήσει το τρανζίστορ, πρέπει ο αριθμός των οπών της βάσεως (κρύσταλλο τύπου P) να είναι πάρα πολύ μικρότερος από τον αριθμό των ηλεκτρονίων του εκπομπού και του συλλέκτη (κρύσταλλα τύπου N).

Γενικά, κατά τη λειτουργία των τρανζίστορς, πρέπει μεταξύ εκπομπού και βάσεως να εφαρμόζεται ορθή πόλωση, ενώ μεταξύ συλλέκτη και βάσεως αντίστροφη πόλωση. Το είδος της πολώσεως εξαρτάται από τον τρόπο συνδεσμολογίας των πηγών, που παρέχουν τις συνεχείς τάσεις πολώσεων.

Ας θεωρήσομε το κύκλωμα του σχήματος 3.13β, όπου οι πηγές συνδέονται



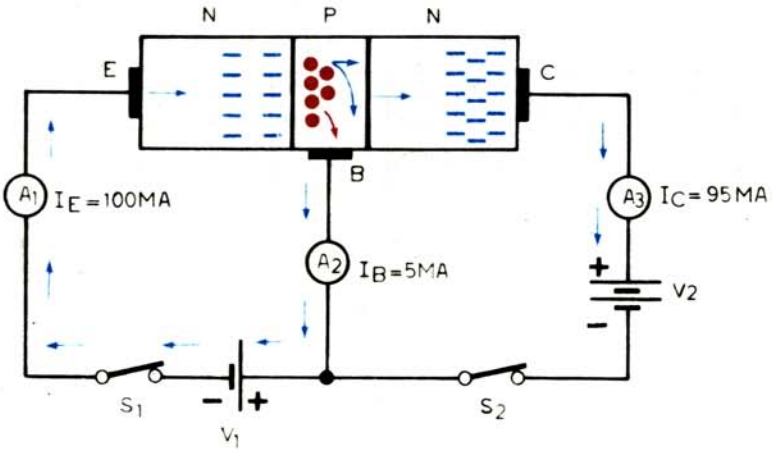
Σχ. 3.13γ.
Κίνηση των φορέων σε τρανζίστορ NPN, όταν εφαρμόζεται μόνο ανάστροφη πόλωση συλλέκτη-βάσεως.

έτσι ώστε να παρέχονται οι παραπάνω επιθυμητές πολώσεις. Θεωρούμε επίσης το διακόπτη S_1 στο κύκλωμα εκπομπού - βάσεως κλειστό και το διακόπτη S_2 στο κύκλωμα συλλέκτη - βάσεως ανοικτό.

Ο αρνητικός πόλος της πηγής V_1, που συνδέεται στον εκπομπό, απωθεί τα ηλεκτρόνια προς την επαφή N-P, ενώ ταυτόχρονα ο θετικός πόλος της ίδιας πηγής, που συνδέεται στη βάση, απωθεί τις οπές προς την ίδια επαφή. Έτσι, ένας μικρός αριθμός από τα ελεύθερα ηλεκτρόνια του εκπομπού (κρύσταλλο τύπου N) και οι οπές της βάσεως (κρύσταλλο τύπου P) ενώνονται, οπότε ελαττώνεται το δυναμικό φραγμού και στο κύκλωμα εκπομπού βάσεως κυκλοφορεί ένα μικρό ρεύμα.

Θεωρούμε το διακόπτη S_1 στο κύκλωμα εκπομπού - βάσεως ανοικτό και το διακόπτη S_2 στο κύκλωμα συλλέκτη - βάσεως κλειστό (σχ. 3.13γ), οπότε στο κύκλωμα συλλέκτη - βάσεως εφαρμόζεται αντίστροφη πόλωση. Ο θετικός πόλος της πηγής V_2 έλκει τα ηλεκτρόνια του συλλέκτη, ενώ ο αρνητικός της πόλος έλκει τις οπές της βάσεως. Έτσι, ηλεκτρόνια και οπές απομακρύνονται από την επαφή P-N. Η απομάκρυνση αυτή των ηλεκτρονίων και των οπών από την επαφή P-N συνεπάγεται αύξηση της αντιστάσεως της επαφής, με αποτέλεσμα να μην κυκλοφορεί ρεύμα στο κύκλωμα συλλέκτη - βάσεως. Βέβαια, κατά την αντίστροφη αυτή πόλωση στο κύκλωμα συλλέκτη - βάσεως κυκλοφορεί ένα ασήμαντο ρεύμα λόγω των φορέων μειονότητας.

Αν θεωρήσομε και τους δυο διακόπτες (S_1 στο κύκλωμα εκπομπού - βάσεως και S_2 στο κύκλωμα συλλέκτη - βάσεως) κλειστούς, όπως στο σχήμα 3.13δ, έχομε τότε ταυτόχρονη εφαρμογή ορθής πολώσεως στο κύκλωμα εκπομπού - βάσεως και αντίστροφης πολώσεως στο κύκλωμα συλλέκτη - βάσεως. Το αρνητικό δυναμικό του εκπομπού απωθεί τα ελεύθερα ηλεκτρόνιά του (κρύσταλλο τύπου N) προς την επαφή N-P εκπομπού - βάσεως, η οποία, λόγω της ορθής πολώσεως,



Σχ. 3.13δ.
Κίνηση των φορέων σε τρανζίστορ NPN.

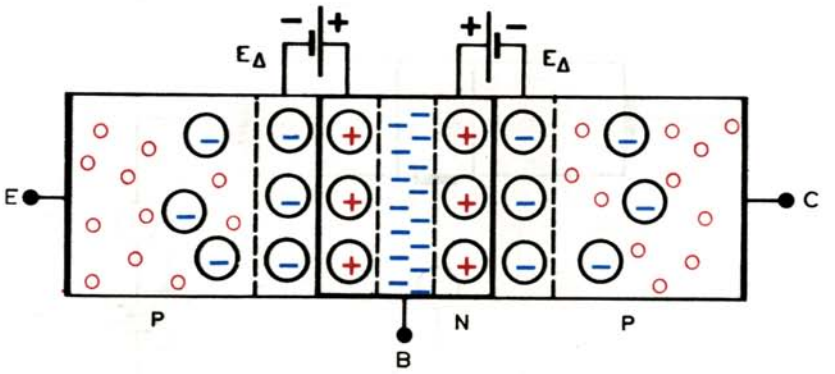
παρουσιάζει μικρή αντίσταση. Έτσι, τα ηλεκτρόνια αυτά εισέρχονται στην περιοχή της βάσεως (κρύσταλλο τύπου P) και ενώνονται με τις οπές της. Επειδή όμως το κρύσταλλο τύπου P της βάσεως είναι πολύ λεπτό, διαθέτει μικρό αριθμό οπών, με αποτέλεσμα τα περισσότερα ηλεκτρόνια που εισέρχονται στο κρύσταλλο της βάσεως να μη βρίσκουν οπή για να συμπληρώσουν δεσμό. Αυτά συνεχίζουν την κίνησή τους προς την περιοχή του συλλέκτη, επειδή έχουν αποκτήσει σημαντική ταχύτητα. Όταν διαπεράσουν την επαφή P-N και εισχωρήσουν στο κρύσταλλο του συλλέκτη, έλκονται από το θετικό πόλο της πηγής V_2.

Από τα παραπάνω συμπεραίνομε ότι από το μεγάλο αριθμό ηλεκτρονίων του εκπομπού, που απωθούνται από τον αρνητικό πόλο της πηγής V_1 και εισέρχονται στη λεπτή βάση, ένα πολύ μικρό μέρος ενώνεται με οπές της βάσεως, ενώ τα υπόλοιπα ηλεκτρόνια εισχωρούν στο συλλέκτη και έλκονται από το θετικό πόλο της πηγής V_2. Αποτέλεσμα του φαινομένου αυτού είναι η ροή ενός πολύ μικρού ρεύματος στο κύκλωμα της βάσεως και ενός πολύ μεγαλύτερου στο κύκλωμα του συλλέκτη. Συνήθως τα τρανζίστορς κατασκευάζονται έτσι ώστε τα 5% των ηλεκτρονίων του εκπομπού να ενώνονται με οπές στην περιοχή της βάσεως και τα 95% να εισχωρούν στο συλλέκτη. Δηλαδή, αν το ρεύμα εκπομπού $I_e = 10$ mA, το ρεύμα βάσεως θα είναι $I_b = 0{,}5$ mA και το ρεύμα συλλέκτη $I_c = 9{,}5$ mA.

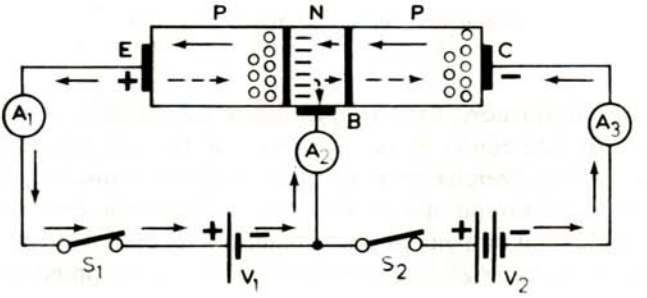
Θα πρέπει λοιπόν να θυμόμαστε ότι το ρεύμα συλλέκτη I_c είναι μικρότερο από το ρεύμα εκπομπού I_e κατά το ρεύμα βάσεως I_b, ($I_c = I_e - I_b$).

3.14 Το τρανζίστορ τύπου PNP.

Η λειτουργία του τρανζίστορ τύπου PNP είναι περίπου ίδια με αυτή του τύπου NPN που είδαμε στην προηγούμενη παράγραφο. Κατασκευάζεται με την ένωση (επαφή) τριών κρυστάλλων γερμανίου ή πυριτίου, από τα οποία τα δυο ακραία εί-



Σχ. 3.14α.
Παράσταση των περιοχών απογυμνώσεως και των δυναμικών φραγμού σε τρανζίστορ PNP.



Σχ. 3.14β.
Κίνηση των φορέων σε τρανζίστορ PNP.

ναι τύπου P και το πολύ λεπτό μεσαίο είναι τύπου N.

Στο σχήμα 3.14α φαίνεται τρανζίστορ PNP, με τους τρεις ακροδέκτες και την ονομασία των κρυστάλλων. Και στην περίπτωση αυτή το κρύσταλλο της βάσεως είναι στην πραγματικότητα πολύ μικρότερο από ότι φαίνεται στο σχήμα, για τους λόγους που είδαμε στην προηγούμενη παράγραφο.

Όταν δεν εφαρμόζονται εξωτερικές τάσεις, στις επαφές P-N και N-P η τιμή των δυναμικών φραγμού είναι η ίδια, διαφέρει όμως η πολικότητά τους.

Για να λειτουργήσει το τρανζίστορ PNP, πρέπει στο κύκλωμα εκπομπού - βάσεως να εφαρμόζεται ορθή πόλωση και στο κύκλωμα συλλέκτη - βάσεως αντίστροφη πόλωση, όπως και στο τρανζίστορ NPN. Στο κύκλωμα του σχήματος 3.14β, η σύνδεση της πηγής V_1 εξασφαλίζει την ορθή πόλωση στο κύκλωμα εκπομπού - βάσεως και η σύνδεση της πηγής V_2 την αντίστροφη πόλωση στο κύκλωμα συλλέκτη - βάσεως.

Ο θετικός πόλος της πηγής V_1 απωθεί τις οπές του εκπομπού (κρύσταλλο τύπου P) προς την επαφή P-N, αλλά ταυτόχρονα ο αρνητικός της πόλος απωθεί τα ελεύθερα ηλεκτρόνια της βάσεως (κρύσταλλο τύπου N) προς την ίδια επαφή P-N.

Έτσι, μικρό μέρος από το μεγάλο αριθμό οπών του εκπομπού ενώνονται με τα λίγα ηλεκτρόνια της βάσεως (πολύ λεπτό κρύσταλλο). Το μεγαλύτερο μέρος από τις οπές του εκπομπού, που δεν ενώνονται με ηλεκτρόνια στην περιοχή της βάσεως λόγω της μεγάλης ταχύτητας που έχουν αποκτήσει, διαπερνούν την επαφή N-P και εισχωρούν στην περιοχή του συλλέκτη, όπου έλκονται από τον αρνητικό πόλο της πηγής V_2.

Όπως στο τρανζίστορ τύπου NPN, το ίδιο και στο τύπου PNP το 5% του ρεύματος εκπομπού διέρχεται από το κύκλωμα της βάσεως και το 95% από το κύκλωμα του συλλέκτη. Έτσι και στο τρανζίστορ τύπου PNP ισχύει η σχέση $I_e = I_b + I_c \rightarrow I_c = I_e - I_b$.

Η αναλογία στα ποσοστά των ρευμάτων εξαρτάται από τις διαστάσεις (πάχος) του κρυστάλλου της βάσεως και από την τάση που εφαρμόζεται στο συλλέκτη. Για το λόγο αυτό, το κρύσταλλο της βάσεως έχει πάχος πάρα πολύ μικρότερο από το πάχος του εκπομπού και του συλλέκτη, τόσο στα τρανζίστορς NPN, όσο και στα τρανζίστορ PNP.

Αν συγκρίνομε τα κυκλώματα των τρανζίστορς NPN και PNP στα σχήματα 3.13δ και 3.14β, παρατηρούμε ότι:

α) Η ροή ρεύματος μέσα στην κρυσταλλική μάζα του τρανζίστορ NPN από τον εκπομπό προς το συλλέκτη είναι ηλεκτρόνια, ενώ στην κρυσταλλική μάζα του τρανζίστορ PNP η ροή ρεύματος από τον εκπομπό προς το συλλέκτη είναι οπές. Σημειώνεται όμως ότι ροή οπών προς μια κατεύθυνση συνεπάγεται ταυτόχρονη ροή ηλεκτρονίων προς την αντίθετη κατεύθυνση.

β) Η ροή ρεύματος στο εξωτερικό κύκλωμα των τρανζίστορς και των δυο τύπων είναι ροή ηλεκτρονίων.

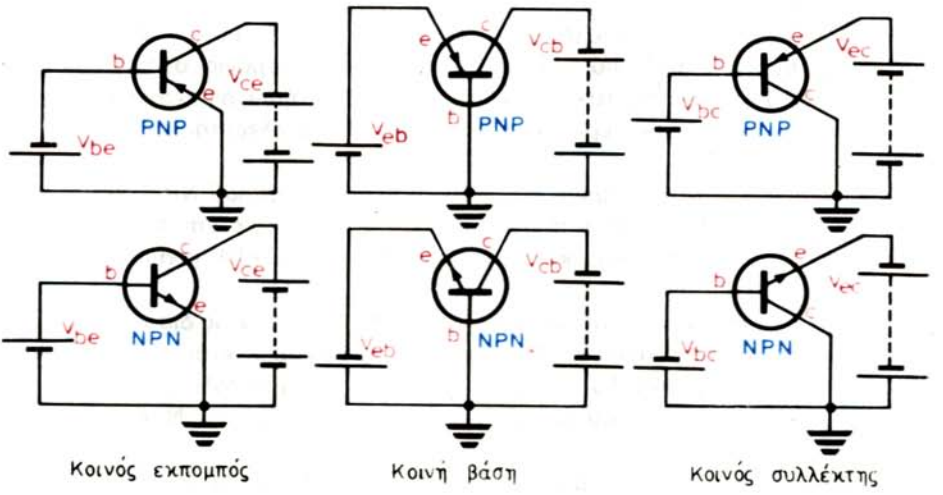
3.15 Βασικές συνδεσμολογίες των τρανζίστορς.

Στο σχήμα 3.15 φαίνονται οι τρεις βασικές συνδεσμολογίες τρανζίστορς PNP και NPN, ***κοινού εκπομπού, κοινής βάσεως*** και ***κοινού συλλέκτη,*** που χρησιμοποιούνται στην πράξη. Με τον όρο κοινός εννοείται ο ακροδέκτης του τρανζίστορ που συνδέεται στο κοινό (γειώνεται), όπου συνδέεται και ο ένας πόλος κάθε πηγής, έτσι ώστε και στις τρεις συνδεσμολογίες να εξασφαλίζεται ορθή πόλωση μεταξύ εκπομπού - βάσεως και αντίστροφη πόλωση μεταξύ συλλέκτη - βάσεως.

α) ***Η συνδεσμολογία κοινού εκπομπού*** (common emitter), όπου ο εκπομπός συνδέεται στο κοινό (γειώνεται), χρησιμοποιείται στις ηλεκτρονικές εφαρμογές σε ποσοστό 80%, επειδή παρουσιάζει σημαντική ενίσχυση τάσεων και ισχύος. Οι αντιστάσεις εισόδου και εξόδου είναι περίπου της ίδιας μέσης τιμής και κυμαίνονται από 4-8 kΩ.

β) Η συνδεσμολογία κοινής βάσεως (common base) παρουσιάζει μεγάλη ενίσχυση τάσεως και μικρή ενίσχυση ισχύος, με μικρή αντίσταση εισόδου και μεγάλη αντίσταση εξόδου. Γι' αυτό η χρησιμοποίησή της περιορίζεται στους ενισχυτές υψηλών συχνοτήτων.

γ) ***Η συνδεσμολογία κοινού συλλέκτη*** (common collector) παρουσιάζει ενίσχυση τάσεως μικρότερη από τη μονάδα και σημαντική ενίσχυση ισχύος. Κύριο



Σχ. 3.15.
Βασικές συνδεσμολογίες των τρανζίστορς.

χαρακτηριστικό της είναι η μεγάλη αντίσταση εισόδου και η μικρή αντίσταση εξόδου. Γι' αυτό η χρησιμοποίησή της συναντάται σε εφαρμογές που απαιτείται προσαρμογή αντιστάσεων.

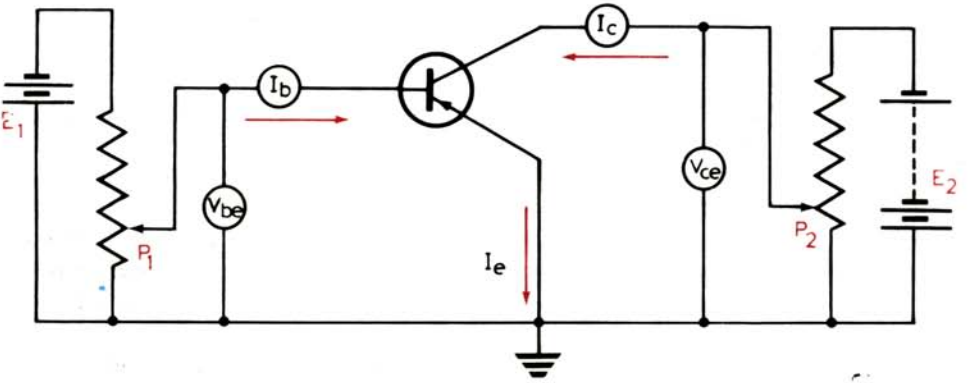
Στη συνδεσμολογία κοινού εκπομπού μεταξύ του σήματος εισόδου $U_{εισ.}$ και του σήματος εξόδου $U_{εξ.}$ υπάρχει διαφορά φάσεως 180°, ενώ στις συνδεσμολογίες κοινής βάσεως και κοινού εκπομπού τα σήματα εισόδου $U_{εισ.}$ και εξόδου $U_{εξ.}$ έχουν την ίδια φάση.

Στις προηγούμενες παραγράφους συμβολίζαμε τα ρεύματα εκπομπού ως I_e, βάσεως ως I_b και συλλέκτη ως I_c. Για διάκριση των τάσεων, ανάλογα με τη συνδεσμολογία, τις συμβολίζομε:

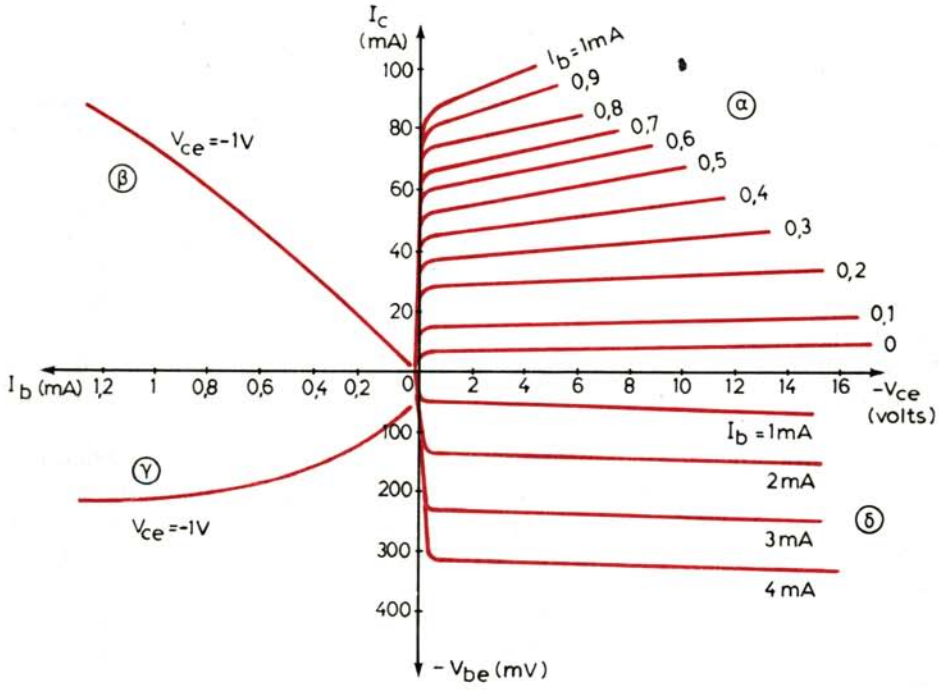
- Στη συνδεσμολογία κοινού εκπομπού, την τάση βάσεως - εκπομπού ως V_{be} και την τάση μεταξύ συλλέκτη - εκπομπού ως V_{ce}.
- Στη συνδεσμολογία κοινής βάσεως, την τάση μεταξύ εκπομπού - βάσεως ως V_{eb} και την τάση μεταξύ συλλέκτη - βάσεως ως V_{cb}.
- Στη συνδεσμολογία κοινού συλλέκτη, την τάση μεταξύ βάσεως - συλλέκτη ως V_{bc} και την τάση μεταξύ εκπομπού - συλλέκτη ως V_{ec}.

3.16 Οι χαρακτηριστικές του τρανζίστορ και η γραμμή φόρτου.

Στο σχήμα 3.16α φαίνεται διάταξη κυκλώματος τρανζίστορ PNP, με την οποία μπορούμε να πραγματοποιήσομε τις μετρήσεις που απαιτούνται για τη χάραξη των χαρακτηριστικών καμπυλών του. Το τρανζίστορ αυτό είναι τύπου AC 125, που συνήθως χρησιμοποιείται ως ενισχυτής ακουστικών συχνοτήτων μικρής ισχύος (μέχρι 0,5 W) και σ' αυτό ανήκουν και οι χαρακτηριστικές καμπύλες του σχήματος 3.16β.



Σχ. 3.16α.
Διάταξη μετρήσεων για τη χάραξη των χαρακτηριστικών.



Σχ. 3.16β.
Χαρακτηριστικές του τρανζίστορ AC 125.

Με το ποτενσιόμετρο P_1 ρυθμίζεται η τάση V_{be} που παρέχεται από την πηγή E_1. Η ρύθμιση (αυξομείωση) της τάσεως V_{be} συνεπάγεται ρύθμιση (αυξομείωση) του ρεύματος I_b, η οποία έχει σημαντική επίδραση στο ρεύμα I_c. Με το

ποτενσιόμετρο P_2 ρυθμίζεται η τάση V_{ce}, που παρέχεται από την πηγή E_2. Η ρύθμιση (αυξομείωση) της τάσεως V_{ce} συνεπάγεται ρύθμιση (αυξομείωση) του ρεύματος I_c, η οποία έχει μικρότερη επίδραση στο ρεύμα I_b.

Η τάση συλλέκτη - εκπομπού είναι αρνητική ($-V_{ce}$), επειδή το τρανζίστορ είναι PNP. Αν αυτό ήταν NPN, η τάση θα ήταν θετική (V_{ce}), ώστε να επικρατεί αντίστροφη πόλωση.

Στα τρανζίστορς διακρίνομε τις παρακάτω χαρακτηριστικές καμπύλες:

α) Χαρακτηριστική ρεύματος συλλέκτη σε συνάρτηση με την τάση συλλέκτη για σταθερό ρεύμα βάσεως [$I_c = F(V_{ce})/I_b$ = σταθερό], η οποία ονομάζεται και χαρακτηριστική συλλέκτη και είναι αντίστοιχη με τη χαρακτηριστική ανόδου των λυχνιών κενού. Στο σχήμα 3.16β φαίνεται το σμήνος (α) τέτοιων χαρακτηριστικών για διάφορες τιμές I_b.

Για τη χάραξη μιας τέτοιας χαρακτηριστικής, με το ποτενσιόμετρο P_1 ρυθμίζομε το ρεύμα I_b στην τιμή που επιθυμούμε να αντιστοιχεί η χαρακτηριστική, για παράδειγμα 0,1 mA. Μετά, με το ποτενσιόμετρο P_2 ρυθμίζομε την $-V_{ce}$ από 0-16 V περίπου και σε κάθε τιμή της επαναρυθμίζομε το I_b σε 0,1 mA. Με τις αντίστοιχες τιμές του I_c χαράζομε τη χαρακτηριστική για I_b = 0,1 mA. Επαναλαμβάνοντας την ίδια διαδικασία, χαράζομε τις χαρακτηριστικές για τιμές I_b 0,2 mA, 0,3 mA... 1 mA του σμήνους. Το μικρό ρεύμα συλλέκτη για I_b=0 οφείλεται σε φορείς μειονότητας.

β) Χαρακτηριστική ρεύματος συλλέκτη σε συνάρτηση με το ρεύμα βάσεως για σταθερή τάση συλλέκτη [$I_c = F(I_b)/V_{ce}$ = σταθερή], καμπύλη (β) του σχήματος 3.16β.

Για τη χάραξη της χαρακτηριστικής αυτής, ρυθμίζομε με το ποτενσιόμετρο P_2 την $-V_{ce}$ στην τιμή που επιθυμούμε να αντιστοιχεί η χαρακτηριστική, για παράδειγμα -1 V. Με το ποτενσιόμετρο P_1 ρυθμίζομε το I_b και σε κάθε τιμή του επαναρυθμίζομε την $-V_{ce}$ σε -1 V. Με τις αντίστοιχες τιμές του I_c χαράζομε τη χαρακτηριστική.

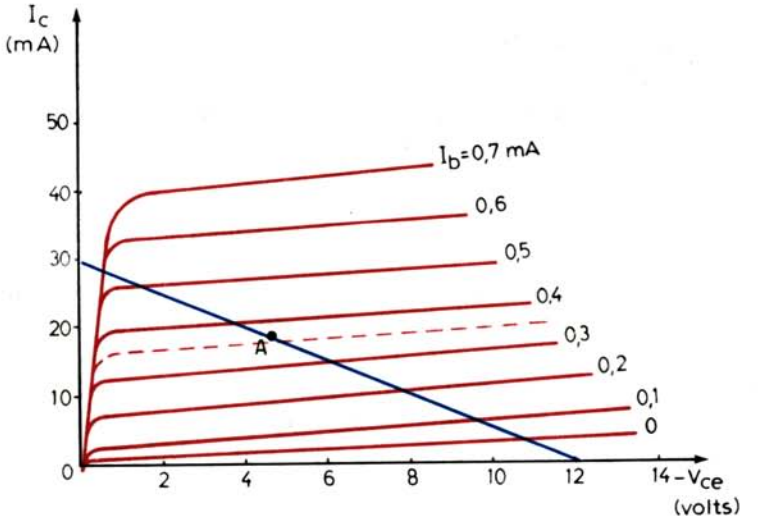
γ) Χαρακτηριστική ρεύματος βάσεως σε συνάρτηση με την τάση βάσεως για σταθερή τάση συλλέκτη [$I_b = F(V_{be})/V_{ce}$ = σταθερή], καμπύλη (γ) του σχήματος 3.16β.

Για τη χάραξη της χαρακτηριστικής αυτής, ρυθμίζομε με το ποτενσιόμετρο P_2 την $-V_{ce}$ στην τιμή που επιθυμούμε να αντιστοιχεί η χαρακτηριστική, για παράδειγμα -1 V. Με το ποτενσιόμετρο P_1 ρυθμίζομε την V_{be} και σε κάθε τιμή της επαναρυθμίζομε την $-V_{ce}$ σε -1 V. Με τις αντίστοιχες τιμές του I_b χαράζομε τη χαρακτηριστική.

δ) Χαρακτηριστική της τάσεως βάσεως σε συνάρτηση με την τάση συλλέκτη για ρεύμα βάσεως σταθερό [$V_{be} = F(V_{ce})/I_b$ = σταθερό], καμπύλη (δ) του σχήματος 3.16β.

Για τη χάραξή της ρυθμίζομε με το ποτενσιόμετρο P_1 το I_b στην τιμή που επιθυμούμε να αντιστοιχεί η χαρακτηριστική. Με το ποτενσιόμετρο P_2 ρυθμίζομε την $-V_{ce}$ και σε κάθε τιμή της επαναρυθμίζομε το I_b στη σταθερή τιμή. Με τις αντίστοιχες τιμές της V_{be} χαράζομε τη χαρακτηριστική.

Όπως στις λυχνίες κενού έτσι και στα τρανζίστορς μπορούμε στις χαρακτηριστικές συλλέκτη να χαράξομε τη γραμμή φόρτου για ορισμένη αν-



Σχ. 3.16γ.
Γραμμή φόρτου και σημείο λειτουργίας.

τίσταση φόρτου. Τα σημεία της γραμμής φόρτου στους άξονες V_{ce} και I_c αντιστοιχούν σε ρεύμα αποκοπής και κορεσμού. Στο σχήμα 3.16γ φαίνεται γραμμή φόρτου για αντίσταση φόρτου 4 kΩ, $V_{ce} = -12$ V και I_c κορεσμού 30 mA. Στη γραμμή φόρτου μπορούμε να προσδιορίσομε το σημείο λειτουργίας Α του αντίστοιχου τρανζίστορ.

Όπως φαίνεται στα σχήματα 3.16β και 3.16γ, κάθε χαρακτηριστική συλλέκτη αντιστοιχεί σε ορισμένο ρεύμα βάσεως και όχι σε τάση (πόλωση), όπως συμβαίνει στις λυχνίες κενού (βλ. σχήματα 2.13 και 2.16). Δηλαδή, η μεταβολή της τάσεως (πολώσεως) της βάσεως προκαλεί μεταβολή του ρεύματος βάσεως, από την οποία προκαλείται πολλαπλάσια μεταβολή του ρεύματος συλλέκτη και έτσι εξασφαλίζεται η λειτουργία του τρανζίστορ. Αυτό σημαίνει ότι, σε αντίθεση με τις λυχνίες κενού, που η διέγερσή τους εξασφαλίζεται με τάση, για τη διέγερση των τρανζίστορς απαιτείται ισχύ. Αυτή η απαίτηση ρεύματος βάσεως είναι το αίτιο της μεγάλης διαφοράς στην αντίσταση εισόδου και την αντίσταση εξόδου των λυχνιών και των τρανζίστορς. Η τιμή της αντιστάσεως εισόδου των λυχνιών κυμαίνεται από 500 kΩ μέχρι 5 ΜΩ, ενώ των τρανζίστορς περιορίζεται από 5 έως 10 kΩ. Η αντίσταση εξόδου των λυχνιών και η αντίσταση φόρτου είναι της τάξεως των 200 kΩ, ενώ στα τρανζίστορς η τιμή τους περιορίζεται στα 5 kΩ.

Στα τρανζίστορς δημιουργούνται ενδοχωρητικότητες μεταξύ βάσεως - εκπομπού C_{be}, μεταξύ βάσεως - συλλέκτη C_{be} και μεταξύ εκπομπού - συλλέκτη C_{ec}, όπως οι ενδοχωρητικότητες μεταξύ των ηλεκτροδίων των λυχνιών κενού. Οι ενδοχωρητικότητες αυτές δημιουργούν προβλήματα στα κυκλώματα που

λειτουργούν σε υψηλές συχνότητες και κυρίως η C_{be}, όπως η C_{gb} στην περίπτωση των τριόδων λυχνιών. Η τιμή κάθε μιας από τις παραπάνω ενδοχωρητικότητες εξαρτάται κυρίως από το μέγεθος της επιφάνειας της επαφής P-N και το ποσοστό προσμίξεως. Επηρεάζεται όμως και από την τάση που επικρατεί στην επαφή, από τα ρεύματα επαφής και από τη θερμοκρασία.

3.17 Παροχή και σταθεροποίηση της πολώσεως βάσεως - εκπομπού.

Στις παραγράφους 3.13 και 3.14, είπαμε ότι, για να λειτουργήσουν τα τρανζίστορς πρέπει να τους παρέχεται ορθή πόλωση μεταξύ εκπομπού - βάσεως και αντίστροφη πόλωση μεταξύ συλλέκτη - βάσεως. Η ορθή πόλωση (τάση) μεταξύ εκπομπού - βάσεως είναι απαραίτητη για την εξουδετέρωση του χαμηλού δυναμικού φραγμού, ώστε τα τρανζίστορς να οδηγηθούν σε αγωγιμότητα. Για το λόγο αυτό η πόλωση αυτή έχει χαμηλή τιμή. Στα τρανζίστορς γερμανίου αυτή κυμαίνεται από 0,2 έως 0,4 V, ενώ στα τρανζίστορς πυριτίου από 0,5 έως 0,7 V. Η αντίστροφη πόλωση (τάση) συλλέκτη - βάσεως παίρνει μεγαλύτερες τιμές, ώστε να μπορεί να έλκει τα ηλεκτρόνια ή τις οπές που εισχωρούν στην περιοχή της βάσεως.

Στην πράξη όμως χρησιμοποιείται μια πηγή, από την οποία παρέχεται απευθείας η πόλωση συλλέκτη - βάσεως και με διαιρέτη τάσεως παρέχεται από την ίδια πηγή και η πόλωση εκπομπού - βάσεως.

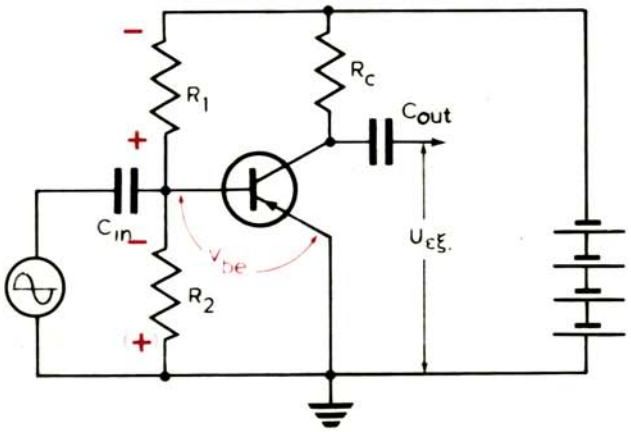
Στο σχήμα 3.17α φαίνεται κύκλωμα ενισχυτή με τρανζίστορ PNP σε συνδεσμολογία κοινού εκπομπού, όπου με το διαιρέτη τάσεως των αντιστάσεων R_1 και R_2 εξασφαλίζεται η ορθή πόλωση V_{be}. Το ρεύμα που κυκλοφορεί στις αντιστάσεις αυτές δημιουργεί πτώση τάσεως με την πολικότητα που σημειώνεται και η πτώση τάσεως στην αντίσταση R_2 είναι η τιμή της ορθής πολώσεως V_{be}.

Κατά τον υπολογισμό των αντιστάσεων R_1 και R_2 λαμβάνεται υπόψη και η αντίσταση εισόδου του τρανζίστορ, παράλληλα προς την οποία συνδέεται η R_2. Στην πράξη ο λόγος R_1/R_2 κυμαίνεται από 5-10, ανάλογα με τη λειτουργία του κυκλώματος ως ενισχυτής τάσεως ή ως ενισχυτής ισχύος. Σε αρκετές περιπτώσεις η αντίσταση R_2 παραλείπεται και ο διαιρέτης τάσεως συγκροτείται από την R_1 και την αντίσταση εισόδου του τρανζίστορ.

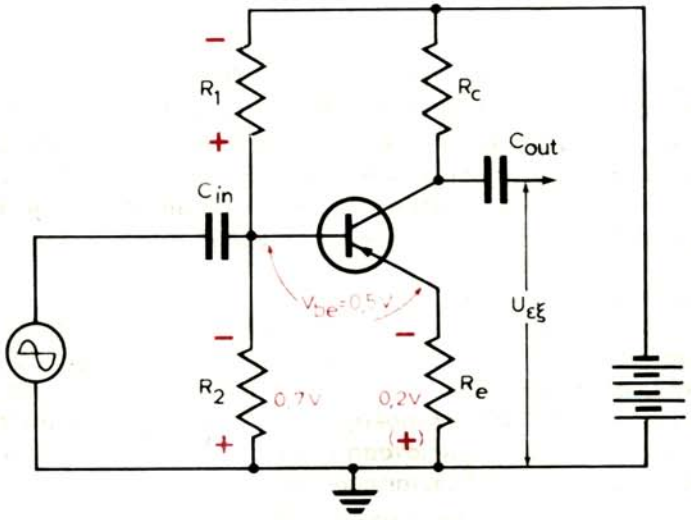
Οι πυκνωτές C_{in} (εισόδου) και C_{out} (εξόδου) χρησιμεύουν για την απομόνωση της συνεχούς συνιστώσας από την πηγή $U_{εισ.}$ (πηγή διεγέρσεως) και από την έξοδο αντίστοιχα.

Όταν δεν εφαρμόζεται σήμα στην είσοδο του κυκλώματος, τότε λέμε ότι το τρανζίστορ βρίσκεται σε κατάσταση ηρεμίας. Τα ρεύματα ηρεμίας του τρανζίστορ I_b και I_c παραμένουν σταθερά, όταν παραμένει σταθερή η θερμοκρασία του. Η αύξηση της θερμοκρασίας του τρανζίστορ προκαλεί αύξηση των ρευμάτων I_b και I_c, καθώς και του ανάστροφου ρεύματος. Η αρχική αύξηση των ρευμάτων ακολουθείται από διαδοχικές αυξήσεις της θερμοκρασίας και των ρευμάτων, με αποτέλεσμα να αλλοιώνεται το σημείο λειτουργίας του τρανζίστορ (σχ. 3.16γ) ή και να καταστρέφεται το τρανζίστορ. Τα δυσάρεστα αυτά αποτελέσματα αντισταθμίζονται με σταθεροποίηση του σημείου λειτουργίας, που επιτυγχάνεται με αυτόματη ρύθμιση της ορθής πολώσεως V_{be}, με μια από τις παρακάτω μεθόδους.

ΔΡΥΜΑ ΣΥΓΓΡΑΦΕΩΝ 1954



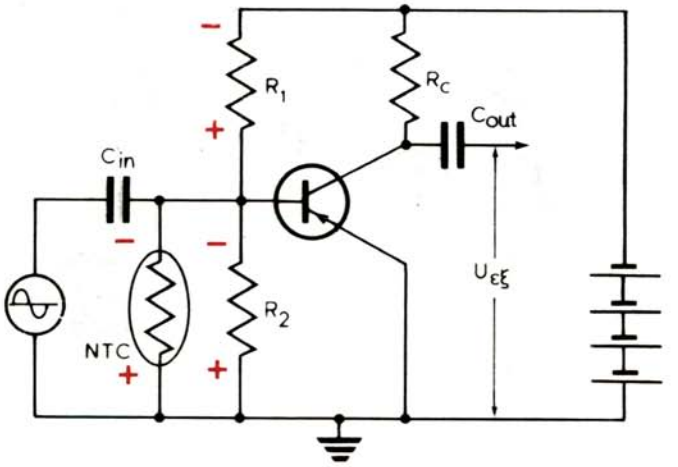
Σχ. 3.17α.
Παροχή V_{ce} και V_{be} από την ίδια πηγή.



Σχ. 3.17β.
Σταθεροποίηση με αντίσταση στον εκπομπό.

α) Σταθεροποίηση με αντίσταση στον εκπομπό.

Στο σχήμα 3.17β φαίνεται το κύκλωμα του σχήματος 3.17α, στο οποίο έχει παρεμβληθεί αντίσταση R_e μεταξύ εκπομπού και κοινού. Από το ρεύμα συλλέκτη που διέρχεται από αυτή δημιουργείται μια μικρή πτώση τάσεως $V_e = I_c R_e$ με την πολικότητα που σημειώνεται στο σχήμα. Έτσι, η πόλωση μεταξύ βάσεως - εκπομπού θα είναι το άθροισμα των πτώσεως τάσεως στην αντίσταση R_2 και της πτώσεως τάσεως στην R_e. Επειδή αυτές έχουν αντίθετη πολικότητα, η ορθή



Σχ. 3.17γ.
Σταθεροποίηση με θερμίστορ στη βάση.

πόλωση V_{be} θα είναι ίση με τη διαφορά τους [0,7 V + (−0,2 V) = 0,5 V]. Η πτώση τάσεως στην αντίσταση R_2 είναι ανεξάρτητη από τη θερμοκρασία του τρανζίστορ. Η παραμικρή, για οποιοδήποτε λόγο αύξηση του I_c, προκαλεί αύξηση της πτώσεως τάσεως στην R_e, η οποία διαδοχικά συνεπάγεται ελάττωση της V_{be} και του I_b, με αποτέλεσμα να εξουδετερώνεται η αύξηση της αγωγιμότητας του τρανζίστορ και το I_c να παραμένει πρακτικά σταθερό.

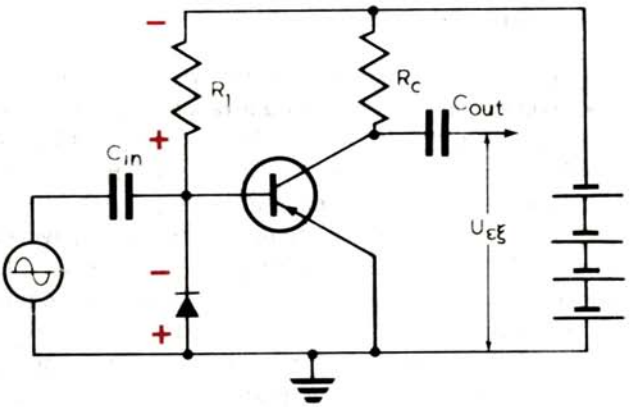
β) Σταθεροποίηση με θερμίστορ στη βάση.

Κατά τη μέθοδο αυτή, παράλληλα με την αντίσταση R_2 του διαιρέτη τάσεως της V_{be} συνδέεται θερμίστορ αρνητικού συντελεστή θερμοκρασίας (NTC), η αύξηση της θερμοκρασίας του οποίου προκαλεί ελάττωση της αντιστάσεως που παρουσιάζει (σχ. 3.17γ). Έτσι, ο διαιρέτης τάσεως της V_{be} συγκροτείται από την R_1 σε σειρά με την ισοδύναμη αντίσταση των R_2, NTC και της αντιστάσεως εισόδου του τρανζίστορ, που συνδέονται παράλληλα.

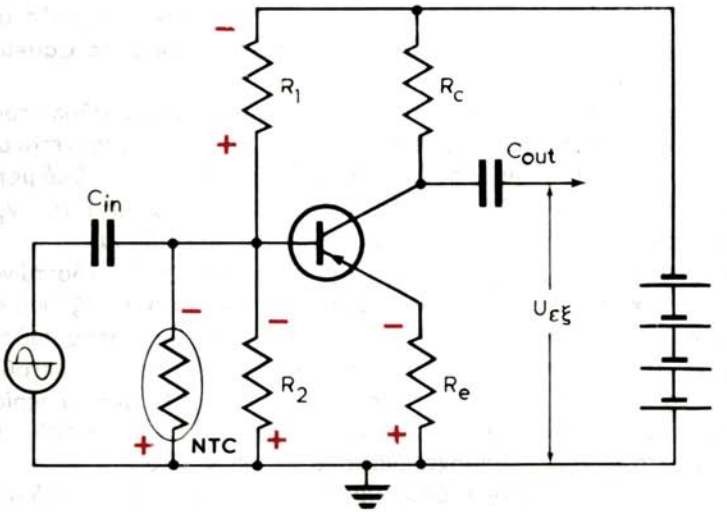
Με την αύξηση της θερμοκρασίας του περιβάλλοντος αυξάνεται η θερμοκρασία του θερμίστορ και ελαττώνεται η αντίστασή του. Η ελάττωσή της συνεπάγεται ελάττωση της παραπάνω ισοδύναμης αντιστάσεως και ελάττωση της V_{be}, με αποτέλεσμα να ελαττώνεται η αγωγιμότητα του τρανζίστορ και η αύξηση της θερμοκρασίας περιβάλλοντος να μην προκαλεί αύξηση του ρεύματος I_c. Καθώς το ρεύμα I_c δεν έχει σχέση με το θερμίστορ, η μέθοδος αυτή αντισταθμίζει ανωμαλίες μόνο από μεταβολές της θερμοκρασίας περιβάλλοντος και όχι από άλλα αίτια.

γ) Σταθεροποίηση με κρυσταλλοδίοδο στη βάση.

Ίδια αποτελέσματα επιτυγχάνονται, αν στο διαιρέτη τάσεως αντικαταστήσομε την R_2 και το θερμίστορ με κρυσταλλοδίοδο. Με τη συνδεσμολογία της διόδου σε ορθή πόλωση, όπως στο σχήμα 3.17δ, η κρυσταλλοδίοδος παρουσιάζει χαμηλή



Σχ. 3.17δ.
Σταθεροποίηση με κρυσταλλοδίοδο στη βάση.



Σχ. 3.17ε.
Συνδυασμένη σταθεροποίηση με αντίσταση στον εκπομπό και θερμίστορ στη βάση.

αντίσταση, τέτοια ώστε η πτώση τάσεως σε αυτή να είναι ίση με την V_{be} του σημείου λειτουργίας του τρανζίστορ. Η αύξηση της θερμοκρασίας περιβάλλοντος αυξάνει την αγωγιμότητα της κρυσταλλοδιόδου, οπότε ελαττώνεται η πτώση τάσεως σ' αυτή. Η ελάττωση της πτώσεως τάσεως σημαίνει ελάττωση της V_{be}, η οποία συνεπάγεται ελάττωση της αγωγιμότητας του τρανζίστορ και πρακτικά σταθεροποίηση του σημείου λειτουργίας του.

Στα κυκλώματα των ενισχυτών ισχύος, όπου παρατηρούνται μεγαλύτερες θερμοκρασίες, για τη σταθεροποίηση του σημείου λειτουργίας χρησιμοποιείται συνδυασμός των μεθόδων (α) και (β), όπως στο σχήμα 3.17ε, ή και των μεθόδων (α) και (γ).

3.18 Ενίσχυση με τρανζίστορ.

Στο σχήμα 3.18α φαίνεται τυπικό κύκλωμα ενισχυτή με τρανζίστορ τύπου PNP σε συνδεσμολογία κοινού εκπομπού. Η πηγή παρέχει μέσω της αντιστάσεως φόρτου R_c την ανάστροφη πόλωση συλλέκτη. Με το διαιρέτη τάσεως R_1 και R_2 παρέχεται V_{be} (ορθή πόλωση), ενώ με την αντίσταση R_e εξασφαλίζεται η σταθεροποίηση της πολώσεως βάσεως - εκπομπού [$V_{be} = -0,7\ V - (-0,3\ V) = -0,4\ V$]. Ο πυκνωτής C_e βραχυκυκλώνει την εναλλασσόμενη συνιστώσα του I_c, ώστε να μη διέρχεται από την R_e, και εξασφαλίζεται σταθερή V_{be}. Οι πυκνωτές C_b και C_c χρησιμεύουν αντίστοιχα ως πυκνωτές συζεύξεως εισόδου και εξόδου και αποκόπτουν τη συνεχή συνιστώσα από τη γεννήτρια ΑΣ και την R_Φ.

Η τάση σήματος εισόδου, που εφαρμόζεται στη βάση μέσω του πυκνωτή C_b, προστίθεται στη συνεχή ορθή πόλωση της βάσεως και προκαλεί μεταβολή της V_{be} και του I_b με το ρυθμό της συχνότητάς της. Κατά τη θετική ημιπερίοδο της τάσεως σήματος $U_{\epsilon\iota\sigma.}$, επειδή το τρανζίστορ είναι PNP, η ορθή πόλωση V_{be} ελαττώνεται κατά τις διαδοχικές στιγμιαίες τιμές του σήματος και προκαλεί ανάλογη ελάττωση του I_b. Κατά την αρνητική ημιπερίοδο, η ορθή πόλωση V_{be} αυξάνεται κατά τις διαδοχικές στιγμιαίες τιμές του σήματος και προκαλεί ανάλογη αύξηση του I_b. Η μεταβολή δηλαδή του I_b παρουσιάζει διαφορά φάσεως 180° από το σήμα εισόδου.

Η μεταβολή αυτή του I_b προκαλεί πολλαπλάσια ημιτονική μεταβολή του I_c με την ίδια φάση. Η πολλαπλάσια αυτή μεταβολή του I_c όμως, συνεπάγεται ανάλογη μεταβολή της πτώσεως τάσεως στην αντίσταση R_c, οπότε με το ρυθμό μεταβολής του I_c μεταβάλλεται και η V_{ce}. Η εναλλασσόμενη συνιστώσα της V_{ce}, που λαμβάνεται με τον πυκνωτή C_c, είναι το ενισχυμένο σήμα εισόδου.

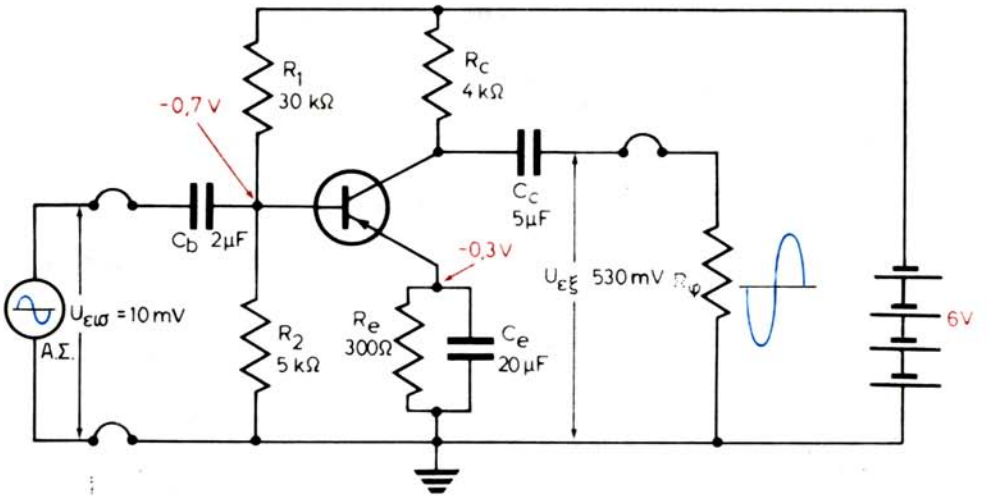
Καθώς κατά τη θετική ημιπερίοδο του σήματος εισόδου το I_c ελαττώνεται και αυξάνεται η αρνητική V_{ce}, γίνεται δηλαδή αρνητικότερη, το σήμα εξόδου έχει την αρνητική του ημιπερίοδο. Έτσι, μεταξύ σήματος εισόδου και εξόδου υπάρχει διαφορά φάσεως 180°. Όταν το τρανζίστορ είναι NPN, το I_c μεταβάλλεται συμφασικά με το σήμα εισόδου. Η αύξηση του I_c κατά τη θετική ημιπερίοδο του σήματος, συνεπάγεται ελάττωση της θετικής V_{ce}, οπότε πάλι μεταξύ σήματος εισόδου και σήματος εξόδου υπάρχει διαφορά φάσεως 180°.

Ο λόγος της τάσεως σήματος εξόδου προς την τάση σήματος εισόδου είναι η ενίσχυση τάσεως A_v του ενισχυτή:

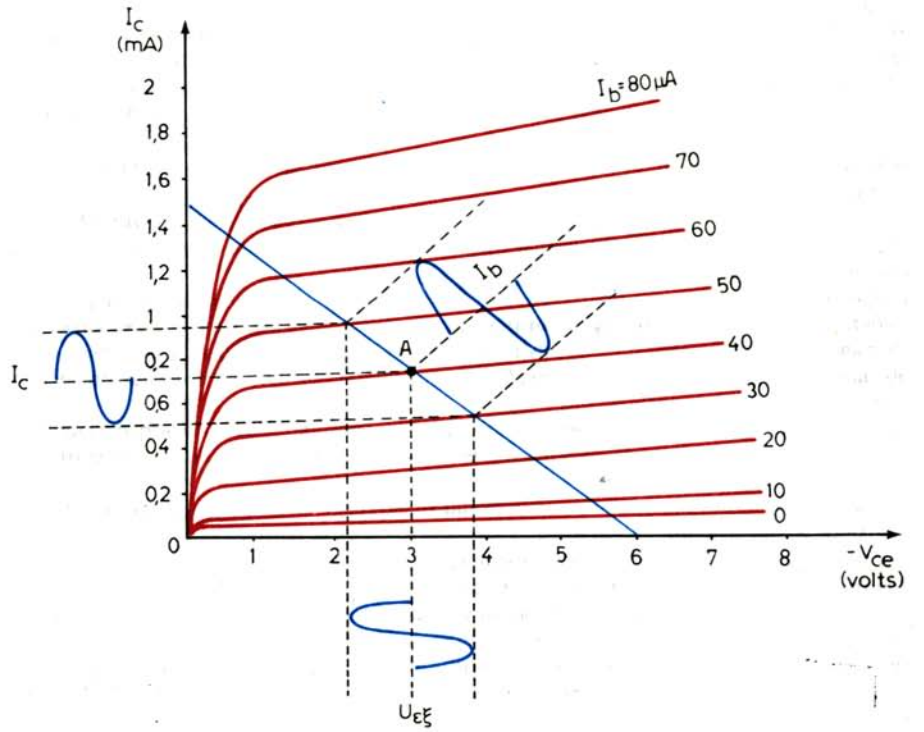
$$A_v = \frac{U_{\epsilon\xi.}}{U_{\epsilon\iota\sigma.}}$$

Στο σχήμα 3.18β φαίνεται η γραφική παράσταση της ενισχύσεως, όπου έχει χαραχθεί η γραμμή φόρτου στο σμήνος χαρακτηριστικών συλλέκτη για αντίσταση φόρτου $R_c = 4\ k\Omega$. Στην παραπάνω $V_{be} = -0,4\ V$ αντιστοιχεί $I_b = 40\ \mu A$. Η τομή της χαρακτηριστικής $I_c = F(-V_{ce})/I_b = 40\ \mu A$ με τη γραμμή φόρτου αποτελεί το σημείο λειτουργίας Α του ενισχυτή. Φέροντας κάθετες στους άξονες V_{ce} και I_c, προσδιορίζομε την τάση ηρεμίας ($V_{ce} = -3,2\ V$) και το αντίστοιχο ρεύμα ηρεμίας ($I_c = 0,7\ mA$) του συλλέκτη.

Με την εφαρμογή του σήματος εισόδου, το I_b μεταβάλλεται από 30 μA μέχρι



Σχ. 3.18α.
Κύκλωμα ενισχυτή τάσεως ακουστικών συχνοτήτων.



Σχ. 3.18β.
Γραφική παράσταση της ενισχύσεως.

50 μA, με αντίστοιχη μεταβολή του I_c από 0,5 mA μέχρι 0,9 mA (σχ. 3.18β). Η μεταβολή αυτή του I_c συνεπάγεται μεταβολή της πτώσεως τάσεως στην R_c από 2 έως 3,6 V και αντίστοιχη μεταβολή της V_{ce} από −3,8 V μέχρι 2,3 V, δηλαδή μεταβολή από κορυφή σε κορυφή κατά 1,5 V. Η μεταβολή αυτή είναι η τάση σήματος εξόδου από κορυφή σε κορυφή (U_{pp}). Η ενεργός τιμή της είναι:

$$U_{\epsilon v.} = U_{pp} : 2\sqrt{2} = 1{,}5 : 2\sqrt{2} = 0{,}53 \text{ V}$$

Αν το σήμα εισόδου έχει ενεργό τιμή $U_{\epsilon \iota \sigma.} = 10$ mV, η ενίσχυση τάσεως είναι:

$$A_u = \frac{U_{\epsilon \xi.}}{U_{\epsilon \iota \sigma.}} = \frac{530 \text{ mV}}{10 \text{ mV}} = 53$$

Τις αντιστοιχίες των μεταβολών της V_{be} και του I_b μπορούμε να τις προσδιορίσομε από τη χαρακτηριστική (γ) του σχήματος 3.16β.

Ερωτήσεις Τρίτου Κεφαλαίου.

1. Ποια βασική διαφορά και ποια πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα παρουσιάζουν τα τρανζίστορς σε σύγκριση με τις λυχνίες κενού;
2. Σε τι οφείλεται η ασήμαντη αγωγιμότητα, η μικρή αγωγιμότητα και η μεγάλη αγωγιμότητα των τετρασθενών μονωτικών, ημιαγωγών και αγωγών στοιχείων αντίστοιχα; Ποια επίδραση έχει η αύξηση της θερμοκρασίας στην αγωγιμότητα των ημιαγωγών και για ποιο λόγο;
3. Για ποιο λόγο τα τρανζίστορς πυριτίου μπορούν να λειτουργούν σε υψηλότερες θερμοκρασίες από τα τρανζίστορς γερμανίου;
4. Ποια στοιχεία ονομάζονται δότες και ποια αποδέκτες; Πού και πώς χρησιμοποιούνται αυτά τα είδη στοιχείων;
5. Πώς κατασκευάζονται τα κρύσταλλα τύπου N, γιατί στη μάζα τους δημιουργούνται ελεύθερα ηλεκτρόνια και ποια είναι η φορά της ηλεκτρονικής αγωγιμότητας μέσα στη μάζα τους και στο εξωτερικό κύκλωμα;
6. Πώς κατασκευάζονται τα κρύσταλλα τύπου P, γιατί στη μάζα τους δημιουργούνται οπές και ποια είναι η φορά της ηλεκτρονικής αγωγιμότητας μέσα στη μάζα τους και στο εξωτερικό κύκλωμα;
7. Πώς κατασκευάζεται η επαφή P-N, τι είναι και σε τι οφείλονται η περιοχή απογυμνώσεως και το δυναμικό φραγμού; Για ποιο λόγο η επαφή P-N παρουσιάζει μονόπλευρη αγωγιμότητα και ποια είναι η φορά της αγωγιμότητάς της;
8. Τι εννοείται ως ορθή πόλωση και για ποιο λόγο η τιμή της δεν μπορεί να αυξάνεται απεριόριστα; Τι είναι οι κύριοι φορείς, οι δευτερεύοντες φορείς, το ρεύμα ολισθήσεως και το ανάστροφο ρεύμα;
9. Τι εννοείται ως αντίστροφη πόλωση, ποιο ρεύμα κυκλοφορεί κατά την εφαρμογή της και σε τι οφείλεται το ρεύμα αυτό;
10. Τι είναι η κρυσταλλοδίοδος, με ποιους τρόπους κατασκευάζεται, ποια είναι η αντιστοιχία των κρυστάλλων της με τα ηλεκτρόδια της διόδου λυχνίας και πώς συμβολίζονται;
11. Τι είναι το φαινόμενο Zener και το φαινόμενο χιονοστιβάδας; Τι ονομάζεται τάση Zener και από ποιους παράγοντες εξαρτάται η τιμή της;
12. Πώς λειτουργεί η διάταξη της απλής και της διπλής ανορθώσεως με κρυσταλλοδιόδους και ποια πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα παρουσιάζουν σε σύγκρισή τους με τις αντίστοιχες διατάξεις των διόδων λυχνιών;
13. Από τι αποτελούνται τα τρανζίστορς τύπου NPN και τύπου PNP; Ποια είναι η αντιστοιχία τους με τα ηλεκτρόδια της τριόδου λυχνίας και ποιες διαφορές υπάρχουν στο παραστατικό διάγραμμα, στην πολικότητα των τάσεων τροφοδοτήσεως και στους φορείς ρεύματος των δυο τύπων;

ΔΡΥΜΑ ΣΥΓΧΡΟΝΟ 1954

14. Ποιες πολώσεις πρέπει να εφαρμόζονται σε ένα τρανζίστορ για να λειτουργεί κανονικά; Κατά πόσο και για ποιο λόγο το ρεύμα συλλέκτη είναι μικρότερο από το ρεύμα εκπομπού;
15. Τι εννοείται ως συνδεσμολογία κοινού εκπομπού, συνδεσμολογίας κοινής βάσεως και συνδεσμολογίας κοινού συλλέκτη; Ποια χαρακτηριστικά παρουσιάζει και σε ποιες περιπτώσεις χρησιμοποιείται κάθε μια;
16. Σε τι αντιστοιχεί κάθε μια από τις χαρακτηριστικές του σμήνους χαρακτηριστικών συλλέκτη των τρανζίστορς; Ποια διαφορά υπάρχει στην αντιστοιχία τους σε σχέση με την αντιστοιχία των χαρακτηριστικών ανόδου των λυχνιών και πώς επιδρά η διαφορά αυτή στη λειτουργία και τις αντιστάσεις εισόδου και εξόδου των τρανζίστορς και των λυχνιών;
17. Ποιες ενδοχωρητικότητες παρουσιάζουν τα τρανζίστορς, από ποιους παράγοντες εξαρτάται η τιμή τους και ποια προβλήματα δημιουργούν στη λειτουργία των τρανζίστορς;
18. Με ποια διάταξη μπορεί να παρέχεται από την ίδια πηγή τροφοδοτήσεως η χαμηλή ορθή πόλωση εκπομπού - βάσεως και η υψηλή αντίστροφη πόλωση συλλέκτη-βάσεως σε κύκλωμα ενισχυτή με τρανζίστορ, τι πρέπει να λαμβάνεται υπόψη κατά τον υπολογισμό της διατάξεως αυτής και σε τι χρησιμεύουν στο κύκλωμα ο πυκνωτής εισόδου και ο πυκνωτής εξόδου;
19. Για ποιο λόγο είναι απαραίτητη η σταθεροποίηση της πολώσεως βάσεως-εκπομπού στα κυκλώματα ενισχυτών με τρανζίστορ;
20. Ποιες μέθοδοι σταθεροποιήσεως της πολώσεως βάσεως εκπομπού χρησιμοποιούνται; Από τι αποτελείται, πώς λειτουργεί και ποιες ανεπιθύμητες επιδράσεις μπορεί να αντισταθμίζει κάθε μία; Ποιοι συνδυασμοί των μεθόδων αυτών εξασφαλίζουν καλύτερα αποτελέσματα;
21. Ποια εξαρτήματα είναι απαραίτητα για την κατασκευή μιας απλής βαθμίδας ενισχυτή τάσεως ακουστικών συχνοτήτων με τρανζίστορ, πώς συνδεσμολογούνται σε διάταξη κοινού εκπομπού και ποια είναι η χρησιμότητα καθενός;
22. Για ποιο λόγο σε ενισχυτή τάσεως με τρανζίστορ PNP ή NPN το σήμα εισόδου και το σήμα εξόδου παρουσιάζουν διαφορά φάσεως 180°;
23. Χρησιμοποιώντας σμήνος χαρακτηριστικών συλλέκτη και αντίσταση κατάλληλης τιμής, χαράξτε τη γραμμή φόρτου και προσδιορίστε το σημείο λειτουργίας και την ενίσχυση τάσεως απλού ενισχυτή ενισχύσεως.

ΔΡΥΜΑ ΣΥΓΓΡΑΦΕΩΝ 1954

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΤΕΤΑΡΤΟ

ΑΡΧΕΣ ΤΗΛΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ

4.1 Κεραίες.

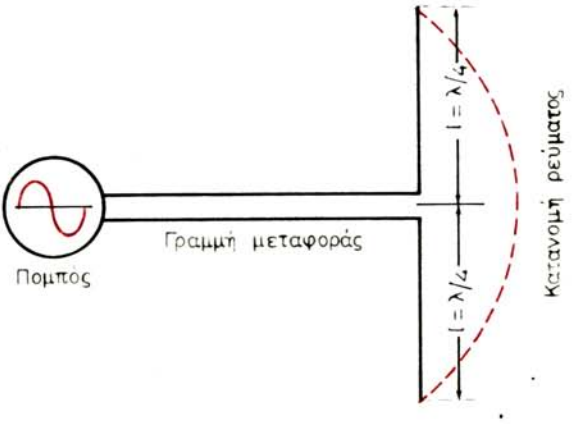
Στην παράγραφο 1.2 είπαμε ότι η κεραία τροφοδοτείται από τον πομπό με ταλαντώσεις ραδιοσυχνότητας και ακτινοβολεί ηλεκτρομαγνητικά κύματα της ίδιας συχνότητας. Επίσης είδαμε τα πολικά διαγράμματα ακτινοβολίας (πεδίου και ισχύος) της ***κεραίας δίπολο.***

Η κεραία δίπολο, που ονομάζεται και ***κεραία Hertz,*** αποτελείται από δυο αγωγούς (σχ. 4.1α), που ο καθένας τους έχει μήκος λ/4, όπου λ το μήκος κύματος που ακτινοβολεί, για ταχύτητα διαδόσεως του κύματος σε γραμμή μεταφοράς. Δηλαδή, το συνολικό της μήκος είναι ίσο με το μισό του μήκους κύματος που ακτινοβολεί. Γι' αυτό ονομάζεται και κεραία λ/2. Επειδή η ταχύτητα διαδόσεως στη γραμμή μεταφοράς ραδιοσυχνοτήτων είναι μικρότερη από την ταχύτητα διαδόσεως του κύματος στον ελεύθερο χώρο, συνεπάγεται και μικρότερο μήκος κύματος κατά τη διάδοση κατά μήκος της γραμμής. Έτσι, με ικανοποιητική προσέγγιση για συχνότητες μέχρι 30 Mc/s, το μήκος των δυο αγωγών της κεραίας υπολογίζεται με μήκος κύματος μικρότερο κατά 5% από το μήκος κύματος του χώρου. Όταν η κεραία λ/2 έχει τέτοιο μήκος, επικρατούν συνθήκες συντονισμού και η ηλεκτρική ενέργεια που παρέχεται σ' αυτή από τον πομπό μετατρέπεται σε ηλεκτρομαγνητική ενέργεια (ακτινοβολείται), οπότε εξασφαλίζεται η καλύτερη απόδοσή της. Όταν δεν επικρατούν συνθήκες συντονισμού, ανάλογα με τη διαφορά μήκους, ένα μέρος της ηλεκτρικής ενέργειας επιστρέφεται πάλι στον πομπό με τη μορφή στασίμων κυμάτων και η απόδοση της κεραίας ελαττώνεται.

Επειδή, όπως θα δούμε σε επόμενες παραγράφους, από τους διάφορους τύπους κεραιών δεν ακτινοβολείται (εκπέμπεται ή λαμβάνεται) μια συχνότητα, αλλά μια ζώνη συχνοτήτων πάνω και κάτω από μια ορισμένη συχνότητα, η κεραία πρέπει να έχει ευρύ συντονισμό (χαμηλό συντελεστή ποιότητας Q), ώστε να παρουσιάζει την ίδια απόδοση σε ολόκληρη τη ζώνη συχνοτήτων που πρέπει να ακτινοβολείται. Ο ευρύς συντονισμός εξασφαλίζεται με αύξηση της χωρητικότητας και ελάττωση της αυτεπαγωγής της ($Q = L\omega/R$), πράγμα που επιτυγχάνεται με αύξηση της διατομής των αγωγών που χρησιμοποιούνται για την κατασκευή της κεραίας.

Στο σχήμα 4.1α φαίνεται η σύνδεση της κεραίας δίπολο με τη γραμμή μεταφοράς στον πομπό και η καμπύλη κατανομής του ρεύματος κατά μήκος της. Στο μέσο της (άκρα τροφοδοτήσεως των αγωγών λ/4), όπου το ρεύμα έχει μέγιστη τιμή, η κεραία παρουσιάζει αντίσταση 73 Ω περίπου. Για να μεταφέρεται όλο το ποσό

ΔΡΥΜΑ ΣΥΓΧΡΟΝΟ 1954



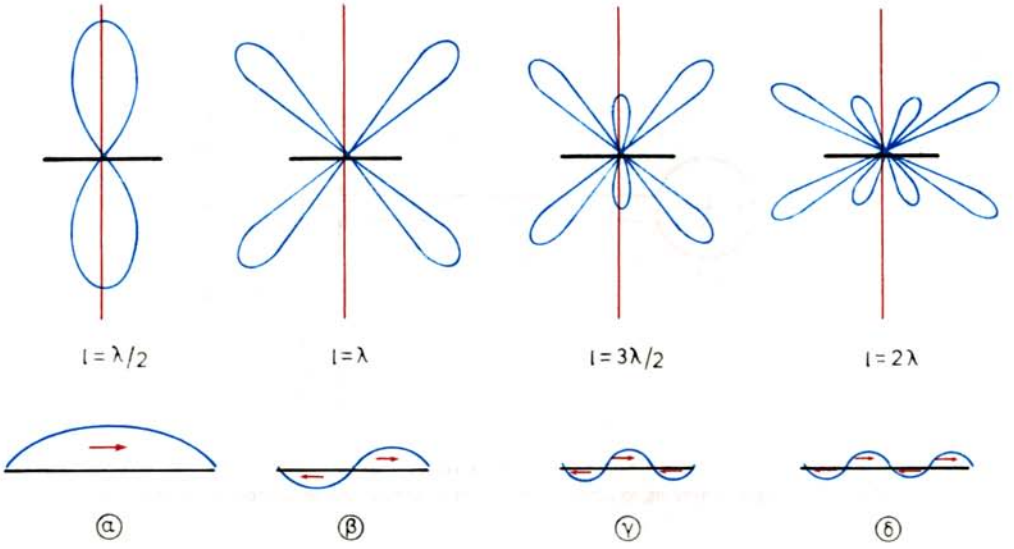
Σχ. 4.1α.
Διάταξη τροφοδοτήσεως κεραίας δίπολο και η κατανομή ρεύματος κατά μήκος της.

ενέργειας που παράγει ο πομπός στην κεραία, πρέπει να υπάρχει προσαρμογή, δηλαδή: R εξόδου πομπού = R χαρακτηριστική γραμμής = R εισόδου κεραίας.

Σε αντίθετη περίπτωση, δημιουργούνται στάσιμα κύματα και η μεταφορά ενέργειας περιορίζεται. Ως καταλληλότερη γραμμή μεταφοράς για τη σύνδεση της κεραίας δίπολο θεωρείται το ομοαξωνικό καλώδιο (coaxial cable), επειδή παρουσιάζει χαρακτηριστική αντίσταση 70-75 Ω, δεν ακτινοβολεί και δεν παρουσιάζει επαγωγικές απώλειες κατά μήκος του.

Οι παραπάνω συνθήκες συντονισμού στην κεραία δίπολο δεν περιορίζονται μόνο όταν αυτή έχει μήκος λ/2, αλλά παρατηρούνται και σε μήκη ίσα με ακριβή πολλαπλάσια του μισού μήκους κύματος που θα ακτινοβολούν. Σε κάθε κεραία μήκους πολλαπλάσιου λ/2, παρατηρείται διαφορετική κατανομή της εντάσεως του ρεύματος κατά μήκος της που προκαλεί διαφοροποίηση του πολικού διαγράμματος ακτινοβολίας. Στο σχήμα 4.1β φαίνονται η κατανομή των ρευμάτων και τα πολικά διαγράμματα ακτινοβολίας (ισχύος) τεσσάρων κεραιών με μήκος $l = \lambda/2$, $l = \lambda$, $l = 3\lambda/2$ και $l = 2\lambda$. Τα βέλη αντιπροσωπεύουν τη φάση των ρευμάτων στα αντίστοιχα λ/2 κάθε κεραίας. Τα τμήματα λ/2 κεραίας, στα οποία το ρεύμα έχει αντίθετη φάση, ακτινοβολούν κύμα με αντίθετη φάση και συμβάλλουν στο χώρο σε άλλες κατευθύνσεις με την ίδια φάση και σε άλλες με αντίθετη φάση. Αποτέλεσμα της συμβολής αυτής είναι να διαφοροποιείται το πολικό διάγραμμα ακτινοβολίας κατά τέτοιο τρόπο, ώστε σε κάθε πλευρά της κεραίας οποιουδήποτε επιπέδου την περιέχει να δημιουργούνται λοβοί ισάριθμοι με τα λ/2 που περιέχονται στο μήκος της κεραίας (σχ. 4.1β). Βέβαια, οι λοβοί αυτοί προκύπτουν, όταν η κεραία βρίσκεται μακριά από ανακλαστικές επιφάνειες κατά αρκετά μήκη κύματος.

Θα πρέπει να σημειωθεί ότι, με την αύξηση του αριθμού των λοβών, αυξάνεται το μέγεθος των λοβών που βρίσκονται κοντά στον άξονα της κεραίας και ελαττώνεται το μέγεθος των υπολοίπων λοβών. Αυτοί ονομάζονται κύριοι λοβοί και, με την αύξηση του αριθμού των λ/2 του μήκους της κεραίας, η κατεύθυνσή τους πλη-



Σχ. 4.1β.
Κατανομή του ρεύματος και λοβός ακτινοβολίας σε κατακόρυφο επίπεδο συντονισμένης οριζόντιας κεραίας μήκους *l* και σε βασική συχνότητα (β) σε διπλάσια, (γ) σε τριπλάσια και (δ) σε τετραπλάσια συχνότητα.

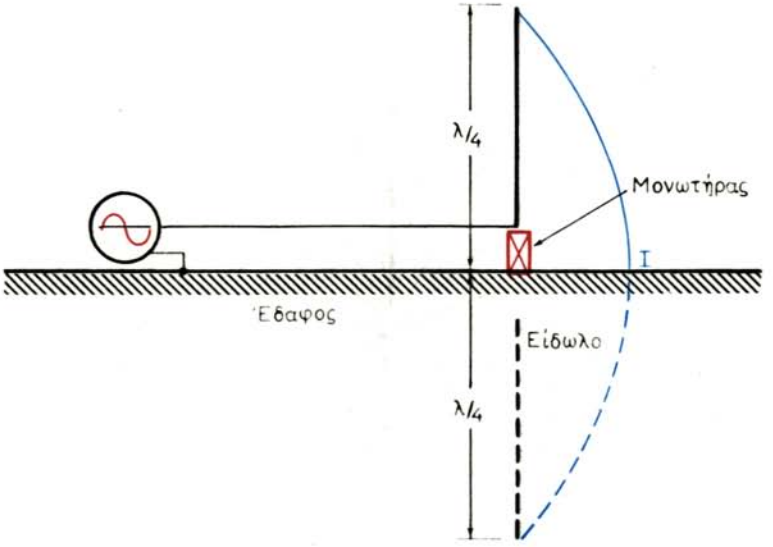
σιάζει όλο και περισσότερο την κατεύθυνση του άξονά της.

Σημειώνεται επίσης ότι, ανάλογα με τον αριθμό λ/2 του μήκους της κεραίας, τα μέγιστα ρεύματος παρατηρούνται σε διαφορετικά σημεία του μήκους της, τα οποία απέχουν κατά περιττό αριθμό λ/4 από τα δυο άκρα της. Έτσι, για να εξασφαλίζεται προσαρμογή, το σημείο συνδέσεως της γραμμής μεταφοράς στην κεραία πρέπει να απέχει περιττό αριθμό λ/4 από το ένα ή το άλλο άκρο της κεραίας.

Οι παραπάνω κεραίες χρησιμοποιούνται στις περιοχές συχνοτήτων HF και VHF (βραχέα και υπερβραχέα κύματα, λ = 100 - 1 m), επειδή το μήκος κύματος είναι μικρό και επιτρέπει την εύκολη εγκατάστασή τους. Στις περιοχές συχνοτήτων MF, LF και VLF (λ = 100 m - 100 km) απαιτείται μεγάλο μήκος και, επειδή πρέπει να είναι κατακόρυφες, η χρησιμοποίησή τους είναι αδύνατη.

4.2 Η κεραία Marconi.

Η αδυναμία κατασκευής και εγκαταστάσεως κατακόρυφης κεραίας μεγάλου μήκους που απαιτείται στις περιοχές συχνοτήτων MF, LF και VLF, οδήγησαν τον Marconi στη χρησιμοποίηση κατακόρυφης κεραίας μικρότερου μήκους που ονομάζεται κεραία Marconi. Η ιδανική κεραία Marconi (σχ. 4.2α) αποτελείται από κατακόρυφο αγωγό ή ιστό ή και ράβδο, μονωμένο από τη γη, που έχει μήκος λ/4. Γι' αυτό ονομάζεται και κεραία λ/4. Η τροφοδότηση του αγωγού αυτού γίνεται με σύνδεση του

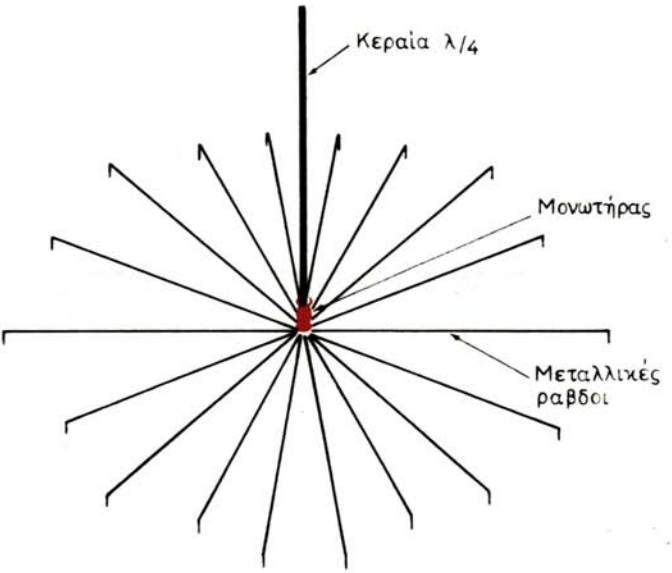


Σχ. 4.2α.
Η κεραία Marconi.

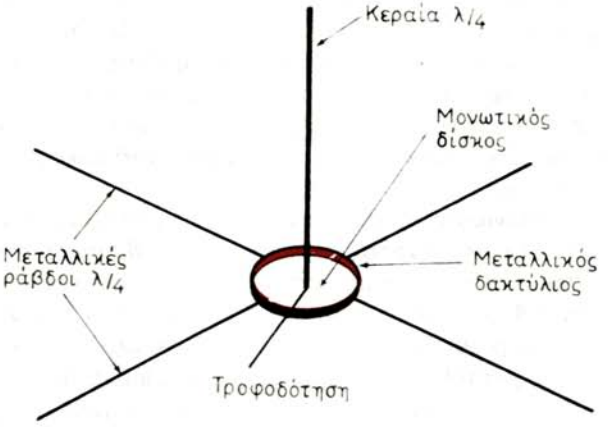
ενός αγωγού της γραμμής μεταφοράς στο κατώτερο άκρο του, ενώ ο άλλος αγωγός της γραμμής γειώνεται. Με τον τρόπο αυτό, το είδωλο του πραγματικού κατακόρυφου αγωγού, που ονομάζεται αγωγός ακτινοβολίας, μέσα στο έδαφος, το οποίο ενεργεί ως ανακλαστική επιφάνεια, αναπληρώνει το ένα τμήμα μήκους λ/4 της κεραίας Hertz. Έτσι, η κεραία λ/4 αποκτά παρόμοια συμπεριφορά με την κεραία λ/2, σε ό,τι αφορά την κατανομή του ρεύματος κατά μήκος της και το πολικό διάγραμμα ακτινοβολίας.

Η περιορισμένη αγωγιμότητα των ξηρών εδαφών αποκαθίσταται με την ***επιμετάλλωση του εδάφους*** ή με τη χρησιμοποίηση του ***αντίβαρου.*** Κατά την επιμετάλλωση (σχ. 4.2β), θάβονται ακτινικά μέσα στο έδαφος μεταλλικές ράβδοι που έχουν μήκος τουλάχιστον λ/4 και η απόσταση των περιφερειακών άκρων τους είναι μικρότερη από λ/4. Τα περιφερειακά άκρα ενώνονται μεταξύ τους με αγωγό σημαντικής διατομής και με μεταλλικούς πασσάλους, οι οποίοι καρφώνονται σε μεγάλο βάθος. Το αντίβαρο είναι κυκλικό μεταλλικό πλέγμα με ακτίνα τουλάχιστον λ/4, το οποίο στερεώνεται περιφερειακά σε μεταλλικούς πασσάλους που καρφώνονται σε μεγάλο βάθος, ώστε το πλέγμα να διατηρείται οριζόντιο και σε ύψος 0,5 m περίπου. Στο κέντρο του επιμεταλλωμένου εδάφους ή του αντίβαρου στερεώνεται με μονωτήρες η κατακόρυφη κεραία λ/4. Η τροφοδότηση γίνεται με σύνδεση του ενός αγωγού της γραμμής μεταφοράς στο κάτω άκρο της κεραίας και του δεύτερου στο σύστημα επιμεταλλώσεως ή στο αντίβαρο.

Στις κεραίες Marconi που χρησιμοποιούνται στην περιοχή συχνοτήτων VHF, επειδή στο ύψος που εγκαθίστανται αντιστοιχούν αρκετά μήκη κύματος και το έδαφος δεν ανταποκρίνεται ως ανακλαστική επιφάνεια, χρησιμοποιείται το τεχνητό



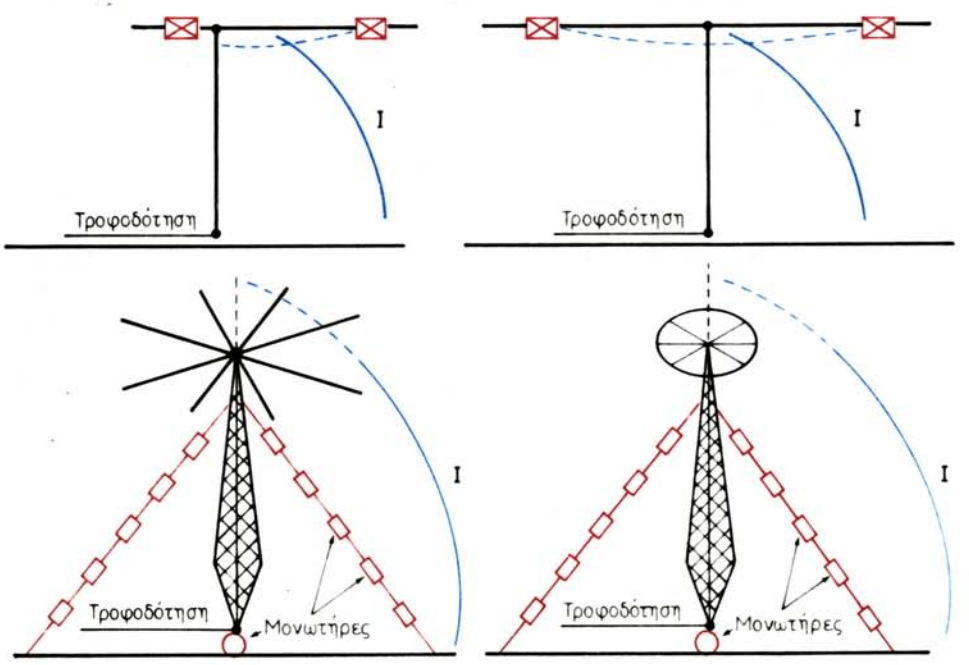
Σχ. 4.2β.
Κεραία λ/4 με επιμετάλλωση του εδάφους.



Σχ. 4.2γ.
Κεραία λ/4 με τεχνητό έδαφος.

έδαφος (σχ. 4.2γ). Αυτό αποτελείται από τρεις ή περισσότερες μεταλλικές ράβδους μήκους λ/4, οι οποίες στερεώνονται ακτινικά σε μεταλλικό δακτύλιο μονωμένο από την κεραία.

Καθώς ο αγωγός ακτινοβολίας λ/4 της κεραίας Marconi συνδυάζεται με το είδωλό του, η συμπεριφορά του μοιάζει με την τροφοδότηση δυο ομοίων κεραιών



Σχ. 4.2δ.
Διατάξεις κεραιών με χωρητικότητα κορυφής.

σε παράλληλη σύνδεση. Γι' αυτό παρουσιάζει αντίσταση 36,5 Ω, δηλαδή τη μισή αντίσταση της κεραίας Hertz.

Στις περιοχές συχνοτήτων LF και VLF (λ = 1000 m - 100 km) είναι αδύνατη η εγκατάσταση κατακορύφων κεραιών με μήκος λ/4. Στις περιπτώσεις αυτές, το ανώτερο τμήμα του αγωγού κάμπτεται κατά 90°, ώστε η κεραία μήκους λ/4 να παίρνει το σχήμα Γ. Έτσι, το κατακόρυφο τμήμα είναι μικρότερου ύψους και η εγκατάσταση της κεραίας είναι ευκολότερη [σχ. 4.2δ(α)]. Επειδή στο οριζόντιο τμήμα που αποτελεί το ακραίο τμήμα της κεραίας λ/4, η ένταση του ρεύματος είναι ασήμαντη, είναι ασήμαντο και το ποσό της ενέργειας που ακτινοβολείται από αυτό, οπότε η διαμόρφωσή της σε σχήμα Γ δεν αλλοιώνει αισθητά τα χαρακτηριστικά της. Το οριζόντιο αυτό τμήμα ονομάζεται ***χωρητικότητα κορυφής*** και το κατακόρυφο τμήμα που ακτινοβολεί ***ενεργός κεραία.***

Καλύτερα αποτελέσματα επιτυγχάνονται με την κεραία σχήματος Τ, όπου ως χωρητικότητα κορυφής χρησιμοποιείται ένας ή περισσότεροι αγωγοί που στερεώνονται σε ιστούς με μονωτήρες και στο μέσο συνδέεται η ενεργός κεραία [σχ. 4.2δ(β)]. Στις κεραίες που ακτινοβολούν μεγάλες ισχείς, η κεραία είναι ιστός μονωμένος από το έδαφος και η χωρητικότητα κορυφής εξασφαλίζεται με την ακτινική τοποθέτηση μεταλλικών ράβδων στην κορυφή του ιστού ή με την τοποθέτηση δίσκου από μεταλλικό πλέγμα, όπως στα σχήματα 4.2δ(γ) και (δ).

Στις εγκαταστάσεις ασυρμάτου και ραδιοτηλεφώνου των πλοίων χρησιμοποιεί-

ται η ίδια κεραία για την εκπομπή και τη λήψη σε διαφορετικές συχνότητες ή ακόμη και σε διαφορετικές περιοχές συχνοτήτων (MF και HF). Διαφορετικές όμως συχνότητες ή περιοχές συχνοτήτων συνεπάγονται μικρή ή πολλαπλάσια μεταβολή του μήκους της κεραίας αντίστοιχα. Για παράδειγμα, στις συχνότητες 410 kc/s και 500 kc/s ($\lambda = 732$ m και 600 m) η διαφορά μήκους κεραιών $\lambda/4$ είναι $183-150 = 33$ m, ενώ στη συχνότητα των 10 Mc/s το αντίστοιχο μήκος κεραίας $\lambda/4$ είναι 7,5 m.

Η αύξηση του μήκους της κεραίας στις χαμηλές συχνότητες επιτυγχάνεται με σύνδεση αυτεπαγωγής (πηνίου μεγάλης αυτεπαγωγής) σε σειρά μεταξύ πομπού και κεραίας και η ελάττωση του μήκους της στις υψηλές συχνότητες με σύνδεση πυκνωτή σε σειρά. Αντίθετα αποτελέσματα επιτυγχάνονται με την αντίστροφη σύνδεσή τους. Τα πηνία και οι πυκνωτές είναι μεταβλητά, ώστε με τη ρύθμισή τους να εξασφαλίζεται κάθε φορά η προσαρμογή του μήκους της κεραίας στη συχνότητα εκπομπής. Αυτά βρίσκονται στα κυκλώματα εξόδου των πομπών και ρυθμίζονται με διακόπτες και ρυθμιστές που φέρουν οι πομποί στην πρόσοψή τους. Η προσαρμογή αυτή ονομάζεται συντονισμός της κεραίας και διαπιστώνεται από τη μέγιστη ένδειξη αμπερομέτρου, το οποίο μετρά το ρεύμα κεραίας (antenna current) και βρίσκεται στην πρόσοψη των πομπών.

4.3 Κεραίες κατευθυνόμενης ακτινοβολίας.

Όπως είπαμε στην παράγραφο 1.4.1, τα ηλεκτρομαγνητικά κύματα της περιοχής συχνοτήτων HF ακολουθούν την ιονοσφαιρική διάδοση και εξασφαλίζουν τηλεπικοινωνίες μεγάλων αποστάσεων. Σε πολλές περιπτώσεις όμως δεν ενδιαφέρει η κυκλική κάλυψη όλων των περιοχών της υδρογείου σε ίδια μεγάλη μέση απόσταση, αλλά η περιοχή ενός συγκεκριμένου τομέα.

Για παράδειγμα, σε ό,τι αφορά τις ναυτικές τηλεπικοινωνίες μεγάλων αποστάσεων που διεξάγονται από την Ελλάδα μέσω του ΟΤΕ, διακρίνομε τις κύριες περιοχές του Ατλαντικού, του Ινδικού και του Ειρηνικού ωκεανού, όπου παρατηρείται μεγάλη κίνηση Ελληνικών πλοίων. Στις περιπτώσεις αυτές απαιτείται κεραία κατευθυνόμενης ακτινοβολίας. Αυτή θα συγκεντρώνει την ισχύ που εκπέμπεται σε ένα στενό λοβό, ο οποίος θα σκοπεύει την ιονόσφαιρα με τέτοια γωνία, ώστε μετά από ένα ή περισσότερα άλματα θα προσπίπτει τελικά στην περιοχή που παρουσιάζει ενδιαφέρον. Έτσι η ισχύς του πομπού δεν θα ακτινοβολείται προς όλες τις κατευθύνσεις, όπως συμβαίνει με τις κατακόρυφες κεραίες $\lambda/2$ και $\lambda/4$, όπου θα σπαταλάται και θα εξασφαλίζεται εξοικονόμηση ισχύος μέχρι 1000%. Οι βασικότεροι τύποι κεραιών κατευθυνόμενης ακτινοβολίας που χρησιμοποιούνται στην περιοχή συχνοτήτων HF (βραχέα κύματα) για την εξυπηρέτηση τέτοιων τηλεπικοινωνιακών αναγκών, είναι η ***ρομβική*** και η ***λογαριθμική κεραία.***

Στις περιοχές συχνοτήτων VHF, UHF και SHF, λόγω του μικρού μήκους κύματος είναι έντονα τα φαινόμενα της ανακλάσεως στις διάφορες φυσικές και τεχνητές επιφάνειες. Καθώς τα κύματα με τέτοιες συχνότητες ακολουθούν την τροποσφαιρική διάδοση, στην κεραία λήψεως είναι δυνατό να φθάνουν, εκτός από τις απευθείας ακτίνες, και πολλές ακτίνες από διαφορετικές κατευθύνσεις μετά την ανάκλασή τους σε διάφορα εμπόδια. Για να αποφεύγεται η λήψη των τελευταίων, οι οποίες καθώς διανύουν μεγαλύτερη απόσταση από τις απευθείας ακτίνες, δη-

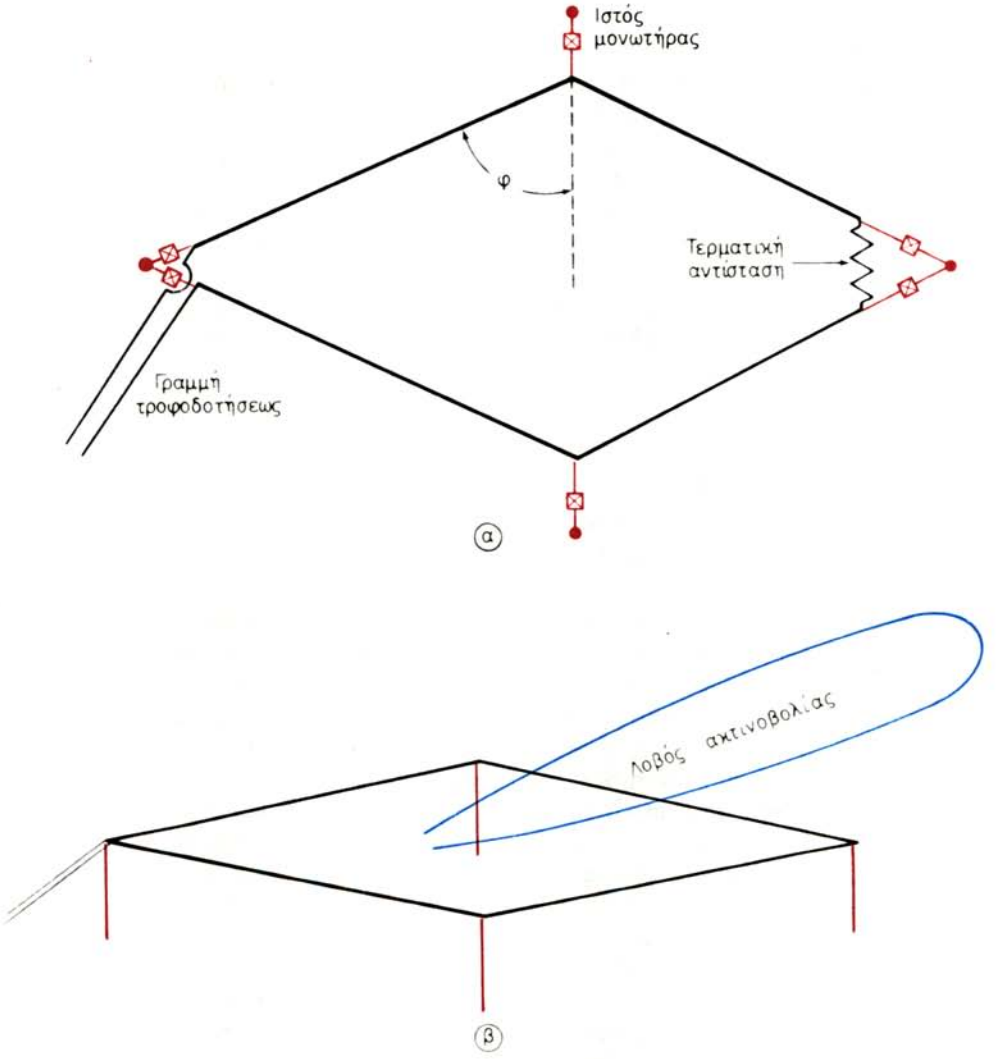
μιουργούν προβλήματα στη λήψη των μηνυμάτων που μεταφέρουν, χρησιμοποιούνται κεραίες λήψεως κατευθυνόμενης ακτινοβολίας. Κεραίες κατευθυνόμενης ακτινοβολίας χρησιμοποιούνται επίσης και κατά την εκπομπή και κατά τη λήψη στις τηλεπικοινωνιακές συνδέσεις μέσω δορυφόρων και στις ραδιοζεύξεις των τηλεπικοινωνιακών φερεσύχνων, ώστε να περιορίζεται στο ελάχιστο δυνατό η ισχύς εκπομπής. Στα ραντάρ χρησιμοποιείται υποχρεωτικά κεραία κατευθυνόμενης ακτινοβολίας και για την εκπομπή και για τη λήψη, για να είναι δυνατός ο προσδιορισμός της διοπτεύσεως των στόχων, ενώ ταυτόχρονα εξασφαλίζεται τεράστια εξοικονόμηση ισχύος.

Στις παραπάνω περιοχές συχνοτήτων για τηλεπικοινωνιακές ραδιοζεύξεις χρησιμοποιούνται οι ***κεραίες Yagi,*** οι ***ελικοειδείς κεραίες*** και οι ***κεραίες με ανακλαστήρα.*** Στο ραντάρ χρησιμοποιούνται παραλλαγές κεραίας χοάνης από κυματοδηγό με ανακλαστήρα και κεραίες σχισμών που θα εξετασθούν μαζί με άλλα θέματα ραντάρ.

α) Η ρομβική κεραία.

Η ρομβική κεραία (σχ. 4.3α) αποτελείται από δυο αγωγούς που στερεώνονται με μονωτήρες σε τέσσερις ιστούς (κολώνες), έτσι ώστε να σχηματίζουν ρόμβο. Το επίπεδο του ρόμβου είναι περίπου οριζόντιο και βρίσκεται σε ύψος 20 m περίπου. Οι τέσσερις πλευρές του ρόμβου ονομάζονται ***κλάδοι της κεραίας*** και το μήκος τους κυμαίνεται από 2 λ μέχρι 10 λ, που αντιστοιχούν στη συχνότητα εκπομπής. Η ρομβική κεραία δηλαδή μπορεί να χρησιμοποιείται σε μεγάλη περιοχή συχνοτήτων με τα ίδια περίπου χαρακτηριστικά. Γι' αυτό και θεωρείται ως μη συντονισμένη κεραία. Η τροφοδότησή της γίνεται με γραμμή δυο παραλλήλων αγωγών που έχει χαρακτηριστική αντίσταση 600 Ω. Οι αγωγοί συνδέονται στα δυο άκρα των αγωγών της κεραίας. Στα απέναντι άκρα συνδέεται η τερματική αντίσταση που είναι και αυτή 600 Ω (ίση με τη χαρακτηριστική αντίσταση της γραμμής) και ανάλογης ισχύος, ώστε να εξασφαλίζεται η προσαρμογή αντιστάσεως. Με την προσαρμογή αυτή, το ρεύμα τροφοδοτήσεως οδεύει προς το τέρμα της κεραίας με κύμα σταθερού πλάτους και δεν παρουσιάζει μέγιστα και ελάχιστα, όπως στις συντονισμένες κεραίες του σχήματος 4.1β.

Από τη συμβολή των κυμάτων που ακτινοβολούν οι τέσσερις κλάδοι και από την ανάκλαση των κατωτέρων ακτίνων στο έδαφος, που συμπεριφέρεται ως κάτοπτρο, δημιουργείται ένας λοβός, του οποίου ο άξονας συμπίπτει με το κατακόρυφο επίπεδο της μεγάλης διαγωνίου του ρόμβου και με κλίση προς τα πάνω. Το εύρος του λοβού, για ορισμένο μήκος κλάδου εξαρτάται κυρίως από τη συχνότητα, αλλά και από τη γωνία φ που σχηματίζει κάθε κλάδος με τη μικρή διαγώνιο. Η κλίση του λοβού (γωνία που σχηματίζει ο άξονάς του με το έδαφος) εξαρτάται από τη συχνότητα εκπομπής, από το ύψος όπου βρίσκεται η κεραία και από την κλίση του επιπέδου της σε σχέση με το έδαφος. Η αύξηση της συχνότητας εκπομπής για ορισμένη κεραία συνεπάγεται οξύτερο λοβό με μικρότερη γωνία κλίσεως και αντίστροφα. Για ορισμένη συχνότητα εκπομπής και με βάση την απόσταση μεταξύ της κεραίας και του κέντρου της περιοχής της υδρογείου που επιθυμούμε να καλύπτεται με ιονοσφαιρική διάδοση των κυμάτων, υπολογίζεται η γωνία σκοπεύσεως της ιονόσφαιρας, δηλαδή η κλίση του λοβού. Από την κλίση του λοβού υπολογίζονται το ύψος και η κλίση του επιπέδου της κεραίας.

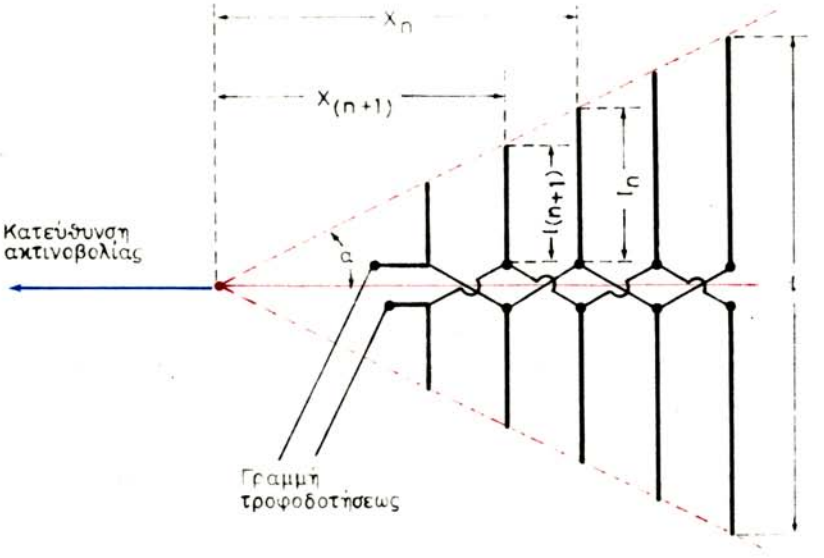


Σχ. 4.3α.
Η ρομβική κεραία.
α) Κάτοψη ρομβικής κεραίας. β) Πλάγια όψη ρομβικής κεραίας και λοβός ακτινοβολίας της.

Η ρομβική κεραία έχει μεγάλες διαστάσεις και για το λόγο αυτό χρησιμοποιείται σε μόνιμες εγκαταστάσεις ως κεραία εκπομπής.

β) Η λογαριθμική κεραία.

Ένας άλλος τύπος μη συντονισμένης κεραίας κατευθυνόμενης ακτινοβολίας είναι η λογαριθμική κεραία (σχ. 4.3β). Αυτή αποτελείται από περιττό αριθμό διπό-



Σχ. 4.3β.
Η λογαριθμική κεραία.

λων που στερεώνονται με μονωτήρες σε σταθερή απόσταση πάνω σε βραχίονες, ώστε να αποτελούν σειρά παραλλήλων διπόλων, και το μήκος τους αυξάνεται με σταθερή διαφορά. Η τροφοδότηση των διπόλων γίνεται εναλλακτικά με γραμμή δυο αγωγών, ώστε το ρεύμα που διαρρέει διαδοχικά δίπολα να παρουσιάζει διαφορά φάσεως 180°. Από τη συμβολή των κυμάτων που ακτινοβολούν τα δίπολα προκύπτει λοβός, ο άξονας του οποίου είναι κάθετος στα δίπολα και με κατεύθυνση προς το μικρότερο δίπολο.

Το μήκος των διπόλων και η απόσταση μεταξύ δυο διαδοχικών διπόλων (σχ. 4.3β) καθορίζεται από το λόγο:

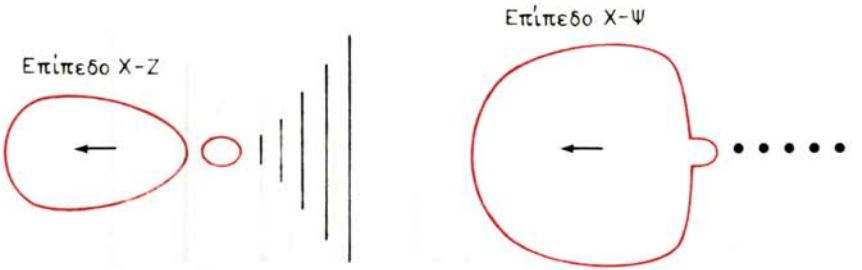
$$r = \frac{X_{(\eta+1)}}{X_\eta} = \frac{l_{(\eta+1)}}{l_\eta}$$

όπου X_η η απόσταση του μεσαίου διπόλου από την κορυφή της γωνίας α που σχηματίζεται από την ευθεία των άκρων των διπόλων και την κατεύθυνση του άξονα του λοβού ακτινοβολίας.

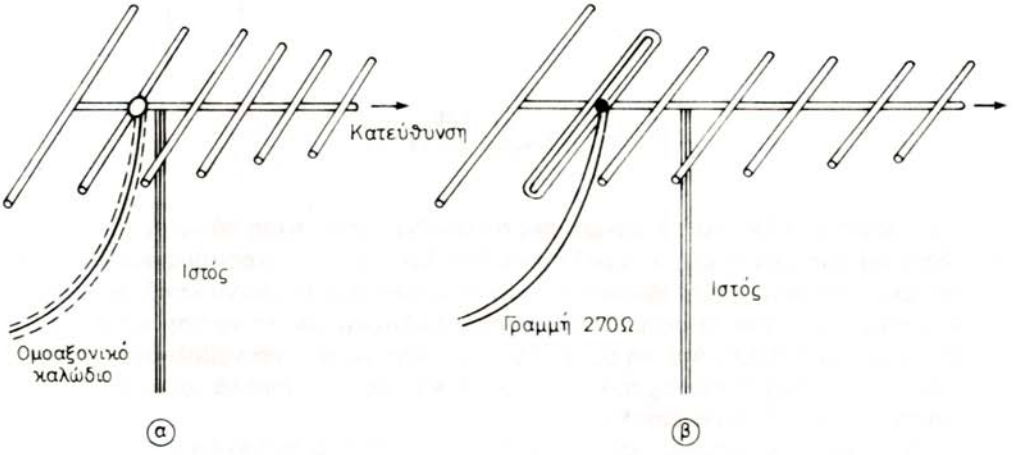
Η γωνία αποκλίσεως των άκρων των διπόλων α καθορίζεται από τη σχέση:

$$\alpha = \epsilon\phi^{-1}\left(\frac{l_\eta}{X_\eta}\right)$$

Για να εξασφαλίζεται σταθερή ικανοποιητική απόδοση της κεραίας σε ολόκληρη την περιοχή συχνοτήτων, όπου επιθυμούμε να λειτουργεί, το μεγαλύτερο δίπολο πρέπει να έχει μήκος μεγαλύτερο από λ/2 της κατώτερης συχνότητας. Η αντίσταση



Σχ. 4.3γ.
Κατακόρυφη και οριζόντια τομή του λοβού ακτινοβολίας λογαριθμικής κεραίας.



Σχ. 4.3δ.
α) Κεραία Yagi. β) Κεραία Yagi Uda.

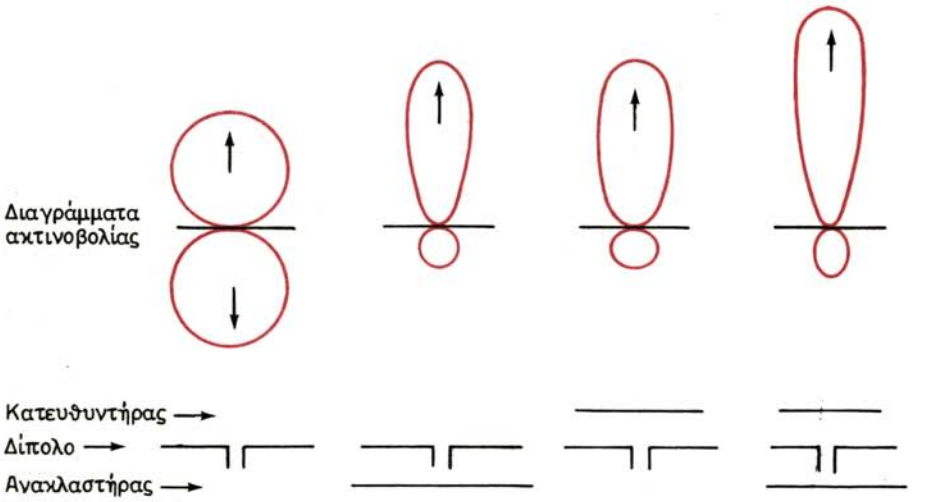
εισόδου της κεραίας που εξαρτάται από το λόγο r και τη γωνία α, μεταβάλλεται περιοδικά σε συνάρτηση με το λογάριθμο της συχνότητας που κάθε φορά ακτινοβολεί, από 50 έως 200 Ω. Γι' αυτό και ονομάζεται λογαριθμική κεραία.

Στο σχήμα 4.3γ φαίνονται οριζόντια και κατακόρυφη τομή του λοβού ακτινοβολίας της λογαριθμικής κεραίας.

Η λογαριθμική κεραία λειτουργεί με πολύ καλή απόδοση στην περιοχή HF και στο κατώτερο μέρος της περιοχής VHF, έχει όμως μεγάλες διαστάσεις και γι' αυτό χρησιμοποιείται σε μόνιμες εγκαταστάσεις.

γ) Η κεραία Yagi.

Η κεραία Yagi [σχ. 4.3δ(α)] αποτελείται από ένα δίπολο μήκους λ/2, που στερεώνεται με μονωτήρα κάθετα στο μεταλλικό βραχίονα στηρίξεως και τροφοδοτείται με ομοαξωνικό καλώδιο. Στον ίδιο βραχίονα στερεώνονται σε κατάλληλες



Σχ. 4.3ε.

Η επίδραση των παρασιτικών διπόλων στο διάγραμμα ακτινοβολίας του κανονικού διπόλου.

αποστάσεις και μεταλλικές ράβδοι, έτσι ώστε να είναι παράλληλες με το δίπολο. Οι ράβδοι αυτές ονομάζονται ***παρασιτικά δίπολα*** ή ***στοιχεία*** της κεραίας. Παρασιτικό δίπολο ονομάζεται εκείνο που δεν τροφοδοτείται άμεσα από τον πομπό ή δεν συνδέεται στο δέκτη, αλλά βρίσκεται σε επαγωγική σύζευξη με το δίπολο που τροφοδοτείται και από το ρεύμα που επάγεται σ' αυτό ακτινοβολείται ενέργεια.

Όταν η απόσταση του παρασιτικού διπόλου από το κανονικό δίπολο είναι μικρότερη από λ/4, ακτινοβολεί σημαντικό πεδίο, το οποίο συμβάλλει με το πεδίο του κανονικού διπόλου και επηρεάζει την ακτινοβολία στο χώρο ανάλογα με το μήκος του. Όταν το παρασιτικό δίπολο έχει μήκος μεγαλύτερο από το μήκος του κανονικού διπόλου, παρουσιάζει επαγωγική συμπεριφορά. Τότε το κύμα που ακτινοβολεί προστίθεται με το κύμα του κανονικού διπόλου προς την κατεύθυνση του τελευταίου, ενώ αφαιρείται προς την αντίθετη κατεύθυνση, επειδή συμβάλλουν με την ίδια και με την αντίθετη φάση αντίστοιχα. Το παρασιτικό δίπολο μεγαλύτερου μήκους ονομάζεται ***ανακλαστήρας*** (reflector). Με την προσθήκη του ανακλαστήρα, το διάγραμμα ακτινοβολίας για το επίπεδο που ορίζεται από το κανονικό δίπολο και τον ανακλαστήρα διαμορφώνεται όπως στο σχήμα 4.3ε. Παρόμοια επίδραση έχει η προσθήκη σε διπλάσια απόσταση δεύτερου ανακλαστήρα μεγαλύτερου μήκους που διεγείρεται επαγωγικά από τον πρώτο. Από την προσθήκη αυτή προκύπτει λοβός μικρότερου εύρους.

Όταν το παρασιτικό δίπολο μήκος μικρότερο από το μήφος του κανον φού διοφ ιπόλου, παρουσιάζει χωρητική συμπεριφορά. Τότε το κύμα που ακτινοβολεί προστίθεται με το κύμα του κανονικού διπόλου προς την κατεύθυνση του παρασιτικού και αφαιρείται προς την αντίθετη, επειδή συμβάλλουν με την ίδια και την αντίθετη φάση αντίστοιχα. Το παρασιτικό δίπολο μικρότερου μήκους ονομάζεται ***κατευθυντήρας*** (director) και, με την προσθήκη του, το διάγραμμα ακτινοβολίας για

το επίπεδο που ορίζεται από αυτόν και το κανονικό δίπολο διαμορφώνεται όπως στο σχήμα 4.3ε. Παρόμοια επίδραση έχει η προσθήκη περισσοτέρων κατευθυντήρων σε διαδοχικά συμμετρική απόσταση και με συνεχώς μικρότερο μήκος, όπου ο καθένας διεγείρεται επαγωγικά από τον προηγούμενό του. Από την προσθήκη αυτή προκύπτει οξύτερος λοβός.

Στο σχήμα 4.3ε φαίνεται και ο λοβός που προκύπτει με τη χρησιμοποίηση ενός ανακλαστήρα και ενός κατευθυντήρα. Με τη χρησιμοποίηση μέχρι δυο ανακλαστήρων και μέχρι δέκα κατευθυντήρων, προκύπτει σημαντική ελάττωση του εύρους του λοβού ακτινοβολίας, δηλαδή σημαντική αύξηση της κατευθυντικότητας της κεραίας. Η προσθήκη περισσοτέρων ανακλαστήρων και κατευθυντήρων δεν προκαλεί σημαντική βελτίωση της κατευθυντικότητάς της.

Όπως είπαμε, η αντίσταση του κανονικού διπόλου είναι 73 Ω. Η επίδραση όμως των παρασιτικών διπόλων προκαλεί ελάττωση της αντιστάσεως του διπόλου της κεραίας Yagi, ανάλογα με τον αριθμό των ανακλαστήρων και των κατευθυντήρων της και περιορίζεται από 65 μέχρι 70 Ω. Η κεραία Yagi μπορεί να χρησιμοποιηθεί και για εκπομπή και για λήψη στις περιοχές συχνοτήτων VHF και UHF (80 έως 800 Mc/s). Τέτοιες κεραίες χρησιμοποιούσαν τα πρώτα ραντάρ.

Στο σχήμα 4.3δ(β) φαίνεται η κεραία ***Yagi Uda,*** που χρησιμοποιείται συνήθως στους δέκτες της τηλεοράσεως. Βασική της κατασκευαστική διαφορά από την κεραία Yagi είναι ότι χρησιμοποιεί το ***αναδιπλωμένο δίπολο,*** το οποίο έχει μήκος λ/2 και παρουσιάζει αντίσταση τετραπλάσια από το κοινό δίπολο (4×73=292 Ω). Με την προσθήκη των ανακλαστήρων και των κατευθυντήρων που της εξασφαλίζουν την κατευθυντικότητα της κεραίας Yagi, η αντίστασή της ελαττώνεται στα 270 Ω. Γι' αυτό στη σύνδεσή της με το δέκτη τηλεοράσεως χρησιμοποιείται γραμμή δυο παραλλήλων αγωγών, με χαρακτηριστική αντίσταση 270 Ω. Σε περίπτωση, που η σύνδεσή της γίνεται με ομοαξωνικό καλώδιο, παρεμβάλλεται μετασχηματιστής προσαρμογής αντιστάσεως 270/70 Ω, διαφορετικά η απόδοση της κεραίας υποτετραπλασιάζεται.

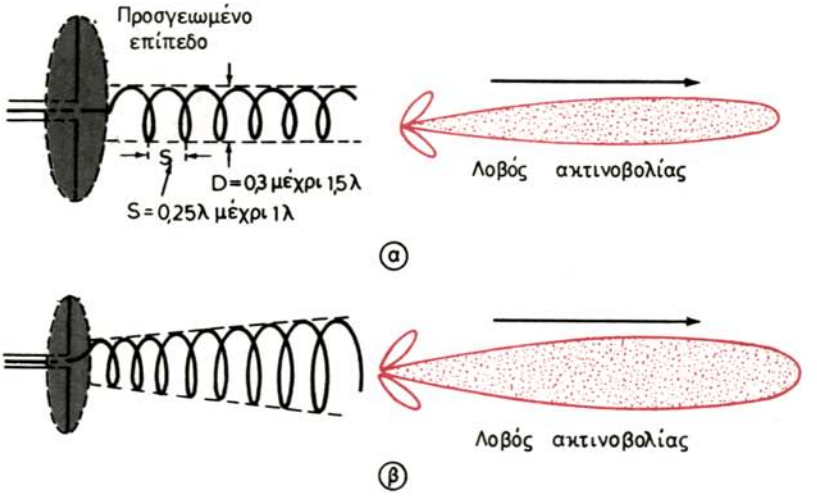
Η πόλωση του κύματος που εκπέμπεται ή λαμβάνεται με κεραία Yagi ή Yagi Uda έχει την κατεύθυνση των διπόλων και των στοιχείων τους.

δ) Η ελικοειδής κεραία.

Η ελικοειδής κεραία (σχ. 4.3στ) έχει σχήμα έλικας και κατασκευάζεται από χάλκινο ή αλουμινένιο σωληνίσκο με διάμετρο ελικώσεως συγκρίσιμη με το μήκος κύματος. Η τροφοδότηση γίνεται από το ένα άκρο της έλικας, όπου τοποθετείται ανακλαστήρας από μεταλλικό πλέγμα. Έτσι η κεραία ακτινοβολεί με στενό λοβό, ο άξονας του οποίου συμπίπτει με τον άξονα της έλικας. Η ελικοειδής κεραία χρησιμοποιείται στην περιοχή συχνοτήτων UHF, όπου, με μικρές φυσικές διαστάσεις, η διάμετρος της έλικας αποκτά μήκος ίσο με λ ή και μεγαλύτερο και το μήκος του άξονά της περιλαμβάνει αρκετά λ, οπότε το εύρος του λοβού ακτινοβολίας γίνεται μικρότερο και από 15°.

Βασικά πλεονεκτήματα της ελικοειδούς κεραίας είναι ότι ακτινοβολεί κύματα κυκλικής πολώσεως και ότι μπορεί να ακτινοβολεί σε μεγάλη περιοχή συχνοτήτων, που αντιστοιχεί σε μήκος κύματος από 0,3 λ μέχρι 15 λ του βασικού της λ. Λόγω των πλεονεκτημάτων αυτών και της απλής κατασκευής της, έχει μεγάλη χρήση

ΔΡΥΜΑ ΣΥΓΧΡΟΝΟ 1954



Σχ. 4.3στ.
Ελικοειδείς κεραίες.

στις δορυφορικές ραδιοζεύξεις. Η αντίστασή της εξαρτάται από τη διάμετρο, το βήμα της έλικας και το μήκος της κεραίας και κυμαίνεται από 100 έως 200 Ω.

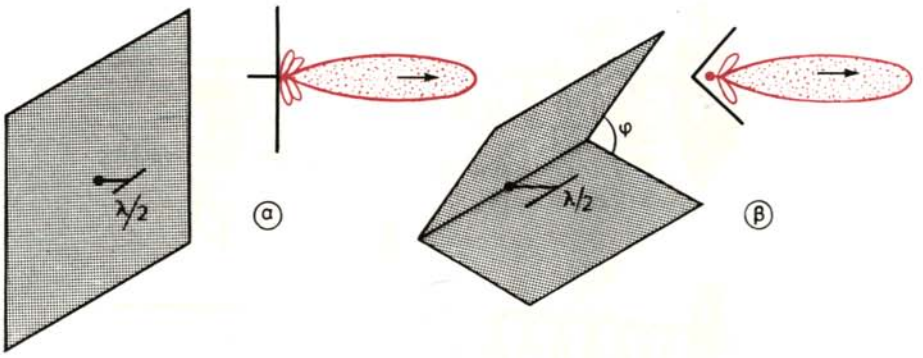
Στο σχήμα 4.3στ φαίνεται η διαφορά των λοβών ακτινοβολίας ελικοειδών κεραιών, (α) με σταθερό βήμα και σταθερή διάμετρο ελικώσεως και (β) με αυξανόμενο βήμα και αυξανόμενη διάμετρο ελικώσεως για ορισμένη συχνότητα.

ε) Κεραίες με ανακλαστήρα.

Στην περιοχή των μικροκυμάτων χρησιμοποιούνται κεραίες με δίπολο λ/2, που τροφοδοτείται με ομοαξωνικό καλώδιο και ανακλαστήρα, ο οποίος λειτουργεί ως κάτοπτρο και εστιάζει την ενέργεια που ακτινοβολεί το δίπολο σε αρκετά οξύ λοβό. Εκτός από τον κύριο λοβό, μικρό ποσό ενέργειας κατανέμεται και σε άλλες κατευθύνσεις και δημιουργούνται οι πλευρικοί λοβοί.

Ο ανακλαστήρας αποτελείται από συμπαγή ή από δικτυωτή μεταλλική επιφάνεια και οι διαστάσεις του περιλαμβάνουν αρκετά μήκη κύματος (3 έως 30 λ). Όσο περισσότερα λ περιλαμβάνονται στις διαστάσεις του ανακλαστήρα τόσο οξύτερος γίνεται ο λοβός ακτινοβολίας της κεραίας. Το εύρος του λοβού εξαρτάται και από την απόσταση του διπόλου από τον ανακλαστήρα. Η απόσταση αυτή επηρεάζει και την αντίσταση της κεραίας, η οποία είναι πάντα μικρότερη από την αντίσταση του διπόλου.

Στο σχήμα 4.3ζ(α) φαίνονται κεραία με επίπεδο ανακλαστήρα, ο λοβός ακτινοβολίας της και οι πλευρικοί λοβοί. Συνήθως χρησιμοποιούνται τετράγωνοι και κυκλικοί επίπεδοι ανακλαστήρες, που δημιουργούν λοβούς με σχήμα κώνου. Οι ορθογώνιοι και οι ελλειψοειδείς επίπεδοι ανακλαστήρες δημιουργούν λοβό ελλειψοειδούς τομής, κάθετης στον άξονα του λοβού, με το μεγάλο άξονα της ελλείψεως παράλληλο με τη μικρή διάσταση του ανακλαστήρα. Όταν το δίπολο είναι



Σχ. 4.3ζ.
α) Κεραία με επίπεδο ανακλαστήρα. β) Κεραία με δίεδρο ανακλαστήρα.

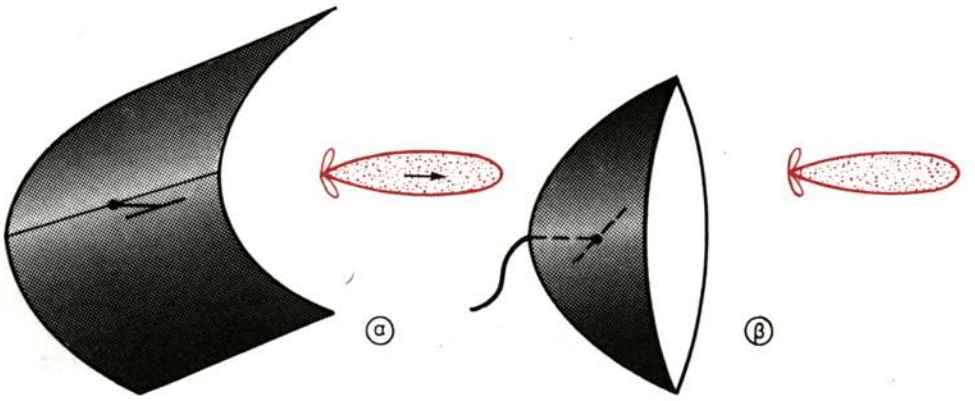
σταθερό, η πόλωση του κύματος που ακτινοβολείται είναι σταθερή και έχει τη διεύθυνση του διπόλου.

Στο σχήμα 4.3ζ(β) φαίνεται κεραία με δίεδρο ανακλαστήρα, ο κύριος λοβός ακτινοβολίας της και οι πλευρικοί λοβοί. Η τομή του λοβού, που είναι κάθετη στον άξονά του, είναι ελλειψοειδής, με το μεγάλο άξονα παράλληλο προς την ακμή των εδρών. Το εύρος του λοβού και η αντίσταση της κεραίας, εκτός από το μέγεθος του ανακλαστήρα και την απόσταση του διπόλου από αυτόν, ελαττώνονται με την ελάττωση της γωνίας φ, την οποία σχηματίζουν οι δυο έδρες του ανακλαστήρα. Η πόλωση του κύματος που ακτινοβολείται είναι σταθερή και έχει τη διεύθυνση του διπόλου.

Μεγαλύτερη κατευθυντικότητα εξασφαλίζεται με τον ανακλαστήρα παραβολικού κυλίνδρου και με τον κυκλικό παραβολικό ανακλαστήρα, που φαίνονται στο σχήμα 4.3η. Το εύρος του λοβού και η αντίσταση των κεραιών αυτών, εκτός από τις διαστάσεις του ανακλαστήρα και την απόσταση του διπόλου από αυτόν, επηρεάζονται και από την καμπυλότητα του παραβολοειδούς. Η μεγαλύτερη καμπυλότητα συνεπάγεται ελάττωση του εύρους του λοβού και της αντιστάσεως της κεραίας.

Η κεραία παραβολικού κυλινδρικού κατόπτρου ακτινοβολεί με λοβό, του οποίου η κάθετη στον άξονά του τομή του είναι ελλειψοειδής, με το μεγάλο άξονα παράλληλο στον άξονα του κυλίνδρου. Η πόλωση του κύματος που ακτινοβολεί είναι σταθερή και έχει τη διεύθυνση του διπόλου.

Η κεραία κυκλικού παραβολικού κατόπτρου ακτινοβολεί με λοβό σχήματος κώνου. Η πόλωση του κύματος είναι σταθερή και έχει τη διεύθυνση του διπόλου. Σε ορισμένες περιπτώσεις, το δίπολο μπορεί να πραγματοποιεί κωνική κίνηση, οπότε κινείται και ο λοβός στο χώρο και ο άξονάς του διαγράφει κώνο. Τέτοιες κεραίες με κωνική κίνηση του λοβού ακτινοβολίας χρησιμοποιούνται στις δορυφορικές τηλεπικοινωνιακές ζεύξεις, επειδή εξασφαλίζουν τη δυνατότητα της συνεχούς παρακολουθήσεως των δορυφόρων. Για τον ίδιο λόγο χρησιμοποιούνται και στα ραντάρ ελέγχου πυρός, όπου είναι απαραίτητη η συνεχής παρακολούθηση (εγκλωβισμός) μικρών μονωμένων κινητών στόχων (αεροσκάφη ή πλοία).



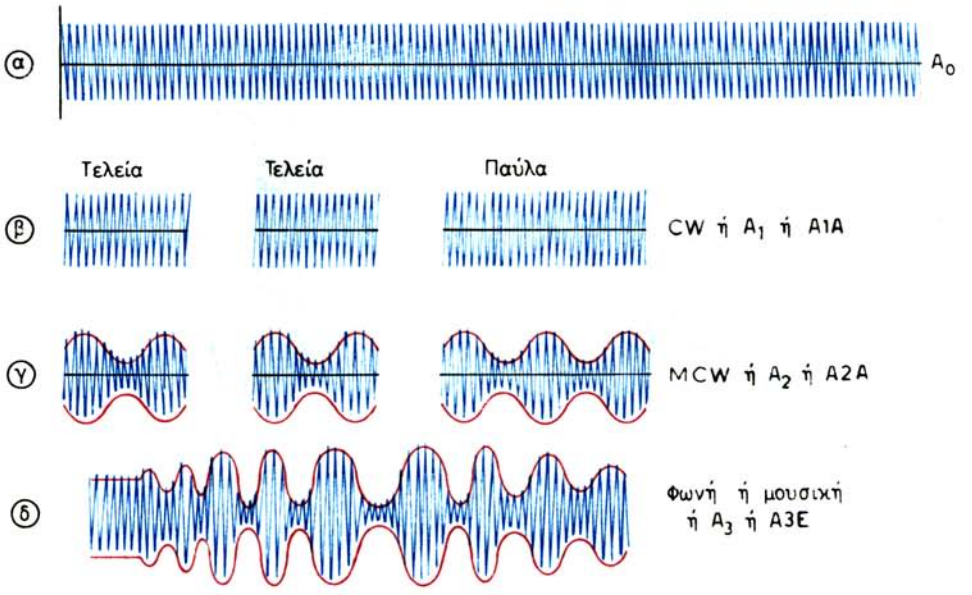
Σχ. 4.3η.
α) Κεραία με ανακλαστήρα παραβολικού κυλίνδρου. β) Κεραία με παραβολικό ανακλαστήρα.

Στις κεραίες παραβολικών κατόπτρων, που κυρίως χρησιμοποιούνται στα ραντάρ, το δίπολο αντικαθίσταται με χοάνη κυματοδηγού, η οποία εξασφαλίζει καλύτερα αποτελέσματα.

4.4 Μετάδοση πληροφοριών με ηλεκτρομαγνητικά κύματα.

Όπως είπαμε, ο πομπός τροφοδοτεί την κεραία με εναλλασσόμενο ρεύμα ραδιοσυχνότητας και αυτή ακτινοβολεί ηλεκτρομαγνητικό κύμα, που έχει τη συχνότητα του ρεύματος. Έτσι, αν η συχνότητα και το πλάτος του ρεύματος που παρέχει ο πομπός στην κεραία είναι σταθερά, κατά το χρονικό διάστημα που στην κεραία θα παρέχεται ρεύμα, θα εκπέμπεται κύμα με σταθερή συχνότητα και σταθερό πλάτος, όπως στο σχήμα 4.4α(α). Όταν το κύμα αυτό πέφτει επάνω στην κεραία λήψεως, επάγει σ' αυτή μια σταθερή τάση ή ένα ρεύμα, που ονομάζεται σήμα, το οποίο θα έχει σταθερό πλάτος και την ίδια σταθερή συχνότητα του κύματος. Από την επεξεργασία του σήματος αυτού δεν μπορεί να προκύψει χαρακτηριστικός ήχος ή χαρακτηριστική εικόνα με συγκεκριμένες πληροφορίες. Το κύμα αυτό, που εκπέμπεται συνέχεια και έχει σταθερή συχνότητα και σταθερό πλάτος, ονομάζεται ***συνεχές κύμα*** (CW — Continuous Wave) και, σύμφωνα με τους διεθνείς κανονισμούς τηλεπικοινωνιών, ονομάζεται A_0.

Αυτό το κύμα ραδιοσυχνότητας όμως, είναι απαραίτητο για τη μεταφορά πληροφοριών (τηλεγραφίας, ήχου, εικόνας και άλλων δεδομένων), που φορτώνονται σ' αυτό είτε με αποκατάσταση και διακοπή της εκπομπής του, είτε με διαμόρφωση του πλάτους του ή της συχνότητάς του. Κατά την επεξεργασία του σήματος, που προκύπτει από τη λήψη του κύματος, ο δέκτης αναπαραγάγει τις πληροφορίες που μεταφέρει και απορρίπτει το σήμα ραδιοσυχνότητας. Για το λόγο αυτό, το κύμα ραδιοσυχνότητας ονομάζεται ***φέρον κύμα*** (carrier wave) και η υψηλή συχνότητά του ***φέρουσα συχνότητα*** (carrier frequency).



Σχ. 4.4α.
Οι μορφές αδιαμόρφωτου και διαμορφωμένου κυμάτων.

Η μεταφορά πληροφοριών με το φέρον κύμα γίνεται με τους παρακάτω τρόπους, που λέγονται και είδη σημάτων:

α) Με κωδική αποκατάσταση και διακοπή του φέροντος κύματος.

Κατά τη μέθοδο αυτή, η εκπομπή του φέροντος κύματος αποκαθίσταται και διακόπτεται σύμφωνα με τον κώδικα Morse, όπως φαίνεται στο σχήμα 4.4α(β), ενώ, κατά τα χρονικά διαστήματα που εκπέμπεται κύμα (τελείες και παύλες), το πλάτος και η συχνότητα του κύματος διατηρούνται σταθερά. Η αποκατάσταση και η διακοπή της εκπομπής επιτυγχάνεται με αντίστοιχη αποκατάσταση και διακοπή της λειτουργίας του πομπού με το χειριστήριο.

Η μετάδοση πληροφοριών με τη μέθοδο αυτή ονομάζεται ***μετάδοση με συνεχή κύματα*** (CW — Continuous Waves). Από τους παλαιότερους και τους σύγχρονους διεθνείς κανονισμούς τηλεπικοινωνιών χαρακτηρίζεται αντίστοιχα ως A_1 ή A1A και ανήκει στην τηλεγραφία.

β) Με διαμόρφωση του πλάτους.

Ως διαμόρφωση πλάτους (AM — Amplitude Modulation) εννοείται η μεταβολή του πλάτους του φέροντος κύματος με το ρυθμό της ακουστικής συχνότητας, που αντιστοιχεί στον ήχο που πρόκειται να μεταδοθεί, ή με το ρυθμό των αρμονικών συχνοτήτων σήματος εικόνας. Σε ό,τι αφορά τη διαμόρφωση πλάτους για τη μετάδοση πληροφοριών ήχου, αυτή γίνεται με τις παρακάτω μεθόδους.

1) Διαμόρφωση με σταθερή ακουστική συχνότητα.

Κατά τη διαμόρφωση με σταθερή ακουστική συχνότητα, το πλάτος του φέροντος κύματος μεταβάλλεται με το ρυθμό σταθερής ακουστικής συχνότητας (400 έως 2000 c/s). Κατά τη λήψη τέτοιου σήματος, από τη μεταβολή του πλάτους θα αναπαραχθεί η ίδια σταθερή ακουστική συχνότητα, από την οποία θα προκύψει συνεχής ήχος σταθερού τόνου και σταθερής εντάσεως (συνεχής μονότονος). Έτσι, με τη συνεχή εκπομπή κύματος διαμορφωμένου με σταθερή ακουστική συχνότητα, δεν είναι δυνατή η μετάδοση πληροφοριών.

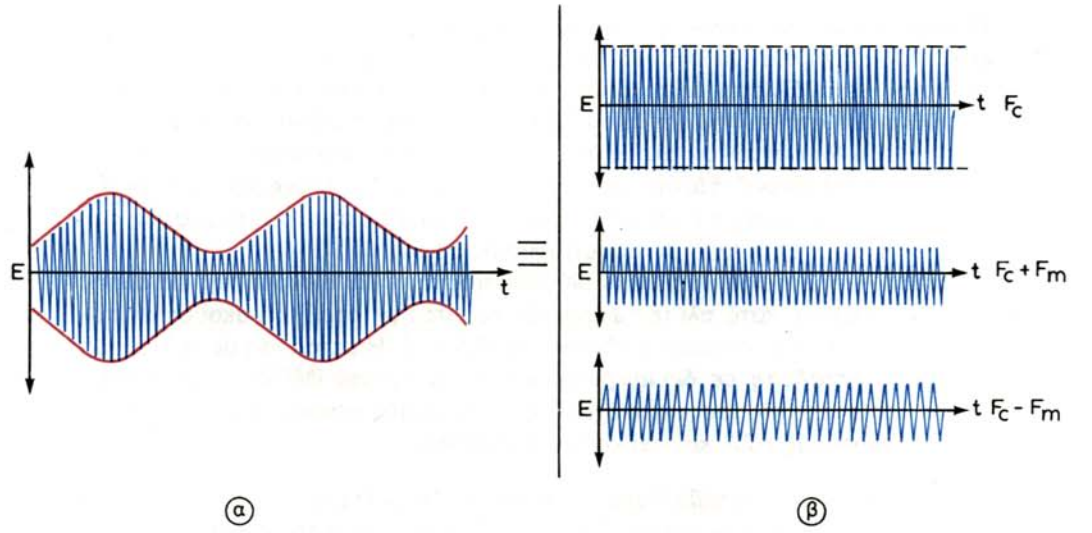
Η μετάδοση πληροφοριών γίνεται με αποκατάσταση και διακοπή της εκπομπής του διαμορφωμένου κατά πλάτος φέροντος κύματος με σταθερή ακουστική συχνότητα, σύμφωνα με τον κώδικα Morse [σχ. 4.4α(γ)]. Η μετάδοση με τη μέθοδο αυτή λέγεται ***μετάδοση με διαμορφωμένα συνεχή κύματα*** (MCW — Modulated Continuous Waves). Με τους παλαιότερους κανονισμούς χαρακτηρίζεται ως A_2 και με τους σύγχρονους A2A και ανήκει στην τηλεγραφία.

2) Διαμόρφωση με μεταβαλλόμενη ακουστική συχνότητα.

Κατά τη διαμόρφωση με μεταβαλλόμενη ακουστική συχνότητα, δηλαδή με συχνότητα φωνής ή μουσικής, το πλάτος του φέροντος κύματος μεταβάλλεται με το ρυθμό της μεταβαλλόμενης ακουστικής συχνότητας, όπως φαίνεται στο σχήμα 4.4α(δ). Κατά τη λήψη του κύματος αυτού, από αυτή τη μεταβολή του πλάτους του φέροντος κύματος αναπαράγεται η μεταβαλλόμενη ακουστική συχνότητα και προκύπτει η φωνή ή η μουσική με τα χαρακτηριστικά που αντιστοιχούν σ' αυτή. Η μετάδοση με τη μέθοδο αυτή ονομάζεται ραδιοτηλεφωνία ή ραδιοφωνία και χαρακτηρίζεται ως A_3 με τους παλαιότερους και ως A3E με τους σύγχρονους κανονισμούς.

Ένα φέρον κύμα που δεν είναι διαμορφωμένο και διατηρεί σταθερό πλάτος και σταθερή συχνότητα, όπως το A_0 και το A_1, αποτελείται μόνο από τη δική του συχνότητα, δηλαδή τη φέρουσα συχνότητά του. Όμως ένα φέρον κύμα διαμορφωμένο κατά πλάτος, ενώ δεν μεταβάλλεται η συχνότητά του λόγω της μεταβολής του πλάτους του, αποτελείται από μία ζώνη συχνοτήτων, ίση με το διπλάσιο της ακουστικής συχνότητας που έχει διαμορφωθεί και με κεντρική συχνότητα τη ραδιοσυχνότητα του φέροντος, δηλαδή τη φέρουσα συχνότητα. Στο σχήμα 4.4β φαίνονται οι ισοδύναμες κυματομορφές της κεντρικής συχνότητας F_c και των ακραίων συχνοτήτων $(F_c + F_m)$ και $(F_c - F_m)$ της ζώνης συχνοτήτων κύματος διαμορφωμένου κατά πλάτος, όπου F_c η φέρουσα συχνότητα και F_m η ακουστική συχνότητα διαμορφώσεως. Έτσι, αν η ακουστική συχνότητα διαμορφώσεως σήματος A2A με ραδιοσυχνότητα 500 kc/s είναι 1000 c/s, θα εκπέμπεται ζώνη συχνοτήτων από 499 kc/s — 501 kc/s, δηλαδή θα καλύπτεται ζώνη 2 kc/s, μέσα στην οποία δεν μπορούν να εκπέμπονται άλλα σήματα. Στο σήμα A1A με την ίδια ραδιοσυχνότητα θα καλύπτεται μόνο η συχνότητα των 500 kc/s και στη ζώνη συχνοτήτων από 499 έως 501 kc/s μπορούν να εκπέμπονται και άλλα σήματα A1A.

Σύμφωνα με τους διεθνείς κανονισμούς τηλεπικοινωνιών, επιτρέπεται η εκπομπή A2A στην περιοχή συχνοτήτων MF τηλεγραφίας (400 έως 530 kc/s), επειδή στις συχνότητες αυτές η διάδοση γίνεται με κύμα εδάφους σε μικρή σχετικά απόσταση και δεν προκαλεί κορεσμό συχνοτήτων σε ολόκληρη την υδρόγειο. Απαγο-

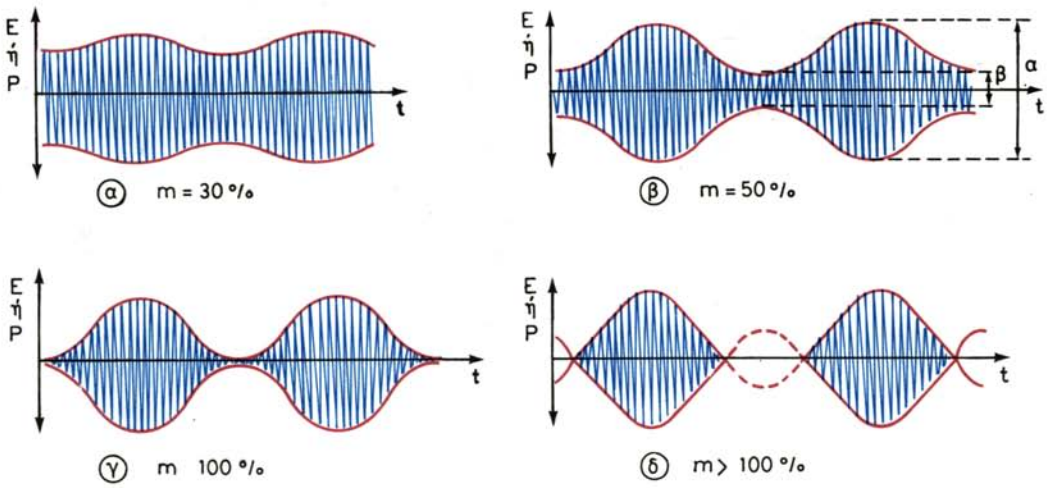


Σχ. 4.4β.
Η ισοδυναμία των κυματομορφών των πλευρικών ζωνών συχνοτήτων.

ρεύεται όμως η εκπομπή σημάτων A2A στην περιοχή συχνοτήτων HF, γιατί, καθώς η διάδοσή τους γίνεται με ιονοσφαιρικά κύματα σε μεγάλες αποστάσεις, είναι δυνατό να προκαλέσει κορεσμό συχνοτήτων σε ολόκληρη την υδρόγειο. Σημειώνεται ότι, για να αποφεύγονται προβλήματα αποσυντονισμού πομπών και δεκτών, τα σήματα κινδύνου, ανάγκης και ασφάλειας στην τηλεγραφία (500 kc/s) πρέπει να εκπέμπονται σε A2A.

Η ζώνη συχνοτήτων των σημάτων A3E είναι πολύ μεγαλύτερη και μπορεί να φθάσει τους ± 16 kc/s που καλύπτει το φάσμα των ακουστικών συχνοτήτων. Στη ραδιοτηλεφωνία, η ζώνη συχνοτήτων που εκπέμπεται, περιορίζεται στους ± 4 kc/s (8 kc/s), χωρίς να αλλοιώνονται αισθητά το ποιόν και η χροιά της φωνής που μεταδίδεται κατά την αναπαραγωγή της στο δέκτη. Στη ραδιοφωνία, η μετάδοση ειδικά της μουσικής επιβάλλει την επέκταση της ζώνης στους ± 16 kc/s (32 kc/s), ώστε η μουσική που μεταδίδεται, να αναπαράγεται από το ραδιοφωνικό δέκτη με καλή πιστότητα.

Ένα άλλο χαρακτηριστικό της διαμορφώσεως πλάτους είναι το ***ποσοστό διαμορφώσεως m*** ή ***βάθος διαμορφώσεως.*** Ως βάθος διαμορφώσεως ορίζεται ο λόγος του πλάτους της τάσεως της φέρουσας συχνότητας προς το πλάτος της τάσεως της ακουστικής συχνότητας ή το ποσοστό μεταβολής του πλάτους του φέροντος. Στο σχήμα 4.4γ φαίνονται κύματα με ποσοστό διαμορφώσεως m = 30%, m = 50%, m = 100% και m > 100%. Η διαμόρφωση σε ποσοστό μικρότερο από 50% ονομάζεται ***υποδιαμόρφωση*** και, επειδή παραμένει ανεκμετάλλευτο μεγάλο μέρος της ισχύος του φέροντος, παρουσιάζει περιορισμένη απόδοση. Η διαμόρφωση σε ποσοστό μεγαλύτερο από 100% ονομάζεται ***υπερδιαμόρφωση*** και προκαλεί μηδενισμό της ισχύος που εκπέμπεται κατά διαστήματα της αρνητικής ημιπε-



Σχ. 4.4γ.
Κυματομορφές με διάφορα ποσοστά διαμορφώσεως.

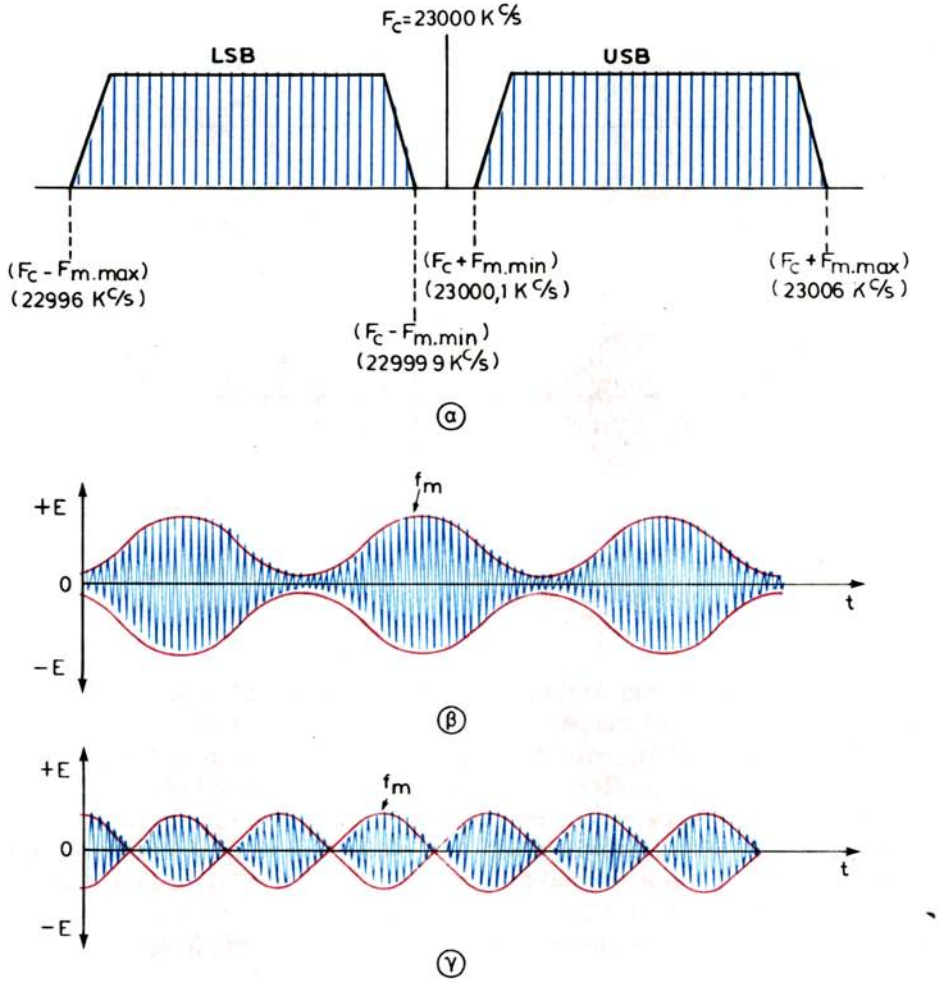
ριόδου της ακουστικής συχνότητας, με την οποία γίνεται η διαμόρφωση. Ο μηδενισμός αυτός προκαλεί παραμόρφωση της φωνής ή της μουσικής που μεταδίδεται κατά την αναπαραγωγή της στο δέκτη και γι' αυτό αποφεύγεται. Καλύτερη απόδοση και πιστότητα εξασφαλίζεται με ποσοστό διαμορφώσεως 90%.

Η ζώνη συχνοτήτων πάνω από τη φέρουσα ($F_c + F_m$) ονομάζεται ***άνω πλευρική ζώνη*** (USB — Upper Side Band) και η ζώνη συχνοτήτων κάτω από τη φέρουσα ($F_c - F_m$) ***κάτω πλευρική ζώνη*** (LSB — Lower Side Band). Κατά την εκπομπή σημάτων A2A και A3E εκπέμπονται και οι δυο πλευρικές ζώνες συχνοτήτων. Γι' αυτό και τα σήματα αυτά ονομάζονται και ***διπλευρικής ζώνης*** (DSB — Double Side Band).

3) Διαμόρφωση μονοπλευρικής ζώνης.

Όπως θα δούμε σε επόμενη παράγραφο, κατά την επεξεργασία των σημάτων A2A και A3E μέσα στο δέκτη, απορρίπτεται και η φέρουσα συχνότητα και η μια πλευρική ζώνη. Στην πλευρική ζώνη που απομένει περιέχονται οι πληροφορίες ακουστικών συχνοτήτων και εξασφαλίζεται η αναπαραγωγή τους.

Στη ραδιοτηλεφωνία, η εκπομπή της διπλευρικής ζώνης, η οποία περιέχει τις πληροφορίες ακουστικών συχνοτήτων που επιθυμούμε να μεταδοθούν, σημαίνει ότι ένα τηλεφωνικό κανάλι καλύπτει διπλάσια ζώνη συχνοτήτων από εκείνη της ζώνης ακουστικών συχνοτήτων που επιθυμούμε να μεταδοθούν. Έτσι, στις ραδιοτηλεφωνικές συνδέσεις καθιερώθηκε η χρησιμοποίηση της ***μονοπλευρικής ζώνης*** (SSB — Single Side Band), με την οποία, σε ορισμένη περιοχή συχνοτήτων, εξασφαλίζεται διπλάσιος αριθμός ραδιοτηλεφωνικών καναλιών. Για παράδειγμα, αν για τη ναυτική ραδιοτηλεφωνία οι ακουστικές συχνότητες φωνής που μεταδίδονται είναι μέχρι 4 kc/s και στις HF παραχωρείται περιοχή συχνοτήτων από 23,2 — 23,6



Σχ. 4.4δ.
α) Πλευρικές ζώνες. β) Κυματομορφές σήματος DSB και SSB.

Mc/s, δηλαδή 400 kc/s, σε DSB θα λειτουργήσουν 400 kc/s: 8 kc/s = 50 κανάλια, ενώ σε SSB θα λειτουργήσουν 400 kc/s: 4 kc/s = 100 κανάλια.

Στην εκπομπή SSB γίνεται διαμόρφωση πλάτους σε ποσοστό 100% μέσα στον πομπό, όπως στο σχήμα 4.4γ. Στη ραδιοτηλεφωνία, η συχνότητα φωνής είναι σπάνια μικρότερη από 100 c/s. Έτσι περιέχει τις συχνότητες από $F_{m\,.\,min}$ = 100 c/s μέχρι $F_{m\,.\,max}$ = 4 kc/s. Επομένως, αν το διαμορφωμένο κύμα [σχ. 4.4δ(α)] έχει φέρουσα συχνότητα F_c = 23.000 kc/s, θα αποτελείται από τη φέρουσα F_c και από τις δυο πλευρικές ζώνες. Η άνω πλευρική ζώνη θα περιλαμβάνει τις ραδιοσυχνότητες $F_c + F_{m\,.\,min}$ μέχρι $F_c + F_{m\,.\,max}$ (23.000,1 — 23.004 kc/s) και η κάτω

τις ραδιοσυχνότητες $F_c - F_{m\,.\,max}$ μέχρι $F_c - F_{m\,.\,min}$ (22.996 – 22.999,9 kc/s). Η περιοχή δηλαδή ακουστικών συχνοτήτων που προκύπτει από τη φωνή, έχει καταλάβει τις δυο πλευρικές ζώνες, που κάθε μια απέχει από τη φέρουσα κατά 100 c/s. Καθώς κάθε μια από τις δυο πλευρικές ζώνες περιλαμβάνει ραδιοσυχνότητες, μπορεί να εκπεμφθεί ξεχωριστά χωρίς τη φέρουσα. Η αποκοπή της φέρουσας και της μιας πλευρικής ζώνης γίνεται με ειδικά φίλτρα που περιλαμβάνονται στα κυκλώματα του πομπού.

Στη διαμόρφωση πλάτους με ποσοστό 100%, τα 2/3 της ισχύος του πομπού περιέχονται στη φέρουσα συχνότητα, που δεν μεταφέρει καμιά πληροφορία και κάθε πλευρική ζώνη περιέχει το 1/6 της ισχύος του πομπού. Με την εκπομπή SSB η ισχύς του πομπού διατίθεται στην πλευρική ζώνη που εκπέμπεται, την USB ή την LSB, που θεωρητικά σημαίνει εξαπλασιασμό της αποδόσεως του πομπού. Στην πράξη, ένας πομπός SSB έχει καλύτερα αποτελέσματα από ένα πομπό DSB τετραπλάσιας ισχύος. Βέβαια, οι πομποί και οι δέκτες SSB είναι πολυπλοκότεροι και έχουν μεγαλύτερο κόστος από τους πομπούς και τους δέκτες DSB.

Στο σχήμα 4.4δ(β) φαίνεται η κυματομορφή διαμορφωμένου κύματος κατά πλάτος με σταθερή ακουστική συχνότητα, το οποίο περιέχει τη φέρουσα συχνότητα και τις δυο πλευρικές ζώνες. Επίσης, στο σχήμα 4.4δ(γ) φαίνεται η κυματομορφή της μιας πλευρικής ζώνης, μετά την αποκοπή της φέρουσας και της άλλης πλευρικής. Όπως φαίνεται στο σχήμα, η μεταβολή του πλάτους της SSB γίνεται με συχνότητα F_m που αποτελείται από σειρά ημιπεριόδων, οι οποίες έχουν συχνότητα επαναλήψεως ίση με τη διαφορά των δυο πλευρικών συχνοτήτων.

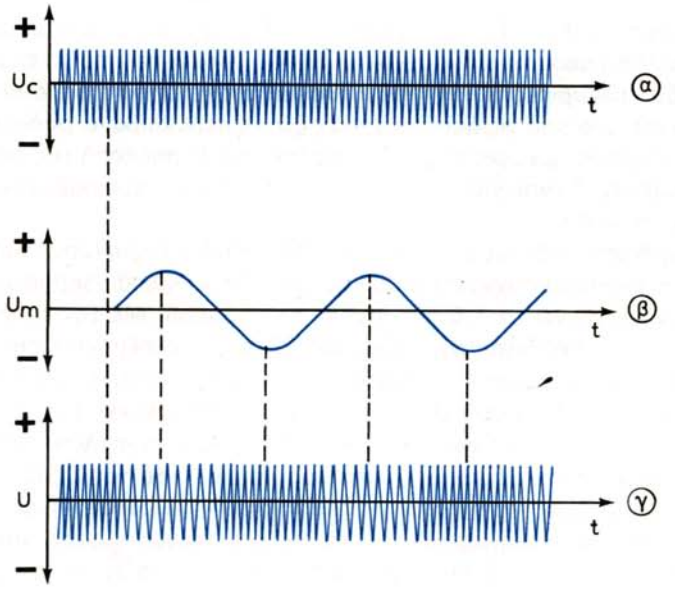
Για να μεταφέρει πληροφορίες ένα σήμα SSB, το οποίο προκύπτει από σταθερή συχνότητα διαμορφώσεως, πρέπει να αποκαθίσταται και να διακόπτεται σύμφωνα με τον κώδικα Morse, όπως το A2A. Ένα τέτοιο διακοπτόμενο σήμα SSB χαρακτηρίζεται ως A2H ή A2J. Τα σήματα ραδιοτηλεφωνίας SSB χαρακτηρίζονται ως A3H ή A3J.

γ) Με διαμόρφωση συχνότητας.

Ως διαμόρφωση συχνότητας (FM — Frequency Modulation) εννοείται η μεταβολή της ραδιοσυχνότητας του φέροντος κύματος, με το ρυθμό της ακουστικής συχνότητας που αντιστοιχεί στον ήχο που πρόκειται να μεταδοθεί, ενώ το πλάτος του κύματος διατηρείται σταθερό, όπως στο σχήμα 4.4ε. Στις μηδενικές στιγμιαίες τιμές της ακουστικής συχνότητας διαμορφώσεως, ή, όταν δεν υπάρχει τέτοια, η ραδιοσυχνότητα του φέροντος κύματος παραμένει σταθερή, ενώ κατά τη θετική της ημιπερίοδο η ραδιοσυχνότητα αυξάνεται και κατά την αρνητική ελαττώνεται. Δηλαδή η ακουστική συχνότητα εμφανίζεται ως ***ολίσθηση της συχνότητας*** (frequency shift) του φέροντος, πάνω και κάτω από τη σταθερή της τιμή, στην οποία ολίσθηση περιέχονται οι πληροφορίες της ακουστικής συχνότητας.

Η διαμόρφωση συχνότητας μπορεί να γίνεται άμεσα ή έμμεσα με μεταβολή της φάσεως του φέροντος κύματος, η οποία στη συνέχεια εξελίσσεται σε μεταβολή της συχνότητας.

Ένα κύμα διαμορφωμένο κατά συχνότητα περιλαμβάνει μεγάλη ζώνη πλευρικών συχνοτήτων που μπορεί να φθάσει στους 150 kc/s. Αυτό αποτελεί μειονέκτημα, επειδή σε ορισμένη περιοχή συχνοτήτων περιορίζεται ο αριθμός των πομπών (καναλιών) που μπορούν να λειτουργούν ταυτόχρονα. Για το λόγο αυτό τα FM



Σχ. 4.4ε.
Οι κυματομορφές.
α) Του φέροντος. β) Της ακουστικής συχνότητας διαμορφώσεως. γ) Του διαμορφωμένου κύματος.

χρησιμοποιούνται στις περιοχές VHF και UHF, επειδή, λόγω της τροποσφαιρικής διαδόσεώς τους, έχουν περιορισμένη εμβέλεια και έτσι μπορεί να αυξηθεί ο αριθμός των πομπών που θα λειτουργούν ταυτόχρονα. Αυτό όμως είναι ένα σοβαρό μειονέκτημα, επειδή δεν επιτρέπει τηλεπικοινωνίες μεγάλων αποστάσεων.

Ένα βασικό πλεονέκτημα των FM, σε σύγκριση με τα AM, είναι ότι μπορούν σ' αυτά να περιορισθούν οι παραμορφώσεις που προκαλούνται στις κορυφές του φέροντος, κυρίως από ηλεκτρικές εκκενώσεις (κεραυνούς και σπινθηρισμούς), χωρίς να αλλοιώνεται η πληροφορία (ακουστική συχνότητα) που μεταδίδεται, επειδή αυτή είναι μεταβολές συχνότητας και όχι μεταβολές πλάτους.

Με διαμόρφωση συχνότητας μεταδίδεται ήχος (ραδιοτηλεφωνία, ραδιοφωνία), όπου η μεταβολή της ραδιοσυχνότητας ακολουθεί την ακουστική συχνότητα της φωνής ή της μουσικής και χαρακτηρίζεται ως F3E. Επίσης, μεταδίδονται τηλετυπία και πληροφορίες ψηφιακών δεδομένων που ονομάζονται ***κωδικοποίηση ολισθήσεως συχνότητας*** (FSK — Frequency Shift Keying). Στη μέθοδο αυτή, η διαμόρφωση του φέροντος γίνεται με δυο σταθερές ακουστικές συχνότητες (δυο τόνους). Η μια αντιστοιχεί στο ψηφίο 1 και η άλλη στο ψηφίο 0 του διάδικου συστήματος και χαρακτηρίζεται ως F2B.

4.5 Πομποί.

Όπως ήδη είπαμε, ο πομπός είναι γεννήτρια εναλλασσόμενου ρεύματος υψη-

λής συχνότητας, με το οποίο τροφοδοτείται η κεραία και ακτινοβολεί ηλεκτρομαγνητικό κύμα. Για να μεταδοθούν όμως πληροφορίες, πρέπει το κύμα αυτό να διαμορφωθεί με μια από τις μεθόδους που αναπτύξαμε στην προηγούμενη παράγραφο. Στην πραγματικότητα, δεν γίνεται άμεσα διαμόρφωση του κύματος, αλλά διαμόρφωση του ρεύματος που παράγει ο πομπός, πριν αυτό διοχετευθεί στην κεραία. Ανάλογα με τη διαμόρφωση του ρεύματος ακτινοβολείται και διαμορφωμένο ηλεκτρομαγνητικό κύμα.

Η υψηλή συχνότητα του εναλλασσόμενου ρεύματος που παράγει ο πομπός, πρέπει να είναι αυστηρά σταθερή, επειδή μεταβολή της συχνότητάς του συνεπάγεται την ίδια μεταβολή της ραδιοσυχνότητας (φέρουσας) του κύματος που ακτινοβολείται και προκαλεί δυσχέρειες στη λήψη των πληροφοριών που μεταδίδονται. Εξάλλου, η ισχύς του κύματος που εκπέμπεται, από την οποία εξαρτάται άμεσα η εμβέλεια του πομπού, είναι ανάλογη με την ένταση του ρεύματος που ο πομπός παρέχει στην κεραία.

Για να μπορεί να ανταποκριθεί στις απαιτήσεις αυτές, ένας πομπός περιλαμβάνει:

α) Τα κυκλώματα ή βαθμίδες που είναι απαραίτητα για την παραγωγή του ρεύματος σταθερής υψηλής συχνότητας και μεγάλης εντάσεως, με το οποίο τροφοδοτείται η κεραία και ακτινοβολεί το φέρον κύμα με την ίδια σταθερή υψηλή συχνότητα και μεγάλη ισχύ. Οι βαθμίδες αυτές ονομάζονται ***βαθμίδες υψηλής συχνότητας*** ή ***βαθμίδες ραδιοσυχνότητας.***

β) Τα κυκλώματα ή βαθμίδες που είναι απαραίτητα για την παραγωγή ή την ενίσχυση του εναλλασσόμενου ρεύματος ακουστικών συχνοτήτων, με το οποίο γίνεται η διαμόρφωση του εναλλασσόμενου ρεύματος ραδιοσυχνότητας. Οι βαθμίδες αυτές ονομάζονται ***βαθμίδες διαμορφώσεως*** ή ***διαμορφωτής.***

Ανάλογα με το είδος διαμορφώσεως του κύματος που εκπέμπουν, οι πομποί διακρίνονται σε πομπούς σημάτων με διαμόρφωση πλάτους, πομπούς σημάτων μονοπλευρικής ζώνης και πομπούς σημάτων με διαμόρφωση συχνότητας.

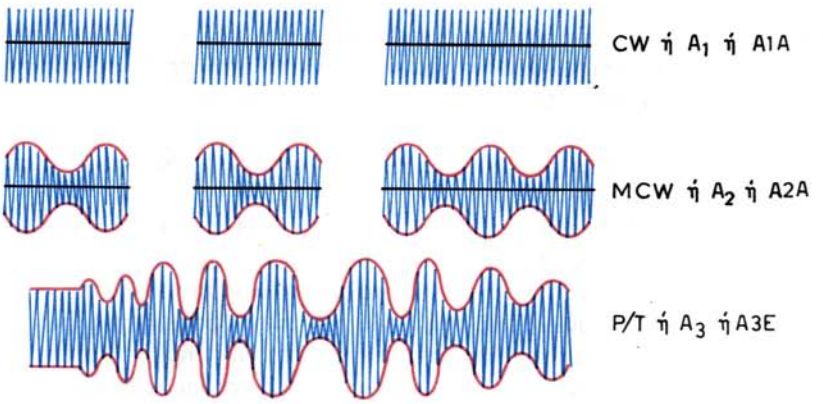
4.5.1 Πομποί σημάτων με διαμόρφωση πλάτους.

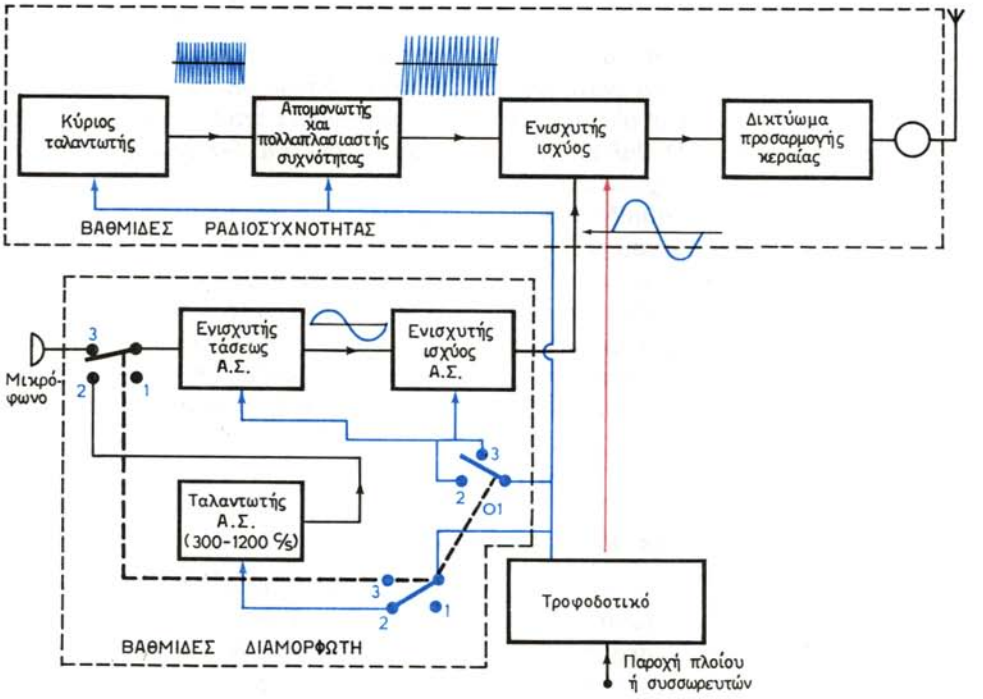
Ως πομποί σημάτων με διαμόρφωση πλάτους θεωρούνται οι πομποί ραδιοτηλεγραφίας που εκπέμπουν συντηρούμενα κύματα (CW ή A_1 ή A1A) και κύματα διαμορφωμένα με σταθερή ακουστική συχνότητα (MCW ή A_2 ή A2A) και οι πομποί ραδιοτηλεφωνίας και ραδιοφωνίας που εκπέμπουν σήματα (R/T — Voice ή A_3 ή A3E).

Στο σχήμα 4.5α φαίνεται το βασικό διάγραμμα λειτουργίας ενός τέτοιου πομπού που μπορεί να εκπέμπει ένα οποιοδήποτε είδος από τα παραπάνω σήματα, όπου διακρίνομε τις βαθμίδες ραδιοσυχνότητας και τις βαθμίδες του διαμορφωτή.

α) Οι βαθμίδες ραδιοσυχνότητας.

Στις βαθμίδες ραδιοσυχνότητας, οι οποίες ονομάζονται επίσης πομπός και παράγουν το εναλλασσόμενο ρεύμα σταθερής υψηλής συχνότητας, που είναι απαραίτητο για την εκπομπή του φέροντος κύματος, περιλαμβάνονται:





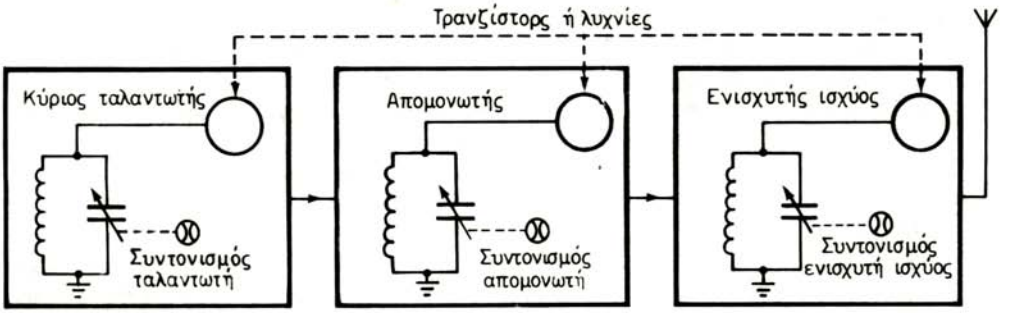
Σχ. 4.5α.

Διάταξη πομπού με διαμόρφωση πλάτους.

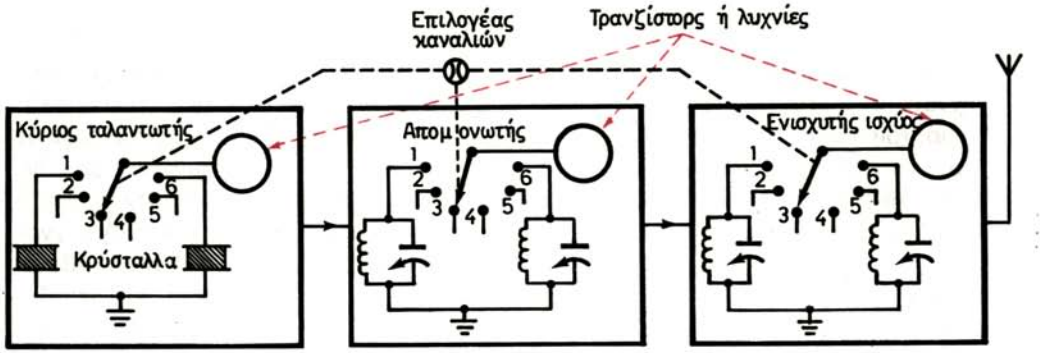
α) Όταν ο διακόπτης βρίσκεται στη θέση (1) η έξοδος του ενισχυτή ισχύος είναι CW. β) Όταν ο διακόπτης βρίσκεται στη θέση (2) η έξοδος του ενισχυτή ισχύος είναι MCW. γ) Όταν ο διακόπτης βρίσκεται στη θέση (3) η έξοδος του ενισχυτή ισχύος είναι P/T.

1) Ο κύριος ταλαντωτής.

Ο κύριος ταλαντωτής (MO — Master Osciblator) παράγει ταλαντώσεις με σταθερή υψηλή συχνότητα, ίση με τη συχνότητα εκπομπής ή ακριβές υποπολλαπλάσιό



Σχ. 4.5β.
Επιλογή κρυστάλλων ραδιοσυχνότητας και συντονισμός.



Σχ. 4.5γ.
Διάταξη επιλογής καναλιών με κρύσταλλα και προσυντονισμένα κυκλώματα.

της. Η παραγωγή των ταλαντώσεων βασίζεται στο κύκλωμα Thomson (παράλληλα συντονιζόμενο κύκλωμα LC) και η συχνότητα των ταλαντώσεων είναι ίση με την ιδιοσυχνότητα του κυκλώματος:

$$F = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$$

Όπως φαίνεται στο κύκλωμα 4.5β, ο πυκνωτής του συντονιζόμενου κυκλώματος είναι μεταβλητός, ώστε με τη μεταβολή της χωρητικότητάς του να ρυθμίζεται η συχνότητα των ταλαντώσεων που παράγει ο ταλαντωτής στη συχνότητα εκπομπής που επιθυμούμε κάθε φορά ή σε ακριβές υποπολλαπλάσιό της. Η λειτουργία του ταλαντωτή σε υποπολλαπλάσια συχνότητας εξασφαλίζει σταθερότητα συχνότητας. Η σταθερότητα της συχνότητας εξαρτάται και από το φορτίο του ταλαντωτή. Γι' αυτό και το πλάτος των ταλαντώσεων που παράγει είναι μικρό, ώστε να μην επηρεάζεται η σταθερότητα της συχνότητάς του.

Μεγαλύτερη σταθερότητα συχνότητας επιτυγχάνεται με την αντικατάσταση των συντονιζομένων κυκλωμάτων LC με πιεζοηλεκτρικά κρύσταλλα (σχ. 4.5γ).

Κάθε κρύσταλλο έχει την ιδιοσυχνότητα ταλαντώσεών του, η οποία αναγράφεται στο περίβλημά του και μπορεί να αποτελεί τη συχνότητα εκπομπής ή ακριβές υποπολλαπλάσιό της. Οι συχνότητες εκπομπής των πομπών που χρησιμοποιούν κρύσταλλα συνήθως ονομάζονται κανάλια (channels). Η αλλαγή της συχνότητας γίνεται με τη σύνδεση του αντίστοιχου κρυστάλλου στον κύριο ταλαντωτή με το διακόπτη επιλογής καναλιών (channel selector), που φαίνεται στο σχήμα 4.5γ.

2) Ο απομονωτής.

Ο απομονωτής (buffer) είναι ενισχυτής που ενισχύει το πλάτος των ασθενών ταλαντώσεων που παράγει ο κύριος ταλαντωτής, ώστε να μπορούν να διεγείρουν τον ενισχυτή ισχύος. Ταυτόχρονα απομονώνει τον κύριο ταλαντωτή από τη βαθμίδα του ενισχυτή ισχύος, ώστε να αποφεύγεται η υπερφόρτωσή του, η οποία θα προκαλούσε ανεπιθύμητη μεταβολή της συχνότητας των ταλαντώσεων που παράγει. Στους πομπούς HF, VHF και UHF, ο απομονωτής πραγματοποιεί και πολλαπλασιασμό της συχνότητας των ταλαντώσεων που παράγει ο κύριος ταλαντωτής, ώστε να εξασφαλίζεται η τόσο υψηλή συχνότητα εκπομπής. Γι' αυτό ονομάζεται και ***πολλαπλασιαστής συχνότητας*** (frequency multiplyer). Ο πολλαπλασιασμός της συχνότητας επιτυγχάνεται με τη χρησιμοποίηση των αρμονικών συχνοτήτων (διπλάσιο, τριπλάσιο κλπ.) της συχνότητας του κύριου ταλαντωτή. Η επιλογή της βασικής συχνότητας ή της κατάλληλης αρμονικής επιτυγχάνεται με το συντονισμό του συντονιζόμενου κυκλώματος LC του απομονωτή (σχ. 4.5β) στη βασική, την πρώτη ή τη δεύτερη αρμονική, οπότε αντίστοιχα εξασφαλίζεται εκπομπή στη βασική συχνότητα του ταλαντωτή, στη διπλάσια ή την τριπλάσια συχνότητα. Όταν διατίθεται επιλογέας καναλιών, γίνεται επιλογή προσυντονιζόμενου κυκλώματος LC στη βασική συχνότητα ή την κατάλληλη αρμονική της, όπως φαίνεται στο σχήμα 4.5γ.

Ένας άλλος τρόπος αυξήσεως της συχνότητας που συνηθίζεται στους πομπούς VHF και UHF είναι η ***ετεροδύνωση.*** Κατά την ετεροδύνωση, στον πολλαπλασιαστή συχνότητας, μαζί με τη συχνότητα του κύριου ταλαντωτή, συμβάλλει και δεύτερη σταθερή υψηλή συχνότητα από δεύτερο ταλαντωτή και στην έξοδο λαμβάνεται συχνότητα ίση με το άθροισμα των δυο συχνοτήτων.

3) Ο ενισχυτής ισχύος ραδιοσυχνότητας.

Ενισχυτής ισχύος ονομάζεται ο ενισχυτής, ο οποίος διεγείρεται από ταλαντώσεις με σημαντικό πλάτος τάσεως και με μικρό πλάτος ρεύματος και στην έξοδο του παρέχει τις ίδιες ταλαντώσεις με μεγάλο πλάτος ρεύματος, δηλαδή πραγματοποιεί ενίσχυση ρεύματος.

Στην είσοδο του ενισχυτή ισχύος ραδιοσυχνότητας εφαρμόζονται οι ταλαντώσεις του κύριου ταλαντωτή, μετά την ενίσχυσή τους και τον κατάλληλο πολλαπλασιασμό της συχνότητάς τους από τον απομονωτή. Έτσι, ο ενισχυτής ισχύος διεγείρεται και στην έξοδό του παρέχει μεγάλο ρεύμα στην επιθυμητή συχνότητα εκπομπής, το οποίο παρέχεται στην κεραία. Για να πραγματοποιεί τη μεγάλη ενίσχυση ρεύματος, ο ενισχυτής πρέπει να είναι συντονισμένος στη συχνότητα των ταλαντώσεων που εφαρμόζονται στην είσοδό του. Ο συντονισμός επιτυγχάνεται με το συντονιζόμενο κύκλωμα LC (σχ. 4.5β) ή με το προσυντονισμένο κύκλωμα LC που συνδέεται με τον επιλογέα καναλιών (σχ. 4.5γ).

Ο συντονισμός τόσο του απομονωτή όσο και του ενισχυτή ισχύος διαπιστώνε-

ται με τη μέγιστη ή την ελάχιστη ένδειξη αμπερομέτρου που φέρει ο καθένας, ανάλογα με τη σύνδεσή τους, την οποία μπορούμε να πληροφορηθούμε από το εγχειρίδιο οδηγιών.

4) Το δικτύωμα προσαρμογής της κεραίας.

Το δικτύωμα προσαρμογής της κεραίας (antenna maching network) είναι απαραίτητο, ειδικά στους πομπούς των πλοίων που εκπέμπουν σε πολλές συχνότητες χρησιμοποιώντας την ίδια κεραία (βλ. παράγρ. 4.2). Η βαθμίδα αυτή περιέχει μεταβλητό πηνίο σε σειρά με την κεραία και μεταβλητό πυκνωτή σε παράλληλη σύνδεση. Με τη ρύθμισή τους επιτυγχάνεται η προσαρμογή της κεραίας ίδιου μήκους στα διάφορα μήκη κύματος που αντιστοιχούν στις διάφορες συχνότητες εκπομπής. Η προσαρμογή (συντονισμός της κεραίας) διαπιστώνεται από τη μέγιστη ένδειξη αμπερομέτρου που μετρά το ρεύμα κεραίας (antenna current).

Με τα κυκλώματα ραδιοσυχνότητας είναι δυνατή η εκπομπή σημάτων τηλεγραφίας (CW ή A_1 ή A1A), η οποία εξασφαλίζεται με την αποκατάσταση και τη διακοπή της λειτουργίας τους σύμφωνα με τον κώδικα Morse, με χειριστήριο.

β) Ο διαμορφωτής.

Ο διαμορφωτής (modulator) είναι απαραίτητος για την εκπομπή σημάτων με διαμόρφωση πλάτους, τηλεγραφίας MCW (A_2 ή A2A) και ραδιοτηλεφωνίας ή ραδιοφωνίας (A_3 ή A3E) και αποτελείται από:

1) Τον ενισχυτή τάσεως ακουστικών συχνοτήτων.

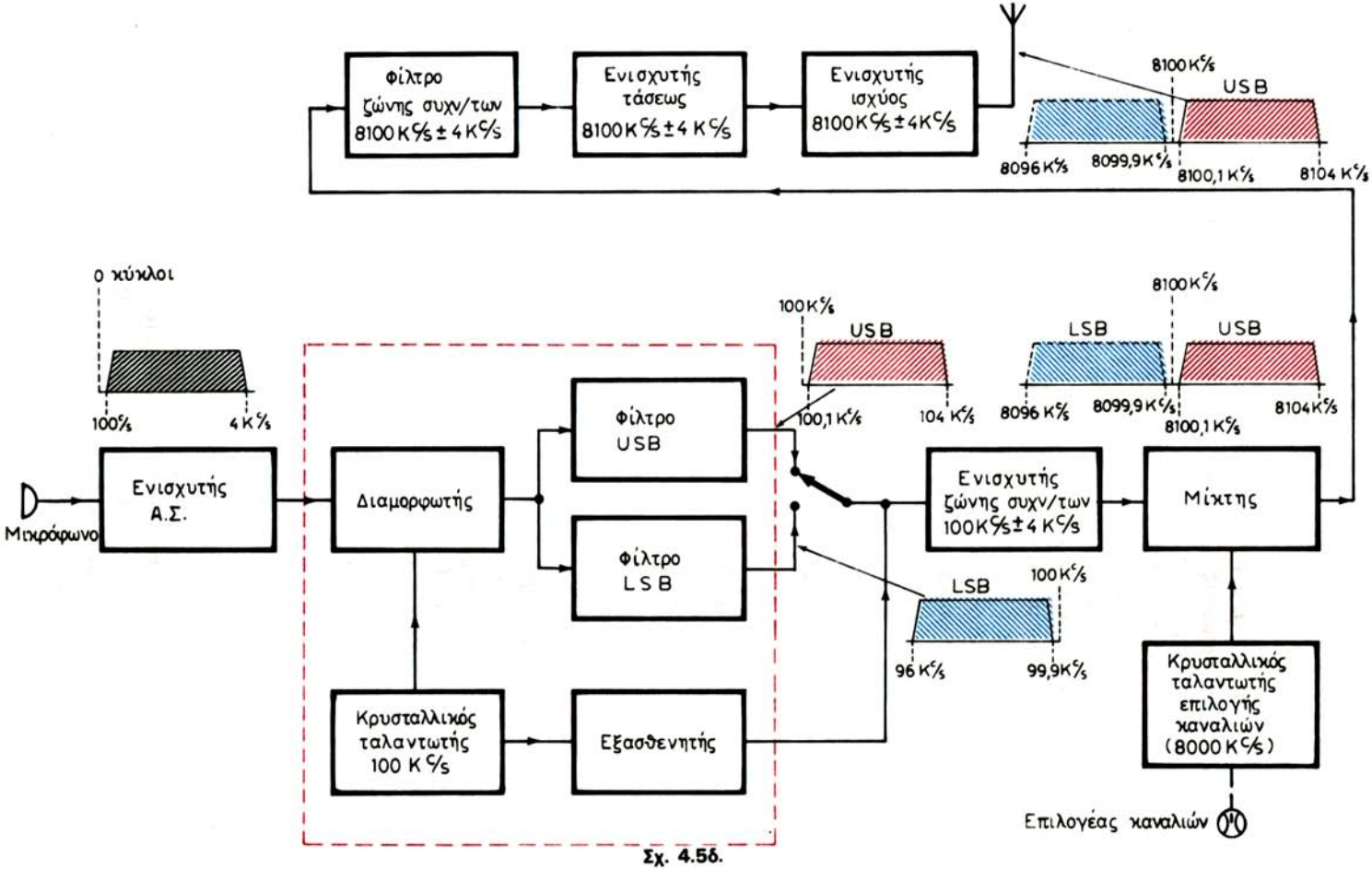
Ο ενισχυτής τάσεως ακουστικών συχνοτήτων (audio frequency voltage amplifier) λαμβάνει την ασθενή τάση σήματος που προκύπτει από το μικρόφωνο, το οποίο έχει συχνότητα αντίστοιχη με τη συχνότητα των ηχητικών κυμάτων που προσπίπτουν σ' αυτό. Ενισχύει την τάση αυτή, ώστε να αποκτήσει σημαντικό πλάτος και να μπορεί να διεγείρει τον ενισχυτή ισχύος ακουστικών συχνοτήτων.

2) Τον ενισχυτή ισχύος ακουστικών συχνοτήτων.

Ο ενισχυτής ισχύος ακουστικών συχνοτήτων (audio frequency power amplifier) ενισχύει το σήμα ακουστικών συχνοτήτων ως προς την ισχύ, ώστε να αποκτήσει σημαντικό πλάτος ρεύματος. Το ρεύμα αυτό οδηγείται στον ενισχυτή ισχύος ραδιοσυχνότητας και μεταβάλλει το πλάτος του ρεύματος ραδιοσυχνότητας. Έτσι, το ρεύμα ραδιοσυχνότητας που παρέχεται στην κεραία μεταβάλλεται με το ρυθμό των ακουστικών συχνοτήτων που παράγονται από το μικρόφωνο και ακτινοβολείται διαμορφωμένο κύμα, με το οποίο μεταδίδονται οι ακουστικές συχνότητες.

3) Τον ταλαντωτή ακουστικών συχνοτήτων.

Ο ταλαντωτής ακουστικών συχνοτήτων (audio frequency oscillator) λειτουργεί όταν οι επαφές των τριών ομοαξονικών διακοπτών (σχ. 4.5α) βρίσκονται στη θέση (2). Έτσι, αντί των ακουστικών συχνοτήτων του μικροφώνου, στους ενισχυτές παρέχεται η σταθερή ακουστική συχνότητα που παράγει ο ταλαντωτής. Με τη συχνότητα αυτή διαμορφώνεται το ρεύμα ραδιοσυχνότητας και, με αποκατάσταση και διακοπή της λειτουργίας των βαθμίδων ραδιοσυχνότητας σύμφωνα με τον κώδικα Morse, γίνεται η εκπομπή MCW. Σημειώνεται ότι, κατά τη λειτουργία του



Σχ. 4.5δ.

Βασικό διάγραμμα λειτουργίας πομπού FM.

ΙΔΡΥΜΑ ΕΥΓΕΝΙΔΟΥ 1954

πομπού σε P/T, η αποκατάσταση της λειτουργίας των βαθμίδων ραδιοσυχνότητας και του διαμορφωτή γίνεται με πίεση διακόπτη που φέρει το μικρόφωνο (press to talk).

Το τροφοδοτικό λαμβάνει την τάση του πλοίου ή την τάση συσσωρευτών και παράγει τις τάσεις που είναι απαραίτητες για τη λειτουργία των παραπάνω βαθμίδων του πομπού.

4.5.2 Πομποί μονοπλευρικής εκπομπής.

Η συγκρότηση των βαθμίδων και η λειτουργία των πομπών μονοπλευρικής ζώνης (SSB) διαφέρουν ριζικά από αυτή των πομπών διπλευρικής ζώνης (DSB) που είδαμε στην προηγούμενη παράγραφο. Η βασικότερη διαφορά είναι ότι η διαμόρφωση πλάτους δεν γίνεται στη συχνότητα εκπομπής στη βαθμίδα του ενισχυτή ισχύος, αλλά σε μια χαμηλότερη συχνότητα, συνήθως 100 k, και σε προηγούμενη βαθμίδα.

Στο σχήμα 4.5δ φαίνεται το βασικό διάγραμμα λειτουργίας πομπού SSB. Η ζώνη ακουστικών συχνοτήτων (100 c/s — 4 kc/s), που παράγεται από το μικρόφωνο, ενισχύεται από τον ενισχυτή ΑΣ και οδηγείται στο διαμορφωτή. Στο διαμορφωτή εισέρχεται και η σταθερή συχνότητα που παράγεται από τον κρυσταλλικό ταλαντωτή. Από τη διαμόρφωση της συχνότητας 100 kc/s με τη ζώνη ακουστικών συχνοτήτων προκύπτει η ζώνη συχνοτήτων 96 kc/s — 104 kc/s με κεντρική (φέρουσα) συχνότητα τους 100 kc/s. Τα φίλτρα της USB και της LSB επιτρέπουν τη διέλευση των αντιστοίχων ζωνών 100,1 — 104 kc/s και 96 — 99,9 kc/s και, ανάλογα με τη θέση του διακόπτη στην είσοδο του ενισχυτή 100 kc/s ± 4 kc/s, οδηγείται η USB ή η LSB. Με τον εξασθενητή οδηγείται στην είσοδο του ίδιου ενισχυτή η συχνότητα 100 kc/s με κατάλληλο πλάτος και αντίθετη φάση, ώστε να αποκόπτεται ή να περιορίζεται κατά κατάλληλο ποσοστό η φέρουσα. Η διάταξη του κρυσταλλικού ταλαντωτή 100 kc/s, του διαμορφωτή των φίλτρων USB και LSB και του εξασθενητή ονομάζεται ***γεννήτρια SSB.***

Στη θέση που βρίσκεται ο διακόπτης, από την έξοδο των φίλτρων λαμβάνεται η USB, η οποία ενισχύεται από τον ενισχυτή ζώνης συχνοτήτων 100 kc/s ± 4 kc/s και οδηγείται στο μίκτη. Στο μίκτη οδηγείται και η σταθερή υψηλή συχνότητα, η οποία είναι μικρότερη από την αποκομμένη φέρουσα της ζώνης εκπομπής κατά 100 kc/s, δηλαδή τη συχνότητα της γεννήτριας SSB, και στο παράδειγμά μας είναι 8000 kc/s (8 Mc/s). Από την ετεροδύνωση των 8000 kc/s με την USB (100,1 — 104 kc/s), οι ακραίες συχνότητες της USB αυξάνονται κατά τους 8000 kc/s και λαμβάνουν τις τιμές 8100, 1 — 8104 kc/s), στις οποίες θα εκπεμφθούν. Η USB (8100, 1 — 8104 kc/s) μέσω του φίλτρου ζώνης συχνοτήτων 8100 kc/s ± 4 kc/s οδηγείται στους ενισχυτές, όπου ενισχύεται αντίστοιχα σε τάση και σε ρεύμα (ισχύς). Το ρεύμα που προκύπτει από την ενίσχυση οδηγείται στην κεραία, από την οποία ακτινοβολείται ηλεκτρομαγνητικό κύμα στην USB.

Όταν ο διακόπτης στην έξοδο των φίλτρων βρεθεί στη θέση LSB, με την ίδια διαδικασία θα εκπέμπεται η LSB με όρια 8096 — 8099,9 kc/s.

Ο επιλογέας καναλιών αλλάζει κρύσταλλα στον ταλαντωτή επιλογής καναλιών, ώστε από την ετεροδύνωση της συχνότητας που θα παράγει με την USB ή την

LSB της γεννήτριας SSB να προκύπτει εκπομπή τους με διαφορετικές ακραίες συχνότητες. Επίσης, με τον επιλογέα καναλιών επιλέγονται τα φίλτρα που ακολουθούν και τα προσυντονισμένα κυκλώματα LC των ενισχυτών, ώστε να ανταποκρίνονται στις ακραίες συχνότητες των δυο ζωνών του καναλιού που χρησιμοποιείται κάθε φορά.

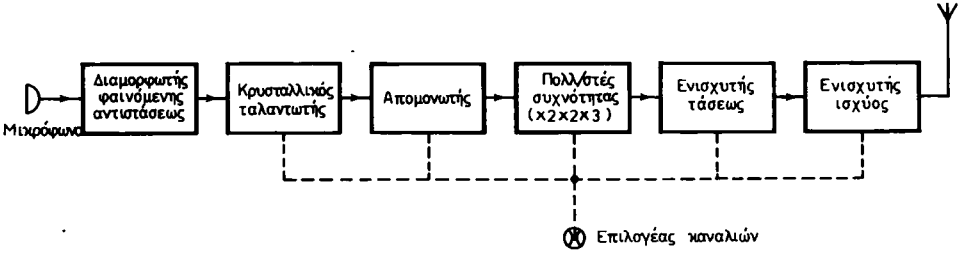
Σημειώνεται ότι σε ορισμένους πομπούς ο ενισχυτής ΑΣ ενισχύει ζώνη συχνοτήτων 0,3 — 3 kc/s, οπότε οι ζώνες USB και LSB που προκύπτουν από τη γεννήτρια SSB με την ίδια διαδικασία θα εκπεμφθούν και θα έχουν το ίδιο μικρότερο πλάτος. Το μικρότερο πλάτος ζώνης παρουσιάζει το μειονέκτημα της κακής πιστότητας στη φωνή που μεταδίδεται και το πλεονέκτημα της λειτουργίας μεγαλύτερου αριθμού σταθμών στην ίδια περιοχή συχνοτήτων, μέχρι 25%.

Στη μετάδοση σημάτων τηλετυπίας με SSB, η USB και η LSB έχουν πλάτος μικρότερο από 200 c/s.

4.5.3 Πομποί FM.

Βασική διαφορά των πομπών FM, σε σύγκριση με τους πομπούς AM, είναι ότι η διαμόρφωση δεν γίνεται στον ενισχυτή ισχύος υψηλών συχνοτήτων, αλλά στον ταλαντωτή, ο οποίος λειτουργεί σε συχνότητα υποπολλαπλάσια της συχνότητας εκπομπής. Έτσι, κατά τον πολλαπλασιασμό της συχνότητας με τη χρησιμοποίηση αρμονικών, πολλαπλασιάζεται και η ζώνη συχνοτήτων. Αν για παράδειγμα γίνεται πολλαπλασιασμός της συχνότητας που παράγει ο ταλαντωτής επί 12 και η συχνότητα εκπομπής είναι 156 Mc/s, η συχνότητα του ταλαντωτή θα είναι 156 Mc/s : 12 = 13 Mc/s. Αν λόγω της διαμορφώσεως η συχνότητα του ταλαντωτή μεταβάλλεται κατά ± 5 kc/s, η ζώνη συχνοτήτων που θα παράγεται από αυτόν θα είναι 12,995 έως 13,005 Mc/s και από τον πολλαπλασιασμό της επί 12 θα εκπέμπεται ζώνη συχνοτήτων 155,94 έως 156,06 Mc/s, δηλαδή ζώνη 120 kc/s.

Στο σχήμα 4.5ε φαίνεται τυπικό βασικό διάγραμμα λειτουργίας πομπού FM. Ο κρυσταλλικός ταλαντωτής παράγει σταθερή συχνότητα, η οποία μπορεί να είναι από υποδεκαπλάσια μέχρι υποεικοσαπλάσια της συχνότητας εκπομπής. Ο διαμορφωτής φαινόμενης αντιστάσεως συνδέεται στον κρυσταλλικό ταλαντωτή και, ανάλογα με την τιμή της φαινόμενης αντιστάσεως που παρουσιάζει, μεταβάλλει τη συχνότητα του ταλαντωτή. Όταν στο διαμορφωτή δεν εφαρμόζεται σήμα ακουστικής συχνότητας, η φαινόμενη αντίσταση που παρουσιάζει είναι σταθερή και δεν



Σχ. 4.5ε.
Βασικό διάγραμμα λειτουργίας πομπού SSB.

προκαλείται μεταβολή συχνότητας. Όταν εφαρμόζεται σήμα ακουστικής συχνότητας από το μικρόφωνο, η φαινόμενη αντίσταση του διαμορφωτή αυξομειώνεται με το ρυθμό της και προκαλεί αντίστοιχη αυξομείωση της συχνότητας του ταλαντωτή.

Ο απομονωτής είναι ενισχυτής τάσεως και ενισχύει τις διαμορφωμένες κατά συχνότητα ταλαντώσεις, ενώ απομονώνει τον ταλαντωτή από τις βαθμίδες που ακολουθούν, για να μην τον υπερφορτώνουν και να μεταβάλλεται ανεπιθύμητα η συχνότητά του. Ακολουθούν τρεις ή και περισσότερες βαθμίδες πολλαπλασιασμού ραδιοσυχνότητας και της ζώνης συχνοτήτων, οι οποίες είναι ενισχυτές τάσεως. Αν για παράδειγμα γίνεται πολλαπλασιασμός της συχνότητας του ταλαντωτή επί 12, θα χρησιμοποιούνται τρεις βαθμίδες, που θα πολλαπλασιάζουν αντίστοιχα $\times 2 \times 2 \times 3 = 12$. Όταν η συχνότητα του ταλαντωτή είναι 13 Mc/s $\pm$ 5 kc/s λόγω διαμορφώσεως κατά συχνότητα, στις εξόδους των τριών βαθμίδων πολλαπλασιασμού συχνότητας θα έχομε αντίστοιχα:

$$13 \text{ Mc/s} \pm 5 \text{ kc/s} \times 2 = 26 \text{ Mc/s} \pm 10 \text{ kc/s} \times 2 = 52 \text{ Mc/s} \pm 20 \text{ kc/s} \times 3 = 156 \text{ Mc/s} \pm 60 \text{ kc/s}$$

Η κεντρική συχνότητα με τη ζώνη συχνοτήτων, που προκύπτει από την έξοδο του τελευταίου πολλαπλασιαστή, ενισχύεται από τους ενισχυτές τάσεως και ισχύος που ακολουθούν και το σημαντικό ρεύμα που προκύπτει διοχετεύεται στην κεραία. Αυτή ακτινοβολεί ηλεκτρομαγνητικό κύμα με την αντίστοιχη κεντρική (φέρουσα) συχνότητα και με τις ίδιες πλευρικές ζώνες σε διαμόρφωση συχνότητας.

Με τον επιλογέα καναλιών γίνεται η επιλογή του κατάλληλου κρυστάλλου στον ταλαντωτή και καταλλήλων προσυντονισμένων κυκλωμάτων στις υπόλοιπες βαθμίδες, όπως φαίνεται στο σχήμα 4.5γ του πομπού ΑΜ.

4.6 Δέκτες.

Κάθε ηλεκτρομαγνητικό κύμα που προσπίπτει στην κεραία του δέκτη, επάγει σ' αυτή μια ασθενή εναλλασσόμενη τάση, που ονομάζεται ***τάση σήματος*** ή ***σήμα.*** Κάθε τέτοιο σήμα έχει συχνότητα ίση με τη συχνότητα του κύματος και πλάτος ανάλογο με την ισχύ του κύματος, το οποίο κυμαίνεται από κλάσμα του μV μέχρι λίγα mV. Το πλάτος του σήματος εξαρτάται και από τη σχέση του μήκους της κεραίας με το μήκος κύματος (συντονισμός). Όταν το κύμα είναι διαμορφωμένο και περιλαμβάνει πλευρικές συχνότητες, ανάλογα με το είδος διαμορφώσεώς του, το σήμα που επάγεται στην κεραία παρουσιάζει την ίδια διαμόρφωση και περιλαμβάνει τις ίδιες πλευρικές συχνότητες. Έτσι, στην είσοδο του δέκτη εμφανίζεται πλήθος σημάτων και καθένα από αυτά χαρακτηρίζεται από τη συχνότητά του, από το είδος της διαμορφώσεώς του και από τις πλευρικές συχνότητες.

Με κριτήριο τη συχνότητα, ο δέκτης επιλέγει το ασθενές σήμα του πομπού που επιθυμούμε να ακούσομε, το ενισχύει και αναπαράγει τις ακουστικές συχνότητες με τις οποίες είναι διαμορφωμένο και αποτελούν μαζί το είδος της πληροφορίας που μεταφέρεται με το κύμα. Ανάλογα με τα είδη σημάτων που μπορούν να λαμβάνουν, διακρίνομε τους δέκτες ΑΜ (DSB), τους δέκτες SSB και τους δέκτες FM.

Ανεξάρτητα από το είδος του, η ποιότητα του δέκτη διακρίνεται από τα παρακάτω χαρακτηριστικά:

α) Την ευαισθησία.

Ως ευαισθησία (sensitivity) του δέκτη εννοείται η ελάχιστη τάση σήματος, που πρέπει να εφαρμόζεται στην είσοδό του, για να προκύψει ορισμένη ισχύς του ίδιου σήματος στην έξοδο του δέκτη. Η ευαισθησία εκφράζεται σε μV και εξαρτάται από τον αριθμό και την ποιότητα των ενισχυτικών βαθμίδων του δέκτη. Η ορισμένη ισχύς εξόδου ποικίλλει στους διάφορους τύπους δεκτών και κυμαίνεται από 0,05 έως 0,5 W.

β) Την επιλεκτικότητα.

Ως επιλεκτικότητα (selectivity) εννοείται η ικανότητα του δέκτη να διαχωρίζει την επιθυμητή συχνότητα ή την επιθυμητή ζώνη συχνοτήτων από τις γειτονικές συχνότητες (αμέσως χαμηλότερες και υψηλότερες από την επιθυμητή ζώνη). Κακή επιλεκτικότητα συνεπάγεται ταυτόχρονη λήψη μέρους της ζώνης συχνοτήτων πομπών που λειτουργούν στις αμέσως γειτονικές συχνότητες. Η επιλεκτικότητα εκφράζεται ως το εύρος της ζώνης συχνοτήτων, όπου η ενίσχυση ελαττώνεται στο 0,7 της μέγιστης ενισχύσεως (κατά 3 db), την οποία πραγματοποιεί ο δέκτης στην κεντρική (φέρουσα) συχνότητα της ζώνης. Αυτή εξαρτάται από το συντελεστή ποιότητας (Q= Lω/R) των συντονισμένων κυκλωμάτων LC, που χρησιμοποιούν οι βαθμίδες ενισχύσεως και από τον αριθμό των βαθμίδων ενισχύσεως του δέκτη.

γ) Την πιστότητα.

Ως πιστότητα (fidelity) εννοείται η ικανότητα του δέκτη να ενισχύει ολόκληρη τη ζώνη του διαμορφωμένου σήματος που λαμβάνεται και από την αποδιαμόρφωση να προκύπτουν όλες οι συχνότητες που περιέχονται σ' αυτό, ώστε από το μεγάφωνο να αναπαράγονται όλα τα χαρακτηριστικά του ήχου. Η καλή πιστότητα έχει μεγάλη σημασία στους ραδιοφωνικούς δέκτες και ειδικότερα για τη λήψη προγραμμάτων μουσικής, ενώ η σημασία της περιορίζεται στους δέκτες ραδιοτηλεφωνίας και ακόμη περισσότερο στους δέκτες ραδιοτηλεγραφίας (A1A και A2A), επειδή οι πλευρικές ζώνες έχουν μικρότερο εύρος ή δεν υπάρχουν.

Η βελτίωση της πιστότητας απαιτεί επιλογή και ενίσχυση μεγαλύτερης ζώνης συχνοτήτων ή αλλιώς ***ζώνης διελεύσεων*** (pass-band), που συνεπάγεται ελάττωση της επιλεκτικότητας του δέκτη.

δ) Το λόγο σήματος προς το θόρυβο.

Ο λόγος σήματος προς το θόρυβο (signal to noise radio), είναι ο λόγος της τάσεως του σήματος εξόδου του δέκτη προς την ανεπιθύμητη τάση θορύβου στην έξοδο, η οποία δημιουργείται στις βαθμίδες του δέκτη. Η τάση θορύβου δημιουργεί ενοχλητικό θόρυβο στους δέκτες αναπαραγωγής ήχου και ακαθόριστα οπτικά στίγματα στους δέκτες οπτικών ενδείξεων (χιόνι στην τηλεόραση, χλόη στο ραντάρ κλπ.), που δυσχεραίνουν τη διάκριση των σημάτων που λαμβάνονται.

Ο θόρυβος μπορεί να οφείλεται:

— Σε ανομοιόμορφη έκλυση ηλεκτρονίων από τις καθόδους των ενισχυτριών λυχνιών ή ακαθόριστη μεταβολή της αγωγιμότητας και των φορέων μειονότητας των τρανζίστορς λόγω μεταβολής της θερμοκρασίας και των τάσεων τροφοδοτήσεως.

— Σε άτακτη κίνηση των ηλεκτρονίων στα διάφορα εξαρτήματα, κυρίως στις αντιστάσεις, λόγω μεταβολής της θερμοκρασίας (θερμικός θόρυβος).
— Σε κακή εξομάλυνση των συνεχών τάσεων που παρέχουν τα ανορθωτικά, για την τροφοδότηση των ενισχυτικών βαθμίδων.

Κατά τη σχεδίαση και την κατασκευή των δεκτών, λαμβάνεται μέριμνα να μη δημιουργούνται θόρυβοι στις πρώτες βαθμίδες τους, επειδή αυτοί θα ενισχύονται από τις βαθμίδες που ακολουθούν και θα αποκτούν πλάτος συγκρίσιμο με το πλάτος του σήματος. Εξάλλου, λόγω των θορύβων, δεν είναι δυνατή η απεριόριστη αύξηση της ευαισθησίας των δεκτών με την προσθήκη περισσοτέρων βαθμίδων ενισχύσεως, επειδή κάθε βαθμίδα που προστίθεται, εκτός από το σήμα, ενισχύει και τους θορύβους.

4.6.1 Δέκτης σημάτων ΑΜ.

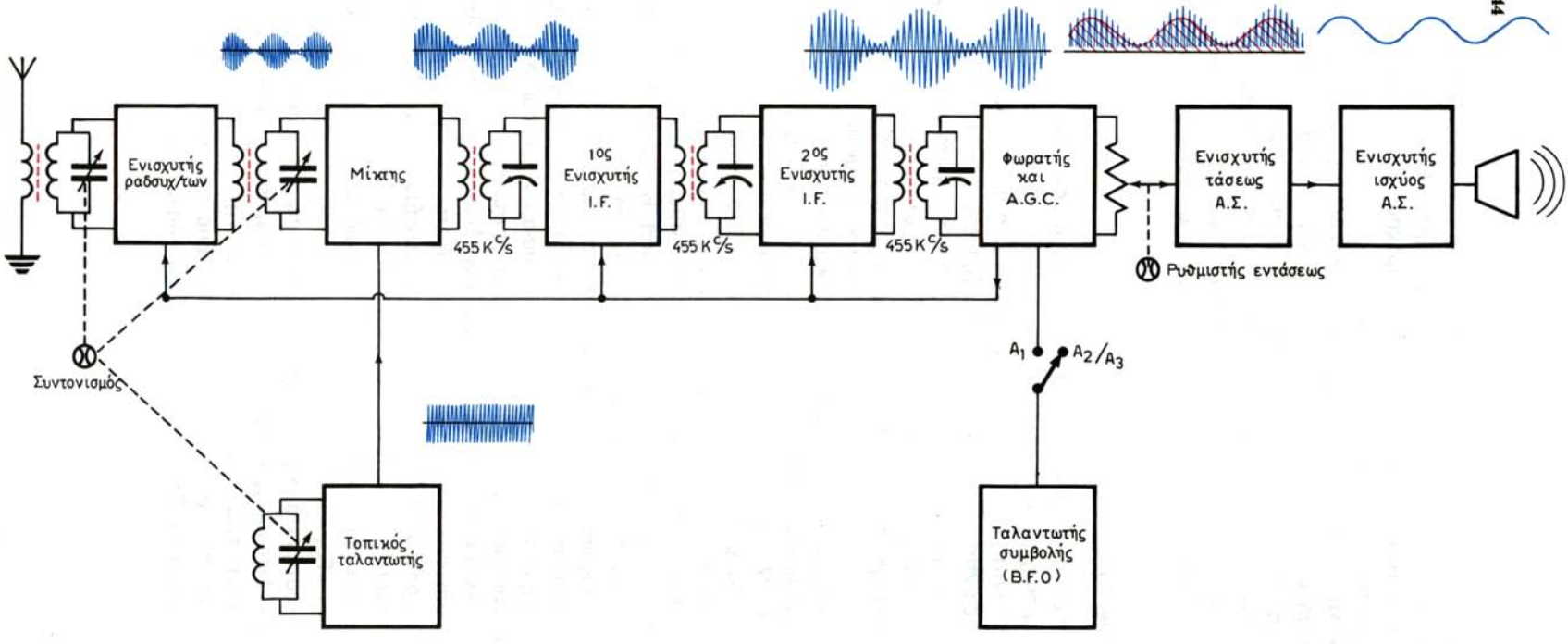
Στο σχήμα 4.6α φαίνεται το βασικό διάγραμμα λειτουργίας δέκτη, που μπορεί να λαμβάνει σήματα διαμορφωμένα κατά πλάτος.

Τα σήματα που επάγονται στην κεραία κυκλοφορούν στο πρωτεύον του μετασχηματιστή ρεύματα με αντίστοιχες συχνότητες. Στο δευτερεύον του μετασχηματιστή όμως, το οποίο με το μεταβλητό πυκνωτή αποτελεί συντονιζόμενο κύκλωμα, αναπτύσσεται και οδηγείται στη λυχνία ή το τρανζίστορ του ενισχυτή ραδιοσυχνότητας μόνο το σήμα, που έχει φέρουσα συχνότητα ίση με την ιδιοσυχνότητα του κυκλώματος $F_0 = 1/2\ \pi\sqrt{LC}$. Έτσι, συντονίζοντας το κύκλωμα στην επιθυμητή συχνότητα λήψεως, το ασθενές σήμα της οδηγείται στον ενισχυτή ραδιοσυχνότητας και ενισχύεται, ενώ τα σήματα διαφορετικών συχνοτήτων δεν οδηγούνται στον ενισχυτή ραδιοσυχνότητας και εξασφαλίζεται η επιλογή.

Το σήμα αυτό, οδηγείται με τον ίδιο επαγωγικό τρόπο στο μίκτη ή μεταλλάκτη συχνότητας, όπου το συντονιζόμενο κύκλωμα βελτιώνει την επιλεκτικότητα. Στο μίκτη συμβάλλει και ένα σήμα σταθερού πλάτους και σταθερής συχνότητας, το οποίο παράγεται από τον τοπικό ταλαντωτή (local oscillator). Η συχνότητα του σήματος του τοπικού ταλαντωτή διαφέρει (συνήθως είναι μεγαλύτερη) από την επιθυμητή συχνότητα λήψεως κατά μία σταθερή συχνότητα, που ονομάζεται ***ενδιάμεση συχνότητα*** (IF — Intermediate Frequency) του δέκτη και συνήθως είναι ίση με 455 kc/s. Η ενδιάμεση συχνότητα είναι αυτή, στην οποία είναι μόνιμα συντονισμένοι και την οποία ενισχύουν οι ενισχυτές ενδιάμεσης συχνότητας (IF amplifiers) που ακολουθούν. Η τιμή της καθορίζεται από την ιδιοσυχνότητα των προσυντονισμένων κυκλωμάτων εισόδου των ενισχυτών IF και του φωρατή.

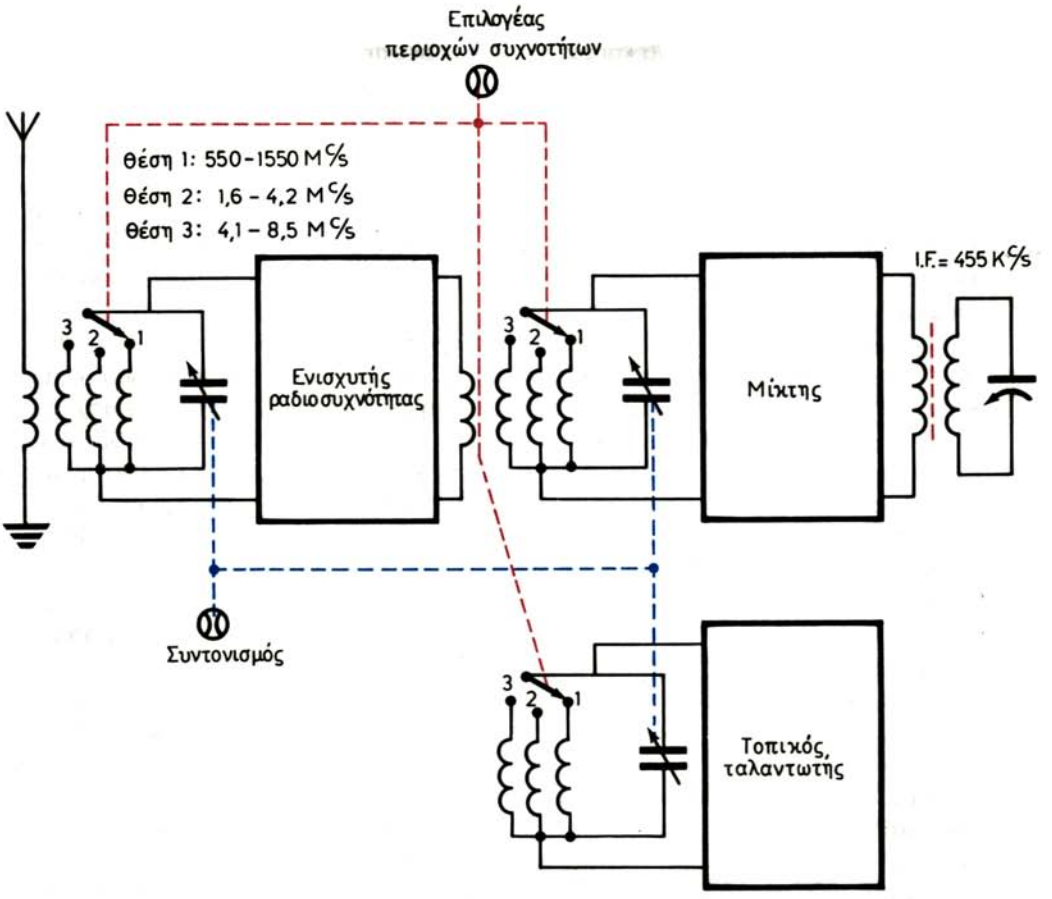
Από τη συμβολή (ετεροδύνωση ή μίξη) των δυο συχνοτήτων στην έξοδο του μίκτη, εκτός από τις δυο αυτές συχνότητες, προκύπτουν και τα διακροτήματά τους, δηλαδή δυο συχνότητες ίσες με το άθροισμα και τη διαφορά των δυο συχνοτήτων που συμβάλλουν: $F_1 = F_\lambda + F_{TT}$ και $F_2 = F_\lambda - F_{TT} = IF$.

Οι συχνότητες - διακροτήματα παρουσιάζουν τη διαμόρφωση πλάτους της συχνότητας λήψεως με τις ίδιες πλευρικές συχνότητες. Επειδή τα προσυντονισμένα κυκλώματα στην είσοδο των ενισχυτών IF έχουν ιδιοσυχνότητα ίση με την IF, από τους ενισχυτές επιλέγεται και ενισχύεται η διαφορά των δυο συχνοτήτων. Έτσι, η υψηλή συχνότητα λήψεως υποβιβάζεται στη σχετικά χαμηλή ενδιάμεση συχνότητα του δέκτη.



Σχ. 4.6α.
Βασικό διάγραμμα λειτουργίας δέκτη σημάτων ΑΜ.

ΙΔΡΥΜΑ ΕΥΓΕΝΙΔΟΥ · 1954



Σχ. 4.6β.
Διάταξη επιλογής περιοχών συχνοτήτων υπερετερόδυνου δέκτη.

Η επιλογή οποιασδήποτε συχνότητας λήψεως και ο υποβιβασμός της στην ενδιάμεση συχνότητα του δέκτη επιτυγχάνεται με το συντονισμό του ενισχυτή ραδιοσυχνότητας και του μίκτη στη συχνότητα αυτή, καθώς και του τοπικού ταλαντωτή σε συχνότητα μεγαλύτερη από αυτή κατά την ενδιάμεση συχνότητα του δέκτη. Ο συντονισμός αυτός επιτυγχάνεται με τους τρεις ομοαξονικούς μεταβλητούς πυκνωτές των τριών συντονιζομένων κυκλωμάτων που ρυθμίζονται με το ***ρυθμιστή συντονισμού*** (tuning) του δέκτη. Από τον ίδιο άξονα παίρνει κίνηση και η ενδεικτική βελόνα, η οποία δείχνει την κάθε φορά συχνότητα συντονισμού του δέκτη στο καντράν συχνοτήτων ή και το αντίστοιχο μήκος κύματος. Στα ίδια κυκλώματα επενεργεί και ο επιλογέας περιοχών συχνοτήτων που είναι περισσότερο γνωστός ως διακόπτης κυμάτων (σχ. 4.6β). Αυτός αποτελείται από τρεις ομοαξονικούς διακόπτες ή πλήκτρα που συνδέουν τα κατάλληλα πηνία παράλληλα με τους

τρεις ομοαξονικούς μεταβλητούς πυκνωτές του ρυθμιστή συντονισμού. Όταν ο δέκτης λειτουργεί σε κανάλια και όχι σε ολόκληρες περιοχές συχνοτήτων, ο διακόπτης επιλογής καναλιών συνδέει στον τοπικό ταλαντωτή το κατάλληλο κρύσταλλο και στον ενισχυτή ραδιοσυχνότητας και το μίκτη προσυντονισμένα κυκλώματα στις φέρουσες των καναλιών, κατά τρόπο παρόμοιο με αυτό του σχήματος 4.5γ.

Σε ορισμένους δέκτες, για λόγους μικρότερου κόστους, παραλείπεται η βαθμίδα του ενισχυτή ραδιοσυχνότητας και η κεραία συνδέεται στην είσοδο του μίκτη. Η παράλειψη της βαθμίδας αυτής συνεπάγεται ελάττωση της ευαισθησίας και της επιλεκτικότητας του δέκτη, ενώ επιτρέπει και τη λήψη της ***συχνότητας είδωλο*** (image frequency).

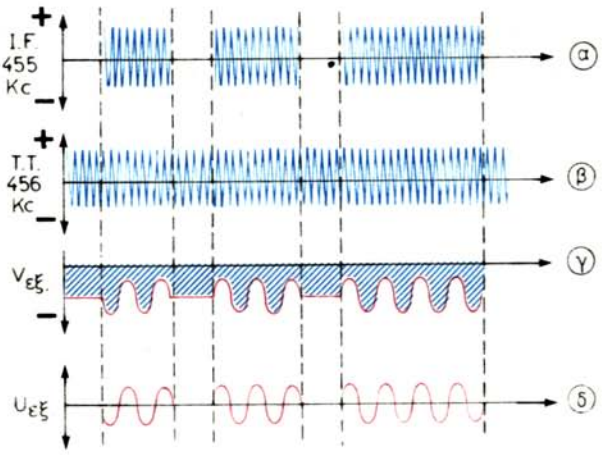
Η συχνότητα είδωλο είναι ανεπιθύμητη συχνότητα, μεγαλύτερη από την επιθυμητή συχνότητα λήψεως, στην οποία συντονίζεται ο δέκτης, κατά το διπλάσιο της ενδιάμεσης συχνότητας. Δηλαδή αν η ενδιάμεση συχνότητα δέκτη χωρίς ενισχυτή ραδιοσυχνότητας είναι 455 kc/s και αυτός συντονισθεί στη συχνότητα 1000 kc/s, η συχνότητα του τοπικού ταλαντωτή θα είναι $F_{TT} = F_{\lambda} + IF = 1455$ kc/s. Αν ταυτόχρονα στην κεραία επάγεται και σήμα 1910 kc/s, αυτό οδηγείται στο μίκτη και από την ετεροδύνωσή του με τη συχνότητα του τοπικού ταλαντωτή, προκύπτει διαφορά 1910 kc/s − 1455 kc/s = 455 kc/s = IF. Έτσι, η συχνότητα είδωλο υποβιβάζεται στην IF του δέκτη και ενισχύεται από τους ενισχυτές IF που ακολουθούν. Ο ενισχυτής ραδιοσυχνότητας όμως δεν επιτρέπει στη συχνότητα είδωλο να φθάσει στο μίκτη, οπότε με την ύπαρξή του αποφεύγεται η λήψη της.

Ακόμη ο ενισχυτής ραδιοσυχνότητας δεν επιτρέπει στο σήμα του τοπικού ταλαντωτή να φθάσει στην κεραία και να εκπεμφθεί, οπότε ο δέκτης θα μετατρεπόταν σε ενοχλητικό πομπό μικρής εμβέλειας.

Σημειώνεται ότι σε πολλούς δέκτες μεγάλων απαιτήσεων γίνεται ετεροδύνωση της σταθερής ενδιάμεσης συχνότητας με τη συχνότητα δεύτερου τοπικού ταλαντωτή και το σήμα λήψεως υποβιβάζεται σε δεύτερη μικρότερη σταθερή ενδιάμεση συχνότητα (60 έως 100 kc/s). Με τη δεύτερη ενδιάμεση συχνότητα εξασφαλίζεται μεγαλύτερη βελτίωση της επιλεκτικότητας του δέκτη.

Μετά την ενίσχυσή του στους ενισχυτές IF, το σήμα ενδιάμεσης συχνότητας που περιέχει τις πλευρικές συχνότητες της συχνότητας λήψεως οδηγείται στο φωρατή (detector) για φώραση. Κατά τη φώραση γίνεται ανόρθωση της ενδιάμεσης συχνότητας και από την εξομάλυνση των θετικών ή των αρνητικών ημιπεριόδων προκύπτουν οι μεταβολές πλάτους, δηλαδή οι ακουστικές συχνότητες που αντιστοιχούν στη διαμόρφωση πλάτους του σήματος λήψεως. Οι ακουστικές συχνότητες ενισχύονται στους ενισχυτές τάσεως και ισχύος ΑΣ και από την ενίσχυσή τους προκύπτει σημαντικό ρεύμα, με το οποίο τροφοδοτείται το μεγάφωνο και αναπαράγει τον ήχο. Με τη ρύθμιση του ποτενσιομέτρου που ονομάζεται ρυθμιστής εντάσεως (volume), λαμβάνεται μέρος της τάσεως ΑΣ από την έξοδο του φωρατή, που οδηγείται στους ενισχυτές ΑΣ και εξασφαλίζεται ανάλογη ένταση ήχου.

Ο φωρατής περιέχει και μια πρόσθετη διάταξη, η οποία παράγει μια συνεχή αρνητική τάση. Η τιμή της τάσεως αυτής είναι ανάλογη με το πλάτος του σήματος που λαμβάνεται και ονομάζεται τάση AGC (Automatic Gain Control) ή AVC (Automatic Volume Control). Η τάση αυτή εφαρμόζεται ως αρνητική ανάδραση στον ενισχυτή ραδιοσυχνότητας και στους ενισχυτές IF και προκαλεί ελάττωση της ενι-



Σχ. 4.6γ.
Κυματομορφές από την ετεροδύνωση και τη φώραση του σήματος A_1 και του ταλαντωτή BFO.

σχύσεως ανάλογα με το πλάτος της. Έτσι, αν το πλάτος του σήματος λήψεως αυξηθεί, θα ελαττωθεί η ενίσχυση, ενώ αν το πλάτος ελαττωθεί, θα αυξηθεί η ενίσχυση και η ένταση του ήχου θα διατηρείται σταθερή.

Από τη φώραση των αδιαμορφώτων σημάτων τηλεγραφίας A_1 ή A1A, που έχουν σταθερό πλάτος, προκύπτει συνεχής τάση, η οποία θα αποκαθίσταται και θα διακόπτεται με τον κώδικα Morse στο ρυθμό του σήματος που λαμβάνεται. Από τις αποκαταστάσεις και τις διακοπές της τάσεως αυτής, το μεγάφωνο δεν θα δημιουργεί ήχο με τη διάρκεια της τελείας ή της παύλας που λαμβάνεται, αλλά ένα στιγμιαίο κτύπημα στην αρχή και ένα στο τέλος κάθε τελείας και κάθε παύλας, οπότε είναι αδύνατη η αναγνώρισή τους από το αυτί του χειριστή. Για να προκύπτει ευδιάκριτος ήχος από τη λήψη σημάτων A_1 ή A1A, που θα αποκαθίσταται και θα διακόπτεται με το ρυθμό του σήματος που λαμβάνεται, οι δέκτες ραδιοτηλεγραφίας είναι εφοδιασμένοι με ένα τοπικό ταλαντωτή συμβολής (BFO — Beat Frequency Oscillator). Αυτός παράγει συνέχεια ταλαντώσεις σταθερής συχνότητας, η οποία είναι μεγαλύτερη ή μικρότερη από την ενδιάμεση συχνότητα του δέκτη κατά μια ακουστική συχνότητα (300 — 2000 c/s) και η οποία οδηγείται στο φωρατή. Δηλαδή, αν όπως φαίνεται στο σχήμα 4.6γ, η IF του δέκτη είναι 455 kc/s και η συχνότητα του BFO 456 kc/s, από την ετεροδύνωση και τη φώρασή τους θα προκύψει ακουστική συχνότητα 1000 c/s που θα αποκαθίσταται και θα διακόπτεται με το ρυθμό του λαμβανόμενου σήματος. Ο ταλαντωτής BFO λειτουργεί όταν ο διακόπτης A_1 - A_2/A_3 βρίσκεται στη θέση A_1.

Σημειώνεται ότι, αν λαμβάνονται σήματα A_2 ή A_3 και ο διακόπτης βρίσκεται στη θέση A_1, εκτός από τον ήχο των διαμορφωμένων αυτών σημάτων θα ακούγεται και ένα συνεχές σφύριγμα που θα προκύπτει από τη συμβολή της ενδιάμεσης συχνότητας με τη συχνότητα του ταλαντωτή BFO.

Κάθε δέκτης περιέχει και τη βαθμίδα ανορθώσεως (τροφοδοτικό) που λαμβάνει

την εναλλασσόμενη τάση και τη μετατρέπει στην κατάλληλη συνεχή τάση, με την οποία τροφοδοτούνται όλες οι βαθμίδες του δέκτη εκτός από τη βαθμίδα του φωρατή. Όπως είπαμε, η βαθμίδα του φωρατή ανορθώνει την ενδιάμεση συχνότητα που λαμβάνεται και έτσι δεν απαιτεί τροφοδότηση.

4.6.2 Δέκτης σημάτων SSB.

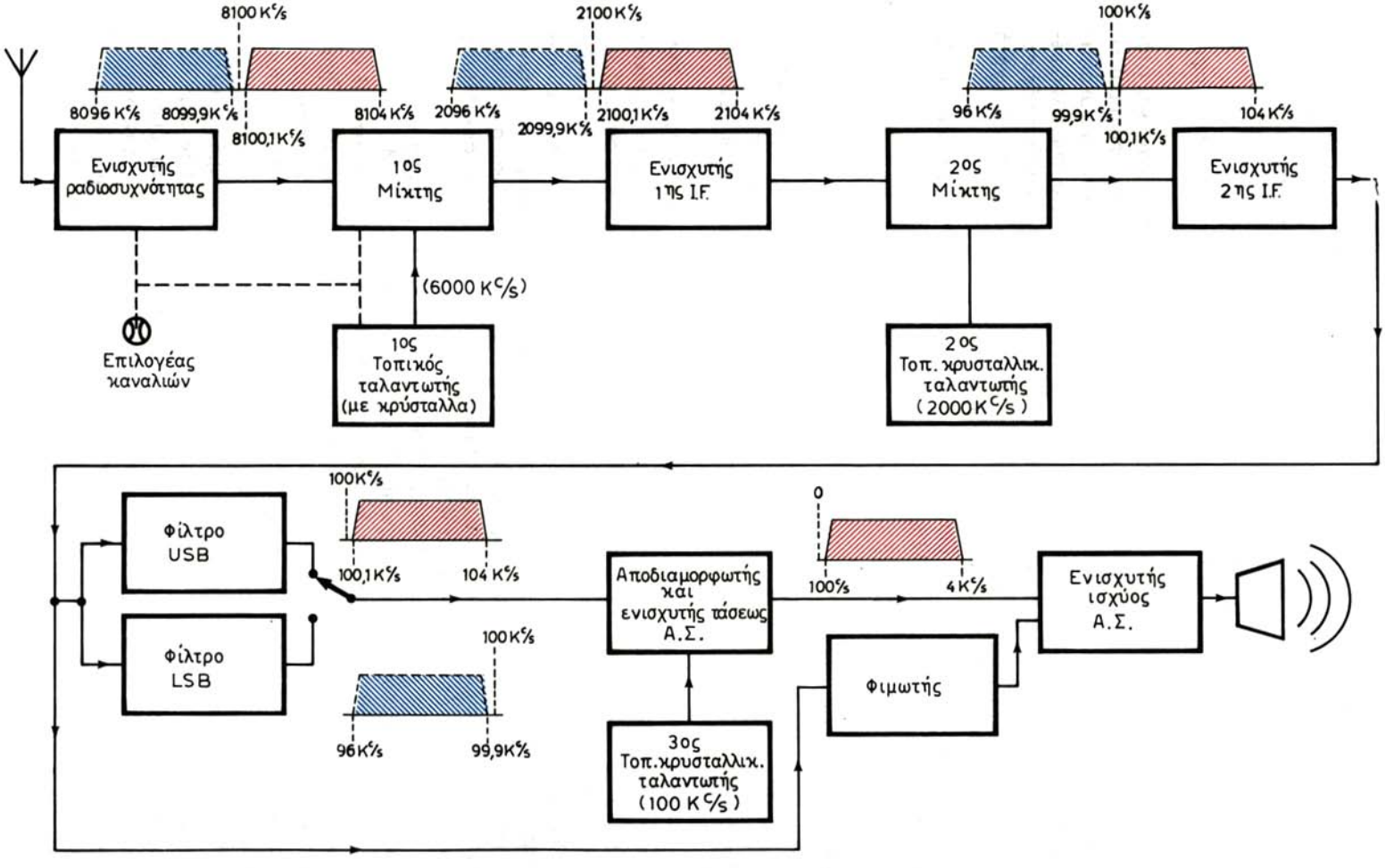
Ο δέκτης σημάτων SSB είναι όμοιος με το δέκτη σημάτων AM (DSB) σε ό,τι αφορά τις βαθμίδες μίξεως και ενδιάμεσης συχνότητας. Διαφέρει στην αποδιαμόρφωση, όπου, αντί του φωρατή, χρησιμοποιεί βαθμίδα ετεροδυνώσεως.

Στο σχήμα 4.6δ φαίνεται το βασικό διάγραμμα λειτουργίας τυπικού δέκτη SSB που είναι συντονισμένος για λήψη των σημάτων που εκπέμπει ο πομπός του σχήματος 4.5δ.

Ο ενισχυτής ραδιοσυχνότητας είναι συντονισμένος να επιλέγει και να ενισχύει είτε την USB (8100,1-8104 kc/s) είτε την LSB (8096-8099,9 kc/s) που έχει προκύψει από τη διαμόρφωση της φέρουσας 8100 kc/s. Οποιαδήποτε από τις δυο ζώνες, μετά την ενίσχυσή της, οδηγείται στον πρώτο μίκτη και από την ετεροδύνωσή της με τις ταλαντώσεις 6000 kc/s που παρέχει ο πρώτος τοπικός ταλαντωτής, υποβιβάζεται σε ζώνη πρώτης ενδιάμεσης συχνότητας (2100,1-2104 kc/s) ή (2096-2099,9 kc/s) αντίστοιχα. Ο επιλογέας καναλιών συνδέει στην είσοδο του ενισχυτή ραδιοσυχνότητας και του μίκτη προσυντονισμένα κυκλώματα, με τα οποία επιτυγχάνεται η επιλογή και η ενίσχυση των επιθυμητών ζωνών και στον τοπικό ταλαντωτή κρύσταλλο με ιδιοσυχνότητα μικρότερη από την ανύπαρκτη φέρουσα των ζωνών κατά 2000 kc/s, δηλαδή κατά την πρώτη ενδιάμεση συχνότητα. Ο ενισχυτής της πρώτης IF, που μπορεί να περιλαμβάνει δυο ή περισσότερες βαθμίδες, ενισχύει την USB ή την LSB στην πρώτη ενδιάμεση συχνότητα, ώστε, πριν οδηγηθεί στο δεύτερο μίκτη, να έχει αποκτήσει σημαντικό πλάτος.

Η ενισχυμένη USB ή η LSB σε πρώτη IF οδηγείται στο δεύτερο μίκτη και από την ετεροδύνωσή της με τη σταθερή συχνότητα 2000 kc/s που παρέχει ο δεύτερος τοπικός ταλαντωτής, υποβιβάζεται σε ζώνη δεύτερης IF (100,1-104 kc/s) ή (96-99,9 kc/s) αντίστοιχα. Ο δεύτερος τοπικός ταλαντωτής είναι κρυσταλλικός και λειτουργεί στην ίδια σταθερή συχνότητα σε όλα τα κανάλια, επειδή η συχνότητά του χρησιμεύει για τον υποβιβασμό της πρώτης IF που είναι η ίδια για όλα τα κανάλια. Ο ενισχυτής δεύτερης IF, που και αυτός μπορεί να περιλαμβάνει περισσότερες βαθμίδες, ενισχύει την USB ή την LSB και την οδηγεί στα φίλτρα. Το φίλτρο USB επιτρέπει τη διέλευση ζώνης 100,1-104 kc/s, ενώ το φίλτρο LSB επιτρέπει τη διέλευση ζώνης 96-99,9 kc/s. Σημειώνεται ότι από την κεραία του δέκτη μπορούν να λαμβάνονται και οι δυο ζώνες που μπορεί να εκπέμπονται ταυτόχρονα από δυο πομπούς και την παραπάνω επεξεργασία θα υφίστανται και οι δυο ζώνες μέχρι να φθάσουν στα δυο φίλτρα. Η παραπέρα επεξεργασία τους όμως εξαρτάται από τη θέση όπου θα βρίσκεται ο διακόπτης στην είσοδο του αποδιαμορφωτή. Επειδή στο σχήμα 4.6δ ο διακόπτης βρίσκεται στη θέση USB, στην είσοδο του αποδιαμορφωτή θα οδηγηθεί η ζώνη 100,1-104 kc/s. Ο αποδιαμορφωτής λειτουργεί ως μίκτης, και σ' αυτόν οδηγείται και η σταθερή συχνότητα 100 kc/s του τρίτου τοπικού κρυσταλλικού ταλαντωτή. Από την ετεροδύνωση της USB σε δεύτερη IF με

ΛΑΡΥΝΑ ΕΥΓΕΝΙΔΟΥ 1954



Σχ. 4.6δ.
Βασικό διάγραμμα λειτουργίας δέκτη SSB.

ΙΔΡΥΜΑ ΕΥΓΕΝΙΔΟΥ · 1954

τη σταθερή συχνότητα των 100 kc/s προκύπτει η ζώνη συχνοτήτων από 100 c/s έως 4 kc/s, η οποία αντιστοιχεί στη ζώνη που είχε προκύψει από την ομιλία στο μικρόφωνο του πομπού (βλ. σχ. 4.5δ). Η παραπάνω ζώνη ακουστικών συχνοτήτων ενισχύεται όπως και στους δέκτες σημάτων ΑΜ, ώστε να αποκτήσει σημαντικό ρεύμα, με το οποίο τροφοδοτείται το μεγάφωνο και αναπαράγεται ο ήχος.

Όταν ο διακόπτης τεθεί στη θέση LSB, κατά τον ίδιο τρόπο θα αποδιαμορφωθεί η LSB.

Επειδή οι δέκτες SSB λειτουργούν στην περιοχή HF (βραχέα κύματα) και, όταν δεν λαμβάνεται σήμα, παρουσιάζουν υπερβολικό ενοχλητικό θόρυβο (φύσημα), είναι εφοδιασμένοι με κύκλωμα φιμωτή ή αποσιωπητή (squelch), το οποίο διακόπτει τη λειτουργία του ενισχυτή ισχύος ΑΣ. Το κύκλωμα αυτό διεγείρεται από μικρό μέρος του σήματος, που λαμβάνεται μετά την ενίσχυσή του από τον ενισχυτή δεύτερης IF και, επί όσο χρόνο λαμβάνεται σήμα, επιτρέπει τη λειτουργία του ενισχυτή ισχύος ΑΣ και το σήμα ακούγεται στο μεγάφωνο.

Ο δέκτης SSB διαθέτει και διάταξη AGC, που λειτουργεί όπως στο δέκτη ΑΜ και εξασφαλίζει τα ίδια αποτελέσματα.

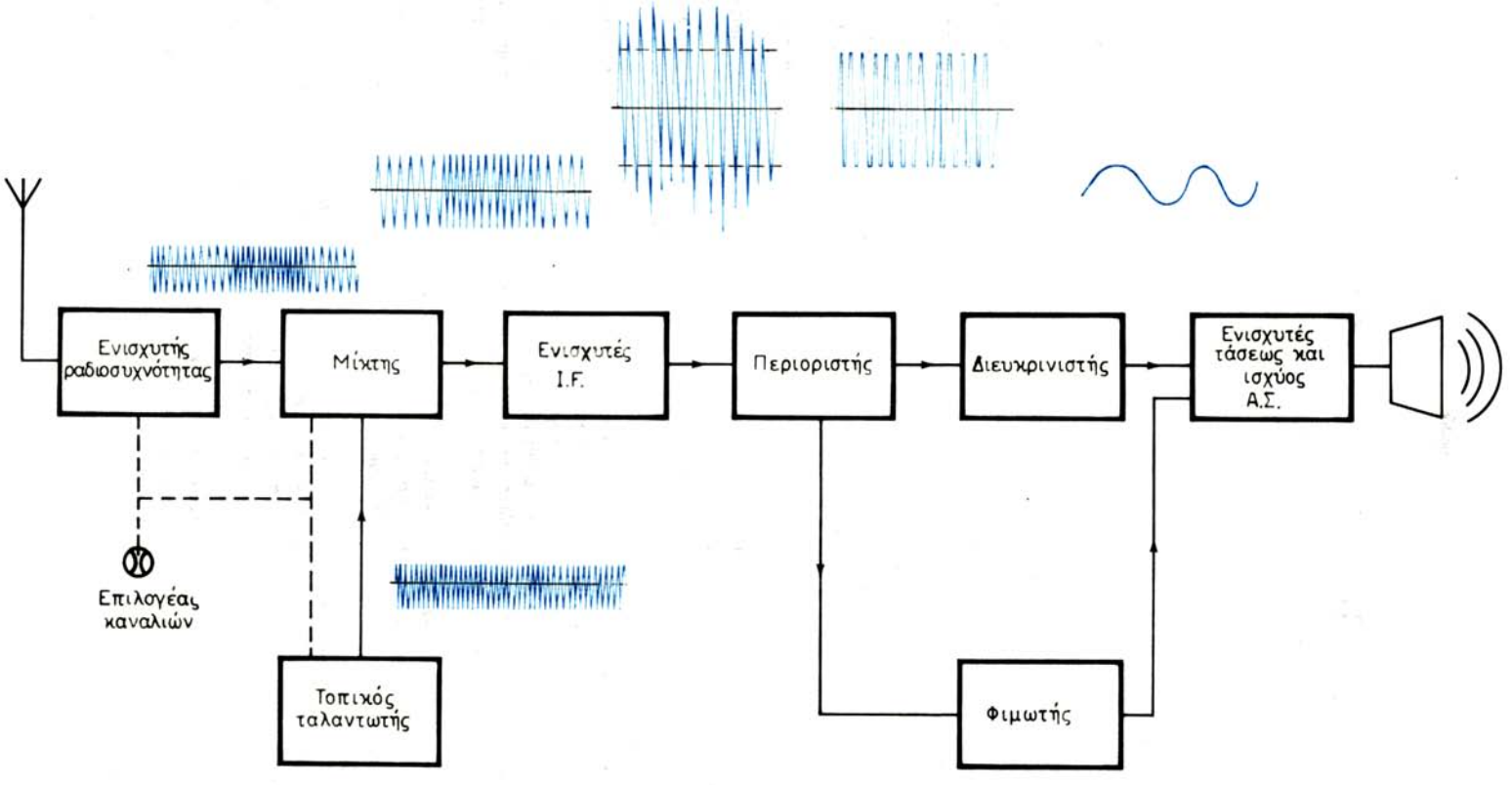
4.6.3 Δέκτης σημάτων FM.

Βασικές διαφορές του δέκτη σημάτων FM σε σύγκρισή του με το δέκτη σημάτων ΑΜ είναι, ότι χρησιμοποιεί περιοριστή για τον περιορισμό των παραμορφώσεων πλάτους του λαμβανόμενου σήματος και ότι αντί του φωρατή χρησιμοποιεί διευκρινιστή.

Στο σχήμα 4.6ε φαίνεται το βασικό διάγραμμα λειτουργίας τυπικού δέκτη FM, του οποίου οι βαθμίδες του ενισχυτή ραδιοσυχνότητας, του μίκτη και του τοπικού ταλαντωτή λειτουργούν όπως και στο δέκτη ΑΜ. Όταν ο δέκτης είναι ραδιοφωνικός, η επιλογή συχνοτήτων γίνεται με το ρυθμιστή συντονισμού, ενώ, όταν είναι ραδιοτηλεφωνίας, η επιλογή καναλιών γίνεται με τον επιλογέα καναλιών. Ο επιλογέας καναλιών συνδέει στον ενισχυτή ραδιοσυχνότητας και το μίκτη προσυντονισμένο κύκλωμα στη φέρουσα συχνότητα του επιθυμητού καναλιού και στον τοπικό ταλαντωτή κρύσταλλο με ιδιοσυχνότητα ακριβές υπολλαπλάσιο της συχνότητας του ταλαντωτή, όπως στο σχήμα 4.5γ.

Χαρακτηριστικό των δεκτών FM είναι ότι χρησιμοποιούν υψηλή σχετικά IF, συνήθως 2 Mc/s, αντί των 455 kc/s που χρησιμοποιούν οι δέκτες ΑΜ.

Μετά τον υποβιβασμό της συχνότητας του σήματος που λαμβάνεται στην IF και την ενίσχυσή του από τους ενισχυτές IF, το σήμα οδηγείται στον περιοριστή (limiter), όπου περιορίζεται το πλάτος του από μια τιμή και πάνω. Με τον περιορισμό αυτό αποκόπτονται οι μεταβολές πλάτους που θα προκαλούσαν ανεπιθύμητους θορύβους. Έτσι, στην έξοδο του περιοριστή προκύπτει η IF με ψαλιδισμένες (επίπεδες) τις κορυφές σε σταθερό πλάτος. Η IF μεταβάλλεται με το ρυθμό της ακουστικής συχνότητας που είναι διαμορφωμένο κατά συχνότητα το φέρον κύμα που λαμβάνεται. Στο διευκρινιστή (discriminator) γίνεται αποδιαμόρφωση, όπου, από τις μεταβολές της ενδιάμεσης συχνότητας προκύπτουν οι ακουστικές συχνότητες. Οι ακουστικές συχνότητες οδηγούνται στους ενισχυτές ΑΣ, όπου τους γίνεται ενίσχυση τάσεως και ισχύος και με την τροφοδότηση του μεγαφώνου αναπαράγεται



Σχ. 4.6ε.
Βασικό διάγραμμα λειτουργίας δέκτη FM.

ΙΔΡΥΜΑ ΕΥΓΕΝΙΔΟΥ 1954

ο ήχος. Η βαθμίδα του φιμωτή ή αποσιωπητή (squelch) ενεργοποιείται με σήμα που λαμβάνει από τον περιοριστή και επιτρέπει τη λειτουργία των ενισχυτών ΑΣ κατά τα χρονικά διαστήματα που λαμβάνεται σήμα. Έτσι αποφεύγονται οι ισχυροί ενοχλητικοί θόρυβοι κατά τα χρονικά διαστήματα που δεν λαμβάνεται σήμα.

Ο δέκτης σημάτων FM διαθέτει και διάταξη AGC, η οποία αυξάνει και ελαττώνει την ευαισθησία του δέκτη, όταν αντίστοιχα ελαττώνεται και αυξάνεται η ισχύς του σήματος που λαμβάνεται και εξασφαλίζεται σταθερή ένταση ήχου στο μεγάφωνο.

Ερωτήσεις Τέταρτου Κεφαλαίου.

1. Από ποιες παραμέτρους καθορίζεται το μήκος της κεραίας λ/2 και ποιο φαινόμενο παρατηρείται, όταν αυτή δεν έχει το κατάλληλο μήκος;
2. Τι εννοείται ως ευρύς συντονισμός της κεραίας, πώς εξασφαλίζεται και σε ποιες περιπτώσεις απαιτείται τέτοιος συντονισμός;
3. Τι εννοείται ως προσαρμογή στη διάταξη πομπού-κεραίας και τη γραμμή συνδέσεώς τους και για ποιο λόγο είναι απαραίτητη η προσαρμογή;
4. Σε ποιες περιπτώσεις παρατηρούνται συνθήκες συντονισμού σε κεραία ορισμένου φυσικού μήκους και ποιες διαφοροποιήσεις παρατηρούνται στην κατανομή ρεύματος και στους λοβούς ακτινοβολίας της ίδιας κεραίας στις διάφορες περιπτώσεις;
5. Ποιες διαφορές παρουσιάζει η κεραία Marconi σε σύγκρισή της με την κεραία Hertz;
6. Τι είναι η επιμετάλλωση του εδάφους, το αντίβαρο και το τεχνητό έδαφος και σε ποιες περιπτώσεις χρησιμοποιούνται;
7. Από τι μπορεί να αποτελείται η χωρητικότητα κορυφής κεραίας και σε ποιες περιπτώσεις χρησιμοποιείται;
8. Ποια προβλήματα παρατηρούνται στην κεραία των εγκαταστάσεων ασυρμάτου και ραδιοτηλεφώνου των πλοίων και με ποια μέσα αντιμετωπίζονται;
9. Τι εξασφαλίζεται με τη χρησιμοποίηση κεραιών κατευθυνόμενης ακτινοβολίας στην περιοχή συχνοτήτων HF; Για ποιους λόγους δεν χρησιμοποιούνται τέτοιες κεραίες στις περιοχές συχνοτήτων MF, LF και VLF;
10. Σε ποιες περιπτώσεις και για ποιους λόγους χρησιμοποιείται κεραία κατευθυνόμενης ακτινοβολίας στις περιοχές συχνοτήτων VHF, UHF και SHF;
11. Πώς συγκροτείται η ρομβική κεραία, γιατί είναι απαραίτητη η τερματική αντίσταση και ποια πλεονεκτήματα παρουσιάζει ως μη συντονισμένη κεραία;
12. Πώς προκύπτει ο λοβός ακτινοβολίας της ρομβικής κεραίας, ποια είναι η κατεύθυνσή του σε σχέση με τη διάταξη της κεραίας και από τι εξαρτάται το εύρος και η κλίση του λοβού ακτινοβολίας της κεραίας αυτής;
13. Πώς συγκροτείται η λογαριθμική κεραία, από πού προκύπτει το όνομά της, ποια προϋπόθεση πρέπει να υπάρχει για να εξασφαλίζεται σταθερή ικανοποιητική απόδοση σε ολόκληρη την περιοχή συχνοτήτων που μπορεί να λειτουργεί και ποια είναι η κατεύθυνση του λοβού ακτινοβολίας της;
14. Τι είναι τα παρασιτικά δίπολα; Πότε αυτά συμπεριφέρονται ως ανακλαστήρες και πότε ως κατευθυντήρες; Ποια επίδραση έχουν στην ακτινοβολία του τροφοδοτούμενου διπόλου;
15. Σε ποιες συχνότητες χρησιμοποιούνται οι κεραίες Yagi και Yagi Uda; Ποια είναι η κατεύθυνση του λοβού ακτινοβολίας και η πόλωση του κύματος που ακτινοβολούν και ποιες διαφορές υπάρχουν μεταξύ τους;
16. Σε ποιες συχνότητες χρησιμοποιείται η ελικοειδής κεραία, ποια βασικά πλεονεκτήματα παρουσιάζει σε σύγκρισή της με τα άλλα είδη κεραιών κατευθυνόμενης ακτινοβολίας και ποια κατασκευαστικά χαρακτηριστικά της επιδρούν στο εύρος του λοβού ακτινοβολίας για ορισμένη συχνότητα;
17. Ποια χαρακτηριστικά της κεραίας με ανακλαστήρα επηρεάζονται από το μέγεθος του ανακλαστήρα και από την απόσταση του διπόλου από αυτόν;

ΔΡΥΜΑ ΣΥΓΓΡΑΦΕΩΝ 1954

18. Ποιες διαφορές υπάρχουν στο λοβό ακτινοβολίας των κεραιών παραβολικού κατόπτρου και παραβολικού κυλίνδρου;
19. Ποια είναι η πόλωση του κύματος που ακτινοβολούν οι κεραίες με ανακλαστήρα; Πότε μια τέτοια κεραία ακτινοβολεί κύμα περιστρεφόμενης πολώσεως;
20. Τι ορίζονται ως σήματα A_0, A1A, A2A, A3E, A2J, A3J και F3E και ποιο είδος πληροφοριών μπορεί να μεταδοθεί με καθένα από αυτά;
21. Τι εννοείται ως διαμόρφωση πλάτους και διαμόρφωση συχνότητας και ποια πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα υπάρχουν μεταξύ τους;
22. Για ποιους λόγους επιτρέπεται η εκπομπή σημάτων A2A στην περιοχή MF και απαγορεύεται η εκπομπή τους στην περιοχή HF, ενώ το σήμα κινδύνου εκπέμπεται υποχρεωτικά με σήματα A2A;
23. Ποιες διαφορές και ποια πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα υπάρχουν μεταξύ των σημάτων DSB και SSB;
24. Τι εννοείται ως ποσοστό διαμορφώσεως; Πότε η διαμόρφωση χαρακτηρίζεται ως υποδιαμόρφωση και πότε ως υπερδιαμόρφωση και ποια αποτελέσματα έχει η εκπομπή με υποδιαμόρφωση και υπερδιαμόρφωση;
25. Από ποιες βαθμίδες αποτελείται ένας πομπός σημάτων A1A και ποια είναι η χρησιμότητα κάθε βαθμίδας;
26. Ποιες βαθμίδες πρέπει να περιλαμβάνει ένας πομπός σημάτων A1A για να μπορεί να εκπέμπει και σήματα A2A και A3E;
27. Από τι καθορίζεται η συχνότητα εκπομπής ενός πομπού και κατά ποιους τρόπους μπορεί να γίνεται αλλαγή της συχνότητας εκπομπής; Με ποια μέθοδο εξασφαλίζεται μεγαλύτερη σταθερότητα συχνότητας;
28. Ποιες μέθοδοι χρησιμοποιούνται για τον πολλαπλασιασμό της συχνότητας εκπομπής στους πομπούς; Σε ποιες περιπτώσεις και για ποιους λόγους είναι απαραίτητος ο πολλαπλασιασμός συχνότητας;
29. Από ποιες βαθμίδες αποτελείται ένας πομπός μονοπλευρικής εκπομπής και ποια είναι η χρησιμότητα κάθε βαθμίδας;
30. Από ποιες βαθμίδες αποτελείται ένας πομπός FM και ποια είναι η χρησιμότητα κάθε βαθμίδας;
31. Για ποιο λόγο η ζώνη συχνοτήτων εκπομπής FM είναι πολύ μεγαλύτερη από τη ζώνη συχνοτήτων εκπομπής AM;
32. Τι εννοείται ως ευαισθησία, επιλεκτικότητα, πιστότητα και λόγος σήματος προς θόρυβο ενός δέκτη; Από τι εξαρτάται καθένα από τα χαρακτηριστικά αυτά και ποια είναι η επίδραση καθενός στην απόδοση του δέκτη;
33. Από ποιες βαθμίδες αποτελείται ένας δέκτης AM και ποια είναι η χρησιμότητα κάθε βαθμίδας;
34. Πώς εξασφαλίζεται η επιλογή της συχνότητας λήψεως σε ένα υπερετερόδυνο δέκτη και ο υποβιβασμός της στην ενδιάμεση συχνότητα του δέκτη;
35. Τι είναι η συχνότητα είδωλο, σε ποιους δέκτες παρατηρείται η λήψη τέτοιας συχνότητας και ποια ακόμη μειονεκτήματα παρουσιάζουν τέτοιοι δέκτες;
36. Ποια βαθμίδα του δέκτη ενεργοποιείται όταν ο διακόπτης A_1-A_2/A_3 βρίσκεται στη θέση A_1 και ποιο θα είναι το αποτέλεσμα, αν κατά τη λήψη σημάτων A_3, ο διακόπτης αυτός βρίσκεται στη θέση A_1;
37. Πού παράγεται η τάση AGC ή AVC; Πού και ως τι εφαρμόζεται και ποια είναι η χρησιμότητά της;
38. Από ποιες βαθμίδες αποτελείται ένας δέκτης SSB και ποια είναι η χρησιμότητα κάθε βαθμίδας;
39. Πώς διεγείρεται το κύκλωμα του φιμωτή και ποια είναι η χρησιμότητά του;
40. Ποιες βαθμίδες πρέπει να προστεθούν στον απλό δέκτη SSB, ώστε να μπορεί να λαμβάνει ταυτόχρονα την USB και την LSB που εκπέμπονται στην ίδια φέρουσα από δυο ξεχωριστούς πομπούς;
41. Μπορεί ένας δέκτης SSB να λαμβάνει σήματα DSB και ένας δέκτης DSB να λαμβάνει σήματα SSB; Να αιτιολογηθεί η απάντηση.
42. Από ποιες βαθμίδες αποτελείται ένας δέκτης σημάτων FM και ποια είναι η χρησιμότητα κάθε βαθμίδας;
43. Μπορεί ένας δέκτης FM να λαμβάνει σήματα AM και ένας δέκτης AM να λαμβάνει σήματα FM; Να αιτιολογηθεί η απάντηση.

ΔΡΥΜΑ ΣΥΓΓΡΑΦΕΩΝ 1954

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΠΕΜΠΤΟ

ΝΑΥΤΙΚΕΣ ΔΟΡΥΦΟΡΙΚΕΣ ΤΗΛΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΕΣ

5.1 Γενικά.

Μέχρι το τέλος του 19ου αιώνα, οι ναυτιλλόμενοι δεν είχαν τη δυνατότητα να επικοινωνούν με άλλα πλοία ή με την ξηρά από μεγάλες αποστάσεις. Όταν επικρατούσαν συνθήκες καλής ορατότητας, με συνδυασμούς σημαιών ή αναλαμπών επιτυγχανόταν επικοινωνία σε μικρές αποστάσεις, η οποία δεν ήταν πάντα αξιόπιστη. Η μεγάλη εφεύρεση του ασυρμάτου από το Γουλιέλμο Marconi στο τέλος του 19ου αιώνα διέκοψε την αιώνια απομόνωση των ναυτιλλομένων και η επικοινωνία μεταξύ πλοίων και ξηράς, ανεξάρτητα από την απόσταση και τις συνθήκες ορατότητας, άρχισε να γίνεται πραγματικότητα.

Πιστεύεται ότι το αμερικανικό επιβατηγό «St. Paul» ήταν το πρώτο πλοίο στο οποίο τοποθετήθηκε σταθμός ασυρμάτου, για να δοκιμασθούν οι δυνατότητές του στις ναυτικές τηλεπικοινωνίες και το Νοέμβριο του 1899 έλαβε το πρώτο τηλεγράφημα, το οποίο είχε εκπεμφθεί από σταθμό ασυρμάτου που ο Marconi είχε εγκαταστήσει στο νησί Wight της νότιας Αγγλίας. Πολύ σύντομα, ο σταθμός του Marconi βελτιώθηκε και οργανώθηκαν υπηρεσίες χρησιμοποιήσεώς του. Το 1906, στη συνδιάσκεψη του Βερολίνου, το ραδιοτηλεγραφικό σήμα κινδύνου SOS υιοθετήθηκε ως η διεθνής κλήση για βοήθεια στη θάλασσα.

Η βύθιση του υπερωκεανίου «Τιτανικός» στις 14 Απριλίου 1912 με απώλεια 1503 ατόμων, υπαγόρευσε νέους κανονισμούς που απαιτούσαν μεγαλύτερη ισχύ εκπομπής και συνεχή εικοσιτετράωρη λειτουργία του ασυρμάτου για τα επιβατηγά πλοία. Παράλληλα, με την ανακάλυψη της ηλεκτρονικής λυχνίας από τον A. Fleming το 1904, άρχισε η ηλεκτρονική περίοδος των ασυρμάτων τηλεπικοινωνιών. Το 1922 πραγματοποιείται η πρώτη ασύρματη τηλεφωνική επικοινωνία πλοίου-ξηράς, μεταξύ παράκτιου σταθμού στο New Jersey των ΗΠΑ και του «SS America» σε απόσταση 350 ναυτικών μιλίων. Το 1927 υιοθετείται ως διεθνές σήμα κλήσεως κινδύνου στη ραδιοτηλεφωνία η λέξη MAYDAY, η οποία προέρχεται από το γαλλικό όρο m' aidez που σημαίνει «βοήθησέ με». Το 1929 οργανώνονται ραδιοτηλεφωνικές ναυτικές υπηρεσίες που είχαν ως αποτέλεσμα την κατασκευή εξελιγμένων συσκευών διαφόρων προτύπων, σύμφωνα με τις απαιτήσεις των διεθνών κανονισμών τηλεπικοινωνιών. Από το 1949 και μετά, με τη χρησιμοποίηση των τρανζίστορς και στη συνέχεια των τυπωμένων κυκλωμάτων, των μικροκατασκευών και των ολοκληρωμένων κυκλωμάτων, κατασκευάσθηκαν συσκευές τηλε-

ΔΡΥΜΑ ΕΥΓΕΝΙΔΟΥ 1954

πικοινωνιών με πολύ καλύτερα αποτελέσματα.

Όμως, όλη αυτή η εξέλιξη δεν μπόρεσε να ξεπεράσει τους περιορισμούς των συχνοτήτων των περιοχών MF και HF που χρησιμοποιούνται στις τηλεπικοινωνίες μεγάλων αποστάσεων. Δηλαδή τις φυσικές ιδιομορφίες στη διάδοση των ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων, τον περιορισμό του αριθμού των σταθμών (καναλιών) που μπορούν να λειτουργούν ταυτόχρονα, τις παρεμβολές, την αδυναμία μεταδόσεως πληροφοριών με μεγάλη ταχύτητα (σύνδεση ηλεκτρονικών υπολογιστών), την αδυναμία μεταδόσεως εικόνας και άλλους.

Τα κλασικά αυτά μέσα, ενώ θα συνεχίσουν να χρησιμοποιούνται στις ναυτικές τηλεπικοινωνίες για αρκετά χρόνια, δεν μπορούσαν να ικανοποιήσουν τις συνεχώς και με γρήγορο ρυθμό αυξανόμενες απαιτήσεις τηλεπικοινωνιών της ναυτικής κοινωνίας. Έτσι, δημιουργήθηκε η ανάγκη επινοήσεως ενός συστήματος, το οποίο θα πρόσφερε στα πλοία ταχείες και αξιόπιστες τηλεπικοινωνίες, όπως αυτό των τηλεφωνικών φερεσύχνων με ασύρματη ζεύξη που χρησιμοποιείται στην ξηρά. Το σύστημα της ξηράς λειτουργεί στις περιοχές συχνοτήτων UHF και SHF και χρησιμοποιεί σταθμούς αναμεταδόσεως (επαναλήπτες) με κατευθυνόμενη δέσμη ακτινοβολίας, ώστε να αντιμετωπίζεται ο περιορισμός της εμβέλειάς του από την καμπυλότητα της γης.

Η λύση στα παραπάνω προβλήματα δόθηκε με την εμφάνιση των τεχνητών δορυφόρων.

Το 1965 τέθηκε σε λειτουργία ο πρώτος τηλεπικοινωνιακός δορυφόρος Early Bird από το διεθνή οργανισμό δορυφορικών τηλεπικοινωνιών INTELSAT (INternational TELecommunication SATellite). Μετά από το ενδιαφέρον που προκλήθηκε στις ναυτικές χώρες, ένα χρόνο αργότερα ο IMO(τότε IMCO) άρχισε να μελετά τις λειτουργικές απαιτήσεις ενός συστήματος δορυφορικών τηλεπικοινωνιών για τη ναυτιλία, αναγνωρίζοντας τις δυναμικές βελτιώσεις για την ασφάλεια της ανθρώπινης ζωής στη θάλασσα μέσω βελτιωμένων τηλεπικοινωνιών.

Το 1973 η συνέλευση του IMO αποφάσισε να συγκαλέσει διεθνή συνδιάσκεψη για την ίδρυση ενός διεθνούς ναυτιλιακού δορυφορικού οργανισμού (INMARSAT — INternational MARitime SATellite organization) και το 1976 η συνδιάσκεψη υιοθέτησε τη σύμβαση των μελών του INMARSAT. Στον πίνακα 5.1.1 φαίνονται τα 38 κράτη μέλη του INMARSAT, οι φορείς που τα αντιπροσωπεύουν και τα ποσοστά των επενδυτικών μετοχών τους.

Το Φεβρουάριο του 1976 εγκαινιάσθηκε το σύστημα δορυφορικών τηλεπικοινωνιών MARISAT, με την εκτόξευση του πρώτου δορυφόρου MARISAT στην περιοχή του Ατλαντικού. Ο δορυφόρος αυτός τέθηκε σε εμπορική χρήση μέσα στον ίδιο χρόνο. Ακολούθησε η εκτόξευση και διάθεση σε εμπορική χρήση δεύτερου δορυφόρου MARISAT στην περιοχή του Ειρηνικού ωκεανού και τρίτου στην περιοχή του Ινδικού ωκεανού. Έτσι, στο τέλος του 1979 είχε ολοκληρωθεί η λειτουργία του πρώτου παγκόσμιου συστήματος δορυφορικών τηλεπικοινωνιών, ενώ στις 16 Φεβρουαρίου του ίδιου χρόνου ο INMARSAT ολοκλήρωσε τη συγκρότησή του ως οργανισμός, αρχίζοντας μια νέα διεθνή συνεργασία για την οργάνωση των ναυτιλιακών δορυφορικών τηλεπικοινωνιών. Την 1η Φεβρουαρίου 1982 άρχισε να λειτουργεί το σύστημα INMARSAT, χρησιμοποιώντας τους τρεις παραπάνω δορυφόρους MARISAT.

ΔΡΥΜΑ ΣΥΓΧΡΟΝΟ 1954

ΠΙΝΑΚΑΣ 5.1.1

Πίνακας των κρατών μελών του INMARSAT, των εκπροσώπων του και των μετοχικών επενδύσεών τους κατά την 13η Ιανουαρίου 1983

Χώρα	Εκπρόσωπος	Μετοχές επενδύσεως %
USA	Communications Satellite Corporation (COMSAT)	23.35197
USSR*	Morsviazsputnik	14.08509
UNITED KINGDOM	British Telecom	9.88637
NORWAY	Norwegian Telecommunications Administration	7.87425
JAPAN	Kokusai Denshin Denwa Co., Ltd.	6.99564
ITALY	Ministero delle Poste e Telecomunicazioni	3.35355
FRANCE	Direction Generale des Telecommunications	2.88408
GERMANY, FEDERAL REPUBLIC OF	Bundesministerium fur das Post und Fernmeldewesen	2.88408
GREECE	Hellenic Telecommunications Organization (OTE)	2.88408
NETHERLANDS	Netherlands PTT Administration	2.88408
CANADA	Teleglobe Canada	2.61585
KUWAIT	Ministry of Communications	2.01214
SPAIN	Compania Telefonica Nacional de Espana	2.01214
SWEDEN	Swedish Telecommunications Administration	1.87804
AUSTRALIA	Overseas Telecommunications Commission (OTC)	1.67686
BRAZIL	Εμπρεσα Βρασιλειρα δε Τελεψομθνιψαψοεσ Σ.Α. (EMBRATEL)	1.67686
DENMARK	Post and Telegraph Administration	1.67686
INDIA	Overseas Communications Service	1.67686
POLAND	Office of Maritime Economy	1.67686
SINGAPORE	Telecommunication Authority of Singapore	1.67686
CHINA, PEOPLE's REPUBLIC OF	Beijing Marine Communications and Navigation Company	1.23604
ARGENTINA	Empresa Nacional de Telecomunicaciones (ENTEL)	0.60365
BELGIUM	Regie des Telegraphes et des Telephones	0.60365
FINLAND	General Directorate of Posts and Telecommunications tions of Finland	0.60365
NEW ZEALAND	Post Office Headquarters	0.36259
BULGARIA	Shipping Corporation	0.27190
PORTUGAL	Companhia Portuguesa Radio Marconi	0.20600
ALGERIA	Ministere des Postes et Telecommunications	0.05000
CHILE	Empresa Nacional de Telecomunicaciones S.A. (ENTEL-CHILE)	0.05000
EGYPT	Telecommunications Organization	0.05000
IRAQ	Republic of Iraq	0.05000
LIBERIA	Republic of Liberia	0.05000
OMAN	Sultanate of Oman	0.05000
PHILIPPINES	Philippine Communications Satellite Corporation (PHILCOMSAT)	0.05000
SRILANKA	Overseas Telecommunication Service	0.05000
UNITED ARAB EMIRATES	Ministry of Communications	0.05000
		100.00000

*includes the initial investment share of Byelorussian and Ukrainian SSR.

5.2 Η συγκρότηση του συστήματος INMARSAT.

Σκοπός του οργανισμού INMARSAT είναι να εξοπλίζει τον τομέα του διαστήματος, ώστε να παρέχει παγκόσμια κάλυψη ναυτιλιακών δορυφορικών τηλεπικοινωνιών, με τις οποίες να εξασφαλίζονται:

- Ουσιαστική βελτίωση των συνθηκών ασφάλειας της ανθρώπινης ζωής και της περιουσίας στη θάλασσα.
- Μεγαλύτερη αποδοτικότητα και καλύτερη διαχείριση των πλοίων.
- Εύκολη τηλεφωνική επαφή των ναυτιλλομένων με την ξηρά που θα εξασφαλίζει ενίσχυση του ηθικού τους.
- Περισσότερο ακριβείς μετεωρολογικές πληροφορίες.
- Δυνατότητες παροχής πληροφοριών ναυσιπλοΐας.

Ο οργανισμός INMARSAT λειτουργεί επί εμπορικής βάσεως και έχει χρηματοδοτηθεί από εισφορές των μελών του.

Σε ό,τι αφορά ολόκληρο το σύστημα INMARSAT (σχ. 5.2α), αυτό αποτελείται από:

α) Τους παράκτιους επίγειους σταθμούς.

Οι παράκτιοι επίγειοι σταθμοί (CESs — Coast Earth Stations) ανήκουν σε κράτη-μέλη του οργανισμού INMARSAT, τα οποία εξασφαλίζουν τη συντήρηση και τη συνεχή λειτουργία τους. Οι CESs συνδέουν τον τομέα του διαστήματος με τα εθνικά και τα διεθνή τηλεφωνικά και τηλετυπικά δίκτυα.

β) Τους επίγειους σταθμούς πλοίων.

Οι επίγειοι σταθμοί πλοίων (SESs — Ship Earth Stations) ανήκουν στα πλοία και τους χειρίζεται το προσωπικό των πλοίων.

γ) Τον τομέα του διαστήματος.

Ο τομέας του διαστήματος (space segment), εκτός από τους τρεις δορυφόρους, περιλαμβάνει και τις απαραίτητες επίγειες εγκαταστάσεις, με τις οποίες ελέγχεται η τροχιά και η λειτουργία των δορυφόρων που ανήκουν στον INMARSAT.

δ) Τους τρεις σταθμούς συντονισμού δικτύου.

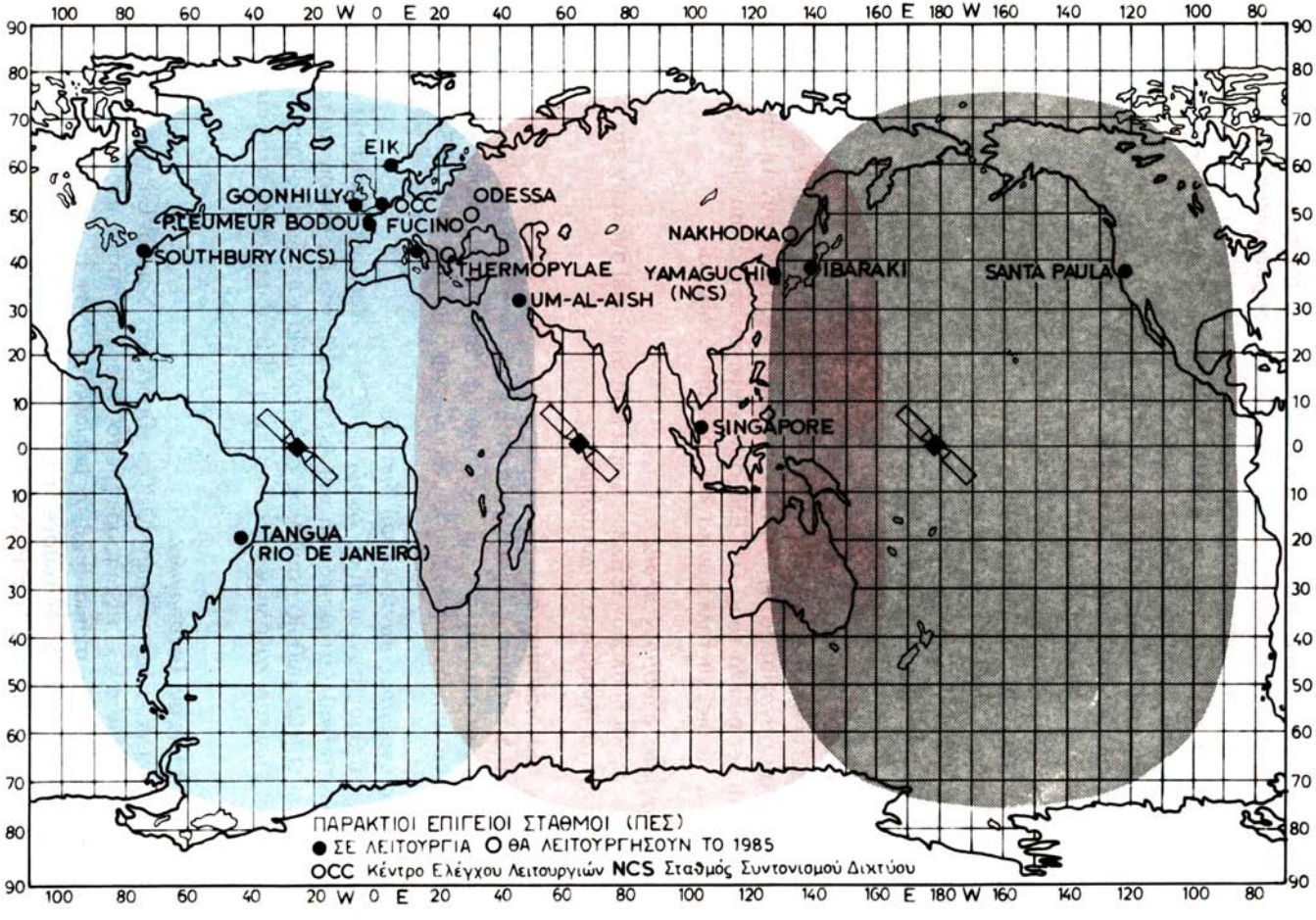
Ανά ένας σταθμός συντονισμού δικτύου (NCS — Network Coordination Station) έχει εγκατασταθεί στην περιοχή του Ατλαντικού, του Ειρηνικού και του Ινδικού ωκεανού. Ο NCS ρυθμίζει συνεχώς τη λειτουργία και την κατανομή των διαθεσίμων τηλεφωνικών καναλιών σε κάθε CES ή SES που υπάρχει στην ωκεάνεια περιοχή του.

ε) Το κέντρο ελέγχου λειτουργιών.

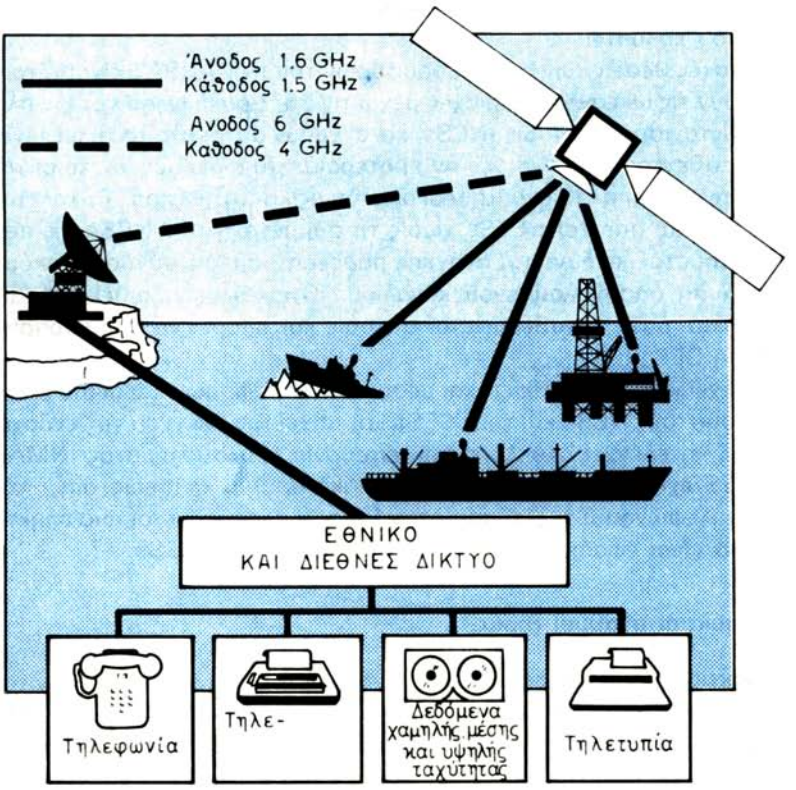
Το κέντρο ελέγχου λειτουργιών (OCC — Operation Control Centre) βρίσκεται στο Λονδίνο και συντονίζει τις διάφορες λειτουργίες του συστήματος INMARSAT.

Όπως φαίνεται στο σχήμα 5.2β, η ραδιοζεύξη στον τομέα μεταξύ πλοίου-δορυφόρου και αντίστροφα λειτουργεί στην περιοχή συχνοτήτων L και, σύμφωνα με τους διεθνείς κανονισμούς ραδιοτηλεπικοινωνιών, περιλαμβάνει τις συχνότητες:

ΔΡΥΜΑ ΣΥΓΓΡΑΦΕΩΝ 1954



Σχ. 5.2α.
Η συγκρότηση του συστήματος INMARSAT.



Σχ. 5.2β.
Οι ραδιοζεύξεις και τα τερματικά ξηράς του συστήματος INMARSAT.

1) Από SES προς δορυφόρο (ανοδική κατεύθυνση), 1626,5 έως 1645,5 Mc/s (ζώνη 19 Mc/s).

2) Από δορυφόρο προς SES (καθοδική κατεύθυνση), 1535 έως 1544 Mc/s (ζώνη 9 Mc/s). Από την 1η Ιανουαρίου 1990 η ζώνη αυτή θα διευρυνθεί κατά 5 Mc/s προς τα κάτω, δηλαδή από 1530 έως 1544 Mc/s (ζώνη 14 Mc/s).

Επιπρόσθετα, έχει διατεθεί ζώνη ενός Mc/s από 1645,5 έως 1646,5 από SES προς δορυφόρο, για τη μεταβίβαση σημάτων κινδύνου και ασφάλειας.

Η ραδιοζεύξη μεταξύ CES δορυφόρου λειτουργεί στην περιοχή συχνοτήτων C με ανοδική κατεύθυνση στους 6 Gc/s και καθοδική κατεύθυνση στους 4 Gc/s. Η μετατροπή συχνοτήτων των ραδιοζεύξεων από SES προς CES και από CES προς SES πραγματοποιείται μέσα στο δορυφόρο.

Με τις δορυφορικές τηλεπικοινωνίες εξασφαλίζονται όλα τα χαρακτηριστικά των τηλεπικοινωνιών VHF με κλασικά μέσα, ενώ υπερπηδούνται οι περιορισμοί της οπτικής επαφής που απαιτούν τα τελευταία. Κάθε δορυφόρος βρίσκεται συνέχεια σε γραμμή οπτικής επαφής σε έκταση μεγαλύτερη από το 1/3 της επιφάνειας

της γης και ενεργεί ως αναμεταδότης (επαναλήπτης) από και προς κάθε σημείο της περιοχής που καλύπτει.

Οι τροχιακές θέσεις των τριών δορυφόρων του INMARSAT είναι τέτοιες, ώστε να καλύπτουν τις ωκεάνειες περιοχές μέχρι τις 75° βορείων και νοτίων πλατών. Οι σταθμοί συντονισμού δικτύων (NCSs) κατανέμουν αυτόματα τα τηλεφωνικά κανάλια που διατίθενται, ανάλογα με την προτεραιότητα κλήσεως, ώστε οι τηλεφωνικές συνδέσεις να αποκαθίστανται εύκολα, όπως και στην ξηρά. Τα τηλετυπικά κανάλια διατίθενται από τους CESs χωρίς τη συμμετοχή των NCSs. Σε περίπτωση εκπομπής σήματος κινδύνου ή ανάγκης παρέχεται άμεση σύνδεση, ακόμη και με απελευθέρωση απασχολούμενου καναλιού. Όταν ολοκληρωθεί η απασχόληση ενός καναλιού, αυτό ελευθερώνεται αμέσως και μπορεί να χρησιμοποιηθεί από άλλο CES ή SES.

Ο OCC έχει κοινές συνδέσεις και μέσω των δορυφόρων και μέσω επιγείων μέσων με όλους τους NCSs και τους CESs και τα κέντρα ελέγχου της ενδοχώρας και έτσι μπορεί να ελέγχει ολόκληρη τη λειτουργία του συστήματος INMARSAT.

Κάθε SES έχει το δικό του χαρακτηριστικό αριθμό κλήσεως, όπως κάθε συνδρομητής τηλεφώνου ή τηλετύπου στην ξηρά. Η κλήση γίνεται από πληκτρολόγιο, με το οποίο είναι εφοδιασμένες οι εγκαταστάσεις των SESs.

5.3 Οι παράκτιοι σταθμοί ξηράς.

Οι παράκτιοι σταθμοί ξηράς (CESs) συνδέουν τους συνδρομητές των τηλεφωνικών και των τηλετυπικών δικτύων στον τομέα του διαστήματος (δορυφόρο της ωκεάνειας περιοχής στην οποία βρίσκεται το πλοίο με το οποίο επιθυμούν να επικοινωνήσουν) και αντίστροφα. Όταν το 1979 άρχισε να λειτουργεί το σύστημα INMARSAT, υπήρχαν οι τρεις CESs του συστήματος MARISAT, ένας για κάθε ωκεάνεια περιοχή. Όπως φαίνεται στο σχήμα 5.2α, σήμερα λειτουργούν 12 CESs και άλλοι τρεις προβλέπεται ότι θα λειτουργήσουν μέχρι το τέλος του 1985.

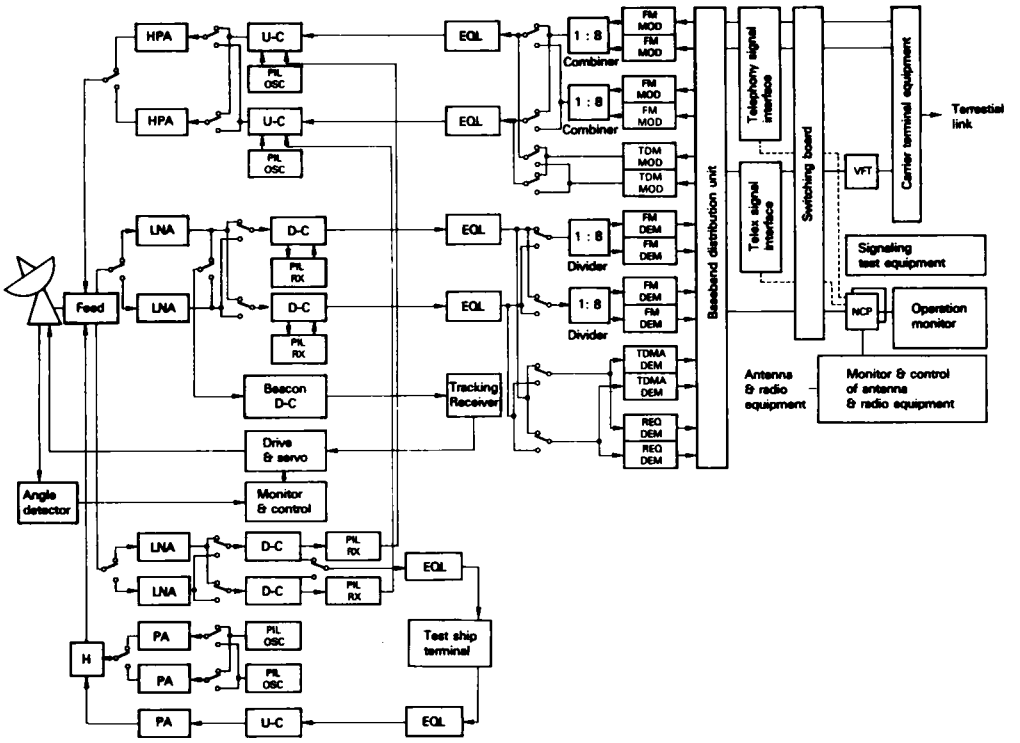
Η εγκατάσταση κάθε CES (σχ. 5.3) περιλαμβάνει την κεραία, τη συσκευή ραδιοσυχνοτήτων και τη συσκευή ελέγχου προσβάσεως και σηματοδοτήσεως.

α) Η κεραία.

Η εγκατάσταση κάθε CES περιλαμβάνει δυο κεραίες παραβολικού κατόπτρου που ακτινοβολούν σε κωνική δέσμη. Η μια έχει διάμετρο 10-13 m και χρησιμεύει τόσο στην εκπομπή προς το δορυφόρο στην περιοχή των 6 Gc/s όσο και στη λήψη από το δορυφόρο στην περιοχή των 4 Gc/s. Η δεύτερη έχει διάμετρο 1,5 έως 3 m και χρησιμεύει στην εκπομπή σημάτων ελέγχου και δοκιμών προς το δορυφόρο στην περιοχή των 1,6 Gc/s και στη λήψη των σημάτων που εκπέμπει ο δορυφόρος προς τα πλοία στην περιοχή των 1,5 Gc/s, ώστε ο CES να μπορεί να παρακολουθεί τη λειτουργία του δορυφόρου.

Για να εξασφαλίζεται συνεχής δορυφορική επικοινωνία, η κεραία του CES μπορεί να παρακολουθεί συνέχεια οποιαδήποτε κίνηση του δορυφόρου με απόλυτη ακρίβεια. Για το λόγο αυτό, στο συγκρότημα της κεραίας περιλαμβάνεται σύστημα παρακολουθήσεως, το οποίο ανιχνεύει οποιαδήποτε κίνηση του δορυφόρου. Σ' αυτό περιλαμβάνεται μονάδα ελέγχου, η οποία ενεργοποιεί τους κινητήρες κινήσεως της κεραίας κατά ύψος και κατά αζιμούθ, ώστε η κεραία να παρακολουθεί τις

ΔΑΡΥΝΑ ΕΥΓΕΝΙΔΟΥ 1954



Σχ. 5.3.

Τυπικό διάγραμμα λειτουργίας CES.

HPA → High Power Amplifier = ενισχυτής υψηλής ισχύος. PA → Power Amplifier = ενισχυτής ισχύος. LNA → Low Noise Amplifier = ενισχυτής χαμηλού θορύβου. U-C → Up Converter = μετατροπέας ανυψώσεως συχνότητας. D-C → Down Converter = μετατροπέας υποβιβασμού συχνότητας. PIL OSC → Pilot Oscillator = ταλαντωτής πιλότος. PIL RX → Pilot Receiver = δέκτης πιλότος. EQL → EQuaLizer = εξισωτής. FM MOD → FM MODulator = διαμορφωτής για διαμόρφωση συχνότητας. TDM → Time Division Multiplex = κατανομή χρόνου πολλαπλής μεταβιβάσεως. TDM MOD → Time Division Multiplex Modulator = διαμορφωτής κατανομής χρόνου πολλαπλής μεταβιβάσεως. FM DEM → FM DEModulator = αποδιαμορφωτής FM. TDMA → Time Division Multiple Access = πρόσβαση πολλαπλής κατανομής χρόνου. TDMA DEM → TDMA DEModulator = αποδιαμορφωτής TDMA. REQ. DEM → Request carrier DEModulator = αποδιαμορφωτής φέροντος αιτήσεως. VTF → Voise Telegraphy Frequency terminal equipment = τερματική συσκευή συχνότητας φωνής και τηλεγραφίας. NCP → Network Control Processor = υπολογιστής ελέγχου δικτύων. Feed = τροφοδότηση. Angle detector = φωρατής γωνίας. Beacon = ραδιοφάρος (φάρος). Drive and servo = κίνηση και σερβομηχανισμός. Monitor and control = παρακολούθηση και έλεγχος. Test ship termival = τερματικό ελέγχου συσκευής. Tracking receiver = δέκτης παρακολουθήσεως. Combiner = συνδυαστής ζώνης συχνοτήτων. Divider = αποσυνδυαστής ζώνης συχνοτήτων. Baseband distribution unit = μονάδα κατανομής ζώνης συχνοτήτων. Telex signal interface = προσαρμοστήρας τηλετυπικών σημάτων. Telephony signal interface = προσαρμοστήρας σημάτων τηλεφωνίας. Switching board = πίνακας διακοπτών. Antenna and radio equipment = κεραία και συσκευή ραδιοσυχνοτήτων. Monitor and control of antenna and radio equipment = παρακολούθηση και έλεγχος της κεραίας και της συσκευής ραδιοσυχνοτήτων. Operation monitor = παρακολούθηση λειτουργίας. Signaling test equipment = συσκευή δοκιμής σηματοδοτήσεως. Carrier terminal equipment = τερματική συσκευή φέροντος. Terminal link = τερματική σύνδεση.

κινήσεις του δορυφόρου και η δέσμη ακτινοβολίας της να τον σκοπεύει συνέχεια. Σε περίπτωση διακοπής της επαφής της κεραίας με το δορυφόρο, διεγείρονται ηχητικά και οπτικά σήματα (alarms), τα οποία ειδοποιούν το προσωπικό του CES για την ανωμαλία.

β) Η συσκευή ραδιοσυχνοτήτων.

Η συσκευή ραδιοσυχνοτήτων (RF equipment) περιλαμβάνει τις μονάδες εκπομπής και λήψεως για τις περιοχές συχνοτήτων C (CES-δορυφόρο/δορυφόρο-CES) και για την περιοχή συχνοτήτων L (SES-δορυφόρο/δορυφόρο-SES). Διατίθεται μια αλυσίδα καναλιών εκπομπής για κάθε περιοχή συχνοτήτων, η οποία αποτελείται από ένα μετατροπέα ανυψώσεως συχνότητας (UC — Up Converter) και ένα ενισχυτή υψηλής ισχύος (HPA — High Power Amplifier). Ο μετατροπέας ανυψώσεως συχνότητας λαμβάνει τα σήματα σε ενδιάμεση συχνότητα από το διαμορφωτή συχνοτήτων (FM MOD) και με ετεροδύνωση τα ανυψώνει στην περιοχή της ραδιοσυχνότητας εκπομπής. Τα σήματα αυτά στην περιοχή των ραδιοσυχνοτήτων οδηγούνται στον ενισχυτή υψηλής ισχύος και, αφού ενισχυθούν σε καθορισμένη στάθμη, διοχετεύονται με κυματοδηγό στην κεραία, η οποία τα εκπέμπει σε δέσμη προς το δορυφόρο. Η στάθμη ενισχύσεως ποικίλλει στους διάφορους CESs και εξαρτάται από τη θέση του CES σε σχέση με τη θέση του δορυφόρου.

Παράλληλα, διατίθεται μια αλυσίδα καναλιών λήψεως για κάθε περιοχή συχνοτήτων, η οποία αποτελείται από ένα ενισχυτή χαμηλού θορύβου (LNA — Low Noise Amplifier) και ένα υποβιβαστή συχνοτήτων (DC — Down Converter). Τα σήματα ραδιοσυχνότητας που εκπέμπονται από το δορυφόρο, αφού ληφθούν από την κεραία του CES με την ίδια συχνότητα, οδηγούνται με κυματοδηγό στον ενισχυτή χαμηλού θορύβου και, αφού ενισχυθούν, οδηγούνται στον υποβιβαστή συχνότητας. Αυτός τα υποβιβάζει στην ενδιάμεση συχνότητα, ώστε να είναι δυνατή η παραπέρα επεξεργασία τους.

Η συσκευή ραδιοσυχνότητας περιλαμβάνει και μονάδα αυτόματης ρυθμίσεως συχνοτήτων (AFC), για όλα τα σήματα που εκπέμπονται και λαμβάνονται στις περιοχές συχνοτήτων C και L προς και από το δορυφόρο. Με αυτή αντισταθμίζεται οποιαδήποτε ανεπιθύμητη μεταβολή συχνότητας που θα παρουσιασθεί στη φέρουσα συχνότητα από CES-δορυφόρο-SES και αντίστροφα. Τέτοια ανεπιθύμητη μεταβολή συχνότητας μπορεί να οφείλεται στο φαινόμενο Doppler, κυρίως λόγω της κινήσεως του πλοίου, και σε ανωμαλία του πομπού του δορυφόρου.

γ) Η συσκευή ελέγχου προσβάσεως και σηματοδοτήσεως.

Η συσκευή ελέγχου προσβάσεως και σηματοδοτήσεως (ACSE-Access Control and Signalling Equipment) αποτελεί το νευρικό κέντρο του CES. Η λειτουργία της βασίζεται σε ένα πολύπλοκο πρόγραμμα (software) ηλεκτρονικού υπολογιστή, το οποίο εξασφαλίζει όλες τις διασυνδέσεις στα διεθνή τηλεφωνικά και τηλετυπικά δίκτυα. Συνδέει το σύστημα INMARSAT στα συστήματα σηματοδοτήσεως της ενδοχώρας και δεν επιτρέπει σε σήματα με λανθασμένο χαρακτηριστικό κωδικό, που είναι δυνατό να φθάσουν στο CES, να προκαλέσουν ανωμαλία στις αυτόματες συνδέσεις. Επίσης, καταγράφει όλα τα τέλη επικοινωνιών για κάθε SES και για κάθε ανταποκριτή ξηράς και παρέχει μεταγενέστερα ολοκληρωμένους λογαριασμούς.

ΛΑΡΥΝΑ ΕΥΘΥΝΗ 1954

Ο ηλεκτρονικός υπολογιστής της ACSE περιλαμβάνει και διαγνωστικά προγράμματα, με αυτόματη περιοδική ενεργοποίηση. Με αυτά εντοπίζεται οποιαδήποτε βαθμίδα παρουσιάσει ανωμαλία και αντικαθίσταται αυτόματα από άλλη εφεδρική, ενώ ταυτόχρονα παρουσιάζονται σε ενδείκτη λεπτομέρειες για την ανωμαλία. Με εντολές του υπολογιστή αυτού εξασφαλίζεται η επιλογή της σωστής κατευθύνσεως κάθε τηλεφωνικής και τηλετυπικής κλίσεως μέσω του CES.

Κάθε CES έχει τη δυνατότητα να παρέχει τα παρακάτω είδη τηλεπικοινωνιών:

1) Τηλεφωνία.

Διατίθεται για όλους τους CESs επαρκής αριθμός καναλιών με διαμόρφωση συχνότητας ενός καναλιού ανά φέρουσα συχνότητα (FM/SCPC — Frequency Modulated/Single Channel Per Carrier), για την εκπομπή και τη λήψη φωνής. Με τα ίδια κανάλια εκπέμπονται και λαμβάνονται ***δεδομένα*** (ψηφιακές πληροφορίες) με ταχύτητα μέχρι 2400 bit/s και ψηφιακή ή αναλογική τηλεμιοτυπία (facsimile). Οι ψηφιακές πληροφορίες αποτελούνται από σειρές παλμών, όπου η ύπαρξη παλμού αντιστοιχεί με το ψηφίο 1 και η απουσία με το ψηφίο 0. Οι σειρές αυτές παλμών αντιστοιχούν με διαδικές λέξεις (αριθμούς). Επίσης, μπορεί να αποτελούνται από διαμόρφωση της φέρουσας με δυο διαφορετικές σταθερές ακουστικές συχνότητες με πολύ μεγάλη ταχύτητα εναλλαγής, όπως το FSK [βλ. παράγρ. 4.4(γ)].

Τα κανάλια αυτά ονομάζονται ***κανάλια τηλεφωνίας.*** Είναι κοινά για όλους τους CESs και εκχωρούνται κατά προτεραιότητα σ' αυτούς από τους NCSs, ανάλογα κάθε φορά με τη ζήτηση.

2) Τηλεγραφία.

Κάθε CES διαθέτει 22 τηλετυπικά κανάλια με ταχύτητα μεταβιβάσεως 50 band προς την κατεύθυνση ξηρά-πλοίο και ισάριθμα όμοια κανάλια προς την κατεύθυνση πλοίο-ξηρά. Διαθέτει επίσης από ένα τέτοιο κανάλι προς κάθε κατεύθυνση για σηματοδότηση.

Τα παραπάνω κανάλια ανήκουν στον CES και εκχωρούνται από αυτόν στα πλοία και τους συνδρομητές ξηράς, ανάλογα με την προτεραιότητα κλήσεως.

3) Δεδομένα μεγάλων ταχυτήτων.

Ορισμένοι CESs διαθέτουν κανάλια με μεγαλύτερη ζώνη συχνοτήτων από αυτή των τηλεφωνικών καναλιών, για τη μεταβίβαση δεδομένων (ψηφιακών πληροφοριών) μεγάλων ταχυτήτων (high speed data), από 2400 bit/s μέχρι 56 kbit/s, μόνο από το πλοίο προς την ξηρά.

Η μεγαλύτερη ζώνη συχνοτήτων είναι απαραίτητη, επειδή, στις μεγάλες ταχύτητες, η διάρκεια των παλμών (bits) είναι μικρότερη και περιλαμβάνει μεγαλύτερο αριθμό αρμονικών. Αυτά συνδέονται σε όμοια κανάλια ξηράς (γραμμές) και καταλήγουν σε τερματικές συσκευές που συνήθως είναι ηλεκτρονικοί υπολογιστές.

Όπως τα τηλεφωνικά, έτσι και τα κανάλια δεδομένων μεγάλων ταχυτήτων είναι κοινά για όλους τους CESs και εκχωρούνται σ' αυτούς από τους NCSs κατά προτεραιότητα και ανάλογα κάθε φορά με τη ζήτηση.

4) Κανάλια αιτήσεως.

Κάθε CES διαθέτει δυο κανάλια αιτήσεως (request channels) επικοινωνίας από

το πλοίο προς την ξηρά, τα οποία είναι κανάλια μεταδόσεως ψηφιακών πληροφοριών με ταχύτητα 4800 bit/s. Η κλήση από το πλοίο προς την ξηρά αποτελείται από μια δυαδική λέξη (σειρά παλμών), η οποία προκύπτει από την επιλογή του χαρακτηριστικού αριθμού κλήσεως στο πληκτρολόγιο της τηλεφωνικής ή της τηλετυπικής συσκευής και φθάνει στον CES μέσω δορυφόρου. Αυτή περιλαμβάνει το χαρακτηριστικό αριθμό του συνδρομητή, με τον οποίο το πλοίο επιθυμεί να επικοινωνήσει, τη φύση της κλήσεως (τηλεφωνική-τηλετυπική-κοινή-επείγουσα) και το χαρακτηριστικό αριθμό του πλοίου. Αμέσως μετά την εκπομπή της από το πλοίο, η αίτηση επικοινωνίας διοχετεύεται σε ένα από τα δυο όμοια κανάλια. Με τα δυο όμοια κανάλια αιτήσεως επικοινωνίας εξασφαλίζεται η πρόσβαση στον CES, σε περίπτωση που το ένα κανάλι είναι κατειλημμένο ή δεν είναι χρησιμοποιήσιμο λόγω θορύβου. Η πρόσβαση της αιτήσεως επικοινωνίας στον CES αποκαθιστά την τηλετυπική σύνδεση απευθείας με ένα από τα τηλετυπικά κανάλια που διαθέτει ο CES και αποκαθίσταται έτσι η επαφή με το επίγειο τηλετυπικό δίκτυο ή αποκαθιστά την τηλεφωνική σύνδεση μέσω NCS με ένα από τα κοινά τηλεφωνικά κανάλια και αποκαθίσταται η επαφή με το επίγειο τηλεφωνικό δίκτυο.

Σημειώνεται ότι, σε περίπτωση αιτήσεως επικοινωνίας σήματος με προτεραιότητα (SOS) που θα περιέχεται στην κλήση του πλοίου, η αποκατάσταση της συνδέσεως είναι άμεση, ακόμη και με πρόσκαιρη διακοπή της λειτουργίας απασχολούμενου καναλιού. Επίσης, κάθε CES συνδέεται με τα κέντρα συντονισμού της διασώσεως της περιοχής του, ώστε αυτά να λαμβάνουν αμέσως τα σήματα κινδύνου και να οργανώνουν τις ενέργειες βοήθειας και διασώσεως χωρίς καθυστέρηση.

5.3.1 Οι σταθμοί συντονισμού δικτύων.

Οι σταθμοί συντονισμού δικτύων (NCSs) είναι σταθμοί με ευρύτερο εξοπλισμό, τέτοιο ώστε, εκτός από τις υπηρεσίες των CESs να μπορούν να εκχωρούν τα κοινά κανάλια τηλεφωνίας και τα κανάλια δεδομένων μεγάλων ταχυτήτων στους CESs και τους SESs, ανάλογα κάθε φορά με την προτεραιότητα και ζήτηση.

Οι τρεις CESs που λειτουργούν ως NCSs (σχ. 5.2α), βρίσκονται:

- Στο Southbury των ΗΠΑ για την περιοχή του Ατλαντικού ωκεανού (AOR – Atlantic Ocean Region).
- Στο Yamaguchi της Ιαπωνίας για την περιοχή του Ινδικού ωκεανού (IOR – Indian Ocean Region) και
- στο Ibaraki της Ιαπωνίας για την περιοχή του Ειρηνικού ωκεανού (POR – Pacific Ocean Region).

Κάθε NCS εκπέμπει επίσης ανακοινώσεις για οποιαδήποτε τροποποίηση ή προσθήκη στις υπηρεσίες που παρέχει το σύστημα INMARSAT προς όλα τα πλοία που βρίσκονται στην περιοχή του και παρακολουθεί τα χαρακτηριστικά των σημάτων των τηλεπικοινωνιών που διεξάγονται.

5.4 Ο τομέας του διαστήματος.

Ο τομέας του διαστήματος (space segment) του συστήματος INMARSAT αποτελείται από τους δορυφόρους, οι οποίοι φέρουν τους σταθμούς αναμεταδόσεως. Οι δορυφόροι είναι εφοδιασμένοι και με ειδικά συστήματα τηλεμετρικής παρακο-

λουθήσεως και ελέγχου (TT & C – Tracking Telemetry and Command), τα οποία τους εξασφαλίζουν σταθερή θέση και κατεύθυνση σε σχέση με την περιοχή της γης που καλύπτουν.

α) Οι σταθμοί αναμεταδόσεως.

Κάθε δορυφόρος φέρει δυο σταθμούς αναμεταδόσεως (δέκτες-μεταλλάκτες συχνότητας-πομπούς), ένα για την κατεύθυνση ξηρά-πλοίο και ένα για την κατεύθυνση πλοίο-ξηρά (σχ. 5.2β).

Ο σταθμός αναμεταδόσεως (repeater ή transponder) για την κατεύθυνση ξηρά-πλοίο λαμβάνει τα σήματα σε ζώνη συχνοτήτων στην περιοχή των 6 Gc/s που εκπέμπονται από τους CESs της γήινης περιοχής που καλύπτει ο δορυφόρος και υποβιβάζει τη συχνότητά τους στην περιοχή των 1,5 Gc/s. Μετά τον υποβιβασμό της συχνότητάς τους, τα ενισχύει σε αρκετά υψηλή στάθμη και τα εκπέμπει προς τη γήινη επιφάνεια που καλύπτει ο δορυφόρος. Η ενίσχυση σε υψηλή στάθμη είναι απαραίτητη, ώστε τα σήματα αυτά να φθάνουν στη γη με ικανοποιητική ισχύ και να είναι δυνατή η λήψη τους από τις κεραίες μικρών διαστάσεων των SESs.

Ο σταθμός αναμεταδόσεως για την κατεύθυνση πλοίο-ξηρά λαμβάνει τα σήματα σε ζώνη συχνοτήτων στην περιοχή των 1,6 Gc/s, όπου εκπέμπονται από τους SESs που βρίσκονται στην περιοχή που καλύπτει ο δορυφόρος, αυξάνει τη συχνότητά τους στην περιοχή των 4 Gc/s και, αφού τα ενισχύσει, τα εκπέμπει προς την ίδια περιοχή της γης.

β) Οι δορυφόροι.

Ο τομέας του διαστήματος χρησιμοποιεί γεωστατικούς δορυφόρους που ακολουθούν κυκλική τροχιά σε ύψος 36.000 km περίπου πάνω από τον Ισημερινό. Η περίοδος της τροχιάς είναι περίπου 24 ώρες και έτσι ο δορυφόρος σε σχέση με τη γη παραμένει ακίνητος και η θέα του καλύπτει την ίδια έκταση της γης. Από το ύψος αυτό, με ένα δορυφόρο που βρίσκεται σε κάθε μια από τις τρεις κύριες ωκεάνειες περιοχές (σχ. 5.2α), εξασφαλίζεται σχεδόν ολική σφαιρική κάλυψη. Θα πρέπει να σημειωθεί ότι η κάλυψη αυτή αναφέρεται σε ελάχιστη γωνία σκοπεύσεως του δορυφόρου από την κεραία του SES 5°. Για γωνία σκοπεύσεων από 5° και πάνω, η ποιότητα των τηλεπικοινωνιών που εξασφαλίζονται ανταποκρίνεται στα διεθνή τηλεπικοινωνιακά πρότυπα. Ωστόσο είναι δυνατή η διεξαγωγή τηλεπικοινωνιών και σε μικρότερες γωνίες σκοπεύσεως με προοδευτική υποβάθμιση της ποιότητας όσο η γωνία ελαττώνεται από 5° μέχρι 0°. Η υποβαθμισμένη αυτή διεξαγωγή τηλεπικοινωνιών αυξάνει και την έκταση καλύψεως.

Εκτός από τους τρεις δορυφόρους που βρίσκονται σε λειτουργία, υπάρχουν και ισάριθμοι εφεδρικοί, ώστε, σε περίπτωση βλάβης ενός, τίθεται αμέσως σε λειτουργία ο εφεδρικός του και εξασφαλίζεται έτσι συνεχής εξυπηρέτηση των τηλεπικοινωνιών στην περιοχή που καλύπτει.

Κατά την έναρξη της λειτουργίας του, ο οργανισμός INMARSAT είχε εκμισθώσει τον εξοπλισμό που υπήρχε μέχρι τότε, ο οποίος αποτελείται από τους παρακάτω τύπους δορυφόρων.

1) Δορυφόροι MARISAT:

Τρεις δορυφόροι πολλαπλών δυνατοτήτων από την εμπορική επιχείρηση MARI-

SAT Joint Venture. Κάθε δορυφόρος του τύπου αυτού είχε δυναμικότητα (ζώνη συχνοτήτων) ισοδύναμη με 10 τηλεφωνικά κανάλια.

2) Δορυφόροι MARECS:

Δυο δορυφόροι ναυτικών τηλεπικοινωνιών από την ευρωπαϊκή υπηρεσία διαστήματος (ESA — European Space Agency). Η δυναμικότητα (ζώνη συχνοτήτων) κάθε δορυφόρου MARECS είναι ισοδύναμη με 40 τηλεφωνικά κανάλια.

3) Δορυφόροι INTELSAT V:

Τέσσερις σύγχρονης σειράς δορυφόροι εμπορικών τηλεπικοινωνιών τύπου INTELSAT V (σχ. 5.4α) έχουν τεθεί σε τροχιά από το υποσύστημα ναυτικών επικοινωνιών (MCS — Maritime Communication Subsystem) και έχουν εκμισθωθεί από το διεθνή οργανισμό δορυφορικών τηλεπικοινωνιών (INTELSAT — INternational TELecommunication SATellite. Κάθε δορυφόρος INTELSAT V έχει δυναμικότητα (ζώνη συχνοτήτων) ισοδύναμη με 30 τηλεφωνικά κανάλια.

Η σταθερή φαινόμενη θέση στην ισημερινή τροχιά των τριών δορυφόρων που βρίσκονται σε λειτουργία έχει ορισθεί, μετά από συμφωνία, ως εξής:

- Της περιοχής του Ατλαντικού ωκεανού (AOR) σε μήκος 26° Δ, δορυφόρος τύπου MARECS, που ονομάζεται MARECS A.
- Της περιοχής του Ινδικού ωκεανού (IOR) σε μήκος 63° Α, δορυφόρος τύπου INTELSAT V, που ονομάζεται MCS A.
- Της περιοχής του Ειρηνικού ωκεανού (POR) σε μήκος 179° Α, δορυφόρος τύπου INTELSAT V, που ονομάζεται MCS D.

Η εκλογή της σταθερής φαινόμενης θέσεως της ισημερινής τροχιάς των τριών δορυφόρων είναι αρκετά πολύπλοκη. Η λύση που υιοθετήθηκε από το συμβούλιο του INMARSAT επιτρέπει την κάλυψη των περιοχών με πολυσύχναστες διαδρομές πλοίων, την εύκολη πρόσβαση του πλοίου (SESs) σε περισσότερους CESs και την αποτελεσματική εξερεύνηση περιοχών της ξηράς. Όμως, έχουν προκύψει προβλήματα ανεπιθυμήτων παρεμβολών με πολλούς από τους δορυφόρους που έχουν τεθεί σε τροχιά από τον οργανισμό INTELSAT, και με δορυφόρους άλλων συστημάτων. Τα προβλήματα αυτά επιλύονται με προσεκτική κατανομή των συχνοτήτων στους δορυφόρους των διαφόρων συστημάτων.

Στο σχήμα 5.4β φαίνονται οι σταθερές φαινόμενες θέσεις και η κατεύθυνση της κινήσεως των τριών δορυφόρων στην ισημερινή κυκλική τροχιά. Οι γωνίες που σχηματίζονται από σταθερές φαινόμενες θέσεις μεταξύ δυο διαδοχικών δορυφόρων και του Ναδίρ είναι:

- Ατλαντικού και Ινδικού ωκεανού 89°.
- Ινδικού και Ειρηνικού ωκεανού 160° και
- Ειρηνικού και Ατλαντικού ωκεανού 155°.

Η ασυμμετρία αυτή υπαγορεύεται λόγω της ασύμμετρης εκτάσεως των τριών ωκεανών και της δυνατότητας εγκαταστάσεως των CESs και των NCSs. Λόγω της ασυμμετρίας αυτής σε μερικές εκτάσεις υπάρχει επικάλυψη, ενώ δεν καλύπτεται μια μικρή έκταση του Ειρηνικού ωκεανού (σχ. 5.2α).

Σήμερα είναι πολύ δύσκολη και αρκετά δαπανηρή η πρόσβαση για τη συντήρηση και την επισκευή των δορυφόρων όλων των συστημάτων. Τα δυο τελευταία χρόνια έχουν επιχειρηθεί άλλοτε επιτυχώς και άλλοτε ανεπιτυχώς τέτοια εγχειρή-

ματα από τα πληρώματα των διαστημικών λεωφορείων (space shuttles) της NASA. Για το λόγο αυτό, η σχεδίαση, η κατασκευή και η δοκιμή των τηλεπικοινωνιακών συσκευών και των δορυφόρων γίνεται με μεγάλη προσοχή, ώστε το όλο σύστημα να έχει μεγάλο χρόνο ζωής με υψηλή αξιοπιστία. Οι περισσότεροι δορυφόροι κατασκευάζονται για χρόνο συνεχούς λειτουργίας από 7-10 χρόνια. Ο περιορισμός αυτός οφείλεται κυρίως στην περιορισμένη επάρκεια προωθητικής γομώσεως (καύσιμα), που είναι απαραίτητη για τη διόρθωση της τροχιάς των δορυφόρων. Πάντως, οι περισσότεροι δορυφόροι παραμένουν χρησιμοποιήσιμοι για μεγάλα χρονικά διαστήματα μετά την εκπνοή της προκαθορισμένης λήξεως της ζωής τους. Για παράδειγμα, όλοι οι δορυφόροι τύπου MARISAT λειτουργούσαν στην εντέλεια μετά την εκπνοή του προκαθορισμένου χρόνου ζωής τους.

γ) Το σύστημα τηλεμετρικής παρακολουθήσεως και ελέγχου.

Κάθε τηλεπικοινωνιακός δορυφόρος του συστήματος INMARSAT είναι εξοπλισμένος με σύστημα τηλεμετρικής παρακολουθήσεως και ελέγχου (TT & C - Tracking Telemetry and Command). Το σύστημα αυτό περιλαμβάνει δέκτες λήψεως των σημάτων που εκπέμπονται από επίγειους σταθμούς ελέγχου, αποκωδικοποιητές των σημάτων ελέγχου, μετατροπείς των σημάτων αποστάσεως, αποκωδικοποιητές πληροφοριών τηλεμετρίας και πομπούς που λειτουργούν ως ραδιοφάροι τηλεμετρίας.

Σε ολόκληρη τη διάρκεια λειτουργίας του, κάθε δορυφόρος απαιτεί συνεχή παρακολούθηση και διόρθωση της λειτουργίας του και της συμπεριφοράς του από τη γη. Στο σχήμα 5.4γ φαίνεται το σύστημα των επιγείων εγκαταστάσεων, με το οποίο εξασφαλίζεται η υποστήριξη της λειτουργίας των δορυφόρων τύπου MARECS και το οποίο αποτελείται από:

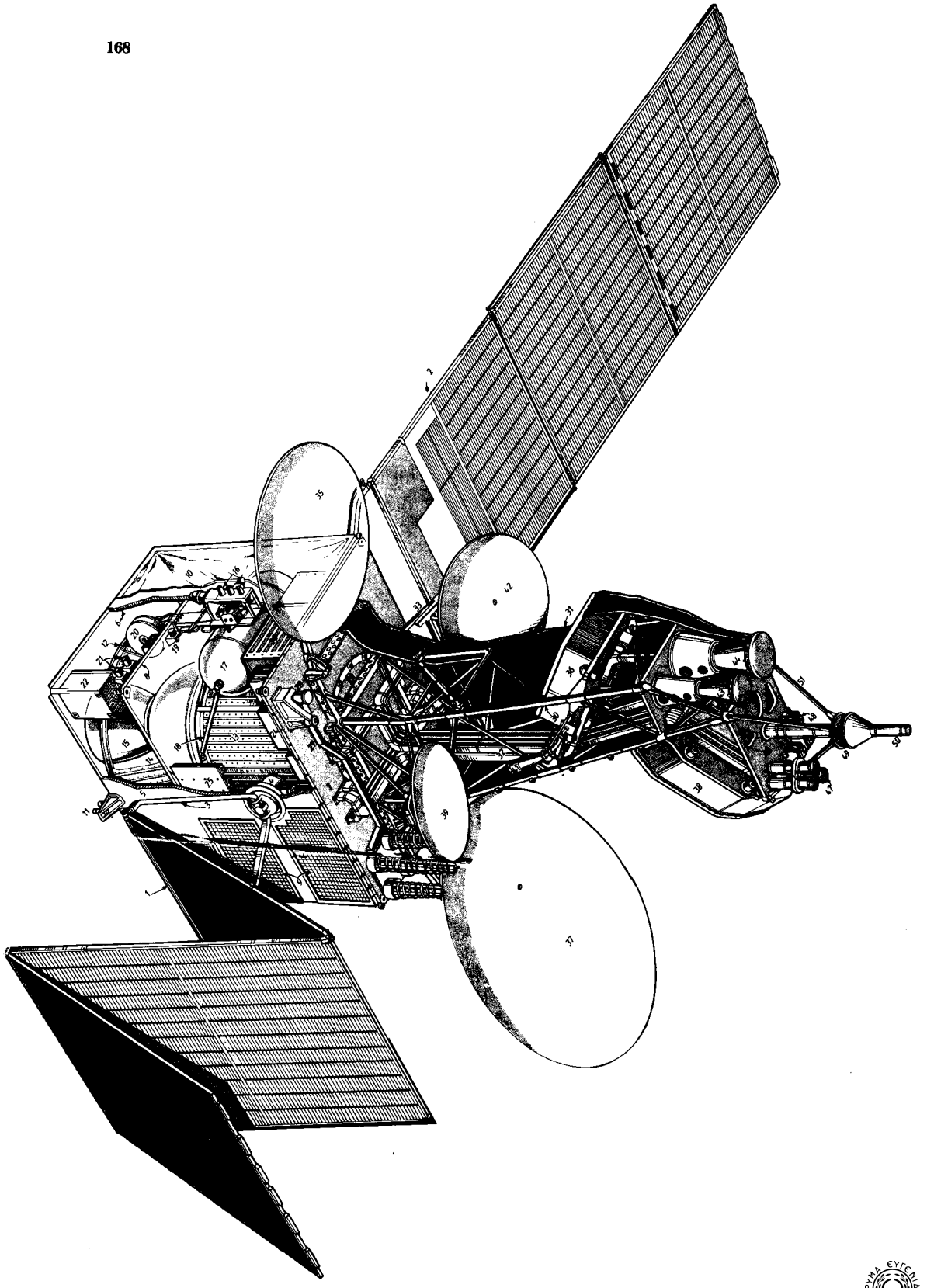
1) Το δίκτυο των σταθμών παρακολουθήσεως της λειτουργίας και της συμπεριφοράς των δορυφόρων και εκπομπής διορθωτικών σημάτων για την αποκατάσταση ανωμαλιών, το οποίο περιλαμβάνει:

- Ανά ένα σταθμό παρακολουθήσεως και εκπομπής διορθωτικών σημάτων στις περιοχές συχνοτήτων L (1,5 Gc/s και 1,6 Gc/s) και C (4 Gc/s και 6 Gc/s) στη Vilafranca της Ισπανίας για τον έλεγχο δορυφόρων του δυτικού ημισφαιρίου.
- Ένα σταθμό VHF στο Redu του Βελγίου για την υποστήριξη των σταθμών της Vilafranca.
- Ανά ένα σταθμό παρακολουθήσεως και εκπομπής διορθωτικών σημάτων στις περιοχές συχνοτήτων L (1,5 Gc/s και 1,6 Gc/s) και C (4 Gc/s και 6 Gc/s) στο Imbaraki της Ιαπωνίας, για τον έλεγχο δορυφόρων του ανατολικού ημισφαιρίου.

2) Το δίκτυο τηλεπικοινωνιών, με το οποίο οι παραπάνω σταθμοί συνδέονται στο ευρωπαϊκό κέντρο διαστημικών επιχειρήσεων (ESOC — European Space Operation Centre) της ευρωπαϊκής υπηρεσίας διαστήματος (ESA — European Space Agency), στο Darmstadt της Δυτικής Γερμανίας.

Με το παραπάνω σύστημα είναι δυνατός ο έλεγχος ολόκληρης της διατάξεως των συσκευών των δορυφόρων, όπως:

- Απενεργοποίηση μονάδας που παρουσίασε βλάβη και ενεργοποίηση όμοιας εφεδρικής μονάδας.

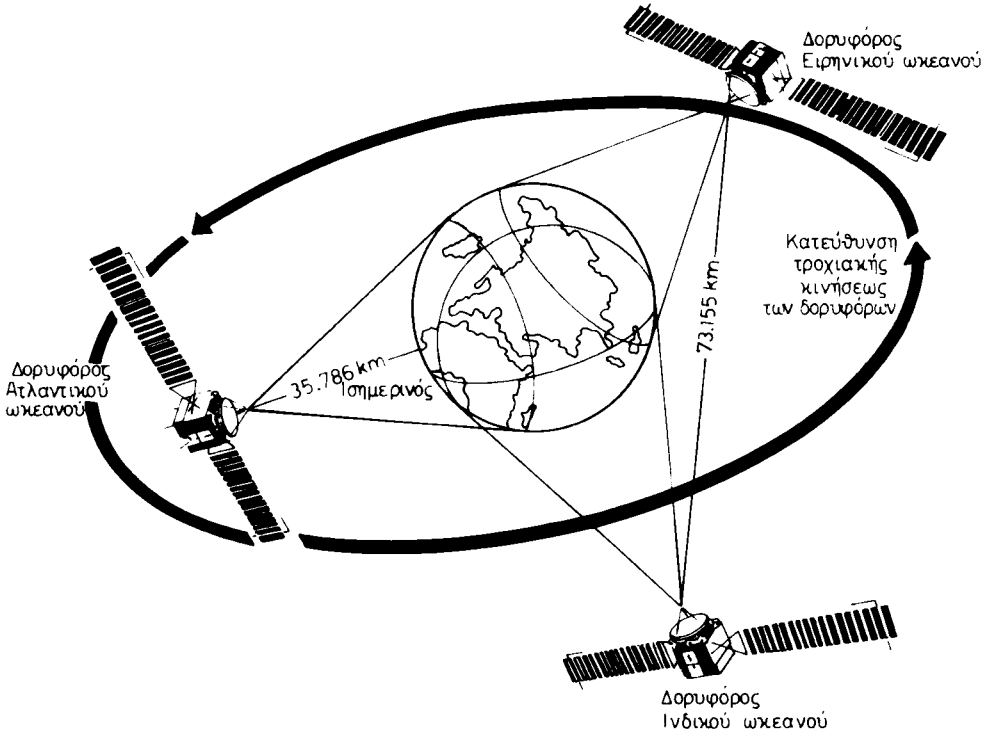

2
35
42
31
37
39
38
43
44
45
46
47
48
49
50
51
52
53
54
55
56
57
58
59
60
61
62
63
64
65
66
67
68
69
70
71
72
73
74
75
76
77
78
79
80
81
82
83
84
85
86
87
88
89
90
91
92
93
94
95
96
97
98
99
100
101
102
103
104
105
106
107
108
109
110
111
112
113
114
115
116
117
118
119
120
121
122
123
124
125
126
127
128
129
130
131
132
133
134
135
136
137
138
139
140
141
142
143
144
145
146
147
148
149
150
151
152
153
154
155
156
157
158
159
160
161
162
163
164
165
166
167
168
169
170
171
172
173
174
175
176
177
178
179
180
181
182
183
184
185
186
187
188
189
190
191
192
193
194
195
196
197
198
199
200
201
202
203
204
205
206
207
208
209
210
211
212
213
214
215
216
217
218
219
220
221
222
223
224
225
226
227
228
229
230
231
232
233
234
235
236
237
238
239
240
241
242
243
244
245
246
247
248
249
250
251
252
253
254
255
256
257
258
259
260
261
262
263
264
265
266
267
268
269
270
271
272
273
274
275
276
277
278
279
280
281
282
283
284
285
286
287
288
289
290
291
292
293
294
295
296
297
298
299
300
301
302
303
304
305
306
307
308
309
310
311
312
313
314
315
316
317
318
319
320
321
322
323
324
325
326
327
328
329
330
331
332
333
334
335
336
337
338
339
340
341
342
343
344
345
346
347
348
349
350
351
352
353
354
355
356
357
358
359
360
361
362
363
364
365
366
367
368
369
370
371
372
373
374
375
376
377
378
379
380
381
382
383
384
385
386
387
388
389
390
391
392
393
394
395
396
397
398
399
400
401
402
403
404
405
406
407
408
409
410
411
412
413
414
415
416
417
418
419
420
421
422
423
424
425
426
427
428
429
430
431
432
433
434
435
436
437
438
439
440
441
442
443
444
445
446
447
448
449
450
451
452
453
454
455
456
457
458
459
460
461
462
463
464
465
466
467
468
469
470
471
472
473
474
475
476
477
478
479
480
481
482
483
484
485
486
487
488
489
490
491
492
493
494
495
496
497
498
499
500
501
502
503
504
505
506
507
508
509
510
511
512
513
514
515
516
517
518
519
520
521
522
523
524
525
526
527
528
529
530
531
532
533
534
535
536
537
538
539
540
541
542
543
544
545
546
547
548
549
550
551
552
553
554
555
556
557
558
559
560
561
562
563
564
565
566
567
568
569
570
571
572
573
574
575
576
577
578
579
580
581
582
583
584
585
586
587
588
589
590
591
592
593
594
595
596
597
598
599
600
601
602
603
604
605
606
607
608
609
610
611
612
613
614
615
616
617
618
619
620
621
622
623
624
625
626
627
628
629
630
631
632
633
634
635
636
637
638
639
640
641
642
643
644
645
646
647
648
649
650
651
652
653
654
655
656
657
658
659
660
661
662
663
664
665
666
667
668
669
670
671
672
673
674
675
676
677
678
679
680
681
682
683
684
685
686
687
688
689
690
691
692
693
694
695
696
697
698
699
700
701
702
703
704
705
706
707
708
709
710
711
712
713
714
715
716
717
718
719
720
721
722
723
724
725
726
727
728
729
730
731
732
733
734
735
736
737
738
739
740
741
742
743
744
745
746
747
748
749
750
751
752
753
754
755
756
757
758
759
760
761
762
763
764
765
766
767
768
769
770
771
772
773
774
775
776
777
778
779
780
781
782
783
784
785
786
787
788
789
790
791
792
793
794
795
796
797
798
799
800
801
802
803
804
805
806
807
808
809
810
811
812
813
814
815
816
817
818
819
820
821
822
823
824
825
826
827
828
829
830
831
832
833
834
835
836
837
838
839
840
841
842
843
844
845
846
847
848
849
850
851
852
853
854
855
856
857
858
859
860
861
862
863
864
865
866
867
868
869
870
871
872
873
874
875
876
877
878
879
880
881
882
883
884
885
886
887
888
889
890
891
892
893
894
895
896
897
898
899
900
901
902
903
904
905
906
907
908
909
910
911
912
913
914
915
916
917
918
919
920
921
922
923
924
925
926
927
928
929
930
931
932
933
934
935
936
937
938
939
940
941
942
943
944
945
946
947
948
949
950
951
952
953
954
955
956
957
958
959
960
961
962
963
964
965
966
967
968
969
970
971
972
973
974
975
976
977
978
979
980
981
982
983
984
985
986
987
988
989
990
991
992
993
994
995
996
997
998
999
1000

Σχ. 5.4α.

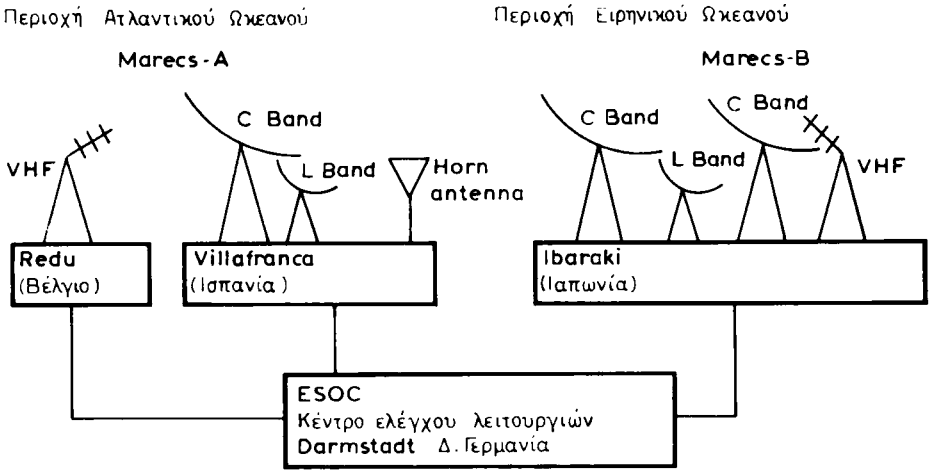
Δορυφόροι τύπου INTELSAT V.

1. Πλαίσια ηλιακών στοιχείων ενώ αναπτύσσονται. 2. Αναπτυγμένα πλαίσια ηλιακών στοιχείων. 3. Ζύγωμα αναπτύξεως πλαισίων. 4. Διάταξη στροφής πλαισίων και μεταφοράς ενέργειας. 5. Πλαίσια προστατευτικού περιβλήματος. 6. Πλαίσια προσανατολισμού ανατολικής και δυτικής πλευράς. 7. Βάση τηλεπικοινωνιακών κεραιών. 8. Θερμομονωμένος χώρος τηλεπικοινωνιακών συσκευών. 9. Ανακλαστήρες ηλιακού φωτός. 10. Θερμικός μονωτήρας πολλαπλών στρωμάτων. 11. Σφιγκτήρας διαχωρισμού δορυφόρου-πυραύλου. 12. Υποδοχή συνδέσεως πυραύλου. 13. Θάλαμος καύσεως (κύριος δομικός πυρήνας του διαστημοπλοίου). 14. Προστατευτικό κάλυμμα κινητήρα απογείου. 15. Κινητήρας απογείου (στερεών καυσίμων). 16. Προωθητές προσανατολισμού (οκτώ σε κάθε πλευρά). 17. Δεξαμενή υδραζίνης (καύσιμο-2 δεξαμενής). 18. Δοκοί στερεώσεως δεξαμενής καυσίμων. 19. Βαλβίδα γεμίσματος και αδειάσματος υδραζίνης. 20. Σφόνδυλος αποσβέσεως προνευτασμών του διαστημοπλοίου. 21. Σφόνδυλος αντισταθμίσεως της κλίσεως. 22. Μπαταρίες καδμίου-νικελίου 35 Ah. (2). 23. Κύριοι δέκτες (2). 24. Ηλεκτρονικές διατάξεις συστήματος τηλεπικοινωνιών. 25. Ενισχυτές με λυχνίες οδεύοντος κύματος. (TWTA-Travelling Wave Tube Amplifiers). 26. Ελικοειδείς κεραίες περιοχής συχνοτήτων L, στη θέση συμπτύξεως. 27. Βραχίονας κεραιών. 28. Υποστήριγμα στρεφόμενης υποδοχής βραχίονα κεραιών περιοχής συχνοτήτων L. 29. Σκελετός στερεώσεως του πύργου κεραιών. 30. Πύργος κεραιών (κύριος σωληνωτός σκελετός). 31. Θερμικό περίβλημα τριών στρωμάτων. 32. Κυματοδηγοί συνδέσεως των κεραιών με τους πομποδέκτες. 33. Υποδοχές στρεφομένων ανακλαστήρων κεραιών. 34. Βραχίονας αναπτύξεως και συμπτύξεως των ανακλαστήρων. 35. Ανακλαστήρας εραίας 6 Gc/s. 36. Διάταξη τροφοδοτήσεως της κεραίας 6 Gc/s. 37. Ανακλαστήρας κεραίας 4 Gc/s. 38. Διάταξη τροφοδοτήσεως της κεραίας 4 c/s. 39. Ανακλαστήρας κεραίας δέσμης 11/14 Gc/s εκτοπισμού ανατολικού σημείου: (επίγειου σταθμού ελέγχου). 40. Σταθεροποιητής θέσεως δυο αξόνων. 41. Τροφοδότηση κεραιών δέσμης 11/14 Gc/s. 42. Ανακλαστήρας κεραίας δέσμης 11/14 Gc/s εκτοπισμού δυτικού σημείου (επίγειου σταθμού ελέγχου). 43. Κεραία χοάνης 6 Gc/s για λήψη από τη γη. 44. Κεραία χοάνης 4 Gc/s για εκπομπή προς τη γη. 45. Βάση κεραιών τηλεμετρίας. 46. Κεραίες τηλεμετρίας. 47. Κεραία ραδιοφάρου 11 Gc/s. 48. Γεωστατικοί αισθητήρες υπέρυθρης ακτινοβολίας (3). 49. Δακτυλιοειδής κεραία τηλεμετρίας. 50. Κεραία λήψεως τηλεμετρικών εντολών. 51. Βραχίονες στερεώσεως κεραιών.

ΙΔΡΥΜΑ ΕΥΓΕΝΙΔΟΥ · 1956


Δορυφόρος
Ειρηνικού ωκεανού
Κατεύθυνση
τροχιακής
κινήσεως
των δορυφόρων
73.155 km
35.786 km
σημερινός
Δορυφόρος
Ατλαντικού
ωκεανού
Δορυφόρος
Ινδικού ωκεανού

Σχ. 5.4β.


Περιοχή Ατλαντικού Ωκεανού
Marecs-A
C Band
VHF
L Band
Horn
antenna
Redu
(Βέλγιο)
Villafranca
(Ισπανία)
Περιοχή Ειρηνικού Ωκεανού
Marecs-B
C Band
C Band
L Band
VHF
Ibaraki
(Ιαπωνία)
ESOC
Κέντρο ελέγχου λειτουργιών
Darmstadt Δ. Γερμανία

Σχ. 5.4γ.

- Ρύθμιση ορισμένων χαρακτηριστικών των αναμεταδοτών, κυρίως των συχνοτήτων πομπών και δεκτών και της ενισχύσεως των δεκτών.
- Ρύθμιση της θερμοκρασίας σε ορισμένα όρια, με την αποκατάσταση και τη διακοπή της τροφοδοτήσεως θερμαντικών αντιστάσεων.

δ) Έλεγχος της τροχιάς των δορυφόρων.

Κάθε δορυφόρος του συστήματος INMARSAT (σχ. 5.4β), βρίσκεται σε γεωστατική τροχιά 35.786 km πάνω από την επιφάνεια της γης. Το γεωγραφικό μήκος του σημείου της επιφάνειας της γης, από όπου διέρχεται η κατακόρυφος στην οποία βρίσκεται ο δυρυφόρος, είναι γνωστό ως ***τροχιακή θέση*** και το επίπεδο που ορίζεται από την τροχιά ως ***τροχιακό επίπεδο*** του δορυφόρου. Λόγω διαφόρων αλληλεπιδράσεων το τροχιακό επίπεδο του δορυφόρου τείνει να αποκλίνει συνεχώς από το ισημερινό επίπεδο. Η γωνία αποκλίσεως ονομάζεται ***κλίση*** του δορυφόρου και δεν πρέπει να υπερβαίνει ορισμένα όρια. Το μέγεθος της κλίσεως ελέγχεται από τους παραπάνω επίγειους σταθμούς με τη βοήθεια του συστήματος τηλεμετρικής παρακολουθήσεως και ελέγχου (TT & C) του δορυφόρου. Σε περίπτωση υπερβάσεως των ορίων ενεργοποιείται ο κατάλληλος προωθητικός κινητήρας, που φέρει για το σκοπό αυτό ο δορυφόρος και, με κατάλληλο ελιγμό, η τροχιά επανέρχεται στην κανονική της κλίση.

ε) Σταθεροποίηση και έλεγχος του προσανατολισμού.

Κατά την κίνησή τους στην κυκλική τροχιά, οι τηλεπικοινωνιακοί δορυφόροι πρέπει να διατηρούν την όψη των κεραιών τους στραμμένη σταθερά προς τη γη, ώστε να εξασφαλίζεται συνεχής επαφή με τους CESs και τους SESs της περιοχής που καλύπτουν. Στο περιβάλλον του διαστήματος όμως περιλαμβάνονται δυνάμεις, οι οποίες διαταράσσουν την τροχιά κινήσεώς τους και ροπές που αλλοιώνουν τον προσανατολισμό αυτό. Για το λόγο αυτό απαιτείται αντιστάθμιση των δυνάμεων και των ροπών αυτών, ώστε να μην αλλοιώνεται ο παραπάνω προσανατολισμός τους και να εξασφαλίζεται η συνεχής επαφή.

Στους δορυφόρους MARISAT η αντιστάθμιση εξασφαλίζεται με ***περιστροφική σταθεροποίηση.*** Κατά τη μέθοδο αυτή, το σώμα του δορυφόρου περιστρέφεται γύρω από το διαμήκη άξονά του, κατά τον οποίο αναπτύσσεται μεγαλύτερη ροπή αδράνειας, με αποτέλεσμα ο άξονας αυτός να διατηρεί σταθερή κατεύθυνση στο διάστημα. Το συγκρότημα των κεραιών του δορυφόρου περιστρέφεται με αντίθετη φορά και είναι εφοδιασμένο με αποσβεστήρες μεταπτώσεως του άξονά τους, οπότε εξασφαλίζεται η σταθερή τους θέα προς την κατεύθυνση της γης.

Στους δορυφόρους τύπου MARECS και INTELSAT V, αντιστάθμιση εξασφαλίζεται με σταθεροποίηση συστήματος τριών καθέτων ανά δυο αξόνων. Κατά τη μέθοδο αυτή κάθε ένας από τους τρεις άξονες ελέγχεται από ένα ή περισσότερους τροχούς κεκτημένης ταχύτητας (σφονδύλους), με τους οποίους αντισταθμίζεται κατά το μεγαλύτερο μέρος της η επίδραση των δυνάμεων και των ροπών. Ακόμη, οι δορυφόροι αυτοί είναι εφοδιασμένοι με ηλεκτρονικές διατάξεις, οι οποίες αντισταθμίζουν τις αλληλεπιδράσεις των σφονδύλων και ενεργοποιούν προωθητικούς κινητήρες, με τους οποίους εξασφαλίζεται σταθερός προσανατολισμός. Οι διατάξεις αυτές ενεργοποιούνται από τους επίγειους σταθμούς, μέσω του συστήματος

τηλεμετρικής παρακολουθήσεως (TT & C) των δορυφόρων.

στ) Ηλεκτρική παροχή.

Η ηλεκτρική ενέργεια, που απαιτείται για τη λειτουργία των αναμεταδοτών και των υπολοίπων ηλεκτρονικών διατάξεων των δορυφόρων, παρέχεται από διατάξεις μικρών φωτοβολταϊκών στοιχείων (ηλιακών στοιχείων — solar cells), με τις οποίες είναι εφοδιασμένοι οι δορυφόροι και οι οποίες μετατρέπουν την ηλιακή ακτινοβολία σε ηλεκτρική ενέργεια. Επίσης, οι δορυφόροι είναι εφοδιασμένοι με διατάξεις επαναφορτιζομένων μπαταριών, οι οποίες φορτίζονται κατά τη διάρκεια της ημέρας από τις διατάξεις των ηλιακών στοιχείων και τη νύχτα παρέχουν την ενέργεια που απαιτείται.

Στους δορυφόρους τύπου MARISAT, τα ηλιακά στοιχεία είναι προσαρμοσμένα στην εξωτερική κυλινδρική τους επιφάνεια, ενώ στους δορυφόρους τύπου MARECS και INTELSAT είναι προσαρμοσμένα στις πτέρυγές τους, οι οποίες εξέχουν ως πλαίσια από τη βόρεια και τη νότια πλευρά τους (σχ. 5.4α). Επειδή κατά τη διάρκεια της ημέρας η γωνία του ηλίου μεταβάλλεται, οι πτέρυγες με τα ηλιακά στοιχεία στρέφονται αυτόματα, ώστε να διατηρούνται κάθετες στην κατεύθυνση του ηλίου και να λειτουργούν με τη μεγαλύτερη απόδοση.

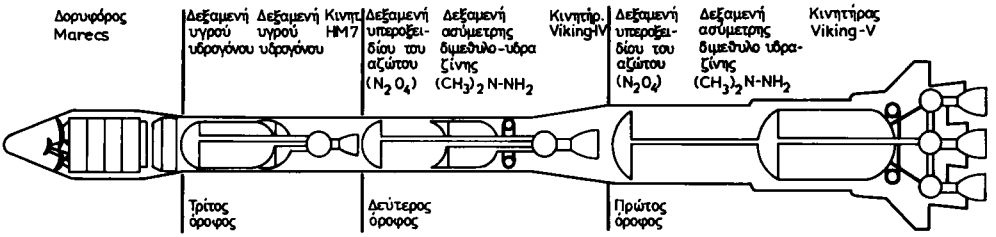
ζ) Η τοποθέτηση των δορυφόρων σε τροχιά.

Η τοποθέτηση των δορυφόρων του συστήματος INMARSAT στην τροχιακή τους θέση γίνεται σε δυο στάδια. Κατά το πρώτο στάδιο, ο δορυφόρος εκτοξεύεται και τοποθετείται σε ελλειπτική τροχιά από το όχημα εκτοξεύσεώς του. Κατά το δεύτερο στάδιο, η ελλειπτική τροχιά μετατρέπεται σε κυκλική, με την ενεργοποίηση προωθητικού κινητήρα που φέρει ο ίδιος ο δορυφόρος.

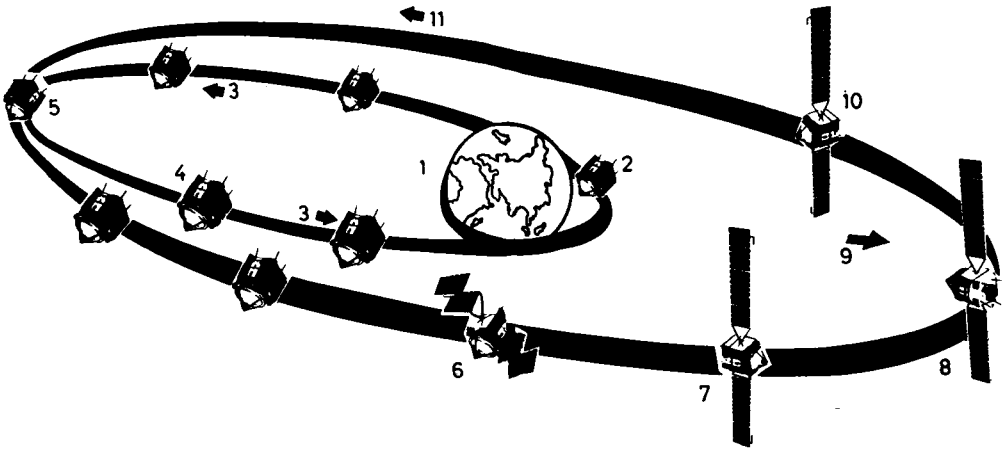
Οι δορυφόροι INTELSAT V χρησιμοποιούν ως όχημα εκτοξεύσεώς τους πύραυλο Άτλας Κένταυρος που κατασκευάζεται από την NASA (National Aeronoutics and Space Administration) των ΗΠΑ. Οι δορυφόροι MARECS χρησιμοποιούν ως όχημα εκτοξεύσεως τον πύραυλο Αριάδνη, που κατασκευάζεται από την ευρωπαϊκή υπηρεσία διαστήματος (ESA) (σχ. 5.4δ). Ο πύραυλος Αριάδνη είναι τύπου τριών ορόφων, έχει ύψος 47,8 m και κατά την εκτόξευσή του ζυγίζει 210 τόνους. Το 90% του συνολικού βάρους του αποτελείται από την υγρή προωθητική γόμωση που περιέχεται σε τρεις δεξαμενές. Στο 9% περιλαμβάνεται ο σκελετός και οι τρεις κινητήρες του πυραύλου και το υπόλοιπο 1% αποτελεί το βάρος του δορυφόρου. Ο τύπος τριών ορόφων επιτρέπει τη σταδιακή απόρριψη του σκελετού και του κινητήρα κάθε ορόφου μετά την κατανάλωση της προωθητικής γομώσεως (καυσίμων) και τη σταδιακή χρησιμοποίηση μικρότερου και περισσότερο αποδοτικού κινητήρα με την αύξηση του ύψους. Οι εκτοξεύσεις των πυραύλων Αριάδνη για την τοποθέτηση των δορυφόρων τύπου MARECS σε ελλειπτική τροχιά γίνονται από το διαστημικό κέντρο Kourou της Γαλλικής Γουιάνας στη Νότιο Αμερική (σχ. 5.4ε).

Η ελλειπτική τροχιά, στην οποία τοποθετείται αρχικά ο δορυφόρος και η οποία ονομάζεται ***τροχιά μεταφοράς*** (transfer orbit), έχει περίγειο περίπου 200 km και απόγειο περίπου 36.000 k, όσο δηλαδή περίπου το ύψος της κυκλικής γεωστατικής τροχιάς. Με την τοποθέτηση του δορυφόρου στην ελλειπτική τροχιά, απορρίπτεται και ο τρίτος όροφος του πυραύλου. Τη στιγμή που ο δορυφόρος βρίσκεται στο απόγειο, με εντολή που στέλλεται από τη γη, ενεργοποιείται μικρός κινητήρας

ΔΡΥΜΑ ΣΥΓΧΡΟΝΟ 1954



Σχ. 5.4δ.
Όχημα εκτοξεύσεως Αριάδνη.



Σχ. 5.4ε.
Οι φάσεις εκτοξεύσεως, θέσεως σε γεωστατική τροχιά και λειτουργίας δορυφόρου Marecs. 1) Εκτόξευση από τη Γαλλική Γουιάνα. 2) Αποχωρισμός οχήματος εκτοξεύσεως. 3) Τροχιά μεταφοράς. 4) Αρχικός έλεγχος. 5) Θέση απογείσυ, ενεργοποιείται ο κινητήρας κυκλικής τροχιάς. 6) Ανάπτυξη των πλαισίων των ηλιακών στοιχείων. 7) Προσανατολισμός των πλαισίων προς τον ήλιο. 8) Προσανατολισμός των κεραιών προς τη γη. 9) Κατεύθυνση του ήλιου. 10) Θέση λειτουργίας. 11) Τελική γεωστατική τροχιά.

στερεών καυσίμων που φέρει ο δορυφόρος και ονομάζεται κινητήρας απογείου (apogee motor). Η προώθηση που προκαλεί η ενεργοποίηση του κινητήρα απογείου, αυξάνει την ταχύτητα του δορυφόρου, η οποία και τον εξαναγκάζει να ακολουθήσει κυκλική τροχιά, αρχικά σε ύψος 36.000 km περίπου, που σύντομα ελαττώνεται και σταθεροποιείται στα 35.786 km.

Με την τοποθέτηση του δορυφόρου σε κυκλική τροχιά ανοίγονται και οι πτέρυγες του δορυφόρου με τα ηλιακά στοιχεία. Ακολουθεί ο προσανατολισμός του δορυφόρου, ώστε η ακτινοβολία των κεραιών του να κατευθύνεται προς τη γη και μπορεί πια να αρχίσει η λειτουργία των αναμεταδοτών του με εντολή που θα δοθεί από τη νη.

Η τελική κυκλική γεωστατική τροχιά των δορυφόρων έχει ύψος 35.786 km και περίοδο 23 ώρες και 56 λεπτά.

5.5 Οι επίγειοι σταθμοί πλοίων.

Όπως είπαμε, σκοπός του συστήματος INMARSAT είναι να παρέχει στα πλοία διευκολύνσεις τηλεπικοινωνιών ίδιας ποιότητας με αυτές που παρέχονται στους συνδρομητές ξηράς. Για να κατορθώνεται αυτό πάνω σ' ένα πλοίο, το οποίο κινείται και υφίσταται διάφορες δυσμενείς επιδράσεις, ο σταθμός του πλοίου πρέπει να είναι ειδικής κατασκευής, ώστε να εξασφαλίζει συνεχώς τέτοιες τηλεπικοινωνίες. Για παράδειγμα, η κεραία του πρέπει να μπορεί να λειτουργεί σε θερμοκρασίες που επικρατούν από τις περιοχές του Ισημερινού μέχρι τις αρκτικές περιοχές, με οποιαδήποτε ένταση ανέμου και σε σχετική υγρασία μέχρι 100%. Επίσης, πρέπει να παραμένει συνέχεια προσανατολισμένη, ώστε η δέσμη ακτινοβολίας της να σκοπεύει συνέχεια το δορυφόρο, ανεξάρτητα από τις αιωρήσεις του πλοίου λόγω προνευτασμών και διατοιχισμών και από τις μεταβολές πορείας, τις παροιακίσεις και τις δονήσεις του πλοίου. Η τεχνολογία της εποχής μας παρέχει τη δυνατότητα κατασκευής σταθμών με τέτοιες απαιτήσεις.

Ο σταθμός πλοίου (SES) ή ***δορυφορικό τερματικό πλοίου*** (Ship satellite terminal) αποτελείται από δυο κύρια μέρη, που ονομάζονται ***συσκευή πάνω από το κατάστρωμα*** (ADE—Above Deck Equipment) και ***συσκευή κάτω από το κατάστρωμα*** (BDE—Below Deck Equipment).

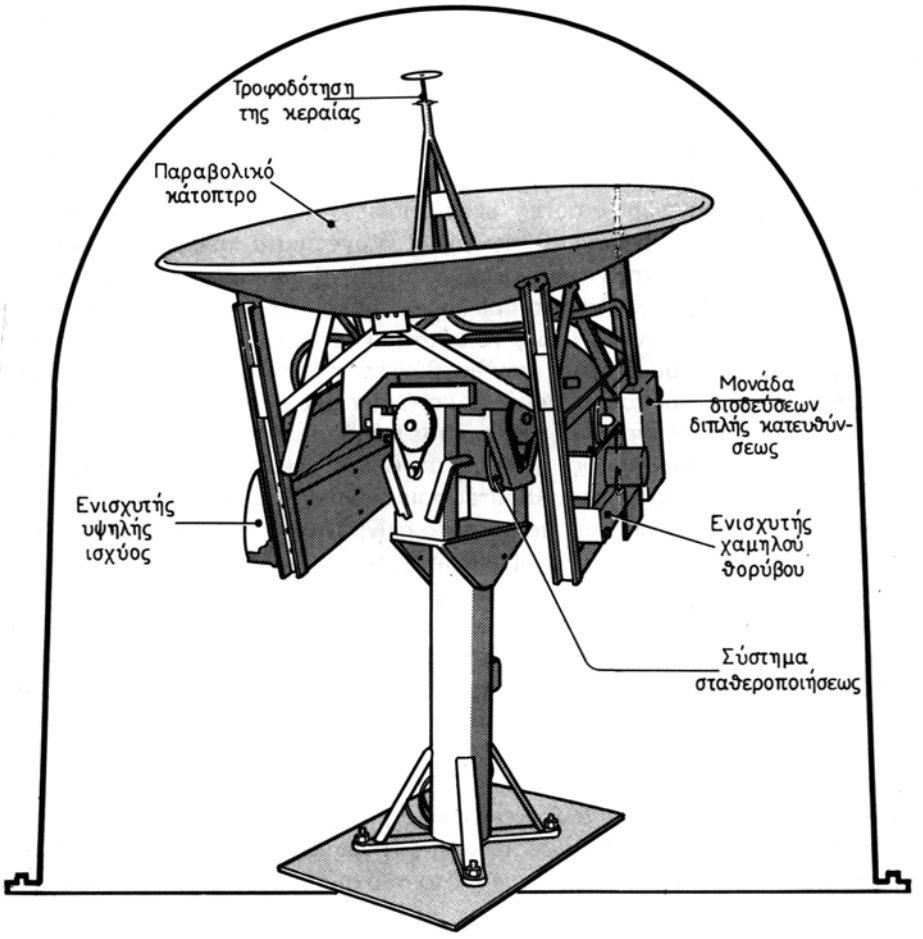
α) Η συσκευή πάνω από το κατάστρωμα.

Η συσκευή πάνω από το κατάστρωμα αποτελείται (σχ. 5.5α) από:

- Την κεραία παραβολικού κατόπτρου που στερεώνεται σε σταθεροποιημένη σε σχέση με το επίπεδο του ορίζοντα βάση, ώστε να μην ακολουθεί τις αιωρήσεις του πλοίου και τις μεταβολές της πορείας του.
- Τη μονάδα διπλής διοδεύσεως (diplexer), η οποία διαχωρίζει τα σήματα που εκπέμπονται και λαμβάνονται προς και από την κατεύθυνση της κεραίας αντίστοιχα.
- Τον ενισχυτή υψηλής ισχύος (HPA—High Power Amplifier), ο οποίος ενισχύει τα σήματα που εκπέμπονται, ώστε να αποκτήσουν την ισχύ που απαιτείται για τη ζεύξη με το δορυφόρο.
- Τον ενισχυτή χαμηλού θορύβου (LNA—Low Noise Amplifier), ο οποίος ενισχύει τα σήματα που λαμβάνονται χωρίς να δημιουργεί θορύβους, ώστε να είναι δυνατή η μεταφορά τους στην ADE για την παραπέρα επεξεργασία τους.

Ολόκληρη η συσκευή ADE, που ονομάζεται και ***σύστημα κεραίας,*** περιβάλλεται από θολωτό κάλυμμα που κατασκευάζεται από ανθεκτικό διηλεκτρικό υλικό (fibre glass), ώστε να προστατεύεται από τη διαβρωτική υγρασία και τις άλλες επιδράσεις.

Η διάμετρος του παραβολικού κατόπτρου της κεραίας εξαρτάται από τον τύπο ή το πρότυπο του SES που καθορίζεται από τον INMARSAT. Το πρότυπο Α, που συνήθως χρησιμοποιείται και εξασφαλίζει τηλεφωνικές, τηλετυπικές και ψηφιακές



Σχ. 5.5α.
Συγκρότημα κεραίας SES.

επικοινωνίες, χρησιμοποιεί παραβολικό κάτοπτρο με διάμετρο 0,85 - 1,25 m. Το πρότυπο Β, που εξασφαλίζει μόνο την τηλετυπική επικοινωνία, χρησιμοποιεί κάτοπτρο μικρότερης διαμέτρου.

Το βάθρο της κεραίας περιλαμβάνει σύστημα σταθεροποιήσεως, συνήθως τύπου τεσσάρων αξόνων, το οποίο είναι εφοδιασμένο με ειδικούς ηλεκτρονικούς αισθητήρες και σερβομηχανισμούς. Με το σύστημα αυτό η κεραία διατηρείται προσανατολισμένη, ώστε ο άξονας της δέσμης ακτινοβολίας της να σκοπεύει συνέχεια το δορυφόρο. Οι δυο κατώτεροι άξονες του συστήματος, οι οποίοι είναι οριζόντιοι και κάθετοι μεταξύ τους, αντισταθμίζουν τις αιωρήσεις της ADE λόγω των προνευτασμών και των διατοιχισμών του πλοίου, με αποτέλεσμα το βάθρο της κεραίας να διατηρείται οριζόντιο. Από τους δυο ανώτερους άξονες του συστήματος, που είναι

και αυτοί κάθετοι μεταξύ τους, ο ένας είναι κατακόρυφος και επιτρέπει τη ρύθμιση του αζιμουθίου της κεραίας, ενώ ο δεύτερος είναι οριζόντιος και επιτρέπει τη ρύθμιση της γωνίας κλίσεώς (γωνία ύψους) της σε σχέση με το δορυφόρο.

Το σύστημα αυτό λειτουργεί παίρνοντας την πληροφορία για τις μεταβολές πορείας από τη γυροσκοπική πυξίδα του πλοίου και πληροφορίες για τους προνευτασμούς και τους διατοιχισμούς από δυο αισθητήρες στάθμης (static rate level sensors). Από τις πληροφορίες αυτές, ενεργοποιούνται βρόγχοι σερβομηχανισμών που στρέφουν τους παραπάνω αντίστοιχους άξονες κατά ίσες και αντίθετες γωνίες. Η μικρή μεταβολή της γωνίας κλίσεως και του αζιμουθίου της κεραίας σε σχέση με το δορυφόρο, λόγω του ότι προχωρεί το πλοίο, αντισταθμίζονται από πρόσθετο σύστημα παρακολουθήσεως. Το σύστημα αυτό ενεργοποιείται από τη μεταβολή της εντάσεως του σήματος που λαμβάνεται από την κεραία, λόγω της μεταβολής της κλίσεως και του αζιμουθίου κατά την προχώρηση του πλοίου.

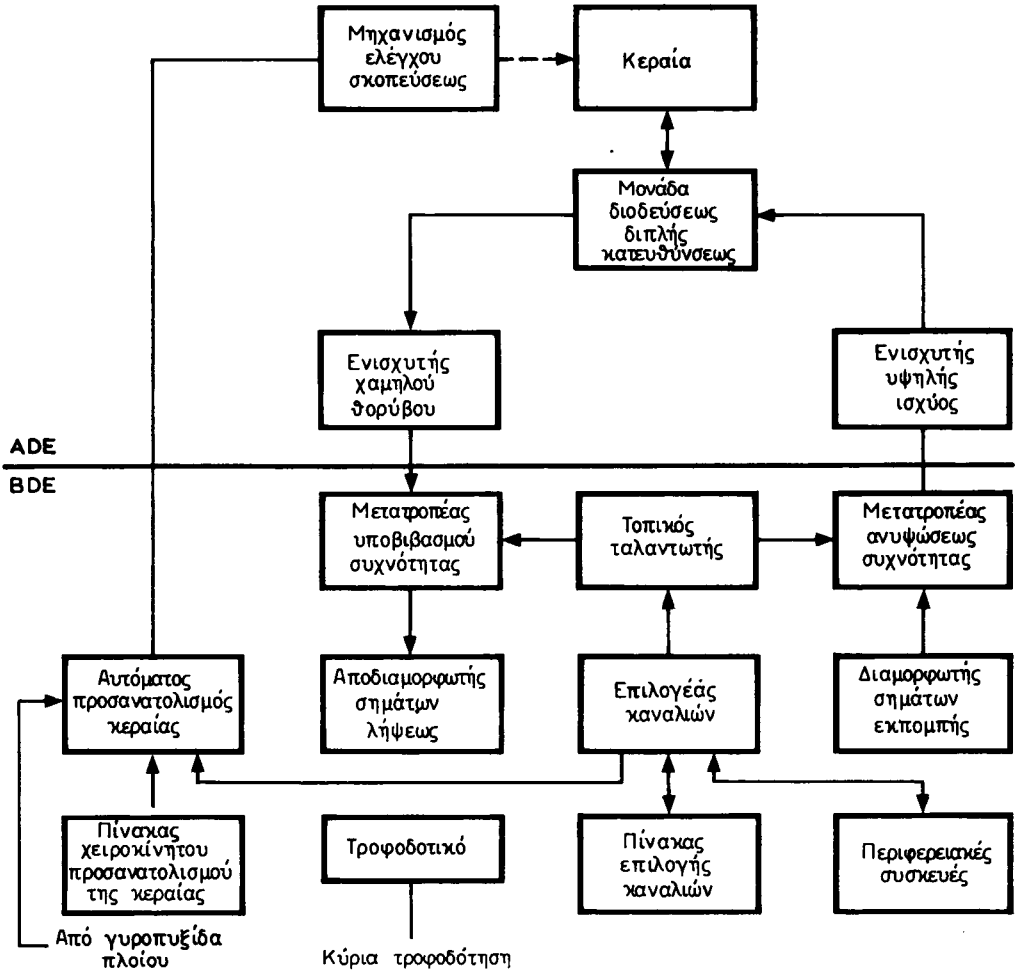
Μετά την εγκατάσταση του SES και κάθε φορά που το πλοίο αλλάζει ωκεάνεια περιοχή (αλλάζει ο δορυφόρος), η κεραία στρέφεται χειροκίνητα στην κλίση και το αζιμούθιο του δορυφόρου, με ρυθμιστές που φέρει η BDE. Η κλίση και το αζιμούθιο μπορούν να υπολογισθούν με βάση το στίγμα του πλοίου και το ύψος και το γεωγραφικό μήκος της ισημερινής φαινόμενης θέσης του δορυφόρου. Για τη διευκόλυνση του χειροκίνητου προσανατολισμού συμβουλευόμαστε τους δείκτες γωνίας κλίσεως και αζιμουθίου που φέρει το βάθρο σταθεροποιήσεως της κεραίας. Αφού αποκατασταθεί ο προσανατολισμός της κεραίας, χειροκίνητα ενεργοποιείται το σύστημα παρακολουθήσεως, το οποίο διατηρεί την κεραία προσανατολισμένη, μέχρι να εξέλθει το πλοίο από την περιοχή που καλύπτει ο δορυφόρος, εφόσον δεν διακοπεί η τροφοδότηση της ADE. Ορισμένοι SESs διαθέτουν σύστημα ανιχνεύσεως, το οποίο, αφού ενεργοποιηθεί, κινεί την κεραία κατά τέτοιο τρόπο ώστε να πραγματοποιεί σαρώσεις με αυξανόμενη κλίση μέχρι τη στιγμή που η δέσμη ακτινοβολίας θα σκοπεύσει το δορυφόρο. Με τη στιγμιαία σκόπευση, από τη λήψη του σήματος του δορυφόρου, ενεργοποιείται το σύστημα παρακολουθήσεως και αποκαθίσταται ο συνεχής προσανατολισμός.

Κατά την εγκατάσταση της ADE στο πλοίο, πρέπει να μελετηθεί με μεγάλη προσοχή η εκλογή της θέσεως εγκαταστάσεώς της, η οποία πρέπει οπωσδήποτε να είναι τέτοια, ώστε και σε γωνίες κλίσεως μικρότερες από 5° να μην είναι δυνατή η παρεμβολή υπερκατασκευών που είναι δυνατό να διακόπτουν τη γραμμή επαφής της κεραίας με το δορυφόρο. Επίσης, πρέπει να απέχει αρκετά από υπερκατασκευές μεγάλης επιφάνειας (καπνοδόχο, σταυρώσεις ιστών) που βρίσκονται σε μικρότερο ύψος, ώστε το κύμα του δορυφόρου που ανακλάται σ' αυτές, να μη φθάνει στην κεραία και να δυσχεραίνει τη λήψη.

β) Η συσκευή κάτω από το κατάστρωμα.

Η συσκευή κάτω από το κατάστρωμα (BDE) αποτελείται συνήθως από κονσόλα, η οποία περιλαμβάνει τις παρακάτω μονάδες (σχ. 5.5β):

- Πίνακα χειροκίνητου προσανατολισμού της κεραίας.
- Μονάδα του αυτόματου προσανατολισμού της κεραίας.
- Διαμορφωτή (modulator), με τον οποίο οι αρχικές συχνότητες των σημάτων εκπομπής (τηλεφωνία, τηλετυπία κλπ.) διαμορφώνονται σε ζώνη ενδιαμέσων συχνοτήτων.



Σχ. 5.5β.
Βασικό διάγραμμα ροής των λειτουργιών του SES.

- Μετατροπέα ανυψώσεως συχνότητας (Up Converter). Αυτός ανυψώνει τη ζώνη ενδιαμέσων συχνοτήτων των σημάτων εκπομπής στην περιοχή της συχνότητας εκπομπής (1,6 Gc/s), την οποία οδηγεί στον ενισχυτή υψηλής ισχύος της ADE.
- Μετατροπέα υποβιβασμού συχνότητας (Down Converter), ο οποίος λαμβάνει από τον ενισχυτή χαμηλού θορύβου της ADE και υποβιβάζει τη συχνότητα των σημάτων λήψεως από την υψηλή συχνότητα λήψεως (1,5 Gc/s) σε ζώνη ενδιαμέσων συχνοτήτων.
- Αποδιαμορφωτή (demodulator), ο οποίος αποδιαμορφώνει τη ζώνη ενδιαμέ-

σων συχνοτήτων των σημάτων λήψεως στις αρχικές τους συχνότητες (τηλεφωνία, τηλετυπία κλπ.).
- Μονάδα ελέγχου καναλιών με πίνακα επιλογής καναλιών.
- Τοπικό ταλαντωτή, ο οποίος παράγει την υψηλή φέρουσα συχνότητα, για τη συγκρότηση των καναλιών εκπομπής και λήψεως.
- Περιφερειακές τερματικές συσκευές (τηλέφωνο, τηλέτυπο, τηλεμιότυπο, σύστημα δεδομένων).

Ανεξάρτητα από τον τύπο της, η κονσόλα της BDE φέρει τους απαραίτητους διακόπτες, ρυθμιστές και ενδείκτες που είναι ταξινομημένοι έτσι ώστε να είναι εύκολος ο χειρισμός και ο έλεγχος της λειτουργίας του SES. Στην κονσόλα συνδέονται και μονάδες τηλεχειρισμού, με τις οποίες εξασφαλίζεται ο χειρισμός του SES και από άλλους χώρους του πλοίου. Η δυνατότητα τηλεχειρισμών είναι απαραίτητη ειδικά για την εκπομπή και τη λήψη των σημάτων κινδύνου, ανάγκης και ασφάλειας.

Κάθε SES διαθέτει μέσο εύκολης εκπομπής του σήματος κινδύνου. Σε ορισμένους τύπους, η εκπομπή του σήματος κινδύνου γίνεται με την πίεση πλήκτρου (distress) ή με ειδική εντολή που δίνεται με το πληκτρολόγιο του τηλετύπου. Το σήμα κινδύνου, εκτός από το SOS, περιλαμβάνει και το χαρακτηριστικό αριθμό (αριθμό κλήσεως) του πλοίου που είναι καταχωρημένος σε ειδική μνήμη της BDE. Η εκπομπή του γίνεται με μεγάλη ταχύτητα με τα κανάλια κινδύνου που διαθέτει ο δορυφόρος και πρακτικά φθάνει στιγμιαία στους CES και από αυτούς στα κέντρα συντονισμού διασώσεως.

Κατά την κατασκευή των SESs χρησιμοποιείται υψηλή τεχνολογία και προσαρμοστικότητα, ώστε οι SESs να διακρίνονται για την εύκολη εγκατάστασή τους, τον απλό χειρισμό τους, την υψηλή αξιοπιστία, την εύκολη συντήρηση και αποκατάσταση βλαβών και την ανθεκτικότητα στο περιβάλλον της θάλασσας.

Εξάλλου, για να είναι βέβαιο ότι κάθε νέος SES που πρόκειται να ενταχθεί στο σύστημα INMARSAT θα λειτουργεί ικανοποιητικά με το σύστημα και δεν θα διακινδυνεύσει την ολότητα του συστήματος, ο οργανισμός INMARSAT έχει καθορίσει προδιαγραφές με τις κατώτερες απαιτήσεις κατασκευής και λειτουργίας για τους SESs. Σύμφωνα με τους κανονισμούς του INMARSAT, για να εγκριθεί η ένταξη ενός SES στο σύστημα, πρέπει αυτός να ανταποκρίνεται στις προδιαγραφές αυτές. Η ανταπόκρισή του διαπιστώνεται από έγγραφα που υποβάλλονται στον οργανισμό και συγκεκριμένη σειρά δοκιμών μετά την εγκατάσταση του SES.

Ο οργανισμός έχει καθορίσει προδιαγραφές που αφορούν τους SESs STANDARD A. Αυτοί έχουν τη δυνατότητα να παρέχουν τουλάχιστον τηλεφωνικές και τηλετυπικές τηλεπικοινωνίες και προδιαγραφές που αφορούν τους SESs STANDARD C, οι οποίοι μπορούν να παρέχουν μόνο τηλετυπικές τηλεπικοινωνίες και χρησιμοποιούνται σε μικρά πλοία (αλιευτικά, θαλαμηγούς).

5.6 Δυνατότητες, περιορισμοί και εξέλιξη του συστήματος INMARSAT.

Στη σημερινή του δομή, το σύστημα INMARSAT έχει τη δυνατότητα να εξασφαλίζει τα παρακάτω είδη τηλεπικοινωνιών, ανεξάρτητα από τις καιρικές και ιονοσφαιρικές συνθήκες που επηρεάζουν τις κλασικές τηλεπικοινωνίες.

ΔΡΥΜΑ ΕΥΓΕΝΙΔΟΥ 1954

α) Τηλεφωνία.

Αυτόματη αποκατάσταση (κλήση) τηλεφωνικής επικοινωνίας προς την κατεύθυνση πλοίο-ξηρά. Αυτόματη ή σε μερικές χώρες ημιαυτόματη (μέσω τηλεφωνήτριας—operator assisted) αποκατάσταση τηλεφωνικής επικοινωνίας προς την κατεύθυνση ξηρά-πλοίο. Η ημιαυτόματη αποκατάσταση οφείλεται στην αδυναμία των τηλεφωνικών δικτύων των χωρών αυτών για αυτόματη σύνδεση προς την κατεύθυνση ξηρά-πλοίο. Πάντως οι περισσότερες από τις χώρες αυτές τελειοποιούν τα τηλεφωνικά τους δίκτυα και προοδευτικά θα εξαλειφθεί η αδυναμία αυτή.

Η αυτόματη αποκατάσταση τηλεφωνικής επικοινωνίας, εκτός από την ταχύτητα, εξασφαλίζει και μεγαλύτερο βαθμό ασφάλειας του απορρήτου.

β) Τηλετυπία.

Αυτόματη αποκατάσταση τηλετυπικής επικοινωνίας και προς την κατεύθυνση πλοίο-ξηρά και προς την κατεύθυνση ξηρά-πλοίο σε ολόκληρο το παγκόσμιο τηλετυπικό δίκτυο. Με το τυπωμένο αντίγραφο του μηνύματος της τηλετυπίας ελαχιστοποιείται η πιθανότητα λαθών που συνηθίζονται κατά τη μεταβίβαση μηνυμάτων με φωνή ή με τα κλασικά συστήματα τηλεγραφίας (Morse).

γ) Δεδομένα χαμηλών και μέσων ταχυτήτων.

Αυτόματη μετάδοση δεδομένων (ψηφιακών πληροφοριών) μέσω τηλεφωνικού καναλιού με ταχύτητα 2400 bit/s.

δ) Σήματα κινδύνου.

Μετάδοση σημάτων κινδύνου στα κέντρα συντονισμού διασώσεως των πλησιεστέρων προς το πλοίο που τα εκπέμπει περιοχών και της χώρας στην οποία απευθύνονται. Λόγω της προτεραιότητας που διαθέτει το σύστημα INMARSAT στα σήματα κινδύνου, η σύνδεση με τα κέντρα συντονισμού διασώσεως είναι πρακτικά άμεση.

ε) Τηλεμιοτυπία.

Μεταβίβαση τηλεμιοτυπίας υψηλής ποιότητας μέσω τηλεφωνικού καναλιού.

στ) Μεταβίβαση ομαδικών κλήσεων.

Με τη μεταβίβαση ομαδικών κλήσεων (groop calls broad casting) μπορεί να μεταδοθεί το ίδιο μήνυμα ταυτόχρονα σε αριθμό πλοίων που έχουν προεπιλεχθεί ή σε πλοία που βρίσκονται σε ορισμένη θαλάσσια περιοχή.

ζ) Δεδομένα υψηλών ταχυτήτων.

Αυτόματη μετάδοση δεδομένων (ψηφιακών πληροφοριών) υψηλής ταχύτητας, μέχρι 56 kbit/s, προς την κατεύθυνση πλοίο - ξηρά, με κανάλι μεγαλύτερης ζώνης συχνοτήτων. Με τη μετάδοση δεδομένων υψηλών ταχυτήτων εξασφαλίζεται η σύνδεση πλοίων σε ηλεκτρονικό υπολογιστή της ναυτιλιακής επιχειρήσεως, ο οποίος πληροφορείται και επεξεργάζεται λειτουργικά δεδομένα των πλοίων (μηχανής, φορτώσεως κλπ.).

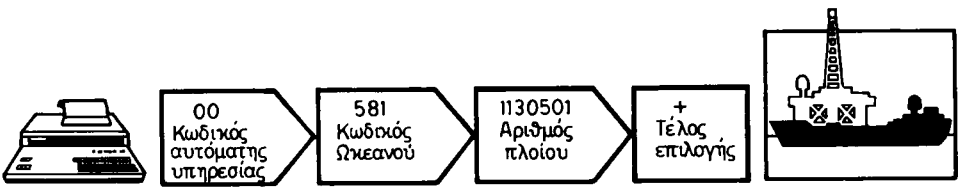
η) Εικόνα τηλεοράσεως αργής σαρώσεως.

θ) Ειδικές πληροφορίες.

Μεταβίβαση ιατρικών και τεχνικών οδηγιών, μετεωρολογικών ανακοινώσεων κλπ.

Για την Ελλάδα, ο ΟΤΕ το 1985 έθεσε σε λειτουργία τον ιδιόκτητο CES στις Θερμοπύλες, ο οποίος εξασφαλίζει τα παραπάνω είδη τηλεπικοινωνιών με την περιοχή του Ινδικού ωκεανού, εκτός από το είδος ζ. Παράλληλα, έχει υπογράψει σύμβαση με την Ιταλία και εξασφαλίζει μέσω του CES Fucino τα παραπάνω είδη τηλεπικοινωνιών με την περιοχή του Ατλαντικού ωκεανού, ενώ η Ιταλία μέσω του CES Thermopylae εξασφαλίζει ίδια πρόσβαση στην περιοχή του Ινδικού. Επίσης, ο ΟΤΕ προωθεί συνεργασία και με άλλες χώρες, ώστε να εξασφαλίσει τέτοια πρόσβαση και στην περιοχή του Ειρηνικού ωκεανού.

Στα σχήματα 5.6(α) και (β) φαίνονται αντίστοιχα παραδείγματα αυτόματης τηλετυπικής κλήσεως στην κατεύθυνση ξηρά - πλοίο και αυτόματης τηλεφωνικής κλήσεως στην κατεύθυνση πλοίο - ξηρά.



(α)



(β)

Σχ. 5.6.

α) Παράδειγμα αυτόματης τηλεφωνικής επικοινωνίας. β) Παράδειγμα αυτόματης τηλεφωνικής επικοινωνίας στην κατεύθυνση πλοίο-ξηρά.

Όπως είδαμε στην παράγραφο 5.5, ο SES που αποτελεί μέρος του συστήματος INMARSAT συγκροτείται από πολύπλοκα συστήματα, τα οποία πρέπει να λειτουργούν στην εντέλεια, ώστε να είναι δυνατή η συνεχής τηλεπικοινωνιακή ανταπόκριση οποιουδήποτε είδους. Μεγαλύτερη πιθανότητα βλάβης ή απορυθμίσεως παρουσιάζουν τα συστήματα προσανατολισμού της κεραίας του SES προς το δορυφόρο, καθώς η λειτουργία τους εξαρτάται και από το σήμα του δορυφόρου και από τη γυροσκοπική πυξίδα του πλοίου. Παρά τη σύγχρονη υψηλή τεχνολογία που χρη-

σιμοποιείται στην κατασκευή των SESs, υπάρχουν πιθανότητες κάποιο από τα συστήματα αυτά να παρουσιάσει βλάβη, με αποτέλεσμα το πλοίο να μην έχει τη δυνατότητα επικοινωνίας μέχρι την αποκατάστασή της. Βέβαια οι πιθανότητες βλάβης περιορίζονται όταν εκτελείται με σχολαστικότητα η προληπτική συντήρηση, που προβλέπεται από τον κατασκευαστή του SES και αναφέρεται στο τεχνικό εγχειρίδιο. Στο τεχνικό εγχειρίδιο αναφέρονται και οι οδηγίες για τον εντοπισμό και την αποκατάσταση βλαβών. Όμως, για την εκτέλεση της συντηρήσεως και την αποκατάσταση βλαβών απαιτούνται εξειδικευμένες γνώσεις για τη λεπτομερή συγκρότηση και τη λειτουργία του SES.

Εκτός από τις παραπάνω υπηρεσίες που παρέχει σήμερα το σύστημα INMARSAT, αναπτύσσονται ή βρίσκονται στο στάδιο της δοκιμής και άλλα είδη υπηρεσιών, όπως:

- Η συλλογή και η μετάδοση μετεωρολογικών και ωκεανογραφικών δεδομένων.
- Επέκταση της μεταδόσεως δεδομένων μέσης ταχύτητας από 2400 σε 2600 bit/s.
- Άμεση σύνδεση ηλεκτρονικών υπολογιστών, που βρίσκονται στην ξηρά και στο πλοίο.
- Δυνατότητα λειτουργίας συσκευών ναυσιπλοΐας και ραδιοεντοπισμού.
- Κατασκευή νέων κινητών τερματικών σταθμών, που θα εξασφαλίσουν την επέκταση των δορυφορικών τηλεπικοινωνιών και στην αεροναυτιλία.

Τέλος, ο INMARSAT συνεισφέρει στην τελειοποίηση του ***μελλοντικού παγκόσμιου ναυτιλιακού συστήματος κινδύνου και ασφάλειας*** (future global maritime distress and safety system), που αναπτύσσεται από τον IMO. Το σύστημα αυτό θα εξασφαλίζει τη δυνατότητα μεταβιβάσεως σημάτων κινδύνου και ασφάλειας μέσω δορυφόρων από πλοίο σε πλοίο, χωρίς τη μεσολάβηση CES, με τον εξοπλισμό που υπάρχει σήμερα και αργότερα με την προσθήκη των ***ραδιοφάρων ενδείξεως θέσεως κινδύνου*** (EPIRBS — Emergency Position Indicating Radio Beacons).

Ως προς το χρόνο εφαρμογής του συστήματος αυτού, έχει προταθεί το 1986 για τα νέα πλοία και το 1990 για όλα τα πλοία. Επειδή όμως ορισμένα κράτη, μεταξύ των οποίων και η Ελλάδα, δεν έχουν συμφωνήσει, κυρίως για λόγους ασφάλειας της ανθρώπινης ζωής στη θάλασσα, οι χρονολογίες αυτές δεν έχουν οριστικοποιηθεί και οι διαπραγματεύσεις για την οριστικοποίηση ημερομηνιών υποχρεωτικής εφαρμογής του συστήματος συνεχίζονται.

Ερωτήσεις Πέμπτου Κεφαλαίου.

1. Ποια μειονεκτήματα και ποιες αδυναμίες των κλασικών τηλεπικοινωνιών αντιμετωπίζονται με τις δορυφορικές τηλεπικοινωνίες;
2. Από ποιες εγκαταστάσεις συγκροτείται το σύστημα INMARSAT και τι εξασφαλίζεται με κάθε εγκατάσταση;
3. Ποιες συχνότητες χρησιμοποιούνται για την ανοδική και την καθοδική ραδιοζεύξη μεταξύ πλοίου - δορυφόρου και μεταξύ επίγειου παράκτιου σταθμού-δορυφόρου;
4. Από τι αποτελούνται οι σταθμοί αναμεταδόσεως των δορυφόρων και ποιες λειτουργίες εξασφαλίζονται με αυτούς;

5. Ποιες είναι οι δυσμενείς επιδράσεις στις οποίες υπόκειται το δορυφορικό τερματικό πλοίου και οι οποίες μπορεί να υποβαθμίζουν ή να διακόπτουν τις δορυφορικές τηλεπικοινωνίες;
6. Ποιες μονάδες περιλαμβάνονται στην ADE του επίγειου σταθμού πλοίου και ποια είναι η χρησιμότητα κάθε μιας;
7. Από τι αποτελείται το σύστημα παρακολουθήσεως της κεραίας και από πού λαμβάνονται οι πληροφορίες που απαιτούνται για το συνεχή προσανατολισμό της κεραίας προς το δορυφόρο;
8. Σε ποιες περιπτώσεις απαιτείται χειροκίνητη στροφή της κεραίας στο αζιμούθιο και την κλίση του δορυφόρου και ποια μέσα μπορεί να διατίθενται για την εύκολη στροφή της στην κατεύθυνση αυτή;
9. Ποια μέτρα πρέπει να λαμβάνονται κατά την εγκατάσταση της ADE πάνω στο πλοίο, για να αποφεύγονται δυσχέρειες ή και διακοπές στις δορυφορικές τηλεπικοινωνίες;
10. Ποιες μονάδες περιλαμβάνονται στις BDE του επίγειου σταθμού πλοίου και ποια είναι η χρησιμότητα κάθε μιας;
11. Πώς γίνεται η εκπομπή του σήματος κινδύνου, τι περιλαμβάνει και πώς αυτό καταλήγει στα κέντρα συντονισμού διασώσεως;
12. Ποιες είναι οι δυνατότητες και οι περιορισμοί του συστήματος INMARSAT στη σημερινή του δομή;
13. Ποια άλλα είδη υπηρεσιών προβλέπεται ότι θα παρέχει το σύστημα INMARSAT στη μελλοντική του εξέλιξη;

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΕΚΤΟ

ΚΑΘΟΔΙΚΕΣ ΛΥΧΝΙΕΣ

6.1 Γενικά.

Οι καθοδικές λυχνίες που είναι γνωστές και ως ***σωλήνες Brown,*** χρησιμοποιούνται σε πολλές εφαρμογές, όπως στην τηλεόραση, σε διάφορα εργαστηριακά όργανα (παλμογράφοι), στους ενδείκτες ραντάρ, καθώς και σε άλλα όργανα ραδιοναυσιπλοΐας. Είναι υψηλού κενού και αποτελούνται:

- Από το ***ηλεκτρονικό πυροβόλο*** (electrons gun) που παράγει μια δέσμη ηλεκτρονίων (electrons beam), τα οποία κινούνται με πολύ μεγάλη ταχύτητα. Η δέσμη ηλεκτρονίων είναι παράλληλη με τον άξονα του μίσχου της λυχνίας.
- Από την επιφάνεια, που φέρει επίχρισμα από φθορίζουσα ουσία. Σ' ένα σημείο της ουσίας αυτής προσπίπτουν τα ηλεκτρόνια της δέσμης και από την κινητική τους ενέργεια τα μόρια της φθορίζουσας ουσίας διεγείρονται, οπότε στο σημείο προσπτώσεώς τους δημιουργείται φωτεινή κηλίδα (bright spot ή spot of light).
- Από το ***σύστημα εκτροπής*** ή ***αποκλίσεως*** (deflection system), το οποίο εκτρέπει τη δέσμη ηλεκτρονίων, με αποτέλεσμα να εκτρέπεται και η φωτεινή κηλίδα σε οποιοδήποτε σημείο της οθόνης της λυχνίας.

Ανάλογα με τον τρόπο εστιάσεως των τροχιών κινήσεως των ηλεκτρονίων σε δέσμη και τον τρόπο εκτροπής της δέσμης, οι καθοδικές λυχνίες διακρίνονται σε ***ηλεκτροστατικές λυχνίες*** και σε ***μαγνητικές λυχνίες.***

Η ***ηλεκτροστατική*** λυχνία ή λυχνία ***ηλεκτροστατικής εκτροπής*** χρησιμοποιεί τόσο για την ***εστίαση*** (focus) όσο και για την ***εκτροπή*** (deflection) της δέσμης ηλεκτρονίων ηλεκτρικά πεδία.

Η ***μαγνητική*** λυχνία ή λυχνία ***μαγνητικής εκτροπής*** χρησιμοποιεί για την εκτροπή της δέσμης ηλεκτρονίων μαγνητικό πεδίο. Για την εστίαση των τροχιών κινήσεως των ηλεκτρονίων σε δέσμη, οι μικρές λυχνίες μαγνητικής εκτροπής χρησιμοποιούν ηλεκτρικό πεδίο, ενώ οι μεγάλες μαγνητικό πεδίο. Επειδή τα μαγνητικά πεδία δημιουργούνται από πηνία (ηλεκτρομαγνήτες), η λυχνία αυτή ονομάζεται και λυχνία ***ηλεκτρομαγνητικής εστιάσεως*** και ***ηλεκτρομαγνητικής εκτροπής.***

Η παρουσίαση των στόχων σε σωστή απόσταση και διόπτευση, όπως στον ενδείκτη του ραντάρ ναυσιπλοΐας, είναι δυνατή μόνο με λυχνία ηλεκτρομαγνητικής εκτροπής. Ένα άλλο βασικό πλεονέκτημα της λυχνίας αυτής, αν συγκριθεί με τη λυχνία ηλεκτροστατικής εκτροπής, είναι ότι μπορεί να έχει μεγάλη οθόνη και μικρού μήκους μίσχο. Ενώ οι ενδείκτες των συγχρόνων ραντάρ χρησιμοποιούν κα-

ΔΡΥΜΑ ΣΥΓΧΡΟΝΟ 1954

θοδική λυχνία ηλεκτρομαγνητικής εκτροπής, οι ενδείκτες άλλων οργάνων ραδιοναυσιπλοΐας χρησιμοποιούν καθοδική λυχνία ηλεκτροστατικής εκτροπής. Έτσι, αντικείμενο μελέτης αποτελούν και οι δυο τύποι καθοδικών λυχνιών.

Τα τελευταία τρία χρόνια έχουν εμφανισθεί ενδείκτες ραντάρ που παρουσιάζουν τις ασθενείς ηχούς με κόκκινο χρώμα και τις ισχυρές με κίτρινο. Η δυνατότητα αυτή οφείλεται στη βελτιωμένη φθορίζουσα ουσία, της οποίας τα μόρια με ασθενή διέγερση δημιουργούν κόκκινη φωτεινή κηλίδα και με έντονη διέγερση κίτρινη. Όμως δεν φαίνεται προς το παρόν ότι η διχρωμία αυτή παρουσιάζει σημαντικά πλεονεκτήματα.

6.2 Το ηλεκτρονικό πυροβόλο.

Η κατασκευή του ηλεκτρονικού πυροβόλου είναι σχεδόν όμοια και στους δυο τύπους καθοδικών λυχνιών. Αυτό αποτελείται από:

α) Το ***νήμα θερμάνσεως*** (heater ή filament).
β) Την ***κάθοδο*** (kathode).
γ) Το ***πλέγμα*** ή ***σχάρα ελέγχου*** (control grid).
δ) Την ***άνοδο επιταχύνσεως*** (accelerating anode).
ε) Το ***πηνίο εστιάσεως*** (focusing coil) στις μεγάλες λυχνίες ή την ***άνοδο εστιάσεως*** (focusing anode) στις μικρές λυχνίες.
στ) Την ***τελική άνοδο*** (final anode ή aquadag coating).

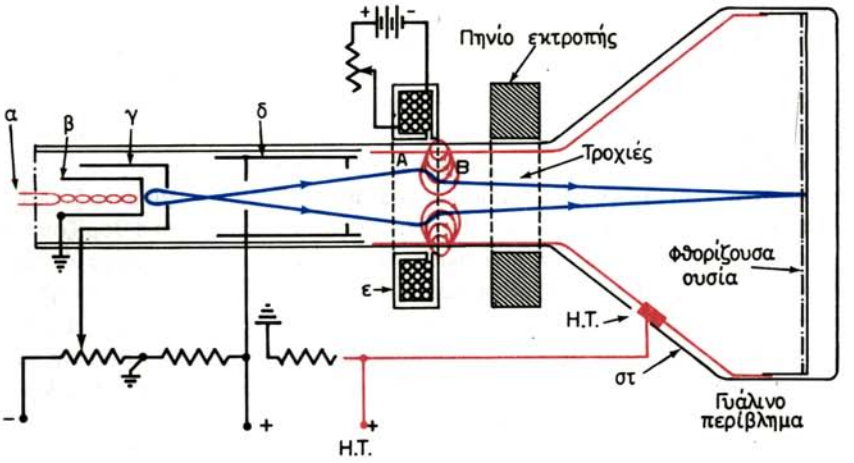
Στο σχήμα 6.2α φαίνεται τομή καθοδικής λυχνίας ηλεκτρομαγνητικής εκτροπής, στην οποία διακρίνονται τα παραπάνω ηλεκτρόδια. Αυτά καταλήγουν σε ακροδέκτες που βρίσκονται στη βάση της λυχνίας και χρησιμεύουν για τη σύνδεση των ηλεκτροδίων στα εξωτερικά κυκλώματα.

- Το ***νήμα θερμάνσεως*** [σχ. 6.2α(α)] είναι αντίσταση σύρματος, η οποία τροφοδοτείται με χαμηλή τάση (6 - 12 V). Με την τροφοδότησή του, το νήμα θερμάνσεως ερυθροπυρώνεται και θερμαίνει έμμεσα την κάθοδο που το περιβάλλει.
- Η ***μεταλλική κάθοδος*** [σχ. 6.2α(β)] έχει κυλινδρικό σχήμα και στην εξωτερική της επιφάνεια φέρει επίχρισμα από ειδικά οξείδια (καδμίου, τανταλίου, στροντίου). Τα οξείδια αυτά παρουσιάζουν έντονο το φαινόμενο της θερμικής εκλύσεως (εκπομπής) ηλεκτρονίων. Έτσι, όταν θερμαίνεται η κάθοδος, από το στρώμα των οξειδίων και κυρίως από την προς τα μπρος επίπεδη επιφάνεια της καθόδου εκλύονται (αποσπώνται) ηλεκτρόνια. Τα ηλεκτρόνια αυτά δημιουργούν ένα νέφος ηλεκτρονίων, στο χώρο μεταξύ καθόδου και πλέγματος.

Όμοιος μεταλλικός κύλινδρος, αλλά με μεγαλύτερη διάμετρο, είναι και το ***πλέγμα*** [σχ. 6.2α(γ)] που περιβάλλει την κάθοδο και βρίσκεται σε μικρή απόσταση από αυτή. Στην πρόσθια επίπεδη επιφάνειά του, το πλέγμα φέρει μικρή οπή, από την οποία είναι δυνατή η έξοδος των ηλεκτρονίων που εκλύει η κάθοδος. Έτσι είναι ευκολότερη η εστίαση των τροχιών κινήσεως των ηλεκτρονίων προς τη φθορίζουσα ουσία σε δέσμη.

Η κάθοδος συνδέεται συνήθως στο σασσί, όπου γειώνεται, και κατά τη λειτουργία της βρίσκεται σε δυναμικό 0. Το πλέγμα όμως λαμβάνει αρνητικό δυναμι-

ΕΛΛΗΝΙΚΟ ΚΕΝΤΡΟ ΕΥΡΕΤΗΡΙΟΥ 1954



Σχ. 6.2α.
Τομή καθοδικής λυχνίας ηλεκτρομαγνητικής εκτροπής.
α) Νήμα θερμάνσεως. β) Κάθοδος. γ) Πλέγμα. δ) Άνοδος επιταχύνσεως. ε) Πηνίο εστιάσεως. στ) Τελική άνοδος.

κό σε σχέση με την κάθοδο. Το αρνητικό αυτό δυναμικό ασκεί απωστικές δυνάμεις στα ηλεκτρόνια, λόγω του αρνητικού τους φορτίου και έτσι εμποδίζεται η έξοδος των ηλεκτρονίων από την οπή του πλέγματος. Επειδή η απόσταση του πλέγματος από την κάθοδο είναι μικρή, με μικρές μεταβολές του αρνητικού δυναμικού του πλέγματος επιτυγχάνονται σημαντικές μεταβολές του αριθμού των ηλεκτρονίων που εξέρχονται από το πλέγμα. Δηλαδή του αριθμού των ηλεκτρονίων που θα κινηθούν μέσα στο χώρο της δέσμης και θα προσπέσουν σε ένα σημείο της επιφάνειας της φθορίζουσας ουσίας. Η αυξομείωση όμως του αριθμού των ηλεκτρονίων αυτών συνεπάγεται αυξομείωση της λαμπρότητας της κηλίδας που δημιουργείται από την πρόσπτωσή τους και κατ' επέκταση αυξομείωση της λαμπρότητας της εικόνας που σχεδιάζεται με την κηλίδα στην οθόνη της λυχνίας. Οι μεταβολές του αρνητικού δυναμικού του πλέγματος πραγματοποιούνται με ποτενσιόμετρο που ονομάζεται ***ρυθμιστής λαμπρότητας*** (μέσης φωτεινότητας) της εικόνας και βρίσκεται στην πρόσοψη του ενδείκτη ραντάρ. Κατά παρόμοιο τρόπο ρυθμίζεται η μέση φωτεινότητα της εικόνας στην οθόνη των δεκτών τηλεοράσεως και σε όλα τα όργανα που χρησιμοποιούν καθοδική λυχνία.

Σε ορισμένες περιπτώσεις, αντί να γειώνεται η κάθοδος, γειώνεται το πλέγμα και το ποτενσιόμετρο ρυθμίσεως της λαμπρότητας ρυθμίζει το θετικό δυναμικό που εφαρμόζεται στην κάθοδο. Αύξηση του θετικού δυναμικού της καθόδου συνεπάγεται ελάττωση της λαμπρότητας και αντίστροφα.

Η ***άνοδος επιταχύνσεως*** [σχ. 6.2α(δ)] είναι μεταλλικός κύλινδρος, ανοικτός και στις δυο βάσεις του και τροφοδοτείται με υψηλό θετικό δυναμικό. Το υψηλό αυτό θετικό δυναμικό εξαναγκάζει σε κίνηση τα ηλεκτρόνια που εκλύει η κάθοδος. Έτσι, αυτά επιταχύνονται συνεχώς μέχρι να φθάσουν στο σημείο εισόδου τους

στο εσωτερικό της ανόδου αυτής.

Από το σημείο αυτό όμως αρχίζει να επιδρά και το υπερυψηλό θετικό δυναμικό (10 - 20 kV) της τελικής ανόδου. Η τελική άνοδος είναι επίχρισμα από γραφίτη στο εσωτερικό του κωνικού τμήματος της λυχνίας που αρχίζει σχεδόν από την άνοδο επιταχύνσεως και καταλήγει λίγο πριν από την επιφάνεια της φθορίζουσας ουσίας. Στην εξωτερική επιφάνεια υπάρχει ακροδέκτης, για τη σύνδεση του υπερυψηλού δυναμικού στην τελική άνοδο. Το υπερυψηλό αυτό δυναμικό εξαναγκάζει τα ηλεκτρόνια σε μεγάλες επιταχύνσεις και, όταν αυτά προσπίπτουν στη φθορίζουσα ουσία, έχουν αποκτήσει σημαντική κινητική ενέργεια, της οποίας το μεγαλύτερο μέρος δίνεται στο σημείο της φθορίζουσας ουσίας, όπου προσπίπτουν τα ηλεκτρόνια. Στη συνέχεια, και μετά την πρόσπτωσή τους, τα ηλεκτρόνια έλκονται από την τελική άνοδο και, μέσα από την πηγή που παρέχει την υπερυψηλή τάση, της οποίας ο αρνητικός πόλος γειώνεται στο σασσί, επιστρέφουν στην κάθοδο της λυχνίας.

Ορισμένες καθοδικές λυχνίες φέρουν και στην εξωτερική κωνική τους επιφάνεια, επίχρισμα από γραφίτη, το οποίο, σε συνδυασμό με το εσωτερικό επίχρισμα από γραφίτη της τελικής ανόδου δημιουργούν πυκνωτή με σημαντική χωρητικότητα και υπερυψηλή τάση. Ο πυκνωτής αυτός χρησιμοποιείται ως μέρος του φίλτρου εξομαλύνσεως στο ανορθωτικό, που παρέχει την υπερυψηλή αυτή τάση.

Σημειώνεται ότι, όταν πρόκειται να έλθομε σε επαφή με τον ακροδέκτη υπερυψηλής τάσεως της τελικής ανόδου, πρέπει πρώτα να εκφορτίζομε τον παραπάνω πυκνωτή, γειώνοντας τον ακροδέκτη στο σασσί της συσκευής, έστω και αν η συσκευή βρίσκεται εκτός λειτουργίας επί αρκετές ώρες.

Ένας άλλος σκοπός που εξυπηρετεί η άνοδος επιταχύνσεως είναι ότι δεν επιτρέπει στο πολύ ισχυρό ηλεκτρικό πεδίο που δημιουργεί η τελική άνοδος, να επηρεάζει τη δραστικότητα του πλέγματος. Αν δεν υπήρχε η άνοδος επιταχύνσεως, το πολύ ισχυρό αυτό πεδίο θα έφθανε μέχρι το πλέγμα. Τότε όμως θα έπρεπε να εφαρμόζονται πολύ υψηλά αρνητικά δυναμικά στο πλέγμα, για να ρυθμίζεται ο αριθμός των ηλεκτρονίων που κινούνται προς τη φθορίζουσα ουσία και κατά επέκταση να ρυθμίζεται η λαμπρότητα της κηλίδας.

6.2.1 Η εστίαση της φωτεινής κηλίδας.

Ενώ μετά την έξοδό τους από τη μικρή οπή του πλέγματος και την εκκίνησή τους προς την επιφάνεια της φθορίζουσας ουσίας, τα ηλεκτρόνια σχηματίζουν λεπτή δέσμη, κατά την κίνησή τους προς τη φθορίζουσα ουσία κατά μήκος του άξονα της λυχνίας οι τροχιές τους αποκλίνουν. Η απόκλιση των τροχιών κινήσεως των ηλεκτρονίων, κατά το μεγαλύτερο μέρος, οφείλεται στις απωστικές δυνάμεις που ασκούνται μεταξύ των ηλεκτρονίων, επειδή αυτά έχουν ίδιο αρνητικό φορτίο. Από την απόκλιση των τροχιών, η δέσμη διευρύνεται και τα ηλεκτρόνια προσπίπτουν σε μεγάλης εκτάσεως επιφάνεια της φθορίζουσας ουσίας και όχι σε σημειακή επιφάνεια. Έτσι δημιουργείται κηλίδα με μεγάλη έκταση, η οποία όμως συνεπάγεται ασαφή (παραμορφωμένη) εικόνα. Προκύπτει λοιπόν η ανάγκη εστιάσεως (focusing) των τροχιών των ηλεκτρονίων, ώστε αυτές να συγκλίνουν και να σχηματίζουν κωνική δέσμη, της οποίας η κορυφή να συμπίπτει με την επιφάνεια της φθορίζουσας ουσίας. Με την εστίαση, τα ηλεκτρόνια προσπίπτουν σε σημειακή επιφά-

νεια της φθορίζουσας ουσίας και δημιουργείται λεπτή (σημειακή) φωτεινή κηλίδα.

Όπως είπαμε, οι μεγάλες καθοδικές λυχνίες έχουν ηλεκτρομαγνητική εστίαση, ενώ οι μικρές ηλεκτροστατική.

α) Ηλεκτρομαγνητική εστίαση.

Η εστίαση των τροχιών κινήσεως των ηλεκτρονίων επιτυγχάνεται με το μαγνητικό πεδίο που δημιουργεί το πηνίο εστιάσεως [σχ. 6.2α(ε)], το οποίο διαρρέεται από συνεχές ρεύμα. Το πηνίο εστιάσεως είναι κυλινδρικό και περιβάλλει το μίσχο της καθοδικής λυχνίας, έτσι ώστε τα επίπεδα των σπειρών του να είναι κάθετα προς τον άξονα της λυχνίας. Στο σχήμα 6.2α φαίνονται επίσης οι βρόχοι των δυναμικών γραμμών του μαγνητικού πεδίου που δημιουργεί το πηνίο εστιάσεως. Μέσα από το μαγνητικό πεδίο αυτό διέρχονται τα ηλεκτρόνια της διευρυνόμενης δέσμης, καθώς αυτά κινούνται με μεγάλη ταχύτητα προς την επιφάνεια της φθορίζουσας ουσίας.

Γνωρίζομε ότι στα ηλεκτρόνια που κινούνται μέσα σε μαγνητικό πεδίο ασκούνται δυνάμεις Laplace:

$$F = qBV\eta\mu\theta$$

όπου: F η δύναμη που ασκείται σε κάθε ηλεκτρόνιο, q το φορτίο του ηλεκτρονίου, $B = H\mu_o = N.I\mu_o$ η μαγνητική επαγωγή, V η ταχύτητα κινήσεως του ηλεκτρονίου και θ η γωνία που σχηματίζεται από την κατεύθυνση κινήσεως των ηλεκτρονίων και την κατεύθυνση των δυναμικών γραμμών του μαγνητικού πεδίου, στο σημείο που βρίσκεται κάθε στιγμή κατά την κίνησή του το ηλεκτρόνιο.

Επομένως, σε ηλεκτρόνια της δέσμης που η τροχιά κινήσεώς τους συμπίπτει με τον άξονα της λυχνίας, κατά τη διέλευσή τους μέσα από το μαγνητικό πεδίο δεν ασκούνται δυνάμεις Laplace και συνεχίζουν να κινούνται στην ίδια ευθύγραμμη τροχιά. Σε ηλεκτρόνια όμως, που οι τροχιές κινήσεώς τους αποκλίνουν προς τα έξω, κατά τη διέλευσή τους μέσα στο μαγνητικό πεδίο ασκούνται δυνάμεις Laplace ανάλογες με το ημίτονο της εκτροπής τους. Οι δυνάμεις αυτές είναι κάθετες στην κατεύθυνση των δυναμικών γραμμών του μαγνητικού πεδίου, αλλά και κάθετες στην κάθε στιγμή κατευθύνσεως της κινήσεώς τους (κανόνας των τριών δακτύλων του δεξιού χεριού). Αποτέλεσμα των δυνάμεων αυτών είναι η συνεχής μεταβολή της κατευθύνσεως των ηλεκτρονίων, ενώ αυτά διανύουν το διάστημα ΑΒ μέσα στο μαγνητικό πεδίο (σχ. 6.2α). Η συνεχής αυτή μεταβολή της κατευθύνσεως της κινήσεως συντελεί ώστε τα ηλεκτρόνια, κατά την κίνησή τους στο διάστημα ΑΒ, να ακολουθούν ελικοειδείς τροχιές. Ο άξονας των ελικοειδών τροχιών είναι παράλληλος με τον άξονα της λυχνίας και η ακτίνα τους ελαττώνεται συνεχώς. Μετά την έξοδό τους από το μαγνητικό πεδίο στο σημείο Β, τα ηλεκτρόνια ακολουθούν ευθύγραμμες τροχιές, οι οποίες συγκλίνουν και δημιουργούν κωνική δέσμη. Οι παραπάνω δυνάμεις Laplace που ασκούνται στα ηλεκτρόνια υπολογίζονται έτσι, ώστε η κορυφή της κωνικής δέσμης που δημιουργείται από τις συγκλίνουσες τροχιές κινήσεως των ηλεκτρονίων να συμπίπτει με την επιφάνεια της φθορίζουσας ουσίας. Έτσι, τα ηλεκτρόνια προσπίπτουν σε σημειακή επιφάνεια της φθορίζουσας ουσίας και προκύπτει λεπτή φωτεινή κηλίδα που είναι απαραίτητη για την εμφάνιση εικόνας με καλή σαφήνεια.

ΔΡΥΜΑ ΣΥΓΓΡΑΦΕΩΝ 1954

Όταν οι δυνάμεις Laplace είναι μεγαλύτερες ή μικρότερες από την παραπάνω ορισμένη τιμή, οι τροχιές των ηλεκτρονίων συγκλίνουν περισσότερο ή λιγότερο αντίστοιχα. Τότε η κορυφή της δέσμης μεταφέρεται πριν ή μετά από την επιφάνεια της φθορίζουσας ουσίας και η φωτεινή κηλίδα καταλαμβάνει μεγαλύτερη επιφάνεια. Μπορούμε όμως να ρυθμίζομε τις δυνάμεις αυτές, μεταβάλλοντας την ένταση του συνεχούς ρεύματος που διαρρέει το πηνίο εκτροπής. Με τη μεταβολή της εντάσεως του ρεύματος μεταβάλλεται η μαγνητική επαγωγή B, επειδή

$$B = H\mu_0 = NI\mu_0$$

όπου: H η ένταση του μαγνητικού πεδίου, N ο αριθμός των σπειρών του πηνίου εστιάσεως και I η ένταση του συνεχούς ρεύματος που το διαρρέει.

Στο σχήμα 5.2α φαίνεται ο ροοστάτης με τον οποίο ρυθμίζεται η ένταση του συνεχούς ρεύματος. Ο ροοστάτης αυτής ονομάζεται ***ρυθμιστής εστιάσεως*** (focus control) και με αυτόν εξασφαλίζεται η εστίαση της φωτεινής κηλίδας.

Η εστίαση μπορεί να ρυθμίζεται με μετακίνηση του πηνίου εστιάσεως κατά μήκος του μίσχου της καθοδικής λυχνίας, με τη βοήθεια κοχλιών, αντί να μεταβάλλεται η ένταση του ρεύματος σ' αυτό. Η μετακίνηση αυτή του πηνίου εστιάσεως μπορεί να συγκριθεί με τη μετακίνηση φακού ακτίνων φωτός, ενώ η μεταβολή της εντάσεως του ρεύματος στο σταθερό πηνίο εστιάσεως ισοδυναμεί με την αντικατάσταση του φακού. Έτσι και το πηνίο εστιάσεως ονομάζεται ***ηλεκτρομαγνητικός φακός ηλεκτρονίων*** (electromagnetic lens).

Σημειώνεται ότι στις συσκευές ραντάρ, καθώς και σε άλλα όργανα που χρησιμοποιούν καθοδική λυχνία, σπάνια ο ρυθμιστής εστιάσεως βρίσκεται στην πρόσοψη του ενδείκτη, αλλά μέσα σ' αυτόν και ρυθμίζεται με κοχλιοστρόφιο όταν διαπιστωθεί ότι απαιτείται ρύθμιση.

β) Ηλεκτροστατική εστίαση.

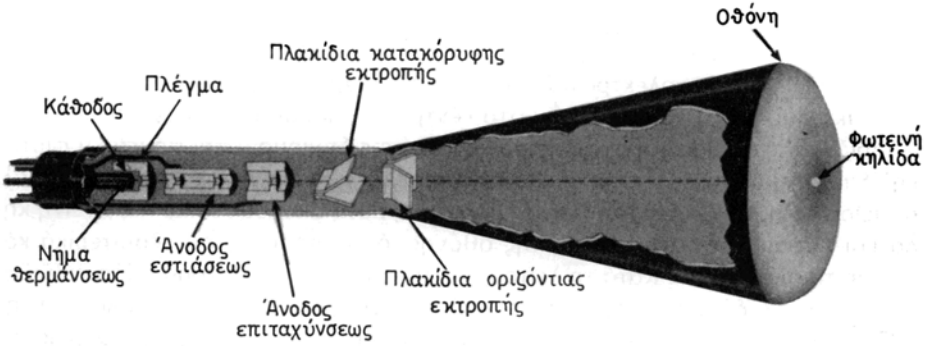
Η ηλεκτροστατική εστίαση (electrostatic focusing) εφαρμόζεται στις λυχνίες ηλεκτροστατικής εκτροπής, αλλά και στις μικρές λυχνίες ηλεκτρομαγνητικής εκτροπής. Στις λυχνίες ηλεκτροστατικής εστιάσεως το πηνίο εστιάσεως αντικαθίσταται από την άνοδο εστιάσεως, η οποία έχει κυλινδρικό σχήμα και παρεμβάλλεται μεταξύ του πλέγματος και της ανόδου επιταχύνσεως της λυχνίας. Στο σχήμα 6.2β φαίνεται καθοδική λυχνία ηλεκτροστατικής εστιάσεως που είναι και ηλεκτροστατικής εκτροπής.

Η άνοδος εστιάσεως τροφοδοτείται με θετικό δυναμικό που είναι χαμηλότερο από το θετικό δυναμικό της ανόδου επιταχύνσεως. Έτσι, επειδή μεταξύ των δυο ανόδων υπάρχει διαφορά δυναμικού, στο μεταξύ τους χώρο αναπτύσσεται ηλεκτρικό πεδίο, του οποίου οι δυναμικές γραμμές διαμορφώνονται όπως φαίνεται στο σχήμα 6.2γ και το οποίο ονομάζεται ***πεδίο εστιάσεως*** (focusing field). Καθώς κατά την κίνησή τους προς την επιφάνεια της φθορίζουσας ουσίας τα ηλεκτρόνια διέρχονται μέσα από το ηλεκτρικό πεδίο εστιάσεως, το πεδίο ασκεί στα ηλεκτρόνια δυνάμεις

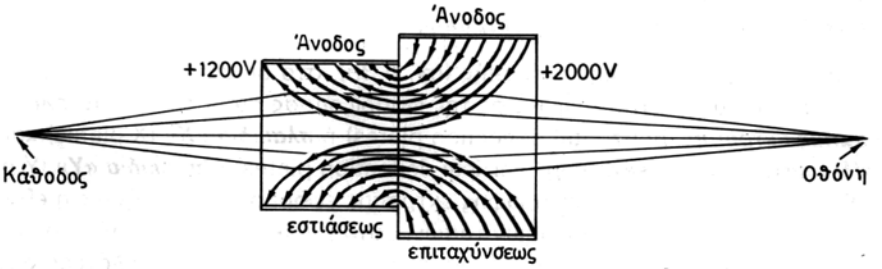
$$F = qE$$

όπου: F το μέτρο της δυνάμεως που ασκείται σε κάθε ηλεκτρόνιο, q το φορτίο του ηλεκτρονίου και E η ένταση του ηλεκτρικού πεδίου.

ΔΡΥΜΑ ΣΥΓΓΡΑΦΕΩΝ 1954



Σχ. 6.2β.



Σχ. 6.2γ.

Η δύναμη αυτή έχει ως διεύθυνση τη διεύθυνση της εφαπτομένης στις δυναμικές γραμμές του ηλεκτρικού πεδίου στο σημείο όπου βρίσκεται κάθε στιγμή κατά την κίνησή του το ηλεκτρόνιο και φορά αντίθετη από τη φορά των δυναμικών γραμμών.

Έτσι, όπως φαίνεται στο σχήμα 6.2γ, σε ηλεκτρόνια που η τροχιά κινήσεώς τους συμπίπτει με τον άξονα της λυχνίας, ασκούνται από το πεδίο εστιάσεως μόνο δυνάμεις επιταχύνσεως, οπότε η τροχιά κινήσεώς τους παραμένει η ίδια. Σε ηλεκτρόνια όμως που οι τροχιές κινήσεώς τους αποκλίνουν, ασκούνται δυνάμεις που εξαναγκάζουν τις τροχιές τους να συγκλίνουν και να σχηματίζουν κωνική δέσμη, της οποίας η κορυφή συμπίπτει με την επιφάνεια της φθορίζουσας ουσίας.

Το θετικό δυναμικό της ανόδου εστιάσεως ρυθμίζεται με ποτενσιόμετρο. Έτσι, η ένταση του ηλεκτρικού πεδίου εστιάσεως ρυθμίζεται κατά τέτοιο τρόπο, ώστε οι δυνάμεις που ασκούνται στα ηλεκτρόνια με αποκλίνουσες τροχιές να έχουν το κατάλληλο μέτρο και η κορυφή της κωνικής δέσμης, που θα σχηματίζουν οι συγκλίνουσες τροχιές τους, να συμπίπτει με την επιφάνεια της φθορίζουσας ουσίας. Το ποτενσιόμετρο αυτό ονομάζεται ***ρυθμιστής εστιάσεως*** και συνήθως βρίσκεται στο εσωτερικό της συσκευής και ρυθμίζεται με κοχλιοστρόφιο.

6.3 Η εκτροπή της φωτεινής κηλίδας.

Όπως είπαμε, τα ηλεκτρόνια της κωνικής δέσμης που παράγεται από το ηλεκτρονικό πυροβόλο, προσπίπτουν στο κέντρο της παραβολοειδούς επιφάνειας της φθορίζουσας ουσίας και στο κέντρο της οθόνης δημιουργείται σημειακή φωτεινή κηλίδα. Αν η δέσμη ηλεκτρονίων εκτρέπεται και η κορυφή της καταλήγει σε άλλο σημείο της φθορίζουσας ουσίας, την εκτροπή αυτή ακολουθεί και η φωτεινή κηλίδα και εμφανίζεται στο σημείο της οθόνης, όπου προσπίπτουν εσωτερικά κάθε στιγμή τα ηλεκτρόνια. Κατά τη λειτουργία των οργάνων που χρησιμοποιούν καθοδική λυχνία, η δέσμη πραγματοποιεί καθορισμένες εκτροπές με μεγάλη ταχύτητα. Τις εκτροπές αυτές ακολουθεί πιστά η φωτεινή κηλίδα και καταγράφει σημείο προς σημείο την εικόνα που εμφανίζεται στην οθόνη της καθοδικής λυχνίας.

Η εκτροπή της δέσμης ηλεκτρονίων μπορεί να γίνεται με ηλεκτρικό πεδίο (ηλεκτροστατική εκτροπή) ή με μαγνητικό πεδίο το οποίο προκύπτει από πηνίο (ηλεκτρομαγνητική εκτροπή). Έτσι έχομε τις λυχνίες ηλεκτροστατικής εκτροπής και τις λυχνίες ηλεκτρομαγνητικής εκτροπής.

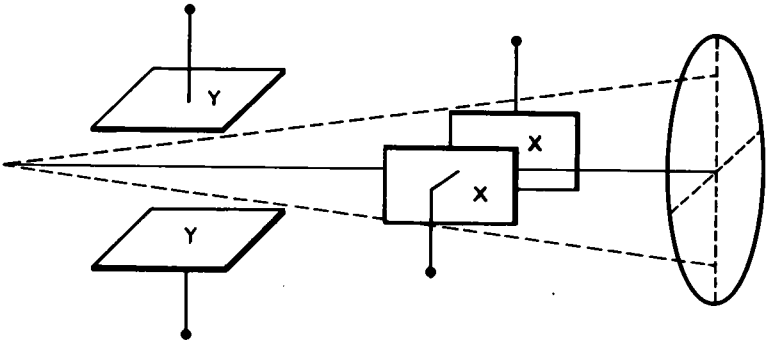
6.3.1 Η λυχνία ηλεκτροστατικής εκτροπής.

Η λυχνία ηλεκτροστατικής εκτροπής (σχ. 6.3α), στο διάστημα μεταξύ της ανόδου επιταχύνσεως και της επιφάνειας της φθορίζουσας ουσίας φέρει τα ***πλακίδια οριζόντιας εκτροπής*** (horizontal deflection plates) ή ***πλακίδια «Χ»*** (X plates) και τα ***πλακίδια κατακόρυφης εκτροπής*** (vertical deflection plates) ή ***πλακίδια «Υ»*** (Y plates). Επειδή στα πλακίδια κατακόρυφης εκτροπής εφαρμόζεται συνήθως η έξοδος των δεκτών των οργάνων διαφόρων τύπων, αυτά βρίσκονται σε μεγαλύτερη απόσταση από την επιφάνεια της φθορίζουσας ουσίας. Έτσι, με τα χαμηλότερα δυναμικά (τάσεις από τα σήματα που λαμβάνονται) προκαλείται σημαντική εκτροπή της φωτεινής κηλίδας. Στο σχήμα 6.3α φαίνονται παραστατικά τα δυο ζεύγη πλακιδίων εκτροπής, καθώς και η οριζόντια και η κατακόρυφη εκτροπή της κηλίδας.

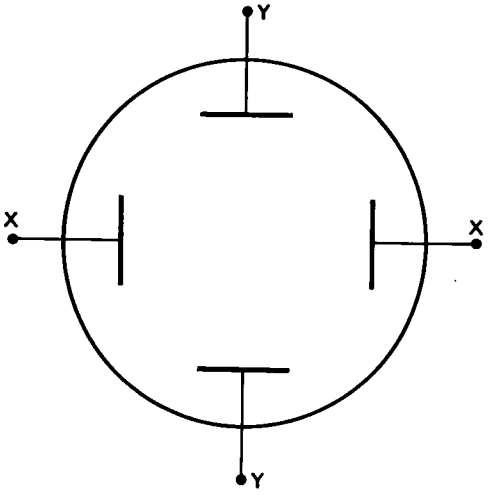
Για τη μελέτη της εκτροπής, τα δυο ζεύγη των πλακιδίων εκτροπής σχεδιάζονται όπως στο σχήμα 6.3β, δηλαδή όπως προβάλλονται στην οθόνη της καθοδικής λυχνίας. Όταν σε ένα ζεύγος πλακιδίων εφαρμοσθεί διαφορά δυναμικού, μεταξύ των πλακιδίων αυτών αναπτύσσεται ηλεκτρικό πεδίο. Αφού η απόσταση μεταξύ των πλακιδίων παραμένει σταθερή, η ένταση του ηλεκτρικού πεδίου είναι ανάλογη προς τη διαφορά δυναμικού που εφαρμόζεται. Έτσι τα ηλεκτρόνια, πριν φθάσουν στη φθορίζουσα ουσία, διέρχονται μέσα από το ηλεκτρικό αυτό πεδίο. Το ηλεκτρικό πεδίο ασκεί στα ηλεκτρόνια δυνάμεις, από τις οποίες προκαλείται εκτροπή των τροχιών κινήσεώς τους προς το θετικότερο πλακίδιο, με αποτέλεσμα, κατά τη διαδρομή τους μέσα στο ηλεκτρικό πεδίο, τα ηλεκτρόνια να ακολουθούν παραβολικές τροχιές. Όταν όμως εγκαταλείψουν το ηλεκτρικό αυτό πεδίο αποκτούν ευθύγραμμες τροχιές. Έτσι, η κωνική δέσμη ηλεκτρονίων εκτρέπεται προς την κατεύθυνση του πλακιδίου που έχει θετικότερο δυναμικό, με αποτέλεσμα να εκτρέπεται και η φωτεινή κηλίδα από το κέντρο της οθόνης προς την ίδια κατεύθυνση. Το μέγεθος της εκτροπής της δέσμης και το αντίστοιχο της φωτεινής κηλίδας είναι ανάλογο με τη διαφορά δυναμικού που εφαρμόζεται στα πλακίδια.

Στο σχήμα 6.3γ θεωρούμε καθοδική λυχνία, στην οποία, όταν στα πλακίδια οριζόντιας εκτροπής επικρατεί διαφορά δυναμικού 50 V, η εκτροπή της δέσμης ηλεκ-

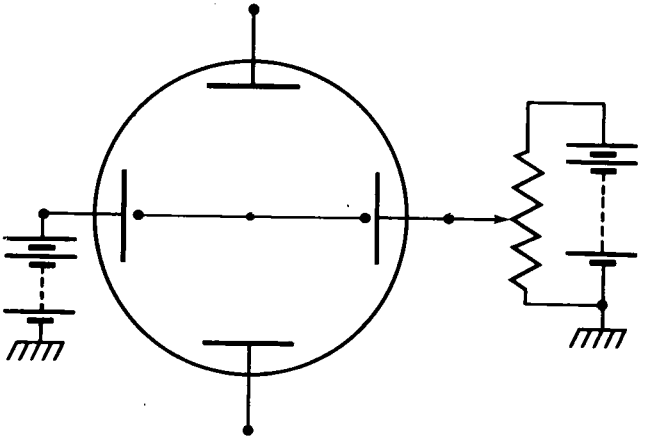
ΔΡΥΜΑ ΣΥΓΧΡΟΝΟ 1954



Σχ. 6.3α.
Ηλεκτροστατική εκτροπή.



Σχ. 6.3β.
Η προβολή των πλακιδίων εκτροπής στην οθόνη.



Σχ. 6.3γ.
Σύστημα εκτροπής της κηλίδας.

ΔΡΥΜΑ ΕΥΓΕΝΙΔΟΥ 1954

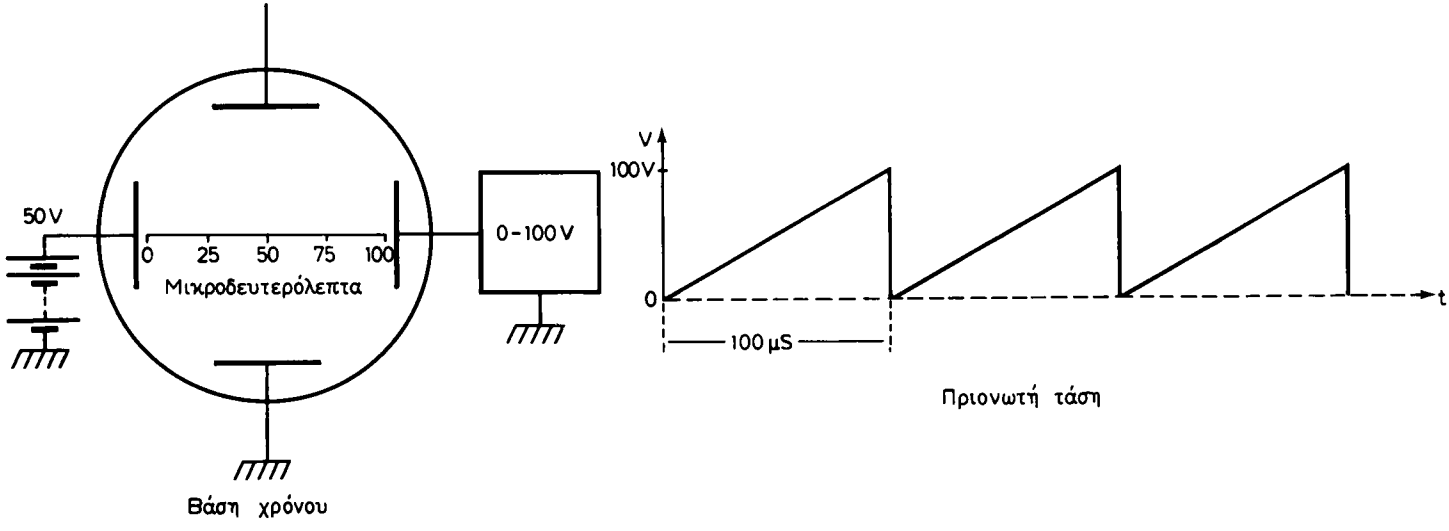
τρονίων είναι τέτοια, ώστε η φωτεινή κηλίδα να εμφανίζεται στο άκρο της οριζόντιας διαμέτρου της οθόνης που αντιστοιχεί στο θετικότερο πλακίδιο. Στο αριστερό πλακίδιο εφαρμόζεται μόνιμα συνεχής τάση 50 V που εκτρέπει μόνιμα την κηλίδα στο αριστερό άκρο της οριζόντιας διαμέτρου της οθόνης. Στο δεξιό πλακίδιο, εφαρμόζεται με το ποτενσιόμετρο συνεχής τάση, η οποία μπορεί να ρυθμίζεται από 0 V μέχρι 100 V. Όταν ο δρομέας βρίσκεται στο κατώτερο σημείο της διαδρομής του, το δεξιό πλακίδιο θα βρίσκεται σε δυναμικό 0 V και θα είναι αρνητικότερο από το αριστερό πλακίδιο κατά 50 V. Τότε η κηλίδα θα εμφανίζεται στο αριστερό άκρο της οριζόντιας διαμέτρου της οθόνης. Όταν ο δρομέας του ποτενσιομέτρου βρίσκεται στο μέσο της διαδρομής του, το δεξιό πλακίδιο θα βρίσκεται σε θετικό δυναμικό 50 V, όπως και το αριστερό και η κηλίδα θα εμφανίζεται στο κέντρο της οθόνης. Όταν ο δρομέας του ποτενσιομέτρου βρίσκεται στο ανώτερο σημείο της διαδρομής του, το δεξιό πλακίδιο θα βρίσκεται σε θετικό δυναμικό 100 V. Τότε αυτό είναι θετικότερο κατά 50 V από το αριστερό πλακίδιο και η κηλίδα θα εμφανίζεται στο δεξιό άκρο της οριζόντιας διαμέτρου της οθόνης.

Έτσι, αν ο δρομέας του ποτενσιομέτρου κινείται με σταθερή ταχύτητα από το κατώτερο μέχρι το ανώτερο σημείο της διαδρομής του, το δυναμικό του δεξιού πλακιδίου, σε σχέση με το δυναμικό του αριστερού, θα μεταβάλλεται με την ίδια σταθερή ταχύτητα από −50 V μέχρι +50 V. Η με αυτό τον τρόπο μεταβολή του δυναμικού έχει ως αποτέλεσμα να εκτρέπεται η φωτεινή κηλίδα με την ίδια σταθερή ταχύτητα από το αριστερό μέχρι το δεξιό άκρο της οριζόντιας διαμέτρου της οθόνης. Αν όμως ο δρομέας κινείται με την ίδια σταθερή ταχύτητα από το ανώτερο μέχρι το κατώτερο σημείο της διαδρομής του, το δυναμικό του δεξιού πλακιδίου, σε σχέση με το δυναμικό του αριστερού, θα μεταβάλλεται από +50 V μέχρι −50 V και η κηλίδα θα εκτρέπεται με την ίδια ταχύτητα από το δεξιό μέχρι το αριστερό άκρο της οριζόντιας διαμέτρου της οθόνης.

Αν ο δρομέας του ποτενσιομέτρου κινείται με μεγάλη σταθερή ταχύτητα και πραγματοποιεί μεγάλο αριθμό διαδρομών στο δευτερόλεπτο από το κατώτερο μέχρι το ανώτερο σημείο της διαδρομής του και αντίστροφα, ισάριθμες διαδρομές από το αριστερό μέχρι το δεξιό άκρο της οριζόντιας διαμέτρου της οθόνης και αντίστροφα θα πραγματοποιεί και η φωτεινή κηλίδα. Λόγω της αδράνειας του οφθαλμού του, ο παρατηρητής δεν προφθάνει να παρακολουθήσει τις γρήγορες αυτές εκτροπές της κηλίδας και, από το μεγάλο αριθμό διαδρομών της, διαπιστώνει φωτεινή γραμμή η οποία καλύπτει την οριζόντια διάμετρο της οθόνης.

6.3.2 Βάση χρόνου — Ενδείκτης τύπου Α.

Ας υποθέσομε, ότι το ποτενσιόμετρο και η πηγή συνεχούς τάσεως στο δεξιό πλακίδιο οριζόντιας εκτροπής του σχήματος 6.3γ αντικαθίστανται από μια γεννήτρια (ηλεκτρονικό κύκλωμα), η οποία παρέχει στο πλακίδιο αυτό πριονωτούς παλμούς τάσεως, οι οποίοι έχουν πλάτος 100 V και διάρκεια 100 μs, όπως φαίνεται στο σχήμα 6.3δ. Δηλαδή σε κάθε πριονωτό παλμό η τάση αυξάνεται γραμμικά (με σταθερή ταχύτητα dV/dt = K), από 0 V μέχρι 100 V και σε 100 μs λαμβάνει τη μέγιστη τιμή 100 V. Μόλις λάβει τη μέγιστη τιμή 100 V, πέφτει ακαριαία στην τιμή 0 V και ακολουθεί αμέσως ο επόμενος παλμός που αντιπροσωπεύει ίδια γραμμική αύξηση της τάσεως. Με την έναρξη κάθε παλμού πριονωτής τάσεως, η κηλίδα θα



Σχ. 6.3δ.
Βάση χρόνου 100 μικροδευτερολέπτων.

εκκινεί από το αριστερό άκρο της οριζόντιας διαμέτρου της οθόνης και θα εκτρέπεται με σταθερή ταχύτητα προς το δεξιό, συμπληρώνοντας τη διαδρομή της οριζόντιας διαμέτρου, τη στιγμή που ολοκληρώνεται κάθε παλμός. Σε 100 μs που η τάση αυξάνει γραμμικά από 0 V — 100 V (1V/μs), η κηλίδα πραγματοποιεί μια διαδρομή. Έτσι, σε 1μs θα εκτρέπεται κατά 1/100 της οριζόντιας διαμέτρου της οθόνης. Σε ένα δευτερόλεπτο θα πραγματοποιεί 10.000 τέτοιες διαδρομές και από το ίχνος των διαδρομών αυτών θα προκύψει φωτεινή γραμμή, η οποία θα καταλαμβάνει την οριζόντια διάμετρο της οθόνης.

Έτσι, μπορούμε να πούμε ότι η φωτεινή αυτή γραμμή που κατέχει την οριζόντια διάμετρο της οθόνης (σχ. 6.3δ), αντιπροσωπεύει χρόνο 100 μs και κάθε εκατοστό του μήκους της αντιστοιχεί σε χρόνο 1 μs.

Αν το πλάτος του παλμού παραμένει το ίδιο (100 V) και διπλασιασθεί η διάρκειά του (200 μs), η σταθερή ταχύτητα, με την οποία θα αυξάνει η τάση του δεξιού πλακιδίου, θα γίνει η μισή (0,5 V/μs). Τότε η διαδρομή της κηλίδας θα συμπληρώνεται σε 200 μs και η φωτεινή γραμμή, που θα έχει το ίδιο μήκος, θα αντιπροσωπεύει χρόνο 200 μs. Για το λόγο αυτό, η φωτεινή γραμμή που προκύπτει από τις παραπάνω εκτροπές της κηλίδας ονομάζεται ***βάση χρόνου*** (time base) ή ***σάρωση*** (sweep). Οι παλμοί τάσεως που προκαλούν τις εκτροπές αυτές ονομάζονται ***πριονωτή τάση*** και η γεννήτρια που παράγει την πριονωτή τάση ***γεννήτρια βάσεως χρόνου*** (time base generator) ή ***γεννήτρια σαρώσεως*** (sweep generator).

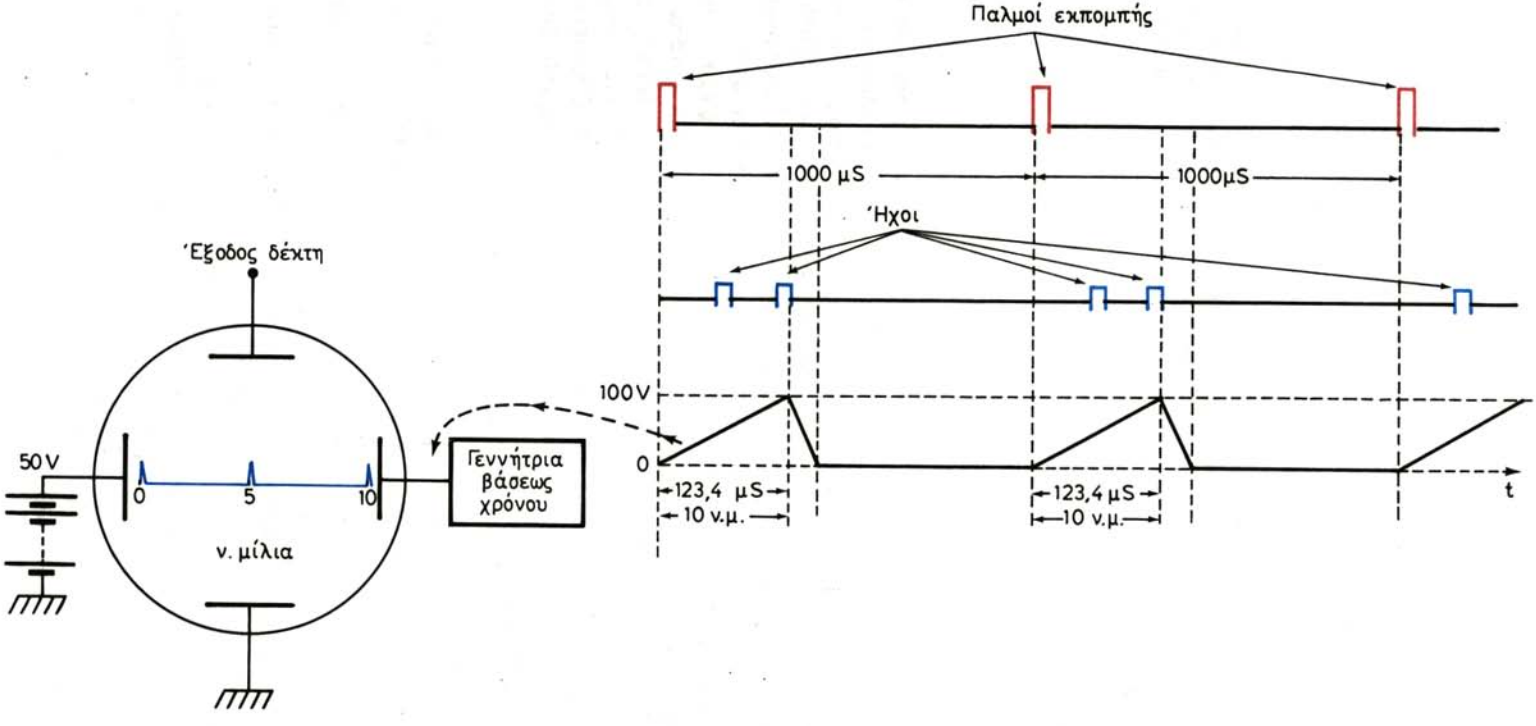
Ο ενδείκτης των πρώτων συσκευών ραντάρ χρησιμοποιούσε καθοδική λυχνία ηλεκτροστατικής εκτροπής. Συνοπτικά, η λειτουργία του ενδείκτη αυτού, που ονομάζεται ενδείκτης τύπου «Α» (σχ. 6.3ε), έχει ως εξής:

Η συνεχής τάση που εφαρμόζεται στο αριστερό πλακίδιο οριζόντιας εκτροπής, διατηρεί μόνιμα την κηλίδα στο αριστερό άκρο της οριζόντιας διαμέτρου της οθόνης και έτσι η εκτροπή της γίνεται σε ολόκληρο το μήκος της οριζόντιας διαμέτρου. Η λειτουργία της γεννήτριας βάσεως χρόνου δεν είναι τυχαία. Συγχρονίζεται με παλμούς τάσεως μικρού πλάτους που λαμβάνει από τον πομπό του ραντάρ, οι οποίοι συμπίπτουν χρονικά με τους παλμούς ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων που εκπέμπονται από την κεραία.

Έτσι, κάθε στιγμή που εκπέμπεται ένας παλμός, η γεννήτρια βάσεως χρόνου αρχίζει να λειτουργεί και παράγει ένα παλμό πριονωτής τάσεως, του οποίου η διάρκεια είναι ανάλογη με την κλίμακα ανιχνεύσεως (κλίμακα σε ναυτικά μίλια × 12,34 μs), επειδή, για να διανυθεί απόσταση 1 ν.μ. σε διπλή διαδρομή, παρέρχεται χρόνος 12,34 μs. Στο παράδειγμα του σχήματος 6.3ε, κάθε 1000 μs που εκπέμπεται ένας παλμός, η γεννήτρια βάσεως χρόνου παράγει ένα παλμό πριονωτής τάσεως, ο οποίος έχει διάρκεια 123,4 μs και αντιστοιχεί σε απόσταση 10 ν.μ. Κάθε στιγμή λοιπόν που εκπέμπεται ένας παλμός, αρχίζει και μια εκτροπή της κηλίδας από το αριστερό της οριζόντιας διαμέτρου, η οποία πραγματοποιείται με σταθερή ταχύτητα και θα ολοκληρώνεται σε 123,4 μs στο δεξιό άκρο της οριζόντιας διαμέτρου της οθόνης. Σε ένα δευτερόλεπτο θα έχουν εκπεμφθεί 1000 παλμοί ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων και η κηλίδα θα έχει συμπληρώσει 1000 ισοταχείς διαδρομές στην οριζόντια διάμετρο της οθόνης, από τις οποίες θα προκύψει βάση χρόνου 123,4 μs.

Η έξοδος του δέκτη ραντάρ συνδέεται στα πλακίδια κατακόρυφης εκτροπής. Κάθε ηχώ που λαμβάνεται από το δέκτη, αφού ενισχυθεί, μετατρέπεται σε θετικό παλμό τάσεως (οπτικό σήμα — Video signal) που, αν προέρχεται από μικρό στόχο, έχει διάρκεια ίση με τη διάρκεια του παλμού εκπομπής και προκαλεί στιγμιαία κατακόρυφη εκτροπή της κηλίδας. Ας υποθέσομε ότι επιστρέφει ηχώ από στόχο που βρίσκεται σε απόσταση 10 ν.μ. Τη στιγμή που θα επιστρέφει ηχώ από την ανάκλαση κάθε εκπεμπόμενου παλμού, η κηλίδα, καθώς θα ολοκληρώνει την αντίστοιχη εκτροπή της θα βρίσκεται στο δεξιό άκρο της βάσεως χρόνου. Από τη στιγμιαία κατακόρυφη εκτροπή που προκαλεί στην κηλίδα ο παλμός της ηχούς σε κάθε διαδρομή της, προκύπτει κατακόρυφη ακίδα στο δεξιό άκρο της βάσεως χρόνου (σχ. 6.3ε). Η ηχώ από στόχο που βρίσκεται στην ίδια κατεύθυνση και σε απόσταση 5

ΔΑΡΥΝΑ ΣΥΓΓΡΑΦΕΩΝ 1954



Σχ. 6.3ε.
Η λειτουργία του ενδείκτη ραντάρ τύπου Α.

ΙΔΡΥΜΑ ΕΥΓΕΝΙΔΟΥ 1954

ν.μ., προκαλεί παρόμοια στιγμιαία εκτροπή τη στιγμή που, ενώ η κηλίδα εκτρέπεται, βρίσκεται στο μέσο της βάσεως χρόνου, όπου η ηχώ εμφανίζεται ως κατακόρυφη ακίδα. Επομένως, όταν η εκτροπή της κηλίδας πραγματοποιείται με σταθερή ταχύτητα και ολοκληρώνεται σε 123,4 μ, η βάση χρόνου αντιπροσωπεύει απόσταση 10 ν.μ. και κάτω από τη βάση χρόνου μπορούμε να σημειώσομε υποδιαιρέσεις 10 ν.μ.

Ο ενδείκτης αυτός παρουσιάζει τους στόχους με στιγμιαία κατακόρυφη εκτροπή της κηλίδας και μπορεί να παρέχει μόνο την πληροφορία της αποστάσεώς τους. Επειδή δεν παρέχει την πληροφορία της διοπτεύσεως, σήμερα συναντάνται μόνο σε μεγάλα συγκροτήματα ραντάρ, ως όργανο ελέγχου καλής λειτουργίας (monitor).

Η κατακόρυφη ακίδα που φαίνεται ως ηχώ στόχου στο αριστερό άκρο της βάσεως χρόνου (σε μηδενική απόσταση), προέρχεται από ενέργεια που εισχωρεί κατευθείαν στο δέκτη από κάθε παλμό που εκπέμπεται. Αυτό ονομάζεται ***ευθύ σήμα*** (direct signal) και από αυτό μπορεί να διαπιστωθεί, αν λειτουργεί τόσο ο πομπός όσο και ο δέκτης της συσκευής ραντάρ. Στο σχήμα 6.3στ φαίνεται πραγματική εικόνα ενδείκτη ραντάρ τύπου «Α».

6.3.3 Άλλες εφαρμογές της ηλεκτροστατικής εκτροπής.

α) Εκτροπή σε δυο βάσεις χρόνου.

Με ταυτόχρονη εφαρμογή πριονωτών παλμών τάσεως στα πλακίδια Χ και εναλλακτικά ορθογωνίων θετικών και αρνητικών παλμών τάσεως στα πλακίδια Ψ, πού έχουν ίδια διάρκεια με τους πριονωτούς παλμούς (σχ. 6.3ζ), προκύπτουν δυο ξεχωριστές βάσεις χρόνου. Η αρχή αυτή χρησιμοποιείται στους δέκτες LORAN και με τις δυο βάσεις χρόνου μετράται η διαφορά χρόνου, με την οποία λαμβάνονται οι παλμοί ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων που εκπέμπονται από ζεύγος σταθμών LORAN. Καθώς διαδοχικοί πριονωτοί και ορθογώνιοι παλμοί τάσεως έχουν την ίδια διάρκεια, κάθε βάση χρόνου αντιστοιχεί σε ίδιο χρόνο και καθώς η ***κάτω*** βάση χρόνου ακολουθεί την ***πάνω*** χωρίς καμιά καθυστέρηση, οι δυο βάσεις χρόνου μπορούν να θεωρηθούν ως μία, που θα αντιστοιχεί σε χρόνο διπλάσιο της μίας. Με τον τρόπο αυτό, ένα μεγάλο χρονικό διάστημα (60.000 - 100.000 μs) μοιράζεται σε δυο βάσεις χρόνου και έτσι είναι δυνατή η χρησιμοποίηση καθοδικής λυχνίας μικρότερης διαμέτρου.

β) Εκτροπή με ημιτονική τάση.

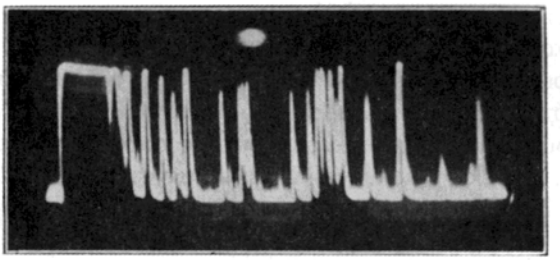
Με ταυτόχρονη εφαρμογή στα πλακίδια Χ και Ψ εναλλασσομένων τάσεων U = U_0ημωτ της ίδιας συχνότητας, του ίδιου πλάτους και της ίδιας φάσεως (σχ. 6.3η) εξασφαλίζεται:

- Κατά τη θετική ημιπερίοδο, εκτροπή του ίδιου μεγέθους, από τα πλακίδια Χ προς τα δεξιά και από τα πλακίδια Ψ προς τα άνω.
- Κατά την αρνητική ημιπερίοδο, εκτροπή ίδιου μεγέθους, από τα πλακίδια Χ προς τα αριστερά και από τα πλακίδια Ψ προς τα κάτω.

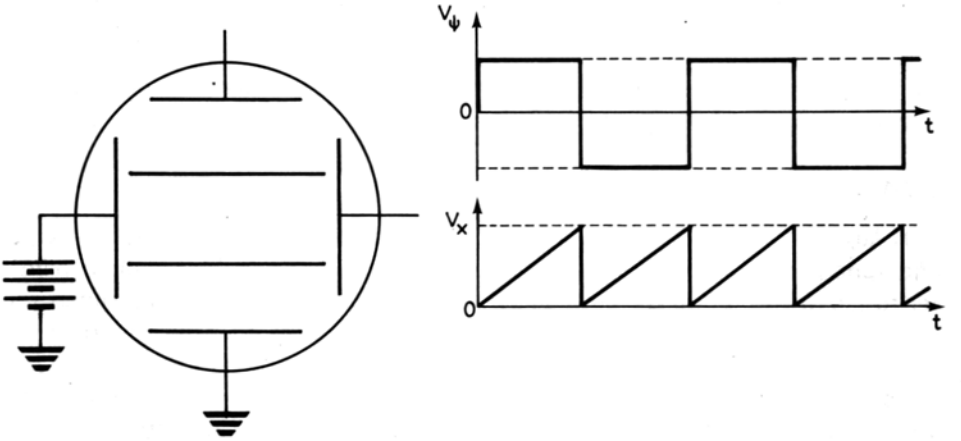
Από την ισομεγέθη αυτή εκτροπή σε κάθε κύκλο των εναλλασσομένων αυτών τάσεων, η φωτεινή κηλίδα θα πραγματοποιεί μια διαδρομή στη διεύθυνση 45° - 225° και από τις συνεχείς διαδρομές θα προκύπτει φωτεινή γραμμή στη διεύθυνση αυτή. Το μήκος της φωτεινής ευθείας θα είναι ανάλογο με το πλάτος U_0 των εναλλασσομένων τάσεων που εφαρμόζονται στα πλακίδια.

Αν οι παραπάνω τάσεις δεν έχουν το ίδιο πλάτος, η εκτροπή δεν θα είναι ισομε-

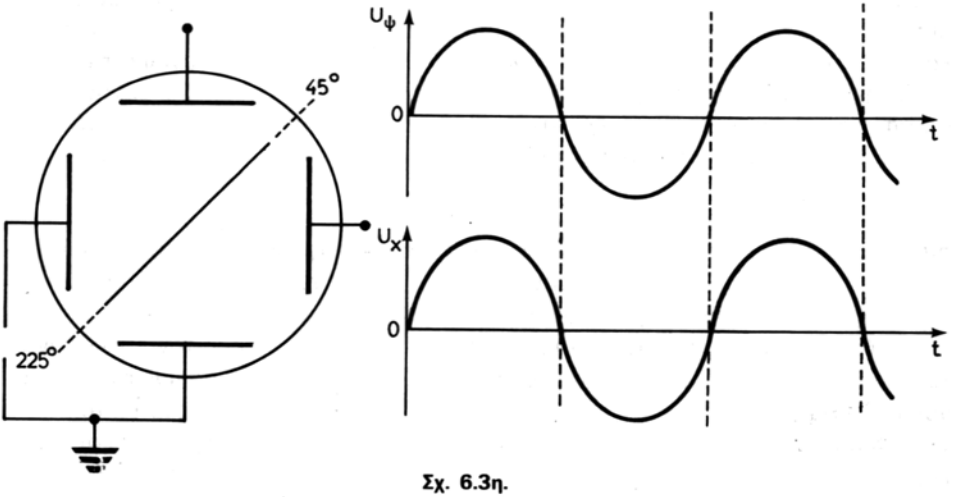
ΔΡΥΜΑ ΣΥΓΓΡΑΦΕΩΝ 1954



Σχ. 6.3στ.



Σχ. 6.3ζ.
Εκτροπή με δυο βάσεις χρόνου.



Σχ. 6.3η.
Εκτροπή με ομοφασικές ημιτονικές τάσεις ίδιου πλάτους.

Αν οι παραπάνω τάσεις δεν έχουν το ίδιο πλάτος, η εκτροπή δεν θα είναι ισομεγέθης και κατά τους δυο άξονες και θα προκαλείται εκτροπή της διευθύνσεως της φωτεινής ευθείας. Όταν $U_{oX} > U_{o\psi}$, η ευθεία στρέφεται προς τον άξονα Χ, ενώ όταν $U_{oX} < U_{o\psi}$, προς τον άξονα Ψ. Επίσης, οι δυο ημιτονικές τάσεις παρουσιάζουν διαφορά φάσεως μικρότερη από 90° ή μεγαλύτερη από 270° και αντί της ευθείας προκύπτει έλλειψη με το μεγάλο άξονά της στη διεύθυνση 45° - 225°. Τέτοια εκτροπή με ημιτονικές τάσεις έχει εφαρμογή στη λειτουργία ραδιογωνιομέτρων αυτόματης ενδείξεως με καθοδική λυχνία.

Αν οι ημιτονικές τάσεις που εφαρμόζονται στα πλακίδια Χ και Ψ παρουσιάζουν διαφορά φάσεως 90° [$U_X = U_0$ημωτ και $U_\psi = U_0$ημ(ωτ + 90°) (περιφέρεια κύκλου)], τότε, σε κάθε κύκλο της τάσεως U_X, η κηλίδα θα διαγράφει περιφέρεια κύκλου με σημείο ενάρξεως στον άξονα των Χ. Η αυξομείωση του πλάτους των ημιτονικών τάσεων συνεπάγεται αυξομείωση της ακτίνας της περιφέρειας κύκλου. Τέτοια εκτροπή χρησιμοποιείται ως βάση χρόνου, η οποία αντιστοιχεί σε χρόνο ίσο με την περίοδο Τ των ημιτονικών τάσεων και συναντάται σε ενδείκτες υψομετρικών ραντάρ με μικρή καθοδική λυχνία.

6.3.4 Η λυχνία ηλεκτρομαγνητικής εκτροπής.

Η λυχνία ηλεκτρομαγνητικής εκτροπής, αντί των δυο ζευγών πλακιδίων εκτροπής, χρησιμοποιεί το ***πηνίο εκτροπής*** (deflection coil) (σχ. 6.3θ), το οποίο περιβάλλει το μίσχο της καθοδικής λυχνίας στο σημείο που αρχίζει το κωνικό τμήμα της. Αυτό εδράζεται σε τριβείς, για να μπορεί να περιστρέφεται με την ταχύτητα που περιστρέφεται η κεραία της συσκευής ραντάρ.

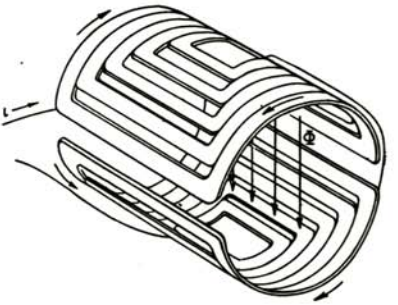
Το πηνίο αποτελείται από κυλινδρικό πυρήνα, που στο εσωτερικό του προσαρμόζονται δυο τυλίγματα από ορθογώνιες κυρτές σπείρες όπως φαίνεται στο σχήμα 6.3θ. Τα δυο τυλίγματα συνδέονται σε σειρά και, όταν διαρρέονται από ρεύμα, στο εσωτερικό τους δημιουργείται ομοιογενές μαγνητικό πεδίο που οι δυναμικές του γραμμές διέρχονται στον κυλινδρικό χώρο του μίσχου της καθοδικής λυχνίας που περιβάλλεται από το πηνίο. Οι επιφάνειες των τυλιγμάτων είναι παράλληλες με το μίσχο της λυχνίας και έτσι οι δυναμικές γραμμές της μαγνητικής ροής είναι επίσης κάθετες στο μίσχο και επομένως κάθετες και στη δέσμη ηλεκτρονίων, τα οποία, κατά την κίνησή τους προς την επιφάνεια της φθορίζουσας ουσίας, διέρχονται μέσα από την ομοιογενή αυτή μαγνητική ροή. Έτσι, στα ηλεκτρόνια, όταν αυτά διέρχονται το χώρο της μαγνητικής ροής, ασκούνται δυνάμεις Laplace.

$$F = qBV$$

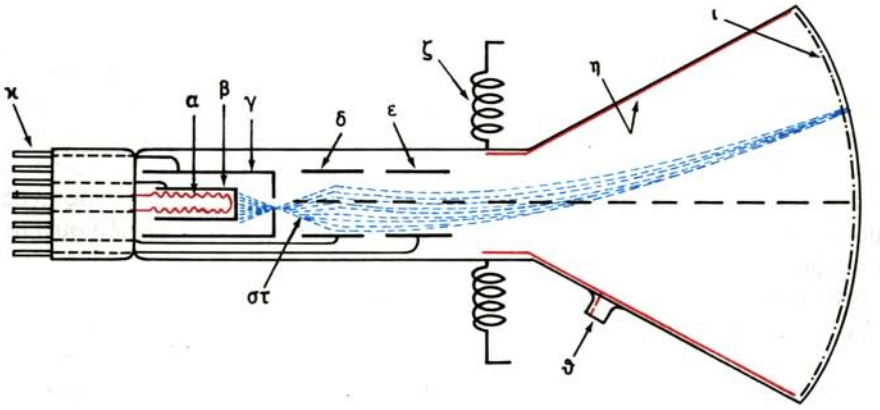
όπου: q το φορτίο του ηλεκτρονίου, Β η μαγνητική επαγωγή στο σημείο που κινείται κάθε στιγμή το ηλεκτρόνιο και V η ταχύτητα με την οποία κινείται το ηλεκτρόνιο προς την επιφάνεια της φθορίζουσας ουσίας.

Η δύναμη F που ασκείται στα ηλεκτρόνια, είναι κάθετη προς την κατεύθυνση των δυναμικών γραμμών, αλλά και κάθετη στην κατεύθυνση κινήσεώς τους (κανόνας των τριών δακτύλων του δεξιού χεριού). Η δύναμη αυτή, ανάλογα με το μέτρο της, θα προκαλέσει μια εκτροπή στις τροχιές κινήσεως των ηλεκτρονίων και έτσι η κορυφή της κωνικής τους δέσμης δεν θα προσπίπτει στο κέντρο της επιφάνειας της φθορίζουσας ουσίας, αλλά σε κάποιο άλλο σημείο (σχ. 6.3ι), στο οποίο θα εμ-

ΔΡΥΑΣ ΣΥΓΓΡΑΦΕΩΝ 1954



Σχ. 6.3θ.
Κατανομή των σπειρών των τυλιγμάτων του πηνίου εκτροπής.



Σχ. 6.3ι.
Ηλεκτρομαγνητική εκτροπή της δέσμης ηλεκτρονίων.
α) Νήμα θερμάνσεως. β) Κάθοδος. γ) Οδηγό πλέγμα. δ) Άνοδος εστιάσεως. ε) Άνοδος επιταχύνσεως. στ) Δέσμη ηλεκτρονίων. ζ) Πηνίο εκτροπής. η) Τελική άνοδος. θ) Ακροδέκτης τελικής ανόδου. ι) Φθορίζουσα ουσία. κ) Ακροδέκτες ηλεκτροδίων.

φανίζεται και η φωτεινή κηλίδα. Το σημείο αυτό θα βρίσκεται στην ακτίνα της οθόνης που είναι κάθετη στην κατεύθυνση των δυναμικών γραμμών και στην αρχική κατεύθυνση της δέσμης (κανόνας των τριών δακτύλων του δεξιού χεριού).

Η μαγνητική επαγωγή σε κάθε σημείο του κυλινδρικού χώρου στο εσωτερικό του πηνίου εκτροπής είναι:

$$B = H\mu_0 = N \cdot I\mu_0\mu$$

όπου: Η η ένταση του μαγνητικού πεδίου σε κάθε σημείο, Ν ο αριθμός των σπειρών των τυλιγμάτων του πηνίου εκτροπής, Ι η ένταση του ρεύματος που διαρρέει τα τυλίγματα, μ_0 η παγκόσμια μαγνητική διαπερατότητα και μ η μαγνητική διαπερατότητα του πυρήνα του πηνίου εκτροπής.

Επομένως οι δυνάμεις Laplace που ασκούνται σε κάθε ηλεκτρόνιο, ενώ αυτό κινείται μέσα στη μαγνητική ροή του πηνίου εκτροπής είναι:

$$F = qNI\mu_0\mu V$$

Δηλαδή, οι δυνάμεις Laplace είναι ανάλογες με την ένταση του ρεύματος που διαρρέει το πηνίο εκτροπής. Έτσι, όταν η ένταση του ρεύματος είναι μηδέν, η κωνική δέσμη ηλεκτρονίων δεν εκτρέπεται και η κορυφή της προσπίπτει στο κέντρο της επιφάνειας της φθορίζουσας ουσίας, οπότε και η φωτεινή κηλίδα εμφανίζεται στο κέντρο της οθόνης. Αν στα τυλίγματα του πηνίου εκτροπής αρχίσει να κυκλοφορεί ρεύμα που η έντασή του αυξάνει, θα αρχίσει να εκτρέπεται και η δέσμη ηλεκτρονίων από το κέντρο προς την περιφέρεια. Αυτό όμως που αντιλαμβάνεται ο παρατηρητής είναι η εκτροπή της κηλίδας από το κέντρο προς την περιφέρεια της οθόνης. Η ταχύτητα εκτροπής της κηλίδας είναι ανάλογη με την ταχύτητα που αυξάνει το ρεύμα, ενώ το μέγεθος της κάθε στιγμής εκτροπής είναι ανάλογο με την ένταση του ρεύματος την αντίστοιχη στιγμή.

Για κάθε τύπο καθοδικής λυχνίας ηλεκτρομαγνητικής εκτροπής και ανάλογα με τον τύπο του πηνίου εκτροπής που χρησιμοποιείται, απαιτείται μια ορισμένη μέγιστη ένταση ρεύματος «I_0», η οποία πραγματοποιεί μέγιστη εκτροπή της δέσμης ηλεκτρονίων, τέτοια ώστε η κηλίδα να εκτρέπεται στην περιφέρεια της οθόνης. Όταν η ένταση γίνει μεγαλύτερη από την «I_0», η δέσμη εκτρέπεται περισσότερο και η κορυφή της προσπίπτει στην επιφάνεια από γραφίτη της τελικής ανόδου. Όμως, τόσο μεγάλη εκτροπή της δέσμης δεν έχει πρακτική αξία, επειδή συνεπάγεται εξαφάνιση της φωτεινής κηλίδας.

Έτσι, αν η ένταση του ρεύματος αυξάνεται με σταθερή ταχύτητα από τη μηδενική μέχρι την παραπάνω μέγιστη τιμή «I_0» και με την ίδια σταθερή ταχύτητα ελαττώνεται από «I_0» σε «0», ο παρατηρητής θα διαπιστώνει ισοταχή εκτροπή της κηλίδας από το κέντρο μέχρι την περιφέρεια της οθόνης και ισοταχή επαναφορά της κηλίδας από την περιφέρεια στο κέντρο της οθόνης στο ίδιο ίχνος. Βέβαια, ακαριαία ελάττωση της εντάσεως του ρεύματος από «I_0» σε «0» συνεπάγεται και ακαριαία επαναφορά της κηλίδας από την περιφέρεια στο κέντρο της οθόνης.

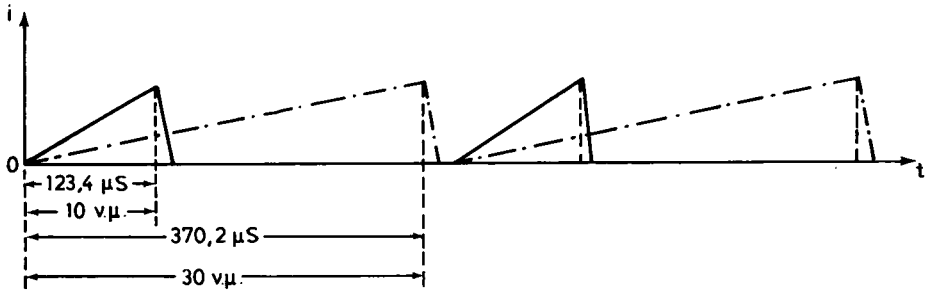
Εκτός από τον ενδείκτη ραντάρ PPI, η λειτουργία του οποίου θα αναπτυχθεί στην επόμενη παράγραφο, λυχνίες ηλεκτρομαγνητικής εκτροπής χρησιμοποιούνται και στους δέκτες τηλεοράσεως, όπου δυο πηνία εκτροπής εκτρέπουν τη δέσμη οριζόντια και κατακόρυφα.

6.3.5 Ακτινική βάση χρόνου. Ενδείκτης PPI.

Είπαμε ότι η αύξηση της εντάσεως του ρεύματος στα τυλίγματα σε συνάρτηση με το χρόνο (με σταθερή ταχύτητα: $di/dt = K$) συνεπάγεται ακτινική εκτροπή της κηλίδας με σταθερή ταχύτητα, από το κέντρο μέχρι την περιφέρεια της οθόνης, ενώ ακαριαίος μηδενισμός της εντάσεως του ρεύματος, συνεπάγεται ακαριαία επαναφορά της κηλίδας από την περιφέρεια στο κέντρο της οθόνης.

Αν η ένταση του ρεύματος αυξάνεται με σταθερή ταχύτητα από τη μηδενική τιμή, σε ορισμένο χρονικό διάστημα (ορισμένα μs) λαμβάνει τη μέγιστη «I_0» και αμέσως πέφτει ακαριαία στη μηδενική τιμή, τότε η φωτεινή κηλίδα, μέσα σ' αυτό το

ΔΡΥΜΑ ΣΥΓΧΡΟΝΟ 1954



Σχ. 6.3ια.
Παλμός πριονωτού ρεύματος για κλίμακες 10 ν.μ. και 30 ν.μ.

ορισμένο χρονικό διάστημα, θα πραγματοποιεί μια ισοταχή ακτινική διαδρομή μέχρι την περιφέρεια της οθόνης και αμέσως θα επιστρέφει ακαριαία στο κέντρο. Αν τέτοιες αυξήσεις και μηδενισμοί της εντάσεως του ρεύματος επαναλαμβάνονται με σταθερό ρυθμό και συμπληρώνεται σημαντικός αριθμός τέτοιων στη μονάδα του χρόνου, τότε ισάριθμες ισοταχείς ακτινικές διαδρομές από το κέντρο μέχρι την περιφέρεια της οθόνης και ακαριαίες επαναφορές στο κέντρο θα πραγματοποιεί η κηλίδα πάνω στο ίδιο ίχνος. Λόγω του φαινομένου της μεταπορφυρώσεως και της αδράνειας του οφθαλμού του, ο παρατηρητής αντιλαμβάνεται φωτεινή γραμμή στο ίχνος των διαδρομών της κηλίδας, η οποία καταλαμβάνει την ακτίνα της οθόνης όπου γίνονται οι διαδρομές. Η φωτεινή αυτή ακτίνα έχει κατεύθυνση κάθετη προς την κατεύθυνση των δυναμικών γραμμών του μαγνητικού πεδίου που δημιουργεί το πηνίο εκτροπής και ονομάζεται ***σάρωση.***

Με ειδικά ηλεκτρονικά κυκλώματα μπορούμε να ρυθμίζομε το χρόνο που απαιτείται για να αυξηθεί το ρεύμα του πηνίου εκτροπής με σταθερή ταχύτητα (γραμμική αύξηση), από τη μηδενική στη μέγιστη τιμή «I_0». Αν για παράδειγμα το ρεύμα λαμβάνει τη μέγιστη τιμή σε 12,34 μs, σ' αυτό το χρόνο θα συμπληρώνεται και κάθε διαδρομή της κηλίδας και η σάρωση θα αντιπροσωπεύει το χρόνο αυτό των 12,34 μs. Στο χρόνο αυτό των 12,34 μs, κάθε παλμός που εκπέμπεται από την κεραία της συσκευής ραντάρ φθάνει σε στόχο που βρίσκεται σε απόσταση ενός ναυτικού μιλίου και επιστρέφει στην κεραία η ηχώ από την ανάκλαση του παλμού στο στόχο αυτό. Έτσι, η σάρωση που προκύπτει από την ισοταχή εκτροπή της κηλίδας, από το κέντρο μέχρι την περιφέρεια της οθόνης σε 12,34 μs, αντιστοιχεί σε απόσταση ενός ναυτικού μιλίου.

Αν διαιρέσομε την ακτινική αυτή σάρωση σε δέκα ίσα τμήματα, προκύπτουν ισάριθμα χρονικά διαστήματα των 1,234 μs και κάθε ένα από αυτά αντιπροσωπεύει απόσταση 0,1 ν.μ. Έτσι και αυτή η ακτινική σάρωση ονομάζεται ***βάση χρόνου*** (time base) και αντιπροσωπεύει απόσταση.

Τα παραπάνω ηλεκτρονικά κυκλώματα μπορούν να εξασφαλίζουν οποιαδήποτε σταθερή ταχύτητα (γραμμική αύξηση) του ρεύματος τροφοδοτήσεως του πηνίου εκτροπής και επομένως και οποιαδήποτε διάρκεια βάσεως χρόνου. Η γραφική παράσταση του ρεύματος τροφοδοτήσεως του πηνίου εκτροπής, το οποίο αυξάνεται

όπως παραπάνω (γραμμικά σε συνάρτηση με το χρόνο) είναι πριονοειδής καμπύλη (σχ. 6.3ια) και γι' αυτό ονομάζεται ***πριονωτό ρεύμα*** (sawtooth current). Το κύκλωμα που παράγει το πριονωτό ρεύμα, με το οποίο τροφοδοτούνται τα τυλίγματα του πηνίου εκτροπής, ονομάζεται ***γεννήτρια βάσεως χρόνου*** (time base generator) ή ***γεννήτρια σαρώσεως*** (sweep generator). Η γεννήτρια αυτή συγχρονίζεται με ηλεκτρικό παλμό τάσεως από τον πομπό της συσκευής ραντάρ, ώστε, με την εκπομπή κάθε παλμού ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων, να αρχίζει η λειτουργία της και να παράγει ένα παλμό πριονωτού ρεύματος, με τον οποίο τροφοδοτείται το πηνίο εκτροπής. Έτσι, η έναρξη της εκτροπής της κηλίδας συμπίπτει με τη χρονική στιγμή που εκπέμπεται παλμός ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων, δηλαδή εξασφαλίζεται μια σάρωση για κάθε παλμό που εκπέμπεται (σχ. 6.3ιβ).

Αν παλμοί ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων εκπέμπονται κάθε 1000 μs, τη στιγμή της εκπομπής κάθε παλμού (κάθε 1000 μs) αρχίζει να κυκλοφορεί ένας παλμός πριονωτού ρεύματος στο πηνίο εκτροπής, οπότε αρχίζει και μια εκτροπή (σάρωση) της κηλίδας. Η ταχύτητα αυξήσεως του πριονωτού ρεύματος (κλίση της καμπύλης) (σχ. 6.3ιβ) και κατά συνέπεια η ταχύτητα εκτροπής της κηλίδας, ρυθμίζεται από τη γεννήτρια βάσεως χρόνου. Έστω ότι ο χρόνος σαρώσεως είναι 123,4 μs, μέσα στον οποίο μπορεί να επιστρέψει ηχώ από στόχους που βρίσκονται σε απόσταση μέχρι 10 ν.μ. και θα βρίσκονται στην κατεύθυνση ακτινοβολίας της κεραίας. Κάτω από τις προϋποθέσεις αυτές, τη στιγμή κατά την οποία επιστρέφει ηχώ από στόχο που βρίσκεται σε απόσταση 10 ν.μ., η κηλίδα θα ολοκληρώνει την ακτινική εκτροπή της και θα βρίσκεται στην περιφέρεια της οθόνης.

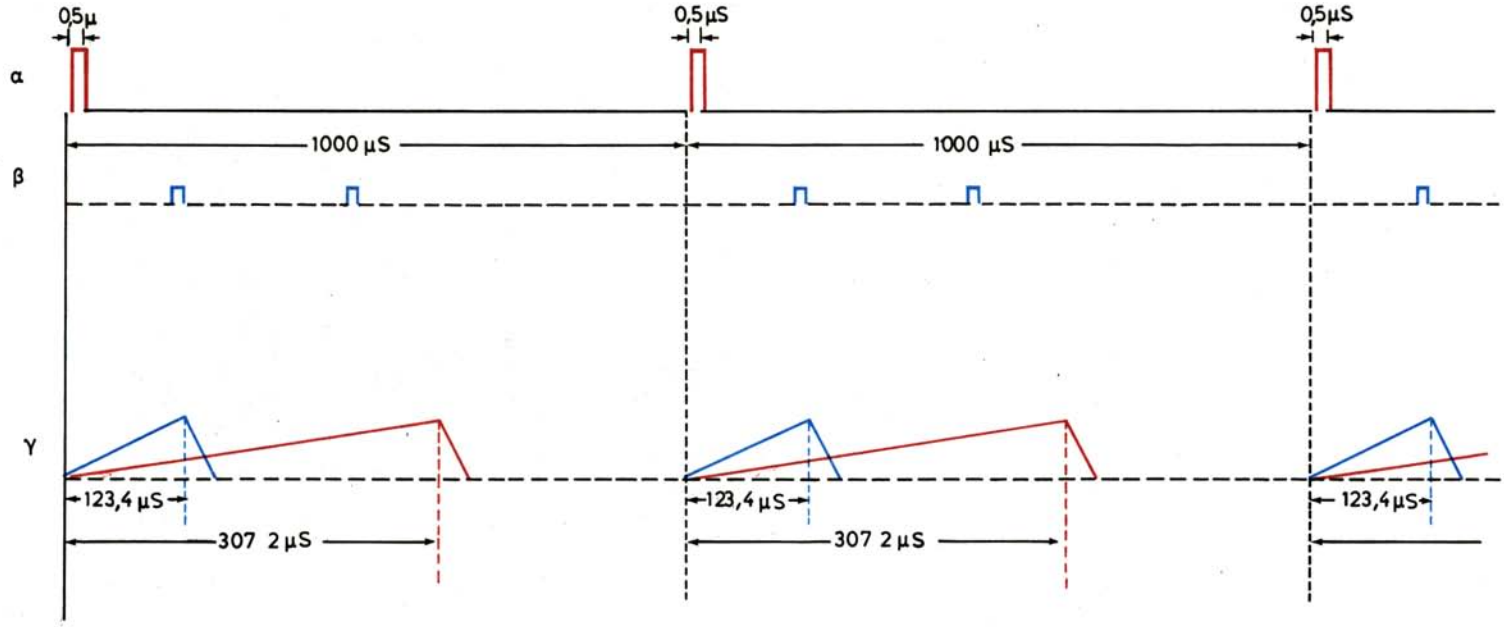
Η ηχώ αυτή λαμβάνεται από την κεραία και, αφού την επεξεργασθεί ο δέκτης, εφαρμόζεται στο πλέγμα της καθοδικής λυχνίας του PPI, ως θετικός παλμός τάσεως (στιγμιαία θετική τάση). Ο θετικός αυτός παλμός που προκύπτει από τη λήψη της ηχούς, προκαλεί στιγμιαία ελάττωση του αρνητικού δυναμικού του πλέγματος της καθοδικής λυχνίας και προκαλεί στιγμιαία αύξηση του αριθμού των ηλεκτρονίων που εξέρχονται από το πλέγμα και προσπίπτουν στη φθορίζουσα ουσία. Έτσι, τη στιγμή που επιστρέφει η παραπάνω ηχώ στο σημείο της επιφάνειας της φθορίζουσας ουσίας στην περιφέρεια της οθόνης, όπου τη στιγμή αυτή βρίσκεται η κορυφή της κωνικής δέσμης ηλεκτρονίων, προσπίπτει μεγαλύτερος αριθμός ηλεκτρονίων. Ο μεγαλύτερος αριθμός ηλεκτρονίων συνεπάγεται σημαντική στιγμιαία αύξηση της λαμπρότητας του σημείου αυτού στην περιφέρεια της οθόνης. Με τη στιγμιαία αυτή αύξηση της λαμπρότητας σημειώνεται ο στόχος ως φωτεινότερο σημείο της βάσεως χρόνου στο άκρο της. Τη στιγμή που θα επιστρέφει ηχώ από την ανάκλαση του επόμενου παλμού εκπομπής στον ίδιο στόχο, η κηλίδα θα ολοκληρώνει την αντίστοιχη ακτινική εκτροπή της και θα βρίσκεται στο ίδιο σημείο (άκρο) της βάσεως χρόνου. Έτσι, πάλι από το θετικό παλμό της ηχούς που θα εφαρμοσθεί στο πλέγμα της καθοδικής λυχνίας, το σημείο αυτό της βάσεως χρόνου θα γίνει φωτεινότερο. Επειδή αυτό θα επαναλαμβάνεται σε κάθε εκτροπή της κηλίδας, το σημείο αυτό (άκρο) της βάσεως χρόνου θα έχει εντονότερη φωτεινότητα από τα υπόλοιπα σημεία της. Με το λαμπρότερο αυτό σημείο σημειώνεται η ηχώ του στόχου που βρίσκεται σε απόσταση 10 ν.μ.

Κατά τον ίδιο τρόπο, η ηχώ στόχου που βρίσκεται σε απόσταση 5 ν.μ. εμφανίζεται ως φωτεινότερο σημείο στο μέσο της ακτινικής βάσεως χρόνου, ενώ η ηχώ στόχου σε απόσταση ενός ναυτικού μιλίου εμφανίζεται ως φωτεινότερο σημείο στο 1/10 της βάσεως χρόνου από το κέντρο της οθόνης. Βέβαια, ηχοί στόχων που βρίσκονται σε απόσταση μεγαλύτερη από 10 ν.μ. δεν εμφανίζονται, επειδή, τη στιγμή που επιστρέφουν, η κηλίδα έχει ολοκληρώσει τη διαδρομή της, έχει αμαυρωθεί και εξαφανισθεί.

Έτσι, όταν η κηλίδα εκτρέπεται με σταθερή ταχύτητα υπό κλίμακα ίση με το μισό της πραγματικής ταχύτητας διαδόσεως των ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων, η φωτεινή ακτίνα της βάσεως χρόνου αντιπροσωπεύει απόσταση. Μικρότερος ή μεγαλύτερος χρόνος εκτροπής της κηλίδας, επιτυγχάνεται με μικρότερη ή μεγαλύτερη διάρκεια του παλμού πριονωτού ρεύματος και εξασφαλίζεται αντίστοιχα μικρότερη ή μεγαλύτερη κλίμακα ανιχνεύσεως στον ενδείκτη PPI.

Όπως είπαμε, η κατεύθυνση εκτροπής της κηλίδας είναι κάθετη στην κατεύθυνση των δυναμικών γραμμών της μαγνητικής ροής που δημιουργεί το πηνίο εκτροπής. Επομένως, αν το πηνίο εκτροπής περιστρέφεται, με την ίδια ταχύτητα θα περιστρέφεται και η βάση χρόνου. Στις σύγχρονες συσκευές

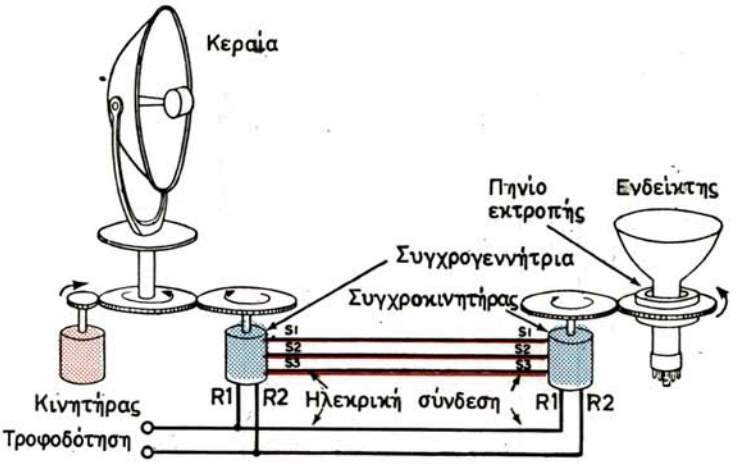
ΔΡΥΜΑ ΣΥΓΧΡΟΝΟ 1954



Σχ. 6.3ιβ.

α) Εκπεμπόμενοι παλμοί. β) Ηχοί από ανάκλαση κάθε παλμού σε αποστάσεις 9 ν.μ. και 23 ν.μ. γ) Πριονοειδείς παλμοί ρεύματος διάρκειας 123,4 μς και 307,2 μς για κλίμακες ανιχνεύσεως 10 ν.μ. και 30 ν.μ.

ΙΔΡΥΜΑ ΕΥΓΕΝΙΔΟΥ 1954



Σχ. 6.3ιγ.
Διάταξη σύγχρονης περιστροφής του πηνίου εκτροπής με την κεραία.

ραντάρ, το πηνίο εκτροπής περιστρέφεται με ***σύστημα σύγχρονης μεταδόσεως*** (synchro transmission) (σχ. 6.3ιγ), με την ίδια ταχύτητα που περιστρέφεται η κεραία της συσκευής και σε απόλυτο συγχρονισμό.

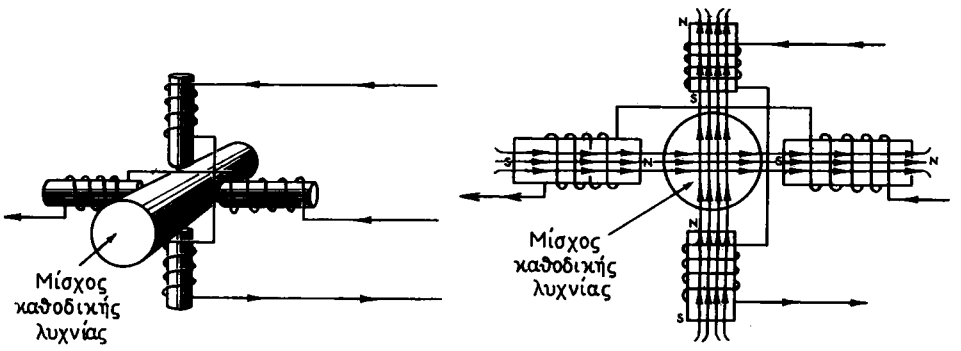
Εξωτερικά στην περιφέρεια της οθόνης της καθοδικής λυχνίας του PPI προσαρμόζεται δακτύλιος που φέρει κλίμακα ανεμολογίου. Η κατεύθυνση της ενδείξεως 0° του ανεμολογίου αντιπροσωπεύει την κατεύθυνση της πλώρης του πλοίου. Με την ισοταχή και σε απόλυτο συγχρονισμό περιστροφή της βάσεως χρόνου με την κεραία, επιτυγχάνεται ώστε η γωνία που σχηματίζει κάθε στιγμή η περιστρεφόμενη βάση χρόνου με την ένδειξη 0° του ανεμολογίου να είναι ακριβώς ίση με τη γωνία που σχηματίζει την ίδια στιγμή ο άξονας της δέσμης ακτινοβολίας της περιστρεφόμενης κεραίας με την κατεύθυνση της πλώρης του πλοίου.

Συνεπώς, στον ενδείκτη ραντάρ PPI, η φωτεινή κηλίδα, η οποία σημειώνει (καταγράφει) την ηχώ του καθενός από τους στόχους με τη μέθοδο ***διαμορφώσεως της λαμπρότητας*** (intensity modulation), πραγματοποιεί δυο κινήσεις:

α) Την ακτινική εκτροπή από το κέντρο προς την περιφέρεια της οθόνης. Αυτή αρχίζει τη στιγμή εκπομπής κάθε παλμού ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων και εξελίσσεται με σταθερή ταχύτητα, ίση με το μισό της πραγματικής ταχύτητας διαδόσεως των ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων και υπό κλίμακα. Η εκτροπή δηλαδή της κηλίδας από το κέντρο μέχρι την περιφέρεια της οθόνης ολοκληρώνεται σε χρόνο ίσο με το γινόμενο της κλίμακας ανιχνεύσεως που χρησιμοποιείται σε ναυτικά μίλια × 12,34 μs.

β) Την περιστροφική κίνηση, με γωνιακή ταχύτητα ίση με την ταχύτητα περιστροφής της κεραίας και σε απόλυτο συγχρονισμό.

Η παραπάνω ακτινική εκτροπή της κηλίδας εξασφαλίζει την εμφάνιση των ηχών των στόχων που ανιχνεύονται σε σωστή απόσταση υπό κλίμακα, ενώ η περιστροφική κίνηση εξασφαλίζει την εμφάνιση των ιδίων ηχών σε σωστή σχετική διόπτευση. Σε κάθε στροφή της κεραίας, η ηχώ από τον κάθε στόχο από όσες βρίσκονται στον ορίζοντα, αλλά σε αποστάσεις που καλύπτονται από την κλίμακα ανιχνεύσεως που χρησιμοποιείται κάθε φορά, εμφανίζεται στον ενδείκτη σε σωστή απόσταση και διόπτευση. Λόγω του φαινομένου της μεταπορφυρώσεως, τα τμήματα της επιφάνειας της οθόνης, τα οποία καλύπτονται από την εμφάνιση της ηχούς από τον κάθε στόχο με αύξηση της λαμπρότητας, διατηρούν τη φωτεινότητά τους μέχρι την επόμενη στροφή της κεραίας και της βάσεως χρόνου, οπό-



Σχ. 6.3ιδ.

τε, κατά τον ίδιο τρόπο, φωτίζονται πάλι. Έτσι, στην οθόνη προκύπτει εικόνα, η οποία μοιάζει με την εικόνα του ορίζοντα, που καλύπτει η κλίμακα που χρησιμοποιείται κάθε φορά (σχ. 6.3ιγ). Το κέντρο της εικόνας αυτής, το οποίο συμπίπτει με το κέντρο της οθόνης και του ανεμολογίου του ενδείκτη PPI, αντιπροσωπεύει την κεραία, δηλαδή το πλοίο στο οποίο λειτουργεί η συσκευή ραντάρ.

Σε ενδείκτες PPI που χρησιμοποιούν καθοδικές λυχνίες μεγάλης διαμέτρου, αντί του ενός περιστρεφόμενου πηνίου εκτροπής χρησιμοποιείται σύστημα σταθερών πηνίων (σχ. 6.3ιδ). Το σύστημα αυτό αποτελείται από δυο ζεύγη καθέτων μεταξύ τους σταθερών πηνίων που περιβάλλουν το μίσχο της καθοδικής λυχνίας. Τα πηνία κάθε ζεύγους που τοποθετούνται αντιδιαμετρικά, συνδέονται σε σειρά και τροφοδοτούνται με παλμούς πριονωτού ρεύματος, οι οποίοι παράγονται από δυο ξεχωριστές γεννήτριες βάσεως χρόνου.

Το οριζόντιο ζεύγος πηνίων προκαλεί κατακόρυφη εκτροπή της κηλίδας (0°-180° του ανεμολογίου) και το κατακόρυφο οριζόντια (90°-270° του ανεμολογίου). Έτσι, ανάλογα με το πλάτος και τη φορά των παλμών του πριονωτού ρεύματος που παρέχονται σε κάθε ζευγάρι πηνίων, προκύπτει ανάλογη συνισταμένη εκτροπής της κηλίδας. Η σύγχρονη μετάδοση, αντί να περιστρέφει το πηνίο εκτροπής, ελέγχει τη λειτουργία των δυο ξεχωριστών γεννητριών βάσεως χρόνου, ώστε οι παλμοί πριονωτού ρεύματος που παρέχουν, να μεταβάλλουν πλάτος και φορά, ανάλογα με τη γωνιακή ταχύτητα που περιστρέφεται η κεραία. Έτσι, από τη συνισταμένη εκτροπής της κηλίδας προκύπτει βάση χρόνου, η οποία περιστρέφεται ισοταχώς και σε απόλυτο συγχρονισμό με την κεραία, χωρίς να περιστρέφεται το πηνίο εκτροπής που έχει μεγάλη μάζα.

Ερωτήσεις Έκτου Κεφαλαίου.

1. Ποιοι είναι οι τύποι των καθοδικών λυχνιών που χρησιμοποιούνται, σε σχέση με την εστίαση της φωτεινής κηλίδας;
2. Ποιοι είναι οι τύποι καθοδικών λυχνιών που χρησιμοποιούνται, σε σχέση με την εκτροπή της φωτεινής κηλίδας;
3. Από ποια κύρια μέρη ή συστήματα αποτελείται η καθοδική λυχνία και ποια είναι η χρησιμότητα καθενός;
4. Από ποια ηλεκτρόδια ή εξαρτήματα αποτελείται το ηλεκτρονικό πυροβόλο σε κάθε τύπο καθοδικής λυχνίας και ποια είναι η χρησιμότητα καθενός;
5. Να αιτιολογήσετε πώς επιτυγχάνεται η ρύθμιση της λαμπρότητας της φωτεινής κηλίδας και από αυτή, η ρύθμιση της λαμπρότητας της εικόνας.

ΙΔΡΥΜΑ ΕΥΓΕΝΙΔΟΥ 1954

6. Σε τι διαφέρουν κατασκευαστικά οι καθοδικές λυχνίες ηλεκτροστατικής εστιάσεως και ηλεκτρομαγνητικής εστιάσεως και πώς μπορεί να ρυθμίζεται η εστίαση της φωτεινής κηλίδας σε κάθε τύπο λυχνίας;
7. Σε τι διαφέρουν κατασκευαστικά οι καθοδικές λυχνίες ηλεκτροστατικής και ηλεκτρομαγνητικής εκτροπής και ποιες δυνατότητες εκτροπής υπάρχουν σε κάθε τύπο λυχνίας;
8. Τι είναι το φαινόμενο της μεταπορφυρώσεως, σε ποιο τύπο λυχνίας παρατηρείται και τι εξασφαλίζεται με αυτό;
9. Πώς δημιουργείται η βάση χρόνου στον ενδείκτη ραντάρ τύπου «Α» και κάτω από ποιες προϋποθέσεις μπορεί αυτή να αντιπροσωπεύει απόσταση;
10. Σε ποιους ακροδέκτες της καθοδικής λυχνίας του ενδείκτη ραντάρ τύπου «Α» συνδέεται η έξοδος του δέκτη της συσκευής ραντάρ και πώς εμφανίζεται η ηχώ από τον κάθε στόχο από όσους ανιχνεύονται στον ενδείκτη αυτό;
11. Για ποιους λόγους δεν επικράτησε η χρησιμοποίηση του ενδείκτη τύπου «Α», αλλά επιβλήθηκε η χρησιμοποίηση του ενδείκτη PPI;
12. Για ποιους λόγους, ο πυρήνας του πηνίου εκτροπής δεν πρέπει να διατηρεί παραμένουσα μαγνήτηση;
13. Πώς δημιουργείται η βάση χρόνου στον ενδείκτη PPI και κάτω από ποιες προϋποθέσεις μπορεί αυτή να αντιπροσωπεύει απόσταση;
14. Σε ποιο ακροδέκτη της καθοδικής λυχνίας του ενδείκτη PPI συνδέεται η έξοδος του ενδείκτη της συσκευής ραντάρ και πώς εμφανίζεται στον ενδείκτη αυτό η ηχώ από τον κάθε ένα από τους στόχους που ανιχνεύονται;
15. Ποιες κινήσεις πραγματοποιεί η φωτεινή κηλίδα στην καθοδική λυχνία του ενδείκτη PPI, και κάτω από ποιες προϋποθέσεις, ώστε η ηχώ από τον καθένα από τους στόχους που ανιχνεύονται, να εμφανίζεται σε σωστή απόσταση και σε σωστή διόπτευση;
16. Τι γνωρίζετε για το πηνίο εκτροπής;
17. Σε ποιες περιπτώσεις και για ποιο λόγο χρησιμοποιούνται σταθερά πηνία εκτροπής; Πώς εξασφαλίζεται με αυτά η περιστροφή της βάσεως χρόνου ισοταχώς και σε απόλυτο συγχρονισμό με τον άξονα της δέσμης ακτινοβολίας της περιστρεφόμενης κεραίας;

ΔΡΥΜΑ ΣΥΓΓΡΑΦΕΩΝ 1954

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

ΜΕΡΟΣ ΠΡΩΤΟ

ΗΛΕΚΤΡΙΣΜΟΣ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΠΡΩΤΟ

Στατικός Ηλεκτρισμός

1.1 Γενικά 1
1.2 Δομή του ατόμου - Ιονισμός - Ηλεκτρικό φορτίο 1
1.3 Ελεύθερα ηλεκτρόνια. Αγωγοί και μονωτές 3
1.4 Νόμος του Coulomb 4
1.5 Ηλεκτρικό πεδίο - Δυναμικές γραμμές 5
1.6 Διαχωρισμός ηλεκτρικών φορτίων (Ηλέκτριση των σωμάτων) 8
1.7 Η έννοια του δυναμικού. Διαφορά δυναμικού ή τάση 9
1.8 Ηλεκτροσκόπιο 12
1.9 Ηλεκτρική ροή. Νόμος της ηλεκτρικής ροής 12
1.10 Επιφανειακή πυκνότητα φορτίου. Συσσώρευση φορτίων 13
1.11 Ηλεκτροστατική μελέτη φορτισμένου αγωγού 14
1.12 Ηλεκτρική εκκένωση. Αλεξικέραυνο 15
1.13 Χωρητικότητα αγωγού 17
1.14 Πυκνωτές 17
1.15 Επίπεδος πυκνωτής 19
1.16 Συνδεσμολογία πυκνωτών 20
1.17 Ενέργεια φορτισμένου πυκνωτή 22
1.18 Τύποι και κατασκευή πυκνωτών 22

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΔΕΥΤΕΡΟ

Ηλεκτρικό ρεύμα

2.1 Φορείς και φορά του ρεύματος 25
2.2 Ηλεκτρικές πηγές. Ηλεκτρικό κύκλωμα 25
2.3 Ένταση του ρεύματος 26
2.4 Μέτρηση τάσεων και εντάσεων 27
2.5 Νόμος του Ohm. Αντίσταση αγωγού 28
2.6 Τύποι και κατασκευή αντιστάσεων. Ποντεσιόμετρα 29
2.7 Συνδεσμολογία αντιστάσεων 32
2.8 Πτώση τάσεως 35
2.9 Ηλεκτρεγερτική δύναμη. Γενίκευση του νόμου Ohm 36
2.10 Ενέργεια και ισχύς του ηλεκτρικού ρεύματος 37

ΙΔΡΥΜΑ ΕΥΓΕΝΙΔΟΥ 1956

2.10.1 Ισχυς ηλεκτρικής πηγής 38
2.11 Φαινόμενο Joule 38
2.12 Εφαρμογές των θερμικών αποτελεσμάτων του ρεύματος 39
2.13 Αποδέκτες. Αντιηλεκτρεγερτική δύναμη (ΑΗΕΔ) αποδέκτη 43
2.14 Το σύνθετο κύκλωμα και η επίλυσή του 44
2.15 Γέφυρα Wheatstone. Γέφυρα με χορδή 49
2.16 Γενικά περί αμπερομέτρων και βολτομέτρων 50
2.17 Όργανα με πολλές περιοχές μετρήσεων 52

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΤΡΙΤΟ

Ηλεκτρομαγνητισμός

3.1 Προέλευση των μαγνητικών πεδίων. Πείραμα Oersted 55
3.2 Μορφές μαγνητικού πεδίου 56
3.3 Ηλεκτρομαγνήτες και εφαρμογές των ηλεκτρομαγνητών 59
3.4 Νόμος του Laplace 62
3.5 Εφαρμογές του νόμου Laplace 63
3.6 Τύποι και κατασκευή ηλεκτρικών οργάνων 64
3.7 Το μεγάφωνο κινητού πηνίου 67

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΤΕΤΑΡΤΟ

Ηλεκτρομαγνητική επαγωγή

4.1 Πρώτος νόμος της επαγωγής 69
4.2 Δεύτερος νόμος (γενικός) της επαγωγής 70
4.3 Τρίτος νόμος της επαγωγής ή κανόνας του Lenz 71
4.4 Τρόποι μεταβολής της μαγνητικής ροής και παραγωγής επαγωγικών ρευμάτων 72
4.5 Ρεύματα Foucault (Δινορρεύματα) 73
4.6 Αυτεπαγωγή 74
4.6.1 Υπολογισμός της αυτεπαγωγής ΗΕΔ 75
4.6.2 Αποτελέσματα της αυτεπαγωγής 76
4.6.3 Ενέργεια του μαγνητικού πεδίου 79
4.7 Αμοιβαία επαγωγή 79
4.8 Σύζευξη - Συντελεστής συζεύξεως 80
4.9 Συνδεσμολογία πηνίων αυτεπαγωγής 81

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΠΕΜΠΤΟ

Εναλλασσόμενα ρεύματα

5.1 Εναλλασσόμενο ρεύμα 84
5.2 Παραγωγή εναλλασσομένης τάσεως 86
5.3 Διαφορά φάσεως 91
5.4 Ενεργός ένταση. Ενεργός τάση και μέση τιμή 92
5.5 Διανυσματική παράσταση εναλλασσομένων μεγεθών 93
5.6 Κύκλωμα που περιλαμβάνει μόνο ωμική αντίσταση 94
5.7 Κύκλωμα που περιλαμβάνει μόνο αυτεπαγωγή 95
5.8 Κύκλωμα που περιλαμβάνει μόνο χωρητικότητα 97
5.9 Κύκλωμα που περιλαμβάνει ωμική αντίσταση, αυτεπαγωγή και χωρητικότητα σε σειρά 99
5.10 Συντονισμός σειράς 103
5.11 Χαρακτηριστικά συντονισμού σειράς. Καμπύλες συντονισμού 106

ΔΡΥΜΑ ΣΥΓΧΡΟΝΟ 1954

5.12 Κύκλωμα που περιλαμβάνει αντίσταση και αυτεπαγωγή σε παράλληλη σύνδεση 109
5.13 Κύκλωμα που περιλαμβάνει αντίσταση και χωρητικότητα σε παράλληλη σύνδεση 110
5.14 Κύκλωμα που περιλαμβάνει αυτεπαγωγή και χωρητικότητα σε παράλληλη σύνδεση (Κύκλωμα Thomson) 111

ΜΕΡΟΣ ΔΕΥΤΕΡΟ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΠΡΩΤΟ

Τα ηλεκτρομαγνητικά κύματα

1.1 Γενικά 1
1.2 Εκπομπή ηλεκτρομαγνητικού κύματος 1
1.3 Χαρακτηριστικά ηλεκτρομαγνητικού κύματος 8
1.4 Διάδοση ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων 12
1.4.1 Διάδοση με κύματα εδάφους 12
1.4.2 Διάδοση με ιονοσφαιρικά κύματα 12
1.4.3 Διάδοση με κύματα χώρου 16
1.4.4 Διάδοση δέσμης ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων 18
1.4.5 Πρόγνωση συνθηκών ανώμαλης διαθλάσεως 22
1.4.6 Ορίζοντας ραντάρ — Απόσταση εντοπισμού στόχων 23
1.4.7 Άλλες ιδιότητες των ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων 26
1.4.8 Εξασθένιση του κύματος 28
1.5 Η εξίσωση ραντάρ 30
Ερώτήσεις 34

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΔΕΥΤΕΡΟ

Ηλεκτρονικές λυχνίες

2.1 Γενικά 35
2.2 Μέθοδοι εκλύσεως ηλεκτρονίων 35
2.3 Κίνηση ηλεκτρονίων μέσα σε ομοιογενές ηλεκτρικό πεδίο 39
2.4 Κίνηση ηλεκτρονίων μέσα σε ομοιογενές μαγνητικό πεδίο 42
2.5 Η δίοδος λυχνία 45
2.6 Μέθοδοι τροφοδοτήσεως των νημάτων θερμάνσεως 47
2.7 Η χαρακτηριστική της διόδου 49
2.8 Η εσωτερική αντίσταση της διόδου 50
2.9 Η ανορθωτική ενέργεια της διόδου 51
2.10 Η τρίοδος λυχνία 54
2.11 Η χαρακτηριστική ανόδου της τριόδου 56
2.12 Η χαρακτηριστική πλέγματος της τριόδου 57
2.13 Η εσωτερική αντίσταση της τριόδου 58
2.14 Η διαγωγιμότητα της τριόδου 60
2.15 Ο συντελεστής ενισχύσεως της τριόδου 61
2.16 Η γραμμή φόρτου 62
2.17 Ενίσχυση 63
2.18 Η ενδοχωρητικότητα μεταξύ των ηλεκτρονίων 64
2.19 Η τέτροδος λυχνία 65
2.20 Η χαρακτηριστική ανόδου της τετρόδου 67
2.21 Η πέντοδος λυχνία 69
Ερωτήσεις 71

ΙΔΡΥΜΑ ΣΥΓΓΡΟΥ 1954

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΤΡΙΤΟ

Κρυσταλλολυχνίες – Τρανζίστορς

3.1 Γενικά 73
3.2 Οι ημιαγωγοί 73
3.3 Τα κρύσταλλα γερμανίου και πυριτίου 74
3.4 Ημιαγωγοί με πρόσμιξη 76
3.5 Κρύσταλλο τύπου N 77
3.6 Κρύσταλλο τύπου P 79
3.7 Επαφή P-N. Δυναμικό φραγμού 81
3.8 Προωστική ή ορθή πόλωση 82
3.9 Αντίστροφη πόλωση 84
3.10 Η κρυσταλλοδίοδος και η χαρακτηριστική της 85
3.11 Ανόρθωση με κρυσταλλοδίοδο 89
3.12 Το τρανζίστορ 91
3.13 Το τρανζίστορ τύπου NPN 92
3.14 Το τρανζίστορ τύπου PNP 95
3.15 Βασικές συνδεσμολογίες των τρανζίστορς 97
3.16 Οι χαρακτηριστικές του τρανζίστορ και η γραμμή φόρτου 98
3.17 Παροχή και σταθεροποίηση της πολώσεως βάσεως-εκπομπού 102
3.18 Ενίσχυση με τρανζίστορ 106
Ερωτήσεις 108

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΤΕΤΑΡΤΟ

Αρχές τηλεπικοινωνιών

4.1 Κεραίες 110
4.2 Η κεραία Marconi 112
4.3 Κεραίες κατευθυνόμενης ακτινοβολίας 116
4.4 Μετάδοση πληροφοριών με ηλεκτρομαγνητικά κύματα 125
4.5 Πομποί 132
4.5.1 Πομποί σημάτων με διαμόρφωση πλάτους 133
4.5.2 Πομποί μονοπλευρικής εκπομπής 139
4.5.3 Πομποί FM 140
4.6 Δέκτες 141
4.6.1 Δέκτης σημάτων AM 143
4.6.2 Δέκτης σημάτων SSB 148
4.6.3 Δέκτης σημάτων FM 150
Ερωτήσεις 152

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΠΕΜΠΤΟ

Ναυτικές δορυφορικές τηλεπικοινωνίες

5.1 Γενικά 154
5.2 Η συγκρότηση του συστήματος INMARSAT 157
5.3 Οι παράκτιοι σταθμοί ξηράς 160
5.3.1 Οι σταθμοί συντονισμού δικτύων 164
5.4 Ο τομέας του διαστήματος 164
5.5 Οι επίγειοι σταθμοί πλοίων 174
5.6 Δυνατότητες, περιορισμοί και εξέλιξη του συστήματος INMARSAT 178
Ερωτήσεις 181

ΔΡΥΜΑ ΣΥΓΓΡΑΦΕΩΝ 1954

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΕΚΤΟ

Καθοδικές λυχνίες

6.1 Γενικά 183
6.2 Το ηλεκτρονικό πυροβόλο 184
6.2.1 Η εστίαση της φωτεινής κηλίδας 186
6.3 Η εκτροπή της φωτεινής κηλίδας 190
6.3.1 Η λυχνία ηλεκτροστατικής εκτροπής 190
6.3.2 Βάση χρόνου – Ενδείκτης τύπου Α 192
6.3.3 Άλλες εφαρμογές της ηλεκτροστατικής εκτροπής 196
6.3.4 Η λυχνία ηλεκτρομαγνητικής εκτροπής 198
6.3.5 Ακτινική βάση χρόνου. Ενδείκτης PPI 200
Ερωτήσεις 205

ΔΡΥΜΑ ΣΥΓΓΡΑΦΕΩΝ 1954

COPYRIGHT ΙΔΡΥΜΑΤΟΣ ΕΥΓΕΝΙΔΟΥ