



ΒΙΒΛΙΟΘΗΚΗ ΤΟΥ ΝΑΥΤΙΚΟΥ
ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΑ

ΙΔΡΥΜΑ ΕΥΓΕΝΙΔΟΥ
ΧΡΥΣΟΥΝ ΜΕΤΑΛΛΙΟΝ ΑΚΑΔΗΜΙΑΣ ΑΘΗΝΩΝ



ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟΝ ΚΕΙΜΕΝΟΝ
ΔΗΜΟΣΙΩΝ ΣΧΟΛΩΝ
ΥΠΟΥΡΓΕΙΟΥ ΕΜΠΟΡΙΚΗΣ ΝΑΥΤΙΛΙΑΣ

ΕΚΔΟΣΕΙΣ ΙΔΡΥΜΑΤΟΣ ΕΥΓΕΝΙΔΟΥ
ΒΙΒΛΙΟΘΗΚΗ ΤΟΥ ΝΑΥΤΙΚΟΥ
(Διὰ Μηχανικούς)

Μαθηματικά

Πυρηνική Φυσική

Ἑλληνικά

Τεχνική Μηχανική

Θερμοδυναμική

Μεταλλογνωσία - Μεταλλοτεχνία

Λέβητες

Ἐπιμηχαναὶ (Παλινδρο. - Στρόβιλοι)

M.E.K.

Ἡλεκτροτεχνία

Μηχανήματα σκάφους

Ψυκτικαὶ ἐγκαταστάσεις

Στοιχεῖα Ναυπηγίας

Καύσιμα - Λιπαντικά

Τηλεκίνησις - Αὐτοματισμὸς συγχρόνων πλοίων

Ἡλεκτρονικά

Μηχανουργικὴ Τεχνολογία

Σχέδιον

Γενικαὶ ἐπαγγελματικαὶ γνώσεις

Τεχνικὴ ὀρολογία πλοίου

Ὁ Εὐγένιος Εὐγενίδης. ἰδρυτὴς καὶ χορηγὸς τοῦ « Ἰδρυματος Εὐγενίδου » προεῖδεν ἐνωρίτατα καὶ ἐσχημάτισεν τὴν βαθεῖαν πεποίθησιν ὅτι ἀναγκαῖον παράγοντα διὰ τὴν πρόοδον τοῦ ἔθνους θὰ ἀπετέλει ἡ ἀρτία κατάρτισις τῶν τεχνικῶν μας ἐν συνδυασμῷ πρὸς τὴν ἠθικὴν ἀγωγὴν αὐτῶν.

Τὴν πεποίθησίν του αὐτὴν τὴν μετέτρεψεν εἰς γενναϊόφρονα πρᾶξιν εὐεργεσίας, ὅταν ἐκληροδότησε σεβαστὸν ποσὸν διὰ τὴν σύστασιν Ἰδρυματος ποῦ θὰ εἶχε σκοπὸν νὰ συμβάλῃ εἰς τὴν τεχνικὴν ἐκπαίδευσιν τῶν νέων τῆς Ἑλλάδος.

Διὰ τοῦ Β. Διατάγματος τῆς 10ης Φεβρουαρίου 1956, συνεστήθη τὸ Ἰδρυμα Εὐγενίδου καὶ κατὰ τὴν ἐπιθυμίαν τοῦ διαθέτου ἐτέθη ὑπὸ τὴν διοίκησιν τῆς ἀδελφῆς του Κυρίας Μαρ. Σίμου. Ἀπὸ τὴν στιγμὴν ἐκείνην ἤρχισαν πραγματοποιούμενοι οἱ σκοποὶ ποῦ ὠραματίσθη ὁ Εὐγένιος Εὐγενίδης καὶ συγχρόνως ἡ πλήρωσις μιᾶς ἀπὸ τὰς βασιικωτέρας ἀνάγκας τοῦ ἔθνικοῦ μας βίου.



Κατὰ τὴν κλιμάκωσιν τῶν σκοπῶν του, τὸ Ἰδρυμα προέταξε τὴν ἔκδοσιν τεχνικῶν βιβλίων τόσον διὰ λόγους θεωρητικὸς ὅσον καὶ πρακτικὸς. Ἐκρίθη, πράγματι, ὅτι ἀπετέλει πρωταρχικὴν ἀνάγκην ὁ ἐφοδιασμὸς τῶν μαθητῶν μὲ σειρὰς βιβλίων, αἱ ὁποῖαι θὰ ἔθετον ὀρθὰ θεμέλια εἰς τὴν παιδείαν των καὶ αἱ ὁποῖαι θὰ ἀπετέλουν συγχρόνως πολύτιμον βιβλιοθήκην διὰ κάθε τεχνικόν.

Εἰδικώτερον, ὅσον ἀφορᾷ εἰς τὰ ἐκπαιδευτικὰ βιβλία τῶν μαθητῶν τῶν Δημοσίων Σχολῶν Ἐμπορικοῦ Ναυτικοῦ, τὸ Ἰδρυμα ἀνέλαβε τὴν ἔκδοσίν των ἐν πλήρει καὶ στενῇ συνεργασίᾳ μετὰ τῆς Διεύθυνσεως Ναυτικῆς Ἐκπαιδύσεως τοῦ Ὑπουργείου Ἐμπορικῆς Ναυιλίας, ὑπὸ τὴν ἐποπτείαν τοῦ ὁποῖου ὑπάγονται αἱ Σχολαὶ αὗται.

Ἡ ἐπιλογή τῶν βιβλίων ἔγινε διὰ τῆς ἐπιτροπῆς ἑταίρου τοῦ Ἰδρυματος ἐγένετο δυνάμει τῆς ὑπ' ἀριθ. 61288/031, 9ης Αὐγούστου 1966, ἀποφάσεως τοῦ Ὑπουργοῦ Ἐμπορικῆς Ναυιλίας δι' ἧς συνεκροτήθη καὶ ἡ Ἐπιτροπὴ Ἐκδόσεων.

Κύριος σκοπὸς τῶν ἐκδόσεων αὐτῶν εἶναι ἡ παροχὴ πρὸς τοὺς μαθητὰς τῶν ναυτικῶν σχολῶν τῶν ἀναγκαίων ἐκπαιδευτικῶν κειμένων, τὰ ὁποῖα ἀντιστοιχοῦν πρὸς τὰ ἐν ταῖς Σχολαῖς διδασκόμενα μαθήματα.

Ἐν τούτοις ἐλήφθη πρόνοια, ὥστε τὰ βιβλία νὰ εἶναι γενικώτερον χρήσιμα δι' ὅλους τοὺς ἀξιωματικοὺς τοῦ Ἐμπορικοῦ Ναυτικοῦ, τοὺς ἀσκούντας ἤδη τὸ ἐπάγγελμα καὶ ἐξειλισσομένους εἰς τὴν ἱεραρχίαν τοῦ κλάδου των.

* * *

Οἱ συγγραφεῖς καὶ ἡ Ἐπιτροπὴ Ἐκδόσεων τοῦ Ἰδρύματος: κατέβαλον κάθε προσπάθειαν ὥστε τὰ βιβλία νὰ εἶναι ἐπιστημονικῶς ἄρτια ἀλλὰ καὶ προσηρμοσμένα εἰς τὰς ἀνάγκας καὶ τὰς δυνατότητας τῶν μαθητῶν. Δι' αὐτὸ καὶ τὰ βιβλία αὐτὰ ἔχουν γραφῆ εἰς ἀπλὴν γλῶσσαν καὶ ἀνάλογον πρὸς τὴν στάθμην τῆς ἐκπαιδύσεως δι' ἣν προορίζεται ἐκάστη σειρὰ τῶν βιβλίων. Ἡ τιμὴ τῶν βιβλίων ὠρίσθη τόσον χαμηλὴ, ὥστε νὰ εἶναι προσιτὰ καὶ εἰς τοὺς πλέον ἀπόρους μαθητὰς.

Οὕτω προσφέρονται εἰς τὸ εὐρὸν κοινὸν τῶν καθηγητῶν, τῶν μαθητῶν τῆς ναυτικῆς μας ἐκπαιδύσεως καὶ ὅλους τοὺς ἀξιωματικοὺς τοῦ Ε.Ν. αἱ ἐκδόσεις τοῦ Ἰδρύματος, τῶν ὁποίων ἡ συμβολὴ εἰς τὴν πραγματοποιήσιν τοῦ σκοποῦ τοῦ Εὐγενίου Εὐγενίδου ἐλπίζεται νὰ εἶναι μεγάλη.

ΕΠΙΤΡΟΠΗ ΕΚΔΟΣΕΩΝ ΙΔΡΥΜΑΤΟΣ ΕΥΓΕΝΙΔΟΥ

Ἀλέξανδρος Ι. Παπᾶς, Ὁμ. Καθηγητῆς Ε.Μ.Π., Πρόεδρος
Χρυσόστομος Φ. Καβουνίδης, Διπλ.-Μηχ.-Ἡλ., Διοικητῆς Ο.Τ.Ε., Ἀντιπρόεδρος
Μιχαὴλ Γ. Ἀγγελόπουλος, Τακτικὸς Καθηγητῆς Ε.Μ.Π., Διοικητῆς Δ.Ε.Η
Ἑλλάδιος Σίδερης, Ὑποναύαρχος Μηχ. (ἐ.ἀ.).
Θεόδωρος Πουλάκης, Πλοίαρχος Λ.Σ., Διευθ. Ναυτ. Ἐκπ. Υ.Ε.Ν.
Κωνστ. Α. Μανάφης, Μον. Ἐπικ. Καθηγητῆς Πανεπιστημίου Ἀθηνῶν Σύμβουλος
ἐπὶ τῶν ἐκδόσεων τοῦ Ἰδρύματος
Δημοσθένης Π. Μεγαρίτης, Γραμματεὺς τῆς Ἐπιτροπῆς

Ι Δ Ρ Υ Μ Α Ε Υ Γ Ε Ν Ι Δ Ο Υ
Β Ι Β Λ Ι Ο Θ Η Κ Η Τ Ο Υ Ν Α Υ Τ Ι Κ Ο Υ

ΓΕΩΡΓΙΟΥ Β. ΖΟΡΜΠΑ
ΠΛΟΙΑΡΧΟΥ (Μ) Π. Ν.
Διπλωμ. Ήλεκτρολόγου - Μηχανικού

ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΑ

ΑΘΗΝΑΙ
1977



Π Ρ Ο Λ Ο Γ Ο Σ

Τὸ βιβλίο αὐτὸ γράφτηκε γιὰ τοὺς μαθητὲς τῶν Σχολῶν Ἐμπορικῶν Ναυτικῶν σύμφωνα μὲ τὸν Κανονισμό Ἐκπαιδεύσεως τοῦ Ὑπουργείου Ἐμπορικῆς Ναυτιλίας καὶ ἔχει σὰν σκοπὸ νὰ τοὺς ἐξοικειώσῃ στὶς γενικὲς ἀρχὲς τῶν Ἡλεκτρονικῶν.

Στὸ πρῶτο κεφάλαιο ἀναπτύχθηκαν συνοπτικὰ οἱ ἠλεκτρονικὲς λυχνίες κενοῦ, παρ' ὄλο πού σήμερα πολὺ σπάνια χρησιμοποιοῦνται. Ὁ λόγος εἶναι ὅτι ὁ Κανονισμὸς ἀποσκοπεῖ στὸ νὰ βοηθήσῃ τὸ μαθητὴ νὰ μπεῖ εὐκολότερα στὶς ἔννοιες τῶν ἠλεκτρονικῶν. Πραγματικὰ εὐκολότερα καταλαβαίνει κανεὶς, τί σημαίνει κρυσταλλολυχνία, πού σήμερα ἀποτελεῖ τὴ βάση τῶν ἠλεκτρονικῶν, ὅταν προηγουμένως ἔχει μάθει μερικὰ πράγματα γιὰ τὶς ἠλεκτρονικὲς λυχνίες. Ἔτσι οἱ κρυσταλλολυχνίες ἐξετάζονται στὸ δεύτερο Κεφάλαιο.

Τὰ ὑπόλοιπα Κεφάλαια περιέχουν μὲ λογικὴ σειρὰ ἀναπτύξεως τὰ διάφορα στάδια, πού ἀπαιτοῦνται γιὰ νὰ ἀντιληφθεῖ κανεὶς, πῶς λειτουργεῖ ἕνας στοιχειώδης πομπὸς καὶ μετὰ ἕνας στοιχειώδης δέκτης. Σὲ ὀρισμένα σημεία καὶ αὐτῶν τῶν κεφαλαίων γίνεται λόγος γιὰ ἠλεκτρονικὲς λυχνίες ἀντὶ γιὰ κρυσταλλολυχνίες, ἀλλὰ αὐτὸ ἐπιβάλλεται καὶ πάλι γιὰ τὴν εὐκολότερη κατανόηση.

Σήμερα ἡ γενικὴ τάση κατὰ τὴν κατασκευὴ τῶν πλοίων εἶναι ἡ τηλεκίνηση καὶ ὁ αὐτοματισμὸς γιὰ νὰ περιορισθεῖ ὁ ἀριθμὸς τῶν ἀνδρῶν τοῦ πληρώματος ὅσο τὸ δυνατόν περισσότερο. Γι' αὐτό, στὸ τέλος τοῦ βιβλίου, ἔχουν ἀναπτυχθεῖ ὀρισμένες γενικὲς ἀρχὲς τῶν αὐτοματισμῶν. Ἐπειδὴ ὅμως πολλὲς φορὲς οἱ αὐτοματισμοὶ αὐτοὶ ἀντὶ νὰ ἐλέγχονται ἀπὸ ἀνδρες τοῦ πληρώματος, ὑπάρχει ἕνας ἠλεκτρονικὸς ὑπολογιστὴς πού «παρακολουθεῖ» τὴν ὁμαλὴ λειτουργία τους, κρίθηκε σκόπιμο νὰ γραφοῦν ὀρισμένες ἀρχὲς λειτουργίας λογικῶν κυκλωμάτων, πού εἶναι τὰ βασικὰ στοιχεῖα κατασκευῆς τῶν ἠλεκτρονικῶν ὑπολογιστῶν ἢ ἠλεκτρονικῶν ἐγκεφάλων.

Ὁφείλω νὰ εὐχαριστήσω θερμὰ τοὺς κ.κ. Γεώργιον Ὁδ. Βουδούρη καὶ Ἀέτιο Χρ. Τζιφάκη, στὰ βιβλία τῶν ὁποίων, Ραδιοτεχνία Α', Β' καὶ Τηλεκίνηση-Αὐτοματισμὸς, ἐκδόσεως Ἰδρύματος Εὐγενίδου, ἔχει βασιστεῖ κατὰ κύριο λόγο ἡ σύνταξη τοῦ παρόντος βιβλίου.

Θὰ ἤθελα ἐπίσης νὰ εὐχαριστήσω θερμὰ τὰ μέλη τῆς ἐπιτροπῆς ἐκδόσεων γιὰ τὴν τιμὴ νὰ μοῦ ἀναθέσουν τὴ συγγραφὴ τοῦ βιβλίου καθὼς καὶ γιὰ τὶς χρήσιμες ὑποδείξεις καὶ διορθώσεις τοῦ κειμένου.

Εὐχαριστῶ ἐπίσης καὶ τὸ προσωπικὸ τοῦ τμήματος ἐκδόσεων γιὰ τὴν οὐσιώδη συμβολὴ τους στὴν ἀριότερη συγγραφὴ καὶ ἐμφάνιση τοῦ βιβλίου αὐτοῦ.

Ἐλπίζω ὅτι τὸ κείμενο θὰ ἀνταποκριθεῖ στὶς ἀνάγκες τῶν μαθητῶν τῶν Σχολῶν τοῦ Υ.Ε.Ν. Κάθε παρατήρηση ἀπὸ τοὺς συναδέλφους πού θὰ διδάξουν τὸ βιβλίο, θὰ εἶναι πολὺτιμὴ γιὰ τὴν τυχὸν συμπλήρωσή του.

Ὁ Συγγραφέας



ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

ΚΕΦ. 1 Ήλεκτρονικές λυχνίες

Παράγρ.		Σελίς
1 - 1	Άρχές ηλεκτρονικῶν λυχνιῶν	1
	1) Τί είναι λυχνία	1
	2) Ἡ κάθοδος. Θερμική ἐκπομπή ηλεκτρονίων	3
	3) Ἐκπομπή ηλεκτρονίων	4
	4) Χαρακτηριστικά κατασκευῆς	6
1 - 2	Ἡ δίοδος λυχνία	8
	1) Περιγραφή - λειτουργία. Χαρακτηριστική καμπύλη	8
	2) Χρησιμοποίηση, ἔσωτερική ἀντίσταση καὶ ἰσχύς διόδου λυχνίας	8
	3) Χαρακτηριστική καμπύλη	10
	4) Τύποι διόδων	13
	5) Χρησιμοποίηση	13
1 - 3	Ἡ τρίοδος λυχνία	14
	1) Περιγραφή λειτουργίας.....	14
	2) Ρυθμιστική ἰκανότητα ἐσχάρας	14
	3) Χαρακτηριστική καμπύλη ἀνόδου	15
	4) Ἐσωτερική ἀντίσταση (ρ)	17
	5) Χαρακτηριστική καμπύλη ἐσχάρας	17
	6) Συντελεστής ἐνισχύσεως (μ)	18
	7) Διαγωγιμότητα ἢ κλίση (g)	19
	8) Παραμόρφωση	20
	9) Χωρητικότητα μεταξύ ηλεκτροδίων	22
1 - 4	Τετραοδικές λυχνίες	23
1 - 5	Πενταοδικές λυχνίες	27
1 - 6	Λυχνίες μεταβλητοῦ μ	29
1 - 7	Πολλαπλές λυχνίες	30
1 - 8	Λυχνίες ἀέριου	32
	Λυχνίες ψυχρῆς καθόδου	34
1 - 9	Μέθοδοι πολώσεως	34
	1) Πόλωση καθόδου	36
	2) Πόλωση διαρροῆς ἐσχάρας	36
1 - 10	Ἐρωτήσεις	39

ΚΕΦ. 2 Κρυσταλλολυχνίες (τρανζίστορς)

2 - 1	Εἰσαγωγή	41
-------	----------------	----

2 - 2	Ήμιαγωγοί	41
2 - 3	Ή κρυσταλλική δομή (γερμάνιο και πυρίτιο)	42
2 - 4	Ήλεύθερα ηλεκτρόνια και όπές	44
2 - 5	Ήμιαγωγοί προσμίξεως (τύπου η και τύπου ρ)	46
2 - 6	Ήπαφή ή συνένωση	48
2 - 7	Κρυσταλλοδιόδος έπαφής	50
2 - 8	Χαρακτηριστική κρυσταλλοδιόδων	51
2 - 9	*Άλλα είδη κρυσταλλοδιόδων	52
2 - 10	Ξηροί άνορθωτές	53
2 - 11	Κρυσταλλοτρίοδος έπαφής (τρανζίστορ)	54
2 - 12	Χαρακτηριστικές καμπύλες	59
2 - 13	*Άλλα είδη κρυσταλλοτρίοδων	60
2 - 14	Οί τρεις βασικές συνδεσμολογίες	61
2 - 15	Διατάξεις πολώσεως	62
2 - 16	Ήρωτήσεις	64

Κ Ε Φ. 3 Τροφοδότηση, άνορθωτικές διατάξεις, φίλτρα

3 - 1	Μετασχηματιστές (σέ συντομία)	65
	1) Λειτουργία	65
	2) Σχέση μεταφοράς	67
	3) Ήσχύς του μετασχηματιστή	68
3 - 2	Ήνορθωτικές διατάξεις	69
3 - 3	Φίλτρα	75
3 - 4	Σταθεροποίηση τάσεως	77
3 - 5	Πολλαπλασιαστές τάσεως	79
3 - 6	Ήρωτήσεις	80

Κ Ε Φ. 4 Ήνίσχυση

4 - 1	Είσαγωγή	81
4 - 2	Ήπίδραση του άνοδικού φορτίου - Εύθεια φορτίου	83
4 - 3	Ήνίσχυση	85
4 - 4	Λειτουργία ένισχυτή	87
4 - 5	Είδη ένισχυτών	94
4 - 6	Ή μονάδα συγκριτικής μετρήσεως ντεσιμπέλ (db)	97
4 - 7	Παραμορφώσεις	100
4 - 8	Ήρνητική ανάδραση	105
4 - 9	Συμμετρικός ένισχυτής Ήσχύος (Push - Pull)	108
4 - 10	Ήνίσχυση ύψηλών συχνοτήτων	111
4 - 11	Ήρωτήσεις	114

ΚΕΦ. 5 Ταλαντωτές

5-1	Εισαγωγή.....	116
5-2	Συχνότητα και μήκος κύματος.....	116
5-3	Άρμονική ανάλυση.....	117
5-4	Το φαινόμενο του συντονισμού.....	120
5-5	Ήλεκτρικός συντονισμός.....	121
5-6	Συντονισμός σε σειρά.....	123
5-7	Παράλληλος συντονισμός.....	126
5-8	Άρχες παραγωγής ταλαντώσεων Υ.Σ.....	128
5-9	Έρωτήσεις.....	131

ΚΕΦ. 6 Πομποί

6-1	Εισαγωγή.....	132
6-2	Μετατροπή του ήχου σε ηλεκτρικό ρεύμα.....	133
6-3	Βασική λειτουργία του πομπού.....	136
6-4	Διαμόρφωση πλάτους.....	143
6-5	Διαμόρφωση συχνότητας.....	145
6-6	Έρωτήσεις.....	146

ΚΕΦ. 7 Φώραση

7-1	Εισαγωγή.....	148
7-2	Πλήρης φώραση.....	149
7-3	Κρυσταλλικοί φωρατές.....	151
7-4	Φώραση από την έσχάρα.....	152
7-5	Φώραση από την άνοδο.....	154
7-6	Φώραση για διαμόρφωση συχνότητας.....	155
7-7	Έρωτήσεις.....	157

ΚΕΦ. 8 Δέκτες

8-1	Εισαγωγή.....	158
8-2	Βασική λειτουργία του δέκτη.....	158
8-3	Έπιλογή και πιστότητα του δέκτη.....	161
8-4	Στοιχειώδης δέκτης με κρύσταλλο.....	162
8-5	Άπλος δέκτης με λυχνίες.....	163
8-6	Άλλαγή συχνότητας (ή ετεροδύναση).....	165
8-7	Συμβολή και διακροτήματα.....	165
8-8	Άλλαγή συχνότητας με δίοδο στοιχείο (μέ φωρατή).....	166
8-9	Ύπερετερόδυνος δέκτης.....	169
8-10	Δέκτης για διαμόρφωση συχνότητας.....	172
8-11	Έρωτήσεις.....	174

Κ Ε Φ. 9 Κυκλώματα αυτοματισμών

9 - 1	Εισαγωγή	175
9 - 2	Κατηγορίες συστημάτων αυτόματης παρακολούθησεως	177
9 - 3	΄Απλά συστήματα παρακολούθησεως	177
9 - 4	Τηλεχειρισμός	179
9 - 5	Τηλεχειρισμός με σύστημα βηματιστικού μεταδότη και δέκτη ..	180
	Μειονεκτήματα τών βηματιστικῶν μεταδοτῶν καὶ δεκτῶν	185
9 - 6	Τηλεχειρισμός με σύγχρονους μεταδότες και δέκτες	185
	΄Ανωμαλίες σύγχρονων μεταδοτῶν καὶ δεκτῶν	196
9 - 7	Τηλευδείξεις	196
9 - 8	Συγχρονοδιαφορικά	197
9 - 9	Σύγχρονοι μετασχηματιστές	198
9 - 10	Λογικά κυκλώματα	200
	1) Λογική πράξη AND (Λογικός πολλαπλασιασμός)	203
	2) Λογική πράξη OR (Λογική πρόσθεση)	205
	3) Λογική πράξη ἀρνήσεως (Λογική ἀναστροφή σημείου)	207
9 - 11	΄Υπολογιστικά κυκλώματα	208
9 - 12	΄Ερωτήσεις	215

Κ Ε Φ. 10 Ναυτικά ηλεκτρονικά ὄργανα

10 - 1	Εισαγωγή	217
10 - 2	Συσκευές ραδιοεντοπισμοῦ (Radar)	217
	1) ΄Ανάκλαση ἠχητικῶν κυμάτων	217
	2) ΄Ανάκλαση ραδιοκυμάτων	219
10 - 3	΄Ηχοβολιστικά	221
10 - 4	Αυτόματα πηδάλια	223
10 - 5	Ραδιογωνιόμετρα	224
10 - 6	Γυροσκοπική πυξίδα	225
	1) Γενικά	225
	2) Τὸ ἐλεύθερο γυροσκόπιο	226
10 - 7	Λοιπές ναυτιλιακές συσκευές	227
10 - 8	΄Ερωτήσεις	227
	Εύρετήριο	229

Κ Ε Φ Α Λ Α Ι Ο 1

Η Λ Ε Κ Τ Ρ Ο Ν Ι Κ Ε Σ Λ Υ Χ Ν Ι Ε Σ

1·1 Ἀρχές ἠλεκτρονικῶν λυχνιῶν.

1. Τί εἶναι ἡ λυχνία.

Ἡ ἠλεκτρονική λυχνία εἶναι μιὰ ἀπὸ τὶς μεγαλύτερες ἐφευρέσεις τοῦ αἰῶνα μας. Ἄν καὶ δὲν ἔχει καμμιά σχέση μὲ τὸ φωτισμό, συνηθίζεται νὰ λέγεται *ἠλεκτρονική λυχνία*, ἢ *λυχνία κενοῦ* ἢ ἀπλῶς *λυχνία*.

Ἡ λυχνία εἶχε ἄπειρες ἐφαρμογές. Ἀποτελοῦσε τὸ κυριότερο ἐξάρτημα λειτουργίας ὄλων τῶν ἠλεκτρονικῶν συσκευῶν (ραδιόφωνο, ἀσύρματος, τηλεόραση, ραντάρ καὶ πλῆθος ἄλλες συσκευές). Στὰ ἐπόμενα κεφάλαια θὰ περιγράψομε τὸ ρόλο κάθε λυχνίας στὶς συσκευές ποὺ ἀναφέραμε.

Οἱ λυχνίες κενοῦ, ἂν καὶ πιὸ πολύπλοκες στὴν κατασκευὴ καὶ λειτουργία ἀπὸ τὶς κρυσταλλολυχνίες (τρανζίστορς), ποὺ θὰ δοῦμε στὸ Κεφάλαιο 2, ἔχουν ἐφευρεθεῖ καὶ χρησιμοποιηθεῖ πολὺ πρὶν ἀπὸ αὐτές. Σήμερα, οἱ λυχνίες κενοῦ ἔχουν ἀντικατασταθεῖ σχεδὸν ἀπὸ τὶς κρυσταλλολυχνίες. Ἐξακολουθοῦν ὁμως νὰ ἀναφέρονται στὰ διάφορα ἐκπαιδευτικὰ βιβλία, γιὰτὶ δὲν ἔχουν ἀντικατασταθεῖ τελείως στὶς συσκευές καὶ γιὰτὶ εἶναι πιὸ εὐκόλο νὰ κατανοήσουν οἱ μαθητὲς τὶς διάφορες λειτουργίες τῶν κρυσταλλολυχνιῶν, ἀπὸ ὅσα γνωρίζουν γιὰ τὶς λειτουργίες τῶν λυχνιῶν κενοῦ.

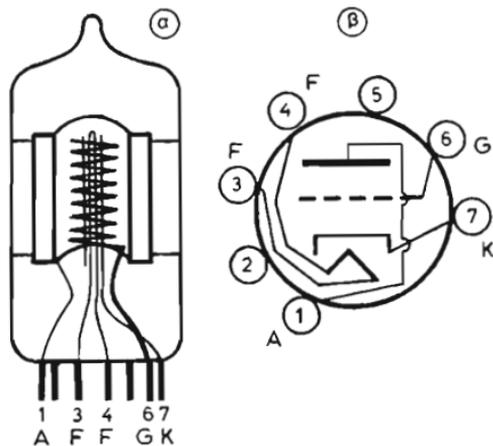
Τὸ ἐξωτερικὸ μέρος τῆς ἠλεκτρονικῆς λυχνίας ἀποτελεῖται ἀπὸ περίβλημα, συνήθως γυάλινο ἢ μεταλλικὸ, ποὺ ἔχει τὴ μορφή σωλήνα, καὶ γι' αὐτὸ τὴ λυχνία τὴ λέμε καὶ *ἠλεκτρονικὸ σωλήνα*.

Ὁ ἀέρας ἔχει ἀφαιρεθεῖ ἀπὸ τὸ ἐσωτερικὸ καὶ ὁ σωλήνας ἔχει σ' αἰσθεῖ στεγανά. Τὸ ἐσωτερικὸ δηλαδὴ τοῦ σωλήνα εἶναι σχεδὸν ἐκτὸς ἀπὸ ὀρισμένες περιπτώσεις, ὅπου μέσα στὸ σωλήνα οὐνται σκοπίμως διάφορα ἀέρια.

Μέσα στὸ σωλήνα τοποθετοῦνται διάφορα ἠλεκτρόδια. Τὰ ρόδια αὐτὰ ἐνώνονται μὲ σύρματα πρὸς τοὺς ἀκροδέκτες τὰ «ποδαράκια»), ποὺ βρίσκονται στὴ βάση τῆς λυχνίας

Άπο εκεί, άπό έξωτερικές πηγές, παίρνουν τις διάφορες τάσεις που χρειάζονται για τή λειτουργία τους.

Κάθε λυχνία έχει όρισμένο άριθμό ήλεκτροδίων, που δέν μπορεϊ νά είναι μικρότερος άπό δύο. Στην περίπτωση αυτή ή λυχνία λέγεται *διοδική* ή *δίοδος*. Κάθε ήλεκτρόδιο τώρα έχει και τó δικό του όνομα. Τó ένα ήλεκτρόδιο λέγεται *κάθοδος* και τó άλλο *άνοδος* ή *πλάκα*.



Σχ. 1.1 α.

α) Μία τριόδος λυχνία. β) Συμβολική παράσταση τής λυχνίας. Οί άκροδέκτες άριθμούνται (1, 2, 3 . . .) κρατώντας τή λυχνία άναποδογυρισμένη, ώστε ή βάση τής νά βλέπει προς έμäs. K = κάθοδος, A = άνοδος, G = έσχάρα, F = νήμα θερμάνσεως.

Άν άνάμεσα σ' αυτά τοποθετήσομε και ένα τρίτο ήλεκτρόδιο, που λέγεται *έσχάρα*, ή λυχνία λέγεται *τριοδική* ή *τρίοδος*. Τó σχήμα 1.1 α δίνει ένα παράδειγμα για τή διάταξη τών ήλεκτροδίων τριοδικής λυχνίας.

Άν τοποθετήσομε δεύτερη έσχάρα, θά έχομε τήν *τετραοδική λυχνία* (ή *τετράοδο*). Τοποθετώντας και τρίτη έσχάρα, θά έχομε τήν *πενταοδική λυχνία* (ή *πεντάοδο*). Μέ τόν τρόπο αυτό μπορούμε νά προσθέτομε έσχάρες

στή λυχνία, που όμως συνολικά τά ήλεκτρόδια μέσα σ' αυτή δέν πρέπει νά είναι περισσότερα άπό όκτώ. Επίσης, μπορεϊ μέσα σέ ένα και μοναδικό περίβλημα νά ένσωματωθούν τά ήλεκτρόδια δύο λυχνιών, όπως π.χ. μιās διόδου και μιās τριόδου, ή δύο τριόδων, ή μιās τριόδου και μιās πενταόδου κ.λπ.

Θά περιγράφομε μέ συντομία τή λειτουργία μιās διόδου λυχνίας. Στην άρχή θερμαίνεται τó νήμα τής καθόδου, για νά μπορέσει ή κάθοδος νά άπελευθερώσει ήλεκτρόνια άπό τήν έπιφάνειά τής. Μεταξύ άνόδου και καθόδου έφαρμόζομε μιá θετική τάση. Τά ήλεκτρόνια, που βρίσκονται στό χώρο γύρω άπό τήν κάθοδο έλκονται άπό τή θετική άνοδο, έπειδή έχουν άρνητικό φορτίο. Έτσι δημιουργ-

γεῖται ροή ρεύματος (δηλαδή ροή ηλεκτρονίων) ἀπὸ τὴν κάθοδο πρὸς τὴν ἄνοδο. Ὄταν ὅμως ἡ τάση τῆς ἀνόδου γίνῃ ἀρνητική, σὲ σχέση μετὰ τὴν κάθοδο, τότε, ὅπως εἶναι φυσικό, σταματᾷ ἡ ροή τοῦ ρεύματος. Ἐπειδὴ μέσα στὴ λυχνία δὲν ὑπάρχει ἀέρας (εἶναι κενό), διευκολύνεται ἡ ροή ηλεκτρονίων ἀπὸ τὴν κάθοδο πρὸς τὴν ἄνοδο.

Τὰ ηλεκτρόνια, ὅπως φεύγουν ἀπὸ τὴν κάθοδο, ἐπειδὴ ὅλα ἔχουν τὸ ἴδιο φορτίο (ἀρνητικό), ἀπωθοῦνται μεταξύ τους. Ἐτσι, ὀρισμένα ἀπωθοῦνται πάλι πρὸς τὴν κάθοδο, καὶ σχηματίζουν νέφος ἀπὸ ηλεκτρόνια γύρω ἀπ' αὐτή. Τὸ νέφος αὐτὸ λέγεται *καθοδικὸ φορτίο χώρου*.

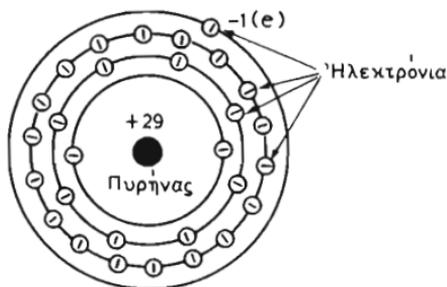
Γιὰ νὰ φέρῃ σὲ πέρας τὸν προορισμὸ του κάθε ηλεκτρόδιο, χρειάζεται νὰ ἐφαρμοστῆ σ' αὐτὸ ἡ κατάλληλη τάση. Γνωρίζομε ὅτι ἡ τάση μετριέται ἀνάμεσα σὲ δυὸ σώματα. Ἀπὸ αὐτὰ τὸ ἓνα χρησιμοποιεῖται ὡς *βάση* (ἢ *σημεῖο ἀναγωγῆς*) γιὰ τὴ μέτρησίν της. Στὶς ηλεκτρονικὲς λυχνίες ὡς βάση χρησιμοποιεῖται ἡ κάθοδος καὶ ὡς πρὸς αὐτὴ μετροῦνται οἱ διάφορες τάσεις, ποὺ λέγονται καὶ *δυναμικά*.

Ἡ λειτουργία τῆς ηλεκτρονικῆς λυχνίας βασίζεται στὴ ροή ηλεκτρονίων μέσα σ' αὐτὴ καὶ μεταξύ τῶν ηλεκτροδίων. Πρὶν δοῦμε ὅμως, πῶς παράγονται τὰ ηλεκτρόνια σὲ μιὰ λυχνία, θὰ ἀναπτύξομε με συντομία τὰ σχετικά μετὰ τὴ δομὴ τοῦ ἀτόμου καὶ τὰ ἐλεύθερα ηλεκτρόνια τοῦ μετάλλου.

2. Ἡ κάθοδος. Θερμικὴ ἐκπομπὴ ρονιῶν.

Ὅπως μάθαμε στὴ Φυσικὴ καὶ τὴ Χημεία, ὅλα τὰ ὑπεροπῶνται ἀπὸ μόρια ἢ ἄτομα. Τὰ ἄτομα, μετὰ τὴ

τους, ἀποτελοῦνται ἀπὸ ἓνα πυρήνα στὸ κέντρο, καὶ ἀπὸ ρόνια, ποὺ γυρίζουν γύρω ἀπ' αὐτόν, ὅπως περίπου οἱ πλανῆτες γύρω ἀπὸ τὸν ἥλιο (σχ. 1.1 β).



Σχ. 1.1 β.

Ἄτομα χαλκοῦ. Τὰ ηλεκτρόνια τὰ φανταζόμαστε ἐδῶ σὰν μικρὲς σφαῖρες, ποὺ κινοῦνται πάνω σὲ κύκλους, με κέντρο τὸν πυρήνα.

Ἐπειδὴ ὁ πυρήνας εἶναι σχετικὰ βαρὺς, συγκεντρώνει πρακτικὰ ὅλη τὴ μάζα τοῦ ἀτόμου. Εἶναι φορτισμένος μὲ θετικὸ ἠλεκτρισμὸ, ἐνῶ τὰ ἠλεκτρόνια εἶναι πολὺ ἐλαφρὰ καὶ φορτισμένα μὲ ἀρνητικὸ ἠλεκτρισμὸ.

Στὴ συνηθισμένη φυσικὴ κατάσταση τοῦ ἀτόμου, τὸ θετικὸ φορτίο τοῦ πυρήνα εἶναι ἴσο μὲ τὸ ἀρνητικὸ φορτίο ὅλων μαζὶ τῶν ἠλεκτρονίων. Καθὼς τὰ ἀντίθετα αὐτὰ φορτία εἶναι πολὺ κοντὰ τὸ ἓνα μὲ τὸ ἄλλο, τὸ ἄτομο φαίνεται ἐξωτερικὰ σὰν νὰ μὴν ἔχει ἠλεκτρικὸ φορτίο, εἶναι δηλαδὴ ἠλεκτρικὰ οὐδέτερο. Τὸ ἄτομο ὅμως μπορεῖ νὰ πάρει ἀπὸ ἄλλα ἄτομα ἓνα ἢ περισσότερα ἐπὶ πλεόν ἠλεκτρόνια. Τότε τὸ θετικὸ φορτίο τοῦ πυρήνα δὲν φθάνει νὰ ἐξουδετερῶσει τὰ ἐπὶ πλεόν ἠλεκτρόνια. Ἔτσι ἔχομε ἓνα ἄτομο ἠλεκτρισμένο ἀρνητικά. Ἐνα τέτοιο ἄτομο, ποὺ ἔχει πάρει ἐπὶ πλεόν ἠλεκτρόνια, λέγεται *ἀρνητικὸ ἰόν*. Ἀντίθετα, τὸ ἄτομο ποὺ ἔχει χάσει ἓνα ἢ περισσότερα ἠλεκτρόνια, εἶναι ἠλεκτρισμένο θετικά καὶ λέγεται *θετικὸ ἰόν*.

Τὰ ἠλεκτρόνια, καθὼς στρέφονται γύρω στὸν πυρήνα, τακτοποιοῦνται κατὰ στρώσεις ἢ φλοιοὺς. Στὸ σχῆμα 1 · 1 β, ἡ ἐσωτερικὴ στρώση ἔχει 2 ἠλεκτρόνια, ἡ ἀμέσως ἐπόμενη 8, ἡ μεθεπόμενη 18, καὶ ἡ τελευταία ἐξωτερικὴ ἓνα, ὥστε νὰ ἔχομε συνολικὰ 29 ἠλεκτρόνια. Μᾶς ἐνδιαφέρουν μόνο τὰ ἠλεκτρόνια στὴν ἐξωτερικὴ στρώση, γιατί ὅλες οἱ ἠλεκτρικὲς ιδιότητες τοῦ ἀτόμου ὀφείλονται στὰ ἠλεκτρόνια αὐτά. Ἄν π.χ. ἓνα σῶμα (ὅπως ὁ χαλκὸς) ἀποτελεῖται ἀπὸ ἄτομα, ποὺ ἔχουν τὰ ἐξωτερικά τους ἠλεκτρόνια ἀρκετὰ ἐλεύθερα, ὥστε νὰ μεταπηδοῦν ἀπὸ ἓνα ἄτομο σὲ ἄλλο, τότε τὸ σῶμα εἶναι καλὸς ἀγωγὸς τοῦ ἠλεκτρισμοῦ. Ἄν, ἀντίθετα, τὰ ἐξωτερικά ἠλεκτρόνια εἶναι προσκολλημένα γερὰ στὰ ἄτομα καὶ τὰ μόρια ποὺ ἀνήκουν, τὸ σῶμα εἶναι μονωτικόν.

Τὸ ρεῦμα λοιπὸν ποὺ κυκλοφορεῖ μέσα σ' ἓνα μεταλλικὸ ἀγωγόν, ὀφείλεται στὸ ὅτι μέσα στὸν ἀγωγὸ ὑπάρχει μεγάλο πλῆθος ἀπὸ ἐλεύθερα ἠλεκτρόνια, ποὺ κινοῦνται καὶ σχηματίζουν τὸ ἠλεκτρικὸ ρεῦμα.

Γιὰ νὰ ἀναγκαστοῦν νὰ μετακινηθοῦν τὰ ἐλεύθερα ἠλεκτρόνια μέσα στὸν ἀγωγόν, χρειάζεται μία πηγὴ τροφοδοτήσεως.

3. Ἐκπομπὴ ἠλεκτρονίων.

Ἄν ἐφαρμόσομε τάση ἀνάμεσα στὰ δύο ἄκρα ἀγωγοῦ, θὰ

ἔχομε ροή ηλεκτρονίων μέσω τοῦ ἀγωγοῦ. Τὰ ηλεκτρόνια αὐτὰ ἀποχωρίζονται ἀπὸ τὶς τροχιές τῶν ἀτόμων στὰ ὁποῖα ἀνήκουν καὶ κινοῦνται μὲ μεγάλη ταχύτητα πρὸς τὸ θετικὸ ἄκρο τοῦ ἀγωγοῦ. Ἡ ταχύτητα αὐτὴ μεγαλώνει μὲ τὴν αὐξηση τῆς θερμοκρασίας. Ὄταν ἡ θερμοκρασία εἶναι ἡ συνηθισμένη, τὰ ηλεκτρόνια κινοῦνται κατὰ μῆκος τοῦ ἀγωγοῦ πρὸς τὸ θετικὸ ἄκρο του, καὶ δὲν μποροῦν νὰ ἐγκαταλείψουν τὴν ἐπιφάνεια τοῦ μετάλλου. Ἴσχυρές συνεκτικές δυνάμεις τὰ συγκρατοῦν μέσα στὸ μέταλλο. Ἐτσι δὲν μποροῦν νὰ ἀποσπαστοῦν ἀπὸ τὸν ἀγωγό.

Ἄν τώρα πάρουμε ἓνα ἀγωγὸ καὶ τὸν θερμάνουμε, τὰ ηλεκτρόνια, ποὺ βρίσκονται στὶς τροχιές τῶν ἀτόμων, ἀποκτοῦν μεγαλύτερη κινητικὴ ἐνέργεια, ἀποχωρίζονται ἀπὸ τὰ ἄτομα καὶ ἐλευθερώνονται. Ὅσα ἀπ' αὐτὰ τὰ ηλεκτρόνια ἀνήκουν σὲ ἄτομα, ποὺ βρίσκονται στὴν ἐπιφάνεια τοῦ ἀγωγοῦ, ἀποσπῶνται καὶ ἐκπέμπονται στὸ γύρω χῶρο. Τὰ ηλεκτρόνια αὐτὰ μποροῦμε νὰ τὰ ὀνομάσουμε *ἠλεκτρόνια ἐκπομπῆς*, γιατί ἐκπέμπονται γύρω στὸν ἀγωγό, ἐνῶ τὰ προηγούμενα μποροῦμε νὰ τὰ ὀνομάσουμε *ἠλεκτρόνια ροῆς*, γιατί μένουν μέσα στὸν ἀγωγὸ καὶ προκαλοῦν τὴ ροή σ' αὐτόν.

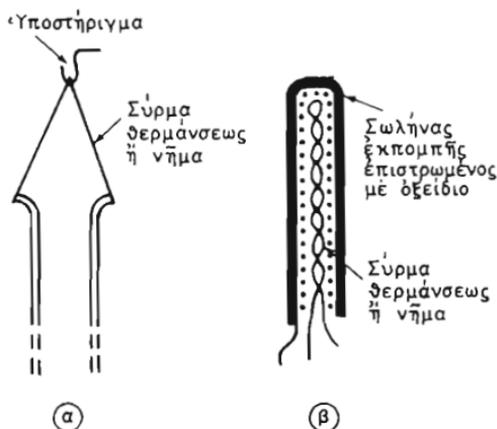
Ἡ μέθοδος αὐτὴ τῆς θερμάνσεως εἶναι ὁ κυριότερος τρόπος γιὰ νὰ προκληθεῖ ἐκπομπὴ ηλεκτρονίων ἀπὸ τὴν κάθοδο. Μὲ αὐτόν θὰ ἀσχοληθοῦμε περισσότερο παρακάτω. Ὑπάρχουν ὅμως καὶ ἄλλοι τρόποι ὅπως:

1. *Ἡ μέθοδος βομβαρδισμοῦ*: Βομβαρδίζομε τὸ μέταλλο μὲ ηλεκτρόνια καὶ ἰόντα, μὲ μεγάλη ταχύτητα. Τὰ ηλεκτρόνια τοῦ με-
ου δέχονται ἔτσι ἰσχυρὰ κτυπήματα (κρούσεις), καὶ μποροῦν νὰ πεταχτοῦν ἔξω ἀπὸ τὸ μέταλλο. Αὐτὴ εἶναι ἡ *δευτερογενῆς ἐκπομπὴ ηλεκτρονίων*.

2. *Ἡ μέθοδος φωτισμοῦ*: Φωτίζομε τὸ μέταλλο μὲ ὄρατὸ φῶς ἢ ἀκτινοβολία. Ἄν τὸ μέταλλο εἶναι τὸ κατάλληλο, μποροῦμε ἔχομε ἐκπομπὴ ηλεκτρονίων.

Ἄπὸ τὰ παραπάνω προκύπτει ὅτι, ἂν θερμάνουμε τὴν κάθοδο, μπει ηλεκτρόνια. Ἡ κάθοδος δηλαδὴ εἶναι πηγὴ ηλεκτρονίων. Μπορέσει νὰ ἐκπέμψει πολλὰ ηλεκτρόνια, ἡ κάθοδος πρέπει ἀνθεῖ στοὺς 1000-2000 βαθμούς. Ἡ θέρμανση γίνεται τοπο-
ηλεκτρικὴ πηγὴ (π.χ. μπαταρία) μεταξὺ τῶν δύο ἄκρων
ο σύρματος τῆς καθόδου. Ἡ κάθοδος αὐτὴ ἀποτελεῖται ἀπὸ

λεπτό σύρμα βολφραμίου ή φθοριομένου βολφραμίου [σχ. 1·1 γ(α)], που λέγεται νήμα. Ή μέθοδος αυτή λέγεται μέθοδος άμμεσης θερμάνσεως.



Σχ. 1·1 γ.

Μέθοδοι θερμάνσεως καθόδου: α) Κάθοδος άμμεσης θερμάνσεως. β) Κάθοδος έμμεσης θερμάνσεως.

χοντρό σύρμα βολφραμίου. Για να έχομε όμοιόμορφη έκπομπή ηλεκτρονίων, τó νήμα τής καθόδου περιβάλλεται από σωλήνα νικελίου, καλυμμένο με όξειδια βαρίου και στροντίου. Ό σωλήνας αυτός είναι ή κύρια κάθοδος. Θερμαίνεται από τó νήμα και έκπέμπει τά ηλεκτρόνια. Αύτή ή μέθοδος θερμάνσεως λέγεται έμμεση. Ή κάθοδος έμμεσης θερμάνσεως φαίνεται στο σχήμα 1·1 γ(β).

Για να όλοκληρώσομε τήν εικόνα μιās ήλεκτρονικής λυχνίας, είναι σκόπιμο να γνωρίζομε και μερικά από τά χαρακτηριστικά κατασκευής της.

4. Χαρακτηριστικά κατασκευής.

Τό έξωτερικό περίβλημα τών λυχνιών κατασκευάζεται από γυαλί ή μέταλλο, όπως είπαμε παραπάνω. Όσο μεγαλύτερη είναι ή λυχνία, τόσο χοντρώτερο πρέπει να είναι τó περίβλημά της, γιατί πρέπει να άντέχει στην πίεση τής έξωτερικής άτμόσφαιρας, έπειδή μέσα στο περίβλημα ύπάρχει κενό. Τό μέγεθος τής λυχνίας καθορίζεται από τή χρήση της, τισ άπαιτήσεις λειτουργίας και τó χώρο που διατίθεται.

Ἡ δημιουργία κενοῦ στὶς λυχνίες ἐπιβάλλεται γιὰ δυὸ λόγους: γιὰ προστασία τῆς θερμαινόμενης καθόδου ἀπὸ τὶς ὀξειδώσεις ἢ τὸ κάψιμο καὶ γιὰ τὴ διευκόλυνση τῆς μετακινήσεως τῶν ηλεκτρονίων ἀπὸ τὴν κάθοδο πρὸς τὴν ἄνοδο, χωρὶς νὰ συγκρούονται μὲ τὰ ἄτομα τοῦ ἀέρα ποὺ βρίσκεται μέσα στὸ κέλυφος. Κι' ἐπειδὴ ἡ μάζα τοῦ ἐλαφρότερου ἀτόμου εἶναι κατὰ 1800 περίπου φορές βαρύτερη ἀπὸ τὸ ηλεκτρόνιο, εἶναι βέβαιο ὅτι μιὰ τέτοια σύγκρουση θὰ ἐκτρέψει τὸ ηλεκτρόνιο ἀπὸ τὸ δρομολόγιο του καὶ θὰ δυσκολέψει τὴ ροὴ ηλεκτρονίων ἀπὸ τὴν κάθοδο πρὸς τὴν ἄνοδο. Τὸ κενὸ δημιουργεῖται στὴν ἀρχὴ μὲ ἀντλία κενοῦ. Μετὰ τὴ σφράγιση τοῦ περιβλήματος προκαλεῖται καύση μαγνησίου ἢ βαρίου, ποὺ ἔχει τοποθετηθεῖ πρὶν μέσα σ' αὐτό. Μὲ τὴν καύση αὐτὴ δεσμεύεται καὶ τὸ ὑπόλοιπο τοῦ ἀτμοσφαιρικοῦ ἀέρα. Τὸ προῖον τῆς καύσεως ἐπικάθεται σὰν ἀργυρῶδες στρώμα στὴν ἐσωτερικὴ ἐπιφάνεια τοῦ περιβλήματος.

Οἱ ἐξωτερικοὶ ἀκροδέκτες, ὅπως εἶπαμε, εἶναι συνδεμένοι μὲ τὰ ηλεκτρόδια ποὺ βρίσκονται μέσα στὸ κέλυφος, καὶ βγαίνουν ἐξω ἀπὸ τὴ βάση τῆς λυχνίας ἀπὸ εἰδικές ὀπές, ὥστε νὰ διατηρεῖται ἡ στεγανότητα τῆς λυχνίας.

Στὶς μεταλλικὲς λυχνίες, ἡ βάση κατασκευάζεται ἀπὸ γυαλί, γιὰ νὰ ἐξασφαλιστεῖ ηλεκτρικὴ μόνωση. Ἡ διαστολὴ τῶν ἀκροδεκτῶν ποὺ ἐξέρχονται ἀπὸ τὸ κέλυφος ρυθμίζεται ἔτσι, ὥστε νὰ εἶναι ἴση μὲ τὴ διαστολὴ τοῦ γυάλινου περιβλήματος, ὥστε νὰ μὴ δημιουργοῦνται ρωγμές σ' αὐτό, μὲ συνέπεια νὰ χάνεται ἡ στεγανότητα κατὰ τὴ διάρκεια διαστολῶν καὶ συστολῶν, λόγω θερμάνσεως ἢ ψύξεως.

Ἐκτὸς ἀπὸ τὰ γυάλινα κελύφη, ὑπάρχουν καὶ μεταλλικά. Ὑπάρχουν ἀκόμα καὶ μεταλλικὰ προστατευτικὰ περιβλήματα γύρω ἀπὸ τὰ γυάλινα γιὰ νὰ παρεμποδίζεται ἡ πρόκληση παρασίτων ἀπὸ γειτονικὰ ηλεκτρομαγνητικὰ πεδία, ποὺ θὰ ἐπηρέαζαν τὴ λειτουργία τῆς λυχνίας.

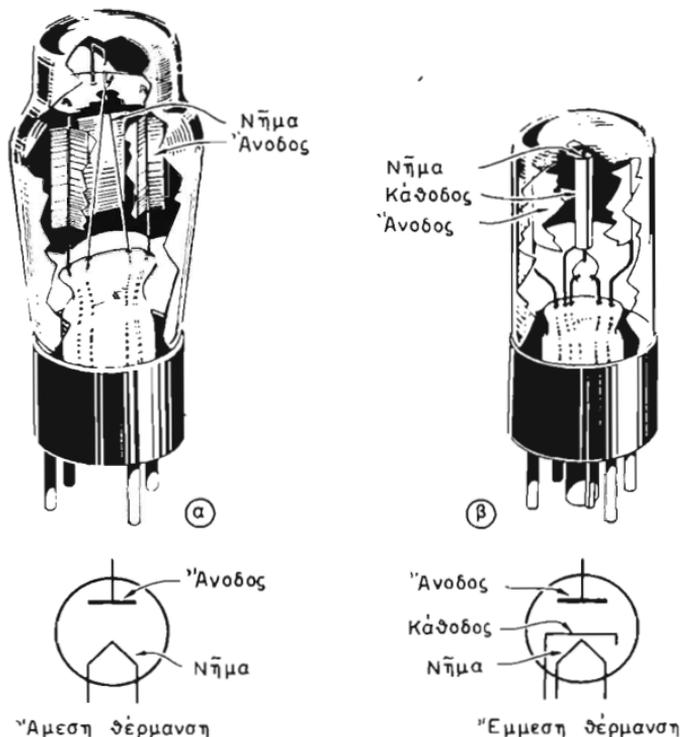
Ἡ ἀπόσταση μεταξὺ τῶν ηλεκτροδίων μέσα στὴ λυχνία ἐξαρτᾶται ἀπὸ τὴ συχνότητα καὶ τάση ποὺ ἐφαρμόζεται μεταξὺ τους.

Ἡ ἄνοδος τῆς λυχνίας κατασκευάζεται ἀπὸ ὑλικό, ποὺ δὲν μπει ηλεκτρόνια στὴ συνηθισμένη θερμοκρασία λειτουργίας. Τέ-
 ὑλικά εἶναι ὁ σίδηρος, τὸ νικέλιο, ὁ ἄνθρακας καὶ τὸ ταντάλιο.

1.2 Η δίοδος λυχνία.

1. Περιγραφή - λειτουργία. Χαρακτηριστική καμπύλη.

Η απλούστερη μορφή λυχνίας είναι η διοδική, δηλαδή εκείνη που έχει μόνο δύο ηλεκτρόδια, την *κάθοδο* και την *άνοδο*. Στο σχήμα 1.2 α(α) βλέπουμε πλευρική τομή διοδικής λυχνίας, με κάθοδο, νήμα άμεσης θερμάνσεως. Στο σχήμα 1.2 α(β) βλέπουμε πλευρική τομή δίοδου έμμεσης θερμάνσεως.



Σχ. 1.2 α.

Έπάνω, τομές διοδικών λυχνιών. Κάτω, συμβολικά διαγράμματα διοδικών λυχνιών: Άριστερά, άμεσης θερμάνσεως. Δεξιά, έμμεσης θερμάνσεως.

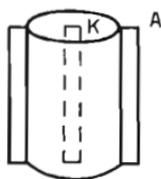
Η άνοδος αποτελείται από μία κυλινδρική πλάκα Α, που περιβάλλει την κάθοδο Κ, όπως φαίνεται στο σχήμα 1.2 β.

2. Χρησιμοποίηση, έσωτερική αντίσταση και ισχύς της δίοδου λυχνίας.

Το σχήμα 1.2 γ δείχνει με ποιο τρόπο συνδεσμολογείται μία

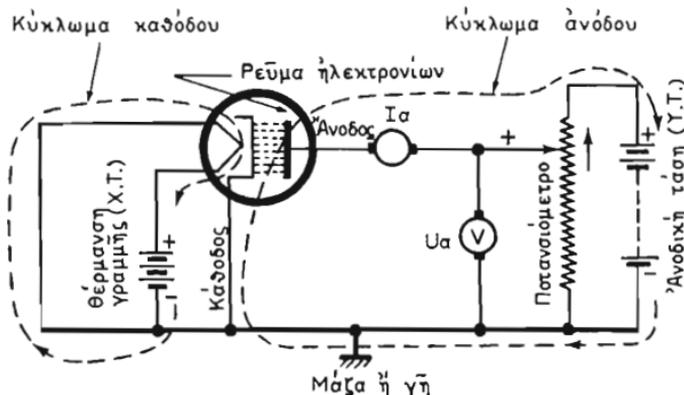
δίοδος λυχνία πρὸς τὶς πηγές πού τὴν τροφοδοτοῦν (ἠλεκτρικὲς στήλες, ἢ ὁποιοσδήποτε ἄλλες πηγές). Τὸ νῆμα θερμάνσεως τροφοδοτεῖται συνήθως ἀπὸ πηγὴ χαμηλῆς τάσεως, π.χ. 6,3 V, πού τὴ σημειώνομε μὲ X.T., B.T. (Basse Tension) ἢ L.V. (Low Voltage). Ἡ ἀνόδος τροφοδοτεῖται ἀπὸ πηγὴ ὑψηλῆς τάσεως (Y.T., H.T. = Haute Tension ἢ H.V. = High Voltage), ἀρκετὲς δεκάδες ἢ ἑκατοντάδες βόλτ. Τὸ ποτανσιόμετρο, πού φαίνεται στὸ σχῆμα, χρησιμεύει γιὰ νὰ μπορούμε νὰ μεταβάλομε, ἀν θέλομε, τὴν τάση τῆς ἀνόδου.

Τὸ ρεῦμα καὶ ἡ τάση τῆς ἀνόδου μπορούν νὰ μετροῦνται μὲ ἓνα μιλλιαμπερόμετρο καὶ ἓνα βολτόμετρο. Οἱ τάσεις (ἢ δυναμικὰ) μετροῦνται, ὅπως εἴπαμε, ὡς πρὸς τὴν κάθοδο (ἢ ὡς πρὸς τὸν ἀρνητικὸ πόλο τῆς πηγῆς θερμάνσεως, ἀν ἡ κάθοδος εἶναι ἄμεσης θερμάνσεως). Ὁ κόμβος, πού σχηματίζεται στὸ παράδειγμά μας ἀπὸ τὴν κάθοδο



Σχ. 1-2 β.

A = Ἀνόδος καὶ
K = Κάθοδος διόδου.



Σχ. 1-2 γ.

Συνδεσμολογία δίοδου λυχνίας.

ἰ τοὺς ἀρνητικὸς πόλους τῶν πηγῶν, ἐνώνεται μὲ τὸν μεταλλοσκελετό, πού πάνω του ἔχει πραγματοποιηθεῖ ὅλη ἡ συνযোগία (τὸ σασί). Τὸ σασί μπορεῖ, μὲ τὴ σειρά του, νὰ ἔχει εθεῖ μὲ μία γείωση, μπορεῖ ὅμως καὶ νὰ μὴν ἔχει γειωθεῖ. Ἀνετητά ἀπὸ αὐτό, τὸ σασί (καθὼς καὶ κάθε ἀγωγὸ πού ἐνώνεται ὀ) τὸ ὀνομάζομε γενικὰ «μάζα» ἢ «γῆ». Τὸ σημειώνομε στὰ σχέδια μὲ τὸ σύμβολο, πού φαίνεται στὸ σχῆμα 1-2 γ.

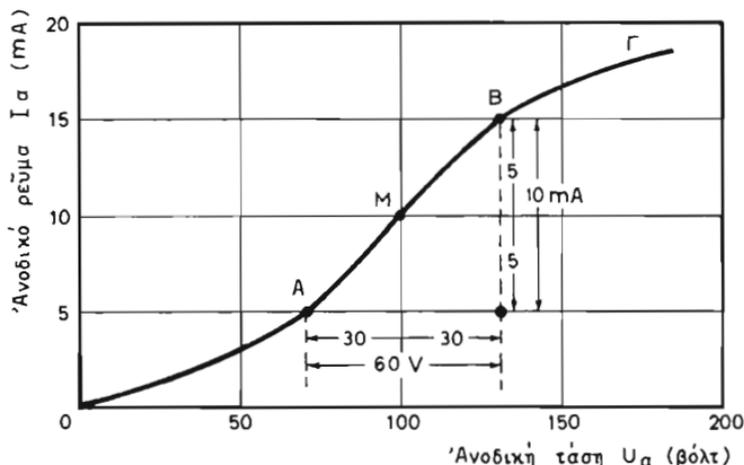
“Ας φανταστοῦμε ὅτι κινοῦμε τὸ δρομέα (μεσαῖο σημεῖο) τοῦ ποτανσιόμετρον ἀπὸ κάτω πρὸς τὰ πάνω, ὅπως δείχνει τὸ βέλος (σχ. 1 · 2 γ). Ἡ τάση τῆς ἀνόδου (ἢ ἀνοδική τάση) αὐξάνεται τότε. “Ασχετα ὅμως ἀπὸ αὐτό, ἡ ἀνοδος μένει πάντοτε, στὸ παράδειγμά μας, ἐνωμένη μὲ τὸ θετικό πόλο τῆς πηγῆς πού τὴν τροφοδοτεῖ, ἔχει δηλαδὴ θετικό δυναμικό ὡς πρὸς τὴν κάθοδο. Ἐξ ἄλλου, τὰ ἠλεκτρόνια, πού ἐκπέμπονται ἀπὸ τὴν κάθοδο, ἔχουν ἀρνητικό ἠλεκτρισμό. Ἐπομένως, τὰ ἠλεκτρόνια ἔλκονται πρὸς τὴν ἀνοδο. Δημιουργεῖται ἔτσι ρεῦμα ἠλεκτρονίων ἀπὸ τὴν κάθοδο πρὸς τὴν ἀνοδο, μέσα ἀπὸ τὸν κενὸ χῶρο τῆς λυχνίας. Τὸ ρεῦμα αὐτὸ τὸ ὀνομάζομε *ἀνοδικὸ ρεῦμα* (ἢ *ρεῦμα πλάκας*). Φυσικά, τὰ ἠλεκτρόνια, πού φθάνουν καὶ κτυποῦν πάνω στὴν ἀνοδο, συνεχίζουν τὸ δρόμο τους μέσα ἀπὸ τοὺς ἀγωγούς τῆς συνδεσμολογίας, πρὸς τὴν πηγὴ τῆς ἀνοδικῆς τάσεως. Συγχρόνως ἡ κάθοδος ἐκπέμπει διαρκῶς καὶ καινούργια ἠλεκτρόνια. Ἐτσι, συντηρεῖται τὸ ἀνοδικὸ ρεῦμα ὡς συνεχές ρεῦμα. Ἡ φορά του, ἡ πραγματικὴ φορά τῶν ἠλεκτρονίων πού τὸ σχηματίζουν, κατευθύνεται ἀπὸ τὴν κάθοδο πρὸς τὴν ἀνοδο, ἀπὸ τὸ πλὴν (-) πρὸς τὸ (+). Ἡ συμβατικὴ του φορά (δηλαδὴ ἡ ψεύτικη κατεύθυνση, πού χρησιμοποιοῦμε ἀπὸ συνήθεια στὸν ἠλεκτρισμὸ) εἶναι ἀντίθετη: ἀπὸ τὴν ἀνοδο πρὸς τὴν κάθοδο (ἀπὸ τὸ + πρὸς τὸ -).

3. Χαρακτηριστικὴ καμπύλη.

Τὸ ἀνοδικὸ ρεῦμα ἐξαρτᾶται ἀπὸ τὴν ἀνοδικὴ τάση. “Ὅσο τὴν αὐξάνομε, κινώντας τὸ δρομέα τοῦ ποτανσιόμετρον πρὸς τὰ πάνω, τόσο τὸ μιλλιαμπερόμετρο δείχνει περισσότερο ἀνοδικὸ ρεῦμα. “Αν σημειώσομε τὶς ἀντίστοιχες ἀναγνώσεις τοῦ βολτόμετρον καὶ τοῦ ἀμπερόμετρον, μπορούμε νὰ χαράξομε τὴν καμπύλη τοῦ σχήματος 1 · 2 δ. Τὴν καμπύλη αὐτὴ τὴν ὀνομάζομε *χαρακτηριστικὴ τῆς διόδου λυχνίας*.

Πάνω στὴ χαρακτηριστικὴ καμπύλη μπορούμε νὰ ξεχωρίσομε τρία τμήματα: τὰ ΟΑ, ΑΒ, καὶ ΒΓ. Στὸ πρῶτο τμήμα ΟΑ, τὸ ἀνοδικὸ ρεῦμα αὐξάνεται ὅσο ἡ ἀνοδικὴ τάση μεγαλώνει. Τὰ ἠλεκτρόνια, πού κινοῦνται πρὸς τὴν ἀνοδο, προέρχονται ἀπὸ τὸ καθοδικὸ χωρικό φορτίο, πού περιβάλλει τὴν κάθοδο, καὶ ὄχι ἀπ’ εὐθείας ἀπὸ τὴν κάθοδο. “Ὅπως ξέρομε, τὸ καθοδικὸ χωρικό φορτίο ἀπωθεῖ πρὸς τὰ πίσω τὰ ἠλεκτρόνια, πού ἐκπέμπονται ἀπὸ τὴν κάθοδο,

ἡ ἄπωση ὁμως αὐτὴ ἐξουδετερώνεται ἀπὸ τὴν ἔλξη τῆς θετικῆς ἀνόδου. Πάντως, τὸ ἀνοδικὸ ρεῦμα περιορίζεται ἀπὸ τὴν ὑπαρξὴ τοῦ καθοδικοῦ χωρικοῦ φορτίου, γι' αὐτὸ ἡ καμπύλη ἀνεβαίνει σιγά-σιγά.



Σχ. 1.2 δ.

Χαρακτηριστικὴ δίοδος λυχνίας.

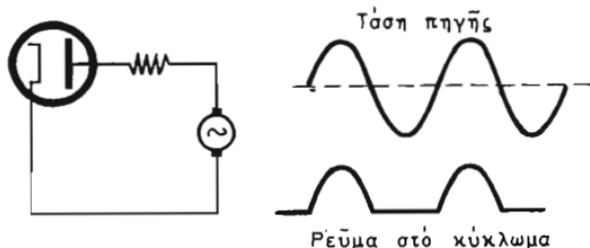
Ὅταν ἡ ἀνοδικὴ τάση γίνεи κάπως μεγαλύτερη, τὸ ἀνοδικὸ ρεῦμα αὐξάνει πιὸ γρήγορα. Περνοῦμε ἔτσι στὸ δεύτερο τμήμα AB τῆς χαρακτηριστικῆς καμπύλης. Τὸ τμήμα αὐτὸ εἶναι σχεδὸν εὐθύγραμμο, ἐνῶ τὸ πρῶτο κομμάτι OA εἶναι φανερὰ καμπύλο. Τὸ ἀνοδικὸ ὁμως ρεῦμα ἐξακολουθεῖ καὶ ἐδῶ νὰ περιορίζεται ἀπὸ τὸ καθοδικὸ χωρικὸ φορτίο.

Τὸ τμήμα ΒΓ εἶναι πάλι καμπύλο. Τώρα τὸ ρεῦμα αὐξάνει πιὰ ἐλάχιστα, ὅσο καὶ ἂν μεγαλώσομε τὴν ἀνοδικὴ τάση. Αὐτὸ συμβαίνει, γιατί ἡ ἀνοδικὴ τάση εἶναι τώρα τόσο μεγάλη, ὥστε ὅλα τὰ ἠλεκτρόνια, ποὺ βγαίνουν ἀπὸ τὴν κάθοδο, παίρνουν ἀπ' εὐθείας τὸ δρόμο πρὸς τὴν ἀνοδο. Ἡ κάθοδος δὲν ἔχει τὴ δυνατότητα πιὰ νὰ δίνει περισσότερα ἠλεκτρόνια, ἔστω καὶ ἂν αὐξάνομε διαρκῶς τὴν ἀνοδικὴ τάση. Τὸ ρεῦμα περιορίζεται τώρα, ὄχι ἀπὸ τὸ καθοδικὸ χωρικὸ φορτίο ἀλλὰ ἀπὸ τὴν ἐκπομπὴ ἠλεκτρονίων τῆς καθόδου. Στὴν κατάστασι αὐτῇ, λέμε ὅτι βρισκόμαστε σὲ συνθηκὲς κόρου. Τὸ ρεῦμα κόρου εἶναι τὸ μεγαλύτερο ρεῦμα, ποὺ μπορεῖ νὰ δώσει ἀνεξάρτητα ἀπὸ τὴν ἀνοδικὴ τῆς τάση. Ἡ τιμὴ του κα-

θορίζεται από τη σύσταση και τη θερμοκρασία της καθόδου. Σε κανονικές συνθήκες μόνιμης λειτουργίας, η λυχνία πρέπει να δουλεύει αρκετά μακριά από την κατάσταση κόρου.

Όλα αυτά συμβαίνουν όσο η άνοδος βρίσκεται ένωμένη με το θετικό πόλο της πηγής που την τροφοδοτεί. Υπάρχει τότε το άνοδικό ρεύμα, για το οποίο μιλήσαμε. Τι θα γίνει όμως αν αντιστρέψουμε τους πόλους της πηγής ύψηλης τάσεως; Τότε προφανώς η άνοδος θα είναι αρνητική ως προς την κάθοδο. Τα ηλεκτρόνια του χωρικού φορτίου, αντί να έλκωνται προς την άνοδο, θα άπωθούνται τώρα προς την κάθοδο. Δεν θα υπάρχει, λοιπόν, άνοδικό ρεύμα.

Ωστε το άνοδικό ρεύμα μπορεί να κυκλοφορεί προς μια μόνο κατεύθυνση: από την κάθοδο προς την άνοδο (για την πραγματική φορά των ηλεκτρονίων). Η διάδος λυχνία λειτουργεί έτσι, ως προς το ρεύμα, ως ένα είδος βαλβίδας, μιās βαλβίδας που ανοίγει προς τη μια μόνο κατεύθυνση, όχι και προς την άλλη. Η ιδιότητα αυτή της διόδου λυχνίας είναι βασική. Για να καταλάβομε τη σημασία της, ας φανταστούμε ότι η άνοδος έχει συνδεθεί προς μια πηγή εναλλασσόμενου ρεύματος (σχ. 1·2 ε). Όσο η τάση της πηγής είναι θετική,



Σχ. 1·2 ε.

Ανόρθωση εναλλασσόμενου ρεύματος (το κύκλωμα θερμάνσεως της λυχνίας έχει παραλειφθεί).

ή λυχνία είναι άγωγιμη και το κύκλωμα διαρρέεται από ρεύμα. Κατά την αρνητική όμως éναλλαγή της τάσεως, η λυχνία ισοδυναμεί με διακοπή και το ρεύμα μηδενίζεται. Το κύκλωμα λοιπόν διαρρέεται από ένα ρεύμα που δεν είναι éναλλασσόμενο, αλλά αποτελείται από θετικές μόνο éναλλαγές, προς μια μόνο κατεύθυνση. Η λειτουργία αυτή της διόδου λυχνίας λέγεται *άνόρθωση* ή *φώραση*. Μιλούμε για *άνόρθωση*, όταν η πηγή έχει χαμηλή ή βιομηχανική συχνότητα.

Λέμε φώραση, ὅταν πρόκειται γιὰ εἰδικὰ κυκλώματα ὑψηλῆς συχνότητας. Θὰ μάθομε ἀργότερα πιὸ πολλὰ γι' αὐτὲς τὶς λειτουργίες. Θὰ προσθέσομε μόνο ἐδῶ ὅτι, ἂν στὸ κύκλωμα τῆς λυχνίας παρεμβάλομε κατάλληλο φίλτρο, τὸ κυματοειδὲς ἀνορθωμένο ρεῦμα μπορεῖ νὰ γίνεῖ πρακτικὰ ἐντελῶς συνεχὲς (ὅπως τὸ ρεῦμα μιᾶς στήλης). Ἡ δίοδος λυχνία μπορεῖ λοιπὸν νὰ μετατρέπει τὸ ἐναλλασσόμενο ρεῦμα σὲ συνεχές.

Ὅταν μία δίοδος λυχνία ἔχει συνδεθεῖ σὲ ἓνα κύκλωμα ποῦ διαρρέεται ἀπὸ ρεῦμα, ἡ λυχνία ἰσοδυναμεῖ μὲ ἀντίσταση. Ἀλλὰ σὲ κάθε σημεῖο λειτουργίας τῆς καμπύλης τοῦ σχήματος 1·2 δ ἀντιστοιχεῖ διαφορετικὴ ἀντίσταση. Δὲν ὑπάρχει λοιπὸν μιὰ ἰσοδύναμη ἀντίσταση τῆς λυχνίας στὸ συνεχὲς ρεῦμα· ὑπάρχουν πολλές. Σὲ κάθε ἀνοδικὴ τάση ἔχομε καὶ διαφορετικὴ ἰσοδύναμη ἀντίσταση, δηλαδὴ διαφορετικὴ τιμὴ τοῦ λόγου τάση/ρεῦμα. Ὁ λόγος αὐτὸς δὲν εἶναι γιὰ τὴ λυχνία σταθερὸς, ἐνῶ γιὰ μιὰ συνηθισμένη ὠμικὴ ἀντίσταση μένει σταθερὸς, σύμφωνα μὲ τὸ νόμο τοῦ Ὠμ. Τὸ συμπέρασμα εἶναι ὅτι οἱ ἠλεκτρονικὲς λυχνίες δὲν ἀκολουθοῦν τὸ νόμο τοῦ Ὠμ. Γιὰ τὸ λόγο αὐτό, τὶς λέμε *μὴ ὠμικὰ στοιχεῖα*. Τὶς λέμε ἐπίσης *μὴ γραμμικὰ στοιχεῖα*, γιατί ἡ χαρακτηριστικὴ τοῦ σχήματος 1·2 δ δὲν εἶναι εὐθεῖα γραμμὴ, ἀφοῦ ὁ λόγος τάση/ρεῦμα δὲν εἶναι σταθερὸς.

4. Τύποι διόδων.

Ἡ δίοδος, ποῦ ἐξετάσαμε μέχρι τώρα, εἶναι σωλήνας κενοῦ. Ὑπάρχουν ὅμως καὶ δίοδοι, ποῦ περιέχουν ἀέριο ὑπὸ χαμηλὴ πίεση, ὅπως π.χ. οἱ διοδικὲς λυχνίες ἀτμῶν ὕδραργύρου, ποῦ χρησιμοποιοῦνται πολὺ ὡς ἀνορθωτές, γιὰ τροφοδότηση ἀνόδων λυχνιῶν μεγάλων πομπῶν ἀσυρμάτου.

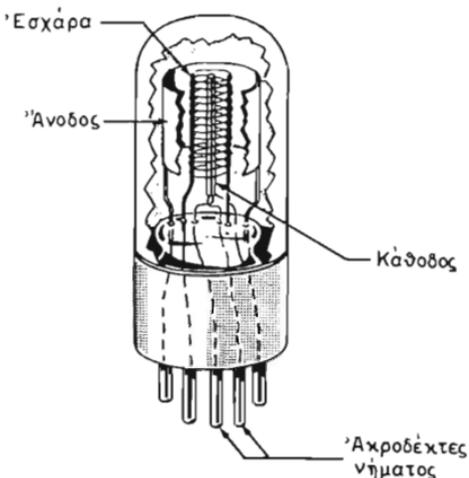
5. Χρησιμοποίηση.

Ἐπειδὴ οἱ διοδικὲς λυχνίες ἐπιτρέπουν τὴ ροὴ ρεύματος κατὰ μία μόνο φορά, ὅταν ἡ ἀνοδος εἶναι θετικὴ, χρησιμοποιοῦνται βεβαίως ἀνορθωτές. Ἄν ὁ συσσωρευτὴς κυκλώματος ἀνόδου (σχ. γ) ἀντικατασταθεῖ μὲ μιὰ πηγὴ ἐναλλασσόμενης τάσεως, ἡ λειτουργεῖ μόνο κατὰ τὴ θετικὴ ἡμιπερίοδο τῆς ἐναλλασσόμενης τάσεως, ὅπως φαίνεται στὸ σχῆμα 1·2 ε, δηλαδὴ ὅταν ἡ ἀνοδος εἶναι θετικὴ σὲ σχέση πρὸς τὴν κάθοδο. Τὸ χαρακτηριστικὸ αὐτὸ ἀλλεουόμαστε γιὰ τὴ χρησιμοποίησιν τῆς δίοδου ὡς φωρατῆ.

1.3 Ή τριοδος λυχνία.

1. Περιγραφή λειτουργίας. Χαρακτηριστική καμπύλη.

Ή τριοδική λυχνία ή τριοδος, έχει τρία ήλεκτροδια, δηλαδή τήν άνοδο, τήν κάθοδο και τήν έσχάρα. Άπό άπόψεως κατασκευής είναι όμοια με τή διοδο. Συνήθως ή έσχάρα κατασκευάζεται γύρω άπό τήν κάθοδο, με σύρμα σε έλικοειδές σπείρωμα, όπως βλέπομε στο σχήμα 1.3 α.



Σχ. 1.3 α.

Τομή τριοδικής λυχνίας.

Οί άποστάσεις μεταξύ τών σπειρών τής έσχάρας είναι τέτοιες, ώστε να μην έμποδίζεται τὸ πέρασμα τών ήλεκτρονίων άπό τήν κάθοδο πρὸς τήν άνοδο. Ή έσχάρα βρίσκεται κοντά στην κάθοδο. Ή έσχάρα αυτή, που χρησιμοποιείται για τὸν έλεγχο τοῦ ρεύματος πλάκας, όπως θα δούμε παρακάτω,

λέγεται *έσχάρα έλέγχου* (G_1), για να τή διακρίνομε άπό τις άλλες έσχάρες που υπάρχουν στις πολυοδικές λυχνίες.

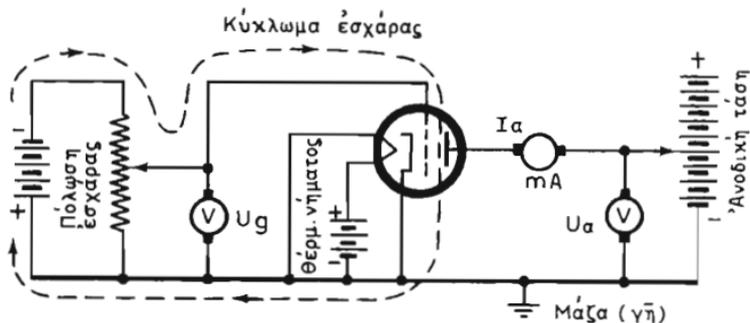
2. Συντελεστής ένισχύσεως (μ).

Ή καταπληκτική ανάπτυξη τής ραδιοτεχνίας και τών ήλεκτρονικών κατά τὰ τελευταία χρόνια ξεκινά ουσιαστικά άπό τήν ανακάλυψη αυτής τής έσχάρας, ή όποία ρυθμίζει τή λειτουργία τής λυχνίας.

Ή έντονη ρυθμιστική ικανότητα τής έσχάρας όφείλεται ουσιαστικά στο ότι βρίσκεται τοποθετημένη κοντύτερα στην κάθοδο άπό ό,τι ή άνοδος. Άρα, ή τάση (τὸ δυναμικὸ) τής έσχάρας θα έπηρεάζει τὸ ρεύμα τής λυχνίας περισσότερο άπό ό,τι ή άνοδική τάση. Άν ή έσχάρα έχει θετική τάση ως πρὸς τήν κάθοδο, τότε θα έλκει και αυτή, όπως και ή άνοδος, τὰ ήλεκτρόνια τοῦ καθοδικοῦ χωρικοῦ φορτίου και τὸ ρεύμα θα γίνεται πολὺ μεγαλύτερο. Άν, αντίθετα, ή έσχάρα είναι άρνητική, τότε θα άπωθει τὰ ήλεκτρόνια και τὸ άνο-

δικό ρεύμα θὰ μικραίνει. Συνήθως βρισκόμαστε στὴ δεύτερη περίπτωση, δηλαδή τὸ δυναμικὸ (ἢ τάση) τῆς ἐσχάρας ὡς πρὸς τὴν κάθοδο εἶναι ἀρνητικὸ (ἐκτὸς ἀπὸ ὀρισμένες ἐξαιρετικὲς περιπτώσεις). Αὐτὸ δὲν ἐλαττώνει βέβαια καθόλου τὴ ρυθμιστικὴ ἰκανότητα τῆς ἐσχάρας· τὸ ἀνοδικὸ ρεύμα παραμένει ἐξαιρετικὰ εὐαίσθητο σὲ κάθε μεταβολὴ τῆς τάσεως τῆς ἐσχάρας.

Γιὰ νὰ μελετήσουμε καλύτερα τὸ ρεύμα τῆς λυχνίας, κάνομε τὴ συνδεσμολογία τοῦ σχήματος 1·3 β. Ἡ συνδεσμολογία εἶναι ἡ



Σχ. 1·3 β.

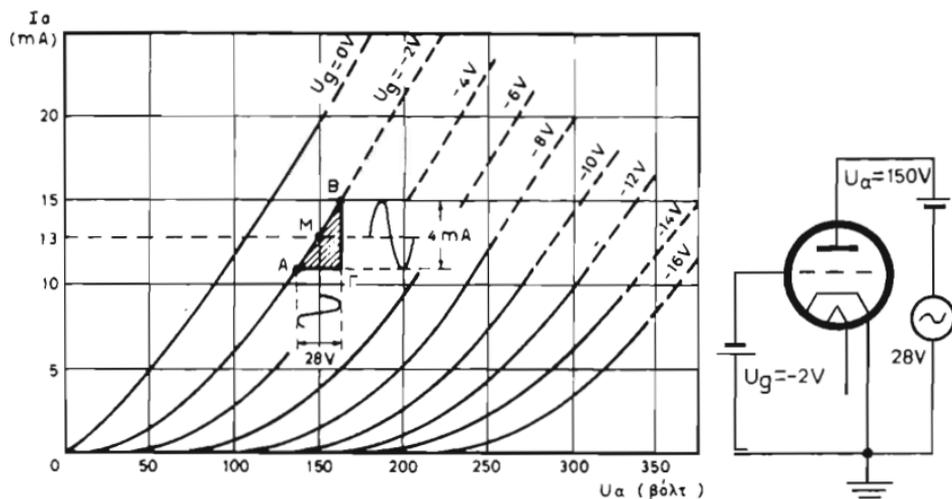
Συνδεσμολογία μιᾶς τριόδου λυχνίας.

ἴδια μὲ ἐκείνη πού εἶδαμε γιὰ τὴ δίοδο λυχνία (σχ. 1·2 γ), μόνο πού τώρα προστίθεται τὸ κύκλωμα τῆς ἐσχάρας, πού ἐδῶ ἀποτελεῖται ἀπὸ μιὰ στήλη (ἢ ἄλλη πηγὴ) καὶ ἓνα ποτανσιόμετρο. Δίνομε ἔτσι στὴν ἐσχάρα μιὰ συνεχὴ ἀρνητικὴ τάση, πού ἡ τιμὴ της μπορεῖ νὰ μεταβάλλεται. Ἡ συνεχῆς αὕτὴ τάση ὀνομάζεται ἐιδικότερα *πόλωση τῆς ἐσχάρας*.

3. Χαρακτηριστικὴ καμπύλη ἀνόδου.

Δίνομε στὴν πόλωση τῆς ἐσχάρας μιὰ ὀρισμένη τιμὴ, π.χ. μηδὲν βόλτ (ὁ δρομέας τοῦ ποτανσιόμετρου ἐσχάρας ἐντελῶς πρὸς τὰ κάτω, στὴ «γῆ», δηλαδή στὴν περίπτωσή μας σὲ ἔνωση μὲ τὴν κάθοδο). Ἀφήνομε τὴν πόλωση αὕτὴ σταθερὴ καὶ μετροῦμε τὸ ἀνοδικὸ ρεύμα γιὰ διάφορες τιμές τῆς ἀνοδικῆς τάσεως (ὅπως σὲ μιὰ ο). Μποροῦμε τότε νὰ χαράξομε τὴν καμπύλη πού εἶναι σημειωμὲ $U_g = 0$ στὸ σχῆμα 1·3 γ. Ὑστερα, ἀνεβάζομε λίγο τὸ δροτοῦ ποτανσιόμετρου ἐσχάρας, ὥστε νὰ δώσομε στὴν ἐσχάρα ἄλλη πόλωση, π.χ. $U_g = -2$ βόλτ, πού τὴν κρατοῦμε πάλι

σταθερή. Χαράζουμε τότε την καμπύλη $U_g = -2\text{ V}$ του σχήματος 1·3 γ. Με τον ίδιο τρόπο χαράζουμε και τις άλλες καμπύλες $U_g = -4\text{ V}, -6\text{ V}, \dots$



Σχ. 1·3 γ.

Χαρακτηριστικές άνοδου (U_a, I_a) μίας τριόδου λυχνίας.

Παίρνουμε έτσι μία οικογένεια από καμπύλες (U_a, I_a), που κάθε μία τους αντιστοιχεί σε μία σταθερή πόλωση U_g . Αύτη είναι ή οικογένεια τών χαρακτηριστικών άνοδου, ή ή οικογένεια (U_a, I_a). Οί καμπύλες τής οικογένειας είναι σχετικά όμοιες μεταξύ τους, με τή διαφορά ότι αυτές που αντιστοιχούν σε άρνητικότερες πολώσεις έσχάρας, άρα και σε μεγαλύτερες άνοδικές τάσεις για τó ίδιο ρεύμα, είναι μετατοπισμένες προς τά δεξιά. Έτσι, ή καμπύλη $U_g = -4\text{ V}$ είναι δεξιότερα από τήν καμπύλη $U_g = -2\text{ V}$. Οί καμπύλες αυτές μοιάζουν άλλωστε με τισ χαρακτηριστικές τής διόδου λυχνίας (σχ. 1·2 δ). Ύπάρχει δηλαδή και έδω: ένα καμπύλο τμήμα, προς τó κάτω μέρος κάθε χαρακτηριστικής (προς τά μικρά ρεύματα), ένα σχεδόν εύθυγραμμο τμήμα στο μέσο, και ένα άλλο καμπύλο τμήμα προς τά μεγάλα ρεύματα (τó τελευταίο δέν φαίνεται στο σχήμα). Ή καμπύλωση τού τρίτου αυτού τμήματος όφείλεται στον κόρο τής λυχνίας. Δηλαδή, όπως και στη δίοδο, ή κάθοδος δέν προφταίνει πιά νά εκπέμπει περισσότερα ήλεκτρόνια και τó άνοδικό ρεύμα αύξάνει τότε έλάχιστα, όσο και άν αύξήσομε τήν άνοδική τάση.

Ἄν ὑποθέσουμε ὅτι ἡ πόλωση ἐσχάρας εἶναι $U_g = -2 \text{ V}$ (σχ. 1.3 γ) καὶ ἡ ἀνοδική τάση εἶναι 150 V , τότε τὸ ρεῦμα ἀνόδου εἶναι 13 V , καὶ βρίσκεται ἂν σύρομε ὀριζόντια γραμμὴ ἀπὸ τὸ σημεῖο τομῆς M τῆς καμπύλης πολώσεως ($U_g = -2 \text{ V}$) καὶ τῆς τάσεως ἀνόδου (150). Τότε λέμε ὅτι τὸ σημεῖο λειτουργίας τῆς λυχνίας εἶναι τὸ M .

4. Ἐσωτερικὴ ἀντίσταση (ρ).

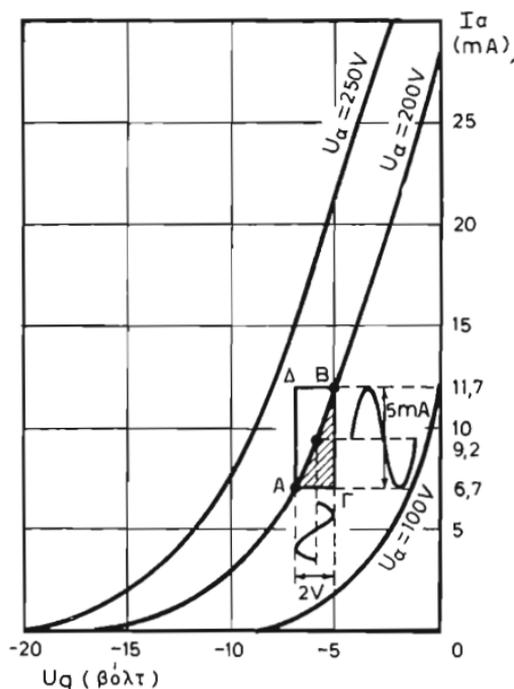
Ὅσον ἀφορᾷ στὴν πηγὴ πού τροφοδοτεῖ τὴν ἀνοδο, ἡ τριόδος λυχνία ἰσοδυναμεῖ καὶ πάλι μὲ μιὰν ἀντίσταση. Ἡ ἰσοδύναμη ἀντίσταση στὸ συνεχὲς ρεῦμα δὲν χρησιμεύει, ὅπως καὶ γιὰ τὴ δίοδο, παρὰ γιὰ νὰ μᾶς δείξει ὅτι καὶ ἡ τριόδος εἶναι ἓνα *μὴ ὠμικὸ στοιχεῖο*. Στὴν πράξη χρησιμοποιοῦνται καὶ ἐδῶ μόνο ἡ δυναμικὴ ἐσωτερικὴ ἀντίσταση τῆς λυχνίας στὸ ἐναλλασσόμενο ρεῦμα. Γιὰ νὰ τὴ βροῦμε, ἄς ὑποθέσουμε ὅτι ἡ ἀνοδος τροφοδοτεῖται μὲ συνεχὴ τάση 150 βόλτ (σημεῖο M τῆς χαρακτηριστικῆς $U_g = -2 \text{ V}$, σχ. 1.3 γ). Σ' αὐτὴ τὴν συνεχὴ τάση, προσθέτομε μιὰ ἐναλλασσόμενη τάση, πού ἡ τιμὴ τῆς ἀπὸ κορυφὴ σὲ κορυφὴ εἶναι 28 βόλτ. Στὴν ἐναλλασσόμενη τάση, ἀντιστοιχεῖ ἓνα ἐναλλασσόμενο μέρος τοῦ ἀνοδικοῦ ρεύματος, μὲ τιμὴ 4 MA ἀπὸ κορυφὴ σὲ κορυφὴ (ἡ τιμὴ ἀπὸ κορυφὴ σὲ κορυφὴ εἶναι διπλάσια ἀπὸ τὸ πλάτος τοῦ ἐναλλασσόμενου μεγέθους). Αὐτὰ φαίνονται πολὺ καθαρὰ στὸ σχῆμα 1.3 γ. Ἄν διαιρέσουμε αὐτὲς τὶς ἐναλλασσόμενες τιμὲς τάσεως καὶ ρεύματος, θὰ βροῦμε βέβαια τὴ δυναμικὴ ἐσωτερικὴ ἀντίσταση τῆς λυχνίας. Στὸ παράδειγμά μας βρίσκομε $\rho = 28/0,004 = 7000 \text{ } \Omega$. Συνήθως ἡ ἐσωτερικὴ ἀντίσταση σημειώνεται μὲ ρ , ἄλλοι ὅμως τὴν παριστάνουν μὲ R_a ἢ R_p . Ἡ ἐσωτερικὴ ἀντίσταση λοιπὸν εἶναι τὸ πηλίκον τῶν μεταβολῶν τῆς ἀνοδικῆς τάσεως πρὸς τὶς ἀντίστοιχες μεταβολὲς τοῦ ἀνοδικοῦ ρεύματος, γύρω ἀπὸ τὸ σημεῖο λειτουργίας τῆς λυχνίας, ὅταν ἡ πόλωση ἐσχάρας διατηρεῖται σταθερὴ.

5. Χαρακτηριστικὴ καμπύλη ἐσχάρας.

Ξαναγυρίζοντας στὴ συνδεσμολογία τοῦ σχήματος 1.3 β, ρίξομε μιὰν ὀρισμένη ἀνοδικὴ τάση, π.χ. $U_a = 100$ βόλτ, πού τὴν κρατᾶμε συνέχεια σταθερὴ.

Ἄν μεταβάλλομε τὴν πόλωση τῆς ἐσχάρας, τὸ ἀνοδικὸ ρεῦμα ἀλλεταί. Μετρώντας τὶς ἀντίστοιχες τιμὲς πολώσεως καὶ ἀνορεύματος,μποροῦμε νὰ χαράξομε τὴ χαρακτηριστικὴ καμπύλη

(U_g, I_a), που είναι σημειωμένη στο σχήμα 1.3 δ με $U_a = 100$ V. Κατά τόν ίδιο τρόπο χαράζονται και οι άλλες χαρακτηριστικές, που σημειώνονται στο σχήμα με $U_a = 200$ V, 250 V, ... (σε κάθε καμπύλη αντιστοιχεί μία σταθερή τιμή της άνοδικής τάσεως). Παίρνουμε έτσι την οικογένεια χαρακτηριστικῶν ἐσχάρας τῆς τριόδου λυχνίας ἢ τὴν οικογένεια (U_g, I_a). Ἡ μορφή τους εἶναι κάπως διαφορετικὴ ἀπὸ τὴν οικογένεια χαρακτηριστικῶν ἀνόδου τοῦ σχήματος



Σχ. 1.3 δ.

Χαρακτηριστικὲς ἐσχάρες (U_g, I_a) μιᾶς τριόδου λυχνίας.

ναφέρουμε στὴν ἀρχικὴ του τιμὴ, αὐξάνοντας τὴν ἀνοδικὴ τάση (σημείο Δ). Ἡ ἀνοδικὴ τάση πρέπει νὰ περάσει γι' αὐτὸ ἀπὸ 200 σὲ 235 βόλτ, δηλαδὴ νὰ αὐξηθεῖ κατὰ 35 βόλτ. Ὄταν λοιπὸν ἡ πόλωση γίνῃ ἀρνητικότερη κατὰ 2 βόλτ, τὸ ἀνοδικὸ ρεῦμα μπορεῖ νὰ διατηρηθεῖ σταθερὸ, ἂν ἡ ἀνοδικὴ τάση αὐξηθεῖ κατὰ 35 βόλτ. Μὲ ἄλλα λόγια,

1.3 γ. Οἱ δύο οικογένειες (ἀνόδου καὶ ἐσχάρας) καθορίζουν πλήρως τὴ λειτουργία καὶ τὶς ιδιότητες τῆς λυχνίας.

6. Συντελεστὴς ἐνισχύσεως (μ).

Ἐνα νέο χαρακτηριστικὸ μέγεθος μπορεῖ νὰ καθοριστεῖ μὲ τὴ βοήθεια τῆς οικογένειας καμπυλῶν ἐσχάρας. Ἐστω ὅτι ἡ ἀνοδικὴ τάση εἶναι 200 βόλτ καὶ ἡ πόλωση -5 βόλτ. Τὸ ἀνοδικὸ ρεῦμα θὰ εἶναι τότε 11,7 mA (σημείο Β τοῦ σχήματος 1.3 δ).

Ἄν κάνουμε τὴν πόλωση πιὸ ἀρνητικὴ, π.χ. -7 βόλτ, τὸ ἀνοδικὸ ρεῦμα θὰ μικρύνει (σημείο Α). Μποροῦμε ὁμως νὰ τὸ ξα-

μία μεταβολή τάσεως 2 βόλτ στην έσχάρα έξιςορροπείται από μία αντίθετη μεταβολή τάσεως 35 βόλτ στην άνοδο. Τό αποτέλεσμα είναι νά μένει σταθερό τό άνοδικό ρεῦμα.

Ἐπομένως, μεταβολή ενός βόλτ στην τάση τῆς έσχάρας ίσοδυναμεί με $35/2 = 17,5$ βόλτ μεταβολή στην άνοδική τάση. Βρίσκομε έτσι ένα συντελεστή (στό παράδειγμά μας ίσο με τόν αριθμό 17,5), πού τόν όνομάζομε *συντελεστή ένισχύσεως τῆς λυχνίας*, και τόν σημειώνομε με τό γράμμα μ (ή, σπανιότερα, με τό γράμμα K). Δηλαδή ό συντελεστής ένισχύσεως μάς λέει, πόσο ένισχύει ή λυχνία ένα σῆμα πού εφαρμόζομε στην έσχάρα της και ίσοῦται με τό πηλίκον τῆς μεταβολῆς τῆς τάσεως άνόδου πρὸς τήν αντίστοιχη μεταβολή τῆς τάσεως έσχάρας, όταν τό άνοδικό ρεῦμα παραμένει σταθερό.

7. Διαγωγιμότητα ή κλίση (g).

Ἡ οίκογένεια χαρακτηριστικῶν έσχάρας μάς χρησιμεύει επίσης για νά καθορίσομε ένα τρίτο χαρακτηριστικό μέγεθος τῆς τριόδου λυχνίας. Μία μόνη από τις καμπύλες άρκεί γι' αυτό τό σκοπό. Ἐς πάρομο π.χ. τήν καμπύλη (U_a, I_a) πού αντίστοιχεί σέ σταθερή άνοδική τάση $U_a = 200$ βόλτ (σχ. 1 · 3 δ). Ἐστω ότι στην έσχάρα έχει εφαρμοστεί από μία πηγή συνεχούς τάσεως, μία μόνιμη πόλωση — 6 βόλτ, όποτε τό αντίστοιχο άνοδικό ρεῦμα είναι 9,2 mA. Τότε λέμε ότι ή λυχνία λειτουργεί στό σημείο M τῆς χαρακτηριστικῆς καμπύλης.

Στήν κατάσταση αυτή, ἄς εφαρμόσομε στην έσχάρα μία δεύτερη μικρή έναλλασσόμενη τάση, πού ή τιμή της, από κορυφή σέ κορυφή, ἄς είναι π.χ. 2 βόλτ. Τό άνοδικό ρεῦμα θά κυμαίνεται τότε, ὅπως δείχνει τό σχῆμα, ανάμεσα στις τιμές 11,7 mA (σημείο B) και 7 mA (σημείο A). Με άλλα λόγια, τό άνοδικό ρεῦμα τῆς λυχνίας θά αποτελεῖται από ένα συνεχές ρεῦμα 9,2 mA και από ένα έναλλασσόμενο ρεῦμα 5 mA (άπό κορυφή σέ κορυφή). Ἐν διαιρέσομε τό αλλασσόμενο άνοδικό ρεῦμα με τήν αντίστοιχη έναλλασσόμενη ση έσχάρας, θά έχομε:

$$\frac{5}{2} = 2,5 \frac{\text{mA}}{\text{V}}$$

Τί σημαίνει αυτό τό αποτέλεσμα ;

Ξέρομε ότι, όταν διαιρούμε μία τάση με ένα ρεύμα, βρίσκομε μιάν αντίσταση (έτσι π.χ. καθορίσαμε την έσωτερική δυναμική αντίσταση τής λυχνίας από τις χαρακτηριστικές ανόδου). Έδω όμως διατηρούμε ένα ρεύμα με μία τάση. Θα βρούμε λοιπόν ένα μέγεθος αντίστροφο από την αντίσταση, που τὸ ὀνομάζομε *ἀγωγιμότητα*. Στὴν περίπτωση που ἐξετάζομε ἐδῶ, ἔχομε νὰ κάνομε με ἕνα εἶδος ἀγωγιμότητας ἀνάμεσα στὴν ἐσχάρα καὶ τὴν ἄνοδο τῆς λυχνίας, δηλαδὴ ἀνάμεσα σὲ δύο διαφορετικὰ ἠλεκτρόδια. Τὴν ἀγωγιμότητα αὐτὴ τὴν ὀνομάζομε εἰδικότερα *διαγωγιμότητα τῆς τριόδου λυχνίας*, καὶ τὴ σημειώνομε με τὸ γράμμα g (ἢ g_m ἢ G_m ἢ S). Στὸ παράδειγμά μας, ἔχομε διαγωγιμότητα $g = 2,5 \text{ mA/V}$. Αὐτὸ σημαίνει ὅτι κάθε μεταβολὴ ἐνὸς βόλτ στὴν πόλωση τῆς ἐσχάρας ἔχει ὡς ἀποτέλεσμα μία μεταβολὴ $2,5 \text{ mA}$ στὸ ἀνοδικὸ ρεύμα. Εἶναι φανερὸ ὅ,τι, ἂν ἡ χαρακτηριστικὴ (U_g, I_a) ἦταν πιὸ κατακόρυφη, ἂν δηλαδὴ ἡ χαρακτηριστικὴ εἶχε μεγαλύτερη κλίση, ἡ μεταβολὴ τοῦ ἀνοδικοῦ ρεύματος θὰ ἦταν μεγαλύτερη. Ἡ διαγωγιμότητα μετρᾷ λοιπόν στὴν οὐσία τὴν κλίση τῆς χαρακτηριστικῆς ἐσχάρας. Γι' αὐτὸ τὴ διαγωγιμότητα τὴν ὀνομάζομε ἐπίσης καὶ *κλίση τῆς τριόδου λυχνίας*.

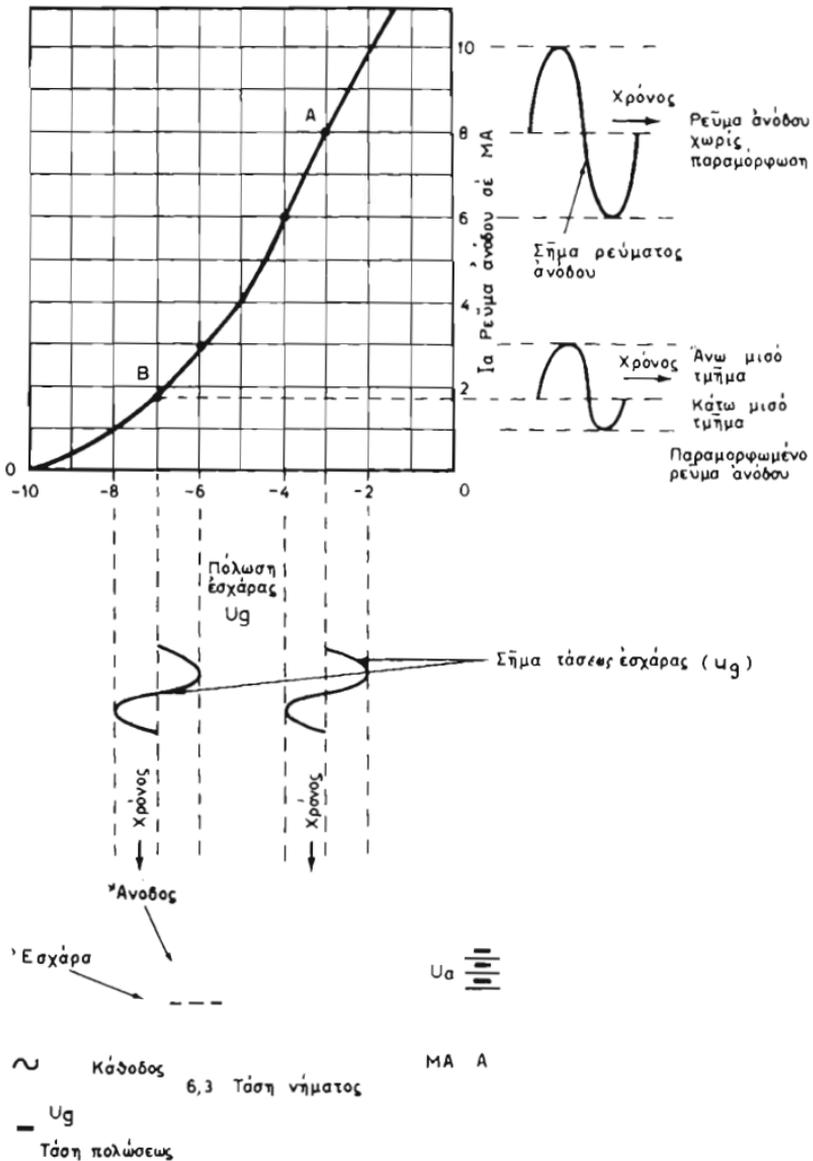
Τὰ τρία αὐτὰ μεγέθη που ἐξετάσαμε ὀνομάζονται *σταθερὲς* ἢ *παράμετροι* τῆς τριόδου λυχνίας. Μεταξύ τους ὑπάρχει μία σχέση πολὺ χρήσιμη στὴν πράξη. Ἡ σχέση αὐτὴ, που ὀνομάζεται *σχέση τοῦ Barkhausen* δείχνει ὅτι ὁ συντελεστὴς ἐνισχύσεως μῖς ἰσοῦται με τὸ γινόμενο τῆς ἐσωτερικῆς ἀντιστάσεως ἐπὶ τὴ διαγωγιμότητα:

$$\mu = \rho \cdot g \quad (1)$$

Δὲν εἶναι λοιπόν ἀνάγκη νὰ μᾶς δίνονται καὶ οἱ τρεῖς παράμετροι τῆς λυχνίας. Φθάνει νὰ ξέρομε τις δύο, ὅποτε τὴν τρίτη τὴ βρίσκομε ἀπὸ τὴν παραπάνω σχέση.

8. Παραμόρφωση.

Συχνὰ παρατηροῦμε ὅτι τὸ ρεύμα ἀνόδου μιᾶς τριοδικῆς λυχνίας δὲν ἔχει τὴν ἴδια μορφή που ἔχει ἡ τάση ἐσχάρας, ἀλλὰ παρουσιάζεται ἄλλοῦ συμπιεσμένο καὶ ἄλλοῦ τετωμένο. Τὸ φαινόμενο αὐτὸ λέγεται *παραμόρφωση*. Ὀφείλεται στὸ γεγονός ὅτι ἡ χαρακτηριστικὴ καμπύλη τῆς ἐσχάρας δὲν εἶναι εὐθεῖα, ἀλλὰ παρουσιάζει καμπυλότητες. Ἡ παραμόρφωση παρατηρεῖται ὅταν ἡ πόλωση τῆς ἐσχάρας κάνει τὴν τριόδο νὰ λειτουργεῖ στὸ καμπύλο τμήμα τῆς χαρακτηριστικῆς. Στὸ σχῆμα 1·3 ε, βλέπομε ὅτι ὅταν ἡ πόλωση



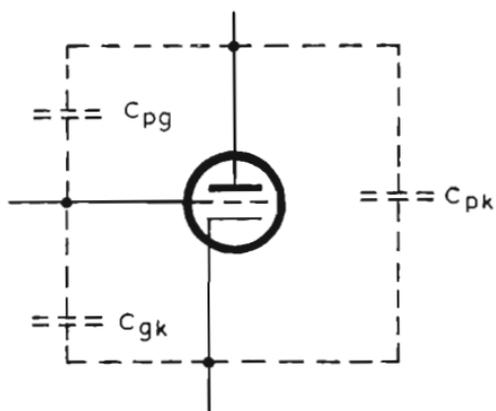
Σχ. 1.3 ε.

όρφωση λόγω του σημείου πολώσεως. Σημείο Α, λειτουργία στο εύθυ-
 τμήμα της χαρακτηριστικής. Σημείο Β, λειτουργία στο καμπύλο τμήμα
 της χαρακτηριστικής.

έσχάρας μεταβάλλεται μεταξύ -4 και -2 βόλτ, τὸ σήμα ρεύματος ἀνόδου μεταβάλλεται ἀπὸ 6 ἕως 10 mA, καὶ δὲν εἶναι παραμορφωμένο. Ἄν ὅμως ἡ πόλωση έσχάρας μεταβάλλεται ἀπὸ -6 ἕως -8 βόλτ, δηλαδή γύρω στὸ σημεῖο B τῆς καμπύλης, τὸ ρεύμα ἀνόδου εἶναι παραμορφωμένο γιατί τὸ κάτω μισὸ τμήμα δὲν εἶναι ἴδιο μὲ τὸ πάνω μισό.

9. Χωρητικότητα μεταξύ ἠλεκτροδίων.

Οἱ τριοδικές λυχνίες παρουσιάζουν δυσκολίες λειτουργίας σὲ



Σχ. 1.3 στ.

Σχηματικό διάγραμμα χωρητικότητας ἠλεκτροδίων τριόδου.

ύψηλές συχνότητες ἐξ αἰτίας τῆς χωρητικότητας μεταξύ τῶν ἠλεκτροδίων τῆς λυχνίας. Χωρητικότητα ὑπάρχει πάντοτε μεταξύ δύο μεταλλικῶν ἐπιφανειῶν ποὺ χωρίζονται μὲ μονωτικὴ οὐσία.

Τὸ μέγεθος τῆς χωρητικότητας ἐξαρτᾶται ἀπὸ τὴν ἐπιφάνεια τῶν μεταλλικῶν ἐπιφανειῶν, τὴν ἀπόσταση μεταξύ τους καὶ τὸν τύπο τοῦ μονωτικοῦ. Τὰ ἠλεκτρόδια μιᾶς λυ-

χνίας ἔχουν καὶ αὐτὰ μίᾳ χωρητικότητα, ποὺ σημειώνεται παραστατικά στὸ σχῆμα 1.3 στ.

Χωρητικότητα ὑπάρχει μεταξύ καθόδου-έσχάρας, έσχάρας-ἀνόδου καὶ καθόδου-ἀνόδου.

Οἱ χωρητικότητες αὐτὲς λέγονται *παρασιτικές* καὶ αὐξάνουν ἀκόμα περισσότερο ἀπὸ τὶς καλωδιώσεις τῶν κυκλωμάτων, καὶ ὅταν τὸ μήκος τῶν ἀκροδεκτῶν τῶν ἠλεκτροδίων εἶναι μεγάλο ἢ ἡ βάση τῆς τριόδου μεγάλη.

Σὲ χαμηλές καὶ μεσαῖες συχνότητες ἡ χωρητικότητα ἐπηρεάζει λίγο ἢ καθόλου τὴ λειτουργία τῆς λυχνίας, γιατί ἡ ἀντίδραση λόγω τῆς χωρητικότητας εἶναι μεγάλη $\left(X_c = \frac{1}{2\pi f c} \right)$. Ἀπὸ τὴ σχέση

αυτή φαίνεται ότι, όταν η συχνότητα f είναι μικρή, η αντίδραση X_c είναι μεγάλη.

Σε μεγάλες όμως συχνότητες η αντίδραση λόγω της χωρητικότητας μεταξύ ηλεκτροδίων είναι μικρή. Αυτό έχει ως συνέπεια να τροφοδοτεί μέρος του σήματος έξοδου από την άνοδο προς την έσχάρα μέσω της χωρητικότητας μεταξύ ηλεκτροδίων C_{pg} , με αποτέλεσμα την πρόκληση ταλαντώσεων στη λυχνία και το κύκλωμα.

Τα ανεπιθύμητα αποτελέσματα της χωρητικότητας ηλεκτροδίων σε μεγάλες συχνότητες εξουδετερώνονται με την τοποθέτηση πυκνωτή μεταξύ ανόδου-έσχάρας, ώστε να δημιουργείται τάση ίση και αντίθετη προς το επανατροφοδοτούμενο σήμα από το C_{pg} . Ο πυκνωτής αυτός ονομάζεται *πυκνωτής εξουδετερώσεως* και ρυθμίζεται έτσι, ώστε να παρέχει την επιθυμητή εξουδετέρωση σε διάφορες συχνότητες λειτουργίας.

Η λειτουργία των τριόδων σε υπερυψηλές συχνότητες (UHF) παρουσιάζει σοβαρά προβλήματα, λόγω της παρασιτικής χωρητικότητας μεταξύ των ηλεκτροδίων. Γι' αυτό χρησιμοποιούνται ειδικές λυχνίες, που έχουν μικρές διαστάσεις και αποστάσεις μεταξύ των ηλεκτροδίων τους.

Αν τοποθετήσουμε περισσότερες από μία έσχάρες, μπορούμε να επιτύχουμε ποικιλία επιθυμητών χαρακτηριστικών των ηλεκτρονικών λυχνιών κενού. Τέτοιες λυχνίες, όπως είπαμε, είναι οι τετράοδοι, που έχουν 4 ηλεκτρόδια, και οι πεντάοδοι, που έχουν 5 ηλεκτρόδια. Επίσης υπάρχουν και οκτάοδοι λυχνίες, με 8 ηλεκτρόδια, για όρι- σμένες εφαρμογές.

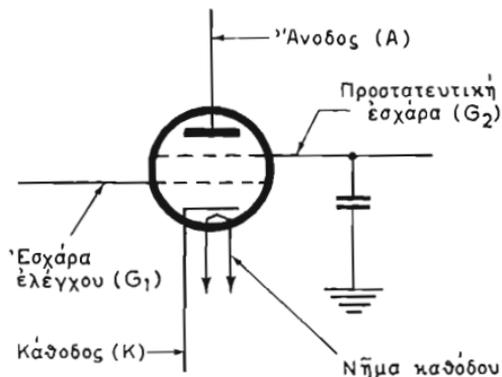
1.4 Τετραοδικές λυχνίες.

Η έσχάρα και η άνοδος μιᾶς τριόδου λυχνίας αποτελούν πραγματικότητα δύο άγωγους (με κυλινδρική συνήθως μορφή) ή είναι μονωμένοι μεταξύ τους. Τα δύο αυτά ηλεκτρόδια αποτε- ούν, λοιπόν, τους όπλισμούς ενός μικροῦ πυκνωτή. Η χωρητικό- α αυτού του πυκνωτή είναι, βέβαια, μικρή (λίγα pF). Όπως αμε όμως, μπορεί να γίνει πάρα πολύ ένοχλητική (κυρίως όταν η νία εργάζεται ως ένισχύτρια ή ταλαντώτρια, σε ύψηλές συχνό-).

Ένας τρόπος για να έλαττώσουμε αποτελεσματικά την παρα-

σιτική χωρητικότητα έσχάρας-άνόδου, είναι να τοποθετήσουμε μεταξύ τους ένα άλλο ηλεκτρόδιο. Το καινούργιο ηλεκτρόδιο είναι μία δεύτερη έσχάρα, που έχει δύο ιδιότητες: α) αφήνει τα ηλεκτρόνια να περνούν αρκετά ελεύθερα από τις τρύπες του, και β) ελαττώνει κατά 100 φορές περίπου την αρχική παρασιτική χωρητικότητα.

Πραγματικά, η δεύτερη έσχάρα διαχωρίζει (θωρακίζει, προστατεύει) την άνοδο από τα υπόλοιπα ηλεκτρόδια της λυχνίας. Γι' αυτό την ονομάζουμε και *προστατευτική έσχάρα*, ενώ την αρχική έσχάρα την ονομάζουμε *πρώτη έσχάρα* ή *έσχάρα έλέγχου*. Έτσι, σχηματίζεται η τετράδος λυχνία, που έχει τέσσερα ηλεκτρόδια: την κάθοδο Κ, την έσχάρα έλέγχου G_1 , την προστατευτική έσχάρα G_2 και την άνοδο Α (σχ. 1·4α).



Σχ. 1·4α.

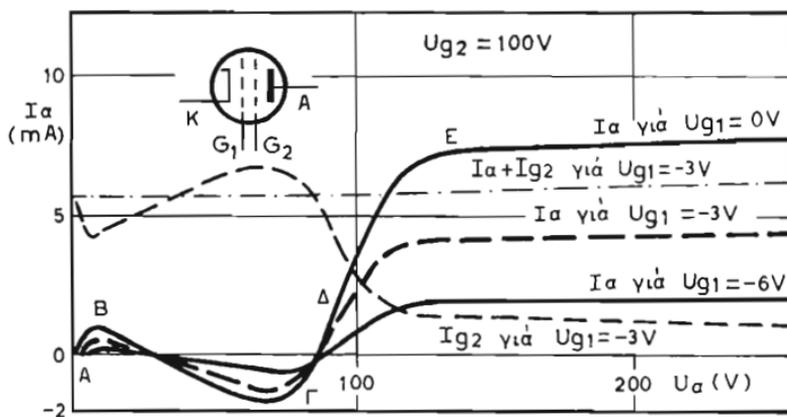
Σχηματικό διάγραμμα τετράδου.

Στην προστατευτική έσχάρα εφαρμόζουμε μία συνεχή θετική τάση, που είναι συνήθως λίγο μικρότερη από την τάση της ανόδου. Κατά τη λειτουργία της λυχνίας, η τάση της προστατευτικής έσχάρας διατηρείται σταθερή. Πάντως, αφού η τάση αυτή είναι θετική, η προστατευτική έσχάρα δέχεται και αυτή, όπως και η

άνοδος, ένα όρισμένο πλήθος ηλεκτρονίων. Δίπλα λοιπόν στο άνοδικό ρεύμα I_a , υπάρχει τώρα και ένα ρεύμα προστατευτικής έσχάρας I_{g2} . Το άθροισμά τους $I_{ολ} = I_a + I_{g2}$ αποτελεί το όλικό ρεύμα που κυκλοφορεί στη λυχνία και σχηματίζει κύκλωμα μέσα από την κάθοδο (όλικό ρεύμα της καθόδου). Καθώς η άνοδος βρίσκεται αρκετά ξεκομμένη από το υπόλοιπο μέρος της λυχνίας, το όλικό ρεύμα καθορίζεται κυρίως από την τάση U_{g2} της προστατευτικής έσχάρας (για μία όρισμένη πόλωση της έσχάρας έλέγχου). Η άνοδική τάση δεν έπηρεάζει ουσιαστικά παρά τον τρόπο που το συνολικό ρεύμα μοιράζεται ανάμεσα στην άνοδο και στην προστατευτική έσχάρα.

Χαρακτηριστικές καμπύλες άνοδου τετραόδου.

Για να δοῦμε κάπως καλύτερα τὰ πράγματα, ἄς ἐξετάσουμε τὴν οἰκογένεια τῶν χαρακτηριστικῶν καμπυλῶν τῆς άνοδου μιᾶς τετραόδου λυχνίας (καμπύλες U_a , I_a , πού καθεμίά τους ἀντιστοιχεῖ σέ μία σταθερὴ πόλωση U_{g1} , σχ. 1·4 β). Μία πρώτη διαφορά ἀπὸ μία παρόμοια οἰκογένεια μιᾶς τριοδικῆς λυχνίας εἶναι ἡ φανερὴ άνωμαλία τῶν χαρακτηριστικῶν πρὸς τὶς χαμηλές άνοδικές τάσεις (πρὸς τὰ άριστερὰ τοῦ σχήματος), πού γι' αὐτὴν θά μιλήσουμε άμέσως παρακάτω. Μία ἄλλη διαφορά εἶναι ὅτι γιὰ μεγαλύτερες άνοδικές τάσεις (μεγαλύτερες ἀπὸ τὴν τάση τῆς προστατευτικῆς έσχάρας, πού εἶναι ἔδῳ ἴση μὲ 100 V), οἱ χαρακτηριστικές καμπύλες γίνονται σχεδὸν ὀριζόντιες. Αὐτὸ σημαίνει ὅτι τὸ άνοδικὸ ρεῦμα τῆς τετραοδικῆς λυχνίας αὐξάνει ἑλάχιστα, ὅσο ἡ άνοδική τάση γίνεται ὑψηλότερη.



Σχ. 1·4 β.

Χαρακτηριστικές καμπύλες τετραόδου.

Άρα, ἡ έσωτερική αντίσταση μιᾶς τετραοδικῆς λυχνίας εἶναι πολὺ μεγαλύτερη ἀπὸ ἐκείνη μιᾶς παρόμοιας τριοδικῆς λυχνίας.

Δέν εἶναι ὅμως μονάχα ἡ έσωτερική αντίσταση πού γίνεται πολὺ μεγαλύτερη. Συγχρόνως, ὁ συντελεστὴς ένισχύσεως μ , πού ὀρίζεται κατὰ τρόπο ἀνάλογο μὲ τὴν περίπτωση τῆς τριοδικῆς λυχνίας, μεγαλώνει σημαντικά καὶ γίνεται τώρα τῆς τάξεως τοῦ 1000. Ἡ διαγωγιμότητα, τέλος, τῆς λυχνίας $g = \mu/\rho$ διατηρεῖ μἄλλον τὶς συνηθισμένες ἀπὸ τὴν τριοδική τιμές της.

Τò συμπέρασμα είναι ότι ή τετραοδική λυχνία ξεχωρίζει από την τριοδική: 1) από τή μικρή χωρητικότητα ανάμεσα στην έσχάρα έλέγχου και την άνοδο, και 2) από τή μεγάλη έσωτερική αντίσταση και τò μεγάλο συντελεστή ένισχύσεως.

Έξετάζομε τώρα την άνωμαλία πού δείχνουν οί χαρακτηριστικές πρòς τις χαμηλές άνοδικές τάσεις, τις μικρότερες από τήν τάση τής προστατευτικής έσχάρας (σχ. 1 · 4 β). Άς δοϋμε π.χ. τή χαρακτηριστική καμπύλη του I_a για $U_{g1} = -3$ V. Καθώς ή άνοδική τάση αύξάνεται, ξεκινώντας από τò μηδέν, βλέπομε ότι στην άρχή τò άνοδικò ρεύμα αύξάνει και αυτό περίπου κανονικά. Κατόπιν όμως τò άνοδικò ρεύμα μικραίνει, αν και ή άνοδική τάση εξακολουθεί νά αύξάνεται. Στην περιοχή αυτή (άπό 10 ως 80 βòлт περίπου στο παράδειγμά μας), ή χαρακτηριστική παρουσιάζει ένα βύθισμα, μία κατάδυση. Έπειδὴ ἐδῶ τò άνοδικò ρεύμα έλαττώνεται, όσο ή άνοδική τάση αύξάνεται, ή έσωτερική αντίσταση τής λυχνίας γίνεται άρνητική (ας μὴν ξεχνᾶμε ότι ή έσωτερική αντίσταση μιᾶς λυχνίας είναι μία ίσοδύναμη αντίσταση, και όχι μία πραγματική ωμική αντίσταση). Πραγματικά, για κάθε συνηθισμένη (θετική) αντίσταση, τò ρεύμα αύξάνεται με τήν τάση και μάλιστα, ἐφ' ὅσον ισχύει ὁ νόμος του Ὠμ, σέ εϋθεία αναλογία. Έδῶ, όχι μόνο δέν ισχύει ὁ νόμος του Ὠμ, αλλά και αυτή ή ίδια ή έννοια τής έξαρτήσεως ρεύματος και τάσεως είναι αντίθετη. Η έσωτερική αντίσταση τής λυχνίας γίνεται, λοιπόν, στην περιοχή αυτή, άρνητική.

Πού ὀφείλεται ή άνωμαλία τής καταδύσεως; Η έξήγηση βρίσκεται στο φαινόμενο τής δευτερογενούς έκπομπής ήλεκτρονίων (παράγρ. 1 · 1). Ένα ήλεκτρόνιο, πού βγαίνει από τήν κάθοδο, έπιταχύνεται άρκετά από τὰ θετικά δυναμικά τής προστατευτικής έσχάρας και τής άνόδου. Όταν τò ήλεκτρόνιο κτυπήσει έτσι με ὀρμή πάνω σέ ένα από τὰ ήλεκτρόδια αυτά, μπορεί νά άποσπάσει από τò μέταλλο τους ένα ή περισσότερα ήλεκτρόνια. Τò ήλεκτρόνιο πού χτυπᾶ πάνω στο μεταλλικό ήλεκτρόδιο, λέγεται *πρωτογενές* ή *πρωτεύον*, ἐνῶ τὰ νέα ήλεκτρόνια, πού άποσπῶνται από τò μέταλλο, λέγονται *δευτερογενή* ή *δευτερεύοντα* ήλεκτρόνια.

Δευτερογενής έκπομπή γίνεται, βέβαια, και από τήν άνοδο μιᾶς τριόδου λυχνίας. Όμως, καθώς ή άνοδος είναι τò μοναδικò θετικό ήλεκτρόδιο τής τριόδου λυχνίας, τὰ δευτερογενή ήλεκτρόνια

έλκονται άμέσως πίσω προς την άνοδο. Έτσι, τó φαινόμενο τής δευτερογενούς έκπομπής δέν έχει καμμιά έξωτερική έκδήλωση.

Η διαφορά είναι ότι στην τετράοδη λυχνία υπάρχουν δύο ήλεκτροδία με ύψηλές θετικές τάσεις: ή προστατευτική έσχάρα και ή άνοδος. Όσο ή τάση τής άνόδου είναι πολύ χαμηλή (μικρότερη π.χ. από 15 V περίπου), όλόκληρη ή δευτερογενής έκπομπή προέρχεται από την προστατευτική έσχάρα. Η προστατευτική όμως έσχάρα βρίσκεται σε ύψηλότερο δυναμικό (π.χ. 100 V), και ξαναμαζεύει πρακτικά όλα τά δευτερεύοντα ήλεκτρόνια. Έτσι, τó άνοδικό ρεύμα αύξάνεται στην άρχή κανονικά, ξεκινώντας από τó μηδέν.

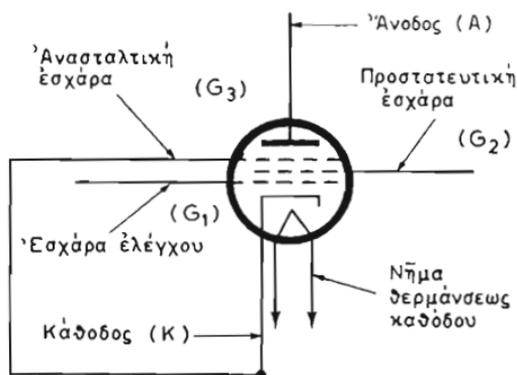
Γιά λίγο μεγαλύτερες άνοδικές τάσεις (άπό 10 ως 80 βόλτ περίπου στο παράδειγμά μας), ή δευτερογενής έκπομπή τής άνόδου γίνεται σημαντική. Η προστατευτική έσχάρα διατηρεί όμως, στην περιοχή αυτή, ύψηλότερη θετική τάση από ό,τι ή άνοδος. Τά δευτερεύοντα ήλεκτρόνια τής άνόδου έλκονται λοιπόν ισχυρότερα προς την προστατευτική έσχάρα. Δημιουργείται έτσι ένα δευτερογενές ρεύμα ήλεκτρονίων από την άνοδο προς την προστατευτική έσχάρα. Τó ρεύμα αυτό έχει φορά αντίθετη από την κανονική και άφαιρείται από τó κανονικό άνοδικό ρεύμα. Άρα τó άνοδικό ρεύμα έλαττώνεται. Όσο μάλιστα ή άνοδική τάση αύξάνεται, τόσο ή δευτερογενής έκπομπή τής άνόδου γίνεται έντονότερη και τόσο τó άνοδικό ρεύμα μικραίνει. Έχομε έτσι την κατάδυση τής χαρακτηριστικής καμπύλης και την έκδήλωση άρνητικής έσωτερικής αντίστασεως τής λυχνίας.

Η άνωμαλία έξαφανίζεται, όταν ή άνοδική τάση ξεπεράσει ρκετά την τάση τής προστατευτικής έσχάρας (π.χ. πάνω από 120 όλτ). Τότε πιά τά ήλεκτρόνια τής δευτερογενούς έκπομπής τής άνοδου ξαναμαζεύονται στην ίδια την άνοδο και ή λειτουργία τής λυχνίας ξαναγίνεται κανονική.

•5 Πενταοδικές λυχνίες.

ά άνεπιθύμητα άποτελέσματα τής δευτερογενούς έκπομπής ρίζονται σημαντικά με την προσθήκη μιās τρίτης έσχάρας στην ράοδο λυχνία. Έτσι ή τετράοδος γίνεται πεντάοδος: περιέχει μία όμη έσχάρα G_3 μεταξύ προστατευτικής και άνόδου. Η έσχάρα όνομάζεται *άνασταλτική έσχάρα* (Suppressor Grid). Έχει σκοπό

τήν αναστολή, δηλαδή τον περιορισμό, της δευτερογενούς έκπομπης



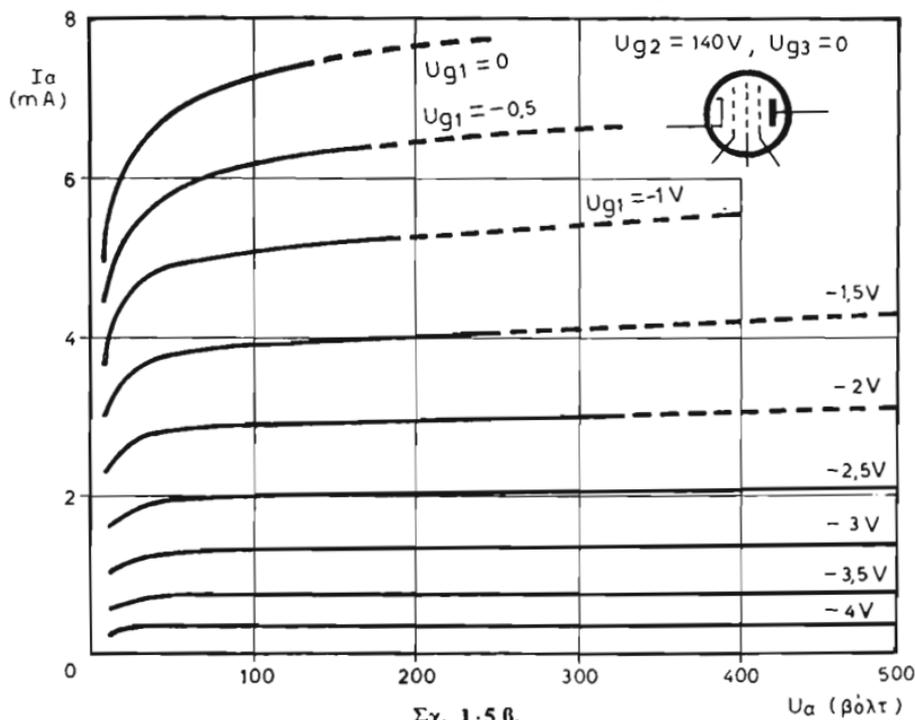
Σχ. 1.5 α.

Σχηματικό διάγραμμα πενταόδου.

άνοδου. Τα πέντε ηλεκτρόδια της πενταόδου είναι:

Η κάθοδος Κ, ή έσχαρά έλέγχου G_1 , ή προστατευτική έσχαρά G_2 , ή ανασταλτική έσχαρά G_3 και ή άνοδος Α, όπως φαίνεται στο σχήμα 1.5 α.

Στήν πενταόδο, ή ανασταλτική έσχαρά (συνδεδεμένη συνήθως έσωτερικά με την κάθοδο), χρησιμεύει για να άπωθει τα



Σχ. 1.5 β.

Οικογένεια χαρακτηριστικών άνοδου μιās πενταόδου λυχνίας.

ηλεκτρόνια της δευτερογενούς έκπομπής πάλι προς την άνοδο. Χρησιμεύει επίσης για να επιβραδύνει την πρόσκρουση των πρωτογενών ηλεκτρονίων στην άνοδο, χωρίς όμως να τα εμποδίζει να περνούν από το πλέγμα της ανασταλτικής έσχάρας.

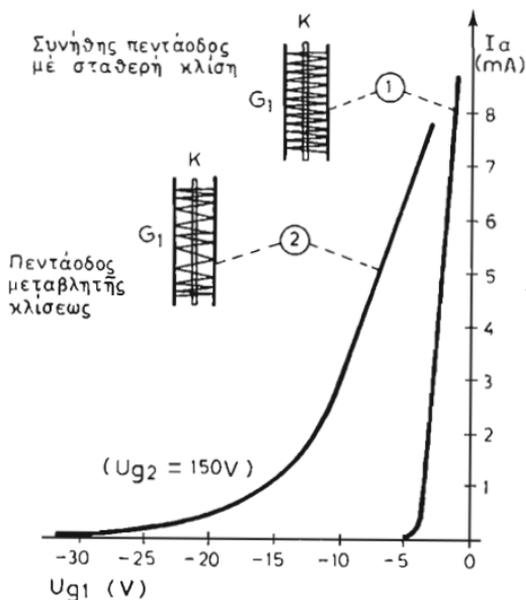
Μ' αυτόν τον τρόπο η ανασταλτική έσχάρα περιορίζει την περιοχή άρνητικής αντίστασης της τετραόδου, όταν η τάση άνοδου κατέβει κάτω από την τάση της προστατευτικής έσχάρας. Έτσι, το ρεύμα άνοδου I_a αυξάνεται σιγά-σιγά από το μηδέν μέχρι την τιμή του κορεσμού, κατά το χρόνο που αυξάνεται ομαλώς η τάση άνοδου U_a , όταν η τάση έσχάρας έλέγχου παραμένει σταθερή, και δεν παρατηρείται η άνωμαλία της καταδύσεως, όπως φαίνεται στο σχήμα 1 · 5 β. Τελικά η πεντάοδος παρουσιάζεται ως βελτιωμένη τετράοδος, γιατί δίνει μεγαλύτερο συντελεστή ένισχύσεως (περίπου 5000), και δεν παρουσιάζει την άνωμαλία της καταδύσεως της χαρακτηριστικής καμπύλης.

1.6 Λυχνίες μεταβλητού (μ).

Ο συντελεστής ένισχύσεως μ μιās λυχνίας μπορεί να μεταβάλλεται με τη μεταβολή της τάσεως της πολώσεως που εφαρμόζεται στην έσχάρα έλέγχου. Άλλά τα περιθώρια μεταβολής της ένισχύσεως είναι περιορισμένα, γιατί αν η πόλωση γίνει πολύ άρνητική, διακόπτεται η λειτουργία της λυχνίας. Επίσης, όταν η πόλωση γίνει πολύ θετική, η λειτουργία της λυχνίας φθάνει στο σημείο κορεσμού και δεν έχουμε πια ένισχυση. Έχουμε δηλαδή στο σχήμα 1 · 6 την περίπτωση της καμπύλης 1, που η κλίση της είναι σχεδόν σταθερή και δεν μās δίνει μεγάλα περιθώρια μεταβολής της ένισχύσης. Η πεντάοδος αυτή λέγεται *σταθερής κλίσεως*.

Υπάρχουν όμως και πεντάοδοι με μεταβλητή κλίση (τις λέμε της και πεντάόδους με μεταβλητό μ , επειδή και ο συντελεστής ύσεως μεταβάλλεται, και αυτός, σε πλατιά όρια). Η καμπύλη $\tilde{\mu}$ σχήματος 1 · 6, δείχνει ότι σε μιάν τέτοια πεντάοδο η μικραίνει προοδευτικά (όχι απότομα), όσο η πόλωση της άρας έλέγχου γίνεται διαρκώς και πιο άρνητική. Έτσι, όπως θα έμε και άργότερα, οι ένισχυτικές ικανότητες της λυχνίας μπορούν

νά ρυθμιστούν προοδευτικά σέ μεγάλη έκταση. Συγχρόνως, οί πολώσεις τῆς ἐσχάρας ἐλέγχου μποροῦν νά μεταβάλλονται σέ πλατιά ὅρια (μέχρι περίπου -30 V στό παράδειγμά μας).



Σχ. 1.6.

Πεντάοδος μέ σταθερή κλίση (1) καί πεντάοδος μέ μεταβλητή κλίση (2).

ρας. Συνεχίζει ὁμως νά περνᾶ ἀπό τό μέσο του, ἀκόμα καί γιά πολύ ἀρνητικές πολώσεις.

1.7 Πολλαπλές λυχνίες.

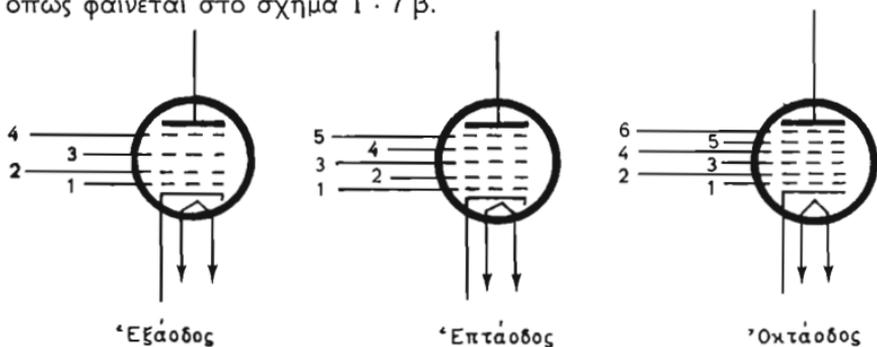
Γιά νά ἐπιτύχομε διάφορα χαρακτηριστικά λειτουργίας τῶν λυχνιῶν, εἶδαμε ὅτι ὑπάρχουν λυχνίες μέ μία, δύο, τρεῖς, τέσσερις, πέντε ἐσχάρες κ.λπ. (σχ. 1.7 α). Οἱ ἐσχάρες μπορεῖ νά χρησιμοποιηθοῦν γιά νά ἐπηρεάσουν τό ρεῦμα ἀνόδου, ὅταν ἐφαρμόσκει σ' αὐτές διάφορα σήματα ἐναλλασσόμενης τάσεως καί διαφόρων συχνοτήτων, ὅπως στή λυχνία πέντε ἐσχαρῶν, πού χρησιμοποιεῖται ὡς μίκτης στούς δέκτες ἀσυρμάτου, ὅπως θά δοῦμε ἀργότερα.

Γιά τή μείωση τοῦ ἀριθμοῦ τῶν χρησιμοποιουμένων λυχνιῶν, σέ διάφορες ἠλεκτρονικές συσκευές, πολλές φορές μέσα στό ἴδιο κέλυφος ἐνσωματώνονται δύο ἢ καί περισσότερες λυχνίες. Προσδιορί-

λῶσεις τῆς ἐσχάρας ἐλέγχου μποροῦν νά μεταβάλλονται σέ πλατιά ὅρια (μέχρι περίπου -30 V στό παράδειγμά μας).

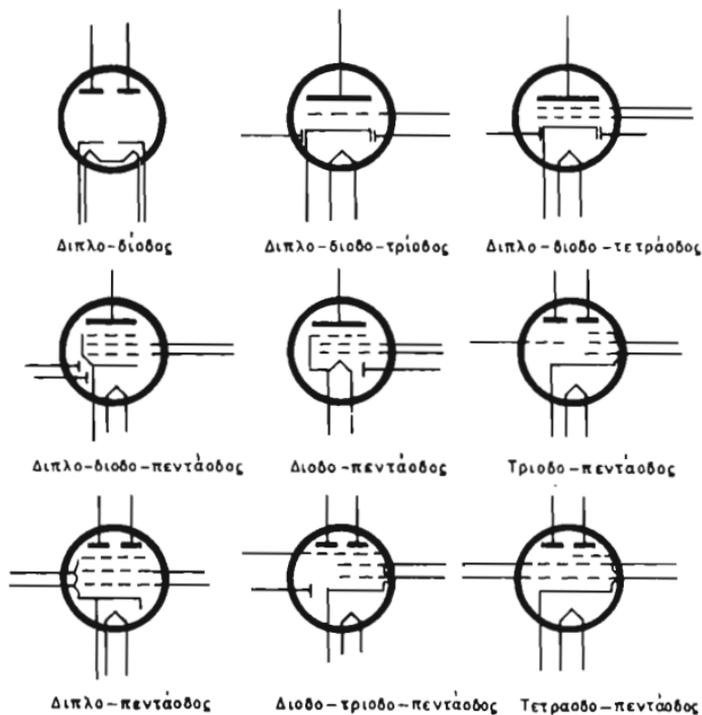
Τό ἀποτέλεσμα αὐτό μποροῦμε νά τό ἐπιτύχομε μέ εἰδική κατασκευή τῆς ἐσχάρας ἐλέγχου. Στίς συνηθισμένες πεντάοδους μέ σταθερή κλίση, ἡ ἐσχάρα ἐλέγχου ἔχει σταθερή ἐλίκωση. Γιά νά ἐπιτύχομε τή μεταβλητή κλίση, δίνομε στήν ἐλίκωση ἕνα βῆμα πυκνότερο πρὸς τὰ ἄκρα καί ἀραιότερο πρὸς τό μέσο τῆς ἐσχάρας (σχ. 1.6). Τό ἀνοδικό ρεῦμα ἀποκόπτεται ἔτσι πρῶτα ἀπό τὰ ἄκρα τῆς ἐσχάρας.

ζονται με τὸ συνδυασμὸ τῶν ὀνομάτων τους, ὅταν ἦταν χωρισμένες: π.χ., διπλο-δίοδος, τριπλο-τρίοδος, διοδο-τριοδο-πεντάοδος κ.λπ., ὅπως φαίνεται στὸ σχῆμα 1.7 β.



Σχ. 1.7 α.

Σχηματικὸ διάγραμμα λυχνιῶν πολλαπλῆς ἔσχάρας.

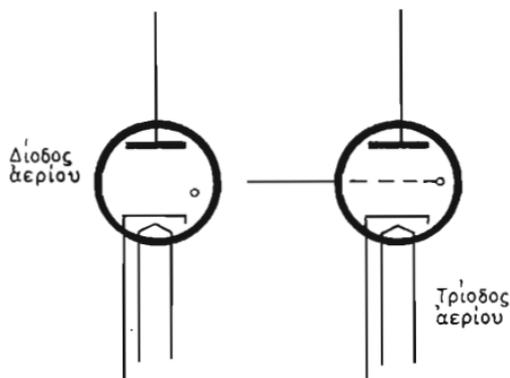


Σχ. 1.7 β.

Σχηματικὸ διάγραμμα πολλαπλῶν λυχνιῶν.

1·8 Λυχνίες αερίου.

Μέχρι τώρα εξετάσαμε λυχνίες που ήταν κενές από αέρα, δηλαδή κατά την κατασκευή είχε αφαιρεθεί ο αέρας από το έσωτερικό του κελύφους. Όπως είναι φυσικό, οι λυχνίες αυτές λέγονται και *λυχνίες κενού*.



Σχ. 1·8 α.

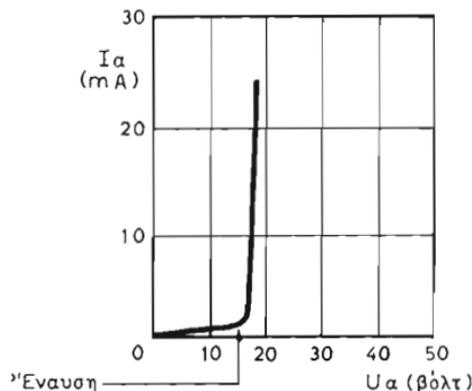
Σχηματικόν διάγραμμα λυχνιών αερίου.

Αν στη θέση του αέρα, μετά τη δημιουργία κενού, τοποθετηθεί ένα ειδικό αέριο, όπως άζωτο, νέο, άργο ή άτμοι υδραργύρου, προκύπτει μία νέα κατηγορία λυχνιών, οι λεγόμενες *λυχνίες αερίου*, που

σχηματικά παριστάνονται όπως και οι λυχνίες κενού, αλλά με μία τελεία στο πλάι, όπως στο σχήμα 1·8 α.

Η χαρακτηριστική καμπύλη (U_a, I_a) παίρνει τη μορφή του σχήματος 1·8 β, που είναι πολύ διαφορετική από τη χαρακτηριστική μιας διόδου λυχνίας με ύψηλο κενό (σύγκρινε με το σχήμα 1·2 δ).

Στην αρχή το ρεύμα — ή ένταση του ρεύματος — αυξάνεται σιγά-σιγά και κανονικά. Όταν όμως η άνοδική τάση φθάσει σε μία συγκεκριμένη τιμή (ανάμεσα στα 10 ως 20 βόλτ), το άνοδικό ρεύμα αυξάνεται απότομα και φθάνει μέχρι τον κόρο. Αυτή η κρίσιμη άνοδική τάση ονομάζεται *τάση έναύσεως* (έναυση θα πεί άναμμα). Η ακριβής τιμή της εξαρτάται από τη φύση του



Σχ. 1·8 β.

Χαρακτηριστική μιας διόδου λυχνίας με αέριο.

αερίου. Στην κατάσταση αυτή, η έσωτερική αντίσταση της λυχνίας γίνεται πολύ μικρή. Άν μάλιστα δέν υπάρχει στο έξωτερικό κύκλωμα της λυχνίας μία αρκετά μεγάλη αντίσταση, για να περιορίσει το ρεύμα, τότε η λυχνία καταστρέφεται πολύ γρήγορα.

Ή απότομη αύξηση του άνοδικού ρεύματος όφείλεται στο εξής φαινόμενο: Τά ηλεκτρόνια, που βγαίνουν από την κάθοδο, έπιταχύνονται από την άνοδική τάση. Καθώς χτυπούν με όρμη πάνω στα μόρια του αερίου, μπορούν να άποσπάσουν από αυτά άλλα, καινούργια ηλεκτρόνια. Τό φαινόμενο αυτό λέγεται *ιονισμός*. Έτσι, τά ηλεκτρόνια γίνονται περισσότερα. Συγχρόνως, τά μόρια που έχασαν ηλεκτρόνια μένουν φορτισμένα θετικά, γίνονται δηλαδή θετικά ίόντα. Τά θετικά ίόντα έλκονται προς την κάθοδο. Έκεϊ έξουδετερώνουν τό μεγαλύτερο μέρος από τό σύννεφο των ηλεκτρονίων της καθόδου, αυτό που όνομάσαμε καθοδικό φορτίο χώρου στην παράγραφο 1·1. Ή κάθοδος λοιπόν μπορεί να έκπέμπει τώρα εύκολα άκόμα πιό πολλά ηλεκτρόνια. Γι' αυτό και τό άνοδικό ρεύμα αύξάνεται, και μάλιστα άπότομα. Ή άπότομη αύξηση του ρεύματος όφείλεται στο ότι ό σχηματισμός ίόντων, ό ιονισμός του αερίου, προκαλείται άπότομα στην καθορισμένη τάση της έναύσεως.

Τέτοιες δίοδοι λυχνίες με άέριο χρησιμοποιοούνται ως άνορθωτές για μεγάλα ρεύματα. Ή λειτουργία τους όμως άπαιτεί όρισμένες προφυλάξεις (π.χ. πρέπει συνήθως ή κάθοδος να προθερμαίνεται, δηλαδή ή τάση θερμάνσεως του νήματος της καθόδου να εφαρμόζεται άρκετά πριν από την άνοδική τάση).

Ύπάρχουν επίσης και τρίοδοι λυχνίες, με άέριο σε χαμηλή πίεση. Όνομάζονται *θύρατρον*. Ή λειτουργία είναι παρόμοια με τη λειτουργία μις δόδου λυχνίας με άέριο. Ή έσχάρα όμως χρησιμεύει τώρα για να ρυθμίσομε την τάση έναύσεως. "Όσο άρνητικότερη είναι ή έσχάρα, τόσο ή άνοδική τάση πρέπει να είναι ύψηλότερη, για να έπιτευχθεί ό ιονισμός του αερίου και να έχομε την άπότομη αύξηση του άνοδικού ρεύματος. "Όταν όμως αυτό γίνει, τότε ή έσχάρα, που είναι άρνητική, περιβάλλεται από ένα σύννεφο θετικων ίόντων και παύει πια να έχει όποιαδήποτε επίδραση πάνω στο άνοδικό ρεύμα. Τό άνοδικό ρεύμα παύει πια να έλέγχεται από την τάση της έσχάρας, όσο και άν αυτή μεταβάλλεται. Για να σταματήσομε τό άνοδικό ρεύμα, δέν υπάρχει άλλος τρόπος παρά να χαμηλώσομε

τήν άνοδική τάση κάτω από μία όρισμένη τιμή. Τήν τιμή αυτή τή λέμε *τάση σβίσεως*. Κάτω από τήν άνοδική αυτή τάση, ό ίονισμός δέν μπορεί πιά νά συντηρηθεϊ καϊ τó άνοδικό ρεύμα πέφτει άπότομα (πρακτικά άποκόπτεται).

Λυχνίες ψυχρής καθόδου.

Άλλο είδος λυχνιών άερίου είναι καϊ οί λυχνίες ψυχρής καθόδου. Στις λυχνίες αυτές, πού είναι συνήθως διοδικές, ή κάθοδος δέν θερμαίνεται, δηλαδή δέν ύπάρχει κύκλωμα θερμάνσεως στην κάθοδο, καϊ γι' αυτό λέγονται *ψυχρής καθόδου*. Στήν κατασκευή είναι ίδιες μέ τις διόδους λυχνίες άερίου πού εξέτάσαμε παραπάνω, αλλά χωρίς θέρμανση τής καθόδου. Ή άρχή λειτουργίας καϊ τής λυχνίας αυτής είναι ίδια σχεδόν μέ τήν άρχή λειτουργίας τής διόδου λυχνίας άερίου μέ θερμή κάθοδο πού εξέτάσαμε παραπάνω. Δηλαδή, εφαρμόζεται μιá διαφορά δυναμικοῡ μεταξῡ άνόδου καϊ καθόδου, ή όποία προκαλει ίονισμό τοῡ άερίου πού βρίσκεται μέσα στο̄ κέλυφος τής λυχνίας. Τά θετικά ίόντα πού σχηματίζονται έτσι, έλκονται πρòς τήν κάθοδο, τή βομβαρδίζουν καϊ μ' αυτόν τόν τρόπο άποσπουν νέα ήλεκτρόνια, πού έλκονται πρòς τήν άνοδο. Βλέπομε λοιπόν ότι προκαλείται έκλυση ήλεκτρονίων άπό τήν κάθοδο, όχι μέ θέρμανση, αλλά μέ βομβαρδισμό άπό τά θετικά ίόντα τοῡ άερίου. Έχομε δηλαδή μιá δευτερογενή έκπομπή ήλεκτρονίων, πού συντηρεϊ τή ροή τοῡ ρεύματος μέσω τής λυχνίας.

1.9 Μέθοδοι πολώσεως.

Μέχρι τώρα είδαμε ότι γιά νά λειτουργήσουν οί διάφορες λυχνίες (τρίοδοι, τετράοδοι, πεντάοδοι κ.λπ.), πρέπεί νά έχει κάθε ήλεκτρόδιο ένα όρισμένο δυναμικό, δηλαδή μιá όρισμένη τάση.

Γιά νά ξαναθυμηθοῦμε τά δυναμικά αυτά, θά έπαναλάβομε έδω τά κυριότερα. Όπως έχομε δεϊ μέχρι τώρα, ως βάση (ως άναγωγή) γιά τή μέτρηση τών δυναμικων̄ χρησιμοποιεϊται τó ήλεκτρόδιο τής καθόδου. Δηλαδή σέ κάθε λυχνία τó δυναμικό τής καθόδου, πού συνήθως γειώνεται, θεωρεϊται ότι είναι μηδέν καϊ σέ σύγκριση μέ αυτό μετροῦνται τά δυναμικά τών άλλων ήλεκτροδίων. Άλλο σπουδαίο δυναμικό σέ μιá λυχνία είναι ή τάση τής άνόδου, δηλαδή τó θετικό δυναμικό τής άνόδου σέ σύγκριση μέ τήν κάθοδο,

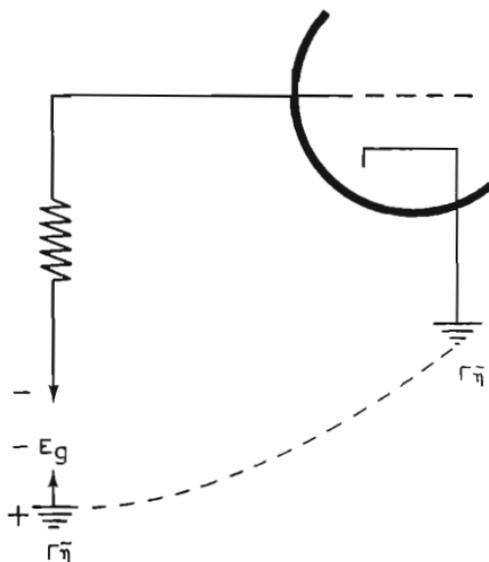
ώστε να μπορεί να διατηρηθεί ή ροή ηλεκτρονίων (ροή ρεύματος) από την κάθοδο προς την άνοδο.

Ένα άλλο επίσης ενδιαφέρον δυναμικό, και απαραίτητο για τη λειτουργία μιας λυχνίας (με τρία ηλεκτρόδια και πάνω) είναι το δυναμικό έσχάρας έλέγχου. Το δυναμικό αυτό είναι μία τάση, ή όποια έχει συνήθως αρνητική τιμή σε σχέση με την κάθοδο. Λέγεται *τάση πολώσεως*, ή απλώς *πόλωση*.

Τί χρειάζεται η πόλωση; Θα δούμε παρακάτω ότι η πόλωση έσχάρας είναι απαραίτητη για την κανονική λειτουργία μιας λυχνίας.

Δηλαδή με την πόλωση μας δίνεται ή δυνατότητα να ρυθμίζουμε την ποσότητα των ηλεκτρονίων (του ρεύματος) που περνά από την κάθοδο προς την άνοδο. Είναι δηλαδή μία βαλβίδα, με την όποια ρυθμίζουμε να έχουμε πότε μικρή και πότε μεγάλη ποσότητα ρεύματος στο κύκλωμα της ανόδου. Θα δούμε όμως τη μεγάλη σημασία της πολώσεως, όταν θα μιλήσουμε για την ένισχυση.

Για να εξασφαλίσουμε πόλωση σε μία λυχνία, μπορούμε να βάλουμε μία στήλη (ή ένα τροφοδοτικό συνεχούς τάσεως, όπως θα δούμε αργότερα) και να τη συνδέσουμε στην έσχάρα, όπως φαίνεται στο σχήμα 1.9 α (στήλη τάσεως $-E_g$). Γράφουμε μείον E_g , γιατί το μείον (-) της στήλης συνδέεται στην πλευρά της έσχάρας και το (+) συν στη γη, ώστε ή έσχάρα να είναι αρνητική ως προς τη γη. (Έδω ή γη θεωρείται ότι είναι το δυναμικό αναγωγής, όπως είναι και το δυναμικό καθόδου, γιατί ή κάθοδος συνδέεται με τη γη).



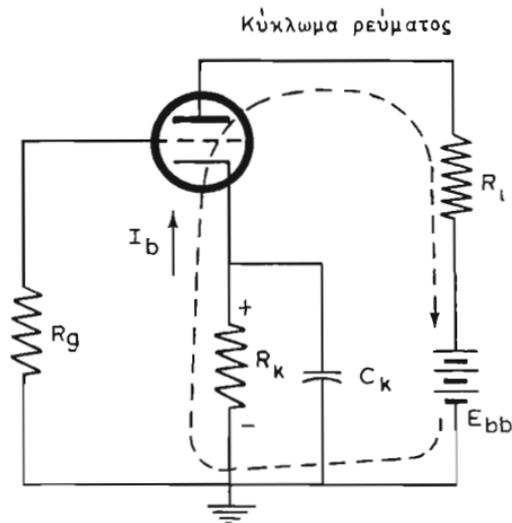
Σχ. 1.9 α.

Σχηματική αναπαράσταση χωριστής σταθερής πολώσεως.

Υπάρχουν όμως και άλλοι τρόποι πολώσεως, εκτός από την παραπάνω, που λέγεται *χωριστή πόλωση*. Είναι περισσότερο άπλοϊ και οικονομικοί, όπως η *πόλωση καθόδου*, και η *πόλωση διαρροής έσχάρας*, που δημιουργούν *αυτοπόλωση*, χωρίς να χρειάζεται να βάλουμε ξεχωριστή πηγή πολώσεως.

1. Πόλωση καθόδου.

Μία μέθοδος δημιουργίας αυτοπολώσεως είναι η πόλωση κα-



Σχ. 1·9 β.
Πόλωση καθόδου.

θόδου (σχ. 1·9 β). Στην περίπτωση αυτή η τάση πολώσεως έσχάρας δημιουργείται κατά μήκος της αντίστασεως καθόδου R_k .

Όταν η κάθοδος μιās λυχνίας έχει θετική πόλωση σε σχέση με την έσχάρα, η λυχνία λειτουργεί άκριβώς σαν να είχε τοποθετηθεί μία αρνητική πόλωση στην έσχάρα. Έπειδή η ροή του ρεύματος στη λυχνία γίνεται από την κάθοδο προς την άνοδο, η αντίσταση καθόδου R_k μπο-

ρεί να παρεμβληθεί στην κάθοδο και να δημιουργήσει μία πτώση τάσεως, λόγω άκριβώς της ύπαρξεως ροής ρεύματος. Πτώση τάσεως κατά μήκος μιās αντίστασεως είναι τὸ γινόμενο της αντίστασεως ἐπὶ τὸ ρεύμα που τὴ διαρρέει· ἡ πτώση αὐτὴ τῆς τάσεως εἶναι καὶ ἡ πόλωση τῆς καθόδου. Έπειδὴ τὸ ρεύμα ἔχει πάντοτε τὴν ἴδια κατεύθυνση, ἡ πτώση τῆς τάσεως παραμένει περισσότερο θετικὴ κοντὰ στὸ ἠλεκτρόδιο τῆς καθόδου. Έτσι δημιουργεῖται θετικὴ πόλωση καθόδου.

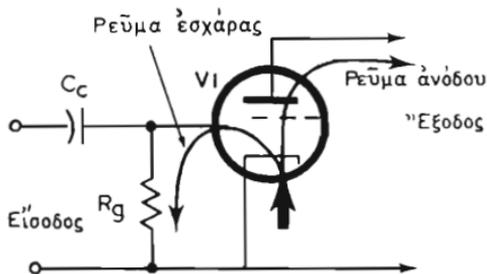
2. Πόλωση διαρροῆς έσχάρας.

Ένας ἄλλος τρόπος πολώσεως εἶναι ἡ πόλωση διαρροῆς έσχά-

ρας. Προκαλείται από το ρεύμα διαρροής έσχάρας, πού προέρχεται από το έναλλασσόμενο σήμα εισόδου και φορτίζει ένα κύκλωμα RC.

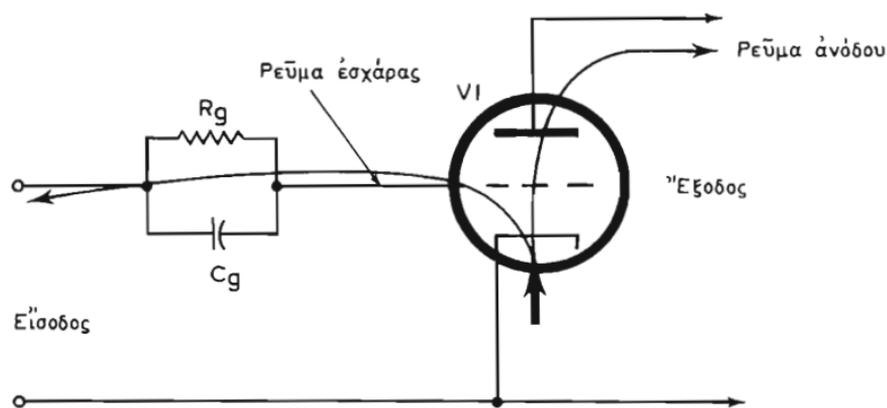
Γιά τήν πόλωση αυτή χρησιμοποιούνται δύο βασικά κυκλώματα, όμοια μόν, αλλά διαφορετικής συνδεσμολογίας, όπως βλέπομε στα σχήματα 1.9 γ και 1.9 δ.

Κατά τή λειτουργία τής τριοδικής λυχνίας, όταν υπάρχει και σήμα τάσεως εισόδου, ένα μέρος του ρεύματος τής λυχνίας μπαίνει στο κύκλωμα τής έσχάρας, δηλαδή ή έσχάρα τραβά ένα μικρό ρεύμα. Αυτό λέγεται *ρεύμα διαρροής έσχάρας*, πού προκαλεί και τήν πόλωσή της.



Σχ. 1.9 γ.

Πόλωση διαρροής έσχάρας σε παράλληλη σύνδεση.

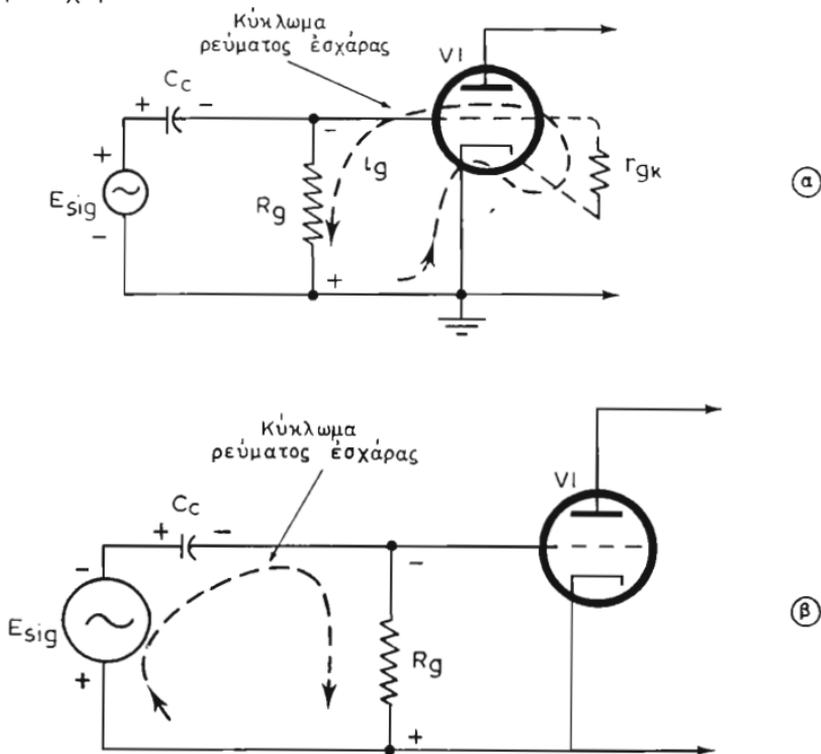


Σχ. 1.9 δ.

Πόλωση διαρροής έσχάρας σε σειρά.

Το κύκλωμα πολώσεως διαρροής έσχάρας και τών δύο τύπων ησιμοποιείται ως άνορθωτικό, για να δώσει μία συνεχή τάση ολώσεως, ανάλογη προς τή μέγιστη θετική τιμή του σήματος ου. Ό πυκνωτής διαρροής C_c λειτουργεί ως πυκνωτής συζεως, για τήν έφαρμογή του σήματος εισόδου στην έσχάρα. τή θετική ήμιπερίοδο του σήματος εισόδου, ή έσχάρα γίνεται

θετική και προκαλεί ροή ρεύματος από την κάθοδο προς την έσχαρά, και μέσω της αντίστασης διαρροής R_g με αποτέλεσμα να πέφτει ή τάση κατά μήκος της αντίστασης R_g , που πολώνει αρνητικά την έσχαρά.



Σχ. 1-9 ε.

‘Απλοποιημένο κύκλωμα φορτίσεως-έκφορτίσεως σε κάθε περίοδο του σήματος εισόδου: α) Κύκλωμα φορτίσεως. β) Κύκλωμα έκφορτίσεως.

‘Ο πυκνωτής διαρροής έσχαράς C_c συνδέεται σε σειρά προς το σήμα εισόδου, όπως βλέπουμε στο ισοδύναμο ηλεκτρικό κύκλωμα [σχ. 1 · 9 ε (α)]. ‘Όταν το σήμα εισόδου είναι θετικό, ο πυκνωτής συζεύξεως C_c φορτίζεται μέσω της έσωτερικής αντίστασης έσχαράς-καθόδου (r_{gk}). ‘Όταν το σήμα εισόδου (E_{sig}) είναι αρνητικό, ο πυκνωτής συζεύξεως C_c έκφορτίζεται [σχ. 1 · 9 ε (β)]. ‘Όσο το σήμα εισόδου είναι αρνητικό, το δυναμικό της έσχαράς μένει αρνητικό, και λόγω του φορτίου του πυκνωτή C_c και λόγω του αρνητικού

σήματος εισόδου, και συνεπώς δεν υπάρχει ροή ρεύματος στο κύκλωμα έσχάρας. Με ανάλογο τρόπο λειτουργεί και η πόλωση του κυκλώματος διαρροής έσχάρας σε σειρά (σχ. 1·9 δ). Βλέπομε δηλαδή και στις δύο περιπτώσεις του σχήματος 1·9 ε ότι η αντίσταση πολώσεως έσχάρας R_g (άντίσταση διαρροής) διαρρέεται από ρεύμα, που έχει πάντοτε την ίδια φορά (από πάνω προς τα κάτω). Έτσι το πάνω μέρος της αντίστασεως R_g είναι πάντα άρνητικό, και δίνει την πόλωση της έσχάρας.

1·10 Έρωτήσεις.

1. Από τί αποτελείται μία διοδική λυχνία;
2. Τι είναι το καθοδικό φορτίο χώρου;
3. Τι λέγεται δυναμικό, και σε σχέση με τι μετριέται;
4. Τι είναι τα θετικά και άρνητικά ιόντα;
5. Πώς τακτοποιούνται τα ηλεκτρόνια γύρω από τον πυρήνα του ατόμου;
6. Με ποιές μεθόδους μπορούμε να προκαλέσουμε έκπομπή ηλεκτρονίων;
7. Τι είναι δευτερογενής έκπομπή ηλεκτρονίων;
8. Γιατί αφαιρείται ο αέρας από το έσωτερικό μιας λυχνίας;
9. Συνδέστε μία διοδική λυχνία σ' ένα κύκλωμα.
10. Περιγράψτε το μηχανισμό κινήσεως των ηλεκτρονίων στο κύκλωμα διοδικής λυχνίας.
11. Ποιά τμήματα περιλαμβάνει μία χαρακτηριστική καμπύλη διοδικής λυχνίας, ποιά παρουσιάζουν κάποια καμπυλότητα και γιατί;
12. Τι είναι η ανόρθωση ή φώραση;
13. Ποιούς τύπους δίοδων έχουμε;
14. Τι είναι η τριοδική λυχνία και πώς λειτουργεί;
15. Συνδέστε μία τριοδική λυχνία σ' ένα κύκλωμα.
16. Χαράξτε μία ομάδα χαρακτηριστικών καμπυλών τριοδικής λυχνίας.
17. Πώς υπολογίζεται η έσωτερική αντίσταση μιας τριοδικής λυχνίας;
18. Χαράξτε μία οικογένεια από χαρακτηριστικές καμπύλες έσχάρας τριοδικής λυχνίας.
19. Τι είναι συντελεστής ένισχύσεως μιας τριοδικής λυχνίας;
20. Τι είναι η διαγωγιμότητα ή κλίση μιας τριόδου λυχνίας, και με τι ισούται σε σχέση με την έσωτερική αντίσταση και τον συντελεστή ένισχύσεως;
21. Που όφείλεται η παραμόρφωση στο άνοδικό ρεύμα τριοδικής λυχνίας;
22. Δώστε ένα σχηματικό διάγραμμα της παρασιτικής χωρητικότητας ξυ ηλεκτροδίων μιας τριοδικής λυχνίας.
23. Πώς μπορούμε να έλαττώσουμε την παρασιτική χωρητικότητα έσχάρας ου;
24. Χαράξτε μία ομάδα χαρακτηριστικών καμπυλών τετραόδου. Που όφείλη άνωμαλία της καταδύσεως;

25. Περιγράψτε μία πενταοδική λυχνία.
 26. Γιατί δέν παρατηρείται άνωμαλία καταδύσεως στις χαρακτηριστικές άνόδου μιās πενταόδου λυχνίας;
 27. Τί είναι ή πεντάοδος μεταβλητοῦ μ ;
 28. Δώστε μερικά παραδείγματα πολλαπλών λυχνιών.
 29. Πώς λειτουργεί μία λυχνία άερίου;
 30. Ποῦ χρησιμοποιούνται οί λυχνίες άερίου;
-

Κ Ε Φ Α Λ Α Ι Ο 2

ΚΡΥΣΤΑΛΛΟΛΥΧΝΙΕΣ (ΤΡΑΝΖΙΣΤΟΡΣ)

2·1 Είσαγωγή.

Μέχρι πριν λίγα χρόνια, βασικό όργανο για τις διάφορες λειτουργίες τῶν ἠλεκτρονικῶν συσκευῶν ἦταν ἡ ἠλεκτρονική λυχνία, ὅπως εἶδαμε στὸ Κεφάλαιο 1.

Κατὰ τὰ τελευταῖα ὅμως χρόνια, οἱ ἠλεκτρονικὲς λυχνίες ἐκτοπίζονται ὅλο καὶ περισσότερο ἀπὸ ἓνα νέο εἶδος ὀργάνου, ποῦ ὀνομάζεται *κρυσταλλολυχνία* (ἢ τρανζίστορς). Καὶ αὐτὸ συμβαίνει, γιατί οἱ κρυσταλλολυχνίες παρουσιάζουν, ὅπως θὰ δοῦμε, πολλὰ πλεονεκτήματα σὲ σύγκριση μὲ τις ἠλεκτρονικὲς λυχνίες (χωρὶς βέβαια νὰ λείπουν ἐντελῶς καὶ ὀρισμένα μειονεκτήματα).

2·2 Ἡμιαγωγοί.

Ὅπως ξέρομε, τὰ μέταλλα εἶναι καλοὶ ἀγωγοί. Ἡ ἀγωγιμότητά τους ὀφείλεται, σὲ πολὺ μεγάλο βαθμὸ, στὰ ἐλεύθερα ἠλεκτρόνια, ποῦμποροῦν νὰ μετακινουῦνται μὲ ἀρκετὴ εὐκολία μέσα ἀπὸ τὸ πλέγμα τῶν ἰόντων τοῦ μετάλλου. Ἀντίθετα, ἄλλα στερεὰ σώματα, ὅπως π.χ. ἡ πορσελάνη καὶ τὸ γυαλί, δὲν διαθέτουν ἐλεύθερα ἠλεκτρόνια, καὶ εἶναι μονωτικά. Σὲ ἓνα μονωτικὸ σῶμα, πρακτικὰ, ὅλα τὰ ἠλεκτρόνια εἶναι δεσμευμένα, δηλαδή δὲνμποροῦν νὰ ἀποσπαστοῦν εὐκολὰ ἀπὸ τὰ ἄτομα καὶ τὰ μόρια, στὰ ὁποῖα ἀνήκουν. Ἔτσι, ἡ ἀγωγιμότητα ἑνὸς μονωτικοῦ εἶναι πρακτικὰ μηδενική.

Ἀνάμεσα σ' αὐτὲς τις δύο ἄκραῖες περιπτώσεις (καλοὶ ἀγωγοὶ καὶ καλὰ μονωτικά) ὑπάρχει καὶ ἡ ἐνδιάμεση περίπτωση ἡ περίπτωση τῶν ἡμιαγωγῶν. Ἡμιαγωγός, λοιπόν, εἶναι στερεὸ σῶμα, ποῦ παρουσιάζει μικρὴ ἀγωγιμότητα. Ἡ ἀγωγιμότητα αὐτὴ εἶναι ὀλὺ μικρότερη ἀπὸ τὴν ἀγωγιμότητα ἑνὸς μετάλλου, ἀλλὰ μεγαλῦνται ἀπὸ τὴν ἀγωγιμότητα ἑνὸς καλοῦ μονωτικοῦ.

Ἡ ἀγωγιμότητα τῶν ἡμιαγωγῶν, αὐτὴ ἡ μικρὴ ἔστω ἀγωγιμότητα, ὀφείλεται στὸ γεγονός ὅτι τὰ σώματα αὐτὰ περιέχουν ἀριθμὸ ἀπὸ ἐλεύθερα ἠλεκτρόνια. Μὲ τὴν ἐπίδραση ἐξωτερικῆς

τάσεως, ό ήμιαγωγός διαρρέεται από άσθενές ρεύμα. Ό τρόπος σχηματισμού του ρεύματος είναι πιό πολύπλοκος από ό,τι στα μέταλλα. Άρκει νά ποιμε ότι, τó ρεύμα δέν σχηματίζεται στην πραγματικότητα μόνο από μετακίνηση ελεύθερων ήλεκτρονίων, που είναι, όπως ξέρομε, φορείς άρνητικού ήλεκτρισμού, αλλά και από μετακίνηση άλλων ιδιότυπων θετικῶν φορέων (που θά τούς ονομάσομε *οπείς*). Ό μηχανισμός τῆς άγωγιμότητας έξ άλλου, είναι τέτοιος, ώστε ή άγωγιμότητα νά αύξάνεται μέ τῆ θερμοκρασία του ήμιαγωγού, αντίθετα δηλαδή από ό,τι συμβαίνει στα μέταλλα.

Άκόμα, ή άγωγιμότητα ενός ήμιαγωγού εξαρτάται πολύ από τῆ χημική του καθαρότητα (καθώς και από όρισμένες άλλες συνθήκες). Πρέπει λοιπόν νά ξεχωρίσομε τούς χημικά καθαρούς ήμιαγωγούς, που λέγονται *αυτοτελείς ήμιαγωγοί*, και εκείνους που περιέχουν ξένες προσμίξεις, που λέγονται *ήμιαγωγοί προσμίξεως*.

Έπειδή ή μελέτη τῶν ήμιαγωγῶν δέν θά είναι και τόσο εύκολη, θά άπλοποιήσομε τά φαινόμενα, ώστε ή εξήγηση νά γίνει περισσότερο άντιληπτή.

2.3 Έ κρυσταλλική δομή (γερμάνιο και πυρίτιο).

Περισσότερο χρησιμοποιούμενοι ήμιαγωγοί είναι τó γερμάνιο (χημικό σύμβολο Ge) και τó πυρίτιο (σύμβολο Si). Πιό κάτω θά άσχοληθοῦμε κυρίως μέ τó γερμάνιο, αλλά όσα θά ποιμε γι' αυτό θά ισχύουν και γιά τó πυρίτιο, έκτός από όρισμένες διαφορές τους, που οί κυριότερες θά αναφερθοῦν.

Τó γερμάνιο, όπως και τó πυρίτιο, είναι χημικό στοιχείο, που παρουσιάζεται, στις συνηθισμένες θερμοκρασίες, ως στερεό κρυσταλλικό σῶμα. Άς υπενθυμίσομε ότι κρύσταλλος λέγεται τó σῶμα, που, τά άτομα που τó άποτελοῦν είναι τακτοποιημένα στο χῶρο μέ τέτοιο τρόπο, ώστε νά σχηματίζουν κατá ομάδες κανονικά γεωμετρικά σχήματα, που έπαναλαμβάνονται σέ όλη τῆν έκταση του σώματος. Τά άτομα σχηματίζουν έτσι ένα κανονικό δίκτυο, που ονομάζεται *κρυσταλλικό πλέγμα*.

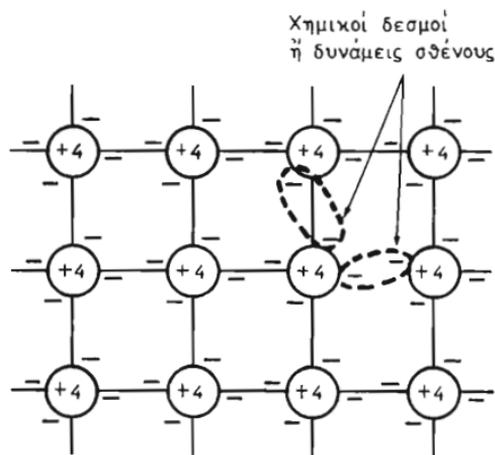
Μέσα σέ έναν κρύσταλλο, τά άτομα, που τόν άποτελοῦν, συνδέονται μεταξύ τους μέ όρισμένες *δυνάμεις συνοχής* ή *συνεκτικές δυνάμεις*. Υπάρχουν διάφορα είδη δυνάμεων συνοχής. Στην περίπτωση του γερμανίου, που μᾶς ενδιαφέρει εδώ, ή δύναμη δημιουργείται ως εξῆς:

Κάθε άτομο γερμανίου συνδέεται με άλλα 4 γειτονικά άτομα. Ἡ δύναμη συνοχής δημιουργείται με τή βοήθεια τῶν ἐξωτερικῶν ἠλεκτρονίων τῶν ἀτόμων, πού γι' αὐτό ἀλλωστε ὀνομάζονται καί *ἠλεκτρόνια σθένους*, ἐνῶ ἡ δύναμη συνοχής ὀνομάζεται *δύναμη σθένους*. Ὅταν δύο άτομα συνδέονται μεταξύ τους, ἓνα ἐξωτερικό ἠλεκτρόνιο ἀπό κάθε άτομο σχηματίζει ἓνα ζευγάρι ἠλεκτρονίων, κοινὸ καί γιὰ τὰ δύο άτομα. Ὁ σχηματισμὸς ἐνὸς τέτοιου ζεύγους ἀπὸ ἠλεκτρόνια, πού ἀνήκουν ταυτόχρονα καί στὰ δύο άτομα, δημιουργεῖ ἀκριβῶς μεταξύ τῶν ἀτόμων μία δύναμη. Κάθε άτομο γερμανίου συνδέεται με 4 τέτοιες ὀμοιοπολικές δυνάμεις πρὸς 4 γειτονικά άτομα τοῦ κρυσταλλικοῦ πλέγματος τοῦ σχήματος 2·3.

Εἶπαμε προηγουμένως ὅτι τὸ άτομο τοῦ γερμανίου ἔχει 4 ἐξωτερικά ἠλεκτρόνια. Δὲν ἔχει ὁμως μόνο αὐτά. Ὑπάρχουν ἄλλα 28 ἠλεκτρόνια, κατανεμημένα στοὺς ἐσωτερικούς ἠλεκτρονικούς φλοιούς τοῦ ἀτόμου. Ἔτσι κάθε άτομο ἔχει συνολικά 32 ἠλεκτρόνια. Τὸ ἀρνητικὸ ἠλεκτρικὸ φορτίο αὐτῶν τῶν ἠλε-

κτρονίων ἐξουδετερώνεται ἀπὸ τὰ 32 πρωτόνια τοῦ πυρήνα, πού φέρουν θετικὸ φορτίο: ἄρα ὁ κρυσταλλὸς τοῦ γερμανίου εἶναι ἠλεκτρικὰ οὐδέτερος. Ἄν δὲν λάβομε ὑπ' ὄψη μας τὰ 4 ἐξωτερικά ἠλε-

νια, τότε περισσεύουν βέβαια τὰ θετικὰ φορτία 4 πρωτονίων. ὁμο παρουσιάζεται δηλαδή φορτισμένο με 4 θετικὰ στοιχειώδη ὀρτία. Τέτοια φορτισμένα άτομα ὀνομάζονται, ὅπως ξέρομε, *ιόντα* καὶ *ιόντα*, στὴν περίπτωσή μας).



Σχ. 2.3.

Ἀπλοποιημένη μορφή τοῦ κρυσταλλικοῦ πλέγματος (στὴν πραγματικότητα τὸ πλέγμα δὲν εἶναι ἐπίπεδο, ἀλλὰ ἐκτείνεται καί πρὸς τὶς τρεῖς διαστάσεις τοῦ χώρου).

2.4 Έλεύθερα ηλεκτρόνια και όπές.

“Όπως είπαμε, αν ένας κρύσταλλος γερμανίου είναι τελείως καθαρός από ξένες προσμίξεις (δηλαδή αποτελείται αποκλειστικά από άτομα γερμανίου, τακτοποιημένα σε κανονικό πλέγμα), τότε ο κρύσταλλος αποτελεί κανονικό άμιγή ήμιαγωγό.

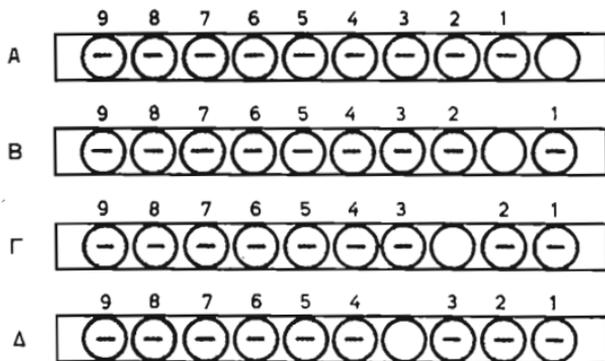
“Ενας τέτοιος αυτότελής ήμιαγωγός δέν διαθέτει έλεύθερα ηλεκτρόνια. Θεωρητικά μάλιστα δέν διαθέτει καθόλου έλεύθερα ηλεκτρόνια, άφοϋ όλα τὰ έξωτερικά ηλεκτρόνια τών ατόμων είναι δεσμευμένα με δυνάμεις σθένους, πού τις ονομάζομε και *χημικούς δεσμούς*. Στην πραγματικότητα όμως υπάρχουν διάφορες αίτιες πού συντελούν, ώστε μερικά ηλεκτρόνια, αν και όλιγάριθμα, να έλευθερώνονται και να συμπεριφέρονται σαν έλεύθερα. Έτσι ο αυτότελής ήμιαγωγός δέν είναι τελείως μονωτικός (όπως θα τó ήθελε ή θεωρία), αλλά παρουσιάζει μία μικρή άγωγιμότητα, πού τή λέμε *ένδογενή άγωγιμότητα*. Τὰ έλεύθερα ηλεκτρόνια δημιουργούνται είτε από θέρμανση, είτε από φωτισμό του ήμιαγωγού.

Τὰ έλεύθερα ηλεκτρόνια (θερμικά ή φωτοηλεκτρικά) μπορούν, υπό τήν επίδραση έξωτερικής τάσεως, να σχηματίσουν ηλεκτρικό ρεύμα. Σ' αυτό τó ρεύμα ηλεκτρονίων προστίθεται και ένα άλλο ρεύμα, πού ή ύπαρξή του δέν φαίνεται εύκολα. Η σημασία του, όμως, είναι τó ίδιο μεγάλη, όσο και ή σημασία του ρεύματος ηλεκτρονίων. Πρέπει, λοιπόν, να έξηγήσομε τó ζήτημα αυτό.

“Όταν ένα ηλεκτρόνιο σπάζει τή δύναμη σθένους του και έλευθερώνεται, αφήνει βέβαια πίσω του μία άδειανή θέση. Τó άτομο από όπου τó ηλεκτρόνιο έφυγε, έχει ένα ηλεκτρόνιο λιγότερο από τή συνηθισμένη ούδέτερη κατάσταση, άρα του περισσεύει ένα θετικό φορτίο πρωτονίου, δηλαδή τó άτομο γίνεται θετικό ίόν.

Τó θετικό ίόν τείνει να αναπληρώσει τó ηλεκτρόνιο πού του λείπει, για να δημιουργήσει τή συνεκτική δύναμη σθένους και να γυρίσει στην ούδέτερη κατάσταση. Βοηθείται σ' αυτό από τή θερμική κίνηση τών γειτονικών του ατόμων. Έτσι ένα ηλεκτρόνιο ενός γειτονικού ατόμου δέν άργει να τραβηχτεί από τó θετικό ίόν. Τότε όμως τó ηλεκτρόνιο αυτό αφήνει πίσω του μία άλλη άδειανή θέση. Στη θέση αυτή έλκεται ένα άλλο ηλεκτρόνιο, πού αφήνει πάντα πίσω του μία νέα άδειανή θέση, κ.ο.κ.

Κάθε ἀδειανή θέση ποὺ μετακινεῖται ἀπὸ ἄτομο σὲ ἄτομο μὲ τὸν τρόπο ποὺ περιγράψαμε, ὀνομάζεται *ὀπή*. Γιὰ νὰ καταλάβομε καλύτερα τὸ μηχανισμό κινήσεως τῶν ὀπῶν, ἄς παρατηρήσομε τὸ σχῆμα 2.4 καὶ ἄς ὑποθέσομε ὅτι διάφορα ἠλεκτρόνια βρίσκονται τὸ ἓνα πίσω ἀπὸ τὸ ἄλλο σὲ ἓνα σωλήνα, ὅπου τὸ τελευταῖο πρὸς τὰ δεξιὰ ἠλεκτρόνιο λείπει, καὶ στὴ θέση του εἶναι μία ὀπή [κατάσταση (Α)]. Ἡ ὀπή τραβᾷ τὸ πλησιέστερο ἠλεκτρόνιο (ἀριθ. 1) πρὸς τὰ δεξιὰ καὶ ἡ θέση 1 μένει κενή (δηλαδὴ γίνεται ὀπή), ὅπως φαίνεται στὴν κατάσταση (Β). Τώρα ἡ ὀπή αὐτὴ τραβᾷ τὸ ἠλεκτρόνιο ἀριθ. 2 καὶ στὴ θέση του μένει μία νέα ὀπή [κατάσταση (Γ)]. Ἡ ὀπή αὐτὴ μὲ τὴ σειρά της τραβᾷ τὸ ἠλεκτρόνιο ἀριθ. 3 καὶ στὴ θέση της μένει μία νέα ὀπή [κατάσταση (Δ)] κ.ο.κ. Ἡ ὀπή, ἐπειδὴ τῆς λείπει ἠλεκτρόνιο, εἶναι θετικὸ ἰόν, δηλαδὴ φέρει θετικὸ φορτίο. Γι' αὐτὸ λέγεται καὶ *φορέας θετικοῦ φορτίου*. Ἀντίθετα, ἓνα ἠλεκτρόνιο λέγεται *φορέας ἀρνητικοῦ φορτίου*, γιατί φέρει ἀρνητικὸ φορτίο.



Σχ. 2.4.
Κίνηση ὀπῶν.

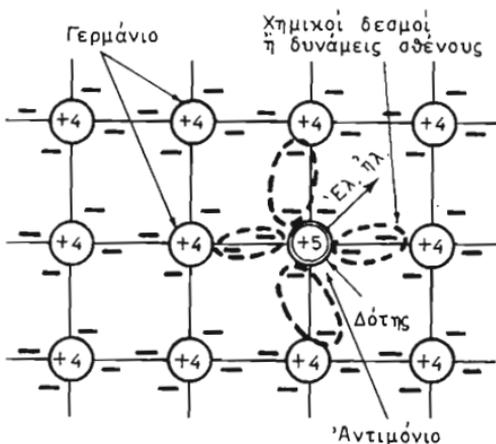
Στὸ σχῆμα 2.4 παρατηροῦμε ἐπίσης ὅτι οἱ ὀπές, δηλαδὴ οἱ φορεῖς θετικῶν φορτίων, κινοῦνται πρὸς τὰ ἀριστερά, εἶναι δηλαδὴ κινούμενοι φορεῖς θετικοῦ φορτίου καὶ συμπεριφέρονται σὰν θετικὰ ἰόντα.

Μὲ τὴν ἐπίδραση μιᾶς ἐξωτερικῆς τάσεως δὲν ἔχομε μόνο μετακίνηση ἠλεκτρονίων πρὸς τὸ θετικὸ πόλο τῆς ἐξωτερικῆς πηγῆς, ἀλλὰ ἔχομε συγχρόνως καὶ ἀντίθετη μετακίνηση τῶν θετικῶν ὀπῶν

πρός τον άρνητικό πόλο τής πηγής. Τέτοιες αντίθετες μετακινήσεις αντίθετων φορέων σχηματίζουν ρεύματα, πού προστίθενται. Έτσι, τὸ συνολικὸ ρεύμα τοῦ ἡμιαγωγοῦ εἶναι τὸ ἄθροισμα ἑνὸς ρεύματος ἠλεκτρονίων καὶ ἑνὸς ρεύματος ὀπῶν.

2·5 Ἡμιαγωγοὶ προσμίξεως (τύπου n καὶ τύπου p).

Μιλήσαμε, μέχρι τώρα, γιὰ τοὺς αὐτοτελεῖς ἡμιαγωγούς, ὅπως εἶναι π.χ. τὸ καθαρὸ γερμάνιο. Γιὰ νὰ μπορούμε νὰ θεωρήσομε τὸ γερμάνιο ὡς *καθαρό*, πρέπει τὸ κρυσταλλικὸ πλέγμα νὰ μὴν περιέχει ξένα ἄτομα. Τώρα θὰ ἐξετάσομε τοὺς ἡμιαγωγούς προσμί-



Σχ. 2·5 α.

Δότης (+ 5) μέσα σὲ κρυσταλλικὸ πλέγμα γερμανίου.

ξεως, πού περιέχουν δη-
λαδὴ ξένα ἄτομα σὲ μικρὸ ποσοστὸ. Μία μικρὴ δόση προσμίξεως εἶναι ἀρκετὴ γιὰ νὰ αὐξήσει σημαντικὰ τὴν ἀγωγιμότητα τοῦ ἡμιαγωγοῦ καὶ νὰ ἀλλάξει οὐσιαστικὰ τὶς ιδιότητές του. Τὸ νέο εἶδος ἀγωγιμότητας, πού ὀφείλεται στὴν παρουσία προσμίξεων, ὀνομάζεται *ἐξωγενὴς ἀγωγιμότητα* (σὲ ἀντίθεση πρὸς τὴν *ἐνδογενὴ ἀγωγιμότητα* τοῦ καθαροῦ αὐτοτελοῦς ἡμιαγωγοῦ).

Ἐς δοῦμε, πρῶτα, τὴν περίπτωση προσμίξεως μὲ ἓνα πεντασθενὲς στοιχεῖο, π.χ. μὲ ἀντιμόνιο (σύμβολο Sb). Ὅπως εἶπαμε, τὸ ποσοστὸ προσμίξεως εἶναι γενικὰ πολὺ μικρὸ, ὁπότε ἓνα ὀρισμένο ἄτομο ἀντιμονίου περιβάλλεται, μέσα στὸ κρυσταλλικὸ πλέγμα ἀπὸ ἄτομα γερμανίου καὶ μόνο. Στὸ σχῆμα 2·5 α ἓνα τέτοιο ἄτομο ἀντιμονίου ἔχει σημειωθεῖ μὲ τὸ σύμβολο + 5.

Τὸ ἄτομο τοῦ ἀντιμονίου ἔχει 5 ἐξωτερικὰ ἠλεκτρόνια, πού μόνο τὰ 4 ἀπασχολοῦνται σὲ δυνάμεις σθένους, μὲ ἰσάριθμα γειτονικὰ ἄτομα γερμανίου. Μένει λοιπὸν ἓνα ἐξωτερικὸ ἠλεκτρόνιο, πού πολὺ εὐ-

κολα μπορεί να αποσπαστεί από το άτομο αντιμονίου και να ελευθερωθεί (πολύ ευκολότερα από ό,τι ένα εξωτερικό ηλεκτρόνιο γερμανίου). Η απόσπασση απαιτεί ένα μικρό ποσό ενέργειας, που παρέχεται εύκολα από την κινητική ενέργεια, λόγω θερμάνσεως. Άρα, κάθε άτομο προσμίξεως δίνει από ένα ελεύθερο ηλεκτρόνιο. Για το λόγο αυτό, τα άτομα πεντασθενούς προσμίξεως ονομάζονται δότες (δίνουν ηλεκτρόνια).

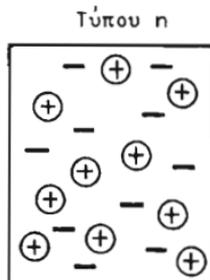
Έτσι, ενώ έχουμε σημαντική αύξηση των ελεύθερων ηλεκτρονίων, έχουμε συγχρόνως μείωση των όπών που υπήρχαν στον καθαρό κρύσταλλο, γιατί αυτές καταλαμβάνονται από τα ελεύθερα ηλεκτρόνια του δότη. Γι' αυτό λέμε ότι σε ένα τέτοιο ήμιαγωγό προσμίξεως τα ελεύθερα ηλεκτρόνια είναι πλειοψηφούντες φορείς, ενώ οι όπες είναι μειοψηφούντες φορείς.

Επειδή τα ηλεκτρόνια φέρουν αρνητικό ηλεκτρισμό, ένας ήμιαγωγός με δότες (με πεντασθενή πρόσμιξη) λέγεται ήμιαγωγός τύπου n (το n είναι το πρώτο γράμμα της λέξεως negative, που σημαίνει αρνητικός).

Το σχήμα 2.5 β παριστάνει ένα ήμιαγωγό τύπου n, όπου κάθε άτομο προσμίξεως (+) συνοδεύεται και από ένα ελεύθερο ηλεκτρόνιο (-).

Ας έλθουμε, τώρα, στην περίπτωση προσμίξεως με τρισθενές στοιχείο, π.χ. με γάλλιο (σύμβολο Ga).

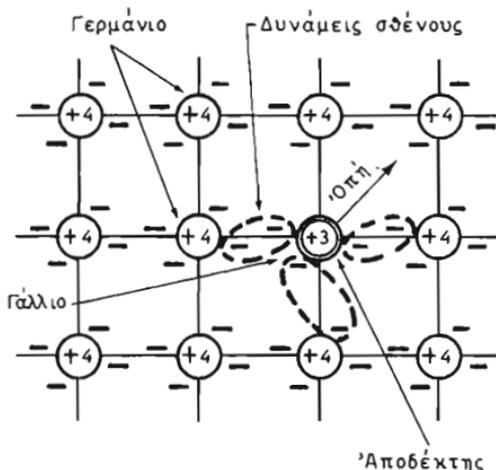
Όσα είπαμε προηγουμένως, λίγο-πολύ αντιστρέφονται. Ένα άτομο τρισθενές έχει μόνο 3 εξωτερικά ηλεκτρόνια, ενώ του χρειάζονται 4 ηλεκτρόνια για να συμπληρώσει όλες τις δυνάμεις σθένους τα γειτονικά άτομα γερμανίου. Το άτομο προσμίξεως μπορεί, λοιπόν, να προσλάβει το ηλεκτρόνιο που του λείπει, από κάποιο άλλο κοντινό άτομο γερμανίου. Τότε όμως, το ηλεκτρόνιο αυτό φέρνει πίσω του μία νέα όπή, ή όποια μετακινείται παραπέρα, όπως στην περίπτωση της ενδογενούς αγωγιμότητας. Αυτό φαίνεται στο σχήμα 2.5 γ, όπου το άτομο της τρισθενούς προσμίξεως σημειωθεί με το σύμβολο + 3. Επειδή τα άτομα τρισθε-



⊕ Δότες
 - Ήλευθερα ηλεκτρόνια
 Σχ. 2.5 β.
 Ήμιαγωγός τύπου n.

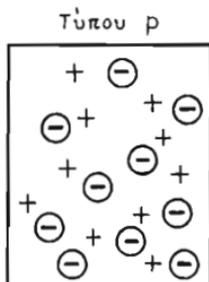
νοῦς προσμίξεως δέχονται ἠλεκτρόνια καὶ δημιουργοῦν ὀπές, τὰ ὀνομάζομε ἀποδέκτες.

Ἔτσι τῶρα ἔχομε περισσότερες ὀπές. Τὰ περισσότερα ἀπὸ τὰ ἐλεύθερα ἠλεκτρόνια ποῦ ὑπῆρχαν στὸν καθαρὸ κρυσταλλο ἐξουδετερώνονται ἀπὸ ὀπές. Ἄρα, πλειοψη-



Σχ. 2·5 γ.

Ἄποδέκτης (+ 3) μέσα στὸ κρυσταλλικὸ πλέγμα γερμανίου.



⊖ Ἄποδέκτες
+ ὀπές

Σχ. 2·5 δ.

Ἡμιαγωγὸς τύπου ρ.

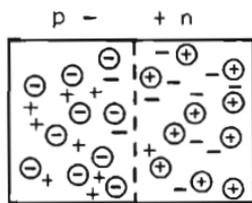
φοῦντες φορεῖς εἶναι τῶρα οἱ ὀπές, ἐνῶ τὰ ἐλεύθερα ἠλεκτρόνια εἶναι μειωθηφοῦντες φορεῖς. Ἡ ἀγωγιμότητα τοῦ ἡμιαγωγοῦ ὀφείλεται σχεδὸν ἀποκλειστικὰ σὲ μετακίνηση θετικῶν φορέων (τῶν ὀπῶν). Γι' αὐτὸ ὁ ἡμιαγωγὸς λέγεται τύπου ρ (ρ ἀπὸ τὴ λέξη positive = θετικός). Τὸ σχῆμα 2·5 δ παριστάνει ἕνα ἡμιαγωγὸ τύπο ρ (παραλείποντας πάντοτε νὰ σημειώσομε τὰ ἄτομα τοῦ γερμανίου). Κάθε ἄτομο προσμίξεως (γάλλιο) σημειώνεται μὲ (—), ἐπειδὴ τοῦ λείπει ἕνα ἠλεκτρόνιο, καὶ συνοδεύεται ἀπὸ μία ὀπή (+).

2·6 Ἐπαφὴ ἢ συνένωση.

Τὰ διάφορα εἶδη ἡμιαγωγῶν (ἀμιγῆς, τύπου n, τύπου ρ) δὲν ἔχουν καμιὰ ἰδιαίτερη χρησιμότητα, ὅταν τὰ παίρνομε τὸ καθένα ξεχωριστά. Ἡ χρησιμότητά τους φανερώνεται, ὅταν τὰ συνδέσομε μεταξύ τους καί, εἰδικότερα, ὅταν πάρομε ἕνα ἡμιαγωγὸ τύπου ρ καὶ ἕναν ἄλλον τύπου n καὶ τοὺς φέρομε σὲ στενὴ ἐπαφὴ μεταξύ τους ἔτσι, ὥστε νὰ σχηματίσουν ἕνα σύνολο, ὅπως στὸ σχῆμα 2·6 α.

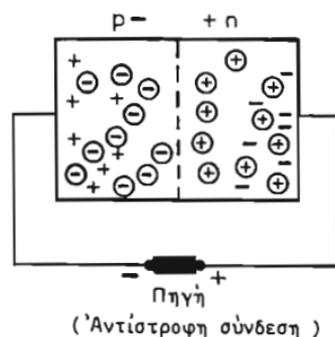
Ένα τέτοιο σύνολο το ονομάζουμε έπαφή p-n. Άν και δέν υπάρχει έξωτερική πηγή, ώστόσο όρισμένα έλευθερα ήλεκτρονια περνούν από τήν περιοχή n στην περιοχή p, διασχίζοντας τήν έπαφή, ένω μερικές όπες περνούν από τήν περιοχή p στην περιοχή n, διασχίζοντας τήν έπαφή. Αυτό το πέραςμα φορέων στις αντίθετες περιοχές όνομάζεται *διάχυση*.

Ή διάχυση έχει τὰ έξής άποτελέσματα: Οί δύο πλευρές τής έπαφής φορτίζονται μέ αντίθετα φορτία. Έτσι άνάμεσα στις δύο περιοχές του ήμιαγωγού άναπτύσσεται μία ήλεκτρική τάση, ένα είδος έσωτερικής ήλεκτρεγερτικής δυνάμεως (ΗΕΔ). Ή έσωτερική ΗΕΔ έχει τέτοια φορά, ώστε νά άντιτίθεται στην παραπέρα διάχυση φορέων. Ύστερα, λοιπόν, από ένα μικρό χρονικό διάστημα, ή έσωτερική ΗΕΔ γίνεται ίκανή νά έμποδίσει τήν παραπέρα μετακίνηση φορέων. Τότε ή διάχυση σταματά, και άποκαθίσταται μία όρισμένη κατάσταση ίσορροπίας.



Σχ. 2.6 α.

Έπαφή p-n (διάχυση φορέων μέσα από τήν έπαφή).



Σχ. 2.6 β.

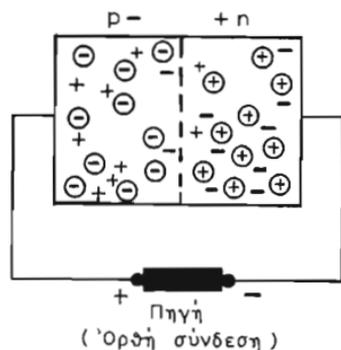
Πηγή σε άντίστροφη σύνδεση.

Έστω τώρα ότι οί δύο περιοχές του ήμιαγωγού συνδέονται προς τούς πόλους μιάς έξωτερικής πηγής. Ύπάρχουν βέβαια δύο τρόποι συνδέσεως, που θα τούς έξετάσουμε ξεχωριστά.

Στό σχήμα 2.6 β, οί πόλοι τής πηγής έχουν συνδεθεί μέ έτερώνυμες περιοχές του ήμιαγωγού (ό πόλος + μέ τόν n και ό πόλος - μέ τόν p). Στην περίπτωση αυτή, ή πηγή άπορροφά έτερώνυμους φορείς (ήλεκτρονια από τόν θετικό πόλο της και όπες από τόν άρνητικό πόλο).

Αυτός ό τρόπος συνδέσεως τής πηγής καταλήγει στό έξής άποτέλεσμα: Άμέσως μετά τή σύνδεση κυκλοφορεί όρισμένο ήλεκτρικό ρεύμα. Τό ρεύμα όμως αυτό διακόπτεται ύστερα από μικρό χρονικό διάστημα και ή έπαφή παύει νά είναι άγώγιμη (όπως θα δούμε στην έπόμενη παράγραφο, τό ρεύμα δέν διακόπτεται έντελώς,

άλλά διατηρεί μία μικρή ένταση). Λέμε λοιπόν, ότι η σύνδεση τῶν πόλων μιᾶς πηγῆς πρὸς τις ἑτερώνυμες περιοχές μιᾶς ἐπαφῆς p-n εἶναι σύνδεση κατὰ τὴν ἀντίστροφη φορά. Γι' αὐτὸ τὴ λέμε καὶ *ἀντίστροφη πόλωση*.



Σχ. 2-6 γ.

Πηγή σὲ ὀρθὴ σύνδεση.

Ὁ ἄλλος τρόπος συνδέσεως (σχ. 2·6 γ) εἶναι ἐκεῖνος, ὅπου οἱ πόλοι τῆς πηγῆς ἐνώνονται πρὸς ὁμώνυμες περιοχές τοῦ ἡμιαγωγοῦ (ὁ πόλος + μὲ τὸ p καὶ ὁ πόλος - μὲ τὸ n). Στὴν περίπτωση αὐτή, κυκλοφορεῖ μόνιμως μέσα στοῦ κύκλωμα ἡλεκτρικὸ ρεῦμα.

Λέμε ὅτι ἡ σύνδεση τῆς πηγῆς ἔχει γίνει κατὰ τὴν ὀρθὴ φορά, ἢ ὅτι ἔχομε *εὐθεία πόλωση*.

Τὸ φαινόμενο τῆς μόνιμης κυκλοφορίας ρεύματος ἐξηγεῖται ὡς ἑξῆς: Τὰ ἐλεύθερα ἡλεκτρόνια μετακινοῦνται, ὅπως πάντοτε, πρὸς τὸ θετικὸ πόλο τῆς πηγῆς καὶ οἱ ἑπὲς πρὸς τὸν ἀρνητικὸ τῆς πόλο. Κατὰ τὴ μετακίνηση αὐτή, μερικὰ ἡλεκτρόνια συναντοῦν στοῦ δρόμο τους ἑπὲς καὶ ἐξαφανίζονται μαζί τους (ἀλληλοεξουδετερώνονται). Τώρα ὁμως ἡ πηγή ἔχει συνδεθεῖ μὲ τέτοιο τρόπο, ὥστε νὰ δίνει διαρκῶς νέα ἐλεύθερα ἡλεκτρόνια ἀπὸ τὸν ἀρνητικὸ τῆς πόλο. Ἔτσι τὰ ποσοστὰ τῶν φορέων διατηροῦνται μέσα στὸν ἡμιαγωγὸ καὶ ἡ κυκλοφορία ρεύματος γίνεται μόνιμη. Παρατηροῦμε ἀκόμη ὅτι ὑπάρχει καὶ πάλι μία ἐσωτερικὴ ΗΕΔ. Οἱ κινήσεις ὁμως τῶν ἡλεκτρονίων καὶ τῶν ὀπῶν ἔχουν τώρα τέτοια κατεύθυνση, ὥστε ἡ ἐσωτερικὴ ΗΕΔ νὰ μικραίνει. Ἐπὶ πλέον, ἡ ἐσωτερικὴ ΗΕΔ δὲν ἀντιτίθεται στὴν τάση τῆς ἐξωτερικῆς πηγῆς, ἀλλὰ βοηθᾷ στὴν κυκλοφορία τοῦ ρεύματος.

2·7 Κρυσταλλοδιόδος ἐπαφῆς.

Ἡ ἐκμετάλλευση τῶν ἰδιοτήτων τῆς ἐπαφῆς p-n ἐπιτυχάνεται μὲ τὴν κατασκευὴ ὀρισμένων «λυχνιῶν», ποὺ ὀνομάζονται *κρυσταλλοδιόδοι ἐπαφῆς*.

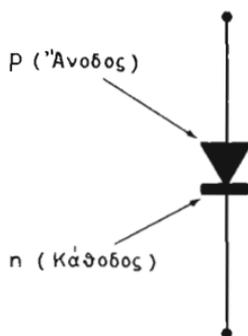
Τὸ σχῆμα 2·7 α δείχνει τὴν ἐξωτερικὴ ὄψη μιᾶς μικρῆς κρυσταλλοδιόδου, μὲ τὸ κάλυμμά της, σὲ φυσικὸ μέγεθος.

Τήν κρυσταλλοδίοδο τήν παριστάνομε συμβολικά, ὅπως βλέπομε στό σχῆμα 2.7 β.



Σχ. 2.7 α.

Ἐξωτερική ὄψη κρυσταλλοδιόδου (σέ φυσικό μέγεθος).

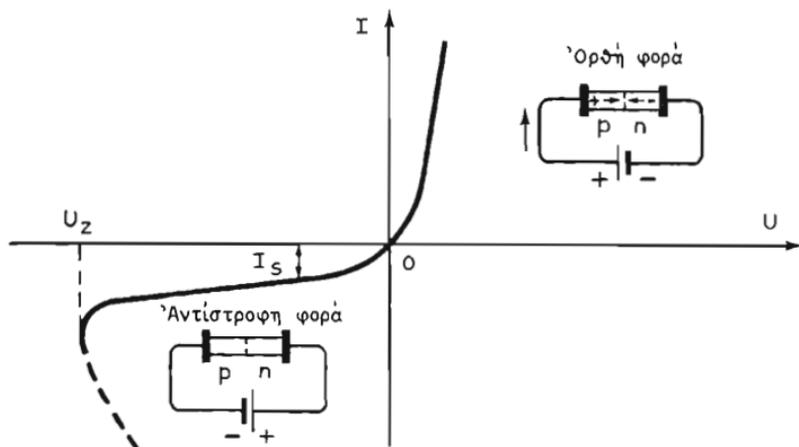


Σχ. 2.7 β.

Ἴσοδύναμο κύκλωμα μιᾶς κρυσταλλοδιόδου ἐπαφῆς.

2.8 Χαρακτηριστική κρυσταλλοδιόδων.

Οἱ κρυσταλλοδιόδοι ἔχουν καί αὐτές, ὅπως καί οἱ δίοδοι, μία χαρακτηριστική καμπύλη τάση-ρεῦμα (σχ. 2.8). Ὄταν ἡ ἐξωτερική



Σχ. 2.8.

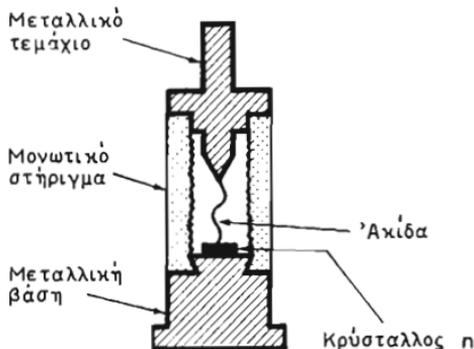
Χαρακτηριστική καμπύλη (τάση-ρεῦμα) μιᾶς κρυσταλλοδιόδου ἐπαφῆς.

ἔχει συνδεθεῖ κατὰ τήν ὀρθή φορά (δεξιό μέρος τοῦ σχήματος), οφορεῖ στό κύκλωμα ἓνα ρεῦμα, πού αὐξάνει γρήγορα μέ τήν τάση.

Κατά την αντίστροφη φορά, το ρεύμα, είναι στην αρχή σχετικά μικρό, αλλά όχι μηδενικό.

Το αντίστροφο αυτό ρεύμα I_s , το ονομάζουμε *ρεύμα κόρου*.

Όπως έχουμε πει, η αγωγιμότητα ενός ήμιαγωγού προσμίξεως καθορίζεται από το ρόλο που παίζουν οι δότες και οι αποδέκτες. Στο μεταξύ όμως δεν παύει να υπάρχει και η ένδογενής αγωγιμότητα, που δεν εξαρτάται από τη φορά της εφαρμοζόμενης εξωτερικής τάσεως. Άρα, ως προς την ένδογενή αγωγιμότητα, ο ήμιαγωγός p-n συμπεριφέρεται σαν ωμική αντίσταση, που δεν διακρίνει τις δύο κατευθύνσεις του ρεύματος. Το ρεύμα κόρου I_s , οφείλεται, σε μεγάλο μέρος, στην ένδογενή αγωγιμότητα του κρυστάλλου. Έπειδή η ένδογενής αγωγιμότητα εξαρτάται κυρίως από τη θερμοκρασία του κρυστάλλου, το ρεύμα κόρου εξαρτάται και αυτό από τη θερμοκρασία. Η κρυσταλλοδιόδος γερμανίου έχει πολύ μεγαλύτερο ρεύμα κόρου από την κρυσταλλοδιόδο πυριτίου. Γι' αυτό, από την άποψη αυτή, προτιμάται η κρυσταλλοδιόδος πυριτίου, έπειδή θέλουμε να έχουμε όσο το δυνατό μικρότερο ρεύμα κόρου (θεωρητικά μηδενικό), ώστε να έχουμε ένα ιδανικό άνορθωτή. Αν η αντίστροφη τάση αύξηθει πολύ (U_z), τότε το αντίστροφο ρεύμα αυξάνει πολύ γρήγορα και η κρυσταλλοδιόδος καταστρέφεται. Το σημείο αυτό ονομάζεται *κατολίσθηση* ή *φαινόμενο Zener*. Το φαινόμενο αυτό εφαρμόζεται σε όρισμένες περιπτώσεις, όπου οι κρυσταλλοδιόδοι χρησιμοποιούνται ως σταθεροποιητές τάσεως.



Σχ. 2-9 α.
Κρυσταλλοδιόδος άκίδας.

2-9 Άλλα είδη κρυσταλλοδίων.

Άλλος τύπος κρυσταλλοδίου είναι η κρυσταλλοδιόδος άκίδας, η οποία χρησιμοποιείται σε ύψηλές συχνότητες, γιατί η κρυσταλλοδιόδος έπαφής παρουσιάζει χωρητικότητα, που δεν έπιτρέπει την όμαλή λει-

τουργία της. Αυτό σημαίνει έλάττωση στις έπιφάνειες τών ήλεκτρονίων καί, πρό παντός, στην έπιφάνεια τής έπαφής. Ή άπαιτήση για μικρή χωρητικότητα έκπληρώνεται περίφημα με τις κρυσταλλοδιόδους άκίδας.

Ή κατασκευή μιās κρυσταλλοδιόδου άκίδας φαίνεται στο σχήμα 2·9 α. Μία άκίδα, κατασκευασμένη από λεπτό σύρμα βολφραμίου ή χρυσοῦ, άκουμπά πάνω σε μία παστίλια από κρυσταλλο γερμανίου (ή πυριτίου) τύπου n.

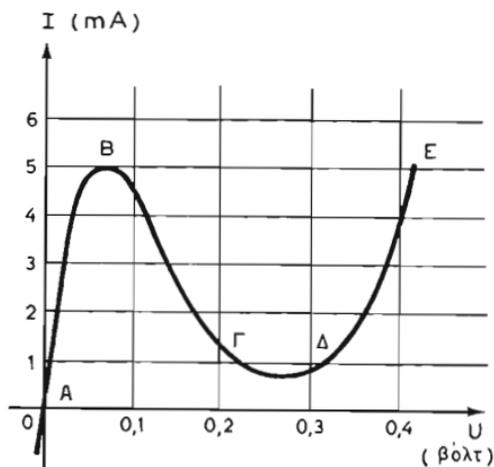
Άλλο είδος κρυσταλλοδιόδου είναι ή κρυσταλλοδιόδος με ένα σχετικά μεγάλο ποσοστό από προσμίξεις, περίπου 5000 φορές μεγαλύτερο από το ποσοστό τής κρυσταλλοδιόδου έπαφής καί λέγεται *κρυσταλλοδιόδος σήραγγας*.

Τό ενδιαφέρον που έχει μία κρυσταλλοδιόδος σήραγγας, βρίσκεται στην είδική μορφή τής χαρακτηριστικής καμπύλης U, I (σχ. 2·9 β). Παρατηρούμε ότι ή χαρακτηριστική παρουσιάζει ένα κατερχόμενο τμήμα ΒΓ, δηλαδή όταν αύξάνεται ή τάση U , τό ρεύμα I μικραίνει. Όπως γνωρίζουμε όμως από τό νόμο του Ξωμ, όταν αύξάνεται ή τάση, αύξάνει καί τό ρεύμα. Ήπειδή έδω συμβαίνει τό αντίστροφο, λέμε ότι τό φαινόμενο ίσοδυναμεί με άρνητική αντίσταση.

Ή κρυσταλλοδιόδος σήραγγας χρησιμοποιείται τελευταία με άξιόλογα άποτελέσματα σε πολλές έφαρμογές.

2·10 Ξηροί άνορθωτές.

Άν φέρομε σε στενή έπαφή ένα μέταλλο με ένα ήμιαγωγό, ή έπαφή μετάλλου-ήμιαγωγού μπορεί να παρουσιάζει φαινόμενα ανάλογα με μία έπαφή p-n. Τέτοιες έπαφές μετάλλου-ήμιαγωγού έχουν

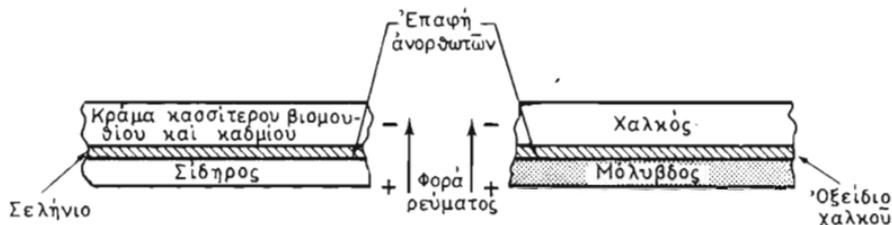


Σχ. 2·9 β.

Χαρακτηριστική μιās κρυσταλλοδιόδου σήραγγας.

άνορθωτικές ιδιότητες, όπως θα δούμε σε άλλο κεφάλαιο (δηλαδή η αγωγιμότητα είναι πολύ μεγαλύτερη προς τή μία κατεύθυνση παρά προς τήν άλλη) και χρησιμοποιούνται ως άνορθωτές, όπως θα εξηγήσουμε αργότερα. Οί άνορθωτές αυτοί ονομάζονται συνήθως *ξηροί άνορθωτές*.

Στήν πράξη, χρησιμοποιούνται κυρίως δύο είδη ξηρών άνορθωτών: οί άνορθωτές σιδήρου-σεληνίου και οί άνορθωτές χαλκού-όξειδίου του χαλκού (σχ. 2·10). Ο ήμιαγωγός (σελήνιο ή όξει-



Σχ. 2·10.

Τά δύο κυριότερα είδη ξηρών άνορθωτών.

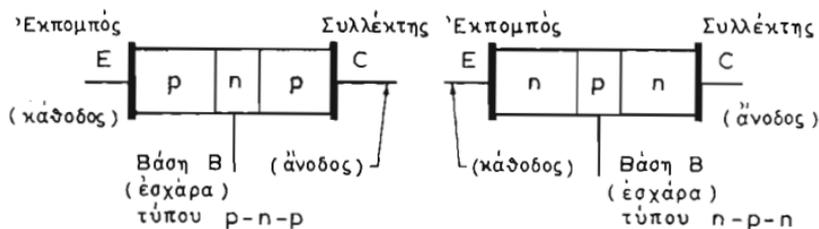
διο του χαλκού) σχηματίζει ένα λεπτό στρώμα ανάμεσα σε δύο πλάκες από διαφορετικά μέταλλα. Έτσι δημιουργούνται δύο έπαφές. Όμως, μόνο ή μία έχει άνορθωτικές ιδιότητες.

2·11 Κρυσταλλοτρίδος έπαφής (τρανζίστορ).

Αν ανάμεσα σε δύο τμήματα ήμιαγωγού τύπου p προστεθεί ένα τμήμα ήμιαγωγού n , θα έχουμε μία νέα μορφή ηλεκτρονικού στοιχείου. Έπειδή αποτελείται από τρία κομμάτια, λέγεται *κρυσταλλοτρίδος έπαφής* p - n - p . Αν ανάμεσα σε δύο τμήματα ήμιαγωγού n προσθέσουμε ένα τμήμα ήμιαγωγού p , θα έχουμε τήν κρυσταλλοτρίοδο n - p - n . Οί κρυσταλλοτρίοδοι μοιάζουν με τισ τριοδικές λυχνίες, όπως θα δούμε. Το τμήμα που μπήκε ανάμεσα στα δύο ήμιαγωγά λέγεται *βάση*. Είναι κάτι ανάλογο με τήν έσχάρα τής τριοδου, όπως είδαμε στο προηγούμενο κεφάλαιο.

Μία κρυσταλλοτρίδος έπαφής μπορεί να θεωρηθεί ότι αποτελείται από δύο κρυσταλλοτρίοδους έπαφής p - n ένωμένες σε σειρά, όπως βλέπομε στο σχήμα 2·11 α. Στήν πραγματικότητα, ή κρυσταλλοτρίοδος κατασκευάζεται ως έναιο σύνολο. Τά τρία τμήματα τής κρυσταλλοτρίοδου συντήκονται με αντίστοιχα ηλεκτρόδια.

Για λόγους που θα εξηγήσουμε παρακάτω, τα τρία τμήματα (και τὰ ηλεκτρόδιά τους) παίρνουν τὰ ὀνόματα, *έκπομπός E*, *βάση B* και *συλλέκτης C*. Ἀντιστοιχοῦν, μὲ τὴ σειρά, στὴν κάθοδο, τὴν ἔσχαρά και τὴν ἄνοδο μιᾶς ἠλεκτρονικῆς τριόδου λυχνίας (σχ. 2·11 α).



Σχ. 2·11 α.

Κρυσταλλοτρίοδοι τύπου p-n-p και τύπου n-p-n.

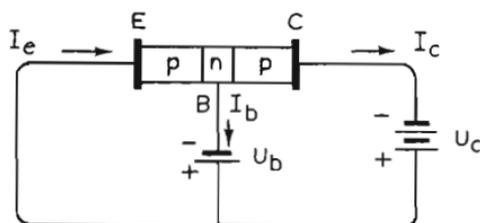
Τὸ τμήμα τῆς βάσεως ἔχει πάχος ἀπὸ λίγα μικρὰ μέχρι λίγες δεκάδες μικρὰ. Ἡ ἐπαφὴ ἐκπομποῦ/βάσεως ἔχει μικρότερη ἐπιφάνεια και τὸ ποσοστὸ προσμίξεως τοῦ ἐκπομποῦ εἶναι μεγαλύτερο ἀπὸ ὅ,τι τοῦ συλλέκτη. Τὸ σχῆμα 2·11 β δείχνει τὴν ἐξωτερικὴ ὄψη μιᾶς κρυσταλλοτρίοδου.

Γιὰ νὰ δοῦμε κάπως καλύτερα τὰ πράγματα, ἄς πάρουμε γιὰ παράδειγμα τὸν τύπο p-n-p. Μεταξύ ἐκπομποῦ και συλλέκτη, ἄς συνδέσουμε μία πηγὴ U_c (π.χ. μία στήλη) κατὰ τὴν ἀντίστροφη φορά, ὅπως δείχνει τὸ σχῆμα 2·11 γ (ὑποτίθεται ὅτι ἡ βάση δὲν



Σχ. 2·11 β.

Ἐξωτερικὴ ὄψη κρυσταλλοτρίοδου (σὲ φυσικὸ μέγεθος).



Σχ. 2·11 γ.

Συνδεσμολογία μιᾶς κρυσταλλοτρίοδου.

ἔχει ἀκόμη συνδεθεῖ μὲ ἄλλη πηγὴ). Ἀντίστροφη φορά σημαίνει ἐδῶ ὅτι ὁ ἀρνητικὸς πόλος τῆς πηγῆς συνδέεται μὲ τὸ συλλέκτη (τὸ — στὸ C). Ἄς παρατηρήσουμε ὡστόσο ὅτι, ἂν ἀντιστρέψουμε τοὺς πόλους τῆς πηγῆς (τὸ + στὸ C), τότε θὰ ἔχομε ἀντίστροφη

σύνδεση του έκπομπού E . Άρα με όποιοδήποτε τρόπο και αν συνδεθεί ή πηγή U_c , μία από τις δύο επαφές $p-n$ ή $n-p$ θα βρεθεί σε αντίστροφη σύνδεση. Πάντως, η πηγή U_c συνδέεται γενικά με τον τρόπο που δείχνει το σχήμα.

Άφου η σύνδεση της πηγής είναι αντίστροφη, η κρυσταλλοτρίοδος θα διαρρέεται από το γνωστό μας πολύ μικρό ρεύμα κόρου (που οφείλεται κυρίως στην ένδογενή αγωγιμότητα). Αυτό πραγματικά γίνεται, υποθέτοντας πάντα ότι η βάση δεν έχει συνδεθεί σε άλλη πηγή. Μέχρις εδώ η υπόθεση δεν έχει κανένα ιδιαίτερο ενδιαφέρον. Τί θα γίνει όμως αν δώσουμε στη βάση μία τάση;

Αυτό εξαρτάται από την πολικότητα της πηγής U_b , προς την οποία συνδέομε τη βάση. Αν η βάση B συνδεθεί με το θετικό πόλο της πηγής U_b , τότε η σύνδεση θα είναι αντίστροφη, όποτε η κατάσταση ουσιαστικά μένει περίπου η ίδια.

Έστω, όμως, ότι η βάση B συνδέεται κατά την όρθη φορά με την πηγή U_b (το $-$ στο B , όπως στο σχ. 2 · 11 γ). Τότε, βέβαια, θα έχουμε κάποιο ρεύμα I_b μέσα στο κύκλωμα της βάσεως. Άλλα το σπουδαίο είναι ότι το ρεύμα βάσεως I_b παραμένει μικρό, ενώ ξαφνικά το ρεύμα I_c στο κύκλωμα του συλλέκτη (κύκλωμα ECU_c) γίνεται δυσανάλογα μεγάλο. Το άθροισμα, εξ άλλου των δύο αυτών ρευμάτων ισούται με το ρεύμα I_e του έκπομπού: έχουμε δηλαδή $I_e = I_b + I_c$.

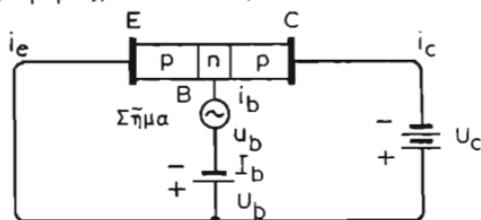
Πώς γίνεται αυτό; Τα πράγματα έχουν ως εξής: Ο έκπομπός (τύπου p) διαθέτει ένα αρκετά μεγάλο αριθμό ηλεκτρικών φορέων (θετικών όπών), που έλκονται προς τη βάση (τύπου n , με αρνητική τάση). Μπορούμε να πούμε, με άλλα λόγια, ότι ο έκπομπός E εκπέμπει όπες, που έλκονται προς τη βάση. Η λειτουργία της «έκπομπής» δικαιολογεί και το όνομα «έκπομπός» και την αντιστοιχία αυτού του τμήματος προς την κάθοδο μιᾶς τριόδου ηλεκτρονικής λυχνίας, ἄσχετα αν μία κάθοδος εκπέμπει ηλεκτρόνια και όχι όπες.

Οί φορείς όμως μέσα στη βάση έχουν πάρει ήδη μία ταχύτητα και έλκονται από το συλλέκτη (θετικές όπες, που έλκονται από την αρνητική τάση του συλλέκτη). Η κατάσταση είναι τέτοια, ώστε οί περισσότεροι φορείς (θετικές όπες) να περνοῦν προς το συλλέκτη, που το ρεύμα του γίνεται ἔτσι πολύ μεγαλύτερο από το ρεύμα της βάσεως. Βλέπομε δηλαδή ότι σύνδεση μιᾶς πηγής στη βάση (U_b) κατά την όρθη φορά, μπορεί να προκαλέσει σημαντική ενίσχυση

του ρεύματος του συλλέκτη, και με αυτό τον τρόπο ενεργεί όπως περίπου ή τάση πολώσεως έσχάρας, στις τριόδους λυχνίες. Γι' αυτό λοιπόν είναι απαραίτητη ή ύπαρξη και της δεύτερης πηγής U_b .

Έτσι βρίσκουμε συγχρόνως και τή δικαιολογία του όνόματος «συλλέκτης»: είναι τó τμήμα της κρυσταλλοτρίόδου, που συλλέγει (μαζεύει) τούς περισσότερους φορείς, που εκπέμπονται από τόν έκπομπού.

Μιλήσαμε ως έδω για συνεχείς τάσεις και συνεχή ρεύματα. Άλλά εκείνο που μās ενδιαφέρει περισσότερο είναι τά εναλλασσόμενα μεγέθη, άφοϋ οί κρυσταλλοτρίοδοι θά χρησιμοποιηθοϋν, βέβαια, για νά παράγουν ή για νά ενισχύσουν σήματα, τά όποια είναι (ή μπορούν νά αναλυθοϋν σέ) εναλλασσόμενα μεγέθη. Άς δοϋμε



Σχ. 2-11 δ.

Όπως στο σχήμα 2-11 γ, αλλά με τήν προσθήκη μιās πηγής σήματος (υπόθετομε έδω ότι ή πηγή σήματος έχει μηδενική έσωτερική αντίσταση και ότι ό συλλέκτης είναι βραχυκυκλωμένος, δηλαδή δέν ύπάρχει αντίσταση φερτίου στο κύκλωμα του συλλέκτη).

λοιπόν πώς έχουν τά πράγματα με τή συνδεσμολογία του σχήματος 2-11 δ όπου, έκτός από τισ συνεχείς πηγές τροφοδοτήσεως, έχομε και μία εναλλασσόμενη πηγή (τήν πηγή του σήματος), που συνδέεται σέ σειρά με τήν πηγή τάσεως U_b . Τά εναλλασσόμενα μεγέθη τά σημειώσαμε έδω με μικρά γράμματα (για νά τά διακρίνομε από τά συνεχή μεγέθη, με κεφαλαία γράμματα). Η τάση πηγής σήματος, παριστάνεται με u_b και τó ρεύμα με i_b . Τό εναλλασσόμενο ρεύμα του συλλέκτη i_c είναι και πάλι πολύ μεγαλύτερο από τó εναλλασσόμενο ρεύμα i_b της βάσεως, ένω τó άθροισμα αυτών των δύο ρευμάτων δίνει πάντοτε τó εναλλασσόμενο ρεύμα i_e του έκπομπού:

$$i_e = i_b + i_c \quad (1)$$

Ό λόγος των ρευμάτων i_c/i_e (του ρεύματος του συλλέκτη προς τó συνολικό ρεύμα του έκπομπού) παίζει βασικό ρόλο στη λειτουργία της κρυσταλλοτρίόδου και σημειώνεται με τó γράμμα α :

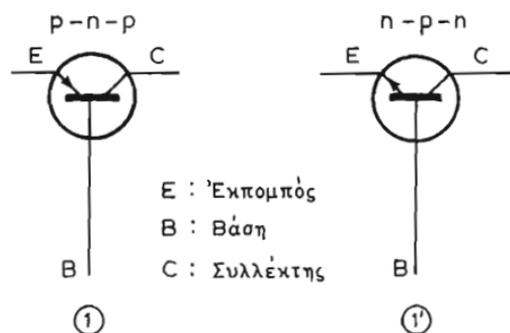
$$\alpha = \frac{i_c}{i_e} = \frac{i_c}{i_b + i_c} \quad (2)$$

Ἄφου τὸ ρεῦμα τοῦ συλλέκτη εἶναι πολὺ μεγαλύτερο ἀπὸ τὸ ρεῦμα τῆς βάσεως καὶ εἶναι σχεδὸν ἴσο μὲ τὸ συνολικὸ ρεῦμα τοῦ ἔκπομπου, ὁ λόγος α εἶναι προφανῶς γειτονικὸς πρὸς τὴ μονάδα. Συνήθως ὁ λόγος αὐτὸς εἶναι μεγαλύτερος ἀπὸ 0,90.

Στὴν περίπτωση τῆς συνδεσμολογίας πού ἐξετάζομε (σχ. 2·11 δ), περισσότερο ἐνδιαφέρον ἔχει ὁ λόγος i_c/i_b , δηλαδὴ ἀπ' εὐθείας ὁ λόγος τοῦ ρεύματος ἐξόδου (συλλέκτης) πρὸς τὸ ρεῦμα εἰσόδου (βάση). Μὲ ἀπλὲς πράξεις, ἡ προηγούμενη ἐξίσωση (2) δίνει:

$$\frac{i_c}{i_b} = \frac{\alpha}{1-\alpha} \quad (3)$$

Ἐπειδὴ τὸ α εἶναι γειτονικὸ πρὸς τὴ μονάδα, ἡ τιμὴ αὐτοῦ τοῦ λόγου εἶναι μεγάλη, συνήθως μεταξύ 20 καὶ 100 (π.χ. γιὰ $\alpha = 0,97$ ἔχομε $\alpha/(1-\alpha) = 0,97/(1-0,97) = 0,97/0,03 = 97/3 = 32$).



Σχ. 2·11 ε.

Συμβολικὴ παράσταση κρυσταλλοτριόδων ἐπαφῆς. Τὸ βέλος πρὸς τὰ κάτω σημαίνει τύπο $p-n-p$ (π.χ. ἡ παράσταση 1), ἐνῶ τὸ βέλος πρὸς τ' ἄπάνω σημαίνει τύπο $n-p-n$ (π.χ. ἡ παράσταση 1'). Ὁ κύκλος τοῦ περιβλήματος εἶναι προαιρετικὸς (μπορεῖ καὶ νὰ λείπει).

τριόδος λειτουργεῖ λοιπὸν ὡς ἐνισχύτρια ρεύματος, μὲ συντελεστὴ ἐνισχύσεως $\alpha/(1-\alpha)$.

Ὅσα εἶπαμε παραπάνω γιὰ τὴν κρυσταλλοτρίοδο ἐπαφῆς τύπου $p-n-p$, ἰσχύουν καὶ στὴν περίπτωση τοῦ τύπου $n-p-n$ (ἄρκει νὰ ἀντιστραφοῦν οἱ πολικότητες + καὶ - καὶ τῶν δύο συνεχῶν πηγῶν τροφοδοτήσεως U_b καὶ U_c). Πρέπει νὰ θυμόμαστε ὅτι,

Ὁ λόγος αὐτὸς ὀνομάζεται *συντελεστὴς ἐνισχύσεως ρεύματος* καὶ τὸν βρίσκομε συνήθως γραμμένο μὲ β .

Γιατί ὅμως ὀνομάζεται *συντελεστὴς ἐνισχύσεως*; Γιὰ τὸν ἀπλουστάτο λόγο ὅτι, μία μεταβολὴ ρεύματος i_b στὸ κύκλωμα τῆς βάσεως, πολλαπλασιάζεται ἐπὶ αὐτὸν τὸ λόγο γιὰ νὰ δώσει τὴν ἀντιστοιχὴ μεταβολὴ ρεύματος i_c στὸ κύκλωμα τοῦ συλλέκτη. Ἡ κρυσταλλο-

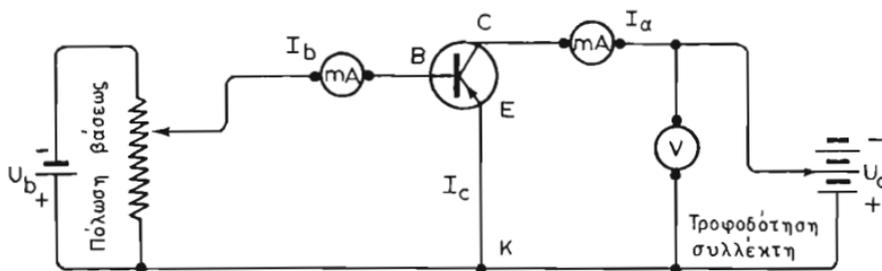
και στις δύο περιπτώσεις, ή πηγή πολώσεως (της βάσεως) συνδέεται ὀρθά, ἐνῶ ἡ κύρια πηγή τροφοδοτήσεως (τοῦ συλλέκτη) συνδέεται ἀντίστροφα.

Τῆ συμβολικὴ παράσταση τῶν κρυσταλλοτρίοδων τῆ βλέπομε στὸ σχῆμα 2·11 ε.

2·12 Χαρακτηριστικὲς καμπύλες.

Γιὰ νὰ γνωρίσομε καλύτερα τὴν κρυσταλλοτρίοδο, πρέπει νὰ χαράξομε τὶς χαρακτηριστικὲς καμπύλες της. Πρόκειται γιὰ στατικὲς χαρακτηριστικὲς, ποὺ χαράζονται δηλαδὴ γιὰ συνεχεῖς τάσεις καὶ ρεύματα.

Πραγματοποιοῦμε, λοιπὸν μία συνδεσμολογία ὅπως αὐτὴ ποὺ φαίνεται στὸ σχῆμα 2·12 α. Στὴν περίπτωση τοῦ σχήματος 2·12 α



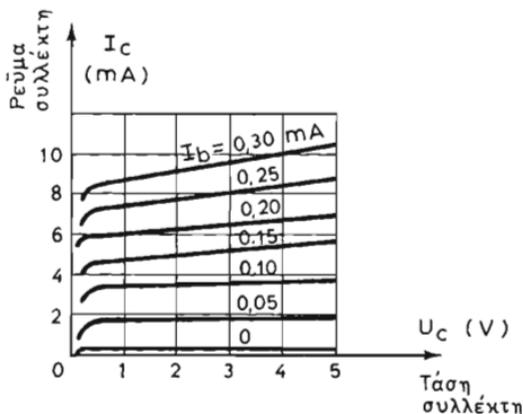
Σχ. 2·12 α.

Συνδεσμολογία μιᾶς κρυσταλλοτρίοδου p-n-p (μὲ κοινὸ ἐκπομπὸ E). Μπορεῖ νὰ συγκριθεῖ μὲ τὸ σχ. 1·3 β, ποὺ δείχνει τὴ συνδεσμολογία μιᾶς ἠλεκτρονικῆς τριόδου μὲ κοινὴ κάθοδο.

κρυσταλλοτρίοδου p-n-p), στὸ κοινὸ σημεῖο K συναντοῦνται οἱ ὅλοι + τῶν πηγῶν. Ἐπὶ πλεόν τὸ κοινὸ αὐτὸ σημεῖο ἐνώνεται καὶ τὸν ἐκπομπὸ E. Ἔχομε δηλαδὴ, συνδεσμολογία μὲ κοινὸ ἐκπομπὸ (καὶ τὸ λέμε αὐτό, γιατί ὑπάρχουν, ὅπως θὰ δοῦμε, καὶ ἄλλων εἰδῶν δεσμολογίης). Ἡ συνδεσμολογία μὲ κοινὸ ἐκπομπὸ ἀντιστοιχεῖ στὴ συνδεσμολογία μὲ προσγειωμένη κάθοδο τῆς τριόδου λυχνίας, ὡς θὰ δοῦμε.

Ἄς ἀρχίσομε, τώρα, νὰ χαράζομε τὶς χαρακτηριστικὲς καμπύ- Μποροῦμε νὰ χαράξομε τὴν οἰκογένεια καμπύλων τοῦ συλλέκτη (, ποὺ δείχνουν πῶς μεταβάλλεται τὸ ρεῦμα I_c τοῦ συλλέκτη, ἀν μεταβάλλεται ἡ τάση U_c ποὺ ἐφαρμόζεται πάνω σ' αὐτόν.

Στό μεταξύ, κατά τη χάραξη μιᾶς ὀρισμένης καμπύλης τῆς οἰκογένειας, κρατοῦμε σταθερὸ τὸ ρεῦμα βάσεως I_b , ἐνῶ, ἀπὸ καμπύλη σὲ



Σχ. 2·12 β.

Χαρακτηριστικὲς καμπύλες μιᾶς κρυσταλλοτρίοδου (συνδεσμολογημένης ὅπως δείχνει τὸ σχῆμα 2·12 α).

κάποια κλίση. Ἡ κλίση τους ὅμως μένει πάντα μικρὴ. Αὐτὸ σημαίνει ὅτι ὁ συλλέκτης παρουσιάζει σχετικὰ μικρὴ ἀγωγιμότητα, δηλαδὴ μεγάλη ἀντίσταση (σὲ σχέση μὲ τὴν τριόδου λυχνία).

2·13 Ἄλλα εἶδη κρυσταλλοτρίοδων.

Ἐνα ἄλλο εἶδος εἶναι ἡ κρυσταλλοτρίοδος ἀκίδας. Κατασκευάζεται ὅπως ἡ κρυσταλλοδιόδου ἀκίδας (σχ. 2·9 α) καὶ δίπλα στὴν ἀκίδα τῆς διόδου προστίθεται μία δευτέρη μεταλλικὴ ἀκίδα. Ἡ ἀπόσταση ἀνάμεσα στὶς δύο ἀκίδες εἶναι μικρὴ (δέκατο τοῦ χιλιοστοῦ).

Ὁ κρυσταλλὸς γερμανίου εἶναι, ὅπως καὶ στὴν κρυσταλλοδιόδο, τύπου n . Γύρω ἀπὸ τὶς ἀκίδες σχηματίζονται, κατὰ τὴν κατασκευὴ, μικρὲς περιοχὲς τύπου p . Ἔτσι, ἡ κρυσταλλοτρίοδος ἀκίδας εἶναι τοῦ τύπου $p-n-p$. Ἡ μία περιοχὴ p ὀνομάζεται *ἐκπομπός*, ἡ ἄλλη περιοχὴ p *συλλέκτης* καὶ ὁ κρυσταλλὸς τύπου n *βάση*. Τὸ ὄνομα βάση εἶναι ἐδῶ ἀρκετὰ δικαιολογημένο, ἀπὸ τότε ὅμως παρέμεινε καὶ γιὰ τὸ μεσαῖο τμήμα μιᾶς κρυσταλλοτρίοδου ἐπαφῆς, χωρὶς πιά νὰ ὑπάρχει φανερὴ δικαιολογία.

καμπύλη, μεταβάλλομε τὸ ρεῦμα βάσεως κατὰ τὸ ἴδιο πάντα ποσό.

Ἔτσι χαράζεται ἡ οἰκογένεια I_c , U_c , ποὺ βλέπομε στὸ σχῆμα 2·12 β. Σὲ ρεῦμα $I_b = 0$ (ἀνοιχτὸ κύκλωμα βάσεως) ἀντιστοιχεῖ ἓνα μικρὸ ρεῦμα I_c σχεδὸν σταθερὸ, ποὺ παριστάνει, ὅπως ξέρομε, τὸ ρεῦμα τῆς ἐνδογενοῦς ἀγωγιμότητας (τὸ σημειώνομε εἰδικότερα μὲ I_{co}). Ὅσο αὐξάνει τὸ ρεῦμα βάσεως I_b , τόσο οἱ καμπύλες I_c παίρνουν μιὰ

Μία βασική (και αρκετά περίεργη) διαφορά ανάμεσα στις κρυσταλλοτριόδους άκίδας και έπαφής είναι ή έξής: 'Ο λόγος ρευμάτων:

$$a = \frac{i_c}{i_e} \quad (1)$$

— κι' έχομε μιλήσει γι' αυτόν — δέν είναι πιά λίγο μικρότερος του 1, αλλά γίνεται, στις κρυσταλλοτριόδους άκίδας 2 ή και περισσότερο. Αυτό σημαίνει ότι τὸ ρεύμα του συλλέκτη είναι έδῶ σχετικά μεγάλο.

'Επίσης υπάρχουν και άλλα είδη κρυσταλλοτριόδων, τὰ όποία άπλῶς αναφέρομε, όπως οί κρυσταλλοτρίοδοι μοναδικής έπαφής (Unijunction), έπηρείας πεδίου (Field Effect), μοναδικής θύρας, τριπλής έπαφής κ.λπ., πού ή κατασκευή τους και τὰ χαρακτηριστικά λειτουργίας διαφέρουν άπό τήν κλασσική κρυσταλλοτρίοδο έπαφής. 'Η άρχή λειτουργίας όμως είναι ίδια.

2.14 Οί τρεις βασικές συνδεσμολογίες.

Παραπάνω, στό σχήμα 2.12 α, είδαμε ένα τρόπο συνδεσμολογίας.

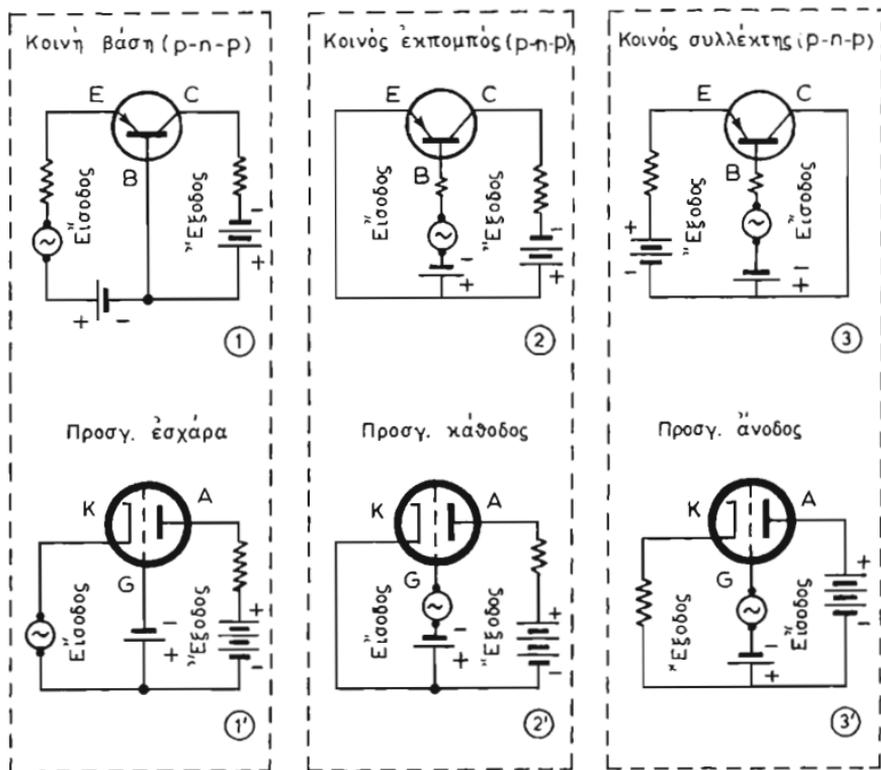
Οί βασικοί τρόποι συνδεσμολογίας κρυσταλλοτριόδων είναι: μέ κοινή βάση, μέ κοινό έκπομπό, μέ κοινό συλλέκτη. Οί άντιστοιχίες ανάμεσα στις συνδεσμολογίες κρυσταλλοτριόδων και τριόδων κενού, (πού τις έξετάσαμε στό προηγούμενο κεφάλαιο) φαίνονται καθαρά στό σχήμα 2.14. 'Η περισσότερο χρησιμοποιούμενη συνδεσμολογία είναι μέ κοινό έκπομπό (όπως και ή συνδεσμολογία μέ προσγειωμένη κάθοδο στις τριόδους κενού). Κι' αυτό, γιατί ή συνδεσμολογία αυτή δίνει τή μεγαλύτερη ένισχυση ισχύος, και γιατί μπορεί νά λειτουργεί μέ μία μόνο πηγή τροφοδοτήσεως. Παρ' όλα αυτά, δέν είναι άπαραίτητο νά έξετάσουμε λεπτομερῶς έδῶ τις συνδεσμολογίες.

Κάθε συνδεσμολογία έχει πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα.

• 15 Διατάξεις πολώσεως.

'Εδῶ θά έξετάσουμε τὸ ζήτημα τῆς πολώσεως τῆς βάσεως σέ δεσμολογία μέ κοινό έκπομπό, αυτή πού χρησιμοποιείται ρισσότερο (και πού άντιστοιχεί στην τρίοδο μέ προσγειωμένη οδο). Πόλωση είναι ή κατάλληλη τάση πού πρέπει νά τεθεί στή , ώστε νά τῆς δώσει τὸ ρεύμα πού χρειάζεται για τήν κανονική λειτουργία.

Είναι φανερό ότι ή πόλωση τής βάσεως μπορεί να γίνει με μία ξεχωριστή πηγή, όπως δείχνει το σχήμα 2·14 (2). Αυτό όμως έχει, εκτός τών άλλων, και τὸ μειονέκτημα ὅτι ἀπαιτεῖ δύο πηγές τροφοδοτήσεως (π.χ. στήλης), μία γιὰ τὴ βάση και μία γιὰ τὸ συλλέκτη. Ἀναζητήθηκαν λοιπὸν και βρέθηκαν τρόποι γιὰ νὰ μπορεῖ ή πόλωση τής βάσεως νὰ ἐξασφαλίζεται ἀπὸ τὴν πηγή τροφοδοτήσεως τοῦ συλλέκτη, ὅποτε μένει μία μόνο πηγή τροφοδοτήσεως (τοῦ συλλέκτη).



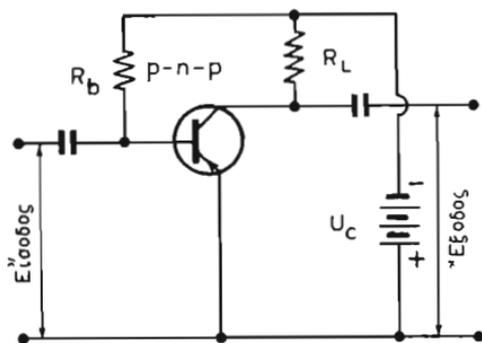
Σχ. 2·14.

Τρεῖς συνδεσμολογίες γιὰ κρυσταλλοτρίοδους (1, 2, 3) και γιὰ τριόδους κενοῦ (1', 2', 3'). Στὸ σχῆμα ή κρυσταλλοτρίοδος εἶναι τύπου p-n-p (γιὰ κρυσταλλοτρίοδους n-p-n, πρέπει νὰ ἀντιστραφοῦν οἱ πολικότητες ὄλων τών ἀντιστοιχῶν πηγῶν τροφοδοτήσεως).

Τὸ ἴδιο ὅπως εἶδαμε γίνεται και με τὶς λυχνίες κενοῦ με αὐτοπόλωση· σ' αὐτὲς ή πόλωση ἐξασφαλίζεται ἀπὸ τὴν πηγή τροφο-

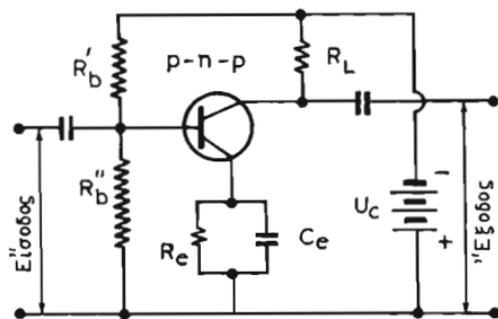
δοτήσεως της ανόδου με τη βοήθεια ενός κυκλώματος RC στην κάθοδο. Δεν πρέπει να ξεχνούμε, ωστόσο, ότι μία τριόδος κενού πολώνεται με μία τάση, ενώ η πόλωση μιας κρυσταλλολυχίας απαιτεί όρισμένο ρεύμα. Υπάρχει επίσης ζήτημα πολικότητας (+ και -), που στις κρυσταλλοτριόδους παρουσιάζεται με διαφορετικό τρόπο.

Μία αρκετά απλή μέθοδος είναι αυτή που φαίνεται στο σχήμα 2.15 α. Έστω π.χ. ότι η πηγή τροφοδοτήσεως του συλλέκτη έχει μεταξύ των πόλων της τάση 4,5 βόλτ και ότι η πόλωση της κρυσταλλοτριόδου απαιτεί ρεύμα 45 μΑ (μικροαμπέρ). Για να εξασφαλίσουμε αυτό το ρεύμα πολώσεως, αρκεί



Σχ. 2.15 α.

Μία μέθοδος πολώσεως της βάσης, η οποία όμως δεν χρησιμοποιείται συνήθως στην πράξη.



Σχ. 2.15 β.

Η διάταξη πολώσεως, που χρησιμοποιείται με επιτυχία.

τριόδο, από την πλευρά της βάσης). Άλλα αυτή η πτώση τάσεως είναι σχετικά μικρή, και μπορούμε να την αμελήσουμε.

Με τη σύνδεση όμως αυτή, κάθε φορά που θα μεταβάλλεται η θερμοκρασία, ή για κάθε διαφορετική κρυσταλλοτριόδο, θα πρέπει να ρυθμίσαμε κατάλληλα και την αντίσταση πολώσεως R_b .

Γι' αυτό χρησιμοποιείται η συνδεσμολογία του σχήματος 2.15 β

στην πράξη να διαλέξουμε αντίσταση πολώσεως R_b , με τιμή $R_b = 4,5/45 = 0,1 \text{ M}\Omega$ (δηλαδή 100 kΩ).

Ο ύπολογισμός αυτός γίνεται βέβαια κατά προσέγγιση, αφού η τάση στις άκρες της αντίστασεως R_b δεν είναι ακριβώς ίση με 4,5 βόλτ (μια και υπάρχει, όπως είναι φανερό, μία πτώση τάσεως μέσα στην κρυσταλλο-

πού εφαρμόζεται πολύ, αν και είναι πολυπλοκότερη. Σύμφωνα με τη μέθοδο αυτή, η βάση πολώνεται και από την πλευρά της βάσεως (με τη διακλάδωση R_b' , R_b''), και από την πλευρά του έκπομπού (με το κύκλωμα R_e , C_e , που έργάζεται όπως περίπου και το κύκλωμα αυτόπολώσεως μιάς τριόδου κενού). Έχουμε, έτσι, δύο πολώσεις που είναι αντίθετες μεταξύ τους. Οί δύο αυτές πολώσεις υπολογίζονται έτσι, ώστε να είναι ισχυρότερες από την κανονική και να έχουν τιμές τέτοιες, που η διαφορά τους να ίσούνται με την επιθυμητή πόλωση της βάσεως.

Μία τέτοια διάταξη πολώσεως λειτουργεί με τέτοιο τρόπο, ώστε να αντισταθμίζει αυτόματα τις διάφορες μεταβολές, παρουσιάζοντας τελικά αρκετή σταθερότητα.

2 · 16 Έρωτήσεις.

1. Τι είναι ήμιαγωγό υλικό;
2. Τι είναι χημικός δεσμός;
3. Τι είναι και πώς δημιουργείται ένα ελεύθερο ηλεκτρόνιο;
4. Πώς δημιουργείται το ρεύμα ηλεκτρονίων και το ρεύμα οπών;
5. Τι λέγεται δότης και τί αποδέκτης στους ήμιαγωγούς προσμίξεως και πώς συμβολίζονται;
6. Περιγράψτε το φαινόμενο της διαχύσεως σε μιά συνένωση p - n.
7. Σχεδιάστε τη σύνδεση μιάς πηγής με τις όμωυμες και έτερωυμες περιοχές ήμιαγωγών συνενώσεως p - n.
8. Σχεδιάστε τη χαρακτηριστική κρυσταλλοδιόδου, και εξηγείστε το φαινόμενο Zener.
9. Έξηγειστε το φαινόμενο της άρνητικής αντίστάσεως με τη χαρακτηριστική καμπύλη κρυσταλλοδιόδου σήραγγας.
10. Από ποιές συνενώσεις δημιουργείται μιά κρυσταλλοτρίοδος;
11. Ποιούς τύπους κρυσταλλοτριόδων έχουμε;
12. Περιγράψτε μιά κρυσταλλοτρίοδο.
13. Σχεδιάστε μιά κρυσταλλοτρίοδο με τις πηγές τροφοδοτήσεώς της.
14. Ποιά σχέση υπάρχει μεταξύ των ρευμάτων έκπομπού, βάσεως και συλλέκτη; Έξηγειστε τη σχέση αυτή.
15. Γιατί χρειάζεται πηγή τροφοδοτήσεως της βάσεως κρυσταλλοτριόδου;
16. Τι είναι ό συντελεστής ένισχύσεως κρυσταλλοτριόδου, και με τί ίσούνται;
17. Χαράξτε μιά ομάδα χαρακτηριστικών καμπυλών κρυσταλλοτριόδου.
18. Σε τί διαφέρει ή κρυσταλλοτρίοδος έπαφής από την κρυσταλλοτρίοδο άκίδας;
19. Με ποιούς τρόπους μπορεί να γίνει πόλωση κρυσταλλοτριόδου, και πώς κάθε τρόπος συγκρίνεται με την αντίστοιχη πόλωση τριόδου λυχνίας;

ΤΡΟΦΟΔΟΤΗΣΗ, ΑΝΟΡΘΩΤΙΚΕΣ ΔΙΑΤΑΞΕΙΣ, ΦΙΛΤΡΑ

3 · 1 Μετασχηματιστές (με συντομία).

1. Λειτουργία.

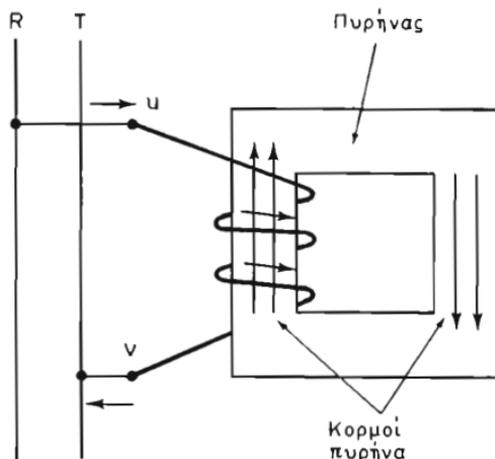
Όπως θα δούμε στην παράγραφο 3 · 3, χρησιμοποιούμε ένα μετασχηματιστή για να αυξήσουμε την τάση τροφοδοτήσεως. Γι' αυτό τον ονομάζουμε *μετασχηματιστή ανυψώσεως*. Μπορούμε όμως και να υποβιβάσουμε την τάση τροφοδοτήσεως· τότε τον ονομάζουμε *μετασχηματιστή υποβιβασμού*.

Οί μετασχηματιστές που χρησιμοποιούνται σήμερα είναι μονοφασικοί ή τριφασικοί.

Για να καταλάβουμε πώς λειτουργούν οί μετασχηματιστές, θα εξετάσουμε τί συμβαίνει σε ένα μονοφασικό μετασχηματιστή.

Ής υποθέσουμε, λοιπόν, ότι έχουμε ένα μονοφασικό μετασχηματιστή με ένα μόνο τύλιγμα στον ένα κορμό του πυρήνα, και κανένα τύλιγμα στον άλλο (σχ. 3 · 1 α).

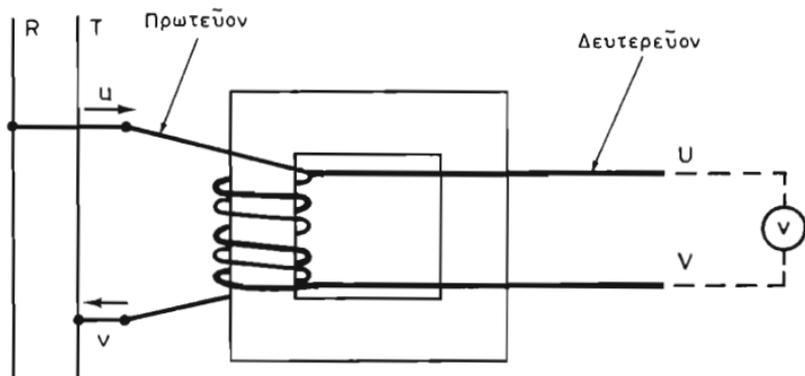
Ήν τὸ τύλιγμα αὐτὸ (τὸ $u - v$ στὸ σχῆμα) τὸ τροφοδοτήσουμε με συνεχές ρεύμα, πὸν νὰ ἔχει φορὰ ὅμοια μ' ἐκείνη πὸν δείχνουν τὰ βέλη, τότε, ὅπως ξέρομε ἀπὸ τὴν Ἠλεκτροτεχνία, θὰ δημιουργηθεῖ ἕνα μαγνητικὸ πεδίο μέσα στὸν πυρῆνα τοῦ μετασχηματιστή. Οἱ μαγνητικὲς γραμμὲς τοῦ πεδίου αὐτοῦ ἀκολουθοῦν τὸ κλειστὸ μαγνητικὸ κύκλωμα πὸν σχηματίζει ὁ πυρῆνας, καὶ ἡ κατεύθυνσή τους, σύμφωνα με τὸν κανὸνα τοῦ δεξιόστροφου κοχλίας, ὀρίζεται ἀπὸ τὰ βέλη πὸν εἶναι σημειωμένα πάνω στὸν πυρῆνα.



Σχ. 3 · 1 α.

Ής υποθέσουμε τώρα ότι τὸ ρεύμα πού τροφοδοτεῖ τὸ τύλιγμα $u - v$ δέν εἶναι συνεχές, ἀλλὰ ἐναλλασσόμενο. Τότε, στή μισή περίοδο τὸ ρεύμα μέσα στοῦ τύλιγμα θά κατευθύνεται ὅπως εἶναι σημειωμένο στοῦ σχῆμα 3·1 α, καί, συνεπῶς, στὸν πυρήνα θά δημιουργηθεῖ πάλι μαγνητικό πεδίο, μὲ κατεύθυνση αὐτὴ πού δείχνουν τὰ βέλη πάνω σ' αὐτόν. Στὴν ἄλλη μισή περίοδο, τὸ ρεύμα μέσα στοῦ τύλιγμα θά κατευθύνεται ἀντίθετα.

Τὸ τύλιγμα τοῦ μετασχηματιστῆ, πού τὸ συνδέομε μὲ τὴν πηγή τροφοδοτήσεως, π.χ. μὲ τοὺς ζυγούς R καὶ T στοῦ σχῆμα 3·1 α, τὸ ὀνομάζομε *πρωτεύον τύλιγμα*, ἀδιάφορο ἂν αὐτὸ εἶναι ὑψηλῆς ἢ χαμηλῆς τάσεως. Τὸ ἄλλο τύλιγμα, πού ὑπάρχει στὸν ἴδιο κορμὸ τοῦ μετασχηματιστῆ, τὸ ὀνομάζομε *δευτερεῦον τύλιγμα*. Ὅπως θά δοῦμε ἀμέσως παρακάτω, ἀπὸ τὸ δευτερεῦον τύλιγμα παίρνομε ἐναλλασσόμενο ρεύμα μὲ διαφορετικὴ τάση, ἀπὸ αὐτὴ πού τροφοδοτεῖ τὸ πρωτεύον τύλιγμα.



Σχ. 3·1 β.

Ής υποθέσουμε, λοιπόν, ὅτι στοῦ μετασχηματιστῆ πού ἐξετάζομε ὑπάρχει καὶ τὸ δευτερεῦον τύλιγμα στὸν ἴδιο κορμὸ τοῦ πυρήνα, ὅπως φαίνεται στοῦ σχῆμα 3·1 β, ὅπου τὸ πρωτεύον τύλιγμα εἶναι τὸ $u - v$ καὶ τὸ δευτερεῦον $U - V$. Στὸ δευτερεῦον τύλιγμα δέν ὑπάρχει συνδεδεμένο φορτίο. Τὸ πρωτεύον τύλιγμα τροφοδοτεῖται, ὅπως εἶπαμε, μὲ ἐναλλασσόμενο ρεύμα ἀπὸ τοὺς ζυγούς $R - T$ καὶ δημιουργεῖ ἓνα ἐναλλασσόμενο, δηλαδή μεταβαλλόμενο, μαγνητικό πεδίο μέσα στὸν πυρήνα. Τὸ ἐναλλασσόμενο αὐτὸ μαγνητικό πεδίο περνᾷ καὶ μέσα ἀπὸ τὸ δευτερεῦον τύλιγμα. Ἄρα, ὅπως ξέρομε ἀπὸ τὴν

Ήλεκτροτεχνία, θα αναπτυχθεί σε κάθε σπείρα στο δευτερεύον τύλιγμα μία ηλεκτρεγερτική δύναμη έξ' επαγωγής. Η ηλεκτρεγερτική αυτή δύναμη είναι επίσης εναλλασσόμενη, και μάλιστα με την ίδια συχνότητα που έχει το μαγνητικό πεδίο και το ρεύμα που τροφοδοτεί το πρωτεύον τύλιγμα.

Έπειδή οι σπείρες στο δευτερεύον τύλιγμα είναι συνδεδεμένες σε σειρά, οι ηλεκτρεγερτικές δυνάμεις που αναπτύσσονται μέσα σ' αυτές άθροίζονται. Άρα, αν συνδέσουμε ένα βολτόμετρο για εναλλασσόμενο ρεύμα στα άκρα U και V (σχ. 3 · 1 β), θα μας δείξει μία τάση ίση με το άθροισμα όλων αυτών των ηλεκτρεγερτικών δυνάμεων. Είναι φανερό ότι η τάση αυτή θα είναι τόσο πιο μεγάλη, όσο πιο πολλές σπείρες θα έχει το δευτερεύον τύλιγμα.

2. Σχέση μεταφοράς.

Άς δούμε τώρα, πόση είναι αυτή η εναλλασσόμενη ηλεκτρεγερτική δύναμη, δηλαδή η τάση που δείχνει το βολτόμετρο.

Χωρίς να το αποδείξουμε, αναφέρουμε μόνο ότι: Για να βρούμε την ηλεκτρεγερτική δύναμη U_2 , που αναπτύσσεται στο δευτερεύον τύλιγμα, πρέπει να πολλαπλασιάσουμε την τάση U_1 , που εφαρμόζεται στο πρωτεύον τύλιγμα, με ένα κλάσμα, που έχει αριθμητή τον αριθμό των σπειρών n_2 που υπάρχουν στο δευτερεύον τύλιγμα, και παρονομαστή τον αριθμό των σπειρών n_1 , που υπάρχουν στο πρωτεύον τύλιγμα. Είναι δηλαδή:

$$U_2 = U_1 \cdot \frac{n_2}{n_1}$$

Όνομάζουμε σχέση μεταφοράς του μετασχηματιστή το κλάσμα:

$$\frac{n_1}{n_2}$$

δηλαδή, τον αριθμό σπειρών του πρωτεύοντος, διαιρεμένο με τον αριθμό σπειρών του δευτερεύοντος τυλίγματος.

Όταν συνδέσουμε ένα φορτίο στο δευτερεύον του μετασχηματιστή, τότε η ένταση I_1 , που απορροφά ο μετασχηματιστής από το δίκτυο τροφοδοτήσεως, είναι μεγαλύτερη από την ένταση που απορροφά όταν εργάζεται στο κενό. Μάλιστα είναι τόσο μεγαλύτερη,

όσο μεγαλύτερη είναι ή ένταση I_2 στο δευτερεύον. Άποδεικνύεται ότι ή ένταση I_1 είναι περίπου ίση μέ τήν I_2 , πολλαπλασιασμένη μέ τò κλάσμα $\frac{n_2}{n_1}$. Δηλαδή είναι:

$$I_1 = I_2 \cdot \frac{n_2}{n_1}$$

Άπό τὰ παραπάνω συμπεραίνομε ότι οί έντάσεις στο πρωτεύον και δευτερεύον τύλιγμα είναι άντιστρόφως άνάλογες πρòς τίς άντίστοιχες τάσεις:

$$\frac{I_1}{I_2} = \frac{U_2}{U_1}$$

Δηλαδή, όσες φορές είναι μεγαλύτερη (ή μικρότερη) ή τάση στο δευτερεύον άπό τήν τάση στο πρωτεύον, τόσες φορές είναι μικρότερη (ή μεγαλύτερη) ή ένταση στο δευτερεύον άπό τήν ένταση στο πρωτεύον τύλιγμα.

Καί γιά τριφασικούς μετασχηματιστές ίσχύουν έπίσης όσα είπαμε στα προηγούμενα.

3. Ίσχύς τοῦ μετασχηματιστῆ.

Ή ίσχύς τοῦ έναλλασσόμενου ρεύματος, πού δίνει ένας μονοφασικός μετασχηματιστής, ύπολογίζεται άπό τόν τύπο:

$$N = U_2 \cdot I_2 \cdot \text{συνφ}$$

όπου: U_2 και I_2 είναι ή τάση και ή ένταση τοῦ έναλλασσόμενου ρεύματος, πού δίνει (στο δευτερεύον) ó μετασχηματιστής και συνφ ó συντελεστής ίσχύος τοῦ φορτίου τροφοδοτήσεως.

Ή ίσχύς τοῦ τριφασικοῦ ρεύματος πού δίνει ένας μετασχηματιστής, όταν ή φόρτισή του είναι συμμετρική, ύπολογίζεται άπό τόν τύπο:

$$N = 1,73 \cdot U_2 \cdot I_2 \cdot \text{συνφ}$$

όπου: U_2 είναι ή πολική τάση στο δευτερεύον τοῦ μετασχηματιστῆ και I_2 ή ένταση σε μία άπό τίς τρεῖς γραμμές, πού τροφοδοτοῦν τò συμμετρικό φορτίο. Ό τύπος αυτός ίσχύει, όποιαδήποτε κι άν είναι ή συνδεσμολογία τῶν τυλιγμάτων τοῦ μετασχηματιστῆ.

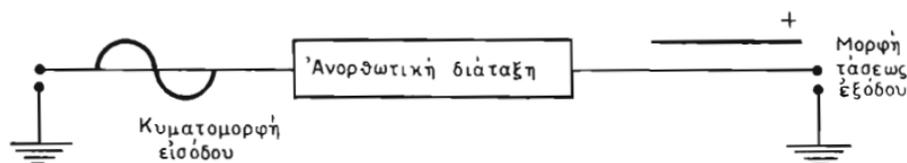
3.2 Άνορθωτικές διατάξεις.

Όπως είδαμε στο Κεφάλαιο 1, οι ηλεκτρονικές λυχνίες χρειάζονται πηγές τροφοδοτήσεως για να λειτουργήσουν. Οι πηγές αυτές χρησιμοποιούνται για τρεις διαφορετικούς σκοπούς:

- α) για τη θέρμανση της καθόδου,
- β) για την παροχή ενέργειας στα κυκλώματα ανόδου και προστατευτικής έσχάρας, και
- γ) για την πόλωση της έσχάρας έλέγχου (ή και για τις άλλες έσχάρες).

Στις κρυσταλλολυχνίες, που είδαμε στο Κεφάλαιο 2, οι πηγές τροφοδοτήσεως παίζουν ανάλογους ρόλους, μόνο που δεν υπάρχει θέρμανση καθόδου και οι ισχείς των πηγών είναι γενικά μικρότερες.

Υπάρχουν τρία είδη πηγών τροφοδοτήσεως: οι στήλες, οι συσσωρευτές και το βιομηχανικό ηλεκτρικό δίκτυο. Οι στήλες και οι συσσωρευτές δίνουν πολύ ακριβή ενέργεια, δεκάδες φορές ακριβότερη από την ενέργεια του δικτύου. Οι δέκτες με κρυσταλλολυχνίες κατασκευάζονται ωστόσο με στήλες, γιατί έχουν μικρές απαιτήσεις ενέργειας. Οι στήλες και οι συσσωρευτές, που είναι απ' ευθείας πηγές συνεχούς ρεύματος ξεετάζονται στην Ήλεκτροτεχνία. Θα ασχοληθούμε έδω με τις άνορθωτικές διατάξεις που μετατρέπουν το έναλλασσόμενο ρεύμα του βιομηχανικού δικτύου σε συνεχές, όπως βλέπουμε στο σχήμα 3.2 α.



Σχ. 3.2 α.

Στοιχειώδης άνορθωτική διάταξη.

Στις διάφορες ηλεκτρονικές συσκευές χρησιμοποιούνται συνήθως όχι μία, αλλά περισσότερες ηλεκτρονικές λυχνίες. Για να είναι δυνατή ή θέρμανση των καθόδων από μία μόνο πηγή, πρέπει να χρησιμοποιούνται λυχνίες, που να έχουν την ίδια τάση ή το ίδιο ρεύμα θερμάνσεως. Όταν οι λυχνίες έχουν την ίδια τάση θερμάνσεως, τα κυκλώματα θερμάνσεως συνδέονται παράλληλα προς την

πηγή τροφοδοτήσεως. Άν έχομε λυχνίες με κοινό ρεύμα θερμάνσεως, συνδέονται σε σειρά.

Οί τάσεις και τὰ ρεύματα θερμάνσεως εἶναι τυποποιημένα, γιὰ νὰ διευκολύνονται οί κατασκευές. Οί πιὸ συνηθισμένες τυποποιημένες θερμάνσεις στις λυχνίες τῶν δεκτῶν εἶναι 1,4 βόλτ (γιὰ θέρμανση με στήλες) 2 βόλτ (γιὰ συσσωρευτές) και 6,3 βόλτ (κατηγορία, στην ὁποία ἀνήκουν οί περισσότερες λυχνίες δεκτῶν), ἐνῶ τὰ ρεύματα θερμάνσεως ποικίλλουν ἀπὸ 0,1 ὡς 1 ἀμπέρ περίπου. Τὰ τυποποιημένα ρεύματα θερμάνσεως εἶναι συνήθως 200, 150 ἢ 100 mA, με ἀντίστοιχες τάσεις θερμάνσεως ἀπὸ 6 ὡς 50 βόλτ περίπου.

Ἡ θέρμανση τῆς καθόδου γίνεται, ὅπως ξέρομε, ἢ με ἄμεσο ἢ με ἔμμεσο τρόπο. Οί λυχνίες δεκτῶν ἀμέσου θερμάνσεως θερμαίνονται ἀπὸ πηγές συνεχοῦς τάσεως (στήλες ἢ συσσωρευτές). Οί περισσότερες ὁμως λυχνίες εἶναι ἐμμέσου θερμάνσεως και μποροῦν νὰ θερμαίνονται ἀπὸ πηγές συνεχοῦς ἢ ἐναλλασσόμενης τάσεως (π.χ. ἀπὸ τὸ δίκτυο με μετασχηματιστὴ 220/6,3 V, ὅπου ἀπὸ τάση 220 V παίρνομε τάση 6,3 V γιὰ τὴν τροφοδότηση τῶν νημάτων μέσω ἐνὸς μετασχηματιστῆ).

Ξέρομε ἐπίσης ὅτι τὰ ἀνοδικὰ κυκλώματα τῶν λυχνιῶν μιᾶς ἠλεκτρονικῆς συσκευῆς τροφοδοτοῦνται ἀπὸ πηγές συνεχοῦς τάσεως, πού τις λέμε και πηγές ὑψηλῆς τάσεως (100 ὡς 300 βόλτ στις λυχνίες λήψεως, χιλιάδες βόλτ στις λυχνίες ἐκπομπῆς). Ὅταν ἡ ἰσχύς παρέχεται ἀπὸ ἐναλλασσόμενο βιομηχανικὸ δίκτυο (με συχνότητα 50 Hz), τότε, ἀνάμεσα στὸ δίκτυο και στὴ συσκευή πρέπει νὰ μεσολαβήσει ἕνα ἀνορθωτικὸ κύκλωμα (γιὰ τὴ μετατροπὴ μιᾶς ἐναλλασσόμενης τάσεως σε συνεχὴ τάση).

Τὸ κύριο στοιχεῖο ἐνὸς ἀνορθωτικοῦ κυκλώματος, πού λέγεται και ἀνορθωτικὴ διάταξη, εἶναι ἕνας ἢ και περισσότεροι ἀνορθωτές. Τὰ σπουδαιότερα εἶδη ἀνορθωτῶν εἶναι οί δίοδοι λυχνίες κενοῦ ἢ με ἀέριο (Κεφάλ. 1), οί κρυσταλλοδίοδοι και οί ξηροὶ ἀνορθωτές (Κεφάλ. 2). Ἡ ἐκλογή τοῦ κατάλληλου ἀνορθωτῆ, σε κάθε εἰδικὴ περίπτωση, ἐξαρτᾶται:

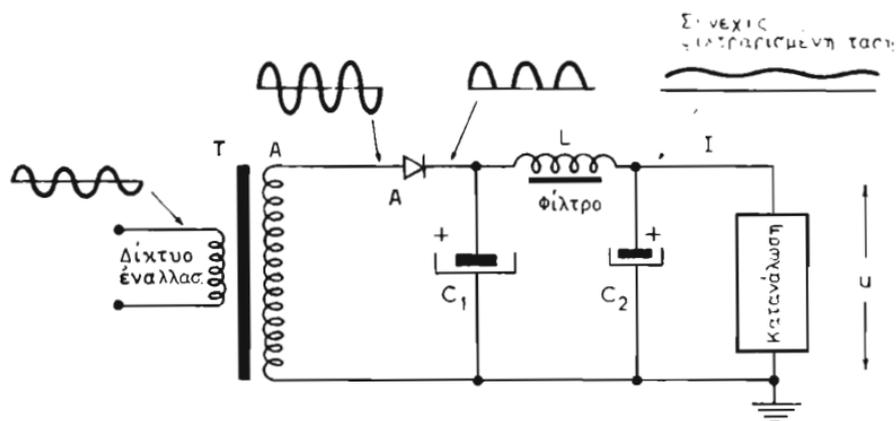
— Ἀπὸ τις τιμές τῆς συνεχοῦς τάσεως και τοῦ συνεχοῦς ρεύματος, πού θέλομε νὰ έχομε στὴν κατανάλωση, και

— ἀπὸ τὴ συνδεσμολογία τῆς ἀνορθωτικῆς διατάξεως.

Πραγματικά, ἡ ἀνορθωτικὴ διάταξη, ἐκτὸς ἀπὸ τὸν ἢ τοὺς

άνορθωτές, περιλαμβάνει και άλλα στοιχεία, που μπορούν να συνδεσμολογούνται κατά διάφορους τρόπους. Δημιουργούνται έτσι διάφορα είδη άνορθωτικών διατάξεων, που ξεχωρίζουν ως προς τις λεπτομέρειες της λειτουργίας και ως προς τις επιδόσεις τους. Για τις κυριότερες συνδεσμολογίες μιλούμε παρακάτω με συντομία.

‘*Ημιανόρθωση* (σχ. 3·2 β): ‘Η διάταξη αποτελείται από ένα μετασχηματιστή T , έναν άνορθωτή κρυσταλλοδιόδου A και ένα φίλτρο C_1LC_2 .



Σχ. 3·2 β.

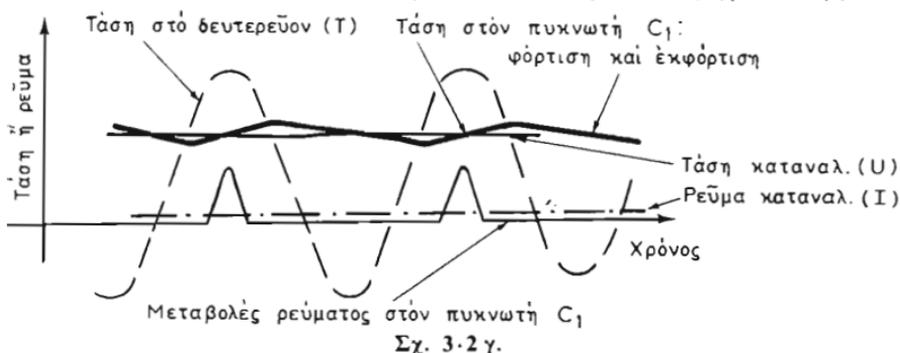
Διάταξη ήμιανορθώσεως (οι πυκνωτές C_1 και C_2 του φίλτρου είναι συνήθως ηλεκτρολυτικοί με χωρητικότητα πολλών μF , το πηνίο L είναι με σιδηροπυρήνα και έχει αύτεπαγωγή πολλών $Henry$). Σε κάθε σημείο του κυκλώματος βλέπουμε τί μορφή έχει ή τάση.

‘Ο μετασχηματιστής ανεβάζει ή κατεβάζει την έναλλασσόμενη τάση του δικτύου στην τιμή που χρειάζεται, για να πάρουμε τελικά τη ζητούμενη συνεχή τάση. Όσο ή ισχύς στην κατανάλωση είναι μεγαλύτερη, τόσο ό μετασχηματιστής είναι όγκωδέστερος (και άκριβότερος).

‘Ο άνορθωτής αφήνει τὸ ρεύμα να κυκλοφορεί προς τή μία μόνο κατεύθυνση, ενώ προς τήν άλλη κατεύθυνση δέν αφήνει τὸ ρεύμα να περάσει (λειτουργεί δηλαδή σαν βαλβίδα). Τὸ είδος τὸῦ άνορθωτή έκλέγεται έτσι, ὡστε να μπορεί να άντέχει τὰ ρεύματα και τις τάσεις που άναπτύσσονται κατά τή λειτουργία τής διατάξεως.

Τὸ φίλτρο, ὅπως θά δοῦμε, έξομαλύνει τις μεταβολές ρεύματος,

πού άπομένουν μετά την άνορθωση. Ξέρομε, πραγματικά, ότι ή άνορθωση δίνει ένα κυματοειδές ρεύμα, πού έχει μόν την ίδια πάντα φορά, δέν είναι όμως συνεχές. Έξ αίτίας μάλιστα τών φίλτρων, τó ρεύμα δέν διαρρέει τόν άνορθωτή σέ όλη την ήμιπερίοδο άγωγιμότητας, αλλά μόνο κατά ένα μέρος τής ήμιπεριόδου (σχ. 3·2 γ).



Σχ. 3·2 γ.

Λειτουργία τής ήμιανορθώσεως με φίλτρο CLC (διάταξη του σχ. 3·2 β).

Ή κατάσταση βελτιώνεται, κυρίως από τόν πυκνωτή C_1 . Ό πυκνωτής αυτός, όπως θα πούμε στην επόμενη παράγραφο, φορτίζεται κατά τις κορυφές τής τάσεως εισόδου, όσο διαρκούν οί παλμοί του ρεύματος στον άνορθωτή, και έκφορτίζεται προς την κατανάλωση, κατά τά διαστήματα πού ό άνορθωτής δέν είναι άγωγιμος. Με άλλα λόγια, ό πυκνωτής αυτός παίζει τó ρόλο μιάς δεξαμενής, πού παίρνει νερό κατά δόσεις και δίνει μία περίπου σταθερή παροχή.

Θά έμεναν όμως ακόμα σημαντικές μεταβολές ρεύματος. Τότε μεσολαβεί τó πηνίο, πού, χάρη στη μεγάλη έπαγωγική του αντίσταση, άποτελεί σοβαρό έμπόδιο στο μεταβαλλόμενο ρεύμα. Άλλά και πάλι ένα μικρό μεταβαλλόμενο ρεύμα θα είχε τή δυνατότητα νά περάσει. Ό πυκνωτής C_2 άναλαμβάνει νά βραχυκυκλώσει αυτό τó υπόλοιπο μεταβαλλόμενο ρεύμα, τουλάχιστο κατά τó μεγαλύτερο μέρος του. Έτσι ή κατανάλωση διαρρέεται τελικά από ένα ρεύμα I πρακτικά συνεχές. Τó ίδιο πρακτικά συνεχές είναι και ή τάση U στα άκρα τής κατανάλωσης (ή κατανάλωση ίσοδυναμεί με μία ώμική αντίσταση R και έχομε $U = R \cdot I$).

Παρ' όλα αυτά, ή τάση στην κατανάλωση δέν είναι τελείως συνεχής. Άπομένουν πολύ μικρές μεταβολές, μία μικρή κυμάτωση

(π.χ. 1%), που έχει συχνότητα 50 Hz. Η κυμάτωση αυτή δεν εμποδίζει συνήθως την καλή λειτουργία των ραδιοτεχνικών συσκευών. Ωστόσο ή κυμάτωση της συνεχούς τάσεως είναι πολλές φορές ενοχλητική. Αν θέλομε ακόμα μικρότερη κυμάτωση, μπορούμε να χρησιμοποιήσομε φίλτρο με δύο κύτταρα CLC, συνδεδεμένα τὸ ένα με τὸ ἄλλο (ἢ καὶ νὰ χρησιμοποιήσομε διάταξη πλήρους ἀνορθώσεως, ὅπως θὰ δοῦμε παρακάτω). Ἄλλες φορές, ὅταν ζητοῦμε νὰ κάνομε οἰκονομία ὕλικου, ἀντικαθιστοῦμε τὸ πηνίο με ὠμική ἀντίσταση, πού προκαλεῖ ὁμως σημαντική πτώση τάσεως καὶ ἀπορροφᾷ ἰσχύ. Σὲ ἄλλες περιπτώσεις, παραλείπομε τὸν πρῶτο πυκνωτὴ καὶ χρησιμοποιοῦμε φίλτρο LC, πού λειτουργεῖ διαφορετικά ἀπὸ ὅ,τι λειτουργεῖ τὸ προηγούμενο φίλτρο CLC.

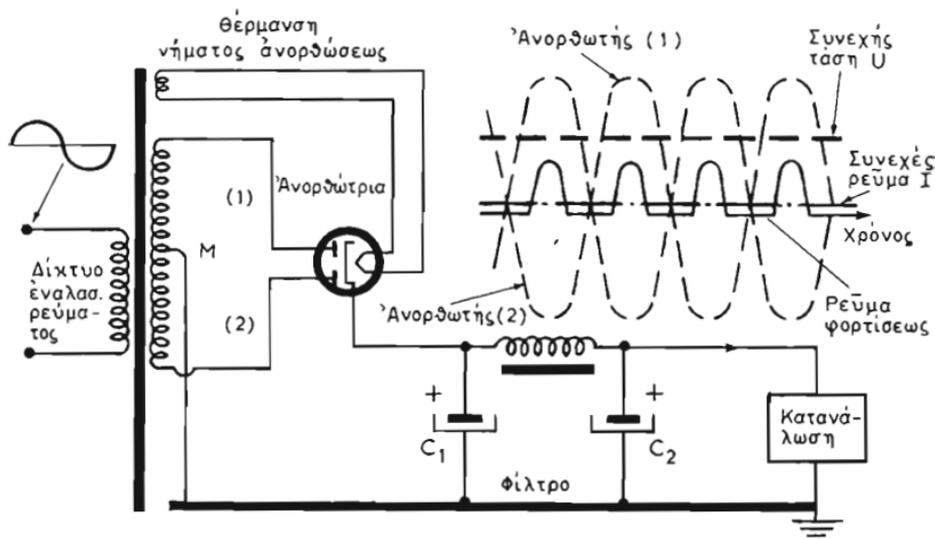
Τὸ σχῆμα 3·2 γ παριστάνει κάπως λεπτομερέστερα με ποιό τρόπο λειτουργεῖ μία διάταξη ἡμιανορθώσεως με φίλτρο CLC. Λέμε ἡμιανορθώσεως, γιατί ὑπάρχει ἕνας μόνος ἀνορθωτὴς πού, ὅπως εἴπαμε, διαρρέεται ἀπὸ ρεῦμα κατὰ ἕνα μέρος τῆς μιᾶς μόνου ἡμιπεριόδου τῆς ἐναλλασσόμενης τάσεως εἰσόδου. Ἡ ἀνορθωμένη συνεχῆς τάση ἰσοῦται περίπου με τὴν ἐνεργὸ τιμὴ τῆς ἐναλλασσόμενης τάσεως στὸ δευτερεύον τοῦ μετασχηματιστῆ.

Πλήρης ἀνορθωση (σχ. 3·2 δ): Ἡ διάταξη αὐτὴ περιλαμβάνει δύο ἀνορθωτὲς (ἢ ἕνα διπλὸ ἀνορθωτὴ), πού ὁ ἕνας τους διαρρέεται ἀπὸ ρεῦμα κατὰ ἕνα μέρος τῆς μιᾶς ἡμιπεριόδου τῆς ἐναλλασσόμενης τάσεως εἰσόδου, ἐνῶ ὁ ἄλλος λειτουργεῖ κατὰ ἕνα μέρος τῆς ἐπόμενης ἡμιπεριόδου. Με τὸν τρόπο αὐτὸ χρησιμοποιοῦνται καὶ οἱ δύο ἡμιπεριόδοι.

Ἐκτὸς ἀπὸ τὴ διαφορὰ αὐτὴ, σὲ σύγκριση με τὴ διάταξη ἡμιανορθώσεως, ὁ μετασχηματιστὴς ἔχει τώρα μία μεσαία λήψη, πού γειώνεται. Ἡ ἀνορθωμένη συνεχῆς τάση ἰσοῦται περίπου με τὴν ἐνεργὸ τιμὴ τῆς τάσεως σὲ κάθε μισὸ τοῦ δευτερεύοντος. Ἄρα, σὲ σύγκριση με τὴν ἡμιανόρθωση, χρειάζεται, ἄς ποῦμε, ἕνα διπλάσιο δευτερεύον γιὰ νὰ πάρομε τὴν ἴδια ἀνορθωμένη συνεχῆ τάση. Στὸ μεταξύ ὁμως, καθὼς ἔχομε τώρα δύο ἀνορθωτὲς, τὸ συνεχῆς ρεῦμα στὴν κατανάλωση πρακτικὰ διπλασιάζεται.

Στὴν πραγματικότητα, τὸ ὅτι ἔχομε μεγαλύτερο δευτερεύον δὲν σημαίνει ὅτι ὁ μετασχηματιστὴς γίνεται δύο φορές ἀκριβότερος. Καὶ τοῦτο γιατί, ἐκτὸς τῶν ἄλλων, ὁ μετασχηματιστὴς ἐργάζεται

τώρα κάτω από καλύτερες συνθήκες. Πραγματικά, τὰ ρεύματα τῶν άνορθωτῶν κυκλοφοροῦν στὰ δύο μισὰ δευτερεύοντα πρὸς ἀντίθετες κατευθύνσεις.



Σχ. 3-2 δ.

Πλήρης άνόρθωση με φίλτρο CLC. Χρησιμοποιείται μία διπλή άνορθωτρία λυχνία και μετασχηματιστής με μεσαία λήψη. Οι έναλλασόμενες τάσεις στὰ δύο μισὰ δευτερεύοντα βρίσκονται σέ αντίφαση. Ἡ εξήγηση τῆς λειτουργίας δίνεται ἀπὸ τὶς καμπύλες, πάνω δεξιά. Ἡ κυμάτωση τῆς συνεχοῦς τάσεως στὴν κατανάλωση εἶναι περίπου 0,5%. Τὰ νήματα τῶν λυχνιῶν θερμαίνονται ἀπὸ ξεχωριστὸ δευτερεύον.

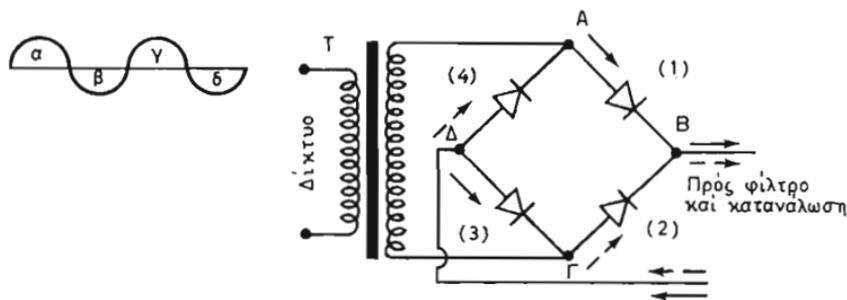
Ἄλλο σημαντικό πλεονέκτημα εἶναι ὅτι ἡ κυμάτωση τῆς συνεχοῦς τάσεως στὴν κατανάλωση γίνεται μικρότερη (ἢ μισὴ περίπου ἀπὸ ἐκείνη πού ὑπάρχει στὴν ἡμιάνορθωση). Αυτό οφείλεται προφανῶς στὸ ὅτι οἱ δύο άνορθωτῆς δίνουν πυκνότερους παλμούς ρεύματος, ἓνα παλμὸ σέ κάθε ἡμιπερίοδο. Ἐπειδὴ μάλιστα ἡ συχνότητα τῆς κυμάτωσης εἶναι τώρα ὑψηλότερη ($2 \times 50 = 100$ Hz), ἡ λειτουργία τοῦ φίλτρου γίνεται καλύτερη.

Γι' αὐτοὺς τοὺς λόγους προτιμοῦμε γενικά τὴν πλήρη άνόρθωση, ἂν καὶ ἀπαιτεῖ κάπως περισσότερο ὕλικό.

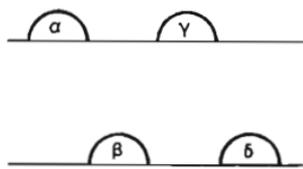
Γέφυρα άνορθώσεως (σχ. 3 · 2 ε): Ἡ συνδεσμολογία αὐτὴ κάνει πλήρη άνόρθωση, χωρὶς νὰ χρειάζεται μετασχηματιστὴ με διπλὸ

δευτερεύον και με μεσαία λήψη. Απαιτείται όμως τέσσερις άνορθωτές, αντί για δύο.

Η γέφυρα λειτουργεί ως εξής: Κατά τη μία ήμιπερίοδο α και γ της εναλλασσόμενης τάσεως τροφοδότησεως, όταν το άκρο Α είναι θετικό ως προς το Γ (σχ. 3·2 ε), άγωγιμοι είναι οι άνορθωτές 1 και 3, ενώ οι άλλοι δύο άνορθωτές αποτελούν διακοπές. Κατά την επόμενη β και δ ήμιπερίοδο (άκρο Γ θετικό ως προς το Α) γίνονται



Κυματομορφή στην έξοδο των άνορθωτών (1) και (3)



Κυματομορφή στην έξοδο των άνορθωτών (2) και (4)



Συνολική κυματομορφή τάσεως εξόδου

Σχ. 3·2 ε.

Γέφυρα άνορθώσεως.

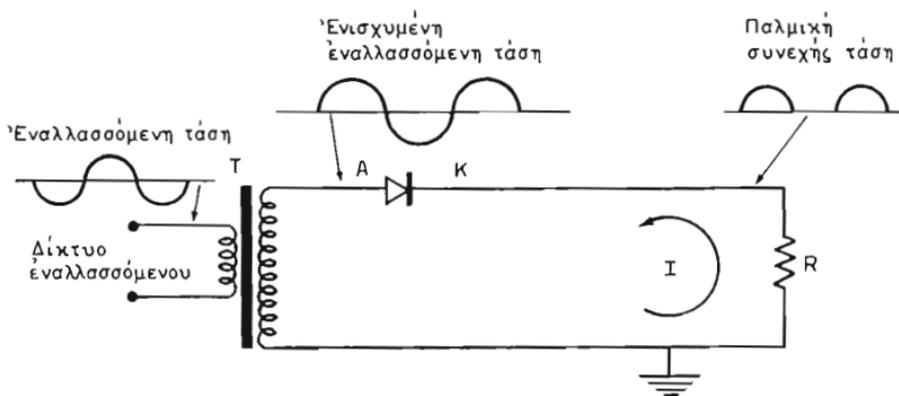
άγωγιμοι οι άνορθωτές 2 και 4. Έτσι ή καταναλώση, μέσα από ν όποια κλείνει το κύκλωμα, διαρρέεται από ρεύμα με μία και την α πάντοτε κατεύθυνση. Οι άνορθωτές μπορούν να είναι λυχνίες ού ή κρυσταλλοδιόδοι.

Φίλτρα.

Όπως περιγράψαμε στην προηγούμενη παράγραφο, μία άνορτική διάταξη περιλαμβάνει τη λυχνία ή κρυσταλλολυχνία άνορσεως και ένα φίλτρο. Το φίλτρο έξομαλύνει το κυμαινόμενο συές ρεύμα, που παίρνει από την άνορθώτρια.

Για να καταλάβουμε όμως καλύτερα, τί κάνει ένα φίλτρο, εξηγήσουμε άμέσως τη λειτουργία του.

Ας υποθέσουμε ότι στην άνοδο μιας κρυσταλλοδιόδου συνδέουμε το δίκτυο έναλλασσόμενης τάσεως μέσω ενός μετασχηματιστή T για να αύξηθεί ή τάση. Σύμφωνα με όσα μάθαμε στο Κεφάλαιο 2, όταν ή έναλλασσόμενη τάση είναι στη θετική ήμιπερίοδο, ή κρυσταλλοδιόδος λειτουργεί και διαρρέεται από ρεύμα I . Έτσι, αν έχουμε μία αντίσταση R μεταξύ καθόδου K και γής, θα πάρουμε μία πτώση τάσεως στην αντίσταση, αυτή που φαίνεται στο σχήμα 3·3 α. Όταν ή έναλλασσόμενη τάση είναι άρνητική, ή κρυσταλλοδιόδος δέν αφήνει να περάσει ρεύμα από την αντίσταση R . Έτσι ή πτώση τάσεως στην αντίσταση R είναι συνεχής, παλμική, γιατί άποτελείται από θετικούς μόνο παλμούς.



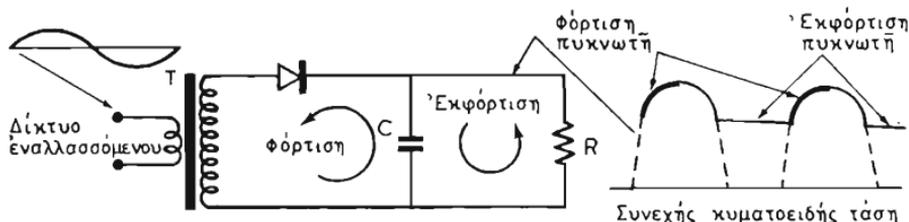
Σχ. 3·3 α.

Κύκλωμα κρυσταλλοδιόδου.

Αν όμως συνδέσουμε και ένα πυκνωτή παράλληλα με την αντίσταση R , όπως στο σχήμα 3·3 β, τότε ο συνδυασμός του πυκνωτή C και της αντιστάσεως R μās δίνει μία τάση που δέν άποτελείται από παλμούς, όπως είδαμε στο σχήμα 3·3 α, αλλά είναι μία συνεχής κυματοειδής τάση, που μοιάζει περισσότερο με συνεχή παρά με έναλλασσόμενη, όπως φαίνεται στο σχήμα 3·3 β. Πώς γίνεται όμως αυτό;

Μόλις από την κρυσταλλοδιόδο άρχίσει να περνά ρεύμα, το ρεύμα αυτό άρχίζει σιγά-σιγά να δημιουργεί στα άκρα του πυκνω-

τῆς μίας τάσης ἴση μὲ τὴν τάση τοῦ δευτερεύοντος τοῦ μετασχηματιστῆ T τοῦ σχήματος 3 · 3 β, μέχρι νὰ φθάσει στὴ μέγιστη τιμὴ. Στὴν περίπτωση αὐτὴ λέμε ὅτι ὁ πυκνωτὴς C φορτίζεται, καὶ ἡ τάση του παίρνει τὴ μορφή τῆς καμπύλης τοῦ σχήματος 3 · 3 β. Ὄταν ὁμως



Σχ. 3.3 β.

Κρυσταλλοδιόδος μὲ φίλτρο.

ἡ τάση τοῦ δευτερεύοντος μετασχηματιστῆ ἀρχίζει νὰ μικραίνει γιὰ νὰ μηδενιστεῖ, ὁ πυκνωτὴς, ποῦ ἔχει μίαν τάση στὰ ἄκρα του, ἀρχίζει σιγά-σιγά νὰ κυκλοφορεῖ ρεῦμα μέσω τῆς ἀντιστάσεως R κι ἔτσι ἡ τάση του πέφτει σιγά-σιγά, ὅπως φαίνεται στὴν καμπύλη τοῦ σχήματος 3 · 3 β (λέμε τότε ὅτι ὁ πυκνωτὴς ἐκφορτίζεται), μέχρι νὰ ἔλθει ἡ ἐπόμενη θετικὴ ἡμιπερίοδος γιὰ νὰ τὸν ξαναφορτίσει κ.ο.κ. Ἡ διάταξη αὐτὴ τοῦ συνδυασμοῦ πυκνωτῆ-ἀντιστάσεως λέγεται *φίλτρο*, γιατί φιλτράρει τὶς διακυμάνσεις (τὶς ἐναλλαγές, τοὺς παλμούς) τῆς τάσεως ἐξόδου καὶ τὶς κάνει περισσότερο ὁμαλές καὶ συνεχεῖς. Τέτοια φίλτρα μπορούμε νὰ ἔχομε καὶ μὲ συνδυασμὸ ἐπαγωγικοῦ πηνίου καὶ πυκνωτῆ, ὅπως εἶδαμε στὴν προηγούμενη παράγραφο.

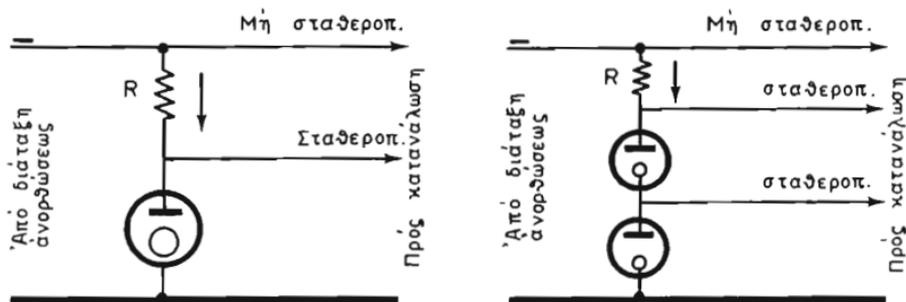
3.4 Σταθεροποίηση τάσεως.

Ἡ ἀνόρθωση μὲ φίλτρο, ὅπως τὴ γνωρίσαμε προηγουμένως, ἀφήνει μίαν μικρὴ κυμάτωση πάνω στὴν ἀνορθωμένη συνεχὴ τάση. Ἐκτὸς ἀπὸ αὐτό, ἡ συνεχὴς ἀνορθωμένη τάση ἐλαττώνεται σημαντικὰ (μέχρι 30% καὶ περισσότερο), ὅταν τὸ συνεχές ρεῦμα στὴν κατανάλωση αὐξάνει ἀπὸ μηδὲν μέχρι τὴ μέγιστη ἐπιτρεπόμενη τιμὴ του. Τέλος, κάθε μεταβολὴ τῆς ἐναλλασσόμενης τάσεως τοῦ δικτύου (καὶ ξέρομε ὅτι ἡ τάση τοῦ δικτύου «παίζει» σὲ ἀρκετὰ πλατιά ὄρια), γίνεται ἄμεσα αἰσθητὴ στὴν ἀνορθωμένη συνεχὴ τάση.

Ὅλα αὐτὰ τὰ μειονεκτήματα δὲν ἔχουν πολλὲς φορές ἰδιαίτερη

σημασία. Υπάρχουν όμως περιπτώσεις, που η τροφοδότηση πρέπει να δίνει μία συνεχή τάση, χωρίς κυμάτωση και ανεξάρτητη από το συνεχές ρεύμα στην κατανάλωση ή από τις μεταβολές της εναλλασσόμενης τάσεως του δικτύου. Χρησιμοποιούμε τότε μία από τις γνωστές άνορθωτικές διατάξεις (π.χ. πλήρους άνορθώσεως με φίλτρο), που τη συμπληρώνουμε με μία διάταξη σταθεροποίησης της συνεχούς τάσεως.

Υπάρχουν διάφορες διατάξεις σταθεροποίησης. Μπορούμε π.χ. να χρησιμοποιήσουμε ειδικές λυχνίες με άριο και με ψυχρή κάθοδο, όπως είδαμε στα προηγούμενα κεφάλαια. Οι λυχνίες αυτές διατηρούν μία σταθερή πτώση τάσεως μεταξύ άνόδου και καθόδου. Επί πλέον, η σταθερή αυτή συνεχής τάση μένει ή ίδια, έστω κι αν το συνεχές ρεύμα μεταβάλλεται σε άρκετά πλατιά όρια. Όπως είπαμε στο Κεφάλαιο 1, για να άρχισει ή λειτουργία αυτών των λυχνιών, πρέπει να τις τροφοδοτήσουμε στο ξεκίνημα με μία ύψηλότερη τάση έναύσεως. Ξέρομε επίσης ότι οι λυχνίες αυτές πρέπει να προστατεύονται από ύπερβολικά μεγάλα ρεύματα με μία προστατευτική αντίσταση σε σειρά R. Φτάνομε έτσι στις συνδεσμολογίες του σχήματος 3·4.



Σχ. 3.4.

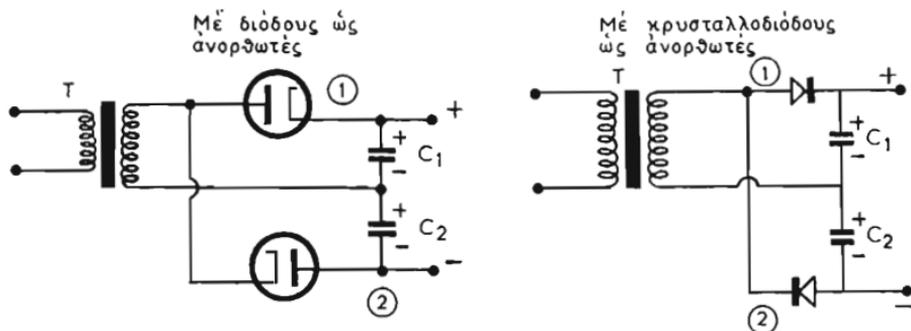
Σταθεροποίηση τάσεως με λυχνίες άερίου (μία ή δύο λυχνίες σε σειρά). Για μεγαλύτερη τάση ή ρεύμα έξοδου μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε περισσότερες λυχνίες σε σειρά ή παράλληλα.

Υπάρχουν και άλλα είδη διατάξεων σταθεροποίησης τάσεως, και μεταξύ αυτών ή διάταξη με κρυσταλλοδιόδους, που έκμεταλλεύονται τα φαινόμενα κατολισθήσεως και Zener, που είδαμε στο Κεφάλαιο 2. Τέτοιες κρυσταλλοδιόδοι χρησιμοποιούνται σε κατάλληλα κυκλώματα, για σταθεροποίηση της τάσεως.

3.5 Πολλαπλασιαστές τάσεως.

Οί πολλαπλασιαστές τάσεως είναι μία μορφή άνορθωτικών κυκλωμάτων, όπως θα δούμε παρακάτω. Οί πολλαπλασιαστές τάσεως κάνουν διπλασιασμό, τριπλασιασμό κ.λπ. της τάσεως τροφοδοτήσεως, αφού προηγουμένως κάνουν ανόρθωση.

Διπλασιαστής τάσεως (σχ. 3.5 α): Κατά τη μία ήμιπερίοδο



Σχ. 3.5 α.

Διπλασιαστής τάσεως.

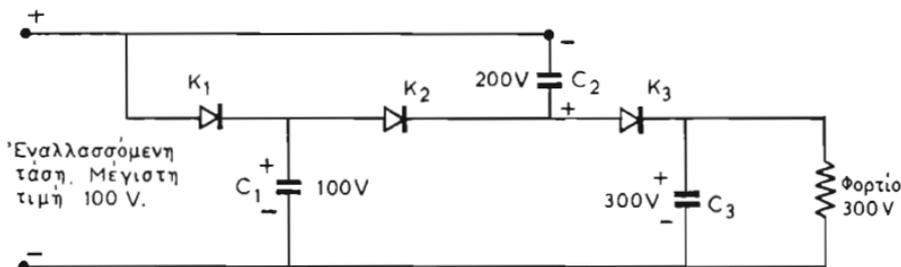
της εναλλασσόμενης τάσεως τροφοδοτήσεως, άγώγιμος είναι π.χ. ό άνορθωτής 1, ενώ ό πυκνωτής C_1 φορτίζεται με την πολικότητα (+ και -), που φαίνεται στο σχήμα. Κατά την επόμενη ήμιπερίοδο είναι άγώγιμος ό άνορθωτής 2, που φορτίζει τον πυκνωτή C_2 με τέτοια πολικότητα, ώστε οί τάσεις τών δύο πυκνωτών να προστίθενται. Έτσι ή συνεχής τάση στην έξοδο είναι περίπου διπλάσια από την ενεργό τιμή της εναλλασσόμενης τάσεως στο δευτερεύον του μετασχηματιστή. Η έξομάλυνση της συνεχούς τάσεως γίνεται συνήθως μόνο με τούς δύο πυκνωτές. Δεν χρησιμοποιείται δηλαδή πολυπλοκότερο φίλτρο.

Τριπλασιαστής τάσεως: Υπάρχουν και διάφορα άλλα άνορθωτικά κυκλώματα, που κάνουν και πολλαπλασιασμό τάσεως, όπως βλέπομε στο σχήμα 3.5 β.

Έδω βλέπομε πώς γίνεται ή ανόρθωση και ό τριπλασιασμός της τάσεως.

Παρατηρούμε ότι, προσθέτοντας κρυσταλλοτρίόδους και πυκνωτές, με τον τρόπο που φαίνεται στο σχήμα 3.5 β μπορούμε να πολλαπλασιάσομε την τάση εισόδου όσο θέλομε — θεωρητικά

βέβαια — γιατί στην πράξη υπάρχουν διάφοροι περιορισμοί, που δεν μᾶς επιτρέπουν νὰ τὴν πολλαπλασιάσουμε πάνω ἀπὸ 4 - 5 φορές.



Σχ. 3·5 β.

Τριπλασιαστής τάσεως.

Ἡ λειτουργία τοῦ πολλαπλασιαστή αὐτοῦ εἶναι ἀπλή: Ὄταν τὸ πάνω μέρος τῆς τάσεως εἰσόδου εἶναι θετικό, ὅλες οἱ κρυσταλλο-δίοδοι K_1 , K_2 , K_3 , ἐνεργοῦν ὡς ἡμιανορθωτές καὶ φορτίζουν τοὺς πυκνωτές $C_1 - C_3$ θεωρητικά μέχρι τὴν μέγιστη τιμὴ τῆς ἐναλλασσόμενης τάσεως εἰσόδου (ἔστω 100 V). Ὄταν ἡ ἡμιπερίοδος τῆς τάσεως εἰσόδου γίνεϊ ἀρνητική (σὺν κάτω καὶ πλὴν ἄνω, σχ. 3·5 β), τότε ἡ τάση εἰσόδου (100 V) βρίσκεται σὲ σειρά μὲ τὴν τάση στὸν πυκνωτὴ C_1 (100 V) καὶ μαζί καὶ οἱ δύο τάσεις φορτίζουν τὸν πυκνωτὴ C_2 στὰ 200 V, μὲ τὴν πολικότητα ποὺ βλέπομε στὸ σχῆμα 3·5 β. Ὄταν ἡ τάση εἰσόδου ξαναγίνεϊ θετική, ἡ τάση εἰσόδου (100 V) βρίσκεται σὲ σειρά μὲ τὴν τάση τοῦ πυκνωτῆ C_2 (200 V) καὶ οἱ δύο μαζί τώρα φορτίζουν τὸν πυκνωτὴ C_3 μέχρι τὰ 300 V. Ἔτσι ἔχομε τριπλασιασμὸ τῆς τάσεως εἰσόδου. Βλέπομε ἐπίσης ὅτι στὸν πυκνωτὴ C_3 ἔχομε τριπλασιασμὸ τάσεως, ἐνῶ στὸν C_2 διπλασιασμὸ.

3·6 Ἐρωτήσεις.

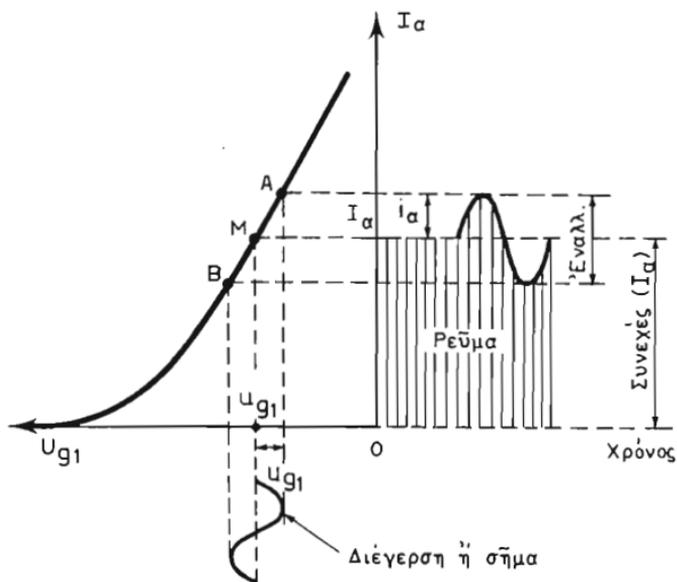
1. Σχεδιάστε ἓνα μετασχηματιστή.
2. Τί λέγεταί σχέση μεταφορᾶς ἐνὸς μετασχηματιστή, καὶ μὲ τί ἰσοῦται;
3. Μὲ τί ἰσοῦται ἡ ἰσχύς μονοφασικοῦ μετασχηματιστή;
4. Τί εἶναι ἀνόρθωση ἐναλλασσόμενου ρεύματος;
5. Σχεδιάστε ἓνα κύκλωμα ἡμιανορθώσεως, καὶ ἐξηγεῖστε τὶς διάφορες κυματομορφές.
6. Τί κάνει τὸ φίλτρο σ' ἓνα ἀνορθωτικό κύκλωμα;
7. Σχεδιάστε ἓνα κύκλωμα πλήρους ἀνορθώσεως.
8. Σχεδιάστε ἓνα κύκλωμα μὲ φίλτρο.
9. Τί χρειάζεται ὁ σταθεροποιητὴς τάσεως;
10. Ἐξηγεῖστε τὴ λειτουργία σταθεροποιητῆ τάσεως μὲ λυχνία ἀερίου.
11. Ἐξηγεῖστε μ' ἓνα σχέδιο τὴ λειτουργία ἐνὸς διπλασιαστή τάσεως.

Κ Ε Φ Α Λ Α Ι Ο 4

Ε Ν Ι Σ Χ Υ Σ Η

4.1 Είσαγωγή.

Στό κεφάλαιο περί λυχνιών διαπιστώσαμε τὰ ἀκόλουθα: Ἐστὼ ὅτι ἔχομε μίᾳ τρίοδο ἢ μίᾳ πεντάοδο λυχνία. Στὸ σχῆμα 4.1 α, ξαναγράφομε τὴ μορφή μιᾶς ἀπὸ τὶς χαρακτηριστικὲς ἐσχάρας, π.χ. αὐτὴ πού ἀντιστοιχεῖ σὲ σταθερὴ ἀνοδικὴ τάση $U_a = 150 \text{ V}$. Ὄταν ἡ πόλωση τῆς ἐσχάρας ἐλέγχου ἔχει μίᾳ ὀρισμένην συνεχῆ τιμὴ U_{g1} (ἀρνητικὴ), τὸ ἀνοδικὸ ρεῦμα εἶναι συνεχές καὶ ἔχει μίᾳ τιμὴ I_a . Ἡ κατάσταση αὐτὴ ἀντιστοιχεῖ στὸ σημεῖο Μ τῆς χαρακτηριστικῆς.



Σχ. 4.1 α.

Κατάσταση ἡρεμίας καὶ διέγερση μιᾶς λυχνίας.

Ἄν στὴν ἐσχάρα ἐφαρμόσομε, ἐπὶ πλέον, μίᾳ σχετικὰ μικρὴ ἐναλλασσόμενη τάση u_{g1} , τὸ ἀνοδικὸ ρεῦμα γίνεται μεταβαλλόμενο. Ἀποτελεῖται ἀπὸ ἕνα μέρος συνεχοῦς ρεύματος I_a καὶ ἀπὸ ἕνα μέρος ἐναλλασσόμενου ρεύματος i_a .

Γιὰ νὰ μὴν συγχέομε τὰ διάφορα μεγέθη, συμφωνοῦμε ὥστε τὰ συνεχὴ μεγέθη (τάσεις ἢ ρεύματα) νὰ τὰ παριστάνομε μὲ μεγάλα γράμματα (U, I). Τὰ ἐναλλασσόμενα μεγέθη θὰ τὰ παριστάνομε μὲ μικρὰ γράμματα, u, i .

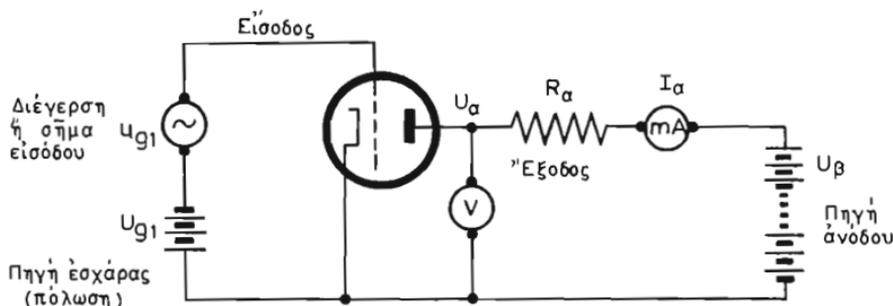
Ὅταν στὴ λυχνία ἔχουν ἐφαρμοστῆ μόνο οἱ συνεχεῖς τάσεις της, θὰ λέμε ὅτι ἡ λυχνία βρίσκεται σὲ κατάσταση ἡρεμίας. Ἡ κατάσταση αὐτὴ ἀντιστοιχεῖ στοῦ σημεῖο λειτουργίας (σημεῖο M τῆς ἀντίστοιχης χαρακτηριστικῆς). Τὸ ἀντίστοιχο συνεχὲς ἀνοδικὸ ρεῦμα I_a θὰ τὸ λέμε *ρεῦμα ἡρεμίας*.

Ἡ κατάσταση ἡρεμίας παύει, ὅταν στὴν ἐσχάρα ἐλέγχου ἐφαρμοστῆ μία ἐναλλασσόμενη τάση, πού τὴν ὀνομάζομε *διέγερση* ἢ *σῆμα*. Ὅταν ὑπάρχει διέγερση, τὸ ἀνοδικὸ ρεῦμα εἶναι μεταβαλλόμενο.

Ἐκεῖνο πού μᾶς ἐνδιαφέρει πάνω ἀπ' ὅλα εἶναι, ὅπως θὰ καταλάβομε καλύτερα στὴ συνέχεια, τὸ ἐναλλασσόμενο μέρος τοῦ ἀνοδικοῦ ρεύματος. Μέχρι ἐδῶ ὅμως ἔχομε ὑποθέσει ὅτι χαράζοντας τὶς χαρακτηριστικὲς ἐσχάρας, ἡ ἀνοδικὴ τάση μένει σταθερὴ. Τέτοιες χαρακτηριστικὲς λέγονται *στατικές*. Αὐτὸ σημαίνει ὅτι ἡ ἀνοδος τῆς λυχνίας ἔχει συνδεθεῖ ἀπ' εὐθείας μὲ μία πηγὴ (π.χ. μιὰ στήλη), πού ἡ ἐσωτερικὴ τῆς ἀντίστασις ὑποτίθεται ἀμελητέα. Τὸ ἐναλλασσόμενο ἀνοδικὸ ρεῦμα περνᾷ μέσα ἀπὸ μιὰ τέτοια πηγὴ, χωρὶς αἰσθητὴ πτώση τάσεως. Μὲ ἄλλα λόγια, ὑπάρχει μὲν ἐναλλασσόμενο ἀνοδικὸ ρεῦμα, καὶ μάλιστα ἀρκετὰ ἰσχυρὸ, ὄχι ὅμως καὶ ἐναλλασσόμενη ἀνοδικὴ τάση. Ἐμεῖς ὅμως ἐνδιαφερόμαστε νὰ ἔχομε καὶ μεταβολὴ ἀνοδικῆς τάσεως.

Γνωρίζομε ὅτι, γιὰ νὰ πάρομε ἀπὸ ἕνα ρεῦμα μιὰ πτώση τάσεως, φθάνει νὰ ἀναγκάσομε τὸ ρεῦμα νὰ περάσει μέσα ἀπὸ μιὰ ἀντίστασις (ὠμικὴ ἢ ἄλλη σύνθετη ἀντίστασις). Φθάνει λοιπὸν νὰ συνδέσομε μιὰ ἀντίστασις R_a ἀνάμεσα στὴν ἄνοδο τῆς λυχνίας καὶ τὴν πηγὴ πού τὴν τροφοδοτεῖ, ὅπως βλέπομε στοῦ σχῆμα 4·1β. Μία τέτοια ἀντίστασις ὀνομάζεται *φορτίο τῆς λυχνίας* (ἐπειδὴ φορτίζει τὴν ἄνοδό της). Ἡ παρουσία τοῦ φορτίου ἀλλάζει τὶς συνθηκὲς λειτουργίας. Αὐτὸ θὰ τὸ ἐξετάσομε στὶς ἐπόμενες παραγράφους. Θὰ δοῦμε ὅτι ἡ λυχνία λειτουργεῖ τότε ὡς *ἐνισχύτρια τάσεως*. Ἡ ἀσθενὴς ἐναλλασσόμενη τάση, πού θέλομε νὰ ἐνισχύσομε, ἐφαρμόζεται στοῦ κύκλωμα τῆς ἐσχάρας ἐλέγχου, πού λέγεται καὶ *κύκλωμα εἰσό-*

δου (ἢ εἰσοδος). Ἡ ἴδια τάση, ἀλλὰ σημαντικά ἰσχυρότερη, δηλαδή ἐνισχυμένη, ἐφαρμόζεται πάνω στοῦ φορτίου τοῦ ἀνοδικοῦ κυκλώματος, πού ἀποτελεῖ ἔτσι τὸ κύκλωμα ἐξόδου τῆς λυχνίας.



Σχ. 4·1 β.

Λυχνία συνδεσμολογημένη σὲ ἐνισχύτρια τάσεως.

4·2 Ἐπίδραση τοῦ ἀνοδικοῦ φορτίου — Εὐθεία φορτίου.

Ὅπως εἴπαμε, ἡ παρουσία τοῦ ἀνοδικοῦ φορτίου R_a τοῦ σχήματος 4·1 β τροποποιεῖ τὴν συνθήκες λειτουργίας τῆς λυχνίας. Στὴ συνέχεια θὰ δοῦμε, πῶς ἐκδηλώνεται ἡ ἐπίδραση αὐτή.

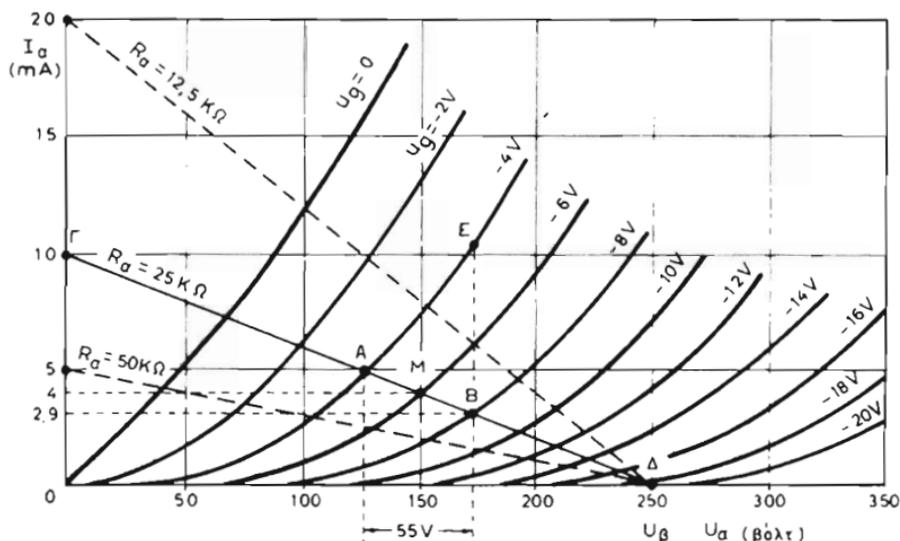
Ἄν δὲν ὑπῆρχε τὸ ἀνοδικὸ φορτίο, ἡ ἀνοδος τῆς λυχνίας θὰ δεχόταν ἀπ' εὐθείας ὀλόκληρη τὴν τάση τῆς πηγῆς τροφοδοτήσεως. Ἡ τάση αὐτή θὰ ἔμενε σταθερὴ γιὰ ὅποιοδήποτε ἀνοδικὸ ρεῦμα. Λόγω ὅμως τῆς διελεύσεως τοῦ ρεύματος I_a , τὸ ἀνοδικὸ φορτίο ἐπιβάλλει μίαν πτώση τάσεως ἴση μὲ $R_a \cdot I_a$, σύμφωνα μὲ τὸ νόμο τοῦ Ὠμ. Ἡ πτώση αὐτὴ ἀφαιρεῖται ἀπὸ τὴν τάση τῆς πηγῆς, καὶ στὴν ἀνοδο δὲν φθάνει παρὰ μόνο ἡ διαφορά.

Γιὰ νὰ εἴμαστε πιὸ συγκεκριμένοι, ἄς ὀνομάσουμε U_b τὴν τάση τῆς πηγῆς τροφοδοτήσεως καὶ U_a τὴν ἀνοδικὴ τάση τῆς λυχνίας. Θὰ ἔχομε τότε, σύμφωνα μὲ τὸν προηγούμενο συλλογισμό:

$$\text{ἀνοδικὴ τάση } U_a = U_b - R_a \cdot I_a \quad (1)$$

Τὸ ἄμεσο συμπέρασμα εἶναι ὅτι, ἐξ αἰτίας τῆς παρουσίας τοῦ φορτίου, ἡ ἀνοδικὴ τάση ἐξαρτᾶται ἀπὸ τὸ ἀνοδικὸ ρεῦμα. Ὅσο τὸ ἀνοδικὸ ρεῦμα I_a εἶναι μεγαλύτερο, τόσο τὸ γινόμενο $R_a \cdot I_a$ εἶναι μεγαλύτερο, ἄρα ἡ ἀνοδικὴ τάση μικραίνει. Αὐτὸ βέβαια προϋποθέτει ὅτι ἡ τάση τῆς πηγῆς U_b εἶναι δοσμένη καὶ σταθερή.

Για να δούμε το πράγμα καλύτερα, ας υποθέσουμε ότι η τάση της πηγής είναι $U_{\beta} = 250$ βόλτ και ότι το άνοδικό φορτίο είναι $R_a = 25 \text{ k}\Omega$ (σχ. 4·2). Όταν $I_a = 0$, η προηγούμενη σχέση δίνει $U_a = U_{\beta}$. Δηλαδή η άνοδος δέχεται ολόκληρη την τάση της πηγής άφου δέν υπάρχει άνοδικό ρεύμα, άρα ούτε άνοδική πτώση τάσεως. Η κατάσταση αυτή αντιστοιχεί στο σημείο Δ του σχήματος 4·2.



Σχ. 4·2.

Ευθείες φορτίου για διάφορα άνοδικά φορτία, για μία όρισμένη τριόδο.

Όταν, αντίθετα, το άνοδικό ρεύμα γίνει τόσο μεγάλο, ώστε η πτώση τάσεως $R_a \cdot I_a$ να εξισωθεί με την τάση της πηγής U_{β} , όταν δηλαδή $U_{\beta} = R_a \cdot I_a$, τότε προφανώς η άνοδική τάση της λυχνίας γίνεται $U_a = 0$. Για να έχουμε όμως $U_{\beta} = R_a \cdot I_a$, το άνοδικό ρεύμα πρέπει να πάρει την τιμή $I_a = U_{\beta}/R_a$. Στο παράδειγμά μας, η τιμή αυτή είναι $I_a = 250/25 = 10 \text{ mA}$. Καθορίζουμε έτσι το σημείο Γ του σχήματος 4·2.

Η προηγούμενη σχέση (1) καθορίζει ότι οποιοδήποτε άλλο σημείο (U_a, I_a) οφείλει να βρίσκεται πάνω στην ευθεία ΓΔ. Πραγ-

ματικά, για άνοδικό ρεύμα, π.χ. $I_a = 5 \text{ mA}$, ή άνοδική τάση πρέπει να είναι $U_a = 250 - (25 \times 5) = 125$ βόλτ, πράγμα που αντιστοιχεί άκριβώς στο σημείο Α της εύθειας ΓΔ.

Μιά τέτοια εύθεια ΓΔ ονομάζεται *εύθεια φορτίου* ή *δυναμική χαρακτηριστική άνοδου*. Για να τη χαράξουμε, αρκεί να προσδιορίσουμε, πάνω στον άξονα του άνοδικού ρεύματος I_a , το σημείο Γ στη θέση $I_a = U_b/R_a$. Η εύθεια φορτίου περνά άπ' αυτό το σημείο και άπό το σημείο U_b πάνω στον άξονα τών άνοδικών τάσεων (σημείο Δ). Με τον τρόπο αυτό χαράχτηκαν στο σχήμα 4·2 και οί δύο άλλες εύθειες φορτίου, που αντιστοιχοϋν σε φορτία $R_a = 12,5 \text{ k}\Omega$ και $R_a = 50 \text{ k}\Omega$. Βλέπομε ότι όσο το άνοδικό φορτίο αύξάνει, τόσο οί εύθειες φορτίου χαμηλώνουν, δηλαδή παρουσιάζουν μικρότερη κλίση.

Άν ξέρομε την εύθεια φορτίου, π.χ. αύτη που αντιστοιχεί σε μοναδικό φορτίο $R_a = 25 \text{ k}\Omega$ (σχ. 4·2), οί συνθήκες λειτουργίας της λυχνίας καθορίζονται άμέσως, όταν δοθεί ένα άπό τά τρία μεγέθη U_a , I_a , U_g . Π.χ. για $U_a = 150$ βόλτ, ή λειτουργία της λυχνίας αντιστοιχεί στο σημείο Μ. Το άνοδικό ρεύμα θα είναι λοιπόν 4 mA. Αυτό μās δίνει εύθεια φορτίου. Το σημείο όμως Μ βρίσκεται συγχρόνως και πάνω σε μία (ή άνάμεσα σε δύο) άπό τις παλιές γνωστές μας χαρακτηριστικές καμπύλες, που τις ονομάζομε τώρα, για διάκριση, *στατικές χαρακτηριστικές*. Η στατική χαρακτηριστική, που αντιστοιχεί στο σημείο Μ, δείχνει ότι ή πόλωση της λυχνίας πρέπει να είναι -6 βόλτ. Η λυχνία λοιπόν λειτουργεί στο σημείο Μ με $U_a = 150 \text{ V}$, $I_a = 4 \text{ mA}$ και $U_g = -6 \text{ V}$.

Συμπεραίνομε λοιπόν ότι ή λυχνία δέν μπορεί να λειτουργήσει παρά στα σημεία που καθορίζονται άπό τις τομές άνάμεσα στην εύθεια φορτίου και στις στατικές χαρακτηριστικές καμπύλες. Το συμπέρασμα αυτό είναι πολύ χρήσιμο, όπως θα δοϋμε άμέσως.

Ένισχυση.

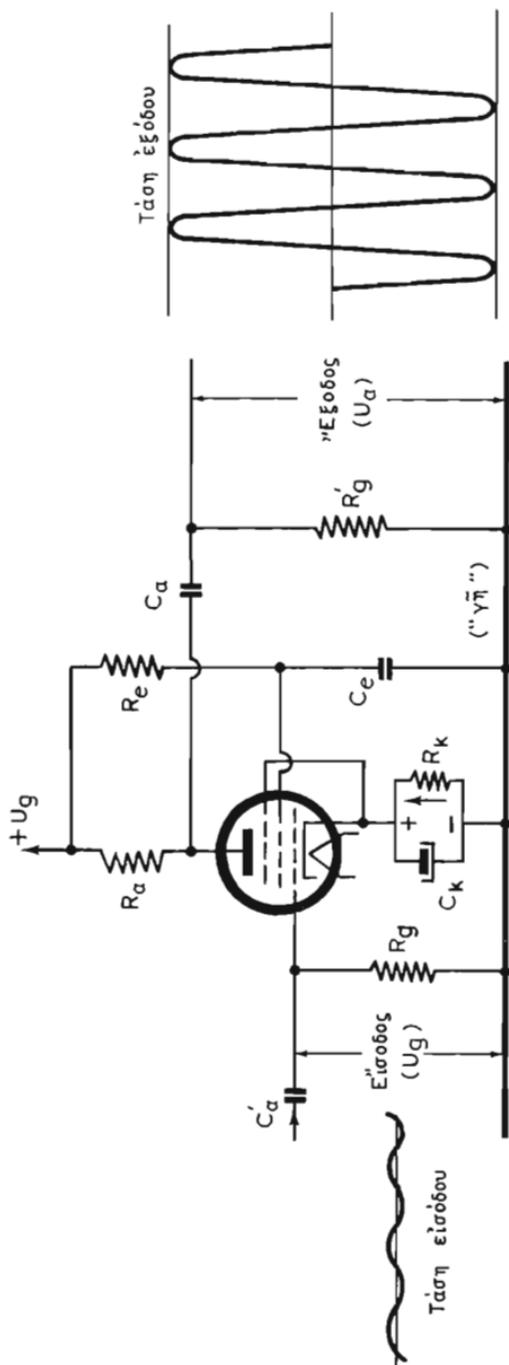
Έπανερχόμαστε στη γνωστή μας συνδεσμολογία του σχήματος 4·1 β. Έστω ότι στην έσχάρα εφαρμόζεται μία πόλωση (συνεχής τάση) $U_g = -6 \text{ V}$ και μία διέγερση (έναλλασσόμενη τάση) με ός $u_g = 2 \text{ V}$. Η τάση της πηγής τροφοδοτήσεως άς είναι 50 V και το άνοδικό φορτίο $R_a = 25 \text{ k}\Omega$.

δικό φορτίο ειδικότερα αποτελείται από μίαν ωμική αντίσταση. Έπειδή, επί πλέον, ένας τέτοιος ένισχυτής προορίζεται για να ενισχύσει μία τάση, γι' αυτό τον λέμε *ένισχυτή τάσεως με αντίστασεις*.

Οί λεπτομέρειες του πραγματικού κυκλώματος (σχ. 4·4α) πρέπει να εξηγηθούν. Θα τις πάρουμε με τη σειρά, από την είσοδο προς την έξοδο του ένισχυτή.

Είσοδος (έσχάρα έλέγχου): Ο πυκνωτής C_a' έχει σκοπό να μην αφήνει να περνούν προς την έσχάρα παρά μονάχα εναλλασσόμενες τάσεις. Στην περίπτωση ενός ένισχυτή με πολλές βαθμίδες (με πολλές λυχνίες), ο πυκνωτής C_a' ανήκει στη βαθμίδα της προηγούμενης λυχνίας. Η αντίσταση R_g χρησιμεύει για να εξασφαλίσει στην έσχάρα έλέγχου το σταθερό δυναμικό της «γής» ή της «μάζας» (ή, πρακτικά, του σασί).

Κάθοδος: Η κάθοδος συνδέεται προς τη μάζα μέσω του παράλληλου κυκλώματος $R_k C_k$. Το κύκλωμα αυτό έχει προορισμό να εξασφαλίσει την άρνητική πόλωση της έσχάρας ως προς την κάθοδο. Αυτό γίνεται με τον έξης τρόπο: στην κατάσταση ήρεμίας, το συνεχές ρεύμα της λυχνίας αποτελείται από ηλεκτρόνια, που ξεκινούν από την κάθοδο της λυχνίας, φθάνουν στην άνοδο και στην προστατευτική έσχάρα, διαρρέουν τα αντίστοιχα κυκλώματα και ξανάρχονται στην κάθοδο. Κατά την έπιστροφή τους, τα ηλεκτρόνια περνούν μέσα από την αντίσταση καθόδου R_k . Η αντίσταση αυτή προκαλεί μία πτώση τάσεως ίση με $R_k \cdot I_{oλ}$, όπου $I_{oλ}$ είναι το όλικό ρεύμα ηλεκτρονίων της λυχνίας (άνοδου και προστατευτικής έσχάρας). Έπειδή μάλιστα τα ηλεκτρόνια προχωρούν από το «πλήν» προς το «σύν», η πτώση τάσεως είναι τέτοια, ώστε η μάζα να γίνεται άρνητική ως προς την κάθοδο. Το ίδιο άρνητική γίνεται και η έσχάρα, που βρίσκεται σε άγωγιμη σύνδεση με τη μάζα. Έτσι, η έσχάρα πολώνεται άρνητικά. Τίποτε από όλα αυτά δεν αλλάζει σε κατάσταση διεγέρσεως. Είναι αλήθεια ότι τότε το ρεύμα της λυχνίας περιέχει και μία εναλλασσόμενη συνιστώσα. Αυτή όμως περνά εύκολα, χωρίς σημαντική πτώση τάσεως, μέσα από τον αρκετά μεγάλο πυκνωτή C_k . Ο πυκνωτής αυτός είναι τόσο μεγάλος, ώστε η χωρητική του αντίσταση $1/2 \pi f C_k$ να είναι άμελητέα σε σχέση



Σχ. 4.4 α.
Ένισχυτής τάσεως με αντίστροφες.

μέ την ώμική αντίσταση R_k . Τοῦτο ἰσχύει γιὰ ὅλες τὶς συχνότητες, ὅπου εἶναι πιθανὸ νὰ χρησιμοποιηθεῖ ὁ ἐνισχυτής. Ἔτσι, κάθε ἐναλλασσόμενη συνιστώσα διαρρέει μέσα ἀπὸ τὸν πυκνωτὴ C_k , πού γι' αὐτὸ καὶ ὀνομάζεται *πυκνωτὴς διαρροῆς*. Ἡ ἐσχάρα μένει πάντα πολωμένη σὲ μιὰ σταθερὴ συνεχὴ ἀρνητικὴ τάση, δηλαδή ἀκριβῶς (ἢ τουλάχιστον μὲ μεγάλη προσέγγιση) σὰν νὰ εἶχαμε ἐξασφαλίσει τὴν πόλωση μὲ μιὰ στήλη, ὅπως τὸ εἶχαμε ὑποθέσει ὡς τώρα. Ἔνας τέτοιος τρόπος πολώσεως μὲ κύκλωμα $R_k C_k$ ὀνομάζεται *αὐτοπόλωση* (δηλαδή πόλωση χωρὶς τὴν χρησιμοποίηση μιᾶς ἰδιαίτερης ξεχωριστῆς πηγῆς).

Προστατευτικὴ ἐσχάρα: Ἡ θετικὴ τάση τῆς προστατευτικῆς ἐσχάρας ἐξασφαλίζεται μὲ τὴν ὀμικὴ ἀντίσταση R_e . Ἐπειδὴ καὶ ἐδῶ θέλομε ἡ τάση αὐτὴ νὰ εἶναι σταθερὴ, χρησιμοποιοῦμε καὶ πάλι ἓνα πυκνωτὴ διαρροῆς C_e . Κάθε ἐναλλασσόμενη συνιστώσα ρεύματος διαρρέει πρὸς τὴ μάζα μέσα ἀπὸ τὸν πυκνωτὴ διαρροῆς. Ἔτσι ἡ συνεχῆς τάση τῆς προστατευτικῆς ἐσχάρας μένει σταθερὴ (πρέπει καὶ πάλι ἡ χωρητικὴ ἀντίσταση $1/2 \pi f C_e$ νὰ εἶναι μικρὴ σὲ σχέση μὲ τὴν ἀντίσταση R_e).

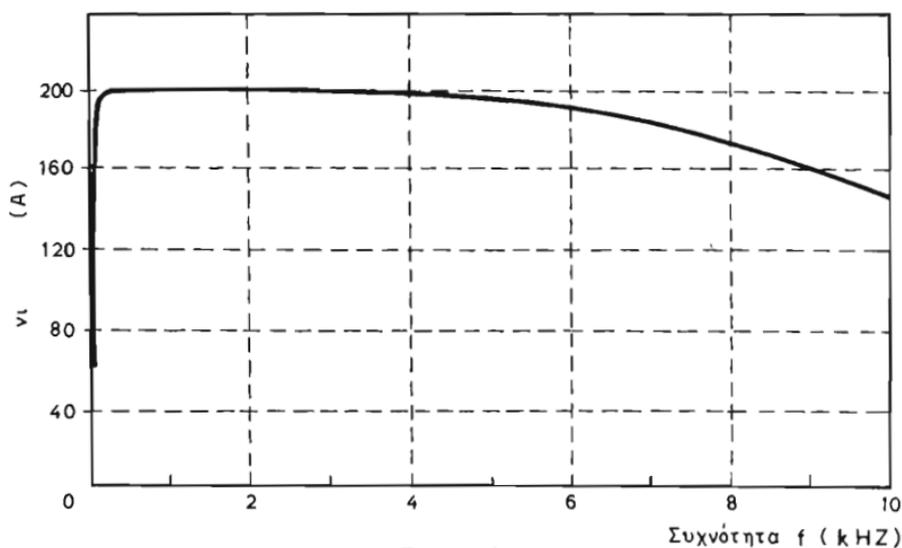
Ἐσχάρα ἀναστολῆς: Ἡ τρίτη ἐσχάρα εἶναι ἀπ' εὐθείας ἐνωμένη μὲ τὴν κάθοδο τῆς λυχνίας.

Ἐξόδος: Τὸ ἀνοδικὸ φορτίο ἀποτελεῖται ἀπὸ τὴν ὀμικὴ ἀντίσταση R_a . Ἡ ἐναλλασσόμενη συνιστώσα τῆς ἀνοδικῆς τάσεως ὀδηγεῖται πρὸς τὴν ἔξοδο μέσα ἀπὸ τὸν πυκνωτὴ C_a , πού τὸν ὀνομάζομε *πυκνωτὴ συζεύξεως*. Ἔτσι, στὴν ἔξοδο βρίσκομε μόνο τὴν ἐνισχυμένη ἐναλλασσόμενη τάση πού μᾶς ἐνδιαφέρει, ἐνῶ ὁ πυκνωτὴς συζεύξεως σταματᾷ τὴν συνεχὴ ἀνοδικὴ τάση. Τὴν ἐναλλασσόμενη τάση ἐξόδου τὴν παραλαμβάνομε πάνω σὲ μιὰ ὀμικὴ ἀντίσταση R'_g . Ἄν ὑπάρχει ἐπόμενη βαθμίδα ἐνισχύσεως, τότε ἡ ἀντίσταση R'_g θὰ ἀνήκει στὸ κύκλωμα ἐσχάρας ἐλέγχου τῆς ἐπόμενης βαθμίδας.

Ἔτσι, ἐνῶ στὴν εἴσοδο ἔχομε μιὰ ἀσθενὴ τάση (διέγερση), στὴν ἔξοδο παίρνομε τὴν ἴδια μορφή τάσεως, ἀλλὰ ἐνισχυμένη πολὺς φορές, ὅπως βλέπομε στὶς κυματομορφές τῆς εἰσόδου καὶ ἐξόδου. Ἄλλὰ ἡ χωρητικὴ ἀντίσταση τῶν πυκνωτῶν ἐξαρτᾶται ἀπὸ τὴν συχνότητα τῆς τάσεως πού θέλομε νὰ ἐνισχύσομε, γιὰτὶ ἡ χωρητικὴ ἀντίσταση $= 1/2 \pi f C$. Ἄρα καὶ ἡ ἐνίσχυση πρέπει γενικὰ νὰ

έξαρτᾶται ἀπὸ τῆ συχνότητα. Πραγματικά, στὶς πολὺ χαμηλές συχνότητες (συνήθως κάτω ἀπὸ 100 Hz), ἡ ἐνίσχυση ἐλαττώνεται, ἐξ αἰτίας κυρίως τῆς παρουσίας τοῦ πυκνωτῆ συζεύξεως C_a . Πρὸς τὶς ὑψηλότερες ἀκουστικὲς συχνότητες (πάνω, ἄς ποῦμε, ἀπὸ 5 ὠς 6 kHz), ἡ ἐνίσχυση ἐλαττώνεται καὶ πάλι, ἀλλὰ αὐτὴ τὴ φορά ἐξ αἰτίας κυρίως τῶν παρασιτικῶν χωρητικοτήτων τῆς λυχνίας. Στὶς ἐνδιάμεσες συχνότητες, ἄς ποῦμε γύρω στὸς 1000 Hz, ἡ ἐνίσχυση γίνεται ἡ μέγιστη δυνατὴ. Στὴ μεσαία αὐτὴ περιοχὴ συχνοτήτων, οἱ διάφοροι πυκνωτὲς ἔχουν ἀμελητέα ἐπίδραση. Ὅσα εἶπαμε στὶς προηγούμενες παραγράφους γιὰ τὸν ὑπολογισμὸ τῆς ἐνισχύσεως, ἰσχύουν κυρίως γιὰ τὴ μεσαία αὐτὴ περιοχὴ συχνοτήτων.

Ἡ καμπύλη τοῦ σχήματος 4.4β δείχνει μὲ ποιὸ περίπου



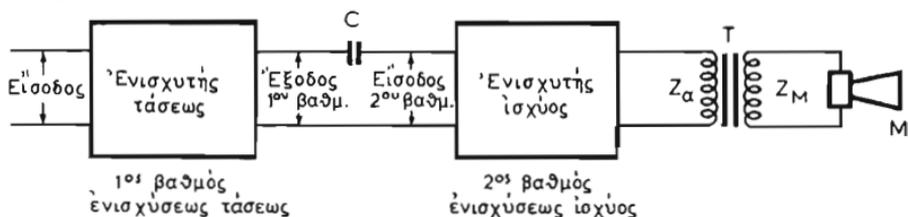
Σχ. 4.4β.

Καμπύλη ἀποκρίσεως ἐνισχυτῆ.

ο ἡ ἐνίσχυση μεταβάλλεται, ὅταν ἡ συχνότητα αὐξάνει, ξεκινᾶ ἀπὸ τὸ μηδέν. Τὴν καμπύλη αὐτὴ τὴν ὀνομάζομε *καμπύλη κρίσεως τοῦ ἐνισχυτῆ*. Εἶναι δυνατὸ νὰ κατασκευάσομε ἐνισχυτές, ὅ νὰ ἐνισχύουν πρακτικὰ ὁμοίομορφα, δηλαδή μὲ μία καὶ τὴν ἴδια ὑση, ὁλόκληρη τὴν περιοχὴ τῶν χαμηλῶν συχνοτήτων (π.χ. 20 Hz ὠς 20 000 Hz). Μία τέτοια ὁμοίομορφη ἐνίσχυση εἶναι

προφανώς απαραίτητη για την καλή αναπαραγωγή του ήχου στα ραδιόφωνα, ή σε άλλες παρόμοιες διατάξεις.

Ο ενισχυτής που εξετάσαμε προηγουμένως, είναι κατάλληλος για να ενισχύσει μία τάση χαμηλής συχνότητας. Φθάνει π.χ. να εφαρμόσουμε στην είσοδο ένα σήμα (έναλλασσόμενο) με ενεργό τιμή 0,1 βόλτ, για να πάρουμε στην έξοδο μία ενισχυμένη τάση 20 βόλτ περίπου. Όμως, πόση είναι η ισχύς, που αυτή η τάση εξόδου U_a αναπτύσσει πάνω στην αντίσταση εξόδου R'_g ; Αν η αντίσταση εξόδου είναι π.χ. $R'_g = 470 \text{ k}\Omega$, ή ισχύς αυτή είναι, όπως ξέρομε, ίση με $P = U_a^2 / R'_g$, δηλαδή, στο παράδειγμά μας $P = 20^2 / 470 \text{ 000} = 400 / 470 \text{ 000}$, περίπου ίση με 0,001 W ή με 1 mW. Τόσο μικρή ισχύς δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να λειτουργήσει μία συσκευή, π.χ. ένα μεγάφωνο. Ένα μεγάφωνο χρειάζεται πραγματικά, για να λειτουργήσει, ισχύ ένος ή λίγων βάττ, δηλαδή χιλιάδες φορές μεγαλύτερη. Για να εξασφαλίσουμε μία τέτοια ισχύ, ο προηγούμενος ενισχυτής τάσεως πρέπει να συμπληρωθεί με μία βαθμίδα ενισχυτή ισχύος.



Σχ. 4·4 γ.

Ένισχυτής τάσεως και ισχύος χαμηλής συχνότητας.

Ο ενισχυτής ισχύος εκμεταλλεύεται και αυτός τις ίδιες ενισχυτικές ικανότητες που έχει μία λυχνία, με διαφορετικό τρόπο όμως. Αυτό σημαίνει ότι και η λυχνία είναι διαφορετική (πιό ισχυρή) και το κύκλωμα διαφορετικό. Το σχήμα 4·4 γ δείχνει ένα σύνολο με μία βαθμίδα ενισχυτή τάσεως και μία βαθμίδα ενισχυτή ισχύος, αλλά για άπλοποίηση παριστάνομε τις λυχνίες με κουτιά (Block Diagram). Θα εξηγήσουμε τώρα με συντομία με ποιό τρόπο συγκροτείται μία βαθμίδα ισχύος.

Μία βασική διαφορά ανάμεσα στις δύο βαθμίδες τάσεως και ισχύος είναι η εξής: Ένώ η έξοδος της πρώτης βαθμίδας συνδέεται

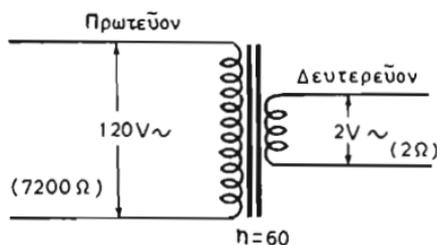
πρός την είσοδο τῆς δευτέρας μὲ ἓνα πυκνωτὴ C, τὸ ἀνοδικὸ κύκλωμα τῆς βαθμίδας ἰσχύος περιλαμβάνει ἓνα μετασχηματιστὴ T, ποὺ λέγεται *μετασχηματιστὴς ἐξόδου*. Κατὰ τὰ ἄλλα, τὸ κύκλωμα τοῦ ένισχυτῆ ἰσχύος εἶναι παρόμοιο μὲ τὸ κύκλωμα τοῦ ένισχυτῆ τάσεως.

Γιατὶ στὴν ἐξοδο τῆς βαθμίδας ἰσχύος χρειάζεται ἓνας μετασχηματιστὴς; Ἡ ἀνάγκη παρουσιάζεται, γιατί ἓνα μεγάφωνο ἔχει σύνθετη ἀντίσταση Z_M , ποὺ κυμαίνεται συνήθως μεταξύ 2 καὶ 10 Ω μ περίπου. Ἀπὸ τὴν ἄλλη μεριά, μία ένισχύτρια λυχνία ἰσχύος πρέπει νὰ ἔχει ἀνοδικὸ φορτίο Z_a ἀνάμεσα σὲ 3000 καὶ 12 000 ω μ περίπου, δηλαδή λίγες χιλιάδες φορές μεγαλύτερο ἀπὸ τὴν ἀντίσταση τοῦ μεγάφωνου. Τὸ μεγάφωνο δὲν μπορεῖ λοιπὸν νὰ συνδεθεῖ ἀπ' εὐθείας στὴν ἄνοδο τῆς λυχνίας. Γιὰ νὰ συμβιβάσουμε τὰ πράγματα, ἡ ὅπως λέμε, γιὰ νὰ προσαρμόσουμε τὴν κατανάλωση πρὸς τὴν πηγή (δηλαδή τὸ μεγάφωνο πρὸς τὴ λυχνία), χρησιμοποιοῦμε τὸ μετασχηματιστὴ. Ὁ μετασχηματιστὴς αὐτὸς ὀνομάζεται εἰδικότερα *μετασχηματιστὴς προσαρμογῆς, μετασχηματιστὴς ἐξόδου ἢ μετασχηματιστὴς μεγάφωνου*.

Ἄς δοῦμε λίγο καλύτερα, μὲ ποῖο τρόπο ἐργάζεται αὐτὸς ὁ μετασχηματιστὴς. Ἄς τὸν πάρομε ξεχωριστὰ (σχ. 4·4 δ) καὶ ἄς ἐφαρμόσουμε στὸ δευτερεῦον του μία ἐναλλασσόμενη τάση, π.χ. 2 βόλτ. Στὸ πρωτεῦον μετράμε μίαν ἄλλη τάση, ὑψηλότερη, π.χ. 120 βόλτ. Ὁ λόγος τῶν δύο τάσεων $120/2 = 60$, ὀνομάζεται *λόγος μετασχηματισμοῦ* καὶ παριστάνεται μὲ τὸ γράμμα n (ἔδῳ ἔχομε $n = 60$). Αὐτὸ σημαίνει ὅτι τὸ πρωτεῦον ἔχει ἐδῳ 60 φορές περισσότερες σπείρες ἀπὸ τὸ δευτερεῦον.

Ἄν τώρα συνδέσουμε στὰ ἄκρα τοῦ δευτερεύοντος μίαν ἀντίσταση Z_M (σχ. 4·4 γ), μεταφέρεται στὸ πρωτεῦον πολλαπλασιασμένη ἰ τὸν παράγοντα n^2 . «Μεταφέρεται» σημαίνει ὅτι, πρὸς τὴν πλευρὰ δευτεύοντος, ὁ μετασχηματιστὴς ἰσοδυναμεῖ μὲ ἀντίσταση:

$$Z_a = n^2 Z_M \quad (1)$$



Σχ. 4·4 δ.
Μετασχηματιστὴς ἐξόδου.

Στο παράδειγμά μας, με $Z_M = 2 \text{ } \Omega$, ή ισοδύναμη αντίσταση προς την πλευρά του πρωτεύοντος θα είναι $Z_a = 60^2 \times 2 = 3600 \times 2 = 7200 \text{ } \Omega$. Ένας τέτοιος μετασχηματιστής είναι λοιπόν κατάλληλος για να χρησιμοποιηθεί στον ένισχυτή του σχήματος 4·4 γ. Οί κατασκευαστές τέτοιων μετασχηματιστών δίνουν συνήθως απ' ευθείας την αντίσταση στο πρωτεύον, για μία δοσμένη αντίσταση στο δευτερεύον. Έτσι, ή έκλογή του μετασχηματιστή δέν παρουσιάζει δυσκολίες.

Ένα τελευταίο ζήτημα, πού σχετίζεται με τους ένισχυτές ισχύος, είναι ή παραμόρφωση, πού θα έξετάσμε στη συνέχεια. Δέν άρκει δηλαδή, να ένισχύσμε την ισχύ του σήματος. Πρέπει συγχρόνως να άποφύγομε να τó παραμορφώσμε. Γενικά, μία τρίοδος λυχνία δίνει λιγότερη παραμόρφωση άπό μια πεντάοδο. Σε ένα σχετικά καλό ένισχυτή, ή παραμόρφωση δέν ύπερβαίνει συνήθως λίγες μονάδες στα έκατό (π.χ. 1% για ένα καλό ένισχυτή).

Τελικά, ένας καλός ένισχυτής χαμηλής συχνότητας πρέπει να είναι τέτοιος, ώστε ή βαθμίδα (ή οί βαθμίδες) ένισχύσεως τάσεως να ένισχύει πρακτικά όμοιόμορφα όλόκληρη την περιοχή τών χαμηλών συχνοτήτων, ενώ συγχρόνως ή βαθμίδα ισχύος να προκαλεί τή λιγότερη δυνατή παραμόρφωση.

4·5 Είδη ένισχυτών.

Στό Κεφάλαιο αυτό έξετάσμε την ένισχυση άπό γενική άποψη, παρ' όλο πού τά παραδείγματά μας άφορούσαν κυρίως στην περιοχή τών χαμηλών συχνοτήτων. Οί διάφοροι όμως ένισχυτές παρουσιάζουν στην πράξη μεγάλη ποικιλία. Θα άναφέρομε μερικές άπό τις βασικότερες διακρίσεις:

— Ός προς τή συχνότητα λειτουργίας: Διακρίνομε τους ένισχυτές χαμηλής ή ύψηλης συχνότητας.

— Ός προς την ισχύ έξόδου: Άν ή ισχύς έξόδου είναι άσημαντη, έχομε ένισχυτή τάσεως. Άλλιώς, πρόκειται για ένισχυτή ισχύος.

— Ός προς τó άνοδικό φορτίο: Έχομε ένισχυτές με άντιστάσεις (ώμικές), με μετασχηματιστή, με συντονισμένο κύκλωμα, κ.λπ.

— Ός προς την τάξη λειτουργίας: Υπάρχουν τρεις βασικές τάξεις λειτουργίας (Α, Β, Γ), για τις όποιες μιλούμε άμέσως παρα-

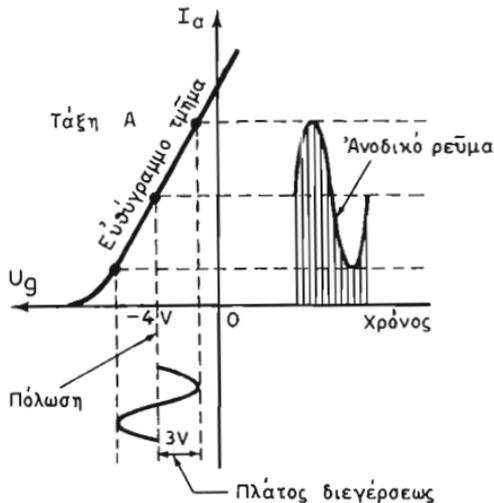
κάτω. Έτσι, ό ένισχυτής του σχήματος 4·4 α θα χαρακτηριστεί ως «ένισχυτής τάσεως χαμηλής συχνότητας, με αντίστασεις σε τάξη Α».

Ό χαρακτηρισμός της τάξεως λειτουργίας εξαρτάται βασικά από τó πλάτος της έναλλασσόμενης διεγέρσεως (u_g), σε σχέση με τή συνεχή άρνητική πόλωση (U_g) της έσχάρας έλέγχου.

Τάξη Α: Τό πλάτος της διεγέρσεως είναι μικρότερο από τó αντίθετο της πολώσεως, ενώ συγχρόνως τó άνοδικό ρεύμα δέν μηδενίζεται ποτέ. Άν π.χ. ή συνεχή πόλωση είναι $U_g = -4\text{ V}$, τó πλάτος της διεγέρσεως πρέπει νά είναι στην τάξη Α (σχ. 4·5 α) μικρότερο από 4 V (θα λέγαμε καλύτερα μικρότερο από 3 V).

Ή έσχάρα έλέγχου δέν γίνεται έτσι ποτέ θετική. Ή επί πλέον, τó πλάτος της διεγέρσεως περιορίζεται άρκετά, ώστε ή λυχνία νά λειτουργεί σε πρακτικά εύθύγραμμο τμήμα της χαρακτηριστικής της. Ή παραμόρφωση περιορίζεται, με τόν τρόπο αυτό, στη μικρότερη δυνατή. Ή λειτουργία σε τάξη Α χρησιμοποιείται γενικά στους ένισχυτές τάσεως ών δεκτών. Χρησιμοποιείται επίσης στην ένίσχυση ισχύος.

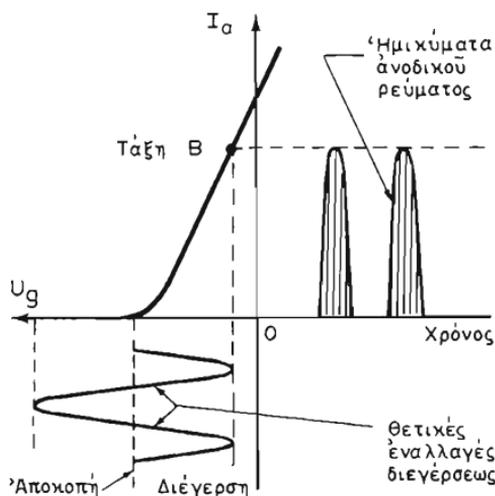
Τάξη Β: Σε κατάσταση ήρεμίας, ή λυχνία σε τάξη Β βρίσκεται πολωμένη περίπου στην άποκοπή του άνοδικού ρεύματος (άνοδικό ρεύμα = 0). Όταν τότε εφαρμοστεί μία διέγερση, άναπτύσσεται άνοδικό ρεύμα μόνο κατά τις θετικές έναλλαγές της διεγέρσεως (σχ. 4·5 β). Ή έσχάρα έλέγχου μπορεί καί πάλι νά μήν γίνεται ποτέ ική. Τότε λέμε ότι έχομε ειδικότερα τάξη Β₁. Μπορεί όμως ή έσχάρα έλέγχου νά γίνεται, για μικρά χρονικά διαστήματα, άκόμα καί ική, όποτε καί θα ύπάρχει ρεύμα έσχάρας (τάξη Β₂). Τό άνοδικό ρεύμα άποτελείται, πάντως, από ήμικύματα. Τά ήμικύματα έχουν



Σχ. 4.5 α.

Λειτουργία σε τάξη Α.

πολύ διαφορετική μορφή από την ημιτονική διέγερση, υπάρχει δη-



Σχ. 4-5 β.

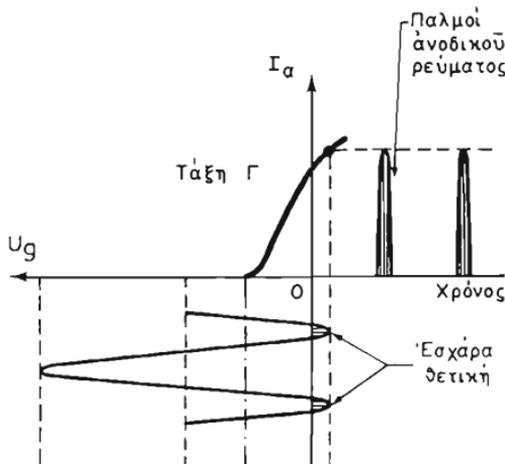
Λειτουργία σε τάξη Β (ειδικότερα, Β₁).

ΑΒ₁ και ΑΒ₂ σημαίνουν προφανώς τάξεις ΑΒ χωρίς ρεύμα ή με ρεύμα έσχάρας έλέγχου.

Τάξη Γ: Η πόλωση της έσχάρας έλέγχου γίνεται ακόμα πιο άρνητική, πάνω από το διπλάσιο της πολώσεως αποκοπής. Άνοδικό ρεύμα δέν αναπτύσσεται παρά μόνο κατά τη διάρκεια ενός σχετικα μικρού μέρους της θετικής ημιπεριόδου της διεγέρσεως (σχ. 4·5 γ). Η έσχάρα έλέγχου γίνεται, στις κορυφές της θετικής ημιπεριόδου πολύ θετική (υπάρχει ρεύμα έσχάρας).

Η παραμόρφωση στην έξοδο είναι μεγάλη, καταπολεμάται όμως με τη βοήθεια συντονισμένου κυκλώματος στην άνοδο.

λαδη σημαντική παραμόρφωση, που την καταπολεμούμε, όπως θα δούμε αργότερα, με τα λεγόμενα *συμμετρικά κυκλώματα*. Άς προσθέσουμε ότι υπάρχει και ένδιάμεση τάξη λειτουργίας ΑΒ, ανάμεσα στις τάξεις Α και Β. Η συνεχής πόλωση της έσχάρας είναι τότε πιο άρνητική από ό,τι σε τάξη Α, όχι όμως μέχρι την αποκοπή. Σε τάξη ΑΒ, άνοδικό ρεύμα αναπτύσσεται κατά τα 3/4 περίπου της περιόδου της διεγέρσεως.



Σχ. 4-5 γ.

Λειτουργία σε τάξη Γ.

4.6 Η μονάδα συγκριτικής μετρήσεως ντεσιμπέλ (db).

Στα ηλεκτρονικά χρησιμοποιείται πολύ η μονάδα Ντεσιμπέλ (σύμβολο db). Συχνά θα άκουσαμε να λένε «έχομε ένισχυση τόσα db» ή «έχομε έξασθένηση τόσα db». Θα εξηγήσομε όσο γίνεται πιό άπλά τὸ τί εἶναι αὐτή ἡ μονάδα. Ἡ ἐξήγηση δὲν μπορεῖ ὡστόσο νὰ εἶναι καὶ τόσο ἀπλή, κι αὐτὸ γιὰ τὸ θὰ εἶναι ἀπαραίτητο νὰ χρησιμοποιήσομε τὴν ἔννοια τοῦ λογαρίθμου.

Πολύ συχνά, ὅταν ἔχομε νὰ συγκρίνομε δύο ὁμοειδή μεγέθη, δὲν μᾶς ἐνδιαφέρουν οἱ ἀπόλυτες τιμές τους, ἀλλὰ οἱ λόγοι τους, δηλαδή πόσο μεγαλύτερο εἶναι τὸ ἓνα ἀπὸ τὸ ἄλλο. Π.χ. τὸ αὐτὶ μας αἰσθάνεται τὸ ἴδιο τὴν αὐξηση τῆς ἐντάσεως, ὅταν ἡ ἰσχύς ἐνὸς ἤχου περνᾷ ἀπὸ 0,2 στὸ διπλάσιο 0,4 βᾶττ, ἢ ἀπὸ 0,5 στὸ διπλάσιο 1 βᾶττ. Ἀρκεῖ ὅτι οἱ ἰσχεῖς, ἄσχετα ἀπὸ τὶς τιμές τους, βρίσκονται στὸν ἴδιο λόγο $1/2$.

Κάτι παρόμοιο συμβαίνει καὶ μὲ τὴ συχνότητα τοῦ ἤχου. Γι' αὐτὸ καὶ τὰ μουσικὰ διαστήματα ὀρίζονται μὲ τέτοιο τρόπο, ὥστε οἱ συχνότητες πού τὰ καθορίζουν νὰ ἔχουν ὀρισμένους λόγους, ἄσχετα ἀπὸ τὶς τιμές τῶν συχνοτήτων. Στὴν εἰδικὴ περίπτωση πού ἡ συχνότητα διπλασιάζεται, λέμε ὅτι ἔχομε διάστημα μιᾶς ὀκτάβας (π.χ. ἀπὸ τὸ $\text{do} = 258,7 \text{ Hz}$ ὡς τὴ διπλάσια συχνότητα $\text{do} = 517,4 \text{ Hz}$).

Ἄς πάρομε τὴ συγκεκριμένη περίπτωση ἐνὸς ἐνισχυτῆ ἰσχύος. Ἐστὼ ὅτι στὴν εἴσοδο καταναλώνεται μία ἰσχύς P_1 , ἐνῶ στὴν ἔξοδο παίρνομε μία μεγαλύτερη ἰσχύ P_2 . Ὑπάρχει τότε μία ἐνίσχυση ἰσχύος ἴση μὲ τὸ λόγο P_2/P_1 . Τώρα, ἀντὶ νὰ χρησιμοποιοῦμε ἀπ' εὐθείας αὐτὸν τὸν λόγο, χρησιμοποιοῦμε τὸν λογαριθμὸ του. Καλύτερα, χρησιμοποιοῦμε τὸ δεκαδικὸ λογαριθμὸ τοῦ λόγου τῶν ἰσχύων, πολλαπλασιασμένο ἐπὶ 10, δηλαδή χρησιμοποιοῦμε τὸν ἀριθμὸ $10 \cdot \log P_2/P_1$. Λέμε τότε ὅτι ὁ ἀριθμὸς αὐτὸς μετρᾷ τὴν ἐνίσχυση σὲ μονάδες ντεσιμπέλ db. Ὄταν τὴν ἐνίσχυση τὴ μετρᾷμε ἔτσι σὲ db, τὴν ὀνομάζομε συνηθέστερα ἀπολαβή. Ἐχομε λοιπὸν ἀπολαβή, δηλαδή λόγο ἰσχύων σὲ db:

$$N = 10 \cdot \log P_2/P_1. \quad (1)$$

Π.χ., ὅταν ἡ ἰσχύς διπλασιάζεται, ἔχομε $P_2/P_1 = 2$, $\log 2 = 0,301$ (ἀπὸ τοὺς λογαριθμικοὺς πίνακες) καὶ ἐπομένως: ἀπολαβὴ $N = 10 \times 0,301 = 3 \text{ db}$ περίπου.

Ένα db αντιστοιχεί σε αύξηση ισχύος 25,9%, δηλαδή αντιστοιχεί σε λόγο $P_2/P_1 = 1,259$. Για να βρούμε σε ποιο λόγο αντιστοιχούν τα N db, αρκεί να πολλαπλασιάσουμε το 1,259 επί τον έαυτό του N φορές. Έτσι τα 3 db αντιστοιχούν σε λόγο ισχύος $1,259 \times 1,259 \times 1,259 = 2$.

Μπορεί όμως να μην έχουμε να κάνουμε με ένισχυση ισχύος, αλλά με εξασθένηση. Π.χ. η ισχύς στην έξοδο ενός ηλεκτρικού δικτύου μπορεί να είναι μικρότερη από την ισχύ στην είσοδο. Τότε ο λόγος P_2/P_1 είναι μικρότερος από τη μονάδα. Για να μετρήσουμε την εξασθένηση σε db, αντιστρέφουμε το λόγο, ώστε το κλάσμα P_1/P_2 να είναι μεγαλύτερο από τη μονάδα, και λογαριάζουμε τον αριθμό $10 \cdot \log P_1/P_2$. Το αποτέλεσμα το γράφουμε ως άρνητικό (το άρνητικό σημείο σημαίνει εξασθένηση). Π.χ. για πτώση της ισχύος στο μισό, θα είναι $P_2/P_1 = 1/2$, άρα $P_1/P_2 = 2$ και $10 \cdot \log 2 = 10 \times 0,301 = 3$ περίπου, δηλαδή έχουμε εξασθένηση που υπολογίζεται σε -3 db.

Υπάρχει ακόμα η περίπτωση να έχουμε περισσότερους ενισχυτές ισχύος, τον ένα ύστερα απ' τον άλλο. Αν καθένας πολλαπλασιάζει την ισχύ επί 2, τότε η ισχύς, για δύο ενισχυτές, πολλαπλασιάζεται τελικά επί $2 \times 2 = 4$. Λόγος 2 αντιστοιχεί σε απόλαβη 3 db, ενώ λόγος 4 αντιστοιχεί σε απόλαβη 6 db (περίπου), δηλαδή σε $3 + 3 = 6$ db. Αντί λοιπόν να πολλαπλασιάζουμε τις ενισχύσεις, αρκεί να προσθέτουμε τις απόλαβες σε db. Αυτό μάς διευκολύνει, γιατί η πρόσθεση είναι εύκολότερη από τον πολλαπλασιασμό.

Πρέπει να προσέξουμε ότι το db δεν είναι μονάδα ισχύος, αλλά μονάδα λόγου ισχύων ή μονάδα πηλίκου ισχύων. Το να λέμε ότι έχουμε ισχύ 3 db δεν σημαίνει τίποτα. Το 3 db σημαίνει μονάχα ισχύ διπλάσια από μία άλλη. Από ποιά άλλη όμως; Πρέπει να το καθορίσουμε, πρέπει δηλαδή να καθορίσουμε μία βάση. Έστω ότι η βάση είναι 0,5 βάττ. Τότε ισχύς 3 db ως προς αυτή τη βάση είναι το διπλάσιο του 0,5, δηλαδή 1 βάττ. Η βάση αντιστοιχεί προφανώς σε 0 db, και τοῦτο γιατί ο αντίστοιχος λόγος (της βάσεως ως προς τον έαυτό της) είναι 1, και ο λογάριθμος του 1 είναι 0 (μηδέν). Στο παράδειγμά μας τη βάση 0,5 βάττ μπορούμε να την γράφουμε 0 db = 0,5 βάττ. Αν δέν καθοριστεί ή βάση, τα db καθορίζουν λόγους αλλά όχι και απόλυτες τιμές.

Όσα είπαμε ως έδω, άφοροῦν στοὺς λόγους ισχύων. Ὅμως ἡ ισχύς, ὅταν καταναλώνεται πάνω σὲ μία ὀρισμένη καὶ σταθερὴ αντίσταση, εἶναι ἀνάλογη πρὸς τὸ τετράγωνο τῆς τάσεως E^2 ἢ τὸ τετράγωνο τοῦ ρεύματος I^2 . Γι' αὐτὸ οἱ λόγοι τάσεων ἢ ρευμάτων μετροῦνται σὲ db, σύμφωνα μὲ τὸν τύπο:

γιὰ τάσεις (ἢ ρεύματα) λόγος σὲ db:

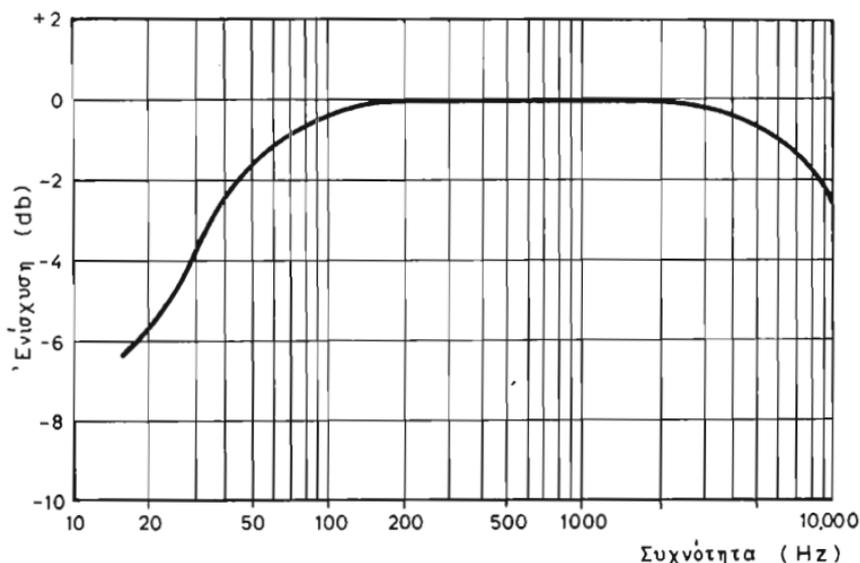
$$N = 20 \cdot \log E_2/E_1 \quad (2)$$

Ἐστω π.χ. ὅτι $E_2/E_1 = 1,4142$. Ὁ λόγος αὐτὸς ἀντιστοιχεῖ σὲ $20 \cdot \log 1,4142 = 20 \times 0,1505 = 3$ db. Ὁ ἀντίστοιχος λόγος ισχύων εἶναι $P_2/P_1 = (1,4142)^2 = 2$, πού μετῶνται, ὅπως ξέρομε, πάλι μὲ 3 db. Ὅταν λοιπὸν λέμε λόγος 3 db, αὐτὸ μπορεῖ νὰ ἀντιστοιχεῖ εἴτε σὲ λόγο ισχύων 2/1 εἴτε, πού εἶναι τὸ ἴδιο πρᾶγμα, σὲ λόγο τάσεων 1,4142/1.

Ἐνα db λόγου τάσεως ἀντιστοιχεῖ σὲ αὐξηση τάσεως 12,2%, δηλαδὴ σὲ λόγο τάσεων 1,122. Ἐτσι, ὅταν πρόκειται γιὰ τάσεις, 3 db σημαίνουν λόγο $1,122 \times 1,122 \times 1,122 = 1,4142$. Κατὰ τὰ ἄλλα, ὅσα είπαμε γιὰ τὴν ἔξασθένηση, τὴν πρόσθεση τῶν db καὶ τὸν καθορισμὸ τῆς βάσεως, ισχύουν τὸ ἴδιο καὶ στὴν περίπτωση τῶν τάσεων (ἢ τῶν ρευμάτων). Οἱ μονάδες ντεσιμπέλ χρησιμοποιοῦνται συχνὰ γιὰ τὸν ὑπολογισμὸ τῆς ἐνισχύσεως στὶς καμπύλες ἀποκρίσεως τῶν ἐνισχυτῶν.

Ὡς ἐφαρμογή, θὰ πάρομε τὴν καμπύλη ἀποκρίσεως ἑνὸς ἐνισχυτῆ (σχ. 4·4 β) καὶ θὰ τὴν ξαναχαράξομε σὲ νέες κλίμακες. Τὴν ἐνίσχυση θὰ τὴ μετῶμε σὲ db. Γιὰ τὴ συχνότητα θὰ χρησιμοποιήσομε μία λογαριθμικὴ κλίμακα. Μία λογαριθμικὴ κλίμακα εἶναι μία ἀνομοιόμορφη κλίμακα τέτοια, ὥστε ἴσοι λόγοι νὰ ἀντιστοιχοῦν σὲ ἴσα μήκη. Π.χ. μποροῦμε νὰ διαπιστώσομε στὸ σχῆμα 4·6 ὅτι τὸ μήκος μεταξύ 10 καὶ 100 εἶναι ἴσο μὲ τὸ μήκος μεταξύ 100 καὶ 1000, κ.λπ.

Γιὰ νὰ μετρήσομε τὴν ἐνίσχυση σὲ db, παίρνομε ὡς βάση 0 db τὴ μεγαλύτερη ἐνίσχυση, ἴση στὸ παράδειγμα μὲ 200. Τότε, ἡ ἐνίσχυση 100 ἀντιστοιχεῖ σὲ λόγο $100/200 = 0,5$, δηλαδὴ σὲ ἔξασθένηση - 3 db. Τὸ ἴδιο κάνομε καὶ γιὰ ἄλλα σημεία, γιὰ νὰ χαράξομε τελικὰ τὴν καμπύλη τοῦ σχήματος 4·6.



Σχ. 4-6.

Η καμπύλη απόκρισεως του σχήματος χαραγμένη σε νέες κλίμακες (σε db για την ένισχυση, σε λογαριθμική κλίμακα για τη συχνότητα).

4.7 Παραμορφώσεις.

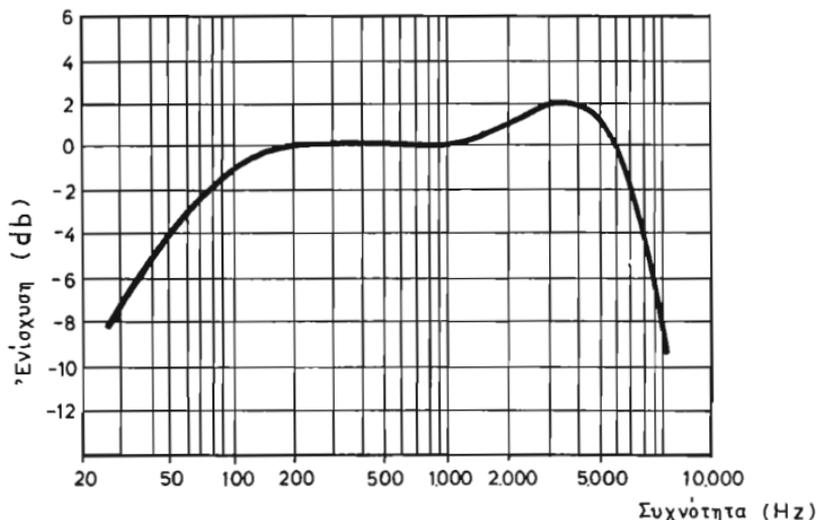
Οι παραμορφώσεις έχουν μεγάλη σημασία στους ένισχυτές Χ.Σ. Πραγματικά, κάθε είδους παραμόρφωση έχει άμεση συνέπεια στην ποιότητα της αναπαραγωγής του ήχου (ειδικότερα της μουσικής και της φωνής).

Στήν περίπτωση ενός δέκτη, η παραμόρφωση δεν έχει την ίδια σημασία για τα τμήματα υψηλής (και μεσαίας) συχνότητας. Η υψηλή συχνότητα είναι, πραγματικά, όπως θα δούμε, ένα μέσο μεταφοράς και επιτρέπεται να υποστεί διάφορες παραμορφώσεις, αρκεί μόνο να μην θιγεί η διαμόρφωση που μεταφέρει.

Στή συνέχεια θα εξετάσουμε τα τρία κύρια είδη παραμορφώσεων (συχνότητας, φάσεως και πλάτους), καθώς και τους θορύβους και βόμβους των ένισχυτών Χ.Σ.

1) *Παραμόρφωση συχνότητας*: Όπως εξηγήσαμε προηγούμενα, μία ένισχυτική βαθμίδα τάσεως Χ.Σ. αποτελείται από την ένισχυτρια λυχνία και τα κυκλώματά της. Έκτος από τις ωμικές αντι-

στάσεις, που η τιμή τους δεν εξαρτάται κατ' αρχήν από τη συχνότητα, ή συνδεσμολογία περιλαμβάνει γενικά και στοιχεία (κυρίως πυκνωτές και, σπανιότερα, πηνία), που η αντίστασή τους μεταβάλλεται έντονα με τη συχνότητα, γιατί χωρητική αντίσταση $= 1/2 \pi fC$ και έπαγωγική αντίσταση $= 2 \pi fL$. Είναι λοιπόν φανερό, ότι η ένισχυση της βαθμίδας εξαρτάται από τη συχνότητα. 'Αφού όμως προορισμός του ενισχυτή είναι να ενισχύει ομοιόμορφα όλες τις συχνότητες μιās περιοχής (π.χ. από 20 ως 20 000 Hz), μία τέτοια εξάρτηση είναι ανεπιθύμητη και αποτελεί άκριβως αυτό που λέμε *παραμόρφωση συχνότητας*. 'Εξ αιτίας αυτής της παραμορφώσεως, οι διάφορες αρμονικές συνιστώσες ενός σήματος (για τις αρμονικές θα μιλήσουμε σε άλλο Κεφάλαιο) δεν ενισχύονται ομοιόμορφα, και το σήμα στην έξοδο του ενισχυτή βρίσκεται αλλοιωμένο. Καί, όπως



Σχ. 4.7 α.

Καμπύλη ένισχύσεως ενισχυτή Χ.Σ. (θετικές τιμές της ένισχύσεως σε db σημαίνουν ένισχυση μεγαλύτερη από 0,τι στους 1000 Hz, ενώ αρνητικές τιμές σημαίνουν μικρότερη ένισχυση).

βλέπουμε στο σχήμα 4.7 α, υπάρχει κάποια μεγαλύτερη ή μικρότερη παραμόρφωση, που εκδηλώνεται με πτώση της ένισχύσεως, τόσο προς τις χαμηλότερες, όσο και προς τις υψηλότερες συχνότητες της περιοχής. 'Εκτός από αυτές τις πτώσεις προς τα δύο άκρα

τῆς περιοχῆς, ἡ καμπύλη ἀποκρίσεως παρουσιάζει συχνὰ ἐλαφρῆς ἐνδιάμεσες κυματώσεις, καὶ σπανιότερα ἐντοπισμένες ἐξάρσεις.

Τέτοιες παραμορφώσεις γίνονται συχνὰ ἀπαραδέκτες καὶ γι' αὐτὸ προσθέτομε διάφορα κυκλώματα γιὰ τὸν περιορισμὸ τους. Στὰ κυκλώματα αὐτὰ συνδέονται διάφορες ἀντιστάσεις ἢ πυκνωτές, ποὺ μπορούμε νὰ τοὺς ρυθμίζομε κάθε φορά, ὥστε νὰ ἔχομε ὁμοίομορφη ἐνίςχυση.

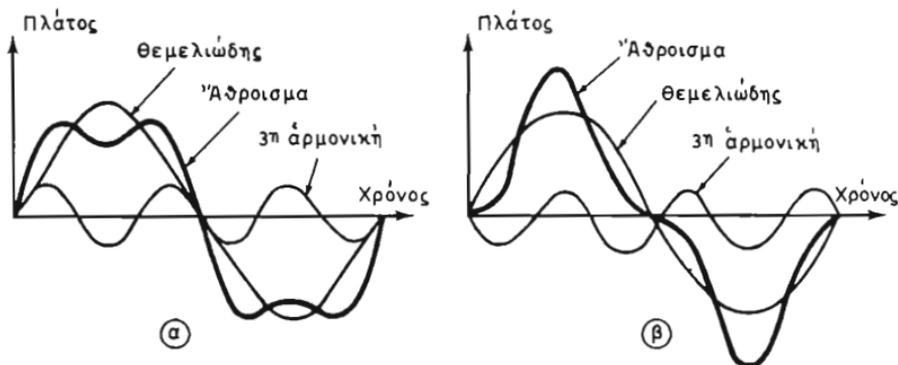
2) *Παραμόρφωση φάσεως*: Ἄν περνᾶ μέσα ἀπὸ κυκλώματα μὲ ὠμικῆς ἀντιστάσεις καὶ πυκνωτές (ἢ καὶ μὲ πηνία), ἓνα σῆμα ἀποτελούμενο ἀπὸ ἐναλλασσόμενες συνιστώσες, τὸ κύριο ἀποτέλεσμα εἶναι, ὅτι γενικὰ οἱ ἀναλογίες ἀνάμεσα στὰ πλάτη τῶν διαφόρων συνιστωσῶν δὲν διατηροῦνται σταθερῆς (*παραμόρφωση συχνότητας*). Ἐκτὸς ὅμως ἀπὸ αὐτό, ἡ διάβαση τοῦ σήματος μέσα ἀπὸ τέτοια κυκλώματα ἐπηρεάζει καὶ τὶς φάσεις τῶν διαφόρων συνιστωσῶν, σὲ τρόπο, ὥστε οὔτε οἱ σχέσεις μεταξὺ τῶν φάσεων νὰ παραμένουν σταθερῆς. Ἡ τελευταία αὐτὴ ἀλλοίωση ἀποτελεῖ τὴν *παραμόρφωση φάσεως*.

Γιὰ νὰ καταλάβομε καλύτερα αὐτὸ τὸ εἶδος παραμορφώσεως, ἄς πάρομε γιὰ παράδειγμα τὴν περίπτωση ποὺ τὸ σῆμα ἀποτελεῖται ἀπὸ δύο συνιστώσες, μία θεμελιώδη ἡμιτονικὴ συνιστώσα καὶ τὴν τρίτη ἄρμονικὴ τῆς, μὲ τριπλάσια συχνότητα (γιὰ τὴν ἄρμονικὴ ἀνάλυση, θὰ μιλήσομε ἀργότερα). Ὄταν οἱ δύο αὐτῆς συνιστώσες ἔχουν μεταξὺ τους τὴ φασικὴ σχέση, ποὺ δείχνουν οἱ καμπύλες τοῦ σχήματος 4·7 β (α), τότε ἡ συνισταμένη τους ἔχει τὴ μορφή ἑνὸς λίγο-πολύ ὀρθογώνιου σχήματος (καμπύλη ἀθροίσματος τοῦ σχήματος). Ἄν τώρα, οἱ δύο συνιστώσες βρεθοῦν σὲ μίαν ἄλλη φασικὴ σχέση [σχῆμα (β)] ἡ συνισταμένη τοὺς δίνει ἓνα σῆμα μὲ τριγωνικὴ μᾶλλον μορφή (ἄθροισμα). Ἄρα, ἡ παραμόρφωση φάσεως, ποὺ μπορεῖ νὰ ὑπάρχει σ' ἓνα ἐνίςχυτὴ Χ.Σ., ὀδηγεῖ σὲ σημαντικῆς ἀλλοιώσεις τῆς μορφῆς τοῦ σήματος ἐξόδου.

Παρ' ὅλα αὐτά, ἡ παραμόρφωση φάσεως δὲν εἶναι ἐπικίνδυνη γιὰ ἓνα ἐνίςχυτὴ ἀναπαραγωγῆς ἤχου. Καὶ τοῦτο, γιὰτὶ τὸ αὐτὶ μας, κατὰ παράξενο τρόπο, δὲν εἶναι εὐαίσθητο σὲ ἀλλοιώσεις τῆς μορφῆς τῶν σημάτων, ὅταν οἱ ἀλλοιώσεις ὀφείλονται σὲ παραμόρφωση φάσεως (ἐνῶ, ἀντίθετα, εἶναι πολὺ εὐαίσθητο σὲ ἀλλοιώσεις μορφῆς ποὺ ὀφείλονται σὲ ἄλλες αἰτίες, ὅπως π.χ. στὴν προσθήκη

νέων συχνοτήτων). Έτσι, προκειμένου για ένισχυτες ήχου, δέν δίνομε συνήθως προσοχή στην παραμόρφωση φάσεως.

Τά πράγματα παρουσιάζονται διαφορετικά, όταν πρόκειται για δέκτες τηλεόρασεως. Στην περίπτωση αυτή, ό ένισχυτής του σήματος εικόνας πρέπει νά μήν προκαλεί παραμόρφωση φάσεως.



Σχ. 4.7β.

Η μορφή του σήματος (άθροισμα) α και β του σχήματος είναι πολύ διαφορετική, μόνο και μόνο γιατί άλλαξε ή φασική σχέση μεταξύ θεμελιώδους και 3ης αρμονικής (δηλαδή υπάρχει διαφορά φάσεως μεταξύ των δύο αρμονικών).

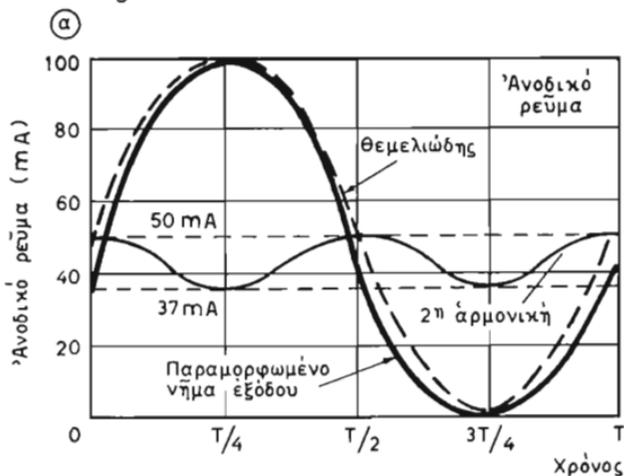
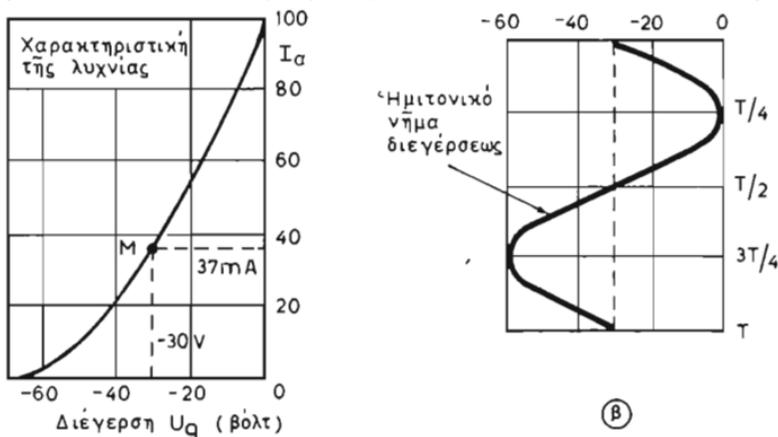
Πραγματικά τó μάτι μας είναι ευαίσθητο σέ όποιαδήποτε αλλοίωση τής μορφής του σήματος. Είμαστε λοιπόν ύποχρεωμένοι νά καταπολεμήσομε τήν παραμόρφωση φάσεως, όποτε μάλιστα περιορίζεται συγχρόνως και ή παραμόρφωση συχνότητας.

3) Παραμόρφωση πλάτους: Ένα άλλο είδος παραμορφώσεως είναι ή παραμόρφωση πλάτους. Αυτό τó είδος τής παραμορφώσεως προέρχεται άπό τó γεγονός ότι οί λυχνίες δέν έχουν εύθυγραμμες, αλλά καμπύλες χαρακτηριστικές, όπως είδαμε στα Κεφάλαια 1 και 2.

Όταν τó σήμα διεγέρσεως τής λυχνίας έχει άρκετά μικρό πλάτος, ώστε ή λυχνία νά εργάζεται σέ ένα μικρό και σχεδόν εύθυγραμμο τμήμα τής χαρακτηριστικής της, τότε βέβαια δέν ύπάρχει, πρακτικά, παραμόρφωση πλάτους.

Ό μηχανισμός τής παραμορφώσεως πλάτους μπορεί νά εξηγηθεί μέ τή βοήθεια του σχήματος 4.7γ. Στο σχήμα (α) έχομε τή χαρακτηριστική καμπύλη U_b, I_a μιās τριόδου λυχνίας. Τó σημείο Μ είναι τó σημείο λειτουργίας πού άντιστοιχεί σέ άνοδικό ρεύμα

ήρεμίας ίσο π.χ. με 37 mA. Στην έσχάρα έλέγχου εφαρμόζουμε μία ήμιτονική τάση διεγέρσεως (σχήμα β). Δίνουμε στη διεγερση τὸ μεγαλύτερο δυνατό πλάτος (30 βόλτ), με σκοπὸ νὰ πάρουμε τὴ μεγαλύτερη



Σχ. 4.7 γ.

Μηχανισμὸς παραμορφώσεως πλάτους. Ἡ μορφή τῆς (δυναμικῆς) χαρακτηριστικῆς τῆς λυχνίας εἶναι τέτοια, ὥστε νὰ δίνει παραμόρφωση ἀπὸ τὴ 2ῆ ἄρμονικὴ κυρίως.

τερη δυνατὴ ἰσχύ ἐξόδου, χωρὶς ὅμως νὰ ξεπεράσουμε πρὸς τὰ ἀριστερὰ τὴν πόλωση ἀποκοπῆς (ἴση με -60 βόλτ), οὔτε νὰ μποῦμε πρὸς τὰ δεξιὰ σὲ θετικὲς τάσεις ἐσχάρας.

Ἡ αντίστοιχη μεταβολή τοῦ ἀνοδικοῦ ρεύματος φαίνεται στοῦ σχῆμα γ. Διαπιστώνουμε ἀμέσως ὅτι τὸ ἀνοδικὸ ρεῦμα (σῆμα ἐξόδου) δὲν εἶναι πιὰ ἡμιτονικό. Ἡ θετική του ἡμιπερίοδος εἶναι σχετικὰ ὀξύτερη, ἐνῶ ἡ ἀρνητική ἡμιπερίοδος ἔχει διαπλατυνθεῖ ἐξ αἰτίας τῆς καμπυλότητας τοῦ κάτω τμήματος τῆς χαρακτηριστικῆς. Τέτοιου εἶδους ἀλλοιώσεις τῆς μορφῆς τοῦ σήματος ἐξόδου ἀποτελοῦν ἀκριβῶς τὴν παραμόρφωση πλάτους.

Γιὰ νὰ καταλάβουμε καλύτερα τὴ βαθύτερη σημασία τῆς παραμορφώσεως πλάτους, ἂς σχηματίσουμε τὴ διαφορὰ ἀνάμεσα στοῦ παραμορφωμένο ἀνοδικὸ ρεῦμα (συνεχῆς καμπύλη τοῦ σχήματος) καὶ στὴν ἰδανικὴ ἡμιτονικὴ καμπύλη (τὴ θεμελιώδη), ποὺ ἀντιστοιχεῖ στὴν ἴδια μεταβολὴ ἀπὸ κορυφὴ σὲ κορυφὴ (διακοπτόμενη γραμμὴ). Ἡ διαφορὰ αὐτὴ, ποὺ ἐκφράζει τὴν παραμόρφωση, εἶναι ἡ 2η ἀρμονικὴ στοῦ σχῆμα (γ). Βλέπουμε ὅτι ἡ παραμόρφωση ἀποτελεῖται ἀπὸ μία σχεδὸν καθαρὴ ἡμιτονικὴ συνιστώσα μὲ συχνότητα διπλάσια ἀπὸ ἐκείνη τοῦ ἀρχικοῦ σήματος, εἶναι δηλαδὴ μία δευτέρη ἀρμονικὴ. Ἐπειδὴ μάλιστα, στοῦ παράδειγμά μας, τὸ πλάτος αὐτῆς τῆς παρείσιακτης δευτέρας ἀρμονικῆς εἶναι περίπου 13% τοῦ πλάτους τῆς θεμελιώδους, λέμε ὅτι ἔχομε 13% παραμόρφωση πλάτους.

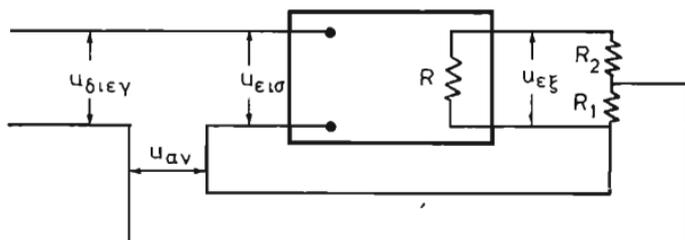
Τὸ συμπέρασμα εἶναι γενικὰ ὅτι ἡ παραμόρφωση πλάτους προσθέτει στοῦ σῆμα ἐξόδου ἀρμονικὲς συνιστώσες, ποὺ δὲν ὑπῆρχαν στοῦ σῆμα εἰσόδου. Ἔτσι στοῦ σῆμα ἐξόδου μπαίνουν νέες, ξένες, νότιες, ποὺ ἀλλοιώνουν τὸν ἀρχικὸ ἦχο.

• Ἄρνητικὴ ἀνάδραση.

Ἐπὶ τῆς ἀνάδρασης, ὑπάρχουν διάφοροι τρόποι γιὰ νὰ μειώσουμε τὴν παραμόρφωση πλάτους ποὺ ἀναφέραμε. Ἐνας τρόπος εἶναι νὰ χρησιμοποιήσουμε τὴν ἀρνητικὴ ἀνάδραση. Ἀνάδραση σημαίνει νὰ ξεχωρίσουμε ἕνα ποσοστὸ ἀπὸ τὴν ἐνισχυμένη τάση ἐξόδου τοῦ ἐνισχυτῆ, καὶ ὕστερα νὰ ἀρμόσουμε πίσω πρὸς τὴν εἰσοδὸ του. Ἐπὶ πλέον, τὴν τάση σεωσ (αὐτὴν ποὺ γυρίζει πίσω πρὸς τὴν εἰσοδο τοῦ ἐνισχυτῆ) τὴν παίρνομε ἐδῶ ἔτσι, ὥστε νὰ εἶναι ἀντίθετη (σὲ ἀντίφαση) τὸ σῆμα διεγέρσεως. Γι' αὐτὸ λέμε ὅτι κάνομε ἀρνητικὴ ἀνάδραση. Γιὰ νὰ τὴν πραγματοποιήσουμε, χρησιμοποιοῦμε ἕνα κατάλωμα, τὸ κύκλωμα ἀναδράσεως.

Πρὶν προχωρήσουμε, πρέπει νὰ ποῦμε ἀμέσως ὅτι ἡ ἀρνητικὴ

ανάδραση ελαττώνει την ένισχυση τῆς βαθμίδας, στὴν ὁποία ἐφαρμόζεται. Ἀπαραίτητο, λοιπόν, εἶναι ὁ ἐνισχυτὴς νὰ διαθέτει ἐνίσχυση παραπάνω ἀπὸ ὅ,τι κανονικὰ χρειάζεται, ὅποτε μποροῦμε νὰ θυσιάσουμε τὴν παραπανίσια ἐνίσχυση γιὰ νὰ μειώσουμε τὴν παραμόρφωση, δηλαδὴ νὰ κερδίσουμε σὲ ποιότητα.



Σχ. 4·8.

Ἄρνητικὴ ἀνάδραση τάσεως.

Τὸ σχῆμα 4·8 δείχνει μὲ ποιὸ τρόπο πραγματοποιεῖται κατ' ἀρχὴν ἡ ἀρνητικὴ ἀνάδραση τάσεως. Ἐπειδὴ, καθὼς εἶδαμε στὴν παράγραφο 4·3, ἡ τάση ἐξόδου εἶναι ἀπὸ μόνη τῆς σὲ ἀντίφαση μὲ τὴν τάση διεγέρσεως, ἀρκεῖ νὰ πάρουμε κατ' εὐθείαν ἓνα ποσοστὸ τῆς τάσεως ἐξόδου καὶ νὰ τὸ γυρίσουμε πίσω πρὸς τὴν εἴσοδο. Στὴν περίπτωση τοῦ σχήματος, αὐτὸ τὸ ἐπιτυγχάνουμε μὲ τὸ διαιρέτη τάσεως $R_1 R_2$. Ἔτσι τὸ κλάσμα $R_1 / (R_1 + R_2)$ τῆς τάσεως ἐξόδου ἐπιστρέφει στὴν εἴσοδο. Τὸ κλάσμα αὐτὸ ὀνομάζεται *ποσοστὸ ἀναδράσεως* καὶ τὸ σημειώνουμε μὲ β . Στὸ παράδειγμά μας:

$$\beta = R_1 / (R_1 + R_2) \quad (1)$$

ὅποτε ἡ τάση ἀναδράσεως ($u_{αν}$), αὐτὴ δηλαδὴ ποὺ ἐπιστρέφει στὴν εἴσοδο, εἶναι:

$$u_{αν} = \beta u_{εξ} = \frac{R_1}{R_1 + R_2} \cdot u_{εξ} \quad (2)$$

ὅπου: $u_{εξ}$ εἶναι ἡ τάση ἐξόδου (ἄς σημειωθεῖ ὅτι ἀσχολοῦμαστε μόνο μὲ τὰ ἐναλλασσόμενα μεγέθη, ἀφήνοντας κατὰ μέρος τὶς συνεχεῖς τάσεις καὶ τὰ συνεχῆ ρεύματα).

Καθὼς ἡ τάση ἀναδράσεως εἶναι ἀντίθετη πρὸς τὴν τάση διεγέρσεως ($u_{δiεγ}$), ἀφαιρεῖται ἀπὸ τὴν τελευταία, ὅποτε στὴν εἴσοδο τοῦ ἐνισχυτῆ μὲνι ἡ τάση:

$$u_{εiσ} = u_{δiεγ} - u_{αν} \quad (3)$$

Άς σημειώσουμε τώρα με A την ένισχυση τῆς συνδεσμολογίας χωρίς ανάδραση και με A' τὴν ένισχυση με ανάδραση (τὶς ένισχύσεις τὶς λογαριάζομε ὡς θετικούς ἀριθμούς, δηλαδή ἀμελοῦμε ἐδῶ τὴν ἀναστροφή φάσεως, πού κάνει ὁ ένισχυτής). Ἄν θυμηθοῦμε ὅτι $A = u_{εξ}/u_{εισ}$ καὶ $A' = u_{εξ}/u_{διδεγ}$, μποροῦμε νὰ καταλήξομε ὕστερα ἀπὸ μερικές πράξεις, στὸ ἐξῆς ἀποτέλεσμα:

$$A' = \frac{A}{1 + \beta A} \quad (4)$$

Ὁ τύπος αὐτὸς δίνει τὴν ένισχυση A' τῆς συνδεσμολογίας, ὅταν τῆς ἔχομε ἐφαρμόσει μία ἀρνητική ανάδραση τάσεως. Ἄν π.χ. τὸ ποσοστὸ ἀναδράσεως εἶναι $\beta = 0,2$, δηλαδή 20% τῆς τάσεως ἐξόδου, ἐπιστρέφει στὴν εἴσοδο καὶ ἡ ένισχυση χωρίς ανάδραση εἶναι $A = 20$. τότε ἡ ένισχυση με ανάδραση θὰ εἶναι:

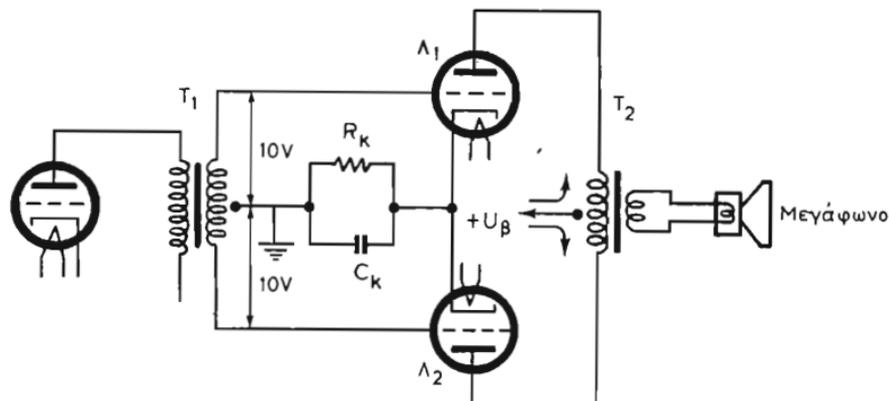
$$A' = \frac{20}{1 + 0,2 \times 20} = \frac{20}{5} = 4$$

Τὸ παράδειγμα δείχνει ὅτι ἡ ἀρνητική ανάδραση μπορεῖ νὰ μειώσει σημαντικά τὴν ένισχυση. Τίποτα ὅμως δὲν μᾶς ἐμποδίζει νὰ αὐξήσομε ἀνάλογα τὴν τάση διεγέρσεως (κρατώντας, στὸ μετᾶξύ, τὴν ἴδια πάντα πὸλωση τῆς λυχνίας), ὁπότε ἡ τάση ἐξόδου, καθὼς καὶ ἡ ἰσχύς ἐξόδου, μποροῦν νὰ πλησιάσουν τὶς κανονικές υς τιμές. Ἄρκει βέβαια νὰ διαθέτομε μία τέτοια μεγαλύτερη διεγερση, χωρίς μάλιστα οἱ προηγούμενες βαθμίδες, πού δίνουν αὐτὴ ἀλὴ διεγερση, νὰ προκαλοῦν παραμορφώσεις ἀπὸ τὴ δικὴ πλευρά.

Άς δοῦμε, τώρα, πῶς ἡ ἀρνητική ανάδραση περιορίζει τὶς ραμορφώσεις. Ἐστῶ ὅτι ἔχομε ἓνα ένισχυτὴ ἰσχύος, πού γεννᾷ ὀρισμένη ἀρμονική, χωρίς ἡ ἀρμονική αὐτὴ νὰ ὑπάρχει ἀρχικά σῆμα διεγέρσεως. Ἐνα μέρος τῆς ἀρμονικῆς γυρίζει στὴν εἴσοδο καὶ ένισχυέται, ἡ ένισχυμένη ὅμως ἀρμονική βρίσκεται στὴν ἐξοδο οὔ ένισχυτῆ, σὲ ἀντίφαση με τὴν προέλευσή της. Ἐτσι, ἡ ἀρνητική ανάδραση μειώνει τὴν παραμόρφωση πλάτους.

4.9 Συμμετρικός ενισχυτής ισχύος (Push - Pull).

Όταν μία λυχνία δεν είναι αρκετή για να δώσει την ισχύ έξοδου που θέλουμε, τότε χρησιμοποιούμε δύο όμοιες λυχνίες, σε συμμετρική σύνδεση, όπως δείχνει το σχήμα 4.9 α. Αυτός είναι ο συμμετρικός ενισχυτής ισχύος (Push - Pull), που πολύ συχνά αποτελεί



Σχ. 4.9 α.

Συμμετρικός ενισχυτής ισχύος.

την τελευταία βαθμίδα ισχύος ενός ενισχυτή χαμηλής συχνότητας. Η χρήση του δικαιολογείται και από όρισμένα σημαντικά πλεονεκτήματα.

Όπως βλέπουμε στο σχήμα, η διεγέρση του ενισχυτή γίνεται με τη βοήθεια ενός μετασχηματιστή συζεύξεως T_1 (υπάρχουν όμως και άλλοι τρόποι διεγέρσεως). Ένα ξεχωριστό γνώρισμα αυτού του μετασχηματιστή είναι ότι το δευτερεύον του φέρει μία μεσαία λήψη, ή όποια γειώνεται. Έστω ότι η τιμή της εναλλασσόμενης τάσεως από άκρο σε άκρο του δευτερεύοντος είναι, σε μία όρισμένη στιγμή, ίση με 20 βόλτ.

Αν είχαμε γειώσει το ένα άκρο του δευτερεύοντος όπως κάναμε στις συνηθισμένες συνδεσμολογίες, τότε, το άλλο άκρο (το «θερμό», δηλαδή το μη γειωμένο άκρο) θα είχε τάση + 20 V ή - 20 V·κι ως πούμε π.χ. + 20 V.

Τώρα, όμως, που έχουμε γειώσει τη μεσαία λήψη, το ένα άκρο του δευτερεύοντος θα έχει υποχρεωτικά τάση ως προς τη γη + 10 V

και τὸ ἄλλο ἄκρο — 10 V. Ἔτσι, ἡ ἐσχάρα ἐλέγχου κάθε λυχνίας δέχεται τὴ μισή τάση διεγέρσεως, ἐνῶ συγχρόνως οἱ δύο ἐσχάρες ἐλέγχου βρίσκονται διαρκῶς σὲ ἀντίθεση φάσεως (διεγείρονται μὲ ἴσες καὶ ἀντίθετες τάσεις).

Ἄφοῦ οἱ διεγέρσεις εἶναι σὲ ἀντίφαση, τὸ ἴδιο συμβαίνει καὶ μὲ τὰ σήματα ἐξόδου. Ἄν, λοιπόν, διαβιβάζομε τὰ σήματα αὐτὰ μέσα ἀπὸ ἓνα συνηθισμένο μετασχηματιστὴ ἐξόδου, τὸ ἓνα σήμα θὰ ἀναιροῦσε τὸ ἄλλο καὶ τὸ συνολικὸ σήμα ἐξόδου θὰ ἦταν μηδέν. Ἐνα τέτοιο ἐνδεχόμενο τὸ ἀποφεύγομε χρησιμοποιώντας ἓνα μετασχηματιστὴ ἐξόδου T_2 , πού ἔχει καὶ αὐτὸς μία μεσαία λήψη στὸ πρωτεύον του. Τὰ σήματα ἐξόδου καὶ τῶν δύο λυχνιῶν συνδυάζονται, πάνω στὸ μετασχηματιστὴ ἐξόδου, ἐπίσης σὲ ἀντίφαση. Ἔτσι καθὼς δύο ἀρνήσεις κάνουν μία κατάφαση, τὸ ἐνισχυμένο σήμα ξαναβρίσκεται στὸ δευτερεῦον τοῦ μετασχηματιστῆ ἐξόδου καὶ τροφοδοτεῖ κανονικὰ τὸ μεγάφωνο.

Τέτοιοι συμμετρικοὶ ἐνισχυτὲς κατασκευάζονται μὲ τὶς ἴδιες τριόδους ἢ πενταόδους λυχνίες ἰσχύος, πού χρησιμοποιοῦνται καὶ στοὺς ἀπλοὺς ἐνισχυτὲς. Ἡ λειτουργία εἶναι ἐπίσης κατὰ βάση ἢ ἴδια, μὲ τὴ διαφορά ὅτι ἡ συμμετρικὴ κατασκευὴ ἐξασφαλίζει σοβαρὰ πλεονεκτήματα, μεταξύ τῶν ὁποίων ἀναφέρονται τὰ ἀκόλουθα (μὲ τὴν προϋπόθεση ὅτι οἱ δύο λυχνίες εἶναι ἐντελῶς ὅμοιες μεταξύ τους):

1. Ὁ μετασχηματιστὴς ἐξόδου ἐργάζεται κάτω ἀπὸ καλύτερες συνθήκες καὶ μπορεῖ νὰ εἶναι μικρότερος σὲ ὄγκο, γιὰ τὴν ἴδια ὠφέλιμη ἰσχύ ἐξόδου. Αὐτὸ ὀφείλεται στὸ γεγονός ὅτι τὰ συνεχῆ ρεύματα τῶν δύο λυχνιῶν διαρρέουν τὰ δύο μισὰ τοῦ πρωτεύοντος, πρὸς ἀντίθετες κατευθύνσεις. Ἀντίθετες εἶναι λοιπόν, καὶ οἱ ἀντίστοιχες μαγνητίσεις στὸν πυρήνα τοῦ μετασχηματιστῆ. Ἔτσι, οἱ συνεχεῖς αὐτὲς μαγνητίσεις ἐξουδετερώνονται μεταξύ τους καὶ δὲν ἐπιφορτίζουν τὸ σιδηροπυρήνα (τὸ ἴδιο ὅμως δὲν συμβαίνει, εὐτυχῶς, καὶ μὲ τὶς μαγνητίσεις ἀπὸ ἐναλλασσόμενο ρεῦμα, γιὰ τὴν ὅταν δὲν θὰ εἶχαμε οὔτε σήμα).

2. Ἐντελῶς ἀντίθετη εἶναι ἡ κατάσταση στὸν ἀγωγό, πού συνδέει τὴ μεσαία λήψη τοῦ πρωτεύοντος πρὸς τὴν πηγὴ τροφοδοτήσεως σὲ συνεχῆ τάση (+ U_B). Στὸν ἀγωγὸ αὐτὸν τροφοδοτήσεως τὰ συνεχῆ ρεύματα τῶν δύο λυχνιῶν προστίθενται. Τὰ ἐναλλασσό-

μενα όμως ρεύματα, πάντοτε αντίθετα μεταξύ τους, αλληλοεξουδετερώνονται. Έτσι, ό άγωγός τροφοδοτήσεως, άρα και ή πηγή συνεχούς τάσεως, δέν διαρρέονται από έναλλασσόμενο ρεύμα. Με άλλα λόγια, τó σήμα (και μάλιστα ένισχυμένο) δέν διαφεύγει πρós τήν πηγή τροφοδοτήσεως. Με τόν τρόπο αυτόν άποφεύγεται ή ανάδραση τού ένισχυμένου σήματος πρós άλλες προηγούμενες βαθμίδες, πού τροφοδοτούνται από τήν ίδια πηγή συνεχούς τάσεως. Τό κέρδος είναι σημαντικό, γιατί, όπως ξέρομε, τέτοιες άνεπιθύμητες ανάδράσεις προκαλούν δυσάρεστα άποτελέσματα. Ένα άκόμα πρόσθετο κέρδος είναι ότι μπορούμε πιά νά παραλείψομε τόν πυκνωτή διαρροής C_k στην πόλωση από τήν κάθοδο, άφου δέν υπάρχουν πιά έναλλασσόμενα ρεύματα για νά έπιστρέψουν στην κάθοδο μέσα από πυκνωτή διαρροής.

3. Η παραμόρφωση πλάτους από άρτιες άρμονικές (και ειδικότερα από 2η άρμονική), πού παράγεται από τή μία λυχνία, έξουδετερώνεται από ίση και αντίθετη παραμόρφωση, πού προκαλεί ή άλλη λυχνία. Δυστυχώς, αυτό δέν ισχύει για τις περιττές άρμονικές, και ειδικότερα για τήν 3η άρμονική. Όταν, λοιπόν, χρησιμοποιούμε πενταόδους λυχνίες, ή παραμόρφωση από τήν 3η άρμονική παραμένει. Έπειδή άκριβώς ή πεντάοδος λυχνία ένδιαφέρει περισσότερο ως λυχνία ισχύος, γι' αυτό άναζητήθηκε και βρέθηκε ένας τρόπος για νά μειώνεται και ή παραμόρφωση από τήν 3η άρμονική. Ό τρόπος αυτός συνίσταται στό νά συνδέσομε τις προστατευτικές έσχάρες τών λυχνιών σέ ειδικές λήψεις πάνω στό πρωτεύον τού μετασχηματιστή έξόδου (χρησιμοποιούμε βέβαια, γι' αυτό τó σκοπό, ειδικούς μετασχηματιστές έξόδου). Σχηματίζεται, έτσι, μία συνδεσμολογία, πού τήν όνομάζομε *ύπερ-γραμμικό ένισχυτή*.

Ωστε, ως συμπέρασμα, τά πλεονεκτήματα τού συμμετρικού ένισχυτή ισχύος ως πρós τόν άπλό ένισχυτή είναι: μεγαλύτερη ώφέλιμη ισχύς έξόδου (δύο λάμπες), σχετικά μικρότερος μετασχηματιστής έξόδου, λιγότερες άνεπιθύμητες ανάδράσεις, και μικρότερη παραμόρφωση πλάτους. Φυσικά, όλα αυτά τά κερδίζομε πληρώνοντας μία πιό σημαντική συνδεσμολογία.

Άντι νά χρησιμοποιήσομε λυχνίες, μπορούμε νά έχομε κρυσταλλοτριόδους σ' ένα συμμετρικό ένισχυτή. Η συγκρότησή του, καθώς και ή λειτουργία του, δέν διαφέρουν ουσιαστικά από τούς συμμε-

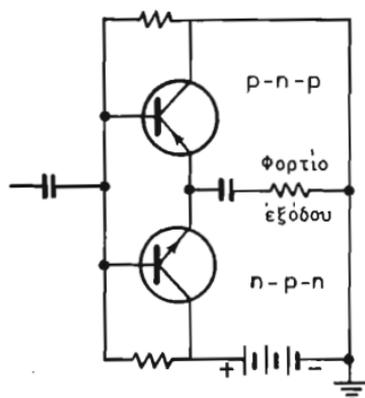
τρικούς ενισχυτές με λυχνίες κενού. Άς σημειωθεί όμως ότι, χάρη στη διαφορετική μορφή τῶν χαρακτηριστικῶν τους καμπυλῶν, οἱ κρυσταλλολυχνίες εἶναι πολλές φορές πιὸ κατάλληλες ἀπὸ ὅ,τι οἱ λυχνίες κενού. Ὁ βαθμὸς ἀποδόσεως σὲ τάξη Β μπορεῖ νὰ φθάσει πραγματικὰ τὸ 78%. Ἐτσι, τὸ πιὸ μεγάλο μέρος τῆς ἰσχύος τροφοδοτήσεως μετατρέπεται σὲ ὠφέλιμη ἰσχύ σήματος, ἐνῶ οἱ ἀπώλειες περιορίζονται πολὺ. Ἀποτέλεσμα εἶναι ὅτι οἱ στῆλες, ποὺ τροφοδοτοῦν τὸν ενισχυτὴ, μποροῦν νὰ χρησιμοποιηθοῦν γιὰ μεγαλύτερο χρονικὸ διάστημα.

Ἐκτὸς ἀπὸ αὐτά, οἱ κρυσταλλολυχνίες ἐπιτρέπουν καὶ ὀρισμένες νέες συνδεσμολογίες σὲ συμμετρικούς ενισχυτές. Τοῦτο ὀφείλεται στὸ γεγονός ὅτι ὑπάρχουν δύο εἰδῶν κρυσταλλολυχνίες, $p-n-p$ καὶ $n-p-n$. Μποροῦμε λοιπόν, νὰ πραγματοποιήσουμε τὶς συμμετρικὲς συνδεσμολογίες, ποὺ φαίνονται στὸ σχῆμα 4.9 β. Στὶς συνδεσμολογίες αὐτές, οἱ βάσεις ἐνὸς συμμετρικοῦ ζεύγους διεγείρονται σὲ φάση (καὶ ὄχι, ὅπως στὶς λυχνίες, σὲ ἀντίφαση). Ἡ κρυσταλλολυχνία $p-n-p$ ἐνὸς ζεύγους ἐργάζεται κατὰ τὴν ἀρνητικὴ ἡμιπερίοδο τῆς διεγέρσεως, ἐνῶ ἡ κρυσταλλολυχνία $n-p-n$ εἶναι ἀγώγιμη κατὰ τὴ θετικὴ ἡμιπερίοδο. Μὲ τὸν τρόπο αὐτὸν καταργεῖται ὁ μετασχηματιστὴς διεγέρσεως, καθὼς ἐπίσης ὁ μετασχηματιστὴς ἐξόδου. Τὸ κέρδος εἶναι σημαντικό.

4.10. Ένισχυση ύψηλων συχνοτήτων.

Μέχρι τώρα ἐξετάσαμε τοὺς ενισχυτές γιὰ χαμηλὲς ἢ μεσαῖες συχνότητες, δηλαδή γιὰ σήματα ποὺ ἐτοιμαζόμαστε νὰ τὰ τροφοδοτήσουμε σὲ ἕνα μεγάφωνο ἐνὸς δέκτη, ὥστε νὰ ἀκούσουμε τὴ μουσικὴ ἢ τὴ φωνή.

Γιὰ πομποὺς καὶ δέκτες θὰ μιλήσουμε ἀναλυτικότερα στὰ ἐπόμενα κεφάλαια. Ἀπλῶς ἐδῶ θὰ χρησιμοποιήσουμε τὶς γενικὲς ἀρχές



Σχ. 4.9 β.

Συμμετρικός ενισχυτής κρυσταλλοτριόδων.

λειτουργίας τους. Όπως θα μάθουμε στο Κεφάλαιο περί πομπών, για να μπορέσει να μεταδοθεί ένα σήμα σε μακρυνή απόσταση, πρέπει το σήμα αυτό να έχει υψηλή συχνότητα. Το σήμα αυτό, αφού διανύσει αρκετά μεγάλη απόσταση στην ατμόσφαιρα, καταλήγει στην κεραία ενός δέκτη τελείως εξασθενημένο. Για να μπορέσουμε λοιπόν να εκμεταλλευτούμε το σήμα που έφθασε στην κεραία του δέκτη μας, πρέπει να το ενισχύσουμε. Έτσι προκύπτει η ανάγκη ύπαρξης ενισχυτών υψηλής συχνότητας.

Η τάση του σήματος, που την αναπτύσσουν τα ηλεκτρομαγνητικά κύματα πάνω σε μία κεραία λήψεως, είναι συνήθως λίγες δεκάδες μικροβόλτ (έκατομμυριοστά του βόλτ, μV) ή λίγα μιλλιβόλτ (χιλιοστά του βόλτ, mV): σπανίως περισσότερο. Η τάση αυτή παραμένει γενικά πολύ μικρή για να εφαρμοστεί απ' ευθείας στο επόμενο στάδιο του δέκτη, που λέγεται *φωρατής*, όπως θα δούμε στο Κεφάλαιο περί φωράσεως (π.χ. σε μία δίοδο λυχνία φωράσεως). Πραγματικά, για να είναι ικανοποιητική ή λειτουργία ενός φωρατή, ή εφαρμοσμένη τάση πρέπει να έχει πλάτος μεγαλύτερο από 1 βόλτ περίπου.

Δέν είναι δύσκολο να κατανικηθεί αυτή η δυσκολία. Άρκει η τάση εισόδου να υποβληθεί σε μία ενίσχυση $Y.S.$, πριν εφαρμοστεί στο φωρατή. Η ενίσχυση υψηλής συχνότητας γίνεται με λυχνίες, ή κρυσταλλοτριόδους, όπως και η ενίσχυση χαμηλής συχνότητας. Παρουσιάζονται όμως όρισμένα ειδικά προβλήματα, που πρέπει να τα ξεετάσουμε. Με άλλα λόγια, άλλο πρόβλημα είναι η ενίσχυση υψηλής συχνότητας, και άλλο πρόβλημα η ενίσχυση χαμηλής συχνότητας.

Για να πειστούμε ότι η ενίσχυση $Y.S.$ και η ενίσχυση $X.S.$ δέν είναι ακριβώς το ίδιο πράγμα, ως δοκιμάσαμε να χρησιμοποιήσουμε ως ενισχυτή $Y.S.$ ένα ενισχυτή τάσεως με αντίστασεις, όπως γίνεται στη $X.S.$ (παράγρ. 4·4).

Θά δούμε πράγματι ότι δέν γίνεται ενίσχυση. Μπορεί βέβαια πολύ καλά η ενισχύτρια λυχνία να έχει συνδεθεί σωστά και να λειτουργεί ικανοποιητικά σε χαμηλές συχνότητες, όμως στην υψηλή συχνότητα δέν θά δώσει την ενίσχυση που περιμένομε. Αν μάλιστα η συχνότητα εισόδου είναι πολύ υψηλή, τότε πιθανόν όχι μόνο να μην έχουμε ενίσχυση, αλλά, αντίθετα να έχουμε υποβιβασμό.

Οι λόγοι που ένας ενισχυτής με αντιστάσεις δεν λειτουργεί ικανοποιητικά στην Υ.Σ., εξηγούνται από το γεγονός ότι η λυχνία και η συνδεσμολογία της εισάγουν παρασιτικές χωρητικότητες, όπως εξηγήσαμε στην παράγραφο 1·3, που προέρχονται από τη χωρητικότητα αφ' ενός μόνον μεταξύ των ηλεκτροδίων και ακροδεκτών της λυχνίας, αφ' ετέρου δέ από τις καλωδιώσεις της συνδεσμολογίας της λυχνίας.

Άκόμα και αν πάρουμε προφυλάξεις (μέ μικρά σύρματα συνδέσεως, μέ κατάλληλη διάταξη των στοιχείων κυκλώματος, κ.λπ.), μία παρασιτική χωρητικότητα, παραμένει πάντοτε. Είναι βέβαια σκορπισμένη εδώ κι εκεί, δεν είναι κάπου συγκεντρωμένη, αλλά ωστόσο υπάρχει.

Στις τριόδους λυχνίες ή παρασιτική χωρητικότητα ανόδου-καθόδου, που είναι και η πιό ενοχλητική, είναι συνήθως γύρω στα 20 pF, ενώ οι παρασιτικές χωρητικότητες έσχάρας είναι μερικά μόνο pF.

Αν και οι παρασιτικές αυτές χωρητικότητες φαίνονται μικρές, φθάνουν ωστόσο για να έξουδετερώσουν την ενισχυτική ικανότητα ενός ενισχυτή μέ αντιστάσεις στην Υ.Σ.

Πραγματικά, επειδή η παρασιτική χωρητικότητα έσχάρας-άνόδου συνδέει την έξοδο (άνοδο) μέ την είσοδο (έσχάρα) παρατηρείται σέ ύψηλές συχνότητες μία έπανατροφοδότηση μέρους της έξόδου πρòς την είσοδο, άρα μία ανάδραση.

Τά δυσάρεστα άποτελέσματα της παρασιτικής χωρητικότητας άρας-άνόδου είναι γνωστά ως *φαινόμενο Μίλλερ*.

Γεννάται όμως τò έρώτημα: Μέ ποιούς τρόπους μπορούμε άποφύγομε στην πράξη τίς βλαβερές έπιδράσεις τών παρασιτικών χωρητικοτήτων, και, ειδικότερα, τού φαινόμενου Μίλλερ; Πώς, ηλαδή, μπορούμε νά κατασκευάζομε ενισχυτές Υ.Σ., που νά λειτουργούν ικανοποιητικά;

Γιά νά έξουδετερώσομε την άνεπιθύμητη ανάδραση, που προέχει ή παρασιτική χωρητικότητα έσχάρας-άνόδου, είναι φανερό πρòς τού έρώτημα νά βροῦμε ένα τρόπο για νά έφαρμόσομε στο κύκλωμα άρα μία τάση ίση και αντίθετη πρòς την τάση ανάδράσεως. Πώς, ηλαδή, δεν μπορούμε κατασκευαστικά νά άποφύγομε την παρασιτική ανάδραση, δεν μᾶς μένει παρὰ νά την άναίρέσομε μέ

μία δεύτερη αντίθετη ανάδραση, που την προκαλούμε τεχνητά στο έξωτερικό κύκλωμα της λυχνίας.

Έπιτυγχάνομε μία τέτοια έξουδετέρωση με τη βοήθεια διαφόρων κυκλωμάτων, που δεν θά μᾶς ἀπασχολήσουν, γιατί ἀφοροῦν περισσότερο τούς ραδιοτεχνίτες.

Ἡ κύρια δυσκολία, στοὺς ἐνισχυτὲς Υ.Σ. με κρυσταλλοτριόδους, εἶναι, ὅπως καὶ με τὶς λυχνίες κενοῦ, ὁ κίνδυνος κακῆς λειτουργίας, ἐξ αἰτίας πρὸ παντὸς τῶν παρασιτικῶν χωρητικοτήτων, καὶ γενικότερα τῶν παρασιτικῶν ἀναδράσεων μεταξὺ εἰσόδου καὶ ἐξόδου. Ὁ κίνδυνος αὐτὸς εἶναι μικρότερος στὴ συνδεσμολογία με κοινὴ βάση, σὲ σχέση με τὶς ἄλλες δύο συνδεσμολογίες, ὅπως συμβαίνει καὶ στὶς λυχνίες κενοῦ με γειωμένη ἐσχάρα. Γι' αὐτό, οἱ ἐνισχυτὲς Υ.Σ. με κοινὴ βάση εἶναι ἀρκετὰ συνηθισμένοι.

Ὡστόσο, ἀκόμα καὶ με κοινὴ βάση, παραμένει κάποια ἀνάδραση, που πρέπει νὰ ἐξουδετερωθεῖ. Ὑπάρχουν διάφορα κυκλώματα ἐξουδετερώσεως, ὅπως συμβαίνει καὶ με τὶς λυχνίες.

4 · 11 Ἐρωτήσεις.

1. Τί εἶναι ἐνισχυση;
2. Σχεδιάστε μία τριοδικὴ λυχνία ὡς ἐνισχύτρια σ' ἓνα κύκλωμα.
3. Τί εἶναι ἡ εὐθεῖα φορτίου;
4. Χαράξτε διάφορες εὐθεῖες φορτίου μαζί με τὶς χαρακτηριστικὲς καμπύλες ἀνόδου τριοδικῆς λυχνίας.
5. Περιγράψτε πῶς λειτουργεῖ ἓνας ἐνισχυτὴς καὶ ἐξηγεῖστε τὶς κυματομορφὲς τῶν σημάτων εἰσόδου καὶ ἐξόδου.
6. Χαράξτε τὴν καμπύλη ἀποκρίσεως ἐνισχυτῆ καὶ ἐξηγεῖστε τὴ σημασία της.
7. Σχεδιάστε ἓνα διάγραμμα ἐνισχυτῆ τάσεως καὶ ἰσχύος μέχρι τὸ μέγαφωνο.
8. Τί εἶναι καὶ πῶς λειτουργεῖ ὁ μετασχηματιστὴς προσαρμογῆς;
9. Ποιὰ εἶδη ἐνισχυτῶν ὑπάρχουν;
10. Περιγράψτε τὴ λειτουργία ἐνισχυτῆ σὲ τάξη Α, Β καὶ Γ με τὴ βοήθεια σχήματος.
11. Με τί ἰσοῦται ἡ μονάδα συγκριτικῆς μετρήσεως Ντεσιμπέλ, ὅταν μετᾶμε ἰσχεῖς καὶ με τί, ὅταν μετᾶμε τάσεις ἢ ρεύματα;
12. Χαράξτε τὴν καμπύλη ἀποκρίσεως σὲ κλίμακα ἐνισχύσεως Ντεσιμπέλ.
13. Με τὴ βοήθεια τῆς καμπύλης ἐνισχύσεως, ἐξηγεῖστε τί εἶναι ἡ παραμόρφωση συχνότητας.

14. Έξηγείστε μ' ένα σχήμα, γιατί ή παραμόρφωση φάσεως μιᾶς ἀρμονικῆς προκαλεῖ παραμόρφωση τοῦ ὅλου σήματος.
 15. Πῶς δημιουργεῖται ή παραμόρφωση πλάτους;
 16. Πῶς μπορούμε νὰ ἐλαττώσουμε τὴν παραμόρφωση;
 17. Τί εἶναι ή ἀρνητικὴ ἀνάδραση;
 18. Μὲ τί ἰσοῦται ή ἐνίσχυση σὲ κύκλωμα χωρὶς ἀνάδραση καὶ σὲ κύκλωμα μὲ ἀνάδραση;
 19. Σχεδιάστε ἓνα κύκλωμα ἐνισχύσεως Push - Pull καὶ ἐξηγείστε τὴ λειτουργία του.
 20. Γιατί οἱ ἐνισχυτὲς μὲ ἀντιστάσεις δὲν εἶναι κατάλληλοι γιὰ ἐνίσχυση ὑψηλῶν τάσεων;
 21. Πῶς ἐξουδετερώνεται ή παρασιτικὴ χωρητικότητα ἐσχάρας-ἀνόδου ἐνισχυτῆ Υ.Σ.;
-

Κ Ε Φ Α Λ Α Ι Ο 5

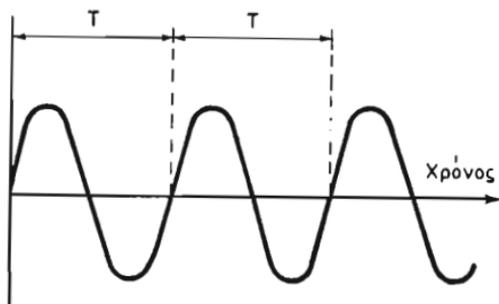
Τ Α Λ Α Ν Τ Ω Τ Ε Σ

5·1 Εισαγωγή.

Πριν αρχίσουμε να εξετάζουμε τούς ταλαντωτές, είναι απαραίτητο να εξηγήσουμε προηγουμένως όρισμένες έννοιες, όπως τή συχνότητα, τὸ μήκος κύματος καὶ τὴν ἄρμονικὴ ἀνάλυση. Ἐπίσης καὶ όρισμένα φαινόμενα, ὅπως τὸ συντονισμό σὲ σειρά καὶ παράλληλα.

5·2 Συχνότητα καὶ μήκος κύματος.

Ἡ συχνότητα ἐνὸς ἐναλλασσόμενου ρεύματος εἶναι ὁ ἀριθμὸς ποὺ ὀρίζει πόσες πλήρεις ἐναλλαγές κάνει τὸ ρεύμα μέσα σὲ ἕνα δευτερόλεπτο. Ὁ ἀριθμὸς αὐτὸς ἐκφράζεται σὲ χέρτζ (Hz). Περίοδος τοῦ ρεύματος εἶναι ὁ χρόνος ποὺ χρειάζεται, γιὰ νὰ γίνῃ μία πλήρης ἐναλλαγή (σχ. 5·2 α).



Σχ. 5·2 α.
Περίοδος κύματος.

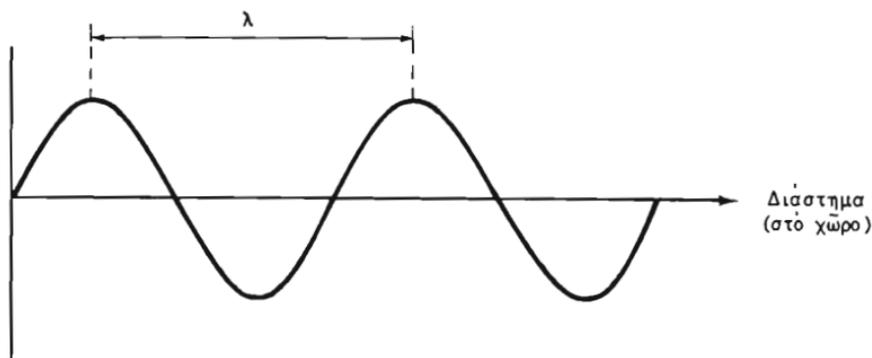
Ποιές σχέσεις υπάρχουν ὁμως ἀνάμεσα στὴ συχνότητα, τὴν περίοδο καὶ τὸ μήκος κύματος; Τὴ σχέση τῆς συχνότητας μὲ τὴν

περίοδο τὴν ξέρομε ἀπὸ τὴν Ἑλεκτροτεχνία: Ἐφοῦ π.χ. τὸ βιομηχανικὸ ρεύμα κάνει σὲ ἕνα δευτερόλεπτο 50 περιόδους, ἢ κάθε περίοδος ἀπαιτεῖ χρόνο 1/50 τοῦ δευτερολέπτου. Γενικά, ἂν ἡ συχνότητα εἶναι f κύκλοι ἀνὰ δευτερόλεπτο, δηλαδή χέρτζ (Hz), καὶ ἂν σημειώσομε τὴν περίοδο μὲ τὸ γράμμα T , θὰ ἔχομε:

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

Ἐς δοῦμε ἀκόμα ποιά σχέση ὑπάρχει μεταξὺ συχνότητας καὶ μήκους κύματος. Παίρνομε ὡς δεδομένο τὸ γεγονός ὅτι ἡ ταχύτητα διαδόσεως τῶν ἠλεκτρομαγνητικῶν κυμάτων στὸ χῶρο εἶναι ἴση

μέ την ταχύτητα τοῦ φωτός, πού την παριστάνομε μέ τὸ γράμμα c . Κατὰ τὸ χρονικὸ διάστημα μιᾶς περιόδου T τὸ κύμα ἀκτινοβολίας ἔχει προχωρήσει τόσο διάστημα, ὅσο βρίσκεται ὅταν πολλαπλα-



Σχ. 5.2 β.
Μήκος κύματος.

σιάσομε την ταχύτητά του c μέ τὸν χρόνο T . Στὸ χρόνο T ἡ ἀκτινοβολία ἔχει προχωρήσει στό χῶρο κατὰ διάστημα ἴσο πρὸς ἓνα μήκος κύματος λ (σχ. 5.2 β). Ἄρα $\lambda = c \cdot T$ καὶ ἐπειδὴ $T = 1/f$ τότε

$$\lambda = \frac{c}{f}.$$

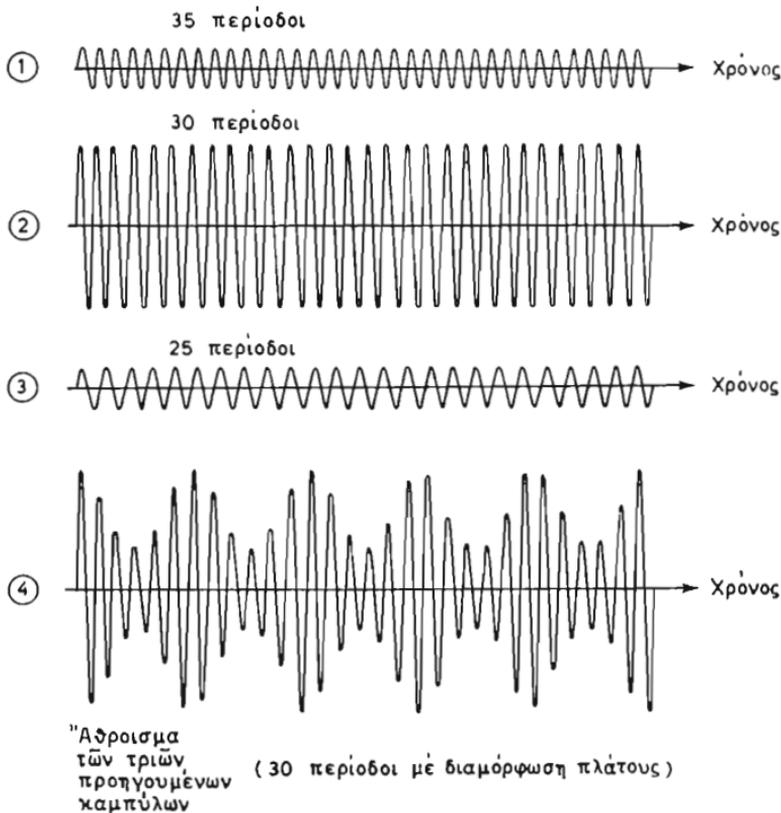
5.3 Ἀρμονική ἀνάλυση.

Γιὰ νὰ καταλάβομε τί εἶναι οἱ ἀρμονικὲς ἑνὸς σήματος, ἄς ὀμο μιὰν ἀπὸ τίς περιοχὲς συχνοτήτων, π.χ. τὴν περιοχή μεσαίων κυμάτων. Μέσα στὴν περιοχή αὐτὴ λειτουργοῦν ὀρισμένοι σταθμοὶ σαίων κυμάτων. Ὁ ἀριθμὸς τους, ὅπως φαίνεται καὶ σὲ ἓνα κατάλογο σταθμῶν, δὲν εἶναι καὶ πολὺ μεγάλος. Ὅμως εἶναι φανερὸ ὅτι λες οἱ χῶρες θὰ ἤθελαν νὰ αὐξήσουν τοὺς σταθμοὺς πού διαθέτουν νὰ χρησιμοποιήσουν συγχρόνως περισσότερες διαφορετικὲς συ-
τες. Ποιὸς ὀμως εἶναι ὁ λόγος πού μέσα σὲ μιὰ περιοχή κυμά-
ν δὲν «χωρᾷ» παρὰ ὀρισμένος ἀριθμὸς ἀπὸ πομπούς; Αὐτὸ πρέ-
νὰ τὸ καταλάβομε ἀμέσως ἀπὸ τὴν ἀρχή, γιατί, ὅπως θὰ δοῦμε,
ναι βασικὸ γιὰ τὴ συνέχεια.

Ὅπως θὰ δοῦμε στό Κεφάλαιο περὶ πομπῶν, ἡ κεραία τοῦ πού δὲν ἀκτινοβολεῖ κύμα μέ σταθερὸ πλάτος, ἀλλὰ κύμα μέ λητὸ πλάτος. Τὸ φαινόμενο αὐτὸ, ὅπως θὰ δοῦμε, λέγεται ἐκ-

πομπή διαμορφώσεως κατὰ πλάτος. Τί σχέση όμως μπορεί να έχει μία τέτοια μεταβολή πλάτους με τις συχνότητες;

Ής εξετάσουμε προσεκτικά τὸ σχῆμα 5·3 α. Στὴ θέση (2) τοῦ σχήματος ἔχομε ἕνα ἀπλὸ ἐναλλασσόμενο ρεύμα με σταθερὸ πλάτος. Σ' αὐτὸ εἶναι σημειωμένες 30 πλήρεις ἐναλλαγές, δηλαδή 30 περίοδοι.



Σχ. 5·3 α.

Τὸ ἄθροισμα τῶν τριῶν πρώτων κυμάτων δίνει ἕνα κύμα διαμορφωμένο κατὰ πλάτος.

Ἄν ὑποθέσουμε ὅτι οἱ ἐναλλαγές αὐτές γίνονται μέσα σὲ ἕνα δευτερόλεπτο, τότε ἡ συχνότητα τοῦ ρεύματος αὐτοῦ θὰ εἶναι 30 Hz. Κατὰ τὸν ἴδιο τρόπο, στὶς θέσεις (1) καὶ (3) ἔχουν παρασταθεῖ δύο ἄλλα ἐναλλασσόμενα ρεύματα με σταθερὸ πλάτος, ἀλλὰ με συχνότητες 35 Hz τὸ πάνω καὶ 25 Hz τὸ κάτω. Για κάθε ἄκρο τμήματος, δη-

λαδὴ γιὰ κάθε ὀρισμένη χρονικὴ στιγμή, προσθέτομε τὶς τιμὲς τῶν ρευμάτων (1), (2) καὶ (3) τῆς στιγμῆς ἐκείνης (τὰ ρεύματα θὰ παίρνονται θετικὰ πάνω ἀπὸ τοὺς ἄξονες τοῦ χρόνου καὶ ἀρνητικὰ κάτω ἀπὸ τοὺς ἄξονες). Βρίσκομε ἔτσι, σημεῖο πρὸς σημεῖο, τὸ ἄθροισμα τῶν τριῶν ρευμάτων. Τὸ ἀποτέλεσμα παρέχεται στὴ θέση (4) τοῦ σχήματος.

Ἄν τώρα μετρήσομε πόσες περιόδους περιλαμβάνει ἡ καμπύλη τοῦ ἄθροισματος στὴ θέση (4), θὰ βροῦμε ἀκριβῶς 30. Δηλαδή τὸ ἄθροισμα ἔχει τὴν ἴδια συχνότητα μὲ τὴν κεντρικὴ συχνότητα τῶν 30 Hz, ἀπὸ τὴν ὁποία ξεκινήσαμε. Ὅμως τὸ πλάτος τοῦ ἄθροισματος εἶναι μεταβλητό. Τὸ πλάτος τοῦ ἄθροισματος παρουσιάζει 5 πλήρεις ἐναλλαγές, δηλαδή ὄση ἀκριβῶς εἶναι καὶ ἡ διαφορὰ ἀνάμεσα στὴν κεντρικὴ συχνότητα τῶν 30 Hz καὶ στὶς δύο ἄλλες τῶν 35 Hz καὶ 25 Hz.

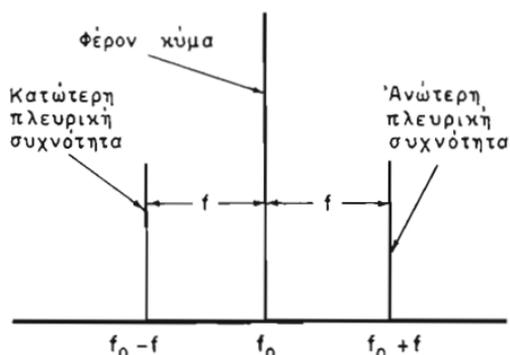
Τὸ ἀποτέλεσμα αὐτὸ εἶναι γενικό: Ἄν σὲ ἓνα ἐναλλασσόμενο ρεῦμα μὲ σταθερὸ πλάτος καὶ μὲ συχνότητα f_0 προσθέσομε δύο ἄλλα ἐναλλασσόμενα ρεύματα μὲ σταθερὰ πλάτη καὶ μὲ συχνότητες $f_0 + f$ καὶ $f_0 - f$, τὸ ἀποτέλεσμα θὰ εἶναι ἓνα ρεῦμα μὲ συχνότητα f_0 , ἀλλὰ μὲ πλάτος ποὺ θὰ μεταβάλλεται μὲ τὴν συχνότητα f (στὸ παράδειγμά μας εἶχαμε $f_0 = 30$ καὶ $f = 5$). Καὶ αὐτὸ δὲν συμβαίνει βέβαια μόνο μὲ τὰ ἐναλλασσόμενα ρεύματα, ἀλλὰ μὲ ὅλα τὰ ἐναλλασσόμενα μεγέθη καὶ μὲ τὰ κύματα.

Ἄληθεύει ὁμως καὶ τὸ ἀντίστροφο. Δηλαδή, ἓνα κύμα, ποὺ ἔχει ἰσὺς ὑψηλὴν συχνότητα f_0 καὶ τὸ πλάτος του μεταβάλλεται μὲ μίαν ἀμηλὴν συχνότητα f , μὲ ἄλλα λόγια, ἓνα ραδιοφωνικὸ κύμα διαμορφωμένο κατὰ πλάτος, εἶναι ἰσοδύναμο μὲ τὸ ἄθροισμα τριῶν μμάτων μὲ σταθερὸ πλάτος καὶ μὲ συχνότητες $f_0 - f$, f_0 , καὶ $f_0 + f$.

Ἐνας λοιπὸν πομπὸς ποὺ ἐκπέμπει διαμορφωμένα κύματα σὲ ἰσὺς συχνότητα f_0 , δὲν ἐκπέμπει στὴν πραγματικότητα μόνο τὴν νότητα αὐτή. Ἐκτὸς ἀπὸ τὴν κεντρικὴ ἢ φέρουσα συχνότητα πει στὴν πραγματικότητα καὶ δύο ἄλλες πλευρικὲς συχνότητες $f_0 - f$ καὶ $f_0 + f$. Τὸ σύνολο τῶν τριῶν αὐτῶν συχνοτήτων ἰστανεταὶ στὸ σχῆμα 5 · 3 β.

Ἄλλὰ καὶ πάλι, ὅλα αὐτὰ εἶναι σωστά, ὅταν ἡ χαμηλὴ συχνότητα διαμορφώσεως f προέρχεται ἀπὸ μίαν καθαρὴν μουσικὴν νόταν. μουσικὴ ὁμως (ὅπως καὶ ἡ φωνὴ) ἀποτελεῖται ἀπὸ πολλὰ συγ-

χρόνως συχνότητες, που ἄλλωστε διαρκῶς ἀλλάζουν. Ἐπομένως, τὸ σχῆμα 5·3β εἶναι στὴν πραγματικότητα ἀρκετὰ πιὸ πολὺπλοκο

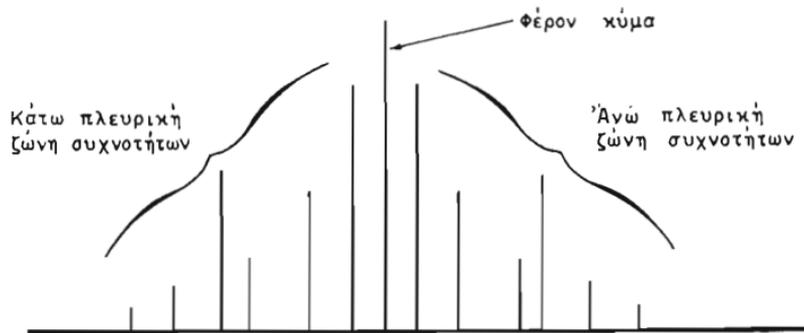


Σχ. 5·3β.

Τὸ φέρον κύμα μὲ τις δύο πλευρικές του συχνότητες.

καὶ παίρνει τὴ συμμετρική μορφή τοῦ σχήματος 5·3γ, ὅπου ὑπάρχει ἡ κεντρική ἢ φέρουσα συχνότητα καὶ δύο πλευρικές ζώνες συχνοτήτων, ἡ ἄνω καὶ ἡ κάτω πλευρική ζώνη. Ὁ πομπὸς ἐκπέμπει σὲ κάθε στιγμή ἓνα παρόμοιο σύνολο συχνοτήτων. Αὐτὸ τὸ σύνολο συχνοτήτων ὀνομάζεται φάσμα τοῦ πομποῦ.

Βλέπομε δηλαδή ὅτι μία διαμορφωμένη τάση ἀναλύεται σὲ κάμποσες ἀπλές ἡμιτονικές τάσεις ἢ ἡμιτονικές συνιστώσες. Τοῦτο γενικεύεται καὶ ἰσχύει γιὰ κάθε περιοδικὸ μέγεθος.



Σχ. 5·3γ.

Ζώνη συχνοτήτων (φάσμα) πομποῦ. Ἡ φέρουσα συχνότητα περιβάλλεται συμμετρικά ἀπὸ δύο πλευρικές ζώνες συχνοτήτων.

5·4 Τὸ φαινόμενο τοῦ συντονισμοῦ.

Ὅλοι γνωρίζομε ἀπὸ τὴ Φυσική τὸ ἐκκρεμές, πού βλέπομε στὸ σχῆμα 5·4.

Όταν στο έκκρεμές αυτό δώσουμε μία ώθηση, και μετά το αφήσουμε ελεύθερο, θα αρχίσει να πηγαίνει ελεύθερα πέρα-δῶθε, δηλαδή να ταλαντώνεται. Ἡ ταλάντωση αὐτὴ ἔχει μία ὀρισμένη συχνότητα, δηλαδή ὀρισμένο ἀριθμὸ ταλαντώσεων ἀνὰ δευτερόλεπτο. Ἡ συχνότητα αὐτή, πού εἶναι χαρακτηριστικὴ γιὰ τὶς ἐλεύθερες ταλαντώσεις, λέγεται *φυσικὴ συχνότητα* ἢ *ιδιοσυχνότητα*.

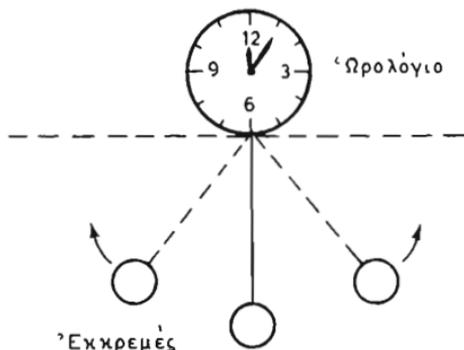
Ἀλλὰ οἱ ἐλεύθερες ταλαντώσεις δὲν συνεχίζονται ἐπ' ἄπειρον. Αὐτὸ ὀφείλεται στὶς τριβές τοῦ συστήματος. Ἡ ἀπόσβεση, πού προκαλοῦν οἱ τριβές συντελεῖ, ὥστε

οἱ ταλαντώσεις νὰ ἔχουν διαρκῶς μικρότερο πλάτος, μέχρι νὰ σταματήσουν ἐντελῶς. Γιὰ νὰ συντηρηθοῦν ὁμως πρέπει κάθε τόσο νὰ δίνομε ὀρισμένες ὠθήσεις στὸ ἐκκρεμές.

Οἱ ὠθήσεις αὐτὲς πρέπει νὰ δίνονται μὲ τὸ ρυθμὸ τῆς ἰδιοσυχνότητας τοῦ ἐκκρεμοῦς. Λέμε τότε ὅτι αὐτὸς πού δίνει τὶς ὠθήσεις βρίσκεται σὲ συντονισμό μὲ τὸ ταλαντευόμενο ἐκκρεμές. Τὶς ὠθήσεις αὐτὲς στὸ σύστημα τοῦ ἐκκρεμοῦς τοῦ ρολοιοῦ τὶς δίνει τὸ ἐλατήριο, πού βρίσκεται μέσα στὸ ρολοὶ τοῦ σχήματος 5·4. Αὐτὸ εἶναι ἀ παράδειγμα μηχανικοῦ συντονισμοῦ. Παρακάτω θὰ δοῦμε μὲ ἰὸ τρόπο τὸ θεμελιῶδες αὐτὸ φαινόμενο τοῦ συντονισμοῦ ἐκδηλωστὸν ἠλεκτρισμό, καὶ πόσο μεγάλη εἶναι ἡ χρησιμότητά του.

• 5 Ήλεκτρικός συντονισμός.

Γιὰ νὰ καταλάβομε τί σημαίνει ἠλεκτρικός συντονισμός, κάμε τὸ παρακάτω πείραμα: Μία πηγὴ ὑψηλῆς συχνότητας τροστεῖ σὲ σειρὰ ἓνα πυκνωτὴ καὶ ἓνα πηνίο, ὅπως φαίνεται στὸ ἄμα 5·5 α. Ἡ συχνότητα τῆς πηγῆς μπορεῖ νὰ μεταβληθεῖ, ἡ τῆς ὁμως μένει πάντα σταθερὴ — πηγὴ σταθερῆς τάσεως. Ἐνα μετρο σὲ σειρὰ μὲ τὴ συνδεσμολογία μετρᾷ τὸ ρεῦμα πού

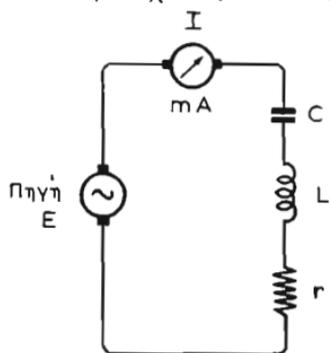


Σχ. 5-4.

Τὸ ἐκκρεμές ὡς φαινόμενο συντονισμοῦ.

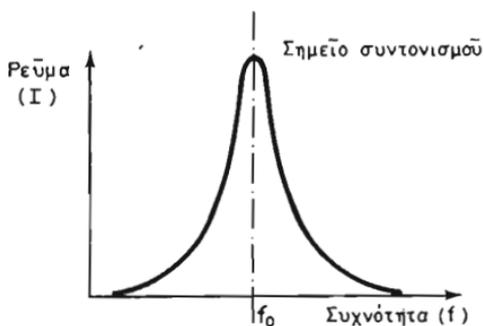
τή διαρρέει. Η μικρή αντίσταση r , που έχει σημειωθεί στο σχήμα, είναι η αντίσταση άπωλειών του πηνίου.

Κρατώντας σταθερή την τάση της πηγής, ὡς μεταβάλομε τὴ συχνότητά της. Σὲ κάθε συχνότητα f , τὸ ἀμπερόμετρο μετρά ἕνα ρεύμα I . Τὰ ἀποτελέσματα τῶν μετρήσεων παριστάνονται ἀπὸ τὴν καμπύλη τοῦ σχήματος 5·5 β. Βλέπομε ὅτι τὸ ρεύμα παίρνει μία μέγιστη τιμὴ γιὰ μία ἐντελῶς καθορισμένη συχνότητα f_0 . Γύρω ἀπὸ τὴ συχνότητα αὐτὴ τὸ ρεύμα πέφτει ἀπότομα.



Σχ. 5-5 α.

Συνδεσμολογία γιὰ ἠλεκτρικὸ συντονισμό.



Σχ. 5-5 β.

Καμπύλη ποὺ δείχνει ὅτι στὴ συχνότητα f_0 ὑπάρχει συντονισμός.

Δηλαδή καὶ ἐδῶ ἔχομε ἀξιόλογο ἀποτέλεσμα (ἕνα μέγιστο ρεύματος) τὴ στιγμὴ ποὺ δύο συχνότητες συμπίπτουν. Μήπως, λοιπόν, πρόκειται γιὰ συντονισμό; Τότε, ὅμως, πρέπει ἕνα κύκλωμα



Σχ. 5-5 γ.

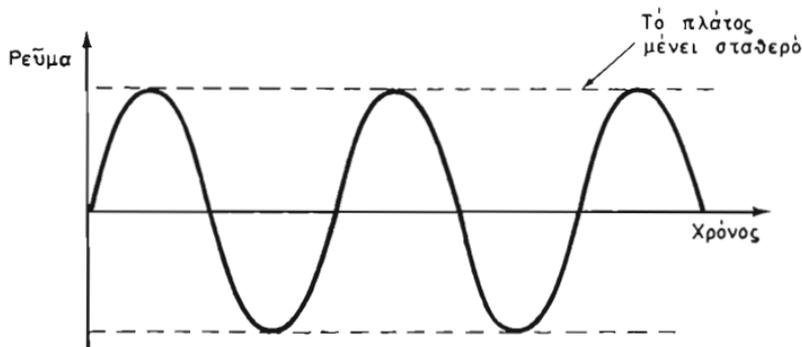
Ἐλεύθερες ἀποσβενόμενες ταλαντώσεις.

LC, μὲ πηνίο καὶ πυκνωτὴ, νὰ ἔχει μία δική του χαρακτηριστικὴ συχνότητα, μία *ιδιοσυχνότητα*.

Πράγματι ἔτσι εἶναι. Ἄς πάρουμε τὸ κύκλωμα LC καὶ ἄς τοῦ ἐφαρμόσουμε γιὰ μία στιγμὴ μία «ῥοπή», π.χ. νὰ τὸ συνδέσουμε καὶ ἀμέσως νὰ τὸ ἀποσυνδέσουμε ἀπὸ μία

πηγὴ συνεχοῦς ρεύματος. Θὰ μπορούσαμε τότε νὰ διαπιστώσουμε ὅτι στὸ κύκλωμα γεννιέται ἐναλλασσόμενο ρεύμα — ἐλεύθερες ταλαν-

τώσεις. Ἡ συχνότητα τοῦ ρεύματος εἶναι ἴση με τὴν ἰδιοσυχνότητα f_0 τοῦ κυκλώματος, ἐνῶ τὸ πλάτος του μικραίνει, ὅσο περνᾷ ὁ χρόνος καὶ τελικὰ τὸ ρεῦμα εξαφανίζεται, ἐξ αἰτίας τῆς ἀποσβέσεως ποὺ προκαλεῖ ἡ ἀντίσταση ἀπωλειῶν τοῦ κυκλώματος, ὅπως βλέπομε στὸ σχῆμα 5.5 γ. Ὄταν ὁμως τὸ κύκλωμα ἔχει συνδεθεῖ με μία πηγὴ σὲ συντονισμό, δηλαδή πηγὴ ποὺ ἡ συχνότητά της εἶναι ἴση με τὴν ἰδιοσυχνότητα τοῦ κυκλώματος, τότε τὸ ρεῦμα γίνεται μέγιστο καὶ συντηρεῖται ὅπως φαίνεται στὸ σχῆμα 5.5 δ, δηλαδή ἔχομε συντηρούμενες ταλαντώσεις.

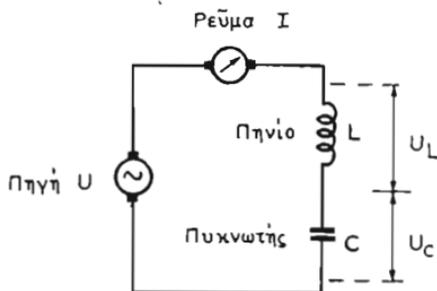


Σχ. 5.5 δ.

Συντηρούμενες ταλαντώσεις σὲ ἠλεκτρικὸ συντονισμό.

5.6 Συντονισμός σε σειρά.

Πρὶν ἀσχοληθοῦμε με τὸ συντονισμό σὲ σειρά, εἶναι σκόπιμο ἂν δοῦμε τί ἀντίσταση παρουζοῦν εἰς ἑνὴν πηνίον καὶ ἑνὴν πυκνωτὴν σὲ σειρά καὶ γι' αὐτὸ δοῦμε τὸ κύκλωμα τοῦ σχήματος 5.6 α: μία πηγὴ, ἕνα πηνίον καὶ ἕν ἰδανικὸ ωτὴ σὲ σειρά. Ἰδανικὸ ο καὶ πυκνωτὴ λέμε αὐτὰ δὲν παρουσιάζουν καμμία κὴ ἀντίσταση, παρὰ μόνο ν ἑπαγωγικὴ καὶ χωρητικὴ ἴσταση. Ἀφοῦ ὅλα τὰ στοιχεῖα εἶναι σὲ σειρά, ὑπάρχει ἕνα καὶ



Σχ. 5.6 α.

Πηνίον καὶ πυκνωτὴς σὲ σειρά.

μόνο κοινό ρεύμα. Το ρεύμα όμως αυτό πρέπει να βρίσκεται σε καθυστέρηση φάσεως 90° ως προς την τάση U_L στα άκρα του πηνίου και συγχρόνως σε προπορεία 90° ως προς την τάση U_C στα άκρα του πυκνωτή. Άρα, οι δύο τάσεις U_L και U_C έχουν μεταξύ τους διαφορά φάσεως $90^\circ + 90^\circ = 180^\circ$. Βρίσκονται δηλαδή, σε πλήρη αντίφαση — ή μία είναι ακριβώς αντίθετη από την άλλη.

Όστε οι τάσεις στα άκρα του πηνίου και του πυκνωτή είναι ακριβώς αντίθετες. Όμως οι τάσεις είναι ανάλογες προς τις αντίστασεις, αφού το ρεύμα είναι το ίδιο στο πηνίο και στον πυκνωτή. Η αντίσταση του πηνίου, δηλαδή η επαγωγική αντίσταση X_L , ισούται με ωL και η αντίσταση του πυκνωτή ή χωρητική αντίσταση ισούται με $1/\omega C$. Επομένως οι αντίστασεις του πηνίου και του πυκνωτή είναι και αυτές μεταξύ τους αντίθετες. Δεν είναι αρκετό δηλαδή να λέμε ότι η επαγωγική αντίσταση του πηνίου είναι ωL και η χωρητική αντίσταση του πυκνωτή $1/\omega C$. Πρέπει ακόμα τη μία από τις αντίστασεις αυτές να την παίρνουμε ως θετική και την άλλη ως αρνητική.

Γενικώς, είναι έντελως αδιάφορο ποιά αντίσταση θα πάρουμε ως θετική και ποιά ως αρνητική. Η συνήθεια, όμως, έχει επιβάλλει να παίρνουμε ως αρνητική τη χωρητική αντίσταση. Ο πυκνωτής, λοιπόν, έχει χωρητική αντίσταση $-1/\omega C$.

Υστερα από τὰ παραπάνω, η ισοδύναμη αντίσταση του πηνίου και του πυκνωτή σε σειρά θα είναι:

$$Z = \omega L - 1/\omega C, \quad (1)$$

$$(\omega = 2\pi \cdot f = 6,28 \times \text{συχνότητα})$$

Παραπάνω εξετάσαμε μία ιδανική κατάσταση πηνίου και πυκνωτή χωρίς ωμική αντίσταση. Πρέπει όμως να γνωρίζουμε ότι, στην πραγματικότητα, τὰ στοιχεία αυτά παρουσιάζουν και ωμική αντίσταση, παρουσιάζουν δηλαδή τις λεγόμενες *απώλειες*. Άλλὰ οι απώλειες ενός πυκνωτή είναι γενικά πολύ μικρότερες από τις απώλειες ενός πηνίου. Μπορούμε, λοιπόν στην πράξη, για διευκόλυνσή μας, να εξακολουθοῦμε να θεωροῦμε τὸν πυκνωτὴ C ὡς ἰδανικό. Τὸ πηνίο ὁμως πρέπει νὰ τὸ ἀντικαταστήσουμε μὲ μία αὐτεπαγωγή L, σὲ σειρά μὲ μία ἀντίσταση ἀπωλειῶν r. Στὴν ἀντίσταση αὐτὴ μπορούμε, ἄλλωστε νὰ ἀποδώσουμε ὄχι μόνο τὶς ἀπώλειες τοῦ πηνίου, ἀλλὰ καὶ τὶς μικρὲς ἀπώλειες τοῦ πυκνωτὴ.

Έτσι λοιπόν το κύκλωμα του σχήματος 5.6 α παίρνει τη μορφή που βλέπουμε στο κύκλωμα σειράς LrC (σχ. 5.6 β). Ποιά θα είναι η συνολική αντίδραση αυτού του κυκλώματος; Και τί θα συμβεί, αν κάνουμε να μεταβάλλεται η συχνότητα της πηγής που το τροφοδοτεί; Η συνολική αυτή αντίσταση λέγεται *σύνθετη* αντίσταση του κυκλώματος.

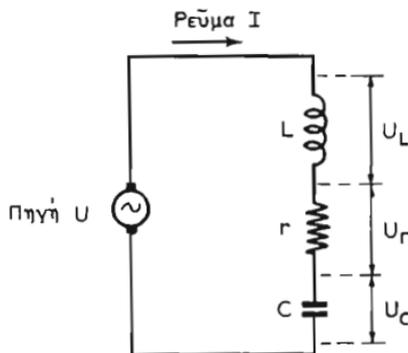
Η ισοδύναμη σύνθετη αντίσταση του πηνίου και του πυκνωτή, σύμφωνα με όσα είπαμε στην προηγούμενη παράγραφο, θα είναι $\omega L - 1/\omega C$.

Μένει τώρα να προσθέσουμε και την ωμική αντίσταση r . Άλλα τα πηνία και οι πυκνωτές έχουν αντιστάσεις διαφορετικού είδους από ό,τι οι ωμικές αντιστάσεις. Τα διαφορετικά αυτά είδη χαρακτηρίζονται από διαφορές φάσεων 90° . Οί δύο λοιπόν αντιστάσεις r και $\omega L - 1/\omega C$ πρέπει να προστεθούν με το γεωμετρικό τρόπο της τετραγωνικής ρίζας. Άρα, η ισοδύναμη σύνθετη αντίσταση του κυκλώματος LrC σε σειρά είναι:

$$Z = \sqrt{r^2 + (\omega L - 1/\omega C)^2}.$$

Όταν μεταβάλλουμε τη συχνότητα της πηγής, η έπαγωγική αντίσταση του πηνίου και η χωρητική αντίσταση του πυκνωτή αβιάλλονται. Με ποιό τρόπο οι αντιστάσεις αυτές μεταβάλλονται νεται στο σχήμα 5.6 γ. Καθώς η έπαγωγική αντίσταση αυξάνει με τη συχνότητα, ενώ η χωρητική αντίσταση μικραίνει, υπάρχει α σημείο Σ, που αντιστοιχεί σε μία ορισμένη συχνότητα f_0 . Εκεί ί δύο αντιστάσεις γίνονται ίσες. Η συχνότητα αυτή στο παράγμά μας είναι $f_0 = 1000 \text{ kHz}$. Καθώς οι δύο αυτές αντιστάσεις είναι αντίθετες, η μία εξισορροπεί την άλλη άκριβως. Ισοδυναμούν ηλαδή με μία μηδενική αντίσταση. Άρα η αντίσταση του κυκλώματος είναι καθαρά ωμική: $Z = \sqrt{r^2} = r$.

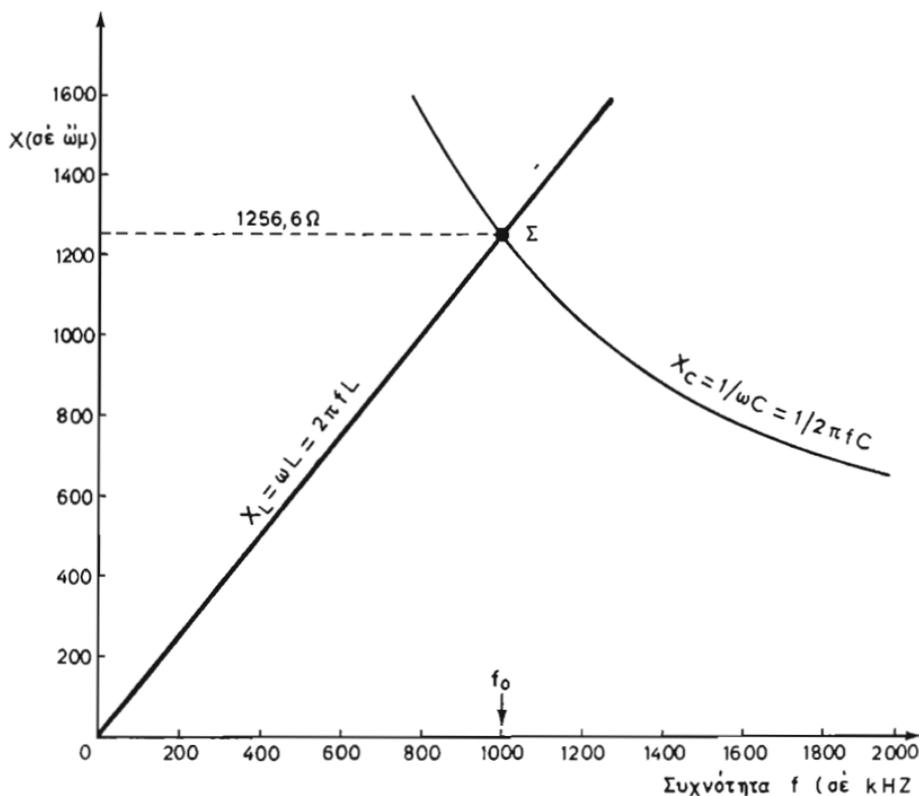
Αυτό άκριβως το αποτέλεσμα σημαίνει ότι στη συχνότητα το κύκλωμα βρίσκεται σε συντονισμό με την πηγή. Είναι ό συν-



Σχ. 5.6 β.

Κύκλωμα LrC σε σειρά.

τονισμός με τὰ στοιχεῖα L , C σὲ σειρά με τὴν πηγὴ. Ἡ συχνότητα συντονισμοῦ f_0 δὲν εἶναι ἄλλη ἀπὸ τὴν ἰδιοσυχνότητα τοῦ κυκλώματος, ποῦ γι' αὐτὴ μιλήσαμε παραπάνω. Ὑπολογίζεται ὡς ἑξῆς: Λύνομε τὴν ἑξίσωση $\omega_0 L - 1/\omega_0 C = 0$ ὡς πρὸς ω_0 καὶ ἔχομε $\omega_0 L = 1/\omega_0 C$, $\omega_0^2 = 1/LC$ καὶ $\omega_0 = 1/\sqrt{LC}$. Ἐπειδὴ $\omega_0 = 2\pi f_0$, ἐπεταὶ ὅτι: $f_0 = 1/2\pi\sqrt{LC}$.



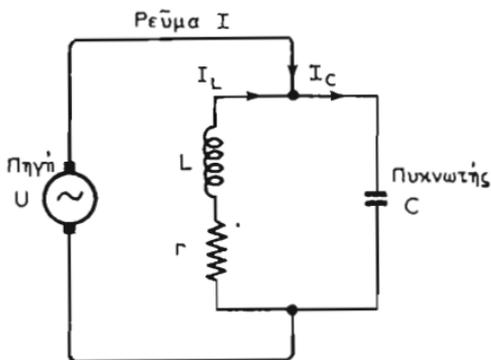
Σχ. 5·6 γ.

Ἐπαγωγικὴ ἀντίσταση τοῦ πηνίου ($X_L = 6,28 fL$) καὶ χωρητικὴ ἀντίσταση τοῦ πυκνωτῆ ($X_C = 1/6,28 fC$), ὅταν ἡ συχνότητα τῆς πηγῆς τοῦ σχήματος 5·6 β μεταβάλλεται.

5·7 Παράλληλος συντονισμός.

Ὅπως εἶδαμε στὴν προηγούμενη παράγραφο, ἡ πηγὴ εἶχε συνδεθεῖ σὲ σειρά με τὸ συντονισμένο κύκλωμα (σχ. 5·6 β). Εἶναι

ὅμως φανερό ὅτι ἡ πηγή μπορεῖ νὰ συνδεθεῖ καὶ παράλληλα μὲ τὸν τρόπο πού φαίνεται στὸ σχῆμα 5·7. Αὐτὸς ὁ διαφορετικὸς τρόπος τροφοδοτήσεως τοῦ κυκλώματος ἀπὸ τὴν πηγή, δὲν ἀλλάζει πολὺ ὅσα εἴπαμε γιὰ τὸ κύκλωμα σειρᾶς. Θὰ δοῦμε ὅτι ἡ οὐσία μένει κατὰ βάθος ἡ ἴδια, μόνο πού τὰ πράγματα φανερώνονται τώρα μὲ ἓνα τρόπο ἀντίστροφο: Στὸ συντονισμό, ἀντὶ νὰ ἔχομε μέγιστο ρεῦμα, ἔχομε ἐλάχιστο.



Σχ. 5.7.

Παράλληλη τροφοδότηση τοῦ κυκλώματος LC.

Ἄν παραλείψουμε τὴν ἰκὴ ἀντίσταση ἀπωλειῶν τοῦ σχήματος 5·7, μποροῦμε, ὅπως με, νὰ συνθέσουμε τὶς παράλληλες ἀντιστάσεις $X_L = \omega L$ καὶ $X_C = 1/\omega C$, σὰν νὰ ἦταν ἀντιστάσεις τῆς ἴδιας φύσεως, ἀρκεῖ μόνο τὴ χωρητικὴ ἀντίσταση νὰ τὴν πάρομε ὡς ἀρνητικὴ. Ἄρα ἡ ἰσοδύναμη ἀντίσταση τοῦ κυκλώματος εἶναι:

$$Z = [X_L \cdot X_C] / [X_L + X_C].$$

Ἄς ὑποθέσουμε τώρα, ὅτι ἡ πηγή ἔχει συχνότητα 1000 kHz, ἀδὴ τὴ συχνότητα στὴν ὁποία τὸ ἴδιο κύκλωμα σὲ σειρᾶ βρισκόσῃ σὲ συντονισμό.

Τὸ χαρακτηριστικὸ, στὴ συχνότητα αὐτὴ, εἶναι ὅτι τὸ πηνίο ἰ ὁ πυκνωτὴς παρουσιάζουν, ὅπως ἔχομε δεῖ στὸ σχῆμα 5·6 γ, ν ἴδια ἀντίσταση, ἴση μὲ 1256,6 Ω. Κανένας ἀπὸ τοὺς δύο κλάδους οὐ κυκλώματος δὲν παρουσιάζει πιά μίαν σχετικὰ εὐκολὴ διάβαση ρεῦμα τῆς πηγῆς. Πρέπει, λοιπόν, νὰ περιμένουμε ὅτι στὴ συχνότητα αὐτὴ, ἡ ἰσοδύναμη ἀντίσταση τοῦ κυκλώματος γίνεται μέγικαὶ τὸ ρεῦμα ἐλάχιστο.

Πόση εἶναι αὐτὴ ἡ ἰσοδύναμη ἀντίσταση; Ἄν ἐξακολουθήσουμε ἀραλείψουμε τὴν ὠμικὴ ἀντίσταση ἀπωλειῶν, ἡ ἰσοδύναμη σταση θὰ ἦταν: $Z = X_L \cdot X_C / [X_L + (-X_C)] = X_L^2 / 0$, γιὰ τὴν $X_L = X_C$ καὶ μὲ σημεῖα ἀντίθετα. Δηλαδὴ ἄπειρο· ἡ διαίρεση ὁποιοῦ-

δήποτε αριθμού με το μηδέν, δίνει άπειρο αποτέλεσμα. Το ρεύμα πάνω σε μία άπειρη αντίσταση θα ήταν, βέβαια, μηδέν. Στην πραγματικότητα όμως υπάρχει μικρό ρεύμα, που οφείλεται στην αντίσταση άπωλειών.

Η συχνότητα του συντονισμού είναι η ίδια, όπως και στο κύκλωμα σειράς. Τη λογαριάζουμε για όποιοσδήποτε τιμές L και C , με τον ίδιο τρόπο που αναπτύξαμε στην προηγούμενη παράγραφο.

Η ιδιότητα του παράλληλου κυκλώματος LC να ισοδυναμεί στο συντονισμό με μία μεγάλη ωμική αντίσταση, είναι εξαιρετικά χρήσιμη, γιατί οι ηλεκτρονικές λυχνίες προσαρμόζονται πολύ καλύτερα σε μία τέτοια μεγάλη ωμική αντίσταση. Το κύκλωμα παράλληλου συντονισμού χρησιμοποιείται πολύ στους ταλαντωτές, και γενικότερα στους πομπούς και δέκτες, όπως θα δούμε στη συνέχεια.

Πόση όμως είναι, για όποιοδήποτε L και C , η ισοδύναμη ή δυναμική ωμική αντίσταση R_{π} του παράλληλου κυκλώματος στο συντονισμό; Έχουμε $1/R_{\pi} = 1/X_C + 1/(r + X_L) = (r + X_L + X_C)/X_C(r + X_L)$ αλλά $X_L = -X_C$ οπότε $R_{\pi} = X_L(r + X_L)/r$. Επειδή το r είναι πολύ μικρό σε σύγκριση με το X_L , παραλείπεται. Άρα $R_{\pi} = X_L^2/r = (\omega_0 L)^2/r$.

Τα L και C υπολογίζονται εδώ σε H (άνρυ) και F (φαράντ), τα r (ωμική αντίσταση άπωλειών) και R_{π} σε Ω . Το ω_0 είναι $\omega_0 = 2\pi \cdot f_0 = 6,28 f_0$, με τη συχνότητα συντονισμού f_0 σε Hz . Τέλος, το $Q = \omega_0 L/r$ ονομάζεται *συντελεστής ποιότητας* του κυκλώματος.

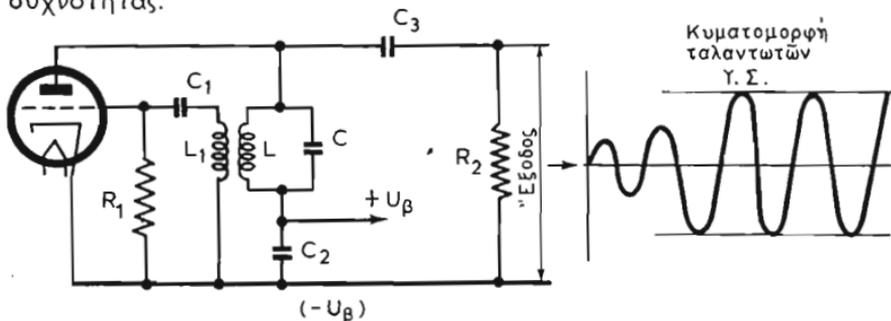
Οι προηγούμενοι τύποι μας λένε ότι γενικά η ισοδύναμη ωμική αντίσταση του παράλληλου κυκλώματος στο συντονισμό είναι ίση με Q φορές την επαγωγική αντίσταση του πηνίου ($R_{\pi} = Q \cdot \omega_0 L$). Όσο το Q του κυκλώματος είναι μεγαλύτερο, τόσο η δυναμική αντίσταση είναι μεγαλύτερη.

5·8 Αρχές παραγωγής ταλαντώσεων Υ.Σ.

Πολλές φορές μέχρι τώρα μιλήσαμε για γεννήτριες ή πηγές ή ταλαντωτές υψηλής συχνότητας (Υ.Σ.). Τώρα θα μάθουμε πώς είναι κατασκευασμένες αυτές οι γεννήτριες Υ.Σ.

Μία γεννήτρια που παράγει έναλλασσόμενη τάση Υ.Σ., δεν μπορεί να είναι κάτι παρόμοιο με μία βιομηχανική γεννήτρια, που παράγει τάση συχνότητας, π.χ. 50 Hz. Μία γεννήτρια Υ.Σ. παρά-

γει τάσεις με συχνότητα ἑκατομμυρίων Hz. Τὰ μηχανικὰ μέσα δὲν μποροῦν νὰ παρακολουθήσουν τόσο ὑψηλές συχνότητες. Μόνο τὰ ἠλεκτρόνια μποροῦν νὰ κινηθοῦν με τόση ταχύτητα. Ἄρα, μία γεννήτρια Υ.Σ. θὰ εἶναι ὅπωςδήποτε μία ἠλεκτρονικὴ διάταξη. Ἡ συνδεσμολογία τῆς περιλαμβάνει γενικὰ μία ἠλεκτρονικὴ λυχνία (ταλαντώτρια) καὶ διάφορα στοιχεῖα κυκλωμάτων. Ἐπειδὴ ἡ γεννήτρια πρέπει νὰ παράγει ὀρισμένη συχνότητα, τὸ κύκλωμά τῆς περιλαμβάνει, κατὰ κανόνα, ἓνα συντονισμένο κύκλωμα LC, ὅπως εἶδαμε παραπάνω. Τῆ συχνότητα συντονισμοῦ (ἰδιοσυχνότητα) τοῦ κυκλώματος LC τὴ διαλέγομε ἔτσι, ὥστε νὰ ἀντιστοιχεῖ πρὸς τὴν συχνότητα ποὺ θέλομε νὰ παράγομε. Ἄς δοῦμε λοιπόν, πῶς εἶναι ἡ συνδεσμολογία γιὰ τὴν παραγωγή ταλαντώσεων μιᾶς ὀρισμένης συχνότητας.



Σχ. 5.8.

- Παράδειγμα συνδεσμολογίας ταλαντωτῆ Υ.Σ.

Ἐξετάζομε τὴ συνδεσμολογία τοῦ σχήματος 5.8. Βλέπομε ὅτι τὸ κύκλωμα ἐξόδου LC βρίσκεται σὲ σύζευξη με τὸ κύκλωμα εἰσόδου τῆς ἐσχάρας. Ἡ σύζευξη πραγματοποιεῖται ἐδῶ με μαγνητικὸ τρόπο, ἀνάμεσα στὸ πηνίο L τοῦ συντονισμένου ἀνοδικοῦ κυκλώματος καὶ στὸ πηνίο ἐσχάρας L_1 . Μία τέτοια σύζευξη, ἐξόδου-εἰσόδου, με ὁποιοδήποτε τρόπο καὶ ἂν πραγματοποιεῖται, τὴν ὀνομάζομε *ἀνάδραση*, δηλαδή δράση ἀπὸ τὴν ἀνοδο, πίσω πρὸς τὴν ἐσχάρα ἐλέγχου.

Τί σημαίνει μία τέτοια ἀνάδραση καὶ τί ἀποτελέσματα μπορεῖ νὰ ἔχει, τὸ ἐξηγοῦμε ἀμέσως παρακάτω.

Ἄς ὑποθέσομε ὅτι, ἀπὸ μία κάποια αἰτία, ποὺ δὲν μᾶς ἐνδιαφέρει πρὸς τὸ παρὸν ποιά εἶναι, τὸ κύκλωμα ἐσχάρας δέχεται μία

διέγερση ύψηλης συχνότητας. Ἡ διέγερση αὐτὴ ἐνισχύεται βέβαια ἀπὸ τὴ λυχνία. Γιὰ νὰ ἔχομε μάλιστα τὴ μεγαλύτερη δυνατὴ ἐνίσχυση, θὰ ὑποθέσουμε ὅτι ἡ συχνότητα τῆς διεγέρσεως εἶναι ἴση μὲ τὴν ἰδιοσυχνότητα f_0 τοῦ ἀνοδικοῦ κυκλώματος LC.

Στὴν ἀνοδο θὰ ἔχομε ἓνα ἐνισχυμένο σῆμα Υ.Σ. μὲ συχνότητα f_0 . Ἐξ αἰτίας τῆς ἀναδράσεως, ἓνα μέρος ἀπὸ τὸ ἀνοδικὸ σῆμα θὰ περάσει πίσω στὸ κύκλωμα ἐσχάρας. Ἄν τὸ μέρος αὐτὸ τοῦ ἀνοδικοῦ σήματος βρεθεῖ στὴν ἴδια φάση μὲ τὴν ἀρχικὴ διέγερση τῆς ἐσχάρας, τότε θὰ προστεθεῖ στὴ διέγερση αὐτὴ καὶ ἡ διέγερση θὰ αὐξηθεῖ. Ἡ λυχνία θὰ ἐνισχύσει αὐτὴ τὴ μεγαλύτερη διέγερση καὶ τὸ ἀνοδικὸ σῆμα θὰ γίνῃ ἰσχυρότερο. Ἡ ἀνάδραση θὰ προκαλέσει νέα αὐξηση τῆς διεγέρσεως, ἄρα ἀκόμα ἰσχυρότερο ἀνοδικὸ σῆμα, κ.λπ.

Ἄλλὰ τὸ πλάτος τοῦ σήματος ἐξόδου δὲν μπορεῖ νὰ αὐξάνεται ἐπ' ἄπειρον. Οἱ λόγοι ποὺ τὸ περιορίζουν εἶναι κυρίως δύο: Πρῶτο, ὅταν τὸ πλάτος τῶν ταλαντώσεων γίνῃ ἀρκετὰ μεγάλο, ἡ λυχνία θὰ ἀναγκαστεῖ νὰ δουλέψῃ πρὸς τὰ καμπύλα τμήματα τῶν χαρακτηριστικῶν καμπυλῶν τῆς. Ἐκεῖ ὅμως ἡ ἐνίσχυση μικραίνει καὶ γίνεταί τελικὰ ἀσήμαντη. Δεύτερο, ὅταν ἡ διέγερση τῆς ἐσχάρας αὐξηθεῖ ἀρκετὰ, τότε ἡ ἐσχάρα θὰ ἀρχίσει νὰ γίνεταί θετικὴ πρὸς τὶς θετικὲς κορυφὲς τῆς διεγέρσεως. Ἄρα, ἡ ἐσχάρα θὰ ἀρχίσει νὰ τραβᾷ ἓνα ἠλεκτρονικὸ ρεῦμα. Τὸ ρεῦμα αὐτὸ περνᾷ μέσα ἀπὸ τὴν ἀντίσταση τῆς ἐσχάρας R_1 τοῦ σχήματος 5·8, ποὺ τὴ λέμε *ἀντίσταση διαρροῆς ἐσχάρας*. Ἡ πτώση τάσεως μέσα στὴν ἀντίσταση διαρροῆς πολώνει τὴν ἐσχάρα ἀρνητικὰ. Συγχρόνως, τὸ ρεῦμα ἐσχάρας προκαλεῖ μίαν κατανάλωση ἰσχύος στὴν ἐσχάρα. Ἡ ἀρνητικὴ πόλωση καὶ ἡ κατανάλωση ἰσχύος στὴν ἐσχάρα μειώνουν τὴν ἐνίσχυση τόσο περισσότερο, ὅσο ἡ ταλάντωση στὴν ἐξοδο γίνεταί ἰσχυρότερη. Ἡ ταλάντωση δὲν μπορεῖ λοιπὸν νὰ αὐξάνεται ἐπ' ἄπειρον. Αὐξάνεται μόνο μέχρι μίαν ὀρισμένη τιμὴ, ὅπου καὶ σταθεροποιεῖται, ὅπως βλέπομε στὴν κυματομορφή τῆς ἐξόδου τοῦ σχήματος 5·8.

Σ' αὐτὴ τὴ σταθεροποιημένη κατάσταση ἡ συνδεσμολογία ἐργάζεται ὡς ταλαντωτὴς Υ.Σ. Ἕνας τέτοιος ταλαντωτὴς εἶναι οὐσιαστικὰ ἐνισχυτὴς. Ἡ διέγερση τῆς ἐσχάρας δὲν εἶναι ὅμως ἐξωτερικὴ, ἀλλὰ ἐξασφαλίζεται ἀπὸ αὐτὴ τὴν ἴδια τὴ συνδεσμολογία, ὡς μέρος ἀπὸ τὴν ἐνισχυμένη ἀνοδικὴ ταλάντωση. Αὐτὸ ὀφείλεται

στήν ανάδραση, με την προϋπόθεση όμως, ότι το σήμα που έπιστρέφει στην έσχάρα βρίσκεται σε φάση με την αρχική διέγερση. Με άλλα λόγια, με τον όρο ότι έχουμε ανάδραση θετική. Στην περίπτωση του σχήματος 5·8, η θετική ανάδραση εξασφαλίζεται όταν τα πηνία L και L_1 έχουν αντίθετες περιελίξεις. Διαφορετικά πρέπει να αναστρέψουμε τους πόλους του πηνίου.

Ό ρόλος του πυκνωτή έσχάρας C_1 είναι να αφήνει να περνά από μέσα του ελεύθερα ή ύψηλή συχνότητα, να σταματά όμως το ρεύμα έσχάρας και να το αναγκάζει να περνά μέσα από την αντίσταση διαρροής R_1 . Ό άνοδικός πυκνωτής C_2 έχει έξ άλλου προορισμό να όδηγει την ύψηλή συχνότητα στη «γη», και να μην την αφήνει να κυκλοφορεί άσκοπα μέσα από την άνοδική πηγή τροφοδοτήσεως.

Έτσι, μία συνδεσμολογία ταλαντωτή ύψηλης συχνότητας είναι τελικά μία άυτοτελής διάταξη, που έχει την ικανότητα να μετατρέπει ένα μέρος από τη συνεχή ισχύ της άνοδικής πηγής τροφοδοτήσεως σε έναλλασσόμενη ισχύ ύψηλης συχνότητας. Η συχνότητα λειτουργίας καθορίζεται από τα στοιχεία L και C του συντονισμένου κυκλώματος, σύμφωνα με το γνωστό τύπο που είδαμε στις προηγούμενες παραγράφους, δηλαδή $f_0 = 1/2\pi\sqrt{LC}$.

5·9 Έρωτήσεις.

1. Τί είναι η συχνότητα και τί το μήκος κύματος και ποιά σχέση υπάρχει μεταξύ τους;
2. Τί λέγεται φάσμα συχνοτήτων πομπού, τί φέρον κύμα και τί άνω και κάτω πλευρική ζώνη;
3. Τί λέγεται ίδιοσυχνότητα και πότε λέμε ότι έχουμε συντονισμό;
4. Κατά τον συντονισμό σε σειρά, ποιά ισότητα υπάρχει και με τί ίσούται η σύνθετη αντίσταση του κυκλώματος; Πώς ύπολογίζεται η συχνότητα συντονισμού;
5. Τί ονομάζεται συντελεστής ποιότητας κυκλώματος σε παράλληλο συντονισμό και με τί ίσούται;
6. Πώς αρχίζει ή δημιουργία ταλαντώσεων σε ένα κύκλωμα και πώς συντηρούνται;

Κ Ε Φ Α Λ Α Ι Ο 6

Π Ο Μ Π Ο Ι

6.1 Εισαγωγή.

Ἀπὸ τὴ Φυσικὴ γνωρίζομε ὅτι, ὅταν ἓνας ἄνθρωπος μιλά, τὰ φωνητικὰ τοῦ ὄργανα προκαλοῦν δονήσεις τοῦ ἀέρα μέσα στὸ στόμα του. Αὐτὲς οἱ δονήσεις μεταδίδονται ὡς ἠχητικὰ κύματα, μέσω τοῦ ἀέρα, στὸ αὐτὶ τοῦ ἀκροατῆ. Ἐκεῖ τὰ κύματα κτυποῦν πάνω στὸ τύμπανο τοῦ αὐτιοῦ τοῦ ἀκροατῆ, καὶ ὁ ἦχος τῆς ὁμιλίας γίνεται ἀκουστός. Μποροῦμε, λοιπόν, νὰ ξεχωρίσομε σ' αὐτὴ τὴ διαδικασία, τρία μέρη: 1) τὸν ὁμιλητῆ 2) ἓνα μέσο μεταφορᾶς (ἐδῶ εἶναι ὁ ἀέρας) καὶ 3) τὸν ἀκροατῆ.

Ἡ ἐπικοινωνία γίνεται ἐδῶ μὲ λόγια, πολλές φορές ὅμως δύο ἄνθρωποι μποροῦν νὰ συνεννοηθοῦν ἀπλῶς μὲ ἓνα νόημα, μὲ ἓνα ὅποιοδήποτε σημά. Αὐτὸς πού στέλνει τὸ σημά θὰ λέγεται γενικὰ *πομπὸς* (ἀπὸ τὸ ρῆμα «πέμπω»), ἐνῶ αὐτὸς πού λαμβάνει τὸ σημά θὰ λέγεται *δέκτης* (ἀπὸ τὸ ρῆμα «δέχομαι»). Στὸ παράδειγμά μας, ὁ ὁμιλητῆς εἶναι πραγματικὸς πομπὸς, καὶ τὸ αὐτὶ τοῦ ἀκροατῆ ὁ δέκτης. Τὸ παράδειγμα αὐτὸ εἶναι ἀπλὸ παράδειγμα ἐπικοινωνίας δύο ἀνθρώπων.

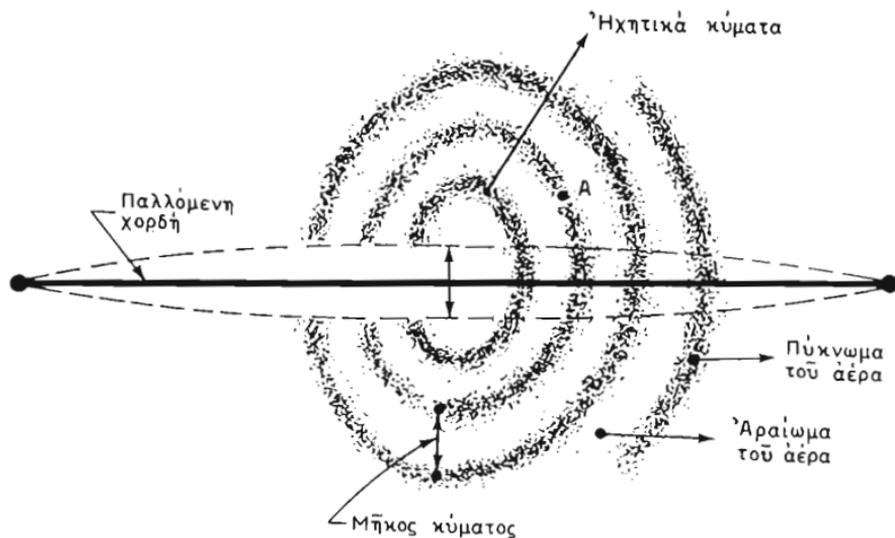
Κάπως πολυπλοκότερο παράδειγμα εἶναι ἡ ἐπικοινωνία μὲ τὸ τηλέφωνο. Γιατὶ ὄχι μόνον ὁ πομπὸς καὶ ὁ δέκτης περιλαμβάνουν τῶρα ὀρισμένες ἠλεκτρικὲς συσκευές, ἀλλὰ καὶ τὸ μέσο μεταφορᾶς εἶναι διαφορετικὸ. Ἀντὶ γιὰ τὸν ἀέρα, οἱ δύο συνομιλητῆς συνδέονται μεταξύ τους μὲ ἓνα ρευματοφόρο σύρμα κι ἔτσι κατορθώνουν νὰ ἐπικοινωνήσουν σὲ μεγαλύτερες ἀποστάσεις.

Βλέπομε λοιπόν ὅτι ἦταν ἀρκετὸ νὰ ἀντικαταστήσομε τὰ ἠχητικὰ κύματα τοῦ ἀέρα μὲ ἓνα ἠλεκτρικὸ ρεῦμα, πού κυκλοφορεῖ μέσα σὲ ἓνα σύρμα, γιὰ νὰ ἐπιτύχομε ἐπικοινωνία σὲ μεγαλύτερη ἀπόσταση. Ἄν ὅμως μπορούσαμε νὰ ἀπαλλαγοῦμε ἀπ' αὐτὸ τὸ σύρμα, τότε οἱ δύο συνομιλητῆς δὲν θὰ ἦταν ὑποχρεωμένοι νὰ μένουν ἀκίνητοι. Θὰ μπορούσαν νὰ βρίσκονται μέσα σὲ αὐτοκίνητα, ἀεροπλάνα, πλοῖα κ.λπ., καὶ νὰ ἐξακολουθοῦν νὰ μιλοῦν μεταξύ τους.

Έτσι φθάνομε στην ασύρματη επικοινωνία, δηλαδή στη συνεννόηση χωρίς σύρμα.

6.2 Μετατροπή του ήχου σε ηλεκτρικό ρεύμα.

Άς φανταστούμε ότι παράγομε ήχητικά κύματα χτυπώντας τις χορδές μιᾶς κιθάρας. Κάθε χορδή πάλλεται και κινεί ρυθμικά τὸν ἀέρα γύρω της. Ὁ ἀέρας σχηματίζει πυκνώματα και ἀραιώματα, πού ἀπομακρύνονται ἀπὸ τὴ χορδὴ και διαδίδονται στὸ χῶρο ὡς ήχητικά κύματα, ὅπως παραστατικά βλέπομε στὸ σχῆμα 6.2 α.



Σχ. 6.2 α.

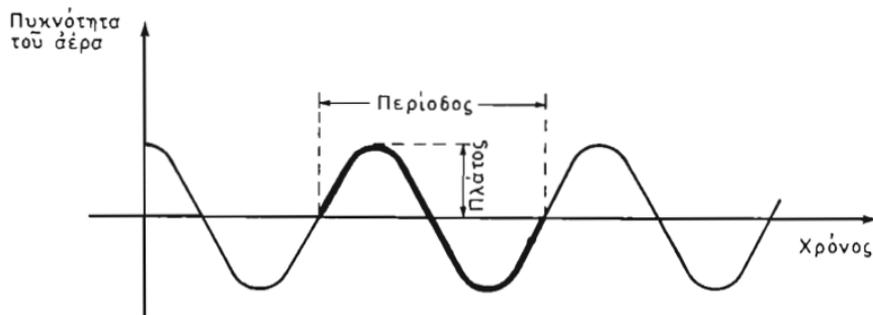
Ἡχητικά κύματα πού παράγονται ἀπὸ παλλόμενη χορδὴ.

Τὰ κύματα αὐτὰ διαδίδονται πρὸς ὅλες τὶς κατευθύνσεις τοῦ γύρω χῶρου, μὲ ταχύτητα διαδόσεως περίπου 330 μέτρα ἀνὰ δευτερόλεπτο. Αὐτὴ εἶναι ἡ ταχύτητα τοῦ ήχου, ὅπως λέμε.

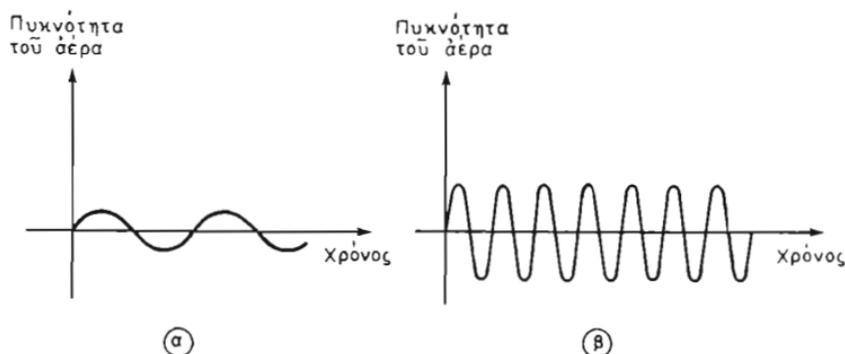
Ἀπὸ τὴ Φυσικὴ γνωρίζομε ὅτι ἡ ἀπόσταση ἀνάμεσα σὲ δύο γειτονικά πυκνώματα τοῦ ἀέρα, λέγεται *μῆκος κύματος τοῦ ήχου*.

Ἄς σταθοῦμε τώρα σὲ κάποια ἀπόσταση ἀπὸ τὴ χορδὴ, π.χ. στὸ σημεῖο A τοῦ σχήματος 6.2 α, και ἄς ὑποθέσομε ὅτι τοποθετοῦμε ἐκεῖ ἕνα ὄργανο ἱκανὸ νὰ καταγράφει τὴν πυκνότητα τοῦ ἀέρα, καθὼς ὁ χρόνος περνᾷ. Θὰ παίρναμε τότε τὸ σχῆμα 6.2 β, πού δεί-

χρειάζονται συνεχείς αύξομειώσεις ή εναλλαγές της πυκνότητας του αέρα στο σημείο Α. Μία τέτοια πλήρης εναλλαγή έχει σημειωθεί με παχιά γραμμή στο σχήμα 6·2β. Ο χρόνος που χρειάζεται για να συμπληρωθεί μία πλήρης εναλλαγή, λέγεται *περίοδος*.



Σχ. 6·2β.
Περίοδος και πλάτος κύματος.



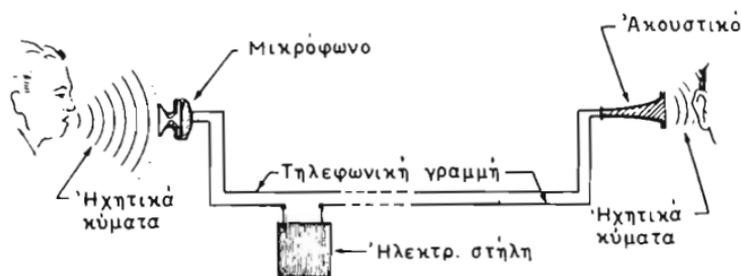
Σχ. 6·2γ.

Ρόλος της συχνότητας και του πλάτους: α) Χαμηλή συχνότητα (βαρύς ήχος) και μικρό πλάτος (άσθενής ήχος). β) Ύψηλότερη συχνότητα (όξύτερος ήχος) και μεγαλύτερο πλάτος (ισχυρότερος ήχος).

“Ας θυμηθούμε επίσης ότι ο αριθμός των περιόδων, που πραγματοποιούνται μέσα σε ένα δευτερόλεπτο, ονομάζεται *συχνότητα*. Όσο υψηλότερη είναι η συχνότητα, τόσο ο ήχος γίνεται όξύτερος. Επίσης ο ήχος είναι τόσο δυνατότερος, όσο τα πυκνώματα και άραιώματα του αέρα είναι έντονα.

Για να καταλάβουμε καλύτερα το ρόλο της συχνότητας και του πλάτους, φθάνει να ρίξουμε μία ματιά στις καμπύλες (α) και (β) στο σχήμα 6·2γ.

Ἄς ὑποθέσουμε τώρα ὅτι μιλάμε μπροστὰ στὸ τηλέφωνο. Τὰ ἤχητικά κύματα τῆς φωνῆς μας χτυποῦν πάνω στὴ μεμβράνη μιᾶς συσκευῆς, πού βρίσκεται στὸ κάτω μέρος τοῦ «ἀκουστικοῦ», καὶ λέγεται *μικρόφωνο*. Τὰ ἤχητικά κύματα τοῦ ἀέρα ἀναγκάζουν αὐτὴ τὴ μεμβράνη νὰ πάλλεται. Τὸ μικρόφωνο εἶναι κατασκευασμένο ἔτσι, ὥστε οἱ παλμοὶ τῆς μεμβράνης του νὰ μετατρέπονται σὲ ἀντίστοιχες μεταβολές τοῦ ἠλεκτρικοῦ ρεύματος, πού κυκλοφορεῖ μέσα στὸ τηλεφωνικὸ σύρμα. Τὸ ρεῦμα αὐτὸ ἀποτελεῖ πραγματικὰ ἓνα εἶδος ἠλεκτρικοῦ ἀντιγράφου τῶν δονήσεων τῆς μεμβράνης τοῦ μικροφώνου. Οἱ δονήσεις αὐτὲς μεταφέρονται ἔτσι, μὲ ἠλεκτρικὴ μορφή, στὸ ἀκουστικὸ πού βρίσκεται στὴν ἄλλη ἄκρη τῆς τηλεφωνικῆς γραμμῆς. Ἐκεῖ, μὲ μία λειτουργία ἀντίστροφη ἀπὸ ἐκείνη τοῦ μικροφώνου, τὸ ἀκουστικὸ μετατρέπει τὶς μεταβολές τοῦ ρεύματος σὲ ἤχητικά κύματα καὶ ἡ ὁμιλία γίνεται ἀκουστή. Στὸ σχῆμα 6·2 δ βλέπομε παραστατικὰ ὅλη τὴ διαδικασία.

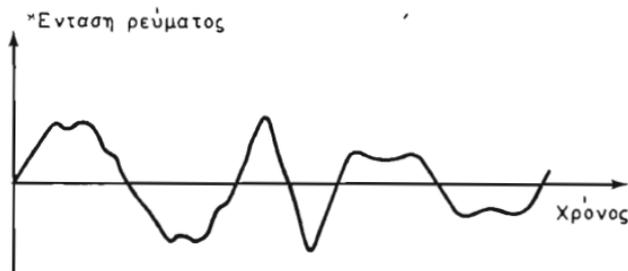


Σχ. 6·2 δ.

Γιὰ νὰ καταλάβομε, μὲ ἀπλὸ τρόπο, πῶς λειτουργεῖ τὸ τηλέφωνο.

Οἱ μεταβολές τοῦ τηλεφωνικοῦ ρεύματος ἔχουν τὴν ἴδια συχνότητα καὶ τὸ πλάτος τους εἶναι ἀνάλογο πρὸς τὸ πλάτος τοῦ ἤχου, πού τὶς προκάλεσε. Τὸ σχῆμα 6·2 γ μπορεῖ νὰ παραστήσει τὸ ἴδιο καλά, δύο τηλεφωνικὰ ρεύματα, φτάνει στὸν κάθετο ἄξονα νὰ υπολογίζομε τὴν ἔνταση τοῦ ρεύματος καὶ ὄχι τὴν πυκνότητα τοῦ ἀέρα. Βλέπομε, λοιπόν, ὅτι τὰ τηλεφωνικὰ ρεύματα εἶναι ἐναλλασσόμενα ρεύματα. Τὰ ἐναλλασσόμενα ρεύματα πού παράγονται ἀπὸ τὸν ἤχο, ἔχουν συχνότητες μεταβαλλόμενες ἀπὸ 16 ὠς 20 000 Hz. Αὐτὰ τὰ ρεύματα λέγονται *ἀκουστικὰ ρεύματα* ἢ *ρεύματα χαμηλῆς συχνότητας*. Συνεπῶς, ὅταν μιλάμε γιὰ χαμηλὴ συχνότητα, θὰ ἐννοοῦμε

τήν περιοχή συχνοτήτων από 16 ως 20 000 Hz περίπου. Τήν περιοχή αυτή τή σημειώνομε με τὸ σύμβολο Χ.Σ. (ἢ με τὸ διεθνὲς σύμβολο A.F. Audio Frequency ἢ B.F. — Basse Frequency). Πρέπει ὅμως νὰ προσθέσομε ὅτι στήν πραγματικότητα οἱ διάφοροι ἤχοι σπάνια δίνουν ἀπλὰ ἐναλλασσόμενα ρεύματα με τή μορφή τοῦ σχήματος 6·2 γ, δηλαδή τήν κλασσική ἡμιτονική μορφή. Ἡ φωνή μας π.χ. δίνει ἕνα ρεῦμα ποῦ προκύπτει ἀπὸ τήν πρόσθεση πολλῶν ταυτόχρονων ἀπλῶν ἐναλλασσόμενων ρευμάτων. Γι' αὐτὸ ἔχει μία πολυπλοκότερη μορφή, ὅπως βλέπομε στὸ σχῆμα 6·2 ε.



Σχ. 6·2 ε.

Τὸ ρεῦμα ποῦ προκαλεῖ ἡ φωνή μας ἔχει, στήν πραγματικότητα, τέτοια σύνθετη μορφή.

Αὐτὰ τὰ ἀπλὰ ἐναλλασσόμενα ρεύματα ἀποτελοῦν τή θεμελιώδη καὶ τὶς ἀρμονικές, ὅπως εἶδαμε στὸ Κεφάλαιο 5. Τὸ ἀνθρώπινο αὐτί δὲν μπορεῖ νὰ συλλάβει τὸ αἶσθημα τοῦ ἤχου, δηλαδή εἶναι ἀναίσθητο, κάτω ἀπὸ 16 καὶ πάνω ἀπὸ 20 000 Hz.

6·3 Βασικὴ λειτουργία τοῦ πομποῦ.

Ὅπως εἶδαμε στήν παράγραφο 6·1, τὸ μέσο ἐπικοινωνίας δύο ἀνθρώπων με τή φωνή εἶναι ὁ ἀέρας. Με αὐτὸν μεταδίδονται τὰ ἤχητικά κύματα ὡς πυκνώματα καὶ ἀραιώματα. Ἐπειδὴ ὅμως τὰ κύματα αὐτὰ δὲν φτάνουν καὶ πολὺ μακριά, γι' αὐτὸ τὰ μετατρέπομε σὲ ἀκουστικὸ ρεῦμα καὶ τὰ στέλνομε νὰ ταξιδέψουν σὲ μεγαλύτερες ἀποστάσεις μέσα ἀπὸ ἕνα τηλεφωνικὸ σύρμα. Εἶδαμε ὅμως ἐπίσης ὅτι ὁ τρόπος αὐτὸς ἐπικοινωνίας δὲν ἐξυπηρετεῖ πάντοτε. Γεννᾶται τὸ ἐρώτημα, μήπως θὰ μπορούσαμε νὰ ἀπαλλαγοῦμε τελείως ἀπὸ τὸ σύρμα. Μήπως δηλαδή τὰ ἤχητικά κύματα θὰ μπορούσαν

νὰ πάρουν τελικά, ὄχι τὴ μορφή ἐνὸς ἀκουστικοῦ ρεύματος, ἀλλὰ τὴ μορφή ὀρισμένων ἠλεκτρικῶν κυμάτων ποὺ νὰ ταξιδεύουν στὸ χῶρο εὐκολότερα καὶ μακρύτερα. Νὰ ἔχομε δηλαδὴ μίαν ἀσύρματη ἐπικοινωνία.

Πραγματικά ἡ ἐπιστήμη ἀπέδειξε ὅτι μποροῦν νὰ ὑπάρξουν τέτοια κύματα.

Τί εἶναι ὅμως στὴν οὐσία τὰ κύματα αὐτά; Ὁ Μάξγουελ, ὁ θεωρητικὸς ἐφευρέτης τους, ἔλεγε ὅτι τὰ κύματα αὐτά εἶναι μίαν συνδυασμένη ἠλεκτρικὴ καὶ μαγνητικὴ διαταραχὴ τοῦ χώρου, γι' αὐτὸ καὶ τὰ ὀνόμασε *ἠλεκτρομαγνητικὰ κύματα*. Ἡ θεωρία αὐτὴ ἀποδείχθηκε καὶ πειραματικά ἀπὸ τὸν Χέρτς (Hertz) τὸ ἔτος 1888. Τί εἶναι στὴν οὐσία τὰ ἠλεκτρομαγνητικὰ κύματα, καὶ μὲ ποιὸν ἀκριβῶς τρόπο μποροῦν νὰ μεταφέρουν μίαν ὀρισμένη ἐνέργεια δὲν ἐξετάζεται ἐδῶ, ἀλλὰ οὔτε καὶ μᾶς ἐνδιαφέρει. Γεγονὸς πάντως εἶναι, ὅτι τὰ ἠλεκτρομαγνητικὰ κύματα μεταφέρουν ὀρισμένη ἐνέργεια. Τὴν ἐνέργεια αὐτὴ τὴν ὀνομάζομε *ἀκτινοβολία*.

Ἐμεῖς πρέπει νὰ θυμόμαστε ὅτι ὑπάρχουν ὀρισμένα ἠλεκτρομαγνητικὰ κύματα, ποὺ μποροῦν μάλιστα νὰ διαδίδονται καὶ μέσα ἀπὸ τὸν κενὸ χῶρο. Μποροῦμε νὰ τὰ θεωρήσομε κάτι σὰν τὰ ἠχητικὰ κύματα τοῦ ἀέρα (σχ. 6·2 α), ἂν φανταστοῦμε ὅτι στὴ θέση τῶν πυκνωμάτων καὶ ἀραιωμάτων τοῦ ἀέρα ἔχομε πυκνώματα καὶ ἀραιώματα ἠλεκτρομαγνητικοῦ πεδίου. Θὰ θυμόμαστε ἀκόμα ὅτι τὰ κύματα αὐτά διαδίδονται στὸ κενὸ μὲ ταχύτητα πολὺ μεγαλύτερη ἀπὸ τὴν ταχύτητα τῶν 330 m/sec τοῦ ἤχου. Ἡ ταχύτητα διαδόσεως τῆς ἠλεκτρομαγνητικῆς ἀκτινοβολίας (καθὼς καὶ τοῦ φωτὸς) στὸ κενὸ εἶναι ἴση μὲ 300 000 000 μέτρα ἀνὰ δευτερόλεπτο (δηλαδὴ $3 \cdot 10^8$ m/sec).

Τί εἶναι ἐκεῖνο ποὺ παράγει τὴν ἠλεκτρομαγνητικὴ ἀκτινοβολία; Τὸ εἶπαμε στὴν εἰσαγωγὴ τοῦ κεφαλαίου, ὅτι γιὰ τὸ σκοπὸ αὐτὸ χρειαζόμαστε ἓνα πομπό.

Ὁ πομπὸς αὐτὸς εἶναι συσκευή, ποὺ ἔχει σκοπὸ νὰ δημιουργήσει καὶ νὰ στείλει στὸν προορισμὸ του τὸ σῆμα, π.χ. τὴν ὀμιλία. Ἄφοῦ ὅμως ξέρομε ὅτι ἡ ὀμιλία μπορεῖ νὰ γίνῃ ρεῦμα χαμηλῆς συχνότητος, ὅπως εἶδαμε στὴν παράγραφο 6·2, καὶ συγχρόνως θέλομε νὰ χρησιμοποιήσομε ὡς μέσο μεταφορᾶς τὰ ἠλεκτρομαγνητικὰ κύματα, εἶναι φυσικὸ νὰ ἀναρωτηθοῦμε: Δὲν μποροῦμε ἄραγε νὰ παράγομε

τὰ ηλεκτρομαγνητικά κύματα ἀπ' εὐθείας ἀπὸ τὸ ρεύμα χαμηλῆς συχνότητας; Γιὰ τεχνικούς καὶ φυσικούς λόγους πού δὲν μπορούμε νὰ ἀναπτύξομε ἐδῶ, εἶναι ἀδύνατο νὰ χρησιμοποιήσομε γιὰ μέσο μεταφορᾶς ηλεκτρομαγνητικὴ ἀκτινοβολία χαμηλῆς συχνότητας. Ὑπάρχει ὅμως ἄλλη λύση, πού μᾶς ἐξυπηρετεῖ ἀπόλυτα: ἡ ὑψηλὴ συχνότητα.

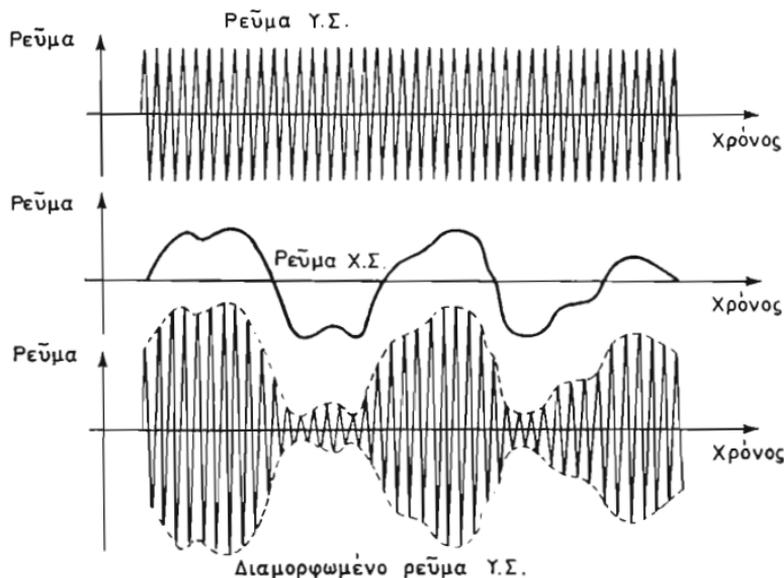
Τὰ ρεύματα ὑψηλῆς συχνότητας εἶναι καὶ αὐτὰ ἐναλλασσόμενα ρεύματα, ἀκριβῶς ὅπως τὰ ρεύματα χαμηλῆς συχνότητας. Μόνο πού ἡ συχνότητα παίρνει τώρα τιμές πολὺ μεγαλύτερες: Ἀντὶ γιὰ μερικές ἑκατοντάδες ἢ χιλιάδες Χέρτς (Hz), πού συναντήσαμε στὰ ἀκουστικά ρεύματα, ἔχομε τώρα νὰ κάμομε μὲ πολλές χιλιάδες ἢ ἑκατομμύρια Hz. Ἡ περιοχή τῶν ὑψηλῶν συχνοτήτων (σύμβολο Υ.Σ. ἢ διεθνῶς H.F. — High Frequency) ἐκτείνεται στὴν πραγματικότητα ἀπὸ 15 000 Hz περίπου ὡς πολλές χιλιάδες ἑκατομμύρια Hz. Μὲ τὴν ὑψηλὴ συχνότητα μπορούμε νὰ ἐπιτύχομε μία ἀρκετὰ ἔντονη ηλεκτρομαγνητικὴ ἀκτινοβολία, πού νὰ μπορεῖ νὰ διαδοθεῖ σὲ πολὺ μεγάλες ἀποστάσεις. Ἐπειδὴ μάλιστα ἡ ἀκτινοβολία λέγεται στὰ ἀγγλικά radiation, γι' αὐτὸ ἡ ὑψηλὴ συχνότητα ὀνομάζεται ἐπίσης καὶ *ραδιοσυχνότητα*, δηλαδή συχνότητα πού ἀκτινοβολεῖ.

Ὡστε, τελικά, τὸ νέο μέσο μεταφορᾶς πού ζητᾶμε θὰ εἶναι ηλεκτρομαγνητικὴ ἀκτινοβολία ὑψηλῆς συχνότητας. Πῶς ὅμως θὰ τὴν παράγομε;

Αὐτὸ θὰ γίνῃ μὲ ἓνα εἶδος γεννήτριας ὑψηλῆς συχνότητας. Οἱ γνωστές μας ἀπὸ τὴν Ἠλεκτροτεχνία γεννήτριες ἐναλλασσόμενου ρεύματος δὲν εἶναι δυνατὸν νὰ χρησιμεύσουν καὶ ἐδῶ, γιὰτὶ οἱ συχνότητες πού μπορούν νὰ δώσουν δὲν εἶναι ἀρκετὰ ὑψηλές. Χρειάζεται κάτι πολὺ πιὸ ἐλαφρὸ ἀπὸ τὸ στρεπτὸ μιᾶς γεννήτριας, γιὰ νὰ μπορέσει νὰ παρακολουθήσει τόσο γρήγορους ρυθμούς. Ἔτσι, τὰ ρεύματα ὑψηλῆς συχνότητας παράγονται ἀπὸ ηλεκτρονικὲς λυχνίες ἢ κρυσταλλολυχνίες, πού συνδεσμολογοῦνται ἔτσι, ὥστε νὰ ἀποτελέσουν ταλαντωτὴ ὑψηλῆς συχνότητας, ὅπως εἶδαμε στὸ προηγούμενο Κεφάλαιο. Κύριο στοιχεῖο λοιπὸν ἐνὸς πομποῦ εἶναι ὁ ταλαντωτὴς ὑψηλῆς συχνότητας. Δὲν θὰ ὠφελούσε ὅμως σὲ τίποτα ἂν ἐπιχειρούσαμε νὰ μετατρέφομε ἀπ' εὐθείας τὴν ὑψηλὴ συχνότητα σὲ ἀκτινοβολία (ξέρομε ὅτι τὸ αὐτὶ μας εἶναι ἀναίσθητο στὴν ὑψηλὴ συχνότητα). Ἡ ὑψηλὴ συχνότητα θὰ χρησιμεύσει μόνο σὰν μέσο

μεταφοράς της χαμηλής συχνότητας, και τελικά του ήχου. Γι' αυτό τη λέμε και *φέρουσα συχνότητα*.

Στό σχήμα 6.3 α έχουμε παραστήσει, πάνω-πάνω, το ρεύμα Υ.Σ. και από κάτω το ρεύμα Χ.Σ., που θέλουμε να μεταφέρουμε. Άρκει να βρούμε ένα τρόπο να «φορτώσουμε» το δεύτερο πάνω στο πρώτο.



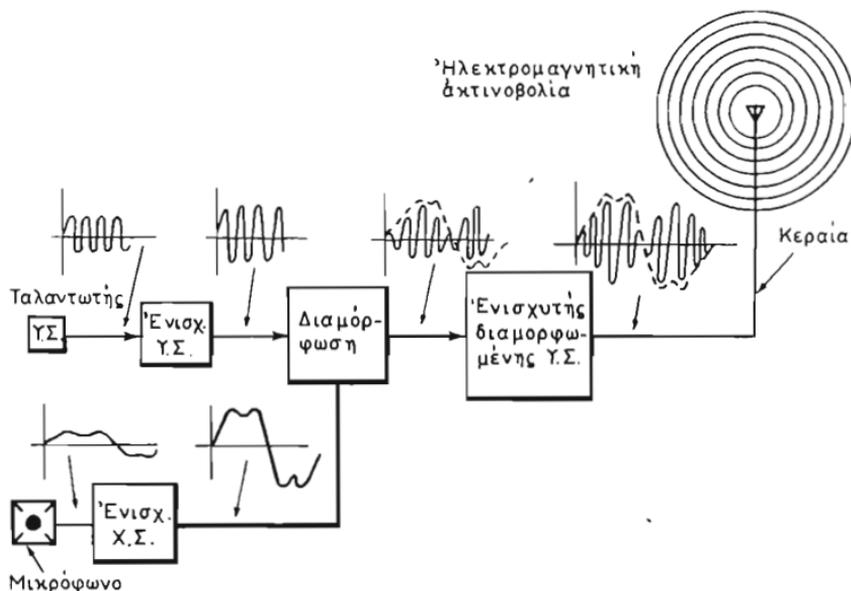
Σχ. 6.3 α.

Διαμόρφωση κατά πλάτος. Παρατηρούμε ότι το πλάτος του διαμορφωμένου ρεύματος ακολουθεί τη μορφή του ρεύματος Χ.Σ.

Ένας τέτοιος τρόπος είναι π.χ. να αναγκάσουμε το πλάτος του ρεύματος Υ.Σ. να μεταβάλλεται με το ρυθμό της Χ.Σ. Το αποτέλεσμα θα είναι να πάρουμε ένα ρεύμα Υ.Σ. με μεταβαλλόμενο πλάτος, όπως αυτό που φαίνεται στο κάτω-κάτω μέρος του σχήματος. Η εργασία αυτή λέγεται *διαμόρφωση κατά πλάτος*, γιατί το πλάτος της Υ.Σ. διαμορφώνεται κατά τέτοιο τρόπο, ώστε η Χ.Σ. να αποτυπώνεται πάνω στο ρεύμα Υ.Σ. Υπάρχουν και άλλοι τρόποι διαμόρφωσης, όπως θα δούμε.

Άς δούμε λοιπόν τώρα πώς δουλεύει ο πομπός που βλέπουμε στο σχήμα 6.3 β. Η φωνή (ή η μουσική) μετατρέπεται με τη βοήθεια του μικροφώνου σε ρεύμα χαμηλής συχνότητας. Το ρεύμα αυτό

είναι πολύ ασθενές για να πάει μακρύτερα, και χρειάζεται να ενισχυθεί με ενισχυτή Χ.Σ. (δουλεύει και αυτός με ηλεκτρονικές λυχνίες ή κρυσταλλολυχνίες). Στη συνέχεια χρησιμοποιείται ταλαντωτής, που παράγει, με τρόπο ανεξάρτητο, το ρεύμα Υ.Σ. Έπειδή και αυτό



Σχ. 6.3 β.

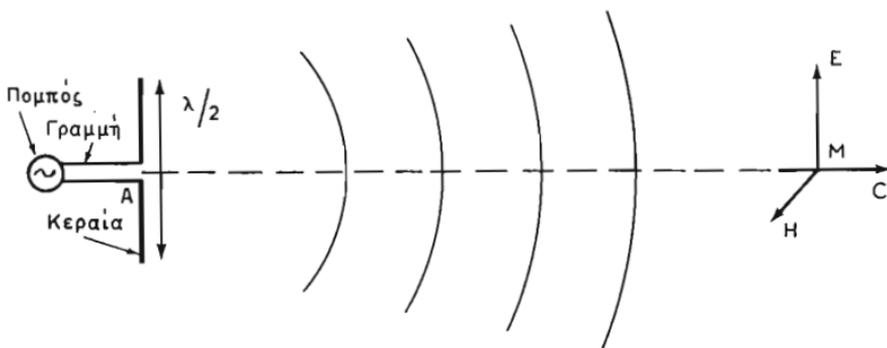
Γενικό διάγραμμα ενός ραδιοφωνικού πομπού, με τις μορφές των κυμάτων μετά από κάθε βαθμίδα.

είναι στη γέννησή του ασθενές, πρέπει να ενισχυθεί με ενισχυτή Υ.Σ. Κατόπιν, τα δύο αυτά ανεξάρτητα ρεύματα ανακατεύονται μέσα σε μία άλλη ηλεκτρονική λυχνία, όπου γίνεται η διαμόρφωση κατά πλάτος. Το διαμορφωμένο ρεύμα Υ.Σ. έχει συνήθως και πάλι ανάγκη να ενισχυθεί. Έτσι, δέν μένει παρά να στείλομε το ενισχυμένο ρεύμα Υ.Σ. στην κεραία του πομπού, για να ακτινοβοληθεί.

Έδω ἄς φανταστοῦμε τὴν κεραία στὴν ἀπλούστερη μορφή της, ὡς μεταλλικὸ ἀπλὸ σύρμα τεντωμένο μέσα στὸν ἐλεύθερο χῶρο. Ὅταν ἓνα τέτοιο σύρμα διαρρέεται ἀπὸ τὸ διαμορφωμένο ρεύμα Υ.Σ., δημιουργεῖ γύρω του ἠλεκτρομαγνητικὰ κύματα, πού ἀπομακρύνονται καὶ ἀποχωρίζονται ἀπὸ αὐτὸ καὶ διαδίδονται στὸν

γύρω χώρο ως ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία. Η κεραία δηλαδή, είναι ένα είδος συνδέσμου ανάμεσα στον πομπό και στον ελεύθερο χώρο. Είναι ακόμα ένα είδος μετασχηματιστή, που μετατρέπει την ενέργεια του ρεύματος Υ.Σ. σε ακτινοβολία. Είναι τέλος η άκρη όλης της συνδεσμολογίας του πομπού: από εκεί και πέρα σταματά κάθε σύνδεση με σύρμα και δεν υπάρχει παρά ακτινοβολία στον ελεύθερο χώρο. Για να έχουμε τη μέγιστη δυνατή ακτινοβολία, το μήκος της κεραίας πρέπει να είναι ίσο προς το μισό του μήκους κύματος ($\lambda/2$).

Η ακτινοβολία αυτή αποτελείται από ακτινοβολία δύο πεδίων, του ηλεκτρικού και του μαγνητικού πεδίου.



Σχ. 6.3 γ.

Το ηλεκτρομαγνητικό πεδίο σε μεγάλη απόσταση από την κεραία διπολικής μορφής.

Η ένταση του ηλεκτρικού πεδίου E είναι παράλληλη προς το σύρμα της κεραίας, ενώ η ένταση του μαγνητικού πεδίου H είναι κάθετη (όπως δείχνει το σχήμα 6.3 γ). Οι εντάσεις και των δύο πεδίων είναι, έξ' αλλου, κάθετες προς τη διεύθυνση διαδόσεως του κύματος C , δηλαδή, προς τη διεύθυνση της ταχύτητας διαδόσεως. Έτσι, οι τρεις διευθύνσεις E , H , C σχηματίζουν ένα τρισσορθογώνιο σύστημα, όπως αυτό που σχηματίζεται σε μια γωνία ενός δωματίου.

Η ισχύς της ακτινοβολίας $P_{ακ}$ (βάττ), δηλαδή η ενέργεια που εκπέμπεται ανά δευτερόλεπτο από την κεραία προς τον έξω χώρο, παρέχεται βέβαια από την πηγή τροφοδοτήσεως της κεραίας. Η πηγή τροφοδοτήσεως παρέχει στην πραγματικότητα μία μεγαλύ-

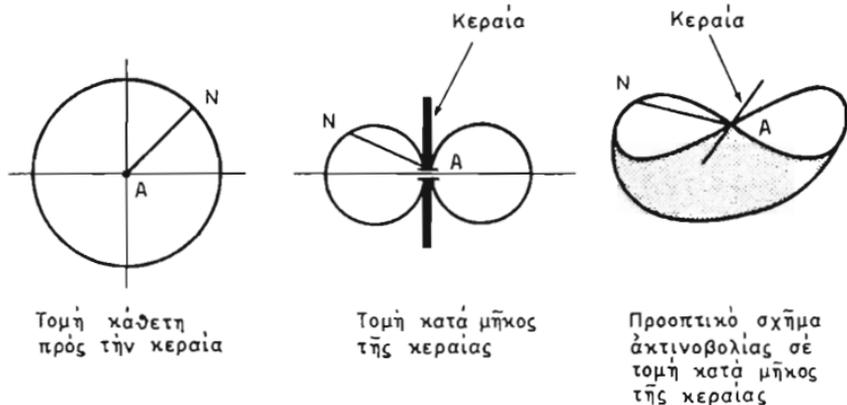
τερη ισχύ P (βάττ), που ένα μέρος της είναι ή ισχύς ακτινοβολίας P_{ak} . Το υπόλοιπο P_{an} ισοφαρίζει τις διαφορές απώλειες ισχύος, που υπάρχουν πάντα σε μία κεραία: αυτό είναι ή ισχύς απωλειών. Έχομε συνολική ισχύς:

$$P = P_{ak} + P_{an}$$

Όνομάζομε, ως συνήθως, βαθμό αποδόσεως της κεραίας το λόγο:

$$\eta = \text{ώφέλιμη ισχύς (ακτινοβολία)/συνολική ισχύς} = P_{ak}/P.$$

Ή ακτινοβολία μιās κεραίας διπολικής μορφής (σχ. 6·3 γ) δέν σκορπίζεται στο χώρο ομοιόμορφα πρὸς ὅλες τὶς κατευθύνσεις. Ἄλλοῦ ἔχομε μεγαλύτερη καὶ ἄλλοῦ μικρότερη συγκέντρωση τῆς ακτινοβολίας. Τὸ σχῆμα 6·3 δ παριστάνει, πῶς κατανέμεται στὸ



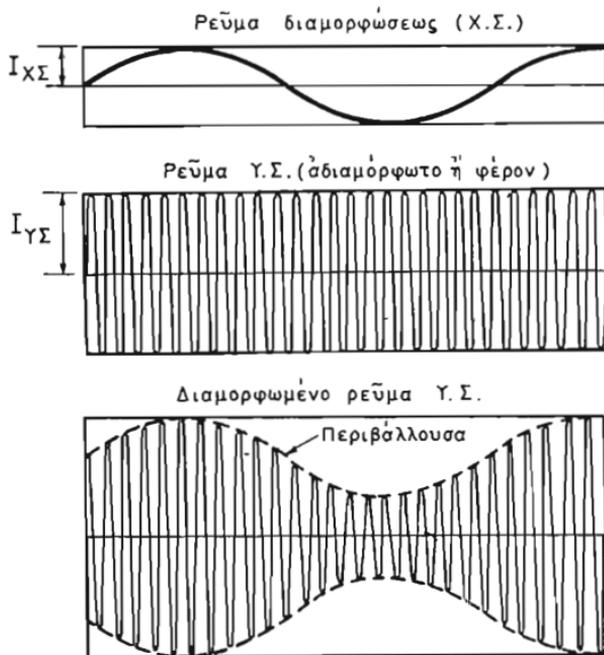
Σχ. 6·3 δ.

Διαγράμματα ἀκτινοβολίας ἑνὸς διπόλου $\lambda/2$ (σὲ κάθετη καὶ κατὰ μῆκος τομή καθώς καὶ σὲ προοπτικὸ σχῆμα). Τὰ μήκη AN τὰ παίρνομε ἀνάλογα πρὸς τὴν τιμὴ τῆς ἐντάσεως τοῦ ἠλεκτρικοῦ πεδίου, πού τὴν ὑπολογίζομε πρὸς τὴν κατεύθυνση τοῦ σημείου N , σὲ μιὰ καὶ τὴν ἴδια ἀπόσταση γιὰ ὅλες τὶς κατευθύνσεις. Στὸ προοπτικὸ σχῆμα, δεξιὰ, βλέπομε τὴν πραγματικὴ μορφή τῆς ἀκτινοβολίας. Μοιάζει μὲ ἕνα δακτυλίδι, μὲ τὴν κεραία στὸ κέντρο του.

χώρο ἢ ἀκτινοβολία μιās κεραίας $\lambda/2$. Βλέπομε ὅτι τὸ ἠλεκτρομαγνητικὸ πεδίο ἔχει τὴ μεγαλύτερη τιμὴ του γύρω-γύρω ἀπὸ τὴν κεραία, ἐνῶ στὶς προεκτάσεις τῆς τὸ πεδίο εἶναι μηδέν. Ὑπάρχουν λοιπόν, γενικά, εὐνοούμενες διευθύνσεις τοῦ χώρου, ὅπου ἔχομε μεγαλύτερη συγκέντρωση ἀκτινοβολίας. Αὐτὸ τὸ ἐκφράζομε λέγοντας ὅτι ἡ κεραία ἔχει μιὰ ὀρισμένη κατευθυντικότητα.

6.4 Διαμόρφωση πλάτους.

Στήν περίπτωση ενός ραδιοφωνικού πομποῦ, τὸ σήμα πού θέλομε νὰ μεταδώσομε εἶναι ἕνας ἤχος (φωνή ἢ μουσική). Τὸ μικρόφωνο μετατρέπει τὸν ἤχο σὲ ρεῦμα χαμηλῆς συχνότητος. Αὐτὸ ἀποτελεῖται ἀπὸ πλῆθος ἀπὸ ταυτόχρονα ἡμιτονικά ρεύματα Χ.Σ. Ἡ οὐσία δὲν ἀλλάζει ἂν θεωρήσομε, γιὰ εὐκολία, ὅτι τὸ ρεῦμα Χ.Σ. ἀποτελεῖται ἀπὸ ἕνα καθαρὸ ἡμιτονικὸ ρεῦμα. Αὕτῃ εἶναι καὶ ἡ περίπτωση μιᾶς καθαρῆς μουσικῆς νότας.



Σχ. 6.4 α.

Διαμόρφωση πλάτους (Α.Μ.).

Ὅπως εἶδαμε, μποροῦμε νὰ ἀναγκάσομε τὸ πλάτος τοῦ ρεύματος Υ.Σ. νὰ μεταβάλλεται σύμφωνα μὲ τὸ ρυθμὸ τοῦ ρεύματος Χ.Σ. Ἐπιτυγχάνομε ἔτσι τὴ διαμόρφωση πλάτους, πού συμβολίζεται μὲ τὰ γράμματα ΑΜ (Amplitude Modulation), ὅπως βλέπομε στὸ ἤμα 6.4 α.

Ἡ γραμμὴ πού δείχνει, πῶς μεταβάλλεται τὸ πλάτος τῆς

ύψηλης συχνότητας (διακοπτόμενη γραμμή στο σχήμα) ονομάζεται *περιβάλλουσα* του διαμορφωμένου κύματος. 'Η άρχή αυτή της διαμορφώσεως πλάτους δέν αλλάζει, όταν τὸ ρεῦμα Χ.Σ. ἔχει πολυπλοκότερη μορφή, ὅπως αὐτὴ ποὺ ἔχομε στὸ σχήμα 6·3 α.

"Ας ὀνομάσομε $I_{\chi\epsilon}$ καὶ $I_{\gamma\epsilon}$ τὰ πλάτη τῆς χαμηλῆς καὶ ὑψηλῆς συχνότητας (σχ. 6·4 α). 'Ο λόγος $I_{\chi\epsilon}/I_{\gamma\epsilon}$, ποὺ τὸν ἐκφράζομε σὲ ποσοστὸ στὰ ἑκατὸ, ὀνομάζεται *βάθος διαμορφώσεως* ἢ καὶ *βαθμὸς διαμορφώσεως*, δηλαδὴ:

$$\text{Στὰ ἑκατὸ βαθμὸς διαμορφώσεως} = I_{\chi\epsilon}/I_{\gamma\epsilon} \cdot 100\%.$$

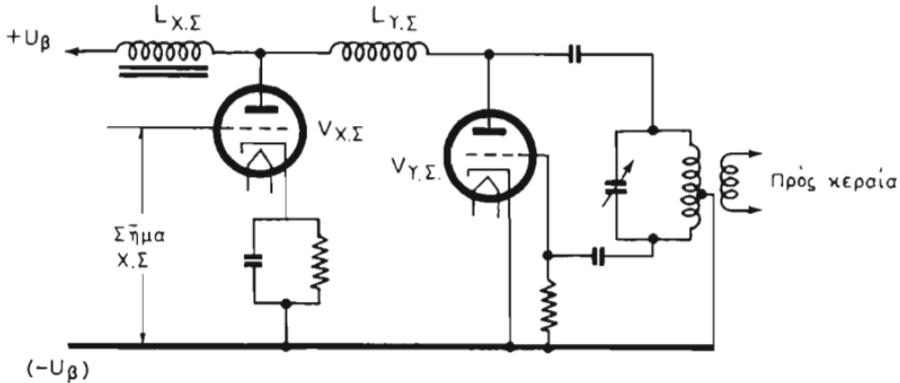
Π.χ. στὸ σχήμα 6·4 α ὁ βαθμὸς διαμορφώσεως εἶναι 50% (τὸ πλάτος τοῦ ρεύματος διαμορφώσεως εἶναι τὸ μισὸ τοῦ πλάτους τῆς Υ.Σ.).

'Ο βαθμὸς διαμορφώσεως μεταβάλλεται ἀνάλογα μὲ τὴν ἔνταση τοῦ ρεύματος Χ.Σ., δηλαδὴ ἀνάλογα μὲ τὴν ἔνταση τοῦ ἤχου. Δέν ἐπιτρέπεται ὅμως ὁ βαθμὸς διαμορφώσεως νὰ ξεπεράσει τὸ 100%. 'Απὸ κεῖ καὶ πέρα, τὸ ρεῦμα Υ.Σ. θὰ διακόπτεται σὲ ἓνα μέρος τῆς ἀρνητικῆς ἡμιπεριόδου τῆς Χ.Σ., δηλαδὴ θὰ ἔχομε ἀπαράδεκτη παραμόρφωση. Βαθμὸς διαμορφώσεως 100% σημαίνει μεταβολὴ τοῦ πλάτους Υ.Σ., ἀπὸ μηδέν μέχρι τὸ διπλάσιο πλάτος τοῦ φέροντος κύματος.

'Υπάρχουν διάφορες συνδεσμολογίες, ποὺ μ' αὐτὲς μποροῦμε νὰ πραγματοποιήσομε διαμόρφωση πλάτους. Μία ἀπ' αὐτὲς εἶναι ἡ διαμόρφωση ἀπὸ τὴν ἄνοδο.

Στὸ σχήμα 6·4 β: $V_{\gamma\epsilon}$ εἶναι μία ταλαντώτρια λυχνία Υ.Σ., ἐνῶ $V_{\chi\epsilon}$ εἶναι μία ἐνισχύτρια Χ.Σ. Οἱ δύο λυχνίες χωρίζονται ἀπὸ τὴν αὐτεπαγωγὴ $L_{\gamma\epsilon}$. 'Ο ρόλος αὐτῆς τῆς αὐτεπαγωγῆς εἶναι νὰ σταματᾷ τὴν Υ.Σ., νὰ ἐπιτρέπει ὅμως τὴ διάβαση τῆς Χ.Σ.

Τὸ ἀνοδικὸ φορτίο τῆς ἐνισχύτριας Χ.Σ. ἀποτελεῖται ἀπὸ μίαν ἄλλη αὐτεπαγωγὴ $L_{\chi\epsilon}$. "Όταν ἡ ἐσχάρα αὐτῆς τῆς λυχνίας διεγείρεται ἀπὸ τὸ (προενισχυμένο) σῆμα Χ.Σ., ἡ ἀνοδικὴ τάση τῆς λυχνίας μεταβάλλεται μὲ τὸ ρυθμὸ αὐτοῦ τοῦ σήματος. Οἱ μεταβολὲς αὐτὲς περνοῦν καὶ μεταβάλλουν, στὸν ἴδιο ρυθμὸ, τὴν ἀνοδικὴ τάση τῆς ταλαντώτριας Υ.Σ. "Ετσι καὶ τὸ πλάτος τῆς παραγόμενης Υ.Σ. μεταβάλλεται καὶ αὐτὸ στὸν ἴδιο ρυθμὸ. 'Η ταλαντώτρια παράγει λοιπὸν ἓνα διαμορφωμένο ρεῦμα Υ.Σ.



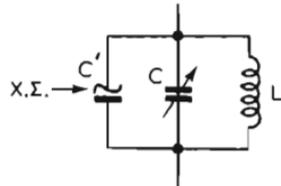
Σχ. 6.4 β.

Ἀπλοποιημένο παράδειγμα διαμορφώσεως ἀπὸ τὴν ἀνοδο.

6.5 Διαμόρφωση συχνότητας.

Τὸ σῆμα χαμηλῆς συχνότητας μπορεῖ ἐπίσης νὰ ἀποτυπωθεῖ, ὄχι ὡς μεταβολές τοῦ πλάτους τοῦ φέροντος κύματος (ὅπως στὴ διαμόρφωση πλάτους), ἀλλὰ ὡς μεταβολές τῆς συχνότητας τοῦ φέροντος κύματος. Ἔχομε τότε τὴ διαμόρφωση συχνότητας, ποὺ συμβολίζεται μὲ τὰ γράμματα FM (Frequency Modulation).

Γιὰ νὰ καταλάβομε πῶς γίνεται ἡ διαμόρφωση συχνότητας, ἄς ἐξετάσομε τὴν περίπτωση τοῦ σχήματος 6.5 α. Τὸ συντονισμένο κύκλωμα LC ἀποτελεῖ μέρος τῆς συνδεσμολογίας μιᾶς ταλαντώτριας λυχνίας. Στὰ ἄκρα τοῦ κυκλώματος ἔχει συνδεθεῖ ἓνας μικρὸς δονούμενος πυκνωτῆς C' . Ὁ πυκνωτῆς αὐτὸς εἶναι κατασκευασμένος ἔτσι, ὥστε ὁ ἓνας πλισμὸς του νὰ ἀποτελεῖται ἀπὸ λεπτὴ μεμβράνη, ὅπως ἡ μεμβράνη τοῦ μικροφώνου. Κάτω ἀπὸ τὴν ἐπίδραση τῆς φωνῆς, ἢ ἑνὸς ρεύματος Χ.Σ., ἡ μεμβράνη δονεῖται καὶ ἡ χωρητικότητα τοῦ πυκνωτῆ μεταβάλλεται μὲ τὸ ρυθμὸ τῆς Χ.Σ. Ἡ συχνότητα συντονισμοῦ τοῦ συντονισμένου κυκλώματος μεταβάλλεται ἐπίσης στὸν ἴδιο ρυθμὸ. Ὁ ταλαντωτῆς παράγει λοιπὸν μία μεταβαλλόμενη ὑψηλὴ συχνότητα, ποὺ οἱ μετα-



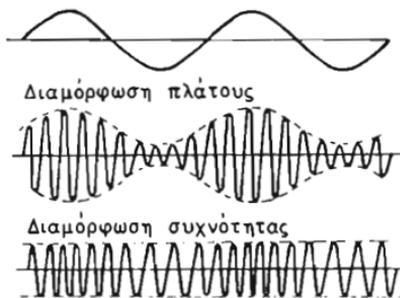
Σχ. 6.5 α.

Ἐνας δονούμενος πυκνωτῆς C' μπορεῖ νὰ πραγματοποιήσει τὴ διαμόρφωση συχνότητας.

βολές της αναπαριστάνουν τὸ σήμα Χ.Σ. Αὐτὸς εἶναι ἕνας τρόπος γιὰ νὰ ἐπιτύχομε τὴ διαμόρφωση συχνότητας (ὑπάρχουν καὶ ἄλλοι διάφοροι τρόποι).

Εἶναι φανερό ὅτι, ὅσο ἡ ἔνταση τοῦ ρεύματος Χ.Σ. (ἢ τῆς φωνῆς) εἶναι μεγαλύτερη, τόσο ὁ πυκνωτῆς δονεῖται ἰσχυρότερα, ἄρα τόσο μεγαλύτερες εἶναι οἱ μεταβολές συχνότητας. Εἶναι ἐπίσης φανερό ὅτι οἱ μεταβολές αὐτές (πυκνώματα καὶ ἀραιώματα τῆς ὑψηλῆς συχνότητας) ἐπαναλαμβάνονται τόσες φορές στὸ δευτερόλεπτο, ὅση εἶναι ἡ συχνότητα τοῦ ρεύματος Χ.Σ. Στὸ μεταξύ, τὸ πλάτος τῆς ὑψηλῆς συχνότητας δὲν μεταβάλλεται, μένει δηλαδὴ σταθερό.

Ρεῦμα Χ.Σ.



Σχ. 6.5 β.

Σύγκριση μεταξύ διαμορφώσεως πλάτους καὶ διαμορφώσεως συχνότητας.

Στὸ σχῆμα 6.5 β μπορούμε νὰ συγκρίνομε τὴ διαμόρφωση συχνότητας, σὲ σχέση μετὰ τὴ διαμόρφωση πλάτους.

Ἄς πάρομε ἕνα παράδειγμα. Ἐστω ὅτι ἡ φέρουσα ὑψηλὴ συχνότητα $f_0 = 100 \text{ MHz}$. Καὶ ἔστω ὅτι, κάτω ἀπὸ τὴν ἐπίδραση τοῦ ρεύματος Χ.Σ., ἡ φέρουσα μεταβάλλεται κατὰ $+50 \text{ Hz}$. Αὐτὸ σημαίνει ὅτι ἡ συχνότητα τοῦ διαμορφωμένου κύματος μεταβάλλεται μεταξύ $f = 100\,000 - 50 = 99\,950$

kHz καὶ $f = 100\,000 + 50 = 100\,050 \text{ kHz}$. Ἡ διαφορά $f - f_0$ (ἴση μετὰ 50 Hz στὸ παράδειγμά μας) ὀνομάζεται *διαδρομὴ συχνότητας*. Ὅσο τὸ πλάτος τοῦ ρεύματος Χ.Σ. εἶναι μεγαλύτερο, τόσο ἡ διαδρομὴ συχνότητας εἶναι μεγαλύτερη. Μὲ ἄλλα λόγια, τὸ πλάτος τοῦ ρεύματος Χ.Σ. (ἢ ἔνταση τῆς φωνῆς) ἀποτυπώνεται στὸ μέγεθος τῆς διαδρομῆς συχνότητας.

6.6 Ἐρωτήσεις.

1. Τί λέγεται περίοδος κύματος;
2. Ὑψηλὴ συχνότητα ἀκουστικοῦ κύματος σημαίνει ὀξύ ἢ βαρὺ ἦχο;
3. Μεγάλο πλάτος ἀκουστικοῦ κύματος σημαίνει ἰσχυρότερο ἢ ἀσθενέστερο ἦχο;
4. Μὲ ποιά ταχύτητα διαδίδονται στὸν ἀέρα τὰ ἠχητικὰ καὶ μετὰ ποιά τὰ ἠλεκτρομαγνητικὰ κύματα;

5. Γιατί χρησιμοποιούμε Υ.Σ. για τη διάδοση ακουστικών κυμάτων Χ.Σ;
 6. Σχεδιάστε ένα στοιχειώδες διάγραμμα πομποῦ και ἐξηγεῖστε τὶς διαφορὲς κυματομορφές.
 7. Ποιὸ εἶναι τὸ διάγραμμα ἀκτινοβολίας μιᾶς κεραίας διπολικῆς μορφῆς μήκους $\lambda/2$;
 8. Τί λέγεται καὶ μὲ τί ἰσοῦται ὁ βαθμὸς διαμορφώσεως πλάτους;
 9. Σχεδιάστε τὴν κυματομορφὴ ἑνὸς κύματος διαμορφώσεως πλάτους καὶ τοῦ διαμορφωμένου κύματος. Τί παριστάνει τὸ κύμα διαμορφώσεως;
 10. Πῶς γίνεται ἡ διαμόρφωση συχνότητας;
-

Κ Ε Φ Α Λ Α Ι Ο 7

Φ Ω Ρ Α Σ Η

7·1 Είσαγωγή.

Όπως στὸν πομπὸ τὸ κυριότερο στοιχεῖο εἶναι ὁ *ταλαντωτής*, στὸ δέκτη ἡ σπουδαιότερη λειτουργία εἶναι ἡ *φώραση* ἢ *ἀποδιαμόρφωση*.

Ἡ ἀντίθετη λειτουργία τῆς διαμορφώσεως εἶναι ἡ ἀποδιαμόρφωση ἢ φώραση. Σκοπὸς τῆς φωράσεως εἶναι ὁ διαχωρισμὸς τῆς χαμηλῆς ἀπὸ τὴν ὑψηλὴ συχνότητα. Ἡ ὑψηλὴ συχνότητα, ποὺ ἔχει τὸ προσὸν νὰ ἀκτινοβολεῖται μὲ καλὴ ἀπόδοση ἀπὸ τὴν κεραία ἐκπομπῆς, χρησιμεύει ὡς καλὸ μέσο μεταφορᾶς, ἀλλὰ εἶναι πιά ἄχρηστη στὴ λήψη, καὶ πρέπει νὰ ἀπομακρυνθεῖ. Δὲν μᾶς ἐνδιαφέρει τώρα νὰ κρατήσομε παρὰ μόνο τὸ σῆμα χαμηλῆς συχνότητας, ἐκεῖνο ποὺ χρησιμοποιήθηκε γιὰ τὴ διαμόρφωση τοῦ πομποῦ. Μόνο αὐτὸ εἶναι κατάλληλο νὰ ὀδηγηθεῖ στὸ μεγάφωνο, ἢ ὅποιαδήποτε ἄλλη τελικὴ συσκευή.

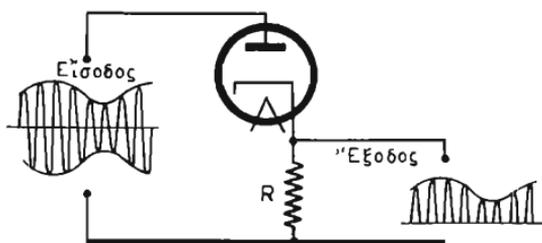
Εἶναι λοιπὸν φανερὸ ὅτι δὲν μπορεῖ νὰ ὑπάρξει δέκτης χωρὶς φώραση.

Ἡ φώραση εἶναι ἓνα εἶδος τελειοποιημένης ἀνορθώσεως. Ἐσθμηθοῦμε, πῶς γίνεται ἡ ἀπλὴ ἀνόρθωση μὲ μία δίοδο λυχνία:

Ὅσο ἡ ἀνοδος τῆς δίοδου λυχνίας εἶναι θετικὴ ὡς πρὸς τὴν κάθοδο, ἡ λυχνία εἶναι ἀγώγιμη καὶ τὸ κύκλωμα διαρρέεται ἀπὸ ρεῦμα. Τὸ ρεῦμα διακόπτεται, ὅταν ἡ ἀνοδος γίνεται ἀρνητικὴ ὡς πρὸς τὴν κάθοδο. Ἡ δίοδος λυχνία ἐνεργεῖ λοιπὸν, γιὰ τὸ ρεῦμα, ὡς ἓνα εἶδος βαλβίδας.

Ἐστω ὅτι ἡ δίοδος λυχνία εἶναι συνδεσμολογημένη ὅπως στὸ σχῆμα 7·1. Στὴν εἴσοδο ἐφαρμόζομε μία τάση ὑψηλῆς συχνότητας διαμορφωμένη κατὰ πλάτος. Ἐπειδὴ ρεῦμα κυκλοφορεῖ μόνο κατὰ τὶς θετικὲς ἡμιπεριόδους τῆς τάσεως εἰσόδου, ἡ ἔξοδος θὰ ἀποτελεῖται ἀπὸ ἡμιπεριόδους (παλμούς) πρὸς μία μόνο κατεύθυνση. Οἱ κορυφῆς τῶν παλμῶν ἐξόδου ἀναπαράγουν τὸ σῆμα χαμηλῆς συχνότητας, χωρὶς πιά νὰ ὑπάρχουν οἱ ἀντίθετοι παλμοὶ πρὸς τὴν

άλλη κατεύθυνση. Αυτό αποτελεί σοβαρό βήμα για το διαχωρισμό της χαμηλής από την υψηλή συχνότητα, δηλαδή για τη φώραση.



Σχ. 7.1.

Ἡ άπλή άνόρθωση δέν άποτελεί πλήρη φώραση.

Δέν είναι όμως ακόμα φώραση. Κι αυτό γιατί στην έξοδο δέν βρίσκουμε μόνο το επιθυμητό σήμα Χ.Σ., αλλά και ανεπιθύμητους παλμούς ύψηλης συχνότητας.

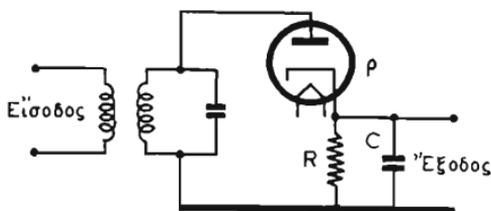
7.2 Πλήρης φώραση.

Για να άπαλλαγούμε έντελώς από την ύψηλή συχνότητα, συνδέουμε στα άκρα της άντιστάσεως φορτίου R ένα πυκνωτή C (σχ. 2 α). Ἡ άπλή αυτή προσθήκη άλλάζει σημαντικά τη λειτουργία αι την κάνει άρκετά πιό ο ύπλοκη. Ἄς προσπασομε να παρακολουθήμε τα πράγματα.

Όσο ή άνοδος της όδου λυχνίας είναι θετικός προς την κάθοδο, κύκλωμα διαρρέεται ρεύμα. Τό ρεύμα αυ-

ρτίζει τόν πυκνωτή C . Ἡ φόρτιση γίνεται μέσα από την έσωική αντίσταση ρ της διόδου λυχνίας. Ὑπάρχει ρεύμα και γίνεται τιση μόνο γύρω από τις κορυφές $\alpha, \beta, \gamma \dots$ τών θετικών ήμιρίδων της ύψηλης συχνότητας (σχ. 7.2 β).

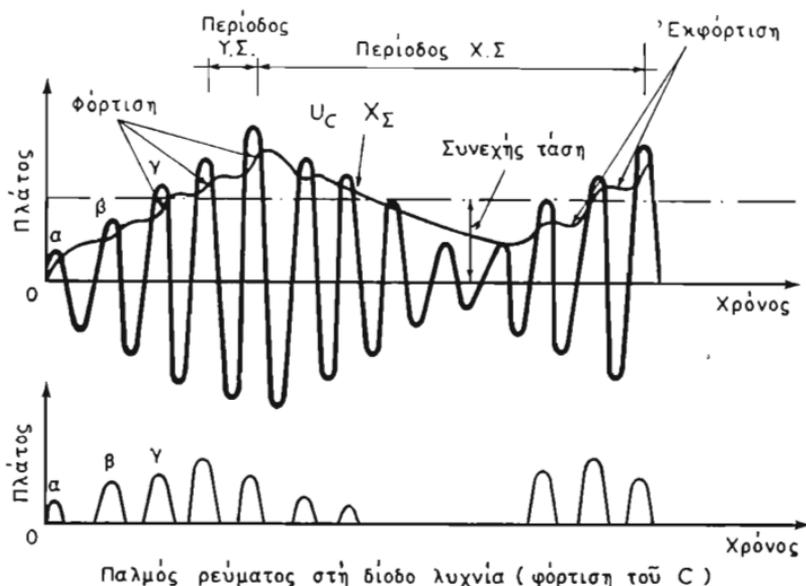
Κατά τούς ένδιάμεσους χρόνους $\alpha-\beta, \beta-\gamma \dots$ ή άνοδος της ν λυχνίας γίνεται άρνητική ως προς την κάθοδο. Τό ρεύμα αι. Ὁ πυκνωτής C έκφορτίζεται μέσα από την αντίσταση R .



Σχ. 7.2 α.

Κύκλωμα φωράσεως με δίοδο λυχνία.

Ἡ ἐκφόρτιση ρυθμίζεται ἔτσι, ὥστε νὰ εἶναι ἀρκετὰ ἀργή, ἀλλὰ καὶ σὲ τρόπο ὥστε ἡ τάση ἐξόδου στὰ ἄκρα τοῦ πυκνωτῆ νὰ παρακολουθεῖ ἀρκετὰ καλὰ τὶς θετικές κορυφές τοῦ διαμορφωμένου κύματος.



Σχ. 7·2 β.

Μηχανισμὸς φώρασεως με δίοδο λυχνία συνδεσμοποιημένη σύμφωνα με τὸ σχῆμα 7·2 α.

Ἐτσι ἡ τάση ἐξόδου ἀναπαράγει ἀρκετὰ καλὰ τὸ σῆμα Χ.Σ., ἐνῶ ἡ Υ.Σ. ἐξαφανίζεται. Οἱ μικρὲς ἀνωμαλίες τῆς τάσεως ἐξόδου (σὰν δόντια πριονιοῦ) εἶναι στὴν πραγματικότητα πολὺ μικρότερες ἀπὸ ὅ,τι φαίνονται στὸ σχῆμα. Τελικὰ γίνονται ἀσήμαντες.

Μὲ τὸν τρόπο αὐτὸ ἡ φώραση εἶναι πλήρης. Γιὰ νὰ λειτουργήσει ὁμως σωστὰ τὸ σύστημα, πρέπει νὰ ἐκπληρώνονται ὀρισμένες προϋποθέσεις. Ὁ πυκνωτὴς C πρέπει νὰ μπορεῖ νὰ φορτίζεται ἀρκετὰ γρήγορα κατὰ τὶς κορυφές Υ.Σ. α, β, γ... Ὅσον ἀφορᾷ τὴν ἐκφόρτιση κατὰ τοὺς ἐνδιάμεσους χρόνους α-β, β-γ..., πρέπει νὰ εἶναι ἀρκετὰ ἀργή ὡς πρὸς τὴν περίοδο Υ.Σ., ἐνῶ συγχρόνως πρέπει νὰ παρακολουθεῖ τὴν Χ.Σ. Ὁ πυκνωτὴς C παίξει ἔτσι τὸ ρόλο δεξαμενῆς. Ἡ δεξαμενὴ (πυκνωτῆς) τροφοδοτεῖται γρήγορα ἀπὸ πολ-

λές και μικρές διακοπτόμενες ποσότητες νερού, ενώ η μέση στάθμη μεταβάλλεται με σχετικά αργό ρυθμό.

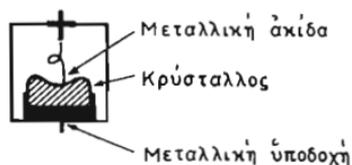
Η φόρτιση και η εκφόρτιση ενός πυκνωτή ρυθμίζεται από τη σταθερά χρόνου, που για τη φόρτιση, είναι ίση με το γινόμενο ρC . Κατά τη φόρτιση, η λυχνία είναι άγωγιμη και η έσωτερική της αντίσταση ρ είναι μικρή. Το γινόμενο ρC μπορεί λοιπόν να κρατηθεί μικρό ως προς την περίοδο $Υ.Σ.$ Ο πυκνωτής C μπορεί τότε να φορτίζεται γρήγορα κατά τις κορυφές $\alpha, \beta, \gamma \dots$

Η σταθερά του χρόνου κατά την εκφόρτιση είναι ίση με RC . Η τιμή του R πρέπει να είναι σημαντικά μεγαλύτερη από το ρ . Συγκεκριμένα, το γινόμενο RC πρέπει να είναι μεγάλο ως προς την περίοδο $Υ.Σ.$ και μικρό ως προς την περίοδο $Χ.Σ.$ Έτσι ακριβώς επιτυγχάνεται ο διαχωρισμός των δύο συχνοτήτων.

Από όσα είπαμε, γίνεται φανερό ότι για να γίνει σωστά η φώραση, τα στοιχεία R και C πρέπει να έχουν όρισμένες κατάλληλες τιμές.

Ας γυρίσουμε πίσω στο σχήμα 7·2 β. Παρατηρούμε ότι η τάση εξόδου U_c βρίσκεται πάνω από τον άξονα του μηδέν. Αυτό σημαίνει ότι η τάση εξόδου, εκτός από το εναλλασσόμενο σήμα $Χ.Σ.$, ριέχει επίσης και μία συνιστώσα συνεχούς τάσεως. Το πράγμα εν είναι σοβαρό, γιατί η τελευταία μπορεί να απομακρυνθεί με τη βοήθεια ενός πυκνωτή συζεύξεως.

Στο κάτω μέρος του σχήματος 7·2 β, βλέπομε τους παλμούς 'ματος που χρησιμοποιούνται για φόρτιση του πυκνωτή C κατά τις θετικές κορυφές της ύψηλης συχνότητας.



Σχ. 7.3 α.

Κρυσταλλικός φωρατής.

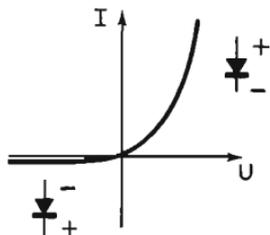
3 Κρυσταλλικοί φωρατές.

Είδαμε λοιπόν ότι το όργανο που κάνει τη φώραση είναι μία δίολυχνία. Μπορεί όμως να είναι και μία κρυσταλλοδίοδος, όποτεται κρυσταλλικός φωρατής.

Η πιό στοιχειώδης μορφή κρυσταλλικού φωρατή είναι αυτή φαίνεται στο σχήμα 7·3 α. Αποτελείται ουσιαστικά από ένα μάτι κατάλληλου κρύσταλλου, που πάνω του άκουμπά μία μεταλλική άκίδα.

Ὡς κρύσταλλο, οἱ ἐρασιτέχνες χρησιμοποιοῦσαν τὸ γαληνίτη. Ὄταν ὁ κρύσταλλος συνδεθεῖ μὲ τὸν ἀρνητικὸ πόλο μιᾶς πηγῆς (στήλης) καὶ ἡ ἀκίδα μὲ τὸ θετικὸ πόλο, τότε τὸ σύστημα παρουσιάζει σχετικὰ μικρὴ ἀντίσταση. Ὄταν ὅμως οἱ πόλοι ἀντιστραφοῦν, τότε ἡ ἀντίσταση τοῦ συστήματος γίνεται πολὺ μεγάλη.

Ἐνα τέτοιο σύστημα παρουσιάζει, λοιπόν, ιδιότητες ἀνορθώσεως, ὅπως καὶ μία δίοδος λυχνία. Ἄλλωστε, ἡ χαρακτηριστικὴ καμπύλη (τάση-ρεῦμα) μοιάζει μὲ τὴ χαρακτηριστικὴ τῆς διόδου λυχνίας, ὅπως φαίνεται ἂν συγκρίνει κανεὶς τὰ σχήματα 7·3 β καὶ 1·2 δ. Ἡ ἀκίδα παίζει τὸ ρόλο τῆς ἀνόδου, ἐνῶ ὁ κρύσταλλος ἀντικαθιστᾷ τὴν κάθοδο τῆς διόδου λυχνίας. Σήμερα συναντοῦμε σὲ εὐρεία ἐφαρμογὴ κρυσταλλολυχνίες ὡς ἀνορθωτὲς καὶ φωρατῆς. Καὶ αὐτὲς ἔχουν τὴν ἴδια χαρακτηριστικὴ καμπύλη τοῦ σχήματος 7·3 β, ἀλλὰ τὸ ὑλικὸ κατασκευῆς τους εἶναι γερμάνιο ἢ πυρίτιο καὶ μᾶς δίνει καλύτερα χαρακτηριστικὰ λειτουργίας.



Σχ. 7·3 β.

Χαρακτηριστικὴ κρυσταλλοῦ φωρατῆ.

Ὁ ἰδανικὸς ἀνορθωτῆς (καὶ κατὰ προέκταση ὁ ἰδανικὸς φωρατῆς), θὰ ἔπρεπε νὰ

προβάλλει μηδενικὴ ἀντίσταση πρὸς τὴν μίαν κατεύθυνση τοῦ ρεύματος καὶ ἄπειρη ἀντίσταση πρὸς τὴν ἀντίθετη κατεύθυνση. Ἡ δίοδος λυχνία πλησιάζει περισσότερο πρὸς τὴς συνθήκες αὐτὲς ἀπὸ ὅ,τι ὁ κρυσταλλικὸς φωρατῆς. Τὸ σχῆμα 7·3 β δείχνει, πραγματικά, ὅτι τὸ ρεῦμα δὲν εἶναι μηδέν, ἀρα ἡ ἀντίσταση δὲν εἶναι ἄπειρη πρὸς τὴν ἀντίθετη κατεύθυνση.

Ἡ λειτουργία τοῦ κρυσταλλικοῦ φωρατῆ βασίζεται στὸ γεγονός ὅτι ὁ κρύσταλλος εἶναι ἡμιαγωγός, ἔχει δηλαδή ἰδιότητες μεταξὺ ἀγωγοῦ καὶ μονωτικοῦ, ὅπως εἶδαμε στὸ κεφάλαιο περὶ κρυσταλλολυχνιῶν.

7·4 Φώραση ἀπὸ τὴν ἐσχάρα.

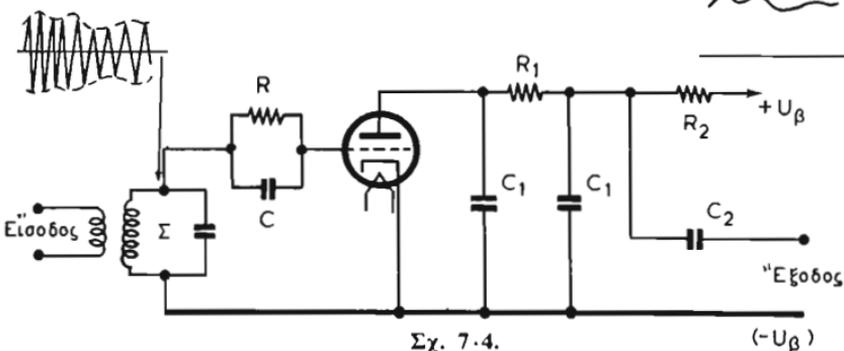
Ὡς φωρατῆς πολὺ συχνὰ χρησιμοποιοῦνται διόδοι λυχνίες καὶ κρυσταλλολυχνίες. Μπορεῖ ὅμως καὶ μία τρίοδος ἢ καὶ πεντάοδος λυχνία νὰ χρησιμοποιηθεῖ γιὰ τὴ φώραση.

Τὸ καταλαβαίνομε αὐτό, ἂν σκεφθοῦμε ὅτι ἡ κάθοδος καὶ ἡ

έσχαρά έλέγχου τής τριόδου λυχνίας σχηματίζουν στην πραγματικότητα ένα είδος δίοδου στοιχείου. Το δίοδο αυτό μέρος μπορεί άκριβώς νά χρησιμοποιηθεί για τή φώραση. Φθάνομε έτσι σέ συνδεσμολογίες τυπικού κυκλώματος, όπως του σχήματος 7·4.

Ένισχυμένη Έξοδος
Υ.Σ. που έχει υπο-
στεί φώραση και
ένισχυση

Διαμορφωμένη Υ.Σ.



Σχ. 7·4.

Κύκλωμα φώρασεως από την έσχαρά.

Ένα τέτοιο σύστημα εξασφαλίζει τή φώραση από την έσχαρά. φώραση εξασφαλίζεται ειδικότερα από τò δίοδο μέρος τής λυχνίας (πού αποτελούν ή κάθοδος και ή έσχαρά) και τὰ στοιχεία RC. άποτέλεσμα είναι, όπως ξέρομε, μία συνολική τάση πού περιέχει: τò σήμα Χ.Σ., 2) μιάν άρνητική τάση και 3) ένα υπόλειμμα Υ.Σ.

Οί τρεις αυτές τάσεις βρίσκονται ταυτόχρονα εφαρμοσμένες ν έσχαρά τής τριόδου λυχνίας. Κάθε μία τους παίζει και ένα διαρετικό ρόλο, πού θα τόν εξετάσομε στή συνέχεια.

Ή τάση Χ.Σ. ενεργεί ως κανονική διέγερση για τήν τριόδο ία και εφαρμόζεται στήν έσχαρά μέσω του συντονισμένου κυώματος Σ. Ή λυχνία λειτουργεί έτσι ως ένισχύτρια Χ.Σ. Τò σήμα άναπαράγεται ένισχυμένο στο άνοδικό κύκλωμα. Αυτό άποτεροφανώς εύτυχη σύμπτωση, γιατί ή λυχνία εργάζεται συγχρόως φωράτρια και ως ένισχύτρια Χ.Σ.

Ή συνεχής άρνητική τάση εξασφαλίζει με έπιτυχία τήν πότής έσχαράς πού εφαρμόζεται διά του κύκλωματος πολώσεως RC. Έτσι ή κάθοδος τής λυχνίας συνδέεται άπ' εύθείας στή

Το υπόλειμμα όμως υψηλής συχνότητας, πού το παίρνουμε κι αυτό από το συντονισμένο κύκλωμα Σ, προκαλεί σοβαρά μειονεκτήματα. Η τάση Υ.Σ. ένισχύεται και αυτή όπως και η Χ.Σ. Αν η ένισχυση είναι σημαντική και αν, όπως συμβαίνει συνήθως, υπάρχουν στο κύκλωμα παρασιτικά στοιχεία (χωρητικότητες), πού να προκαλούν κατάλληλη θετική ανάδραση, τότε η λυχνία μπορεί να μετατρέπεται σε ταλαντώτρια Υ.Σ., όπως είδαμε στο Κεφάλαιο 5. Αυτό έχει ως συνέπεια να δώσει στο μεγάφωνο πολύ ενοχλητικά σφυρίγματα. Σ' αυτό το μειονέκτημα της αστάθειας προστίθενται και διάφορα άλλα, πού αφορούν κυρίως την παραμόρφωση, πού μās κάνει τελικά ή να άρνηθοϋμε τή φαινομενική άπλόττητα και οικονομία της φωράσεως από τήν έσχάρα, ή να προσθέσομε σ' αυτή και άλλα προστατευτικά κυκλώματα.

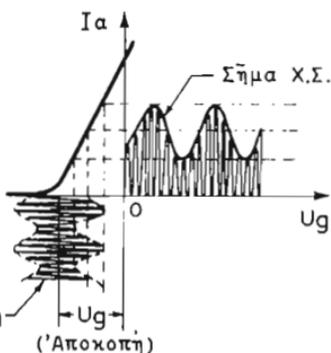
Όπως και να έχει το πράγμα, ως ξανάρθομε στο σχήμα 7·4, για να συμπληρώσομε τήν περιγραφή. Τα άνοδικά στοιχεία RC είναι τα στοιχεία φωράσεως στο κύκλωμα έσχάρας. Το άνοδικό κύκλωμα περιλαμβάνει ένα φίλτρο $C_1R_1C_1$, πού σταματά τήν Υ.Σ. χωρίς βέβαια να έμποδίζει τή Χ.Σ. Η αντίσταση R_2 άποτελεί το φορτίο της τριόδου λυχνίας ως ένισχύτριας. C_2 είναι, τέλος, ό πυκνωτής συζεύξεως προς

το έπόμενο στάδιο.

7·5 Φώραση από τήν άνοδο.

Μία τριόδος (ή μιá πεντάοδος) λυχνία μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως φωράτρια και κατά ένα διαφορετικό τρόπο.

Ύποθέτομε ότι η έσχάρα της λυχνίας είναι πολωμένη στο σημείο της άποκοπής (τάξη Β στο σχήμα 7·5 α) δηλαδή, ή



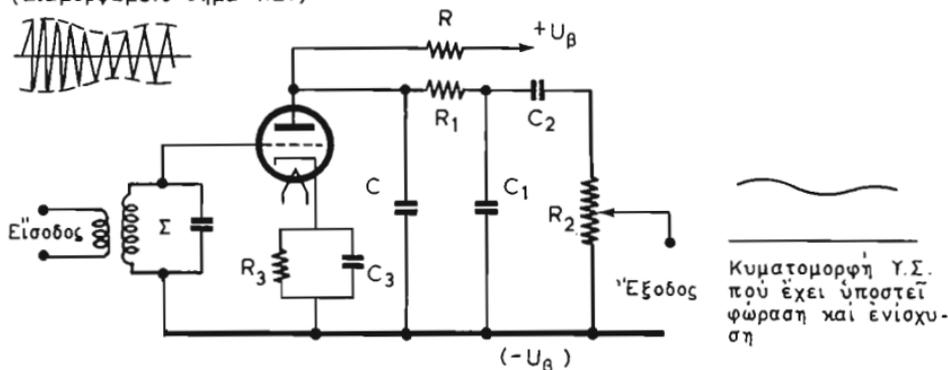
Σχ. 7.5 α.

Φώραση από τήν άνοδο (το υπόλειμμα Υ.Σ. άπομακρύνεται στο άνοδικό κύκλωμα με τή βοήθεια φίλτρου).

λυχνία είναι άγώγιμη μόνο κατά τις θετικές ήμιπεριόδους Υ.Σ., ενώ οι άρνητικές ήμιπεριόδοι άποκόπτονται. Η διέγερση της έσχάρας

αποτελείται από τη διαμορφωμένη τάση Υ.Σ., που θέλουμε να υποβάλουμε σε φώραση. Αυτό μοιάζει ακριβώς με τον τρόπο που ενεργεί μία δίοδος λυχνία. Από εκεί και πέρα, η φώραση γίνεται με τον ίδιο μηχανισμό της δίοδου λυχνίας, μόνο που τα στοιχεία φωράσεως RC βρίσκονται στο άνοδικό κύκλωμα. Έχουμε τώρα φώραση από την άνοδο, όπως φαίνεται στη συνδεσμολογία του σχήματος 7·5 β.

Κυματομορφή εισόδου
(Διαμορφώμενο σήμα Υ.Σ.)



Σχ. 7·5 β.

συνδεσμολογία φωράσεως από την άνοδο. Τα διάφορα στοιχεία κυκλώματος (άντιστάσεις και πυκνωτές) παίζουν τον ίδιο ρόλο με τα αντίστοιχα στοιχεία του σχήματος 7·4.

Το σύστημα αυτό έχει το πλεονέκτημα, όπως και η φώραση από την έσχάρα, να συνδυάζει τη φώραση με κάποια ενίσχυση του σήματος Υ.Σ., παρουσιάζει όμως και μειονεκτήματα.

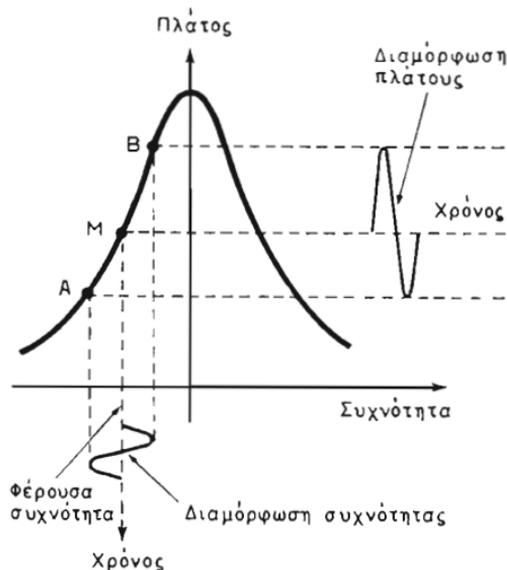
Μετά από τις δυσκολίες που αναφέραμε, αν και υπάρχει μεγάλη κλίση κυκλωμάτων φωράσεως, την καλύτερη φώραση την εξαφίζει τελικά μία ξεχωριστή δίοδος λυχνία. Γι' αυτό και η φώραση δίοδο ή κρυσταλλοδίοδο είναι σήμερα ή πιο συνηθισμένη.

Φώραση για διαμόρφωση συχνότητας.

Όσα είπαμε μέχρι τώρα για τη φώραση, εφαρμόζονται στην πτώση που το φέρον κύμα είναι διαμορφωμένο κατά πλάτος. Ο μηχανισμός της φωράσεως είναι τότε πρακτικά ανεξάρτητος από την συχνότητα. Ένας τέτοιος φωρατής δεν δίνει βέβαια κανένα άπομα στην περίπτωση διαμορφώσεως κατά συχνότητα, που ανα-

φέραμε στην παράγραφο 6·5. Στην περίπτωση αυτή πρέπει να χρησιμοποιηθούν άλλα ειδικά συστήματα φωράσεως.

Ένα από τα συστήματα αυτά στηρίζεται στη μετατροπή της διαμορφώσεως συχνότητας σε διαμόρφωση πλάτους, όποτε μπορεί πια να χρησιμοποιηθεί ένας φωρατής για διαμόρφωση πλάτους. Για να επιτύχουμε τη μετατροπή της διαμορφώσεως, το συντονισμένο κύκλωμα εισόδου ενός τέτοιου συστήματος συντονίζεται



Σχ. 7·6.

Μετατροπή της διαμορφώσεως συχνότητας σε διαμόρφωση πλάτους.

τη την τάση, τη διαμορφωμένη κατά πλάτος, σε ένα συνηθισμένο φωρατή πλάτους.

Το σύστημα αυτό έχει σοβαρά μειονεκτήματα:

1) Το τμήμα AB της καμπύλης συντονισμού, το τμήμα δηλαδή που κάνει τη μετατροπή (σχ. 7·6), δεν είναι ποτέ έντελως εθύγραμμο. Άρα, η διαμόρφωση πλάτους δεν αποτελεί ακριβή εικόνα της διαμορφώσεως συχνότητας. Η μετατροπή συνοδεύεται δηλαδή με παραμόρφωση.

2) Το σύστημα δεν είναι μόνο ευαίσθητο σε μεταβλητές συχνό-

όχι στην ακριβή συχνότητα του φέροντος κύματος, αλλά με τέτοιο τρόπο, ώστε η φέρουσα συχνότητα να πέφτει σε ένα από τα πλευρά της καμπύλης συντονισμού, όπως βλέπουμε στο σχήμα 7·6 (σημείο M).

Τότε, καθώς η συχνότητα μεταβάλλεται εξ αιτίας της διαμορφώσεως συχνότητας, μεταβάλλεται ανάλογα και το πλάτος της Υ.Σ. στην έξοδο του συντονισμένου κυκλώματος, όπως φαίνεται στην καμπύλη του σχήματος 7·6. Δεν έχουμε πια

παρα να εφαρμόσουμε αυ-

τητες, αλλά και σε μεταβολές πλάτους. Έπειδή τα διάφορα παράσιτα σήματα έκδηλώνονται κυρίως ως μεταβολές πλάτους, η φώραση αναπαράγει τα παράσιτα. Έτσι χάνεται ένα από τα σοβαρότερα πλεονεκτήματα της διαμορφώσεως συχνότητας, που είναι ακριβώς η δυνατότητα για την έξαφάνιση τέτοιων παρασίτων.

Για να αποφύγουμε τα μειονεκτήματα αυτά, χρησιμοποιούμε άλλα ειδικά συστήματα φωράσεως, με τα όποια όμως δεν θα ασχοληθούμε.

7.7 Έρωτήσεις.

1. Τί διαφέρει η φώραση από την ανόρθωση;
2. Σχεδιάστε ένα κύκλωμα φωράσεως με δίοδο λυχνία. Πώς λειτουργεί αυτό;
3. Ποιές τιμές στοιχείων πρέπει να προσέξουμε, για να γίνει σωστά η φώραση;
4. Τί είναι ο κρυσταλλικός φωρατής;
5. Σχεδιάστε ένα κύκλωμα φωράσεως από την έσχάρα και εξηγήστε τις κυματομορφές.
6. Τί μορφή παρουσιάζει το σήμα Χ.Σ. κατά τη φώραση από την άνοδο;
7. Πώς επιτυγχάνεται η φώραση, όταν έχουμε διαμόρφωση συχνότητας;

8·1 Εισαγωγή.

Στήν εισαγωγή του Κεφαλαίου 6 (περί πομπῶν), εἶδαμε ὅτι γιὰ νὰ συμπληρωθεῖ τὸ κύκλωμα συνεννοήσεως δύο σταθμῶν, δηλαδή δύο ἀτόμων ποὺ βρίσκονται σὲ μακρινές ἀποστάσεις, χρειάζεται ὁ πομπός, τὸ μέσο μεταφορᾶς τῶν ραδιοκυμάτων, δηλαδή ἡ ἀτμόσφαιρα, καὶ ὁ δέκτης.

Τὸν πομπὸ τὸν γνωρίσαμε στὸ Κεφάλαιο 6. Τώρα θὰ μιλήσουμε γιὰ τὸ δέκτη.

Ἕνας ραδιοφωνικὸς δέκτης δὲν εἶναι τίποτε ἄλλο ἀπὸ τὸ πολὺ γνωστὸ μας ραδιόφωνο. Ἡ δουλειὰ ποὺ κάνει ὀνομάζεται *λήψη*. Ὁ δέκτης ἀποτελεῖται καὶ αὐτὸς ἀπὸ ἓνα εἶδος ἀλυσίδας μὲ διαδοχικὲς βαθμίδες, ποὺ οἱ λειτουργίες τους εἶναι λίγο-πολὺ ἀντίστροφες ἀπὸ ἐκεῖνες τοῦ πομποῦ. Πραγματικά, σκοπὸς τοῦ δέκτη εἶναι νὰ πάρει τὸν ἦχο ἢ τὴ φωνὴ ποὺ εἶναι φορτωμένη πάνω στὸ φέρον κύμα καὶ νὰ τὸν ἀφήσει ἐλεύθερο νὰ μᾶς πεῖ ὅ,τι ἔχει νὰ πεῖ.

Ὁ μηχανισμὸς λειτουργίας τοῦ δέκτη ἀρχίζει ἀπὸ κεῖ ποὺ τελειώνει ὁ πομπός, δηλαδή ἀπὸ μία ἄλλη κεραία, τὴν κεραία λήψεως. Εἶναι παρόμοια μὲ τὴν κεραία ἐκπομπῆς, ἀλλὰ συνήθως εἶναι πολὺ μικρότερη, ἓνα κομμάτι σύρμα, μὲ λίγα μέτρα μῆκος πολλὰς φορές. Ὅσο, ὅμως, μικρὴ κι ἂν εἶναι, ἡ κεραία λήψεως εἶναι ἐντελῶς ἀπαραίτητη. Καὶ τοῦτο, γιατί εἶναι αὐτή, ποὺ θὰ δεχτεῖ τὰ διαμορφωμένα ἠλεκτρομαγνητικὰ κύματα, ποὺ ἀκτινοβολήθηκαν ἀπὸ τὸν πομπό, καὶ θὰ τὰ μετατρέψει μὲ τὴ σειρά της σὲ ἓνα διαμορφωμένο ρεῦμα ὑψηλῆς συχνότητας. Τὸ τελευταῖο αὐτὸ θὰ εἶναι ἡ βᾶση, γιὰ νὰ δουλέψει παραπέρα ὁ δέκτης. Μποροῦμε μάλιστα νὰ ποῦμε, ὅτι, ὅσο καλύτερη εἶναι ἡ κεραία λήψεως, δηλαδή ὅσο ἔχει τὸ κατάλληλο μῆκος καὶ βρίσκεται κατάλληλα τοποθετημένη στὸν ἐλεύθερο χῶρο, τόσο καλύτερα θὰ δουλέψει ὁ δέκτης.

8·2 Βασικὴ λειτουργία τοῦ δέκτη.

Ἡ κεραία λήψεως βρίσκεται στὸν ἐλεύθερο χῶρο καὶ δέχεται

τις ακτινοβολίες από όλους τους πομπούς του κόσμου. Κατά συνέπεια, το σύρμα της διαρρέεται ταυτόχρονα από τα διαμορφωμένα ρεύματα Υ.Σ. όλων αυτών των πομπών.

Η κεραία λήψεως δεν μπορεί όμως να ξεχωρίσει ένα πομπό από έναν άλλο. Η βασική αυτή λειτουργία γίνεται στα πρώτα στάδια, δηλαδή στις πρώτες βαθμίδες του δέκτη, μετά την κεραία, και λέγεται *έπιλογή*. Η έπιλογή αυτή ή είναι συγκεντρωμένη σε μία μόνο από τις πρώτες βαθμίδες, ή επεκτείνεται σε περισσότερες βαθμίδες. Είναι μία θεμελιώδης λειτουργία του δέκτη και την έπιτυγχάνουμε με όρισμένα κυκλώματα, που τα όνομάζουμε *συντονισμένα κυκλώματα*, όπως είδαμε στο Κεφάλαιο 5.

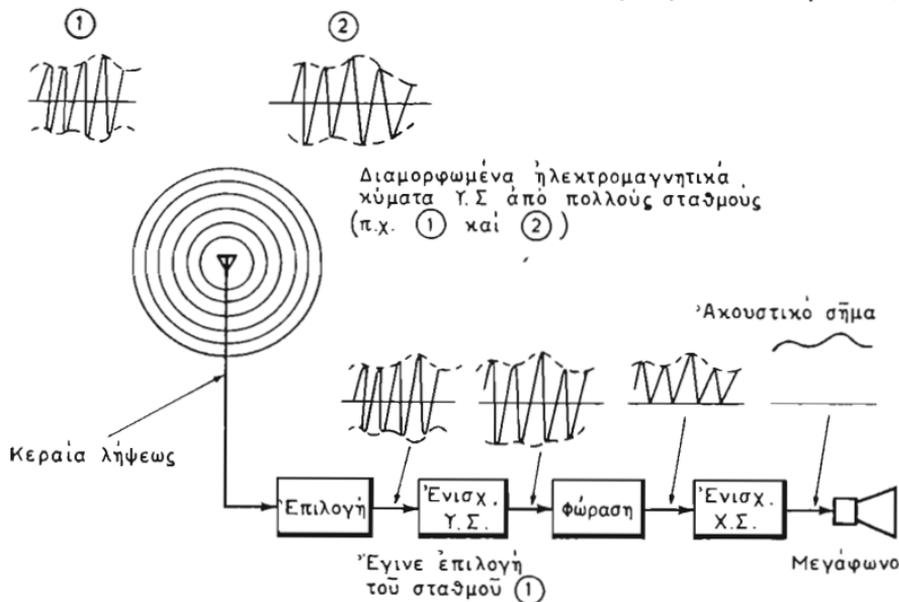
Η πιο ούσιαστική όμως λειτουργία του δέκτη είναι το ξεχώρισμα της χαμηλής από την ύψηλή συχνότητα. Πραγματικά, όλη η διαδικασία γίνεται για να μεταφερθεί ως έδω το άκουστικό ρεύμα Χ.Σ. Ήρθε λοιπόν η στιγμή να άπαλλαγούμε από την ύψηλή συχνότητα, το άχρηστο πιά μέσο μεταφοράς, και να κρατήσουμε μόνο το ρεύμα . . Το ξεχώρισμα αυτό γίνεται σε μία έπόμενη βαθμίδα του δέκτη, βαθμίδα της φώρασεως. Η φώραση, όπως και η παραγωγή τώσεων και η ένισχυση, γίνεται κι αυτή με ήλεκτρονικές λυχνίες ή κρυσταλλολυχνίες. Στο προηγούμενο Κεφάλαιο 7 είδαμε, πώς αι ή φώραση.

Δέν μένει παρά να στείλουμε το ρεύμα Χ.Σ. σε μία κατάλληλη σκευή, που να μπορεί να το μετατρέψει και πάλι σε άκουστό ήχο. οια συσκευή είναι το μεγάφωνο. Έτσι κλείνει ο κύκλος έκπομπής-λήψη και το σήμα (ήχος ή μουσική) μεταφέρεται στον ρισμό του.

Το ραδιόφωνο περιέχει όμως στην πραγματικότητα και μερικά άδια (βαθμίδες). Τα σπουδαιότερα από αυτά είναι διάφοροι σχυτές. Ένας τέτοιος ένισχυτής μπορεί να τοποθετηθεί στην αρχή, ως μετά την κεραία, για να κάνει πιο ίσχυρό το άσθενές ρεύμα . Αυτός είναι ο ένισχυτής Υ.Σ. Ένας άλλος ένισχυτής Χ.Σ. είναι ραίτητος άμέσως μετά τη φώραση, γιατί για να λειτουργήσει μεγάφωνο χρειάζεται ρεύμα Χ.Σ. άρκετά ίσχυρό. Το πώς δουουν οι ένισχυτές, το έξετάσαμε στο Κεφάλαιο 4. Ύπάρχουν τέλος άλλες βοηθητικές λειτουργίες για τις όποιες δεν θα μιλήσουμε έδω.

Το συμπέρασμα είναι ότι ένα άπλοποιημένο διάγραμμα ραδιο-

φώνου θα έχει τή μορφή του σχήματος 8·2. Στο σχήμα αυτό διακρίνουμε στη σειρά όλες τις βαθμίδες λειτουργίας, για τις οποίες μιλήσαμε παραπάνω. Έχουμε ήδη εξετάσει στα προηγούμενα κεφάλαια,



Σχ. 8·2.

Άπλοποιημένο διάγραμμα (με κουτιά) μιάς μορφής ραδιοφωνικού δέκτη. Μετά από κάθε κουτί βλέπουμε τί μορφή παίρνουν τὰ κύματα.

πώς είναι κατασκευασμένα και πώς λειτουργούν τὰ διάφορα αὐτὰ μέρη τοῦ δέκτη. Ἄς ἀνακεφαλαιώσουμε ὅμως τὸν κύκλο τῆς ἐπικοινωνίας. Ὁ ἦχος ξεκίνησε μπροστὰ ἀπὸ τὸ μικρόφωνο τοῦ πομπτοῦ, «φορτώθηκε» πάνω στὴν ὑψηλὴ συχνότητα, ταξίδεψε σὲ μεγάλες ἀποστάσεις καὶ «ξεφορτώθηκε» στὸ δέκτη γιὰ νὰ ξαναγίνει ἀκουστός στὸ μεγάφωνο. Ἡ περιπέτεια ὅμως αὐτὴ δὲν εἶναι μικρὴ. Καὶ γιὰ νὰ μπορέσουμε νὰ ἀκούσουμε ἀπὸ τὸ μεγάφωνο τοῦ δέκτη τὸν ἴδιο ἀκριβῶς ἦχο, ποὺ δέχτηκε τὸ μικρόφωνο τοῦ πομπτοῦ, πρέπει νὰ πάρομε μεγάλες προφυλάξεις. Ἄν δὲν τις πάρομε, ὁ ἦχος ποὺ θὰ ἀκούσαμε στὸ μεγάφωνο θὰ εἶναι σημαντικὰ παραμορφωμένος.

Πρέπει ἐπίσης νὰ ὑπενθυμίσουμε ὅτι τὸ ραδιόφωνο, ποὺ ἐξετάζουμε ὡς βασικὸ δέκτη, δὲν εἶναι ὁ μοναδικὸς σκοπὸς μας. Ὁ πομπτὸς καὶ ὁ δέκτης μποροῦν νὰ ἀλλάξουν ἀρκετά, γιὰ νὰ ἐξυπηρετήσουν

τήν τηλεόραση, τή ραδιοναυτιλία ή τὸ πλῆθος τῶν ἄλλων ἐφαρμογῶν. Τὸ τελικὸ ρεῦμα τοῦ δέκτη μπορεῖ κάλλιστα νὰ μὴν στέλνεται σὲ ἓνα μεγάρφωνο, ἀλλὰ νὰ χρησιμοποιεῖται διαφορετικὰ, π.χ. γιὰ τὴν κίνηση ἑνὸς κινητήρα, γιὰ τὴν παρουσίαση μιᾶς εἰκόνας κ.λπ.

8.3 Έπιλογή και πιστότητα του δέκτη.

Μία ἀπὸ τὶς πρῶτες καὶ κύριες λειτουργίες τοῦ δέκτη, ποὺ ἀναφέραμε στὴν προηγούμενη παράγραφο, εἶναι ἡ ἐπιλογή, δηλαδὴ ἡ ἱκανότητα τοῦ δέκτη νὰ μπορεῖ νὰ ξεχωρίζει τὸν ἓνα σταθμὸ ἐκπομπῆς ἀπὸ τὸν ἄλλο. Γιὰ νὰ γίνῃ αὐτό, τὰ πρῶτα στάδια τοῦ δέκτη δὲν ἀφήνουν νὰ περάσει παρὰ μόνον ἡ συχνότητα τοῦ πομποῦ ποὺ θέλομε νὰ ἀκούσομε, ἐνῶ συγχρόνως σταματοῦν (βραχυκυκλώνουν) τὶς συχνότητες ὅλων τῶν ἄλλων πομπῶν, ποὺ δέχεται ἡ κεραία λήψεως.

Τὸ σῆμα ὅμως (ὁ λόγος, ἡ μουσικὴ, ἡ εἰκόνα κ.λπ.) μεταφέρεται μέσα σὲ μιὰ ζώνη συχνοτήτων, ποὺ ὀφείλεται στὴ διαμόρφωση τοῦ πομποῦ καὶ συνοδεύει τὴν κεντρικὴ του, δηλαδὴ τὴ φέρουσα συχνότητα. Ὁ δέκτης ὀφείλει, λοιπόν, νὰ ἀφήνῃ νὰ περάσει ὀλόκληρη αὐτὴ ἡ ζώνη συχνοτήτων. Διαφορετικὰ, οἱ πλευρικές συχνότητες, ποὺ εἶναι ἀκριβῶς αὐτὲς ποὺ μεταφέρουν τὸ σῆμα, θὰ ἐμποδιστοῦν νὰ φτάσουν ὡς τὰ τελευταῖα στάδια τοῦ δέκτη. Τότε, τὸ σῆμα θὰ παραμορφωθεῖ. Τελικά, μπορεῖ ἀκόμα, πρακτικὰ, καὶ νὰ ἐξαφανιστεῖ.

Ἄν αὐτὴ ἡ λειτουργία γίνῃ ἀρκετὰ καλὰ, λέμε ὅτι ὁ δέκτης εἶναι ἱκανοποιητικὰ πιστός, ὅτι μπορεῖ δηλαδὴ νὰ ἀναπαράγῃ μὲ ἀρκετὴ ἀκρίβεια (πιστότητα) τὸ σῆμα ποὺ δέχεται. Πιστότητα, λοιπόν, εἶναι ἡ ἱκανότητα τοῦ δέκτη νὰ ἐπιτρέπῃ τὴ διάβαση σὲ μιὰ ζώνη συχνοτήτων ἀρκετὴ γιὰ τὴν πιστὴ ἀναπαραγωγή τοῦ σήματος.

Ἄν ἡ ἐπιλογή εἶναι περισσότερο ἔντονη ἀπὸ ὅσο πρέπει, τότε ὁ δέκτης δὲν θὰ εἶναι πιά ἀρκετὰ πιστός. Ὅσο ἐπιζητοῦμε νὰ καλυρεῦσομε τὴν ἐπιλογή, τόσο χειροτερεύομε τὴν πιστότητα.

Τὸ ἴδιο, βέβαια, ἰσχύει καὶ ἀντίστροφα. Ὅσο ἐπιτρέπομε τὸ σῆμα σὲ πλατύτερη ζώνη συχνοτήτων, γιὰ νὰ καλυτερέψομε τὴν ἰστότητα, τόσο αὐξάνει ὁ κίνδυνος νὰ μπερδευτοῦν μέσα στὴν πλατιά αὐτὴ ζώνη καὶ ἄλλοι πομποί, δηλαδὴ τόσο χειροτερεύει ἡ ἐπιλογή. Ἄρα, ἡ ἐπιλογή καὶ ἡ πιστότητα εἶναι δύο ἀντίθετες ιδιότητες τοῦ δέκτη.

Χρειάζεται λοιπόν να κάνομε ένα συμβιβασμό στην πιστότητα και έπιλογή κατά την κατασκευή ενός δέκτη.

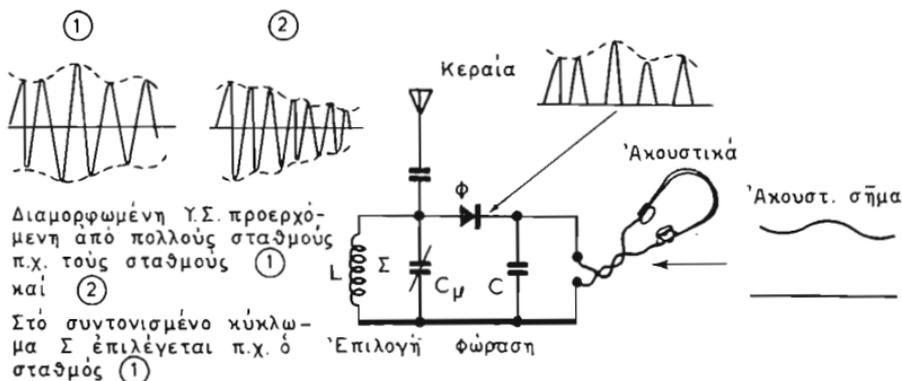
8·4 Στοιχειώδης δέκτης με κρύσταλλο.

Στήν παράγραφο 8·2 είδαμε σ' ένα διάγραμμα με κουτάκια τί κομμάτια, σέ γενικές γραμμές, πρέπει να περιλαμβάνει ένας δέκτης. Τώρα, άρχίζοντας από τον πιό άπλο και στοιχειώδη δέκτη, θά δοϋμε πώς είναι κατασκευασμένο κάθε κουτί του σχήματος 8·2 και πώς αυτά συνδέονται μεταξύ τους.

Τόν άπλούστατο δυνατό δέκτη μπορούμε να τον κατασκευάσομε με τή βοήθεια ενός κρυσταλλικού φωρατή (με γαληνίτη ή καλύτερα, με γερμάνιο). Έχομε, πραγματικά, έξηγήσει ότι ή φώραση είναι ή οϋσιαστικότερη λειτουργία τής λήψεως, που δέν μπορεί να παραλειφτεί. Είναι επίσης άπαραίτητο να προτάξομε μία κεραία και μία διάταξη έπιλογής. Ή τελευταία θά άποτελείται τουλάχιστο από ένα συντονισμένο κύκλωμα, γιατί άλλιως είναι άδύνατο να ξεχωρίσομε τον ένα σταθμό έκπομπής από τον άλλο. Πρέπει, τέλος, ή έξοδος του δέκτη να περιλαμβάνει όπωσδήποτε ένα όργανο ίκανό να μετατρέπει τó ρεύμα χαμηλής συχνότητας σέ ήχο. Άν ή ίσχύς του δέκτη είναι μικρή (κλάσμα του βάττ), τó όργανο μετατροπής θά είναι ένα ζευγάρι άκουστικά, ένω αν ή ίσχύς είναι μεγαλύτερη, θά χρησιμοποιήσομε ένα μεγάφωνο.

Οί σκέψεις αυτές οδηγούν στην άπλούστερη σύνδεση δέκτη, που δείχνει τó σχήμα 8·4. Για να διαλέξομε τó σταθμό που θέλομε να άκούσομε, στρέφομε τó μεταβλητό πυκνωτή C_{μ} μέχρι να συντονιστεί τó κύκλωμα εισόδου LC_{μ} στη φέρουσα ύψηλή συχνότητα αυτού του σταθμού. Ή φώραση έξασφαλίζεται από τον κρυσταλλικό φωρατή Φ . Τó φορτίο του φωρατή άποτελείται από τον πυκνωτή C και τή σύνθετη αντίσταση των άκουστικών. Συνήθως, ή ώμικη αντίσταση των άκουστικών στο συνεχές ρεύμα είναι γύρω στα 3000 Ω. Στο σχήμα βλέπομε διαδοχικά τις μορφές των κυμάτων στα διάφορα στάδια του δέκτη, μέχρι να γίνουν ήχος μέσα στα άκουστικά.

Ό δέκτης αυτός, έπειδή είναι πολύ άπλος, έχει μόνο έπιλογή και φώραση.



Σχ. 8.4.

Ο απλούστερος ραδιοφωνικός δέκτης με κρυσταλλικό φωρατή και άκουστικά.

8.5 Άπλως δέκτης με λυχνίες.

“Ας δούμε τώρα ένα δέκτη λίγο πιο πολύπλοκο απ’ τον προηγούμενο, που είχε μόνο επιλογή και φώραση. Ο δέκτης θα αρχίζει πάλι με μία διάταξη επιλογής και θα καταλήγει σε ένα μεγάφωνο, ” ως φαίνεται στο σχήμα 8.5. “Αρα, επειδή έχουμε μεγάφωνο, ή αση θα ακολουθείται από ένισχυση τάσεως και ένισχυση ισχύος αμηλής συχνότητας. Η φώραση και οι ένισχύσεις Χ.Σ. θα γίνουν λυχνίες που απαιτούν θέρμανση και συνεχή άνοδική τάση. Πρέ-λοιπόν να προστεθεί και ένα σύστημα τροφοδοτήσεως, π.χ. από ίκτυο ρεύματος της πόλεως.

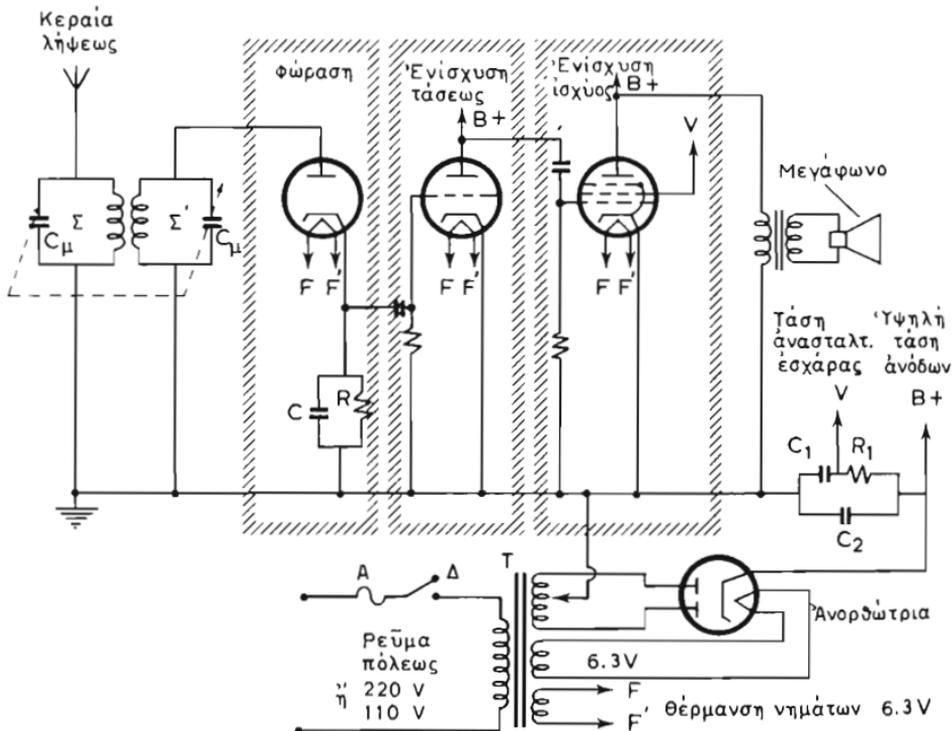
Στή συνέχεια περιγράφουμε μιά-μιά τις λεπτομέρειες αυτού του (σχ. 8.5).

1ο. *Επιλογή.* Η επιλογή εξασφαλίζεται με δύο ανεξάρτητα ονισμένα κυκλώματα Σ και Σ' . Ο τρόπος αυτός των δύο συντονισμένων κυκλωμάτων βελτιώνει σημαντικά την επιλογή. Οι δύο βλητοί πυκνωτές C_{μ} στρέφονται ταυτόχρονα σε κοινό άξονα. δύο κυκλώματα βρίσκονται πάντα συντονισμένα στην ίδια τα.

ο. *Φώραση.* Το κύκλωμα φωράσεως είναι ίδιο με το κύκλωμα ατος 7.2 α. Το φίλτρο R-C άπομακρύνει τὰ ύπολειμματα σ ύψηλης συχνότητας.

3ο. *Ένισχυση*. Το υπόλοιπο τμήμα του δέκτη, από τη φώραση ως το μεγάφωνο, αποτελεί ένα ενισχυτή τάσεως και ισχύος χαμηλής συχνότητας, όπως εξηγήθηκε στην παράγραφο 4·4.

4ο. *Τροφοδότηση*. Ο δέκτης τροφοδοτείται απ' ευθείας από το δίκτυο έναλλασσόμενου ρεύματος της πόλεως. Αυτό το επιτυγχάνομε με τη βοήθεια ενός μετασχηματιστή τροφοδοτήσεως και ενός άνορθωτικού συστήματος.



Σχ. 8·5.

Άπλος δέκτης με λυχνίες.

Το πρωτεύον του μετασχηματιστή τροφοδοτήσεως T μπορεί να συνδεθεί σε έναλλασσόμενο δίκτυο 110 ή 220 βόλτ. Μία ασφάλεια A και ένας διακόπτης Δ συνδέονται σε σειρά στο πρωτεύον.

Το δευτερεύον αποτελείται από τρία τυλίγματα. Υπάρχουν δύο τυλίγματα των 6,3 βόλτ (ένα για τη θέρμανση της άνορθώτριας λυχνίας και ένα για τη θέρμανση για όλες τις άλλες λυχνίες). Το

τρίτο τύλιγμα δίνει την ύψηλή τάση για τις ανόδους τῶν λυχνιῶν.

Τὸ ἀνορθωτικὸ σύστημα συνδεσμολογεῖται ὅπως δείχνει τὸ σχῆμα 8·5. Ἡ ἀνορθώτρια λυχνία ἐργάζεται σύμφωνα μὲ τὴν ἀρχὴ τῆς ἀνορθώσεως, πού ἐξηγήσαμε μὲ συντομία στὴν παράγραφο 7·1. Τὸ φίλτρο $C_1R_1C_2$ ἐξομαλύνει τὴν κυμάτωση τῆς ἀνορθωμένης τάσεως μὲ τέτοιο τρόπο, ὥστε νὰ παίρνομε τελικὰ, γιὰ νὰ τροφοδοτήσομε τὶς ἀνόδους, μίαν ἀρκετὰ συνεχῆ τάση.

8·6 Ἀλλαγὴ συχνότητας (ἢ ἑτεροδύωση).

Μέχρι τώρα, στὶς προηγούμενες παραγράφους, ἐξετάσαμε σὲ γενικὲς γραμμὲς μίαν μορφή δέκτη, πού ἀπὸ τὴν ὑψηλὴ συχνότητα (τῆ ραδιοσυχνότητα), πήγαμε ἀμέσως στὴ φώραση καὶ μετὰ στὴν ἀκουστικὴ συχνότητα.

Τώρα θὰ δοῦμε μίαν ἄλλη μορφή δέκτη, στὸν ὁποῖο, πρὶν πᾶμε στὴ φώραση, μετατρέπομε τὴν ὑψηλὴ φέρουσα συχνότητα f_0 καὶ τὶς πλευρικές συχνότητες τοῦ μεταφερόμενου σήματος σὲ μίαν χαμηλότερη συχνότητα. Τῆ μετατροπὴ σὲ χαμηλότερη συχνότητα τὴν ὀνομάζομε *ἑτεροδύωση* ἢ *μίξι*. Τῆ χαμηλότερη συχνότητα τὴν ὀνομάζομε *ἐνδιάμεση συχνότητα* ($IF = \text{Intermediate Frequency}$). Ὁ δέκτης αὐτὸς ὀνομάζεται *ὑπερετεροδύωνος* καὶ ἔχει ὀρισμένα πλεονεκτήματα, ὅπως θὰ δοῦμε στὴ συνέχεια, σὲ σχέση μὲ τοὺς ἀπλοὺς δέκτες.

Τόσο ἡ φέρουσα, ὅσο καὶ οἱ πλευρικές συχνότητες ἀλλάζουν πρὸς μικρότερες συχνότητες σὲ μίαν ἀπὸ τὶς πρῶτες βαθμίδες τοῦ δέκτη, ἐνῶ τὸ σῆμα τῆς διαμορφώσεως μένει ἀνέπαφο. Ἡ νέα φέρουσα συχνότητα, πού προκύπτει ἀπὸ τὴν ἀλλαγὴ αὐτὴ, βρίσκεται ἀνάμεσα στὴν ἀρχικὴ ὑψηλὴ φέρουσα συχνότητα καὶ στὴ χαμηλὴ συχνότητα διαμορφώσεως. Γιὰ τὸ λόγο αὐτό, τὴν ὀνομάζομε *ἐνδιάμεση συχνότητα*.

8·7 Συμβολὴ καὶ διακροτήματα.

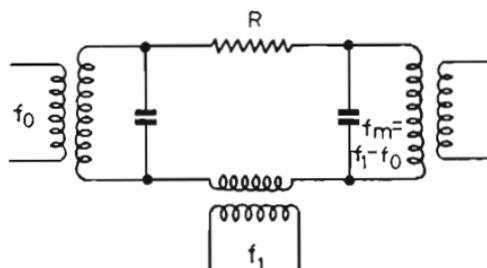
Γιὰ νὰ καταλάβομε τὴν ἀλλαγὴ συχνότητας, πρέπει πρῶτα νὰ θυμηθοῦμε τὸ φαινόμενο, πού ὀνομάζεται στὴ Φυσικὴ *συμβολή*. Συμβολὴ λέμε τὴ συνάντηση δύο (ἢ περισσότερων) κυμάτων ἢ ἐναλλασσόμενων μεγεθῶν, ὅποτε τὸ συνιστάμενο μέγεθος σὲ κάθε σημεῖο τοῦ χώρου ἔχει στιγμιαία τιμὴ ἴση μὲ τὸ ἄθροισμα τῶν στιγμιαίων τιμῶν τῶν μεγεθῶν, πού συναντοῦνται σ' αὐτὸ τὸ σημεῖο.

Ένα από τὰ ἀποτελέσματα τῆς συμβολῆς εἶναι τὰ *διακροτήματα* ἢ *συγκροτήσεις*.

Συμβολή π.χ. με διακροτήματα ἔχομε ὅταν χτυπήσομε συγχρόνως δύο γειτονικές χορδές ἐνὸς μουσικοῦ ὄργανου. Παράγονται τότε ἤχητικά κύματα, πού συναντοῦνται στὸ χῶρο, ἔχομε δηλαδὴ συμβολή. Ἐπειδὴ οἱ δύο ἤχοι ἔχουν γειτονικές συχνότητες, τὸ ἀποτέλεσμα τῆς συμβολῆς εἶναι νὰ ἀκοῦμε ἓνα ἤχο με μία ἐνδιάμεση συχνότητα, τοῦ ὁποίου ἡ ἔνταση (τὸ πλάτος) μεταβάλλεται περιοδικὰ καὶ με σχετικὰ ἀργὸ ρυθμὸ. Αὐτὲς τὶς περιοδικὲς καὶ σχετικὰ ἀργὲς μεταβολὲς τῆς ἐντάσεως, πού εἶναι ἀποτέλεσμα τῆς συμβολῆς, τὶς ὀνομάζομε *διακροτήματα*. Τὸ ἴδιο συμβαίνει καὶ με τὰ σήματα ὑψηλῆς συχνότητας, πού φτάνουν στὸ δέκτη μας.

8·8 Ἀλλαγὴ συχνότητας με δίοδο στοιχεῖο (με φωρατῆ).

Ἐὰς δοῦμε τώρα, πῶς γίνεται αὐτὴ ἡ ἀλλαγὴ συχνότητας. Ἐὰς πάρομε τὴ συνδεσμολογία τοῦ σχήματος 8·8 α. Στὸ κύκλωμα



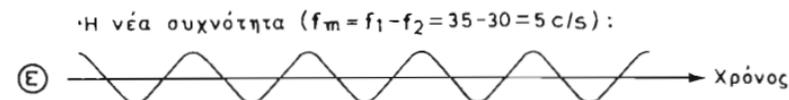
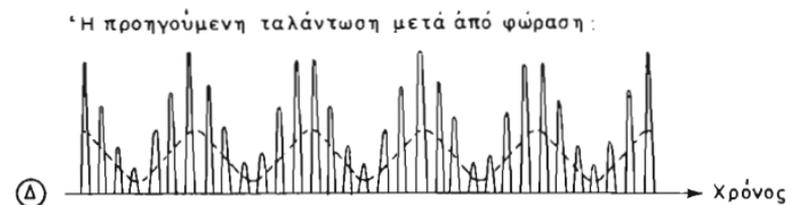
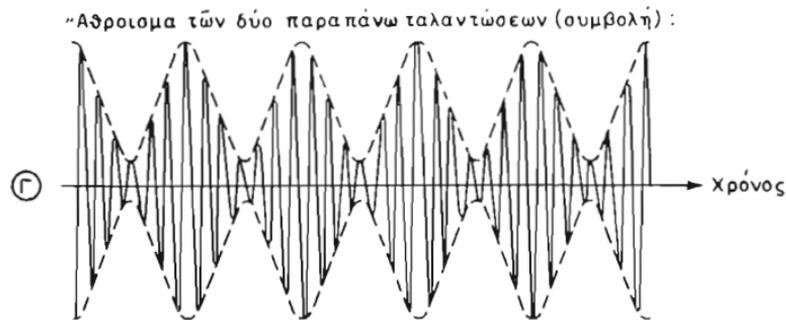
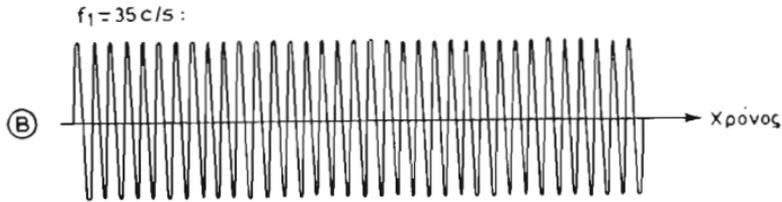
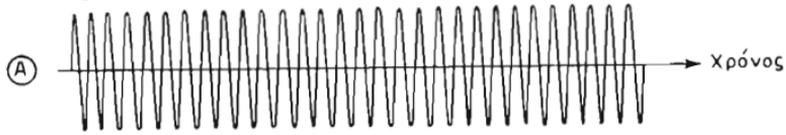
Σχ. 8·8 α.

Συμβολὴ δύο συχνοτήτων f_0 καὶ f_1 .

πού περιλαμβάνει τὴν ὠμικὴ ἀντίσταση R , διαβιβάζονται συγχρόνως (με ἠλεκτρομαγνητικὴ ἔπαγωγή) δύο ἐναλλασσόμενες τάσεις με γειτονικές συχνότητες f_0 καὶ f_1 . Καθὼς οἱ τάσεις αὐτὲς συναντοῦνται στὸ κύκλωμα R , γίνεται συμβολή. Ἐπειδὴ μάλιστα οἱ δύο συχνότητες εἶναι λίγο διαφορετικὲς, τὸ ἀποτέλεσμα τῆς συμβολῆς θὰ εἶναι διακροτήματα. Ἐὰς ἐξετάσομε κάπως ἀκριβέστερα τὸ ζήτημα τῆς συνθέσεως δύο τάσεων, χωρὶς ὥστόσο νὰ ἐπεκταθοῦμε σὲ πλήρη καὶ αὐστηρὴ ἀνάλυση τοῦ ζητήματος.

Ἐὰς σχεδιάσομε δύο τέτοιες ἐναλλασσόμενες τάσεις (καμπύλες A

καί Β στο σχήμα 8·8 β). "Αν προσθέσουμε τις στιγμιαίες τιμές, δηλαδή τις τιμές που έχουν οι δύο αυτές τάσεις σε κάθε στιγμή, βρί-



Σχ. 8·8 β.

Μηχανισμός αλλαγής συχνότητας (συμβολή, φώραση, διαχωρισμός τῆς νέας συχνότητας).

σκομε την καμπύλη Γ του σχήματος. 'Η καμπύλη αυτή δείχνει ότι το αποτέλεσμα της συμβολής είναι μία τάση με συχνότητα ανάμεσα στις δύο αρχικές συχνότητες και με πλάτος που μεταβάλλεται έτσι, ώστε να σχηματίζονται διακροτήματα.

'Εκείνο που μᾶς ενδιαφέρει ἐδῶ, είναι ἀκριβῶς ἡ περιοδική μεταβολή του πλάτους. Μία προσεκτικότερη εξέταση δείχνει ότι ἡ μεταβολή του πλάτους γίνεται με συχνότητα ἴση πρὸς τὴ διαφορά τῶν ἀρχικῶν συχνοτήτων, δηλαδή ἴση με $f_1 - f_0$. Ἐν π.χ. $f_0 = 30$ Hz καὶ $f_1 = 35$ Hz, τότε τὸ πλάτος μεταβάλλεται με συχνότητα $f_1 - f_0 = 35 - 30 = 5$ Hz (πήραμε, γιὰ εὐκολία στὴ σχεδίαση, χαμηλές συχνότητες, τὰ ἴδια ὅμως συμβαίνουν καὶ στὶς ὑψηλές συχνότητες, πού κυρίως μᾶς ενδιαφέρουν ἐδῶ).

'Απὸ ὅσα εἶπαμε ὡς τώρα, προκύπτει τὸ συμπέρασμα ὅτι ἡ συνισταμένη τάση μέσα στοῦ κύκλωμα R, τοῦ σχήματος 8·8 α, θὰ ἔχει τὴ μορφή τῆς καμπύλης Γ τοῦ σχήματος 8·8 β. Τὸ πλάτος τῆς συνισταμένης τάσεως, μετὰ τὴ συμβολή, μεταβάλλεται με τὴ συχνότητα αὐτὴ (διακοπτόμενη γραμμὴ στοῦ Γ στοῦ σχῆμα 8·8 β), οἱ μεταβολές ὅμως τοῦ πλάτους γίνονται ἐξ ἴσου πρὸς τὴ θετικὴ καὶ τὴν ἀρνητικὴ κατεύθυνση ἔτσι, ὥστε νὰ μὴν ἔχομε τελικὰ σῆμα στὴ συχνότητα f_m .

'Επειδὴ τώρα σκοπὸς μας εἶναι νὰ ἐπιτύχομε μίαν ἀλλαγὴ συχνότητας, πρέπει νὰ βροῦμε κάποιον τρόπο, πού νὰ ἀποδίδει τελικὰ ἓνα σῆμα στὴ νέα συχνότητα f_m . Ποιὸς εἶναι, ὅμως αὐτὸς ὁ τρόπος; Βλέπομε ὅτι θὰ ἀρκοῦσε ἀπλῶς νὰ ἀποκόψομε τὶς ἀρνητικὲς π.χ. ἡμιπεριόδους τῆς συνισταμένης τάσεως. Αὐτὸ ὅμως δὲν σημαίνει τίποτα ἄλλο παρὰ νὰ ὑποβάλομε τὴν τάση, πού βγαίνει ἀπὸ τὴ συμβολή, σὲ ἀνόρθωση, ἢ καλύτερα, ἀφοῦ εἴμαστε στὴν ὑψηλὴ συχνότητα, σὲ φώραση.

Φτάνομε ἔτσι στὴ συνδεσμολογία τοῦ σχήματος 8·8 γ, ὅπου ἡ ὠμικὴ ἀντίσταση R ἔχει ἀντικατασταθεῖ ἀπὸ ἓνα φωρατὴ Φ (δίοδος λυχνία ἢ κρυσταλλικὸς φωρατῆς). 'Η συμβολὴ ἀνάμεσα στὶς δύο συχνότητες f_0 καὶ f_1 γίνεται ὅπως καὶ προηγουμένως, τὸ συντονισμένο ὅμως κύκλωμα L_5C_3 δέχεται τώρα μίαν ταλάντωση, πού ἔχει τὴ μορφή τῆς καμπύλης Δ (σχ. 8·8 β). 'Η ταλάντωση αὐτὴ περιλαμβάνει, χάρις στὴ φώραση, μόνο θετικὲς ἡμιπεριόδους, εἶναι δηλαδή ὅπως ἡ τάση πού παίρνομε ὕστερα ἀπὸ ἀπλή ἀνόρθωση ἢ ἡμι-

ανόρθωση, με τη διαφορά ότι το πλάτος των ανορθωμένων ημιπεριόδων μεταβάλλεται. Η μεταβολή του πλάτους γίνεται τώρα προς τη θετική μόνο κατεύθυνση, και με τη συχνότητα $f_m = f_1 - f_0$ των διακροτημάτων.

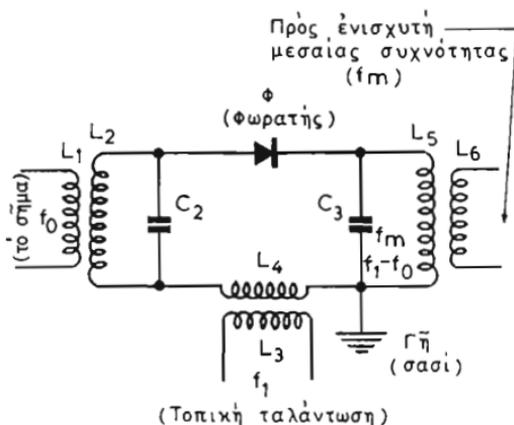
Με την ίδια συχνότητα μεταβάλλεται και η μέση τιμή των ανορθωμένων ημιπεριόδων (διακοπτόμενη γραμμή στο Δ, στο σχήμα 8.8 β). Η μεταβολή αυτή της μέσης τιμής αποτελεί το ζητούμενο σήμα στη νέα συχνότητα f_m (καμπύλη Ε, στο σχήμα 8.8 β).

Ο διαχωρισμός της νέας συχνότητας γίνεται με το συντονισμένο κύκλωμα L_5C_3 , που έχει ακριβώς συντονιστεί στη συχνότητα f_m και λειτουργεί έτσι, ώστε να διεγείρεται στη συχνότητα αυτή και συγχρόνως να δίνει ελεύθερη διάβαση προς τη γη σε όλες τις άλλες συχνότητες.

8.9 Ύπερετεροδύναος δέκτης.

Στην αρχή του κεφαλαίου αυτού είχαμε δώσει ένα παράδειγμα πολύ απλού ραδιοφωνικού δέκτη με απ' ευθείας φώραση. Όπως είπαμε όμως, το σήμα της κεραίας είναι συνήθως πολύ ασθενές, και χρειάζεται να το ενισχύσουμε, προτού το υποβάλουμε σε φώραση. Άρα, ένας πληρέστερος δέκτης, αν και ακόμα αρκετά απλός, μπορεί να αποτελείται από έναν ενισχυτή υψηλής συχνότητας, ένα φωρατή και έναν ενισχυτή χαμηλής συχνότητας. Αυτός είναι ο λεγόμενος δέκτης με απ' ευθείας ενίσχυση Υ.Σ. όπως βλέπουμε στο σχήμα 8.9 α.

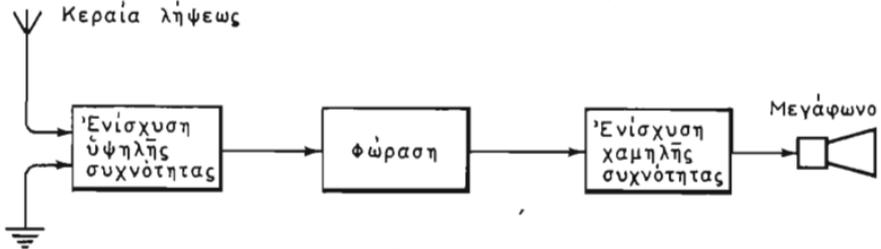
Για να επιτύχουμε την έκλογή του σταθμού, που θέλουμε να ακούσουμε, καθώς και την ενίσχυση υψηλής συχνότητας, πρέπει να χρησιμοποιήσουμε συντονισμένα κυκλώματα. Κάθε τέτοιο κύκλωμα αποτελείται γενικά από ένα πηνίο με σταθερή αυτεπαγωγή L και ένα



Σχ. 8.8 γ.

Άλλαξη συχνότητας με δίοδο στοιχείο (με φωρατή).

μεταβλητό πυκνωτή C . Οί μεταβλητοί πυκνωτές είναι συναρμολογημένοι πάνω σέ κοινό άξονα έτσι, ώστε όλα τά συντονισμένα κυκλώματα νά συντονίζονται συγχρόνως στήν κατάλληλη συχνότητα. Όταν αναζητούμε ένα σταθμό έκπομπής, αλλάζουμε τή συχνότητα συντονισμού, στρέφοντας τόν άξονα τών μεταβλητῶν πυκνωτῶν.



Σχ. 8-9 α.

Γενικό διάγραμμα δέκτη με άπ' ευθείας ένισχυση Υ.Σ.

Τά βασικά μειονεκτήματα ενός δέκτη με άπ' ευθείας ένισχυση Υ.Σ. πηγάζουν άκριβώς άπό αύτή τή μεταβολή τής συχνότητας συντονισμού σέ όλα τά συντονισμένα κυκλώματα τοῦ τμήματος ύψηλης συχνότητας. Πραγματικά, ή μεταβολή τής συχνότητας έχει τó έξής διπλό άποτέλεσμα:

Πρῶτο, ή αντίσταση άπωλειῶν r κάθε συντονισμένου κυκλώματος αλλάζει με τή συχνότητα. Άρα, μεταβάλλεται ό συντελεστής ποιότητας τοῦ κυκλώματος $Q = \omega \cdot L/r$. Αυτό επιδρά πάνω στήν επιλογή μιᾶς βαθμίδας Υ.Σ. κατά τέτοιο τρόπο, ώστε ό δέκτης νά μήν έχει μία σταθερή επιλογή για όλες τες συχνότητες συντονισμού, πράγμα βέβαια δυσάρεστο.

Δεύτερο, ή ισοδύναμη αντίσταση κάθε παράλληλου συντονισμένου κυκλώματος ($R_{\pi} = L/C \cdot r$), μεταβάλλεται με τή συχνότητα, όχι μόνο γιατί αλλάζει ή αντίσταση άπωλειῶν r , αλλά και γιατί συγχρόνως μεταβάλλεται και ή μεταβλητή χωρητικότητα C . Έτσι, ό ενισχυτής Υ.Σ. δίνει διαφορετική ένισχυση άπό μία συχνότητα συντονισμού σέ άλλη, πράγμα επίσης ανεπιθύμητο.

Τά μειονεκτήματα αυτά θά εξαφανίζονταν, αν ό δέκτης μπορούσε νά λειτουργεί σέ σταθερή συχνότητα. Τότε όμως, πώς θά ήταν δυνατό νά μπορούμε νά πάρουμε, με ένα και τόν ίδιο δέκτη, σταθμούς με διαφορετικές συχνότητες έκπομπής;

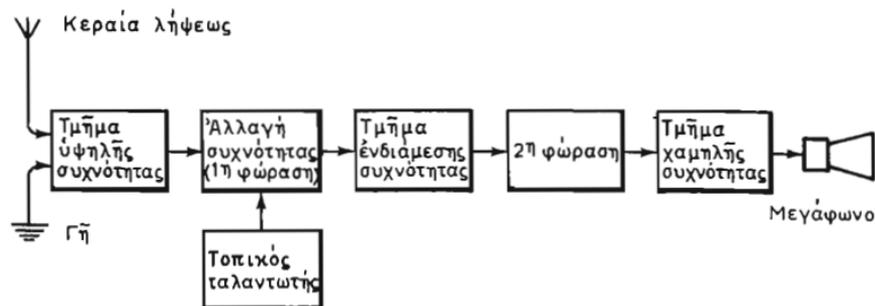
Ή λύση, ώστόσο, ύπάρχει. Διατηρούμε βέβαια ένα μέρος τοῦ

τμήματος ένισχύσεως Υ.Σ., άμέσως μετά την κεραία λήψεως, όπου ή συχνότητα συντονισμού παραμένει μεταβλητή, τó μέρος όμως αυτό τó περιορίζομε σημαντικά. "Υστερα, έπιβάλλομε στό ύψισυχο σήμα μία άλλαγή συχνότητας, σύμφωνα με όσα είπαμε στην προηγούμενη παράγραφο. 'Η άλλαγή συχνότητας πραγματοποιείται με τή βοήθεια ένός τοπικού ταλαντωτή κατά τέτοιον τρόπο, ώστε να παράγεται μία ένδιάμεση συχνότητα σταθερή, πάντοτε ή ίδια, όποιαδήποτε και άν είναι ή άρχική ύψηλή συχνότητα συντονισμού.

'Από κεί και πέρα, γίνεται, ως συνήθως, φώραση και ένίσχυση χαμηλής συχνότητας.

"Ενας δέκτης, πού ή λειτουργία του βασίζεται στην άλλαγή συχνότητας, όπως τó εξηγήσαμε παραπάνω, ονομάζεται, όπως είπαμε, *ύπερετερόδυνος δέκτης* (Superheterodyne Receiver). 'Η όνομασία αυτή δικαιολογείται ως εξής: "Όπως είπαμε στην παράγραφο 8·6, ή άλλαγή συχνότητας ονομάζεται και έτεροδύνωση ή και φώραση. 'Η λειτουργία αυτή άκολουθείται, στις έπόμενες βαθμίδες τού δέκτη, από μία άλλη φώραση, αυτή πού ξεχωρίζει τή χαμηλή από την ύψηλή συχνότητα. "Έχομε λοιπόν μία πρώτη έτεροδύνωση ή πρώτη φώραση και μία δεύτερη φώραση. Στη δεύτερη φώραση δέν χρησιμοποιείται τοπικός ταλαντωτής και συμβολή, αλλά ή ένδιάμεση συχνότητα, πού ύφίσταται τή δεύτερη φώραση, περιέχει ήδη τή χαμηλή συχνότητα με μορφή διαμορφώσεως. Μπορούμε λοιπόν να πούμε ότι έχομε δύο έτεροδυνώσεις. Γι' αυτό ένα τέτοιο δέκτη τόν λέμε ύπερετερόδυνο.

Τό γενικό διάγραμμα ένός ύπερετερόδυνου δέκτη φαίνεται στό σχήμα 8·9 β. Στο σχήμα διακρίνομε σέ γενικές γραμμές τά διάφορα τμήματα τού δέκτη, όπως τά περιγράψαμε προηγουμένως.



Σχ. 8·9 β.

Γενικό διάγραμμα ύπερετερόδυνου δέκτη Α.Μ.

8 · 10 Δέκτες για διαμόρφωση συχνότητας.

Όπως είδαμε στο Κεφάλαιο 6 (περί πομπῶν), υπάρχουν δύο μεγάλες κατηγορίες πομπῶν, ανάλογα με τὴ διαμόρφωση τῶν κυμάτων. Οἱ πομποὶ AM καὶ οἱ πομποὶ FM. Γιὰ νὰ γίνῃ ἀποδιαμόρφωση τῶν κυμάτων στὸ δέκτη χρειάζεται ἡ φώραση. Ἡ φώραση στοὺς δέκτες, πού είδαμε στὶς προηγούμενες παραγράφους, κάνει ἀποδιαμόρφωση AM, γι' αὐτὸ καὶ οἱ δέκτες εἶναι AM. Ἐδῶ θὰ δοῦμε καλύτερα τὴ φώραση πού ὑπάρχει στοὺς δέκτες FM, πού εἶναι γενικὰ ὑπερετερόδουνοι. Ἡ Υ.Σ. μιᾶς ἐκπομπῆς με διαμόρφωση συχνότητας ἀνήκει συνήθως στὴν περιοχὴ τῶν 100 MHz (ὑπερβραχέα κύματα). Τὸ τμήμα Υ.Σ. ἐνὸς ὑπερετερόδουνου δέκτη FM περιλαμβάνει γενικὰ μία τουλάχιστο βαθμίδα ἐνισχύσεως Υ.Σ. Γιὰ τὴν ἀλλαγὴ συχνότητας χρησιμοποιεῖται συνήθως χωριστὸς τοπικὸς ταλαντωτῆς. Ἡ ἐνδιάμεση συχνότητα ἔχει ὑψηλὴ τιμὴ, γύρω στοὺς 10 MHz. Στὴ συνέχεια ἀκολουθεῖ τὸ τμήμα ἐνδιάμεσης συχνότητας. Ἡ ζώνη διαβάσεως τῶν μετασχηματιστῶν μεσαίας συχνότητας εἶναι πολὺ μεγαλύτερη ἀπὸ ὅ,τι στοὺς δέκτες γιὰ διαμόρφωση πλάτους AM, συνήθως 200 kHz. Αὐτὸ ὀφείλεται στὸ γεγονός ὅτι ἡ διαμόρφωση συχνότητας ἀντιστοιχεῖ σὲ ἐκτεταμένο φάσμα συχνοτήτων, πού δὲν θέλομε ἄλλωστε νὰ τὸ περιορίσουμε πολὺ γιὰ νὰ μὴν βλάψομε τὴν πιστότητα τοῦ δέκτη. Ἀκολουθεῖ ἡ φώραση. Τέλος, τὸ σῆμα χαμηλῆς συχνότητας, πού βγαίνει ἀπὸ τὴ φώραση, διεγείρει τὸν ἐνισχυτὴ Χ.Σ. τοῦ δέκτη.

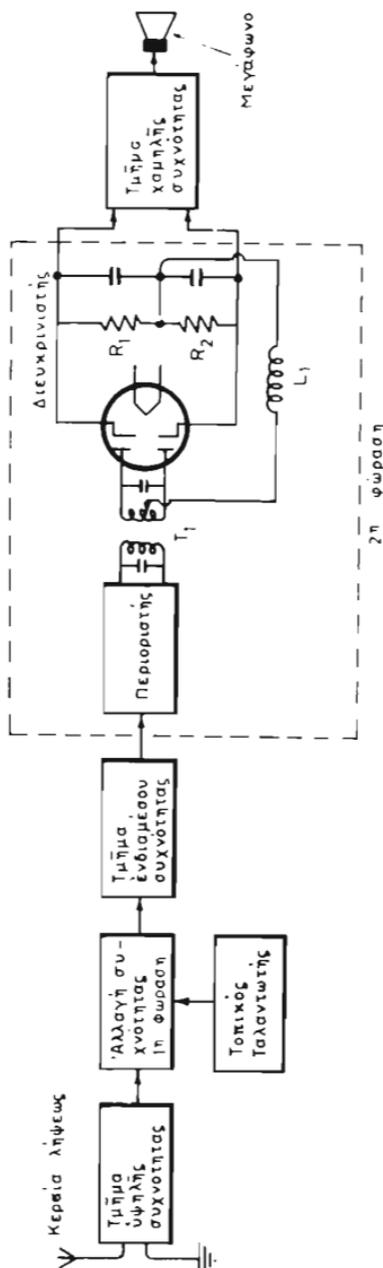
Ἄν ἐξαιρέσουμε τὴ φώραση, ὅλα τὰ ἄλλα τμήματα ἐνὸς δέκτη, γιὰ διαμόρφωση συχνότητας FM, εἶναι οὐσιαστικὰ ὅμοια με τὰ ἀντίστοιχα τμήματα ἐνὸς δέκτη γιὰ διαμόρφωση πλάτους AM.

Ἐκεῖνο πού διαφέρει βασικὰ σὲ ἓνα δέκτη γιὰ διαμόρφωση συχνότητας εἶναι τὸ τμήμα φωράσεως. Ἡ συνδεσμολογία τοῦ σχήματος 8 · 10 ἀποτελεῖ τυπικὸ παράδειγμα, πού δείχνει ἀναλυτικότερα τὴ φώραση. Τὸ τμήμα φωράσεως ἀποτελεῖται, στὸ παράδειγμα τοῦ σχήματος, ἀπὸ ἓνα περιοριστὴ καὶ ἓνα διευκρινιστὴ. Ἐξετάζομε κάπως καλύτερα αὐτὲς τὶς δύο βαθμίδες.

Ὁ περιοριστὴς ἔχει σκοπὸ νὰ ξαναδίνει στὸ ὑψίσυχο σῆμα (ἐνδιάμεσης συχνότητας) ἓνα σταθερὸ πλάτος, ἀπαλλάσσοντάς το ἀπὸ κάθε μεταβολὴ πλάτους (πού μπορεῖ νὰ προέρχεται εἴτε ἀπὸ τὶς

συνθήκες διαδόσεως τῶν κυμάτων, είτε ἀπὸ ἐπίδραση παρασιτών). Ἡ λειτουργία ἑνὸς περιοριστῆ με τρίοδο ἢ πεντάοδο λυχνία βασίζεται στὰ φαινόμενα κόρου καὶ ἀποκοπῆς. Ὄταν τὸ σῆμα εἰσόδου (στὴν ἐσχάρα ἐλέγχου) ὑπερβῆ μία ὀριακὴ τιμὴ πρὸς τὶς θετικὲς τάσεις, ἡ λυχνία φτάνει σὲ ἕνα εἶδος κόρου καὶ ἡ ἀνοδικὴ τάση σταθεροποιεῖται, χωρὶς πιά νὰ ἀκολουθεῖ τὴ μεταβολὴ τοῦ σήματος εἰσόδου. Τὸ ἴδιο συμβαίνει καὶ ὅταν τὸ σῆμα εἰσόδου ὑπερβῆ μία ἀρνητικὴ ὀριακὴ τιμὴ, ἴση με τὴν πόλωση ἀποκοπῆς τῆς λυχνίας. Τότε, τὸ ἀνοδικὸ ρεῦμα παραμένει σταθερὰ περιπυρο μηδενικὸ καὶ ἡ ἀνοδικὴ τάση σταθεροποιεῖται καὶ πάλι.

Ἡ ἐξοδος τοῦ περιοριστῆ διεγείρει τὴν εἴσοδο τοῦ διευκρινιστῆ. Ἡ συνδεσμολογία τοῦ σχήματος 8·10 περιλαμβάνει μίαν διπλὴ δίοδο λυχνίας, πού τὸ κάθε δίοδο μῆμα τῆς λειτουργεῖ ὡς συνηθισμένη φωράτρια πλάτους. Ὄταν τὸ σῆμα εἰσόδου ἔχει ἀκριβῶς τὴν τιμὴ τῆς φέρουσας συχνότητας, ἡ φώραση δίνει πάνω στὶς ἀντιστάσεις R_1 καὶ R_2 δύο συνεχεῖς τάσεις, ἴσες καὶ ἀντίθετες, ὅποτε τὸ ἄθροισμά τους ἰσοῦ-



Σχ. 8-10. Γενικὸ διάγραμμα ὑπερετεροδύνου δέκτη FM.

ται με μηδέν. Αν όμως η συχνότητα του σήματος εισόδου είναι μεγαλύτερη ή μικρότερη από τη φέρουσα, τότε τα συντονισμένα κυκλώματα T_1 , που βρίσκονται σε κατάλληλη σύζευξη μεταξύ τους, έπεμβαίνουν κατά τέτοιο τρόπο μέσω του αποπνικτικού πηνίου L_1 , ώστε τα δύο τμήματα της φωράτριας να δέχονται τάσεις διαφορετικού πλάτους. Η φώραση δίνει λοιπόν πάνω στις αντίστασεις R_1 και R_2 δύο άνισες συνεχείς τάσεις, που η διαφορά τους (θετική ή αρνητική) είναι ανάλογη προς τη διαφορά μεταξύ της συχνότητας του σήματος εισόδου και της τιμής της φέρουσας συχνότητας. Έτσι οι μεταβολές συχνότητας, που οφείλονται στη διαμόρφωση συχνότητας, μετατρέπονται μετά τη φώραση σε μεταβολές τάσεως Χ.Σ., που παρακολουθούν το ρυθμό της διαμορφώσεως.

8 · 11 Έρωτήσεις.

1. Τί δουλειά κάνει ένας δέκτης;
2. Σχεδιάστε ένα στοιχειώδη δέκτη.
3. Ποῦ μπορεί να χρησιμοποιηθεῖ τὸ σήμα μετὰ τὸ φωρατὴ ἐνὸς δέκτη;
4. Τί λέγεται ἐπιλογή ἐνὸς δέκτη;
5. Τί λέγεται πιστότητα ἐνὸς δέκτη;
6. Πῶς κατορθώνομε νὰ πιάσομε στὴν κεραία τοῦ δέκτη τὴ συχνότητα ποῦ θέλομε καὶ ὄχι ἄλλες;
7. Τί λέγεται ἑτεροδύναμη;
8. Δώστε ἕνα στοιχειῶδες διάγραμμα μίξεως δύο συχνοτήτων.
9. Τί εἶναι ἡ ἐνδιάμεση συχνότητα καὶ πῶς γίνεται ὁ διαχωρισμὸς τῆς ἀπὸ τῆς ἄλλης δύο συχνοτήτες;
10. Τί λέγεται ὑπερετερόδυνος δέκτης;
11. Ποιὸς εἶναι ὁ σκοπὸς τοῦ τοπικοῦ ταλαντωτῆ ὑπερετερόδυνου δέκτη;
12. Σχεδιάστε ἕνα στοιχειῶδες διάγραμμα ὑπερετερόδυνου δέκτη.

ΚΥΚΛΩΜΑΤΑ ΑΥΤΟΜΑΤΙΣΜΩΝ

9·1 Εισαγωγή.

Ἐς κάνομε μία ἀνακεφαλαίωση τῶν θεμάτων ποῦ ἐξετάσαμε μέχρι τώρα, νὰ δοῦμε ποῦ θὰ τὰ χρησιμοποιοῦσμε στὶς διάφορες συσκευές καὶ ὄργανα ἑνὸς πλοίου.

Στὰ δύο πρῶτα κεφάλαια ἐξετάσαμε τὰ θεμελιώδη ἠλεκτρονικὰ στοιχεῖα, ποῦ ἀποτελοῦν τὴ βάση μιᾶς ἠλεκτρονικῆς συσκευῆς. Αὐτὰ εἶναι οἱ κρυσταλλολυχνίες καὶ οἱ λυχνίες κενοῦ. Μὲ τὴ βοήθειά τους μποροῦμε νὰ κατασκευάσομε πιὸ σύνθετες μονάδες, ὅπως οἱ ταλαντωτές, ποῦ χρησιμοποιοῦνται στοὺς πομποὺς ἀσυρμάτων καὶ ραδιοτηλεφῶνων, οἱ φωρατές, ποῦ χρησιμοποιοῦνται στοὺς δέκτες, καὶ τὰ τροφοδοτικά, ποῦ χρησιμοποιοῦνται στοὺς πομποὺς καὶ στοὺς δέκτες. Ἐξετάσαμε ἐπίσης καὶ τοὺς ἐνίσχυτές, ποῦ ἀποτελοῦνται κυρίως ἀπὸ λυχνίες καὶ κρυσταλλολυχνίες, καὶ χρησιμοποιοῦνται στοὺς πομποὺς καὶ στοὺς δέκτες. Οἱ ἐνίσχυτές χρησιμοποιοῦνται ἐπίσης καὶ σὲ μία ἄλλη μεγάλη κατηγορία ἠλεκτρονικῶν κυκλωμάτων τῶν πλοίων. Αὐτὰ εἶναι τὰ κυκλώματα τηλεχειρισμοῦ καὶ αὐτοματισμοῦ. Στὰ κυκλώματα αὐτὰ χρησιμοποιεῖται ἐπίσης καὶ μία ἄλλη ὁμάδα μονάδων, ὅπως εἶναι οἱ βηματιστικοὶ καὶ σύγχρονοι μεταδότες καὶ δέκτες, τὰ συγχρονοδιαφορικά καὶ οἱ συγχρονομετασχηματιστές, ποῦ θὰ ἐξετάσομε στὴ συνέχεια.

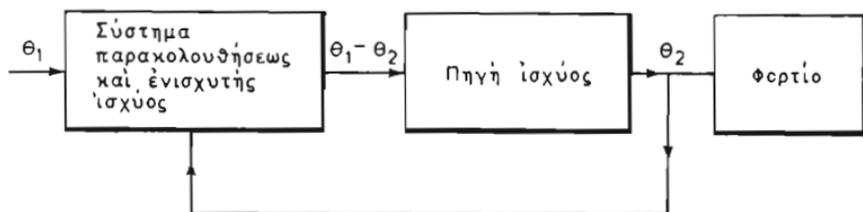
Κατὰ τὰ τελευταῖα χρόνια, λόγω τῶν διαρκῶς αὐξανόμενων ἀπαιτήσεων τῆς σύγχρονης τεχνολογίας, δόθηκε μεγάλη ὥθηση στὴν ἀνάπτυξη τῶν συστημάτων παρακολουθήσεως, γιὰ τὴ δυνατότητα ἐλέγχου τῆς κινήσεως ἀντικειμένων ἢ μηχανισμῶν μὲ τὴ μεγαλύτερη δυνατὴ ἀκρίβεια.

Τὰ συστήματα αὐτὰ εἶναι συνδυασμὸς μηχανισμῶν, ἱκανὸς νὰ μεταδώσει σ' ἓνα ἀντικείμενο, ποῦ ὀνομάζεται *φορτίο*, μία ἐπιθυμητὴ κίνηση.

Στὰ συστήματα αὐτὰ ἐκτελεῖται περισσότερο ἐνίσχυση ἰσχύος,

ή όποία έλέγχει τήν πηγή ισχύος, πού χρησιμοποιείται στή συνείχεια γιά τή μετάδοση τής έπιθυμητής κινήσεως στό φορτίο.

Βασικό διάγραμμα ένός τέτοιου συστήματος, πού χρησιμοποιείται π.χ. γιά τή στροφή φορτίου, ύπάρχει στό σχήμα 9·1.



Σχ. 9·1.

Βασικό διάγραμμα κυκλώματος παρακολουθήσεως.

Στό σχήμα αυτό ή έπιθυμητή στροφή τοῦ φορτίου κατά γωνία θ_1 εισάγεται στό σύστημα παρακολουθήσεως.

Σ' αυτό εισάγεται και γωνία θ_2 , κατά τήν όποία είναι έστραμμένο τό φορτίο. Ή έξοδος από τό σύστημα παρακολουθήσεως $\theta_1 - \theta_2$ έλέγχει τήν πηγή ισχύος, πού αναγκάζει τό φορτίο νά στραφεί.

Όταν ή γωνία θ_2 γίνει ίση μέ τήν έπιθυμητή θ_1 , ή διαφορά $\theta_1 - \theta_2$ γίνεται μηδέν. Έτσι παύει ή παραπέρα στροφή τοῦ φορτίου.

Ή έπιθυμητή κίνηση καλεϊται *είσοδος τοῦ συστήματος*, ή εκτελούμενη κίνηση *έξοδος*, τό ποσοστό τής έξόδου, πού τροφοδοτείται στό σύστημα παρακολουθήσεως, καλεϊται *ανάδραση*, και ή διαφορά εισόδου και έξόδου καλεϊται *σφάλμα*. Τό σύστημα παρακολουθήσεως πού ύπολογίζει κάθε φορά τή διαφορά $\theta_1 - \theta_2$ είναι τό *συγχρονοδιαφορικό* (παράγρ. 9·8).

Συστήματα αυτόματης παρακολουθήσεως χρησιμοποιούνται σήμερα π.χ. στους αυτόματους πηδαλιούχους τῶν πλοίων.

Σ' αυτούς, γιά τόν καθορισμό τής πορείας, πού πρόκειται νά τηρηθεϊ, χρησιμοποιείται γυροσκόπιο. Ή πορεία αυτή χρησιμεύει ώς είσοδος στό μηχανισμό παρακολουθήσεως.

Ή διαφορά πού προκύπτει μεταξύ τής πορείας πού καθορίστηκε από τό γυροσκόπιο και αὐτῆς πού τηρεϊται από τό πλοίο, χρησιμεύει γιά τόν έλεγχο τής πηγῆς ισχύος. Ή πηγή ισχύος στρέφει κατάλληλα τό πηδάλιο, ώστε τό σφάλμα νά γίνει μηδέν, όποτε τό πλοίο ακολουθεϊ τήν πορεία πού καθορίζεται από τό γυροσκόπιο.

Στήν παραπάνω περίπτωση, ή αντίδραση του πηδαλιού άπαιτεί ήνίσχυση τής ισχύος του σήματος «είσόδου» του γυροσκοπίου και του σήματος «έξόδου» του πηδαλιού.

Έκτός άπό τήν περίπτωση του αυτόματου πηδαλιούχου, συστήματα αυτόματης παρακολούθησεως χρησιμοποιούνται και για τον έλεγχο τής κινήσεως του κινητήρα παρακολούθησεως στις γυροπυξίδες, όπως και σε πολλές άλλες εφαρμογές.

9.2 Κατηγορίες συστημάτων αυτόματης παρακολούθησεως.

Τά συστήματα παρακολούθησεως είναι συνήθως δύο ειδών:

α) Άναλόγως τής χρήσεώς τους.

Έτσι έχουμε χρήση συστημάτων αυτόματης παρακολούθησεως σε συστήματα τηλεκινήσεως, ήνισχύσεως ισχύος, ήνδεικτικών όργάνων κ.λπ.

β) Άναλόγως τών χαρακτηριστικών τής κινητήριας δυνάμεως, όποτε έχουμε συστήματα αυτόματης παρακολούθησεως ήλεκτρικά, υδραυλικά ή συνδυασμό τους.

9.3 Άπλά συστήματα παρακολούθησεως.

Ένα άπλό σύστημα παρακολούθησεως δείχνει τó σχήμα 9.3.

Χρησιμοποιείται σε πάρα πολλές εφαρμογές (πορειογράφους κ.λπ.), όταν ή ροπή στρέψεως σύγχρονου δέκτη δέν είναι ίκανή να στρέφει τó φορτίο (για τούς σύγχρονους δέκτες και γενικά για σύγχρονα συστήματα μεταδόσεως κινήσεως θά μιλήσομε στή συνέχεια).

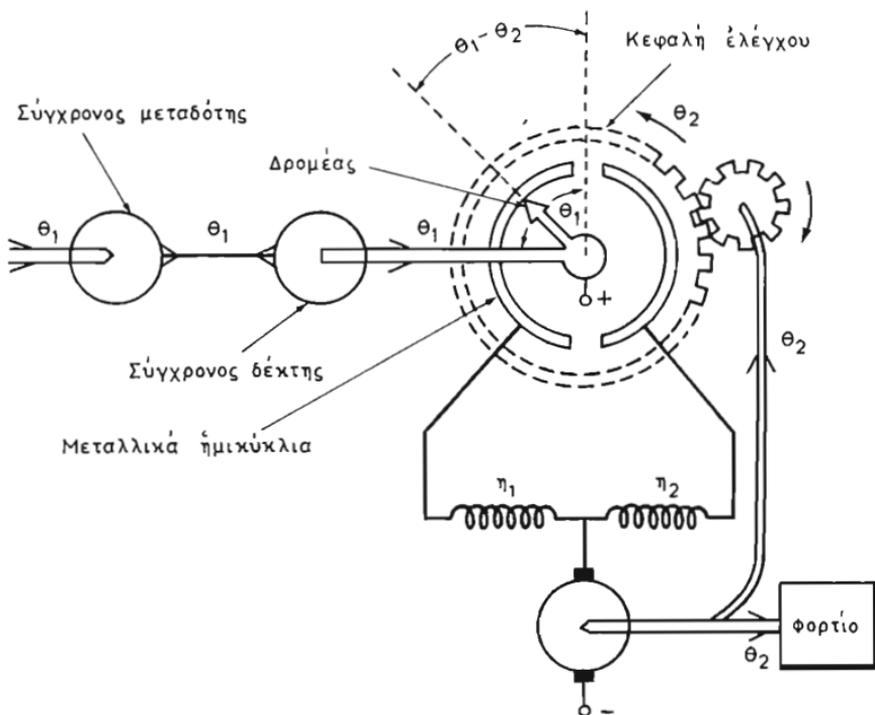
Στήν περίπτωση πάλι αυτή εκτελείται ήνίσχυση ισχύος, όποτε τó φορτίο στρέφεται με τή χρησιμοποίηση κινητήρα παρακολούθησεως. Για τή μέτρηση του σφάλματος και τον έλεγχο τής πηγής ισχύος, χρησιμοποιείται ή κεφαλή έλέγχου. Άποτελείται βασικά άπό δύο μεταλλικά ήμικύκλια, στερεωμένα σε δίσκο άπό μονωτικό. Πάνω στα ήμικύκλια αυτά στρέφεται ó δρομέας, πού είναι, στή θέση εύθυγραμμίσεως, κατακόρυφος και δέν έφάπτεται σε κανένα άπό τά ήμικύκλια. Η γωνία Θ_1 , κατά τήν όποία πρέπει να στραφεί τó φορτίο, μεταδίδεται άπό σύγχρονο μεταδότη σε σύγχρονο δέκτη.

Ό δρομέας του σύγχρονου δέκτη στρέφει κατόπιν τó δρομέα τής κεφαλής έλέγχου κατά τή γωνία Θ_1 άπό τή θέση τής εύθυγραμ-

μίσεως, έστω αντίστροφα από τη φορά τών δεικτών του ρολογιού. Στο δρομέα συνδέεται ό ένας άκροδέκτης τής πηγής τροφοδοτήσεως.

Στά δύο ήμικύκλια συνδέονται τά πηνία η_1 και η_2 του κινητήρα παρακολουθήσεως, και στή μία ψήκτρα του κινητήρα ό άλλος άκροδέκτης τής πηγής.

"Όταν ό δρομέας κλείσει έπαφή με τó ένα από τά ήμικύκλια, όπως στο σχήμα 9·3, ό κινητήρας παρακολουθήσεως θά τροφο-



Σχ. 9·3.

‘Απλουστευμένο κύκλωμα συστήματος παρακολουθήσεως με κεφαλή έλέγχου.

δοτηθεί μέσω του ενός σε σειρά πηνίου διεγέρσεως η_2 και θά κινηθεί στρέφοντας τó φορτίο πρós τήν έπιθυμητή θέση. Συγχρόνως, μέσω όδοντωτών τροχών στρέφεται από τόν κινητήρα και ό δίσκος τής κεφαλής έλέγχου, πάνω στον όποιο είναι στερεωμένα τά μεταλλικά ήμικύκλια.

"Αν Θ_2 είναι ή κίνηση του φορτίου κάθε στιγμή, τότε ή γωνία

μεταξύ δρομέα και άνω διακένου θα ισούται με τη διαφορά $\Theta_1 - \Theta_2$.

Όταν τὸ φορτίο ἐκτελέσει τὴν ἐπιθυμητὴ κίνηση, δηλαδή ὅταν ἡ Θ_2 γίνει ἴση με τὴ Θ_1 , τότε τὸ ἄνω διάκενο θὰ συμπέσει καὶ πάλι με τὴ θέση τοῦ δρομέα, ὁπότε ἡ τροφοδότηση τοῦ κινητήρα θὰ διακοπεί, με ἀποτέλεσμα τὴν κράτηση κινητήρα καὶ φορτίου.

Ἄν ἐπιθυμοῦμε νὰ γίνει ἡ στροφή πρὸς τὴν ἄλλη κατεύθυνση, ὁ δρομέας θὰ κλείσει ἐπαφὴ με τὸ ἄλλο ἡμικύκλιο, ὁπότε ὁ κινητήρας θὰ τροφοδοτηθεῖ μέσω τοῦ πηνίου η_2 , με συνέπεια νὰ στραφεῖ ἀντίθετα.

9.4 Τηλεχειρισμός.

Συχνὰ εἶναι ἀναγκαία ἡ μετάδοση μηχανικῆς κινήσεως ἀπὸ ἓνα σημεῖο σὲ ἄλλο, πού βρίσκεται σὲ ἀρκετὴ ἀπόσταση ἀπὸ τὸ πρῶτο.

Ἐφαρμογές τέτοιων περιπτώσεων, μεταδόσεως μηχανικῆς κινήσεως ἀπὸ ἀπόσταση συναντᾶμε πάρα πολλές στὰ πλοῖα.

Πιο κάτω ἀναφέρονται ὀρισμένα κλασσικὰ παραδείγματα ἐφαρμογῶν τηλεχειρισμῶν καὶ τηλενδείξεων στὰ πλοῖα:

α) Τηλεχειρισμὸς τοῦ μηχανισμοῦ περιστροφῆς πηδαλίου, ἀπὸ τὸ οἰακοστρόφιο πού βρίσκεται στὴ γέφυρα.

β) Ἀναμετάδοση τῆς πραγματικῆς γωνίας στροφῆς τοῦ πετρύγιου πηδαλίου στὴ γέφυρα (διαμέρισμα πηδαλιουχίας).

γ) Ἀναμετάδοση τῆς γωνίας περιστροφῆς τοῦ ἀνεμολογίου, ἀπὸ τὴ γυροσκοπικὴ πυξίδα τοῦ πλοίου στοὺς διάφορους ἐπαναλήπτες.

δ) Ἀναμετάδοση τῆς γωνίας περιστροφῆς τῆς κεραίας Radar τοῦ πλοίου στὸν ἐνδείκτη PPI, πού βρίσκεται στὴ γέφυρα.

ε) Ἀναμετάδοση τῶν στροφῶν τῆς ἕλικας ἀνὰ λεπτό ἀπὸ τὸν ἑλικοφόρο ἄξονα πρὸς τὴ γέφυρα καὶ τὸ μηχανοστάσιο.

στ) Ἀναμετάδοση, ἀπὸ τὴ γέφυρα πρὸς τὸ μηχανοστάσιο, τῶν ἐντολῶν κινήσεως ἕλικας (τηλέγραφος μηχανῆς) καὶ λήψη στὴ γέφυρα τῆς σχετικῆς ἀπαντήσεως τοῦ μηχανοστασίου.

Τὰ συστήματα τηλεχειρισμῶν πού χρησιμοποιοῦν τὰ πλοῖα εἶναι ἠλεκτροκίνητα ἢ ὑδραυλικά, ἐνῶ τὰ συστήματα τηλενδείξεων εἶναι κατὰ κανόνα ἠλεκτροκίνητα.

Ἐπίσης, σὲ πλοῖα μικρῆς χωρητικότητας (π.χ. ρυμουλκὰ) χρη-

σιμοποιοῦνται συστήματα τηλεχειρισμοῦ με̐ συρματοσχοινα, ἀλυσίδες ἢ ἀρθρωτές ἀξόνων, κυρίως γιὰ τὸν τηλεχειρισμὸ τοῦ μηχανισμοῦ πηδάλιου, ὅπως καὶ γιὰ τὸν τηλεχειρισμὸ τῶν τηλεγράφων μεταβιβάσεως διαταγῶν ἀπὸ τῆ γέφυρα στὸ μηχανοστάσιο.

Στὰ ἠλεκτροκίνητα συστήματα μεταδόσεως, ὁ μεταδότης (ἢ πομπὸς) μετατρέπει τῆ μηχανικὴ κίνηση σὲ ἠλεκτρικὸ σῆμα, ποῦ μεταδίδεται στὸ δέκτη.

Ὁ δέκτης, ἐξ ἄλλου, δεχόμενος τὸ σῆμα αὐτὸ ἀπὸ τὸ μεταδότη, τὸ μετατρέπει σὲ μηχανικὴ κίνηση.

Προκειμένου περὶ μεταδόσεως γωνιῶν, ὁ δέκτης στρέφει βελόνα ἢ δίσκο, με̐ ὑποδιαίρέσεις σὲ μοῖρες, καὶ δείχνει ἔτσι τῆ γωνία, κατὰ τὴν ὁποία στράφηκε ὁ μεταδότης.

Τὰ συστήματα ἠλεκτρικῆς μεταδόσεως, ποῦ χρησιμοποιοῦνται στὰ πλοῖα, εἶναι δύο εἰδῶν:

- α) Βηματιστικοὶ μεταδότες καὶ δέκτες.
- β) Σύγχρονοι μεταδότες καὶ δέκτες.

9·5 Τηλεχειρισμὸς με̐ σύστημα βηματιστικοῦ μεταδότη καὶ δέκτη.

Τὸ βηματιστικὸ σύστημα τηλεχειρισμοῦ λειτουργεῖ με̐ συνεχῆς ρεῦμα.

Γιὰ νὰ γίνεῖ εὐκολότερα κατανοητὸς ὁ τρόπος λειτουργίας τοῦ συστήματος αὐτοῦ, κρίνεται σκόπιμο νὰ ἐπεξηγηθεῖ ἡ ἀρχή, στὴν ὁποία βασίζεται τὸ ὅλο σύστημα.

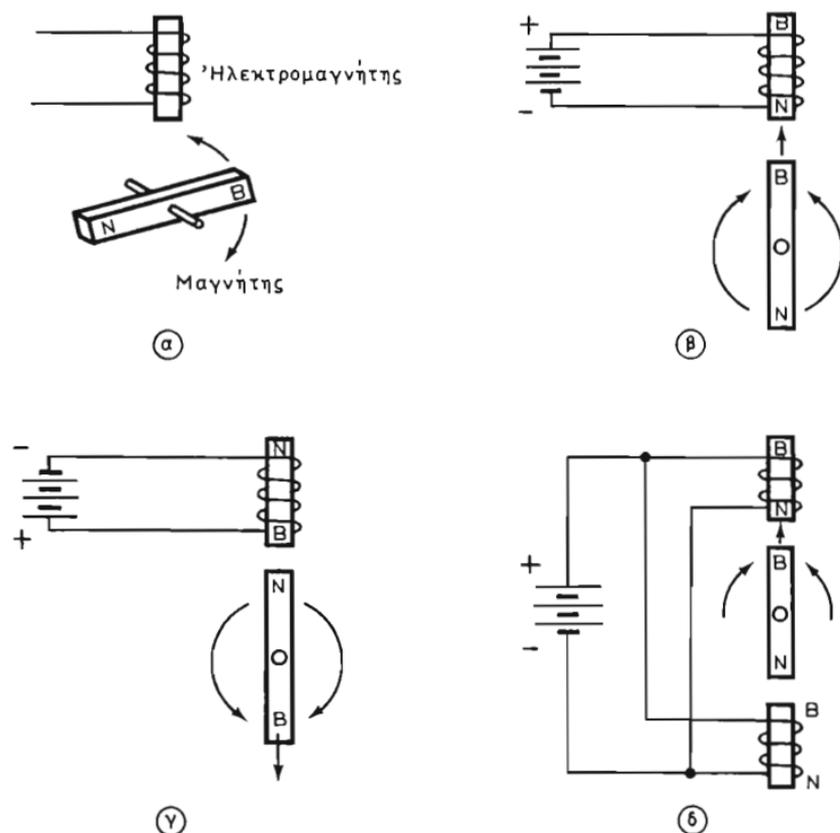
Ἔτσι, στὸ σχῆμα 9·5 α (α) βλέπομε ἕναν ἠλεκτρομαγνήτη, ποῦ ἀπὸ κάτω του ἀκριβῶς ὑπάρχει μόνιμος μαγνήτης, ποῦ μπορεῖ νὰ στραφεῖ γύρω ἀπὸ τὸν ἄξονά του. Ὁ ἄξονας αὐτὸς περνᾷ ἀπὸ τῆ μέση ἀπόσταση μεταξὺ τοῦ βόρειου καὶ τοῦ νότιου πόλου του.

Ἄν στὸ βόρειο πόλο τοῦ μόνιμου μαγνήτη προσαρμόσομε δείκτη καὶ τροφοδοτήσομε τὸν ἠλεκτρομαγνήτη με̐ συνεχῆς ρεῦμα (με̐ τὸ θετικὸ ἀκροδέκτη συνδεμένο στὸ ἄκρο τοῦ ἠλεκτρομαγνήτη), τότε ὁ μόνιμος μαγνήτης θὰ στραφεῖ γύρω στὸν ἄξονά του με̐ τρόπο, ὥστε ὁ δείκτης του νὰ δείχνει πρὸς τὰ πάνω [σχ. 9·5 α (β)].

Αὐτὸ βέβαια συμβαίνει, γιατί, ὅταν τὸ πηνίο τροφοδοτηθεῖ με̐ συνεχῆς ρεῦμα, ὁ μαλακὸς σίδηρος (πυρήνας) τοῦ ἠλεκτρομαγνήτη μαγνητίζεται καὶ ἀποκτᾷ βόρειο καὶ νότιο πόλο [σχ. 9·5 α (β)].

Ἀπὸ αὐτὴ τῆ στιγμὴ οἱ ἑτερόνυμοι πόλοι ἠλεκτρομαγνήτη

καί μόνιμου μαγνήτη έλκονται, με αποτέλεσμα ό μόνιμος μαγνήτης νά στραφεί γύρω από τόν άξονά του έτσι, ώστε ό δείκτης του νά δείχνει πρòς τὰ πάνω.



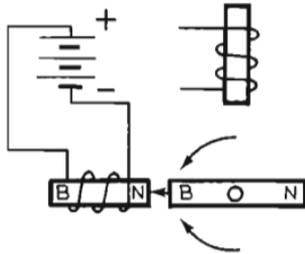
Σχ. 9·5 α.

Αν αντιστρέψουμε τούς άκροδέκτες τροφοδοτήσεως του πηνίου του ήλεκτρομαγνήτη, τότε, όπως αντιλαμβανόμαστε, αντιστρέφονται και οι μαγνητικοί πόλοι του, με αποτέλεσμα ό μόνιμος μαγνήτης νά στραφεί με τò δείκτη του πρòς τὰ κάτω [σχ. 9·5 α(γ)].

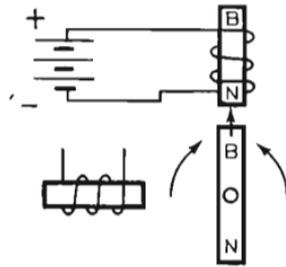
Αν ό μόνιμος μαγνήτης τοποθετηθεί μεταξύ δύο ήλεκτρομαγνητών, όπως στο σχήμα 9·5 α(δ), τότε ό δείκτης του θά στραφεί πρòς τὰ πάνω.

“Ας υποθέσουμε τώρα ότι έχουμε δύο ηλεκτρομαγνήτες, με τους γεωμετρικούς τους άξονες κάθετους μεταξύ τους.

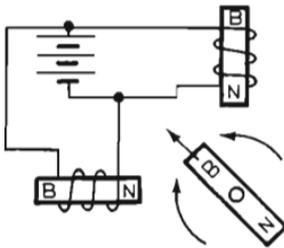
“Αν τὸ πηνίο τοῦ ὀριζώντιου ἠλεκτρομαγνήτη τροφοδοτεῖται μὲ συνεχές ρεύμα, ἐνῶ τοῦ κατακόρυφου δὲν τροφοδοτεῖται, τότε ὁ μόνιμος μαγνήτης θὰ στραφεῖ καὶ θὰ πάρει ὀριζόντια θέση, ὅπως στὸ σχῆμα 9·5 β(α).



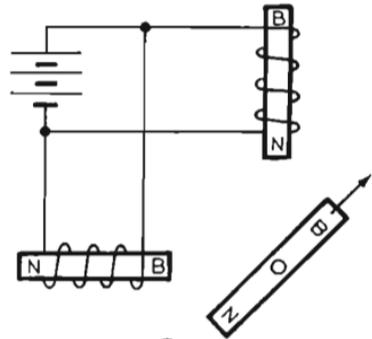
α



β



γ

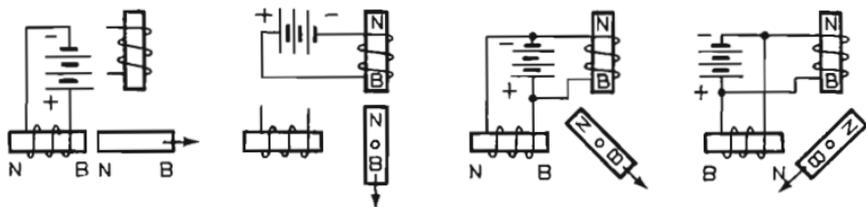


δ

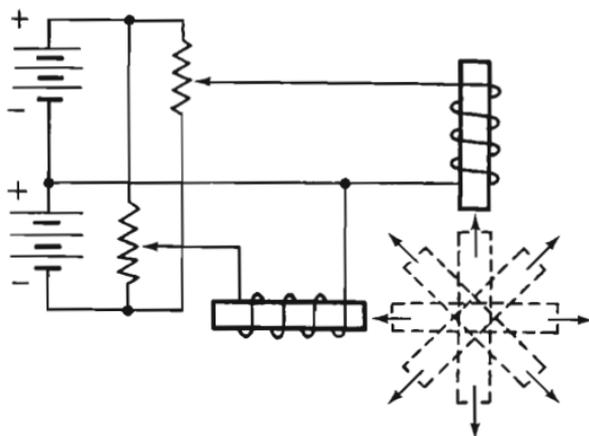
Σχ. 9·5 β.

“Αν τώρα τροφοδοτηθοῦν καὶ τὰ δύο πηνία τοῦ ὀριζώντιου καὶ κατακόρυφου ἠλεκτρομαγνήτη, ὁ μόνιμος μαγνήτης θὰ προσανατολιστεῖ ἢ στὴ θέση ποὺ φαίνεται στὸ σχῆμα 9·5 β(γ) ἢ στὴ θέση τοῦ σχήματος 9·5 β(δ), ἀνάλογα μὲ τὸν τρόπο συνδεσμολογίας τῶν ἀκροδεκτῶν τῶν πηνίων, ὡς πρὸς τοὺς πόλους τῆς πηγῆς συνεχοῦς ρεύματος.

Στο σχήμα 9.5 γ φαίνονται οι ίδιες συνδεσμολογίες τῶν πηνίων τῶν ἠλεκτρομαγνητῶν με αὐτὲς τοῦ σχήματος 9.5 β, με τὴ διαφορὰ ὅτι ἔχουν ἀντιστραφεῖ οἱ πόλοι τῆς πηγῆς συνεχοῦς ρεύματος, με ἀποτέλεσμα ὁ μόνιμος, μαγνήτης νὰ προσανατολίζεταί τώρα με 180° διαφορὰ ἀπὸ τὶς ἀντίστοιχες θέσεις τοῦ σχήματος 9.5 β.



Σχ. 9.5 γ.



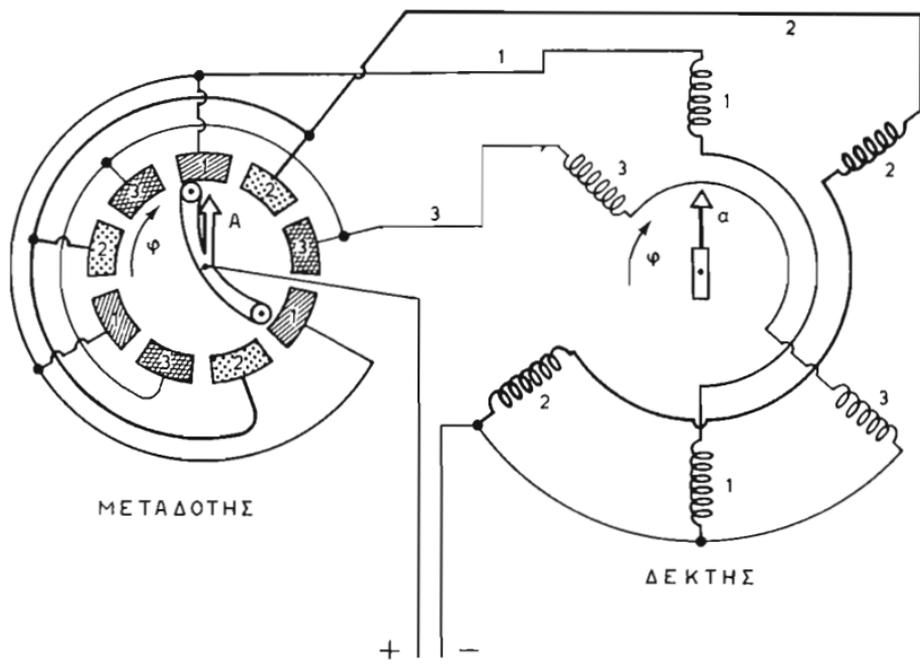
Σχ. 9.5 δ.

Στὸ σχήμα 9.5 δ φαίνεται καὶ ἄλλη συνδεσμολογία τοῦ κατακόρυφου καὶ ὀριζόντιου ἠλεκτρομαγνήτη. Με τὴ συνδεσμολογία αὐτὴ καὶ με τὴ βοήθεια τῶν μεταβλητῶν ἀντιστάσεων τοῦ σχήματος 9.5 δ, ὁ μόνιμος μαγνήτης μπορεῖ νὰ πάρει μιὰν ὁποιαδήποτε θέση, ἀπὸ αὐτὲς ποὺ σημειώνονται στὸ σχήμα με διακοπτόμενη γραμμὴ, ὅπως καὶ ὅλες τὶς ἐνδιάμεσες θέσεις.

Ἡ χρησιμοποίησις τριῶν ἠλεκτρομαγνητῶν (ἀντὶ τῶν δύο τοῦ σχήματος 9.5 δ), με τοὺς γεωμετρικοὺς τοὺς ἄξονες σὲ γωνία 120° , θὰ ἔχει ὡς ἀποτέλεσμα τὴν πιὸ ὁμοίωμορφη περιστροφή τοῦ μόνιμου μαγνήτη ποὺ προαναφέραμε.

Στήν άρχή αυτή βασίζεται τὸ ὅλο σύστημα βηματιστικοῦ τηλεχειρισμοῦ.

Στὸ σχῆμα 9·5 ε παρουσιάζεται πλήρες συγκρότημα βηματιστικοῦ τηλεχειρισμοῦ, ἀποτελούμενο ἀπὸ τὸ μεταδότη, τὸ δέκτη, τὰ καλώδια πού τούς συνδέουν καὶ τὰ καλώδια τροφοδοτήσεως τοῦ συγκροτήματος ἀπὸ τὴν πηγὴ συνεχοῦς ρεύματος.



Σχ. 9·5 ε.
Συγκρότημα βηματιστικοῦ μεταδότη καὶ δέκτη.

Ὁ μεταδότης ἀποτελεῖται ἀπὸ ἑννιά μεταλλικοὺς τομεῖς, συνδεμένους μεταξύ τους ἀνά τρεῖς. Στὸ ἐσωτερικὸ τοῦ σχηματιζόμενου κυλίνδρου στρέφεται ἓνα ζευγάρι τροχίσκων, πού τροφοδοτεῖται ἀπὸ τὸ θετικὸ ἀκροδέκτη τῆς πηγῆς συνεχοῦς ρεύματος. Πάνω στὸ βραχίονα τῶν δύο τροχίσκων εἶναι προσαρμοσμένος ὁ δείκτης A, πού κινεῖται πάνω σὲ βαθμολογημένη σὲ μοῖρες πλάκα.

Ὁ ἀρνητικὸς ἀκροδέκτης τῆς πηγῆς Σ.Ρ. συνδέεται μὲ τὸ κοινὸ σημεῖο τῶν τριῶν περιελίξεων (1, 2, 3) τῶν ἠλεκτρομαγνητῶν τοῦ δέκτη, πού ἡ ἀρχὴ λειτουργίας του ἔχει ἤδη ἐξηγηθεῖ.

*Έτσι, ή περιστροφή υπό όρισμένη γωνία και κατά τή διεύθυνση του βέλους φ του δείκτη A του μεταδότη, έχει ως αποτέλεσμα τήν αντίστοιχη περιστροφή του δείκτη α του δρομέα του δέκτη, ό όποιος και πάλι κινείται πάνω σε βαθμολογημένη σε μοίρες πλάκα.

Μειονεκτήματα των βηματιστικών μεταδοτών και δεκτών.

α) Ένα από τα μειονεκτήματα του συστήματος μεταδόσεως (ή τηλεχειρισμού) με βηματιστικούς μεταδότες και δέκτες, είναι ότι ή κίνηση του δρομέα του δέκτη δέν είναι όμαλή (είναι κατά βήματα – βηματιστική), όποτε δέν έπιτυγχάνεται μεγάλη ακρίβεια κατά τή μετάδοση.

β) Έκτός από τό παραπάνω μειονέκτημα, τó έξεταζόμενο σύστημα μεταδόσεως μειονεκτεί και κατά τó ότι θά πρέπει, πριν τροφοδοτηθεί με Σ.Ρ. για να λειτουργήσει, να εύθυγραμμιστεί, δηλαδή να τοποθετηθεί ό δρομέας του δέκτη στην ίδια ένδειξη με τó δρομέα του μεταδότη. Αυτό είναι άπαραίτητο, γιατί ό δρομέας του δέκτη είναι δυνατό να εύθυγραμμιστεί με τó μαγνητικό πεδίο σε δύο θέσεις, πού να διαφέρουν κατά 180° .

9-6 Τηλεχειρισμός με σύγχρονους μεταδότες και δέκτες.

Οί συγχρονομεταδότες και συγχρονοδέκτες είναι όμοιοι μεταξύ τους ως πρós τήν κατασκευή, με τή διαφορά ότι οί συγχρονοδέκτες έχουν στόν άξονά τους δίσκο, για τήν απόσβεση των ταλαντώσεων του άξονα κατά τις απότομες μεταβολές τής ταχύτητας περιστροφής του.

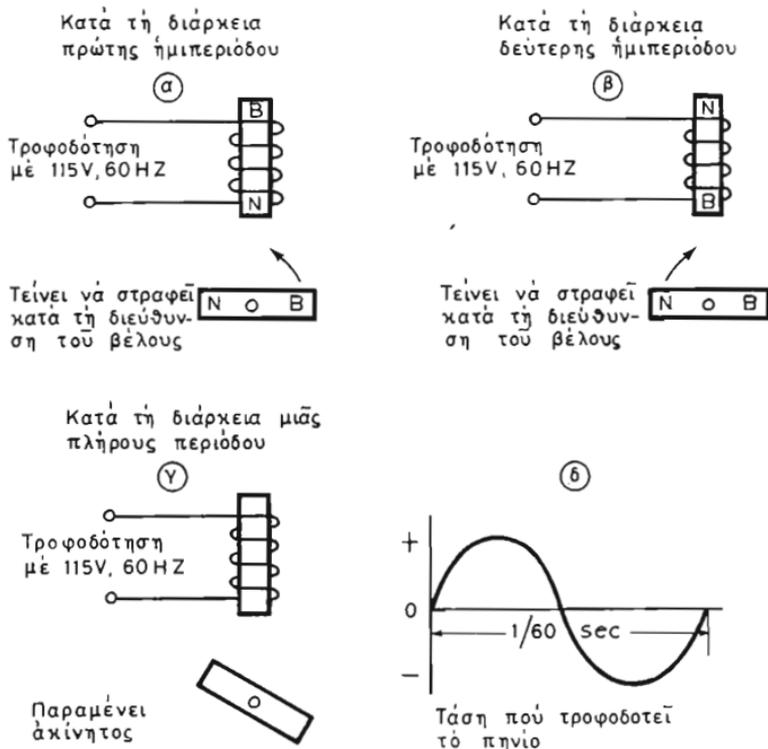
Οί μονάδες αυτές των συγχρονομεταδοτών και συγχρονοδεκτών έχουν στο στάτη τους τρεις περιελίξεις συνδεμένες κατ' άστέρα, ενώ στο δρομέα έχουν μία και μόνη περιέλιξη.

Οί άκροδέκτες του στάτη χαρακτηρίζονται με S_1 , S_2 και S_3 , ενώ του δρομέα με R_1 και R_2 .

Οί περιελίξεις και των δύο δρομέων του συγχρονομεταδότη και του συγχρονοδέκτη ενός συγκροτήματος συνδέονται αντίστοιχα μεταξύ τους και τροφοδοτούνται από έξωτερική πηγή με έναλλασσόμενο ρεύμα, τάσεως συνήθως 115 βόλτ.

Οί περιελίξεις των στατών του παραπάνω συγκροτήματος (μεταδότη και δέκτη) συνδέονται μεταξύ τους κατ' άντιστοιχία και δέν τροφοδοτούνται με ρεύμα.

Για να γίνει εύκολοτερά κατανοητός ο τρόπος λειτουργίας του συγκροτήματος μεταδότη και δέκτη, είναι απαραίτητο να εξηγηθεί η αρχή στην οποία βασίζεται το όλο σύστημα.



Σχ. 9·6 α.

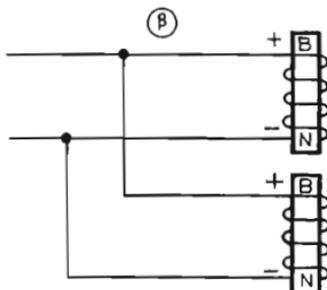
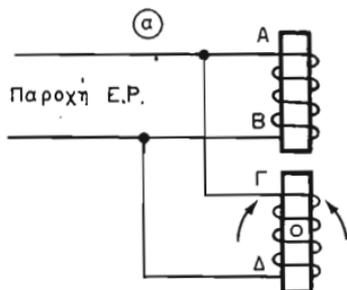
Στό σχήμα λοιπόν 9·6 α σημειώνεται καί πάλι τό γνωστό μας από τὰ βηματιστικά συστήματα συγκρότημα μόνιμου μαγνήτη (πού μπορεί να στραφεί γύρω από άξονα) καί ηλεκτρομαγνήτη. Ἡ διαφορά μας ἔδω βρίσκεται στό ὅτι τό πηνίο τοῦ ηλεκτρομαγνήτη τροφοδοτεῖται τώρα με ἑναλλασσόμενη ἡμιτονοειδή τάση, τῆς μορφῆς τοῦ σχήματος 9·6 α (δ).

Ὅπως προκύπτει ἀπό τίς (α) καί (β) φάσεις τοῦ σχήματος 9·6 α, ὁ μόνιμος μαγνήτης τοῦ συγκροτήματος θά παραμείνει τελικά ακίνητος [σχ. 9·6 α (γ)] λόγω ἀδρανείας, ἔξ αἰτίας τῆς ταχείας ἑναλλαγῆς τῶν θετικῶν καί ἀρνητικῶν πόλων τροφοδοτήσεως τοῦ πηνίου τοῦ ηλεκτρομαγνήτη.

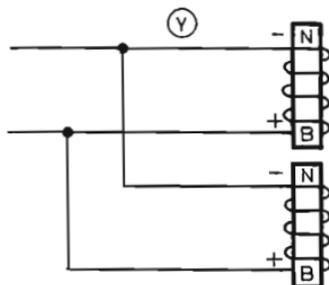
Ἐξετάσουμε τώρα τὴν περίπτωση τοῦ σχήματος 9.6 β.

Ἐδῶ ὁ μόνιμος μαγνήτης ἔχει ἀντικατασταθεῖ ἀπὸ ἠλεκτρομαγνήτη ΓΔ, πού μπορεῖ νὰ στραφεῖ γύρω ἀπὸ ἄξονα, καὶ τροφοδοτεῖται μὲ τὸ ἴδιο Ε.Ρ. πού τροφοδοτεῖται καὶ ὁ ἠλεκτρομαγνήτης ΑΒ [σχ. 9.6 β (α) (δ)].

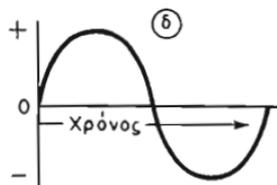
Κατάσταση κατὰ τὴ διάρκεια θετικῆς ἡμιπεριόδου



Κατάσταση κατὰ τὴ διάρκεια ἀρνητικῆς ἡμιπεριόδου



Τάση ἀπὸ Α σὲ Β ἢ Γ σὲ Δ

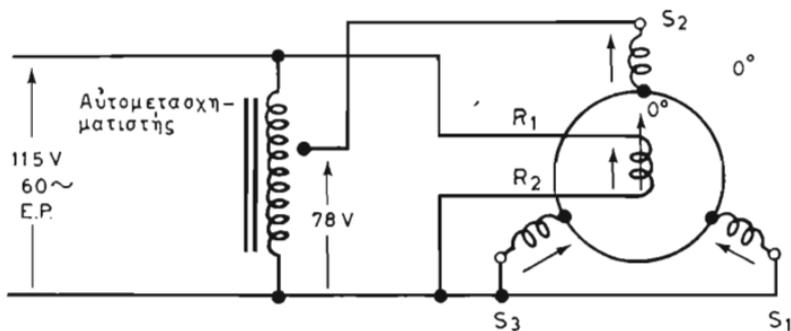


Σχ. 9.6 β.

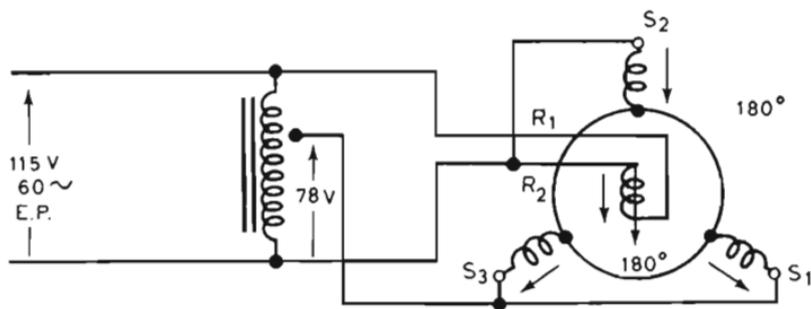
Ὅπως σημειώνεται στὶς φάσεις (β) καὶ (γ) τοῦ σχήματος 6 β, ὁ ἠλεκτρομαγνήτης πού μπορεῖ νὰ στραφεῖ περὶ ἄξονα, τελικὰ προσανατολίζεται μὲ τὸ γεωμετρικὸ του ἄξονα στὴν προέκταση τοῦ γεωμετρικοῦ ἄξονα τοῦ μόνιμου ἠλεκτρομαγνήτη. Αὐτὸ συμβαίνει, ἰσχυρῶς, λόγω τῆς σύγχρονης ἐναλλαγῆς τῶν θετικῶν καὶ ἀρνητικῶν ὁλων τροφοδοτήσεως τῶν πηνίων τῶν ἠλεκτρομαγνητῶν, ἐναλλάσσονται συγχρόνως καὶ οἱ βόρειοι καὶ οἱ νότιοι πόλοι, μὲ ἀποτέ-

λεσμα ό στρεφόμενος ήλεκτρομαγνήτης νά παίρνει συγκεκριμένο προσανατολισμό.

Στό σχήμα 9·6 γ σημειώνεται παρόμοια περίπτωση μέ αύτή τοῦ προηγούμενου σχήματος, μέ τή διαφορά ότι έδω έχομε τρεῖς μόνιμους ήλεκτρομαγνήτες, S_1 , S_2 , S_3 καί έναν ήλεκτρομαγνήτη R_1-R_2 πού μπορεί νά στραφεί περί άξονα. Στό σχήμα αύτό, τά βέλη δείχνουν τή σχετική φάση τῶν ρευμάτων πού κυκλοφοροῦν.



Σχ. 9·6 γ.



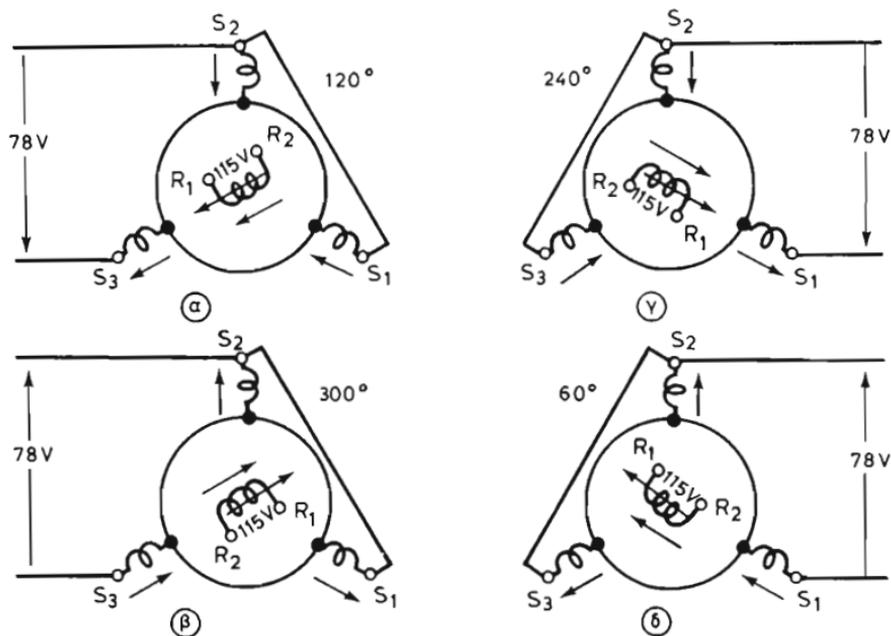
Σχ. 9·6 δ.

Άπό τή συνδεσμολογία τοῦ σχήματος 9·6 γ εύκολα προκύπτει ότι τελικά ό στρεφόμενος ήλεκτρομαγνήτης R_1-R_2 θά προσανατολιστεί μέ τό δείκτη του πρὸς τά πάνω, δηλαδή στις 0° .

Τά τυλίγματα S_1 , S_2 , S_3 τῶν μόνιμων ήλεκτρομαγνητῶν θά ονομάζονται άπό δῶ καί πέρα τυλίγματα στάτη τοῦ συγχρονοδέκτη. Τό τυλίγμα R_1-R_2 θά ονομάζεται τυλίγμα δρομέα τοῦ συγχρονοδέκτη.

Στό σχήμα 9·6 δ φαίνεται άλλη περίπτωση συνδεσμολογίας

καί ηλεκτροδοτήσεως τῶν τυλιγμάτων τοῦ στάτη τοῦ συγχρονοδέκτη, πού ἔχει ὡς ἀποτέλεσμα νά στραφεῖ τελικά ὁ δρομέας τοῦ συγχρονοδέκτη στῆς 180° .



Σχ. 9.6 ε.

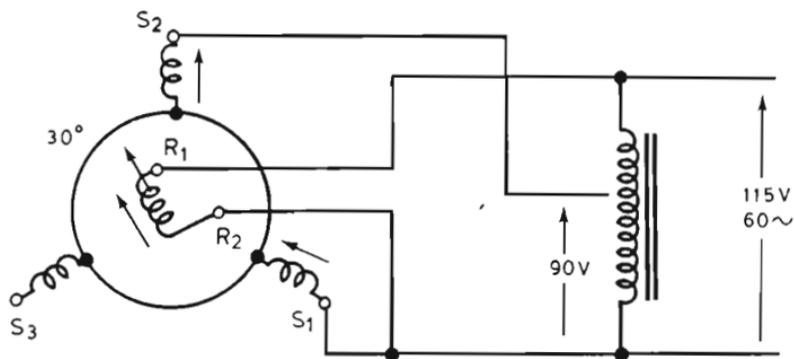
Στό σχῆμα 9.6 ε σημειώνονται οἱ περιπτώσεις συνδεσμολογίας καί ηλεκτροδοτήσεως τῶν τυλιγμάτων τοῦ στάτη τοῦ συγχρονοδέκτη, γιά τήν περιστροφή τοῦ δρομέα του κατὰ γωνίες 120° , 300° , 240° καί 60° .

Ἐπίσης στό σχῆμα 9.6 στ καί 9.6 ζ σημειώνονται οἱ ἀναγκαῖες συνθήκες συνδεσμολογίας καί ηλεκτροδοτήσεως τῶν τυλιγμάτων στάτη τοῦ συγχρονοδέκτη, γιά νά περιστραφεῖ ὁ δρομέας του κατὰ 30° καί 210° ἀντιστοίχως.

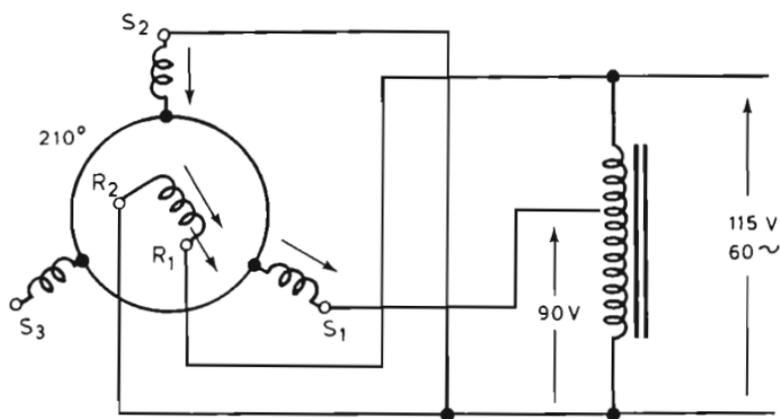
Τέλος, στό σχῆμα 9.6 η σημειώνονται οἱ ἀναγκαῖες συνθήκες συνδεσμολογίας καί ηλεκτροδοτήσεως τῶν τυλιγμάτων τοῦ στάτη τοῦ συγχρονοδέκτη, γιά νά γίνει δυνατή ἡ περιστροφή τοῦ δρομέα του κατὰ 150° , 330° , 270° καί 90° .

Τό συμπέρασμα πού προκύπτει ἀπό τίς παραπάνω περιπτώ-

σεις συνδεσμολογιών και ήλεκτροδοτήσεων τών τυλιγμάτων του στάτη του συγχρονοδέκτη (σχ. 9·6 γ ως και 9·6 η), είναι ότι, με την κατάλληλη κάθε φορά συνδεσμολογία και ήλεκτροδότηση τών S_1 , S_2 και S_3 μπορούμε να στρέψουμε το δρομέα σε οποιαδήποτε γωνία έπιθυμούμε.



Σχ. 9·6 στ.



Σχ. 9·6 ζ.

Στο σχήμα 9·6 θ σημειώνονται οι τάσεις που πρέπει να άναπτυχθούν μεταξύ τών τυλιγμάτων του στάτη του συγχρονοδέκτη, για να περιστραφεί ό δρομέας του κατά συγκεκριμένη γωνία.

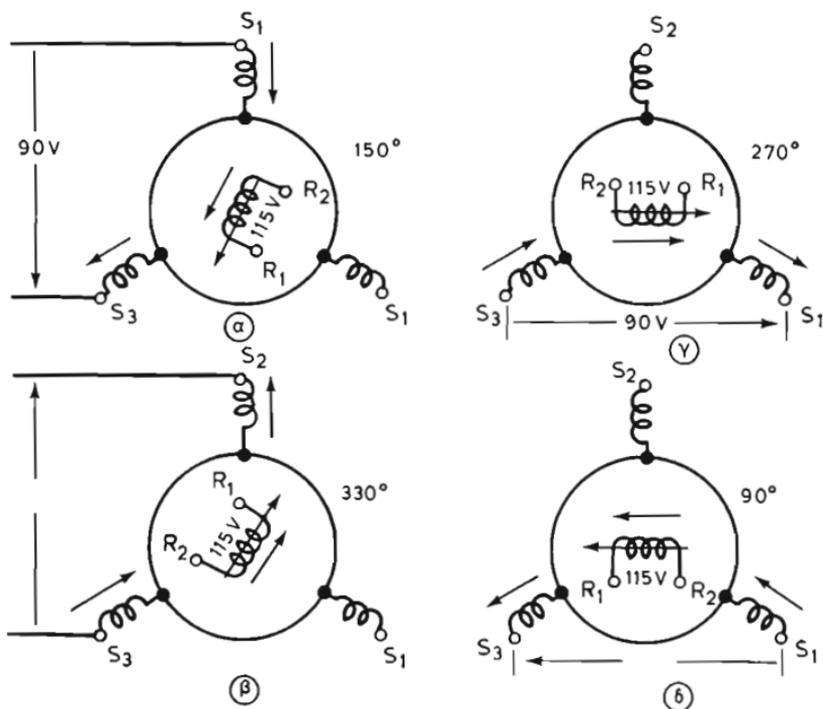
Έτσι, άν π.χ. έπιθυμούμε την περιστροφή του δρομέα κατά 240° , στην περίπτωση του σχήματος 9·6 ε (γ), θα πρέπει να ήλε-

κτροδοτήσομε τὰ τυλίγματα τοῦ στάτη τοῦ συγχρονοδέκτη ὡς ἑξῆς:

α) Ἡ τάση μεταξύ τῶν τυλιγμάτων S_1 καὶ S_2 νὰ εἶναι $+78$ βόλτ.

β) Ἡ τάση μεταξύ τῶν τυλιγμάτων S_2 καὶ S_3 νὰ εἶναι μηδέν βόλτ. Δηλαδή οἱ ἀκροδέκτες S_2 καὶ S_3 νὰ εἶναι βραχυκυκλωμένοι.

γ) Ἡ τάση μεταξύ τῶν τυλιγμάτων S_3 καὶ S_1 νὰ εἶναι -78 βόλτ.



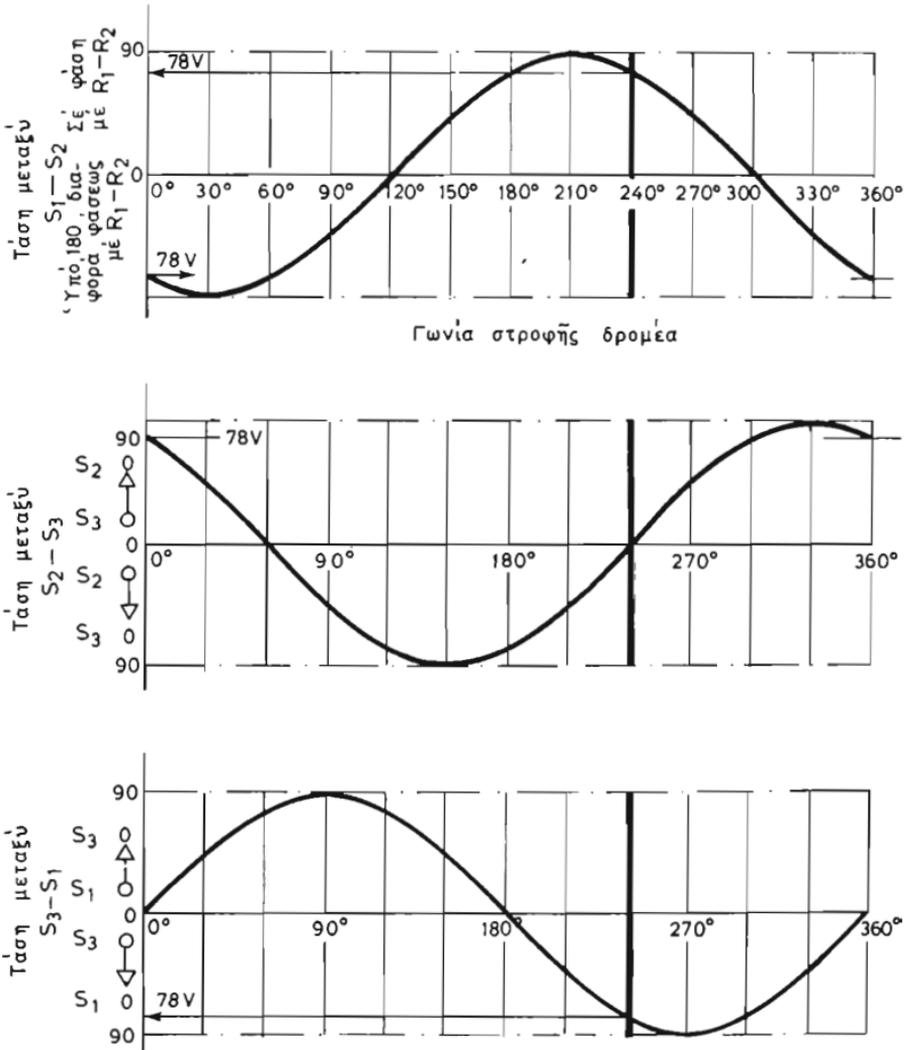
Σχ. 9.6 η.

Ὅσα ἐξηγήθησαν μετὰ τὰ σχήματα 9.6 γ ὡς καὶ 9.6 θ ἀφοροῦν τῇ λειτουργίᾳ τοῦ συγχρονοδέκτη.

Ὅπως ἀναφέραμε ὁμως στὴν ἀρχὴ τῆς παραγράφου, οἱ συγχρονομεταδότες καὶ συγχρονοδέκτες ὡς πρὸς τὴν κατασκευὴ εἶναι ὁμοιοὶ μεταξύ τους. Ἡ ἠλεκτρικὴ συνδεσμολογία τους γίνεται μετὰ τοὺς τρόπους ποὺ φαίνονται στὰ σχήματα 9.6 ι, 9.6 κ καὶ 9.6 λ.

Ἄς δοῦμε τώρα τί συμβαίνει στὸ συγχρονομεταδότη καὶ πῶς

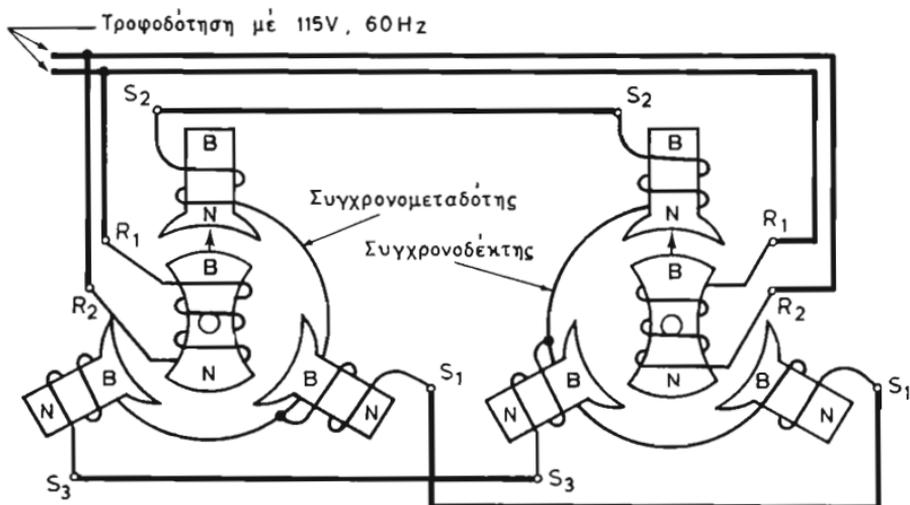
λειτουργεί τὸ ὅλο συγκρότημα συγχρονομεταδότη καὶ συγχρονοδέκτη.



Σχ. 9-6θ.

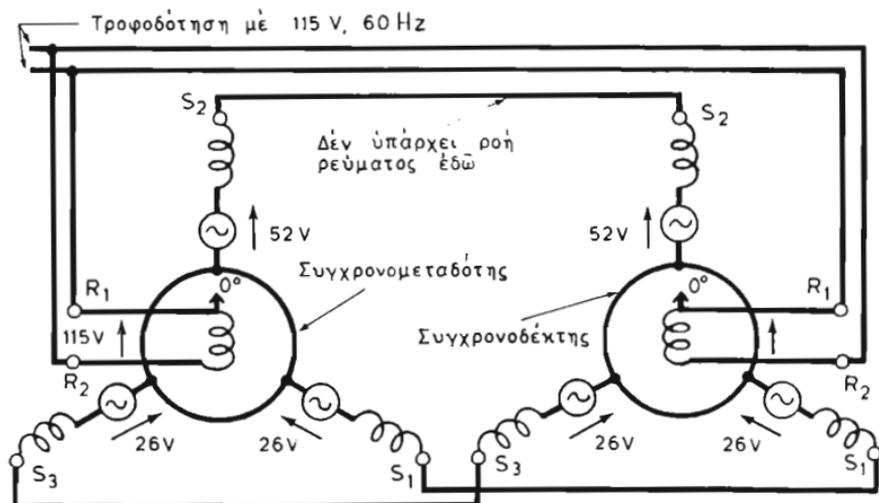
Ἡ περιστροφή τοῦ δρομέα τοῦ συγχρονομεταδότη κατὰ μιὰν ὁποιαδήποτε γωνία, διάφορη ἀπὸ τῆ γωνία στὴν ὁποία βρίσκεται

ὁ δρομέας τοῦ συγχρονοδέκτη, ἔχει ὡς ἀποτέλεσμα τὴ δημιουργία τάσεων στὰ τυλίγματα τοῦ στάτη τοῦ μεταδότη.



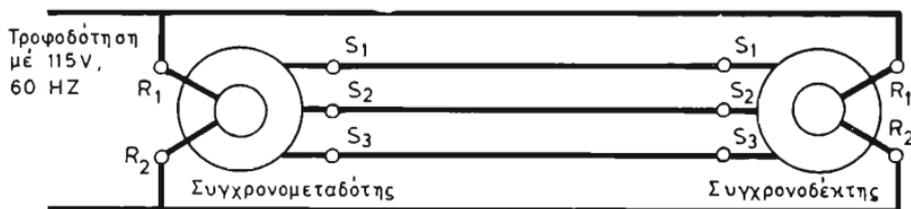
Σχ. 9-6 ι.

Συνδεσμολογία συγκροτήματος συγχρονομεταδότη καὶ συγχρονοδέκτη.



Σχ. 9-6 κ.

Λεκτρολογικὸ διάγραμμα συνδεσμολογίας συγχρονομεταδότη καὶ συγχρονοδέκτη.



Σχ. 9.6 λ.

Καλωδιώσεις ηλεκτρολογικής συνδεσμολογίας συγχρονομεταδότη και συγχρονοδέκτη.

Στο σχήμα 9·6 μ σημειώνονται οι τάσεις που αναπτύσσονται στα τυλίγματα του στάτη του συγχρόνομεταδότη, όταν ο δρομέας του περιστραφεί κατά μία συγκεκριμένη γωνία. Έτσι, αν π.χ. ο δρομέας του μεταδότη στραφεί κατά 240°, τότε στα S₁, S₂ και S₃ του στάτη θα αναπτυχθούν τάσεις αντίστοιχως + 52, - 26 και - 26 βόλτ. Δηλαδή η διαφορά δυναμικού μεταξύ των S₁, S₂ και S₃ θα είναι:

$$S_1 - S_2 = 52 - (-26) = + 78 \text{ βόλτ}$$

$$S_2 - S_3 = -26 - (-26) = 0 \text{ βόλτ}$$

$$S_3 - S_1 = -26 - 52 = - 78 \text{ βόλτ}$$

Άλλα τα S₁, S₂, S₃ των στατών μεταδότη και δέκτη συνδέονται μεταξύ τους. Συνεπώς, και στο δέκτη θα έχουμε:

$$S_1 - S_2 = + 78 \text{ βόλτ}$$

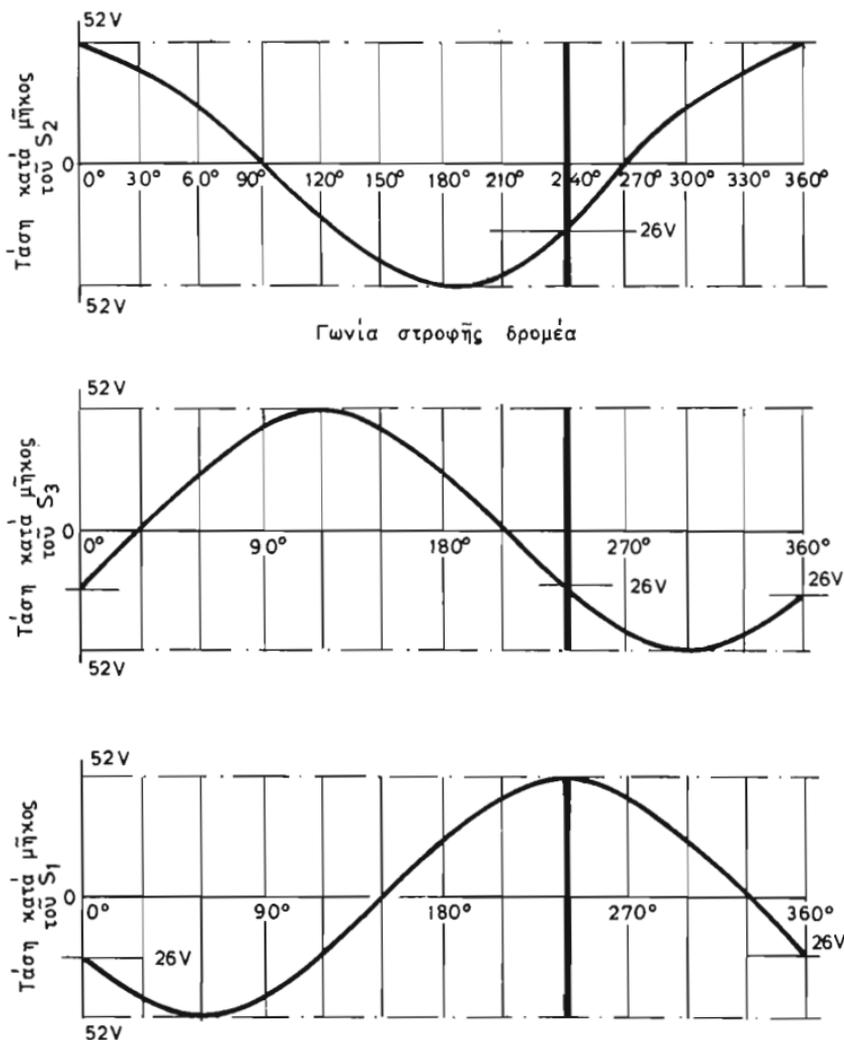
$$S_2 - S_3 = 0 \text{ βόλτ}$$

$$S_3 - S_1 = - 78 \text{ βόλτ}$$

Από τις καμπύλες όμως του σχήματος 9·6 θ βλέπουμε ότι οι διαφορές αυτές δυναμικού μεταξύ των τυλιγμάτων του στάτη του δέκτη έχουν ως αποτέλεσμα την περιστροφή του δρομέα του κατά 240°.

Έπομένως, οποιαδήποτε περιστροφή του δρομέα του συγχρονομεταδότη έχει ως συνέπεια την αντίστοιχη περιστροφή του δρομέα του συγχρονοδέκτη.

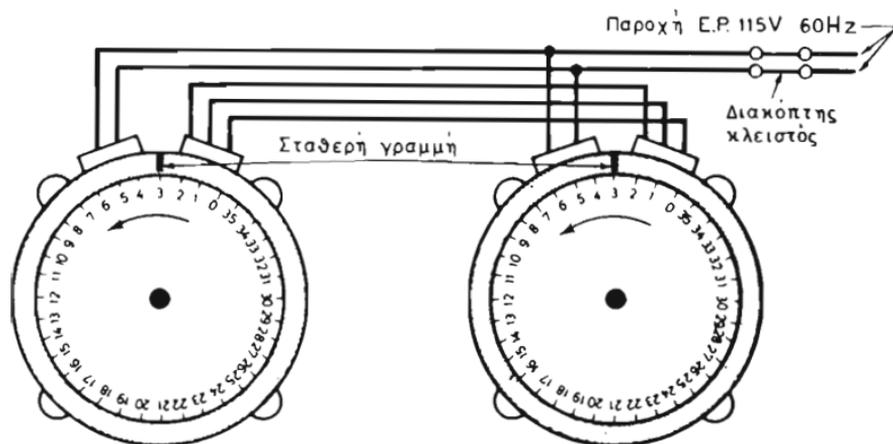
Στους δρομείς του μεταδότη και δέκτη είναι δυνατό να προσαρ-



Σχ. 9-6 μ.

Ἐναπτυσσόμενες τάσεις στὰ τυλίγματα στάτη τοῦ συγχρονομεταδότη, ὅταν ὁ δρομέας του περιστραφεῖ κατὰ μία συγκεκριμένη γωνία.

ὁστοῦν βαθμολογημένοι δίσκοι (σχ. 9-6 ν), ὅποτε οἱ ἐνδείξεις τῆς αθερῆς γραμμῆς θὰ εἶναι πάντοτε ἴδιες καὶ στοὺς δύο βαθμολογημένους δίσκους.



Σχ. 9.6 ν.

Βαθμολογημένοι δίσκοι προσαρμοσμένοι στους δρομείς συγχρομεταδότη και συγχροδέκτη.

Άνωμαλίες σύγχρονων μεταδοτών και δεκτών.

Οι κυριότερες άνωμαλίες, που είναι δυνατό να παρουσιαστούν σε συστήματα σύγχρονων μεταδοτών και δεκτών, είναι οι εξής:

- α) Κύκλωμα δρομέα βραχυκυκλωμένο ή άνοικτό.
- β) Κύκλωμα στάτη βραχυκυκλωμένο.
- γ) Κύκλωμα στάτη άνοικτό.
- δ) Άντικανονική σύνδεση άκροδεκτών στάτη.
- ε) Άντικανονική σύνδεση άκροδεκτών δρομέα και στάτη.

Άποτέλεσμα των παραπάνω άνωμαλιών είναι πολλές φορές ή υπερφόρτιση του συστήματος (πράγμα που σημειώνεται στον ένδεικτη υπερφορτίσεως), ή θέρμανση του μεταδότη, του δέκτη ή και των δύο μαζί, ο βόμβος κατά τη λειτουργία, ή αστάθεια κατά την περιστροφή, και γενικώς ή μη ακριβής παρακολούθηση των κινήσεων του δρομέα του μεταδότη από το δρομέα του δέκτη.

9.7 Τηλενδείξεις.

Συχνά είναι επιθυμητό οι ένδείξεις όρισμένων οργάνων του πλοίου ή οι ένδείξεις λειτουργίας όρισμένων μηχανισμών να μεταφέρονται σε άλλα όργανα, τα όποια βρίσκονται σε αρκετή απόσταση από το σημείο της αρχικής λήψεως. Στον ένδεικτη Radar στη γέ-

φουρα π.χ. μεταφέρεται από την κεραία του Radar ή ένδειξη περιστροφής της. Επίσης, από το πτερύγιο του πηδαλίου μεταφέρεται στον ένδεικτη του διαμερίσματος πηδαλιουχίας ή γωνία στροφής του πηδαλίου. Από την κύρια γυροπυξίδα μεταφέρεται στους έπαναληπτες δίπλα στη γέφυρα ή περιστροφή του άνεμολογίου, από την όποια προκύπτει ο προσανατολισμός του πλοίου.

Επίσης από τη γέφυρα μεταδίδονται στο μηχανοστάσιο οι έντολές κινήσεων των μηχανών (τηλέγραφοι μηχανών), ενώ από το μηχανοστάσιο λαμβάνονται οι σχετικές απαντήσεις, που σημαίνουν ότι έγιναν κατανοητές οι έντολές, που δόθηκαν από τη γέφυρα.

Άλλοτε πάλι είναι επιθυμητό όρισμένα όργανα να είναι εγκαταστημένα στη γέφυρα ή στο μηχανοστάσιο, ενώ οι κύριοι μηχανισμοί τους είναι εγκαταστημένοι σε απομακρυσμένα σημεία, όπως π.χ. ο ένδεικτης στροφών έλικα, ο έπαναλήπτης δρομομέτρου κ.λπ.

9 · 8 Συγχρονοδιαφορικά.

Έκτος από τους σύγχρονους μεταδότες και δέκτες, που εξέτασαμε στις προηγούμενες παραγράφους, έχουμε και τα συγχρονοδιαφορικά, που διαιρούνται σε συγχρονοδιαφορικούς μεταδότες και σε συγχρονοδιαφορικούς δέκτες.

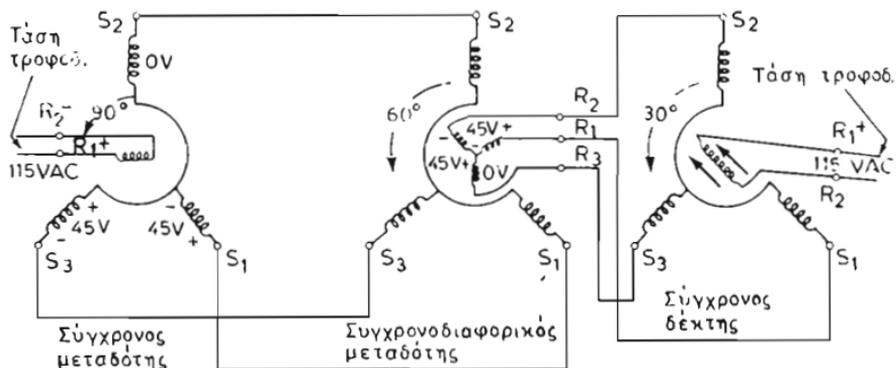
Οί συγχρονοδιαφορικοί μεταδότες λαμβάνουν μία ήλεκτρική και μία μηχανική είσοδο. Μεταδίδουν μία ήλεκτρική έξοδο, που ίσούται με το άθροισμα ή τη διαφορά των δύο εισόδων.

Στο σχήμα 9 · 8 α βλέπουμε τη συνδεσμολογία για τη μετάδοση της διαφοράς, 30°, των δύο εισόδων 90° και 60° στο σύγχρονο δέκτη.

Οί συγχρονοδιαφορικοί δέκτες, έκτος του ότι φέρουν στον άξονά τους δίσκο άποσβέσεως ταλαντώσεων, είναι όμοιοι στην κατασκευή με τους συγχρονοδιαφορικούς μεταδότες. Διαφέρουν μόνο στη χρήση τους. Λαμβάνουν δύο ήλεκτρικές εισόδους και έχουν μία μηχανική έξοδο, ή όποια ίσούται με τη διαφορά ή το άθροισμα των ήλεκτρικών εισόδων. Αν θα έχουμε το άθροισμα ή τη διαφορά, εξαρτάται από τη συνδεσμολογία. Στο σχήμα 9 · 8 β έχουμε μία συνδεσμολογία άθροίσεως.

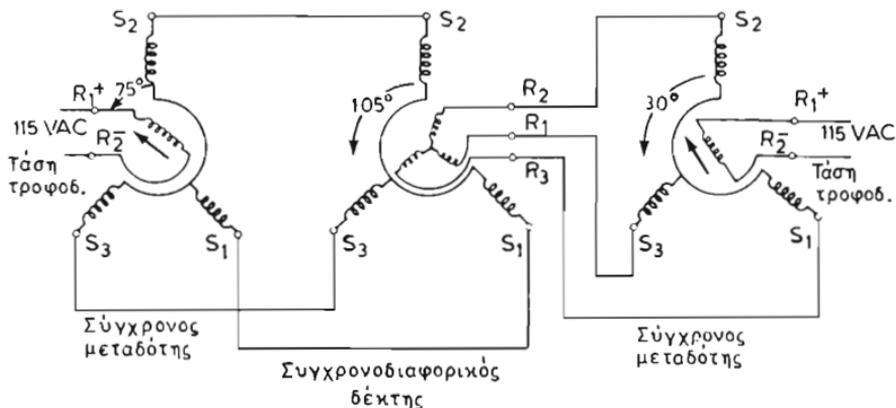
Τα συγχρονοδιαφορικά χρησιμοποιούνται κυρίως στα συστήματα αυτόματης παρακολουθήσεως, για να υπολογίζουν και να με-

ταδίδουν τή διαφορά επιθυμητῆς καί ἐκτελούμενης γωνίας φορτίου $\Theta_1 - \Theta_2$, πού περιγράφεται στήν παράγραφο 9·1.



Σχ. 9.8 α.

Συγχρονοδιαφορικός μεταδότης. Συνδεσμολογία διαφοράς ($90^\circ - 60^\circ = 30^\circ$). Μηχανική είσοδος 60° . Ήλεκτρική είσοδος 90° . Ήλεκτρική έξοδος 30° .



Σχ. 9.8 β.

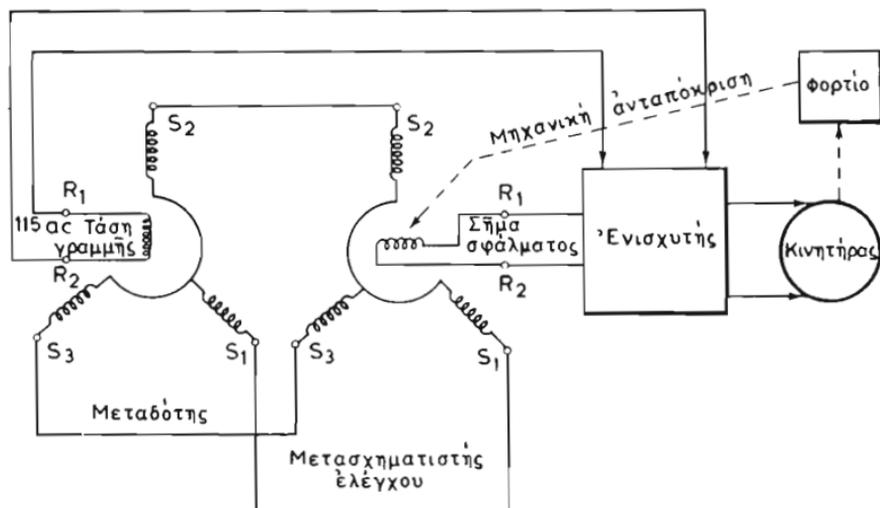
Συγχρονοδιαφορικός δέκτης. Συνδεσμολογία άθροίσεως ($75^\circ + 30^\circ = 105^\circ$). 1η Ήλεκτρική είσοδος: 75° . 2η Ήλεκτρική είσοδος: 30° . Μηχανική έξοδος: 105°

9·9 Σύγχρονοι μετασχηματιστές.

Τό πιό σημαντικό τμήμα ενός συστήματος συγχρονομεταδόσεως είναι ό σύγχρονος μετασχηματιστής, ή μετασχηματιστής έλέγχου. Χρησιμεύει για νά παρέχει άπό τούς δύο άκροδέκτες τού στρε-

πτοῦ του μία ἐναλλασσόμενη τάση, τῆς ὁποίας τὸ μέγεθος καὶ ἡ φάση εἶναι ἀνάλογη πρὸς τὴ θέση τοῦ στρεπτοῦ.

Στὸ στρεπτό τοῦ μετασχηματιστῆ ἑλέγχου ἐπάγεται ἀπὸ τὰ τυλίγματα τοῦ στάτη, τάση ἀνάλογη πρὸς τὴ θέση τοῦ στρεπτοῦ τοῦ μεταδότη. Ἡ τάση αὕτη ὀνομάζεται *τάση σφάλματος*, καὶ ἔχει μέγεθος ἀνάλογο πρὸς τὴ γωνία τοῦ μεταδότη (σχ. 9·9), καὶ φάση



Σχ. 9·9.
Μετασχηματιστὴς ἑλέγχου.

τὴν ἴδια ἢ ἀντίθετη πρὸς τὴ φάση τῆς τάσεως γραμμῆς, ἀναλόγως ἀν ἡ στροφή γίνεται πρὸς τὴ μία ἢ τὴν ἄλλη διεύθυνση. Στὸ σχῆμα 9·9 ἔχομε πλήρες σύστημα κλειστοῦ κυκλώματος, πού χρησιμοποιεῖται σὲ πολλές ἐφαρμογές στὰ πλοῖα. Ὄταν π.χ. θέλομε νὰ στρέψομε ἓνα φορτίο κατὰ μία γωνία, ἡ γωνία αὕτη τοποθετεῖται μηχανικὰ στὸ στρεπτό τοῦ μεταδότη. Τὸ μαγνητικὸ πεδίο τοῦ στάτη τοῦ μεταδότη καὶ τοῦ μετασχηματιστῆ ἀλλάζει προσανατολισμό, ἀνάλογα μὲ τὴ γωνία πού θέσαμε. Τὸ πεδίο αὐτὸ δημιουργεῖ μία τάση (τάση σφάλματος) στὸ στρεπτό τοῦ μετασχηματιστῆ ἑλέγχου. Ἡ τάση αὕτη ἐνισχύεται σὲ ἐνισχυτὴ, ὅπως ἔχει περιγραφεῖ στὸ Κεφάλαιο 4. Στὴ συνέχεια τροφοδοτεῖ τὸν κινητῆρα, ὁ ὁποῖος τοποθετεῖ τὸ φορτίο στὴν ἴδια γωνία πού εἶναι καὶ ὁ μεταδότης.

Καθώς τὸ φορτίο κινεῖται πρὸς τὴν ἐπιθυμητὴ θέση, μία μηχανικὴ ἀνταπόκριση στρέφει τὸ στρεπτό τοῦ μετασχηματιστῆ ἑλέγχου, ὥστε σταδιακὰ νὰ μηδενίσει τὴν τάση σφάλματος, ὅταν τὸ φορτίο φτάσει στὴ θέση του.

9.10 Λογικὰ κυκλώματα.

Γιὰ τοὺς αὐτοματισμούς καὶ τὶς τηλεκινήσεις διαφόρων μονάδων στὸ πλοῖο, χρησιμοποιοῦνται σήμερα *λογικὰ κυκλώματα* καὶ *ὑπολογιστικὰ κυκλώματα*.

Τὰ λογικὰ κυκλώματα εἶναι ἡ βάση τῶν μοντέρνων μεθόδων αὐτόματου ἑλέγχου. Συνδυασμοὶ τῶν κυκλωμάτων αὐτῶν μποροῦν, μὲ κατάλληλη συνδεσμολογία, νὰ κάνουν σὲ ἐλάχιστο χρόνο πολὺπλοκούς ὑπολογισμούς, πού κανονικὰ θὰ χρειαζόταν ἀρκετὸς χρόνος γιὰ νὰ γίνουν μὲ τὸ χέρι. Αὐτοὶ εἶναι οἱ ἠλεκτρονικοὶ ὑπολογιστές, πού χρησιμοποιοῦνται ἐπίσης σὲ περιορισμένη ἔκταση καὶ στοὺς αὐτοματισμούς στὰ πλοῖα.

Ἄς πάρουμε ἓνα παράδειγμα:

Ἔχομε ἓνα ἀνελκυστήρα σὲ ἓνα πλοῖο, καὶ τὸν καλοῦμε στὸ κύριο κατάστρωμα. Θέλομε, μόλις τὸν καλέσουμε, νὰ ξεκινήσει γιὰ νὰ ἔλθει στὸ κύριο κατάστρωμα μόνον ὅταν εἶναι ἄδειος καὶ ὅταν ἡ πύρτα του εἶναι κλειστή. Κι αὐτὸ γιὰ λόγους ἀσφαλείας.

Συμπέρασμα: Γιὰ νὰ ξεκινήσει ὁ ἀνελκυστήρας, θὰ πρέπει νὰ ἐκπληρῶνεται συγχρόνως τέσσερις συνθῆκες:

1. Νὰ πατήσουμε τὸ κομβίο κλήσεως.
2. Ἡ καμπίνα νὰ εἶναι ἄδεια.
3. Ἡ πύρτα τῆς καμπίνας νὰ εἶναι κλειστή.
4. Ἡ καμπίνα νὰ βρῖσκεται ἀκίνητη σὲ ἓνα ἄλλο κατάστρωμα.

Οἱ συνθῆκες αὐτὲς λέμε ὅτι ἀποτελοῦν μία λογικὴ, ἡ ὁποία ἐπιλύεται μὲ τὰ λεγόμενα λογικὰ κυκλώματα.

Τὰ λογικὰ κυκλώματα, πού τὰ κυριότερά τους θὰ τὰ ἐξετάσουμε στὴ συνέχεια, ὑπακούουν σὲ ὀρισμένους κανόνες μιᾶς ἰδιότυπης Ἐλγεβρας, πού ὀνομάζεται Ἐλγεβρα τοῦ Μπούλ (Boolean Algebra). Δὲν θὰ ἀσχοληθοῦμε ὅμως μὲ αὐτὴ στὸ βιβλίο αὐτό.

Τὰ λογικὰ κυκλώματα καὶ ἡ Ἐλγεβρα Μπούλ βασιζοῦνται σὲ ἠλεκτρονικὰ στοιχεῖα, τὰ ὁποῖα ἔχουν δύο διακεκριμένες καταστάσεις. Τὴν κατάσταση «Μηδὲν» («0») καὶ τὴν κατάσταση «ἓνα» («1»).

Στό παράδειγμα του άνελκυστήρα, που εξετάσαμε παραπάνω, αν δεν πατήσουμε το κομβίο κλήσεως, θεωρείται ότι βρίσκεται σε κατάσταση «0». Αν πατήσουμε το κομβίο, θεωρείται ότι βρίσκεται σε κατάσταση «1». Αν η πόρτα της καμπίνας είναι ανοικτή, έχουμε κατάσταση «0». Αν είναι κλειστή, έχουμε κατάσταση «1» κ.ο.κ.

Για να γίνουν περισσότερο αντιληπτά τα λογικά κυκλώματα, χρησιμοποιούμε για κάθε κύκλωμα και μία τοπογραφική παράσταση, ή οποία ονομάζεται *διάγραμμα του Venn*. Στο διάγραμμα αυτό αναπαριστούμε με ένα κύκλο κάθε συνθήκη που εξετάσαμε π.χ. για τον άνελκυστήρα. Κάθε κύκλο τον σημειώνουμε με ένα κεφαλαίο γράμμα:

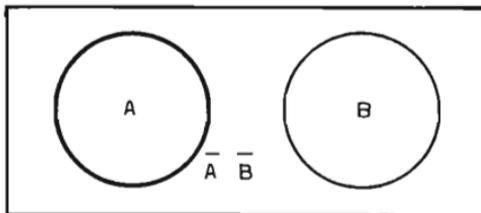
A = Το κομβίο κλήσεως πατημένο ή όχι.

B = Η καμπίνα άδεια ή γεμάτη.

Γ = Η πόρτα της καμπίνας κλειστή ή ανοικτή.

Δ = Η θέση της καμπίνας (Στό κύριο κατάστρωμα ή σε άλλο κατάστρωμα).

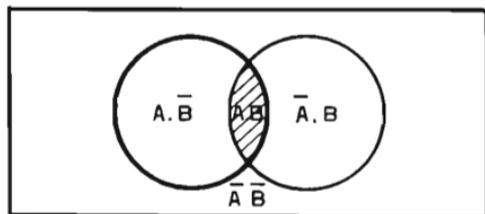
Τα γράμματα αυτά μπορεί να λαμβάνουν τιμές «0» ή «1», που αντιστοιχοῦν στην κατάσταση «0» ή «1», όπως αναφέραμε παραπάνω. Ας κατασκευάσουμε το διάγραμμα Venn για το κομβίο κλήσεως και την άδεια ή γεμάτη καμπίνα, όπως βλέπομε στο σχήμα 9 · 10 α.



Σχ. 9·10 α.

Στόν κύκλο A ὑπάρχει τό κομβίο κλήσεως. Έξω ἀπό τόν κύ-

κλο A δέν ὑπάρχει τό κομβίο κλήσεως. Ὁ χῶρος αὐτός ἐξω ἀπό τόν κύκλο A συμβολίζεται μέ \bar{A} . Τό ἴδιο καί ὁ χῶρος ἐξω ἀπό τόν κύκλο B συμβολίζεται μέ \bar{B} , καί σημαίνει ὅτι δέν ὑπάρχει καθόλου καμπίνα (ἄδεια ἢ γεμάτη).



Σχ. 9·10 β.

Γιά νά ἔχομε συγχρόνως καί τό κομβίο καί τήν καμπίνα, θά πρέπει νά φέρομε τούς κύκλους κοντά, ὥστε ὁ ἕνας νά τέμνει τόν ἄλλο, ὅπως στό σχήμα 9 · 10 β.

Ὁ σκιασμένος χῶρος ἀναπαριστᾷ τὸ χῶρο πού ἔχομε καὶ τὸ A καὶ τὸ B , δηλαδή AB . Ὁ ὑπόλοιπος κύκλος A ἔχει μὲν τὸ A , ἀλλὰ ὄχι τὸ B . Εἶναι δηλαδή χῶρος $A\bar{B}$. Τὸ ἴδιο καὶ ὁ ὑπόλοιπος κύκλος τοῦ B εἶναι χῶρος $\bar{A}B$. Ὁ χῶρος πού εἶναι ἔξω ἀπὸ τοὺς κύκλους A καὶ B δὲν ἔχει οὔτε A οὔτε B , ἄρα εἶναι $\bar{A}\bar{B}$. (\bar{A} = ὄχι A , \bar{B} = ὄχι B).

Ἐπειδὴ θεωροῦμε ὅτι τὰ γράμματα τῶν συνθηκῶν (A , B κ.λπ.) λαμβάνουν καταστάσεις «0» καὶ «1», στὰ ἠλεκτρονικὰ μπορούμε νὰ τὰ ἀναπαραστήσουμε μὲ διακόπτες, γιατί καὶ οἱ διακόπτες λαμβάνουν μία διακεκριμένη θέση «0» = ἀνοικτὸς καὶ «1» = κλειστὸς

Ἐπειδὴ ὁμως ἓνας κοινὸς ἠλεκτρικὸς διακόπτης χρειάζεται χρόνο τῆς τάξεως τοῦ δευτερολέπτου (δλ) γιὰ νὰ κλείσει ἢ νὰ ἀνοίξει, ὁ ὁποῖος ὅπωςδήποτε εἶναι πολὺ μεγάλος, συγκριτικὰ μὲ τὸν ταχύτατο χρόνο (ἑκατομμυριοστὸ τοῦ δλ), στὸν ὁποῖο πρέπει νὰ γίνουν διάφοροι ὑπολογισμοί, χρησιμοποιοῦμε στὴν πραγματικότητα ἠλεκτρονικὸς διακόπτες, πού ἀνοίγοκλείνουν ταχύτατα. Αὐτοὶ οἱ διακόπτες γίνονται ἀπὸ μία κρυσταλλοδίοδο ἢ κρυσταλλοτρίοδο, πού ἀναφέραμε στὸ Κεφάλαιο 2.

Ἐπὶ τὰς τρεῖς βασικὲς λογικὲς πράξεις, πού μπορούν νὰ γίνουν μὲ τοὺς διακόπτες πού ἀναφέραμε παραπάνω. Οἱ πράξεις αὐτὲς εἶναι:

1. Πράξη AND (ΚΑΙ). Συμβολίζεται μὲ τὸ σημεῖο τοῦ πολλαπλασιασμοῦ, δηλ. $A \cdot B$. (Λογικὸς πολλαπλασιασμός).

2. Ἡ πράξη OR ("Ἢ"). Συμβολίζεται μὲ τὸ γράμμα τῆς προσθέσεως π.χ. $A + B$ (Λογικὴ πρόσθεση).

3. Ἡ πράξη NOT (ΟΧΙ). Συμβολίζεται μὲ μία παύλα πάνω ἀπὸ τὸ γράμμα π.χ. \bar{A} (λογικὴ ἄρνηση).

Μὲ συνδυασμὸ τῶν 3 αὐτῶν πράξεων, μπορούμε νὰ ἔχομε ἓνα πλήρες σύστημα αυτοματισμοῦ, ἢ ἠλεκτρονικοῦ ὑπολογιστῆ.

Ἄς δοῦμε, πῶς λειτουργεῖ τὸ λογικὸ ἠλεκτρονικὸ κύκλωμα γιὰ κάθε πράξη.

Γιὰ νὰ γίνῃ περισσότερο ἀντιληπτὴ ἡ ἐξήγηση, θὰ παραθέσουμε σὲ κάθε σχῆμα:

(α) Ἐνα διάγραμμα Venn.

(β) Ἐνα πίνακα συνδυασμοῦ τῶν συνθηκῶν (A , B , Γ κ.λπ.), πού ὀνομάζεται πίνακας ἀλήθειας.

(γ) Ἐνα κύκλωμα ἠλεκτρικῶν διακοπτῶν.

(δ) Διαγραμματικό συμβολισμό.

(ε) Ήλεκτρονικό κύκλωμα.

1. Λογική πράξη AND (Λογικός Πολλαπλασιασμός).

Για να γίνει το παράδειγμα του άνελκυστήρα απλούστερο, ἄς ὑποθέσουμε ὅτι χρειάζομαστε μόνο τις δύο πρώτες συνθήκες δηλαδή:

A = Κομβίο κλήσεως.

B = Καμπίνα.

Στὸ σχῆμα 9 · 10 γ (α), βλέπουμε ὅτι ὁ χώρος πού ἐκπληρεῖ καὶ τις δύο συνθήκες εἶναι ὁ κοινὸς χώρος τοῦ κύκλου A καὶ B, δηλαδή ὁ χώρος AB.

Στὸν πίνακα ἀλήθειας, ἔχομε τις δυνατές τιμές πού μπορεῖ νὰ λάβουν οἱ συνθήκες A καὶ B, καθὼς ἐπίσης καὶ τὸ ἐξαγόμενό τους. (Λογικὸ γινόμενο AB, ἢ συνάρτηση τῶν A καὶ B, πού τὴ συμβολίζομε μὲ f (A, B).

Μέχρι τώρα εἶδαμε ὅτι γιὰ νὰ ξεκινήσει ἡ καμπίνα, πρέπει καὶ οἱ δύο συνθήκες (A καὶ B) νὰ βρίσκονται σὲ κατάσταση «1». Στὴν περίπτωση αὐτή, τὸ γινόμενο πρέπει νὰ εἶναι πάλι σὲ κατάσταση «1», γιατί ἡ καμπίνα ξεκινᾷ. Ἐὰν ἕνα ἀπὸ τὰ A καὶ B, ἢ καὶ τὰ δύο, εἶναι «0», τὸ λογικὸ γινόμενό τους θὰ εἶναι μηδέν, δηλαδή ἡ καμπίνα δὲν ξεκινᾷ.

Στὸ σχῆμα 9 · 10 γ (γ) βλέπουμε ὅτι οἱ συνθήκες A καὶ B παριστάνονται μὲ διακόπτες στὸ κύκλωμα. Ἐὰν καὶ οἱ δύο διακόπτες κλείσουν (δηλαδή ἔχομε A = 1 καὶ B = 1), τότε θὰ ἔχομε ρεῦμα πρὸς τὸ φορτίο πού εἶναι ἡ καμπίνα (ἄρα A · B = 1)· ἄρα ἡ καμπίνα θὰ ξεκινήσει. Ἐὰν ἕνας ἢ καὶ οἱ δύο διακόπτες ἀνοίξουν, (A = 0 ἢ B = 0), τὸ κύκλωμα δὲν κλείνει, ἄρα A · B = 0· συνεπῶς ἡ καμπίνα δὲν ξεκινᾷ.

Στὸ σχῆμα 9 · 10 γ (δ) βλέπουμε τὸ συμβολισμό τοῦ λογικοῦ πολλαπλασιασμοῦ δύο ποσοτήτων εἰσόδου (A καὶ B), πού μᾶς δίνει τὴν ἔξοδο ὡς λογικὸ γινόμενό τους (A · B).

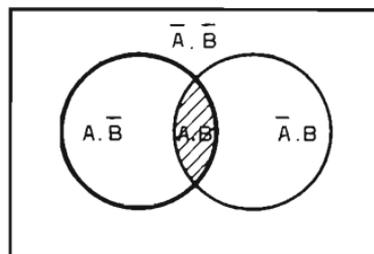
Στὸ σχῆμα 9 · 10 γ (ε) ἔχομε τὸ πραγματικὸ ἠλεκτρονικὸ κύκλωμα (ἀπλοποιημένο) μὲ κρυσταλλοδιόδους.

Οἱ εἰσοδοὶ (A-B) εἶναι μία τάση V = 0 βόλτ (κατάσταση «0»)

ἢ V = 12 βόλτ (κατάσταση «1»).

Ἡ τάση ἐξόδου V_e ἀντιπροσωπεύει τὸ λογικὸ γινόμενο A · B.

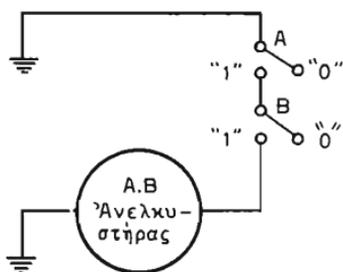
Ἡ τάση τροφοδοτήσεως είναι 12 βόλτ. Ὄταν $A = 0$, ἢ κρουσταλλοιυχία είναι πολωμένη κατὰ τὴν ὀρθή φορά (0 στὴν πλευρά



α

A	B	$f(A, B) = AB$
0	0	0
0	1	0
1	0	0
1	1	1

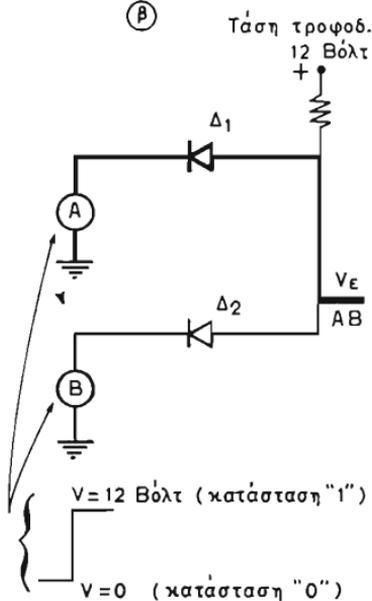
β



γ



δ



ε

Σχ. 9.10 γ.

Λογική πράξη AND: α) Διάγραμμα Venn. β) Πίνακας ἀλήθειας. γ) Ἡλεκτρικό διάγραμμα. δ) Συμβολικό διάγραμμα. ε) Ἀπλοποιημένο ἠλεκτρονικό κύκλωμα AND.

A, + 12 βόλτ στὴν ἄλλη πλευρά). Ἔτσι θὰ περνᾷ ρεῦμα ἀπ' αὐτή, με ἀποτέλεσμα ἢ τάση ἐξόδου V_{ϵ} (δηλαδή τὸ λογικό γινόμενο A.B) νὰ εἶναι μηδέν (κατάσταση «0»). Τὸ ἴδιο θὰ συμβεῖ καὶ ὅταν

$B = 0$ και όταν $A = B = 0$. Όταν όμως $A = B = 12$ βόλτ (κατάσταση «1»), τότε δεν περνά ρεύμα στην κρυσταλλοδίοδο Δ_1 ούτε στην Δ_2 , γιατί έχουμε τάση 12 βόλτ και από τους δύο πόλους τους.

Άρα η τάση εξόδου είναι ίση με την τάση τροφοδοτήσεως 12 βόλτ, άρα $V_e = 12$ βόλτ (κατάσταση λογικό γινόμενο $A \cdot B = 1$). Δηλαδή επαληθεύεται ο πίνακας αλήθειας, που σημαίνει ότι το κύκλωμα ακολουθεί τους κανόνες του λογικού πολλαπλασιασμού.

2. Λογική πράξη OR (Λογική πρόσθεση).

Ας υποθέσουμε τώρα ότι όλες οι συνθήκες για την κλήση του άνελκυστήρα ικανοποιούνται, και ο άνελκυστήρας βρίσκεται στο κύριο κατάστρωμα. Θέλουμε να ξεκινήσει ο άνελκυστήρας, αν κληθεί από οποιοδήποτε από τα άλλα τρία καταστρώματα.

Στην περίπτωση αυτή έχουμε για εισόδους τρεις συνθήκες A, B, Γ , που κάθε μία αντιπροσωπεύει και ένα κατάστρωμα.

Το διάγραμμα Venn [σχ. 9 · 10 δ (α)] στην σκιασμένη επιφάνεια μας δείχνει το χώρο μέσα στον οποίο μπορεί να ξεκινήσει ο άνελκυστήρας.

Ο πίνακας αλήθειας [σχ. 9 · 10 δ (β)] μας δείχνει ότι οποιοδήποτε κατάστρωμα και να καλέσει (κατάσταση $A = 1$ ή $B = 1$ ή $\Gamma = 1$), τότε θα έχουμε το λογικό άθροισμα $A + B + \Gamma = 1$.

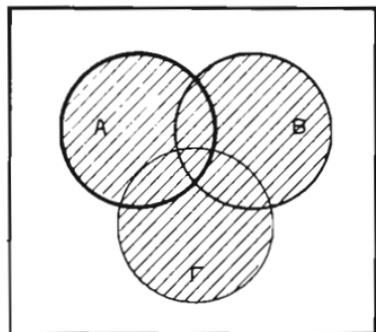
Αν όμως δεν καλέσει τον άνελκυστήρα κανένα κατάστρωμα ($A = B = \Gamma = 0$), τότε το λογικό άθροισμα $A + B + \Gamma = 0$. Άρα ο άνελκυστήρας δεν θα ξεκινήσει.

Στο σχήμα 9 · 10 δ (γ) έχουμε ηλεκτρικό κύκλωμα, το οποίο μας δείχνει ποιός ή ποιοί διακόπτες κλείνουν ($A = 1$ ή $B = 1$ ή $\Gamma = 1$ ή συνδυασμός αυτών ίσων με 1). Τότε κλείνει το κύκλωμα, και ο άνελκυστήρας ξεκινά. Αν όμως όλοι οι διακόπτες είναι ανοικτοί, $A = B = \Gamma = 0$. Τότε το κύκλωμα δεν κλείνει, και ο άνελκυστήρας δεν τροφοδοτείται με ρεύμα. Άρα δεν ξεκινά.

Στο σχήμα 9 · 10 δ (δ) έχουμε το συμβολισμό της λογικής προσθέσεως, με είσοδο A, B, Γ σε κατάσταση «0» ή «1», και έξοδο το λογικό άθροισμα των $A + B + \Gamma$.

Στο σχήμα 9 · 10 δ (ε) έχουμε το ηλεκτρονικό κύκλωμα του λογικού άθροίσματος. Αν το $A = B = \Gamma = 0$, τότε οι κρυσταλλοδίοδοι έχουν πόλωση μηδέν, άρα δεν διαρρέονται από ρεύμα. Η τάση εξόδου $V_e = 0$ βόλτ (ίση δηλαδή με την τάση τροφοδοτήσεως).

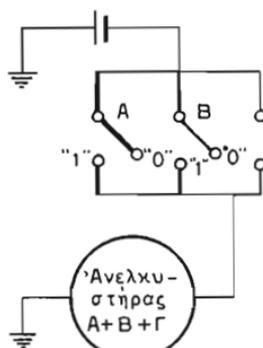
Ἐάν ὅμως μία τουλάχιστον τῶν τάσεων Α, Β, Γ εἶναι + 12 βόλτ (δηλαδή σέ κατάσταση «1»), τότε ἡ ἀντίστοιχη κρυσταλλοδιόδος



α

A	B	Γ	$f(A,B,\Gamma) = A+B+\Gamma$
0	0	0	0
0	0	1	1
0	1	0	1
0	1	1	1
1	0	0	1
1	0	1	1
1	1	0	1
1	1	1	1

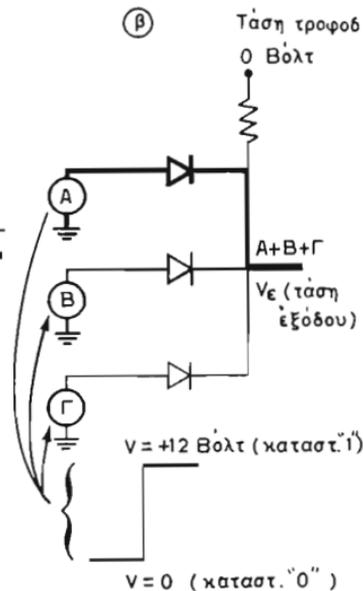
β



γ



δ



ε

Σχ. 9-10 δ.

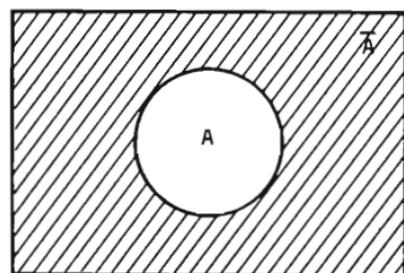
Λογική πράξη OR : α) Διάγραμμα Venn. β) Πίνακας ἀλήθειας. γ) Ἡλεκτρικό διάγραμμα. δ) Συμβολικό διάγραμμα. ε) Ἀπλοποιημένο ἠλεκτρονικό κύκλωμα OR.

ἔχει εὐθεία πόλωση (ὀρθή πόλωση). Ἐὰρ ἡ κρυσταλλοδιόδος αὐτή διαρρέεται ἀπὸ ρεῦμα, καὶ ἡ τάση εἰσόδου ἐμφανίζεται αὐτούσια

στην έξοδο. Δηλαδή $V_e = 12$ βόλτ, κατάσταση «1». Βλέπουμε δηλαδή ότι το κύκλωμα έπαληθεύει τον πίνακα αλήθειας, δηλαδή ακολουθεί τους κανόνες της λογικής άθροίσεως.

3. Λογική πράξη άρνήσεως (Λογική αναστροφή σημείου).

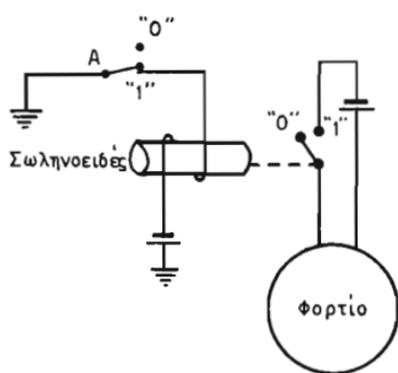
‘Η σκιασμένη περιοχή του σχήματος 9·10 ε (α) αναπαριστᾶ



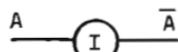
α)

A	$f(A) = \bar{A}$
1	0
0	1

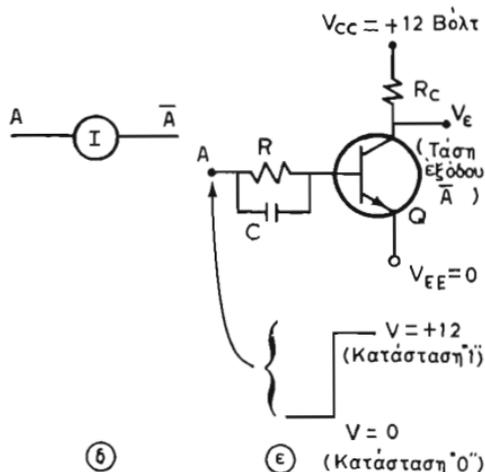
β)



γ)



δ)



ε)

Σχ. 9·10 ε.

Λογική πράξη NOT: α) Διάγραμμα Venn. β) Πίνακας αλήθειας. γ) ‘Ηλεκτρικό διάγραμμα. δ) Συμβολικό διάγραμμα. ε) ‘Απλοποιημένο ηλεκτρονικό κύκλωμα NOT.

τό χωρο αντίστροφου σημείου του \bar{A} , την περιοχή δηλαδή όπου δέν υπάρχει A , δηλαδή είναι \bar{A} .

Στόν πίνακα αλήθειας [σχ. 9·10 ε (β)] έχομε έξοδο σέ κατά-

σταση «1», όταν η είσοδος είναι όχι A (δηλαδή κατάσταση $A = 0$).

Στο ηλεκτρικό κύκλωμα [σχ. 9 · 10 ε (γ)], όταν ο διακόπτης A κλείσει, όταν δηλαδή έχουμε κατάσταση «1», ενεργοποιείται το σωληνοειδές, το οποίο έλκει και ανοίγει το διακόπτη έξοδου. Έτσι διακόπτεται το ρεύμα από το φορτίο. Άρα η έξοδος (φορτίο) βρίσκεται σε κατάσταση «0».

Επίσης, αν η είσοδος είναι σε κατάσταση «0» ($A = 0$), δηλαδή διακόπτης A ανοικτός, το σωληνοειδές δεν διαρρέεται από ρεύμα. Άρα δεν έλκει το διακόπτη του φορτίου, οπότε το φορτίο τροφοδοτείται με ρεύμα, άρα βρίσκεται σε κατάσταση «1».

Όπως βλέπομε λοιπόν στο σχήμα 9 · 10 ε (δ), η λογική αναστροφή του κυκλώματος αυτού είναι η αναστροφή του σημείου της καταστάσεως εισόδου.

Το ηλεκτρονικό κύκλωμα αναστροφής σημείου [σχ. 9 · 10 ε (ε)] μπορεί να είναι μία κρυσταλλοτρίοδος.

Αν η είσοδος A είναι $V = 0$ (κατάσταση «0»), τότε η κρυσταλλοτρίοδος Q δεν διαρρέεται από ρεύμα. Άρα η τάση έξοδου V_e ισούται με $V_{CC} = +12$ βόλτ, δηλαδή σε κατάσταση «1», δηλαδή αντίθετη του A. Αντίθετα, όταν η είσοδος A είναι $V = +12$ βόλτ, δηλαδή η κρυσταλλοτρίοδος Q διαρρέεται από ρεύμα, η τάση έξοδου V_e ισούται με το μηδέν, δηλαδή έχουμε κατάσταση «0», ή οποία είναι πάλι αντίθετη της καταστάσεως του A. Βλέπομε δηλαδή ότι έπαληθεύεται ο πίνακας αλήθειας, και η έξοδος είναι αντίστροφη της εισόδου.

9 · 11 Ύπολογιστικά κυκλώματα.

Τα λογικά κυκλώματα που περιγράψαμε στην προηγούμενη παράγραφο, αποτελούν την πιο βασική μορφή κυκλωμάτων μιας νέας τεχνολογίας, που χρησιμοποιείται σε ευρεία έκταση σήμερα. Με συνδυασμό αυτών των βασικών κυκλωμάτων, που ονομάζονται και *θύρες* (Gates), με άλλα ηλεκτρονικά κυκλώματα (Κεφάλ. 1, 2) έχουν κατασκευαστεί σήμερα πολύπλοκοι μηχανισμοί, που χρησιμοποιούνται για την εκτέλεση των πιο σύνθετων υπολογισμών, σε ταχύτατο χρόνο. Έτσι έχουν δημιουργηθεί τα υπολογιστικά κυκλώματα και οι γνωστοί *ηλεκτρονικοί υπολογιστές*.

Υπάρχουν δύο ειδών ηλεκτρονικοί υπολογιστές: Οι *αναλογικοί* (Analog) και οι *ψηφιακοί* (Digital). Στους αυτοματισμούς χρη-

σιμοποιούνται αποκλειστικά οί ψηφιακοί, και με αυτούς θα άσχολη-
θοϋμε. Έπομένως, με τόν όρο ύπολογιστής θα έννοοϋμε πάντοτε τόν
ήλεκτρονικό ψηφιακό ύπολογιστή.

Ό ύπολογιστής, λοιπόν, δέν είναι παρὰ μία άπλή και ταχεία
άριθμομηχανή. Στην πραγματικότητα, ή μόνη πράξη που έκτελεί,
είναι ή πρόσθεση ή ή άφαιρέση. Ό πολλαπλασιασμός έπιτυγχάνεται
με διαδοχικές προσθέσεις π.χ. $5 \times 4 = 5 + 5 + 5 + 5$, και ή διαί-
ρεση αντίστοιχα με διαδοχικές αφαιρέσεις π.χ. τó 20:6 αναλύεται:
 $20 - 6 = 14$, $14 - 6 = 8$ και τελικά $8 - 6 = 2$, έπομένως:

$$\frac{20}{6} = 3 \frac{2}{6} = 3 \frac{1}{3}$$

Τά πλεονεκτήματα ένός ύπολογιστή έναντι μιās κοινής έπιτρα-
πέζιας άριθμομηχανής είναι ή ταχύτητα έκτελέσεως τών πράξεων
και ή δυνατότητα διατηρήσεως δεδομένων στη μνήμη του ύπολο-
γιστή.

Συγκεκριμένα, ή ταχύτητα έκτελέσεως τών άριθμητικών πρά-
ξεων, χάρη στα είδικά ήλεκτρονικά κυκλώματα, είναι έκπληκτική.
Άπαιτοϋνται μερικά μόνο μικροδευτερόλεπτα (μδλ) για τήν έκτέλεση
πολύπλοκων άριθμητικών ύπολογισμών, που γι' αυτούς ένας μα-
θηματικός θα χρειαζόταν ώρες ή και μέρες συνεχούς έργασίας.

Η δυνατότητα διατηρήσεως τών δεδομένων στη μνήμη του
ύπολογιστή παρέχει τήν εύχέρεια άποθηκεύσεως χρήσιμων γνώσεων
και έντολών. Η έκτέλεση τών έντολών με τή σειρά που έπιθυμοϋμε,
έπιτρέπει στον ύπολογιστή τήν έκτέλεση μιās σειρās άπό άριθμη-
τικές πράξεις, όπως και τή σύγκριση μεταξύ διαφορετικών μεγεθών,
για τή λήψη άποφάσεων. Η έκτέλεση τών πράξεων κατά τήν έπι-
θυμητή σειρά άποτελεί τó λεγόμενο πρόγραμμα του ύπολογιστή.

Ό ύπολογιστής όμως δέν διαθέτει δύναμη σκέψεως. Άπλως
άκολουθεί τυφλά τή σειρά τών όδηγιών που έλαβε και που άποτελοϋν
τó πρόγραμμα. Άν τó πρόγραμμα δέν περιέχει λάθη, ή σειρά τών
ύπολογισμών θα καταλήξει σε λογικό άποτέλεσμα, αν όμως τó πρό-
γραμμα είναι λαθασμένο, ό ύπολογιστής θα συνεχίσει νά εργάζεται,
έξάγοντας λάθος συμπεράσματα, μέχρι νά έπέμβει και νά τόν σταμα-
τήσει ό χειριστής.

Ἡ ἀπόδοση κάθε ὑπολογιστῆ ἐξαρτᾶται ἐπομένως ἄμεσα ἀπὸ τὴν ποιότητα τοῦ προγράμματος. Ὁ ὑπολογιστὴς δὲν ἔχει τὴ δυνατότητα νὰ διορθῶναι μόνος του ἓνα λαθασμένο πρόγραμμα. Ἐπίσης, δὲν πρόκειται νὰ κατασκευαστεῖ ποτὲ ὑπολογιστὴς μὲ αὐτὴ τὴ δυνατότητα, γιατί αὐτὸ προϋποθέτει δυνατότητα σκέψεως, πράγμα πὺ ἀποκλείεται.

Ἡ ἀριθμητικὴ, πὺ χρησιμοποιεῖ ὁ ὑπολογιστὴς, διαφέρει ἀπὸ τὴ γνωστὴ μας, πὺ ἔχει ὡς βάση τὸ δεκαδικὸ σύστημα, δηλαδὴ δὲν χρησιμοποιοῦνται οἱ ἀριθμοὶ 0, 1, 2 . . . 9, ἀλλὰ μόνο δύο ψηφία, τὸ 0 καὶ τὸ 1.

Τὸ ἀριθμητικὸ αὐτὸ σύστημα, ἐπειδὴ βασίζεται σὲ δύο ψηφία, ἔναντι τῶν δέκα τοῦ δεκαδικοῦ, καλεῖται *δυναδικό*.

Στὸ δυναδικὸ σύστημα, τὰ ψηφία, ἀντὶ νὰ παριστάνουν τὶς μονάδες, δεκάδες, ἑκατοντάδες κ.λπ. ὅπως στὸ δεκαδικὸ σύστημα, παριστάνουν τὶς μονάδες, δυνάδες, τετράδες, ὀκτάδες κ.λπ., ἀπὸ τὰ δεξιὰ πρὸς τὰ ἀριστερά.

*Δεκαδικὸ*1
2
3
4
5
6*Δυναδικὸ*

$$01 = 0 \times 2^1 + 1 \times 2^0$$

$$10 = 1 \times 2^1 + 0 \times 2^0$$

$$11 = 1 \times 2^1 + 1 \times 2^0$$

$$100 = 1 \times 2^2 + 0 \times 2^1 + 0 \times 2^0$$

$$101 = 1 \times 2^2 + 0 \times 2^1 + 1 \times 2^0$$

$$110 \text{ κ.ο.κ.}$$

Ὅπως φαίνεται καὶ ἀπὸ τὸν πίνακα, οἱ ἀριθμοὶ στὸ δυναδικὸ χρειάζονται περισσότερα ψηφία γιὰ νὰ ἀποδοθοῦν. Ἀλλὰ τὸ δυναδικὸ σύστημα ἔχει τὸ πλεονέκτημα ὅτι τὰ δύο ψηφία 0 καὶ 1 ἀντιπροσωπεύουν φυσικὴ ἔννοια, καὶ μποροῦν νὰ παρασταθοῦν μὲ φυσικὸ μέγεθος. Π.χ. σὲ ἠλεκτρικὸ κύκλωμα, ὅταν ὁ διακόπτης εἶναι ἀνοικτός, δὲν κυκλοφορεῖ ρεῦμα. Ἐπομένως, ἡ φυσικὴ κατάσταση μπορεῖ νὰ παρασταθεῖ μὲ τὸ μηδέν. Ἄν τώρα κλείσομε τὸ διακόπτη, θὰ κυκλοφορήσει ρεῦμα. Ἡ κατάσταση ἀντιπροσωπεύεται μὲ τὴ μονάδα, ὅπως ἔχει ἐξηγηθεῖ στὴν προηγούμενη παράγραφο.

Τώρα μποροῦμε νὰ συμπεράνομε ὅτι τὰ λογικὰ κυκλώματα, πὺ περιγράψαμε στὴν προηγούμενη παράγραφο, ἀκολουθοῦν τοὺς κανόνες ἑνὸς ἀριθμητικοῦ συστήματος, τὸ ὁποῖο εἶναι τὸ δυναδικό.

Για διευκόλυνση και αποφυγή συγχύσεως, οι οδηγίες που δίνουμε στον υπολογιστή, με αριθμητική μορφή, και η λύση του προβλήματος, που μās παρέχει ο υπολογιστής, γράφονται κατά κανόνα στη δεκαδική μορφή. Ειδικά κυκλώματα του υπολογιστή μετατρέπουν αυτόματως τὰ δεκαδικὰ ψηφία σέ δυαδικὰ και αντίστροφως.

Ο υπολογιστής αποτελείται βασικά από τις εξής μονάδες:

α) *Αριθμητική μονάδα.* Η μονάδα αυτή είναι εκείνη, η οποία έχει τή δυνατότητα εκτελέσεως αριθμητικῶν πράξεων.

β) *Μονάδα ἐλέγχου.* Μέ τή μονάδα ἐλέγχου ἐλέγχεται ἡ λειτουργία τῆς *αριθμητικῆς μονάδας* του υπολογιστή, ὥστε νά πραγματοποιοῖ τις ἐπιθυμητές πράξεις.

γ) *Μονάδα μνήμης.* Η *αριθμητική μονάδα* ἡ ὅποια ἐκτελεῖ τή μαθηματική ἐπεξεργασία, πρέπει νά εἶναι σέ θέση νά ἀποθηκεύει μίαν ἀπάντηση και συγχρόνως νά υπολογίζει ἕνα ἄλλο τμήμα του προβλήματος. Ἡ εἰδική ἀπάντηση μπορεῖ νά χρησιμοποιηθεῖ ἀργότερα σέ ἕνα ἄλλο τμήμα του προβλήματος. Ἐπίσης, ἡ *αριθμητική μονάδα* και ἡ *μονάδα ἐλέγχου* πρέπει νά παρέχουν πληροφορίες μέσα στο σύστημα του υπολογιστή για δεδομένο πρόβλημα.

Για νά γίνουν τὰ παραπάνω δυνατά, ὁ υπολογιστής πρέπει νά περιέχει στοιχεῖα, τὰ ὅποια νά ἔχουν τή δυνατότητα νά ἀπομνημονεύσουν ἢ ἀποθηκεύσουν πληροφορίες. Τὰ στοιχεῖα του υπολογιστή, που ἔχουν τήν ικανότητα αὐτή, ὀνομάζονται *μονάδα μνήμης*.

δ) *Μονάδα εἰσόδου - ἐξόδου.* Οἱ μονάδες αὐτές μεταφράζουν αὐτόματα τις ἐντολές, που δίνει ὁ ἄνθρωπος στον υπολογιστή, και τις ἀπαντήσεις του υπολογιστή πρὸς τὸν ἄνθρωπο.

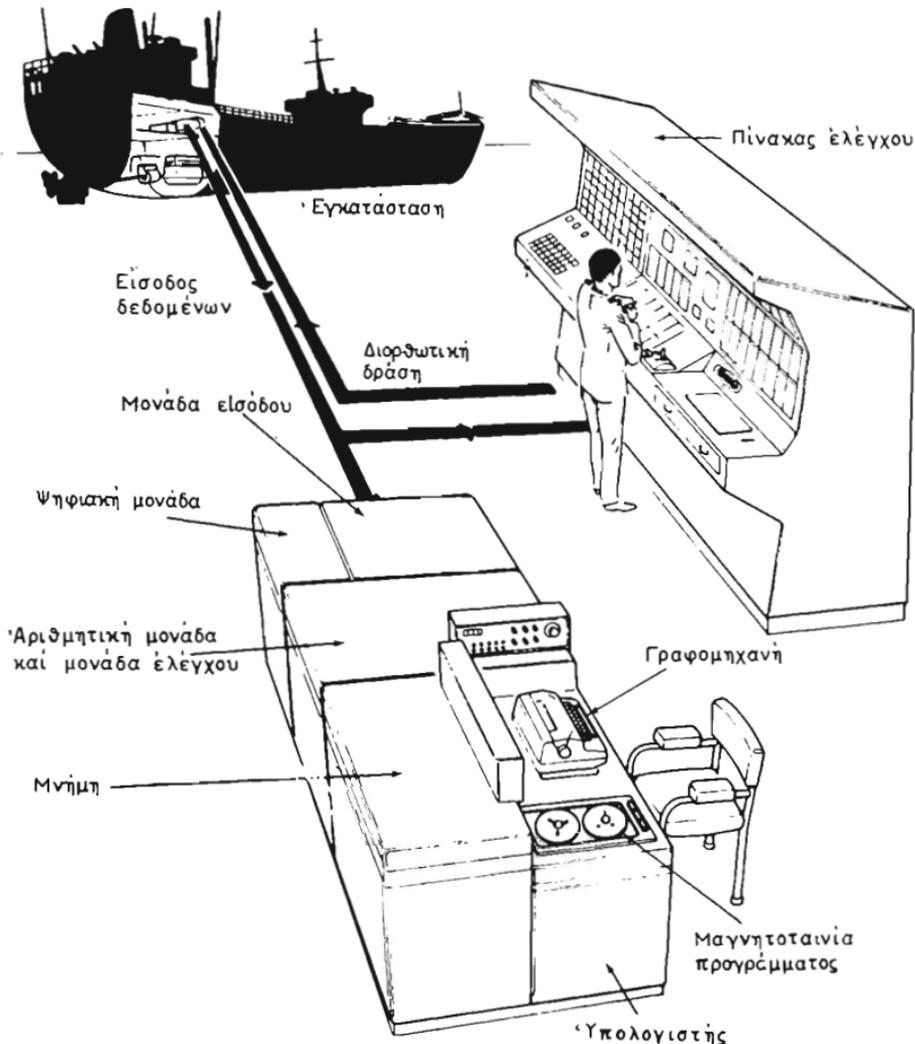
Ἄς ἐξετάσουμε μίαν ἐφαρμογή τῶν ἠλεκτρονικῶν υπολογιστῶν στο πλοῖο.

Στο σχῆμα 9 · 11 σημειώνεται διαγραμματική ἀπεικόνιση σύγχρονου συστήματος ἐλέγχου, με κεντρική μονάδα υπολογιστή.

Στο σχῆμα διακρίνουμε τήν ἐγκατάσταση προώσεως ὑπὸ ἐλεγχου, τὸν υπολογιστή και τήν κοσόλα ἐλέγχου.

Ἡ κοσόλα ἐλέγχου δὲν διαφέρει ἀπὸ τή συνηθισμένη ἑνὸς αὐτοματοποιημένου συστήματος, χωρίς υπολογιστή. Περιέχει δηλαδή τὰ ὄργανα μετρήσεων, τὰ χειριστήρια κυρίων μηχανῶν και βοηθητικῶν μηχανημάτων, τοὺς κώδωνες και φῶτα συναγεροῦ κ.λπ.

Ἡ διαφορά στὴν ἐγκατάσταση ἔγκειται στὸν ὑπολογιστὴ. Ὁ ὑπολογιστὴς μὲ τὰ παρελκόμενα ἠλεκτρονικὰ κυκλώματα παρακολουθοῦν τὴ λειτουργία τῆς ἐγκαταστάσεως καὶ ἀναλύουν τὰ λαμ-



Σχ. 9-11.

Χρησιμοποίηση ἠλεκτρονικοῦ ὑπολογιστὴ στὴν πρόωση.

βανόμενα σήματα τῶν ὀργάνων μετρήσεως. Στὴ μνήμη τοῦ ὑπολογιστὴ εἶναι ἀποτυπωμένες οἱ ὁδηγίες λειτουργίας καὶ ἀντιμετωπίσεως

άνωμαλιών, που συνιστούν το πρόγραμμα. Στη μνήμη αποθηκεύονται επίσης, για παραπέρα έπεξεργασία, τα λαμβανόμενα σήματα.

Ένσωματωμένες στον υπολογιστή υπάρχουν επίσης και οι εξής μονάδες:

α) *Συσκευή έλεγχου μεταδοτών*. Η συσκευή αυτή έλέγχει, σύμφωνα με τις οδηγίες του υπολογιστή, την έξοδο των μεταδοτών. Κι' έπειδή οι μετρήσεις είναι πάντοτε σε ανάλογη μορφή (ήλεκτρικά σήματα), τις μετατρέπει σε ψηφία.

β) *Μονάδα συγχρονισμού διακοπής*. Η μονάδα συγχρονισμού παράγει τους απαραίτητους ήλεκτρονικούς παλμούς για το συντονισμό των διαφόρων ήλεκτρονικών κυκλωμάτων του υπολογιστή, τον έλεγχο των ήλεκτρονόμενων και τη λειτουργία της γραφομηχανής. Επίσης εξασφαλίζει ότι ο υπολογιστής λειτουργεί με βάση τη σπουδαιότητα του θέματος, που ανακύπτει κάθε φορά.

Αν π.χ. ληφθεί μία ένδειξη, ότι σε τμήμα του συστήματος έμφανίστηκε βλάβη, τότε η μονάδα συγχρονισμού διακόπτει τη σειρά εκτελέσεως του συνηθισμένου προγράμματος, και θέτει σε ένεργεια το είδικό πρόγραμμα για την αντιμετώπιση της άνωμαλίας. Έστω ότι η σειρά του προγράμματος προβλέπει τη μέτρηση, διαδοχικά, της θερμοκρασίας έξαγωγής των κυλίνδρων μιās μηχανής Ντίζελ. Αν κατά τη μέτρηση βρεθεί ότι η θερμοκρασία του Νο 3 κυλίνδρου είναι ύψηλότερη από την κανονική, τότε η μονάδα συγχρονισμού σταματά τη μέτρηση της θερμοκρασίας των ύπολοίπων, και θέτει σε ργεια είδικό πρόγραμμα για την αντιμετώπιση της άνωμαλίας.

Το πρόγραμμα αυτό περιέχει, διατυπωμένες στη γλώσσα του ολογιστή, τις ένεργειες εκείνες που θα αναλάμβανε ένας έμπειρος χανικός για την αντιμετώπιση της συγκεκριμένης άνωμαλίας.

ωστε το πρόγραμμα έχει γραφεί κατόπιν οδηγιών μηχανικού άναλογες γνώσεις. Μπορούμε λοιπόν να ύποθέσουμε, ότι στο πρόγραμμα περιλαμβάνονται κινήσεις αντιμετωπίσεως της άνωμαλίας

:

- α) Έπαλήθευση της μετρήσεως, β) έλεγχος της θερμοκρασίας νερού ψύξεως του Νο 3 κυλίνδρου, γ) έλεγχος της πίεσεως λισεως του ίδιου κυλίνδρου, δ) έλεγχος της ποσότητας καυσίμου καταναλίσκεται στον κύλινδρο Νο 3 κ.λπ. ε) μείωση στροφών) κράτηση της μηχανής.

γ) *Μονάδα έλέγχου.*

Τὰ κυκλώματα τῆς μονάδας έλέγχου κατευθύνουν τῆ σειρά ἐνεργειῶν, πού ἀπαιτοῦνται γιά τῆ λειτουργία τῆς ἐγκαταστάσεως. Π.χ., ὅταν ὁ ἀξιωματικός γέφυρας κλείσει τὸ διακόπτη ἐκκινήσεως τῶν κυρίων μηχανῶν, τὸ κύκλωμα έλέγχου δέχεται τὸ ἀνάλογο σῆμα, καὶ τὸ πρόγραμμα *Έκκίνηση Κυρίων Μηχανῶν*, τίθεται σὲ ἐνέργεια. Ἄκολουθοῦν ὅλες οἱ ἀπαραίτητες κινήσεις, ὅπως προλίπανση, έλεγχος φιαλῶν ἐκκινήσεως, ἀποσυνδέσεις κρίκου κ.λπ.

Τὸ νευραλγικὸ κέντρο, πού διατάζει καὶ παρακολουθεῖ τὴν ἐκτέλεση ὄλων αὐτῶν τῶν κινήσεων, εἶναι ἡ *μονάδα έλέγχου*.

Έκτὸς ἀπὸ τὴν ἐκτέλεση τῶν προγραμματισμένων κινήσεων, ὁ ὑπολογιστῆς ἔχει τὴ δυνατότητα ἐφαρμογῆς, σὲ περίπτωση ἀνάγκης, εἰδικῶ προγράμματος ἐναλλακτικῆς λύσεως, ὅπως καὶ τυχὸν ἀντιμετωπίσεως ἀνωμαλίας. Ὁ ρόλος ἐπομένως τοῦ μηχανικῶ φυλακῆς περιορίζεται πολὺ, καὶ ἡ πιθανότητα ἐκτελέσεως ἐσφαλμένου χειρισμοῦ μειώνεται. Αὐτό, ἄλλωστε, εἶναι καὶ τὸ πλεονέκτημα ἐγκαταστάσεως ὑπολογιστῆ.

Ἡ ἐγκατάσταση πού περιγράψαμε ἐκτὸς ἀπὸ ὅσα ἤδη ἔχουν ἐκτεθεῖ, παρέχει στὸ μηχανικὸ φυλακῆς καὶ τὶς παρακάτω πληροφορίες:

1. Προειδοποίηση ὅτι ἐπίκειται ἀνωμαλία.
2. Εἰδοποίηση ἐμφάνισεως τῆς ἀνωμαλίας, καὶ ὅτι ἔχουν ληφθεῖ τὰ ἀπαραίτητα μέτρα.
3. Ἐνημέρωση ὅτι ἡ ὑπάρχουσα κατάσταση δὲν ἀπαιτεῖ ἄμεση ἐνέργεια ἀντιμετωπίσεως, ἀλλὰ πρέπει νὰ προγραμματιστεῖ ἡ ἐπισκευή σὲ συνδυασμὸ μὲ τὴν προβλεπόμενη συντήρηση.

Ὁ τρόπος διατυπώσεως τῶν παρεχόμενων πληροφοριῶν δίνει στὸ μηχανικὸ φυλακῆς τὴ δυνατότητα νὰ ἐντοπίσει ἐπακριβῶς τὴ βλάβη χωρὶς κίνδυνο συγχύσεως. Γιά τὸ σκοπὸ αὐτό, στὴν κονσόλα έλέγχου ὑπάρχει σχεδιασμένη σκαριφηματικὴ διάταξη τῆς ἐγκαταστάσεως. Σὲ κάθε καίριο σημεῖο, ἀπὸ ὅπου λαμβάνεται μέτρηση, π.χ. τριβεῖς, περιχιτώνιοι θάλαμοι κ.λπ., εἶναι συνδεμένος ἠλεκτρικὸς λαμπτήρας. Σὲ περίπτωση βλάβης, ὁ λαμπτήρας ἀναβοσβῆνει αὐτόματα, ἐνῶ ταυτόχρονα ἐνεργοποιεῖται μία σειρήνα. Μὲ τὸν τρόπο αὐτὸ ὁ μηχανικὸς μπορεῖ νὰ διαγνώσει τὴ βλάβη μὲ «μιά ματιά».

Αν τώρα απαιτούνται περισσότερες πληροφορίες για το μέγεθος της βλάβης, π.χ. ή ακριβής θερμοκρασία του τριβέα που υπερθερμάνθηκε, τότε, με το πάτημα διακόπτη, ο υπολογιστής θέτει σε λειτουργία τη γραφομηχανή και μᾶς παρέχει τὰ ἀπαραίτητα στοιχεία.

Ακόμα, μέσω της γραφομηχανής, και με την ενεργοποίηση του κατάλληλου διακόπτη, μπορούμε να έχουμε πληροφορίες για κάθε ελεγχόμενο τμήμα της εγκαταστάσεως, ή και για όλα μαζί, καθώς και για τον αριθμό των ώρων λειτουργίας κάθε μηχανήματος.

Όπως είπαμε πιο πάνω, η κονσόλα αποτελείται από διάφορα τμήματα, που το καθένα αντιπροσωπεύει και ένα τμήμα της εγκαταστάσεως, π.χ. κύριες μηχανές, βοηθητικά μηχανήματα, ηλεκτρογεννήτριες κ.λπ.

Οι τηλεχειρισμοί των μηχανών και μηχανημάτων είναι επίσης εγκαταστημένοι στην κονσόλα έλεγχου, συνήθως σε σκαριφηματική διάταξη. Με τον τρόπο αυτό δεν χρειάζεται ο μηχανικός φυλακής να εισέρχεται στο μηχανοστάσιο για να εκτελεί τους χειρισμούς.

Σε περίπτωση μάλιστα που ο θάλαμος έλεγχου δεν έχει οπτική έπαφή με το μηχανοστάσιο, χάρη στο εγκαταστημένο κλειστό κύκλωμα τηλεοράσεως, υπάρχει σε κάθε στιγμή επίβλεψη του μηχανοστασίου από το θάλαμο έλεγχου.

Με τη σύντομη αυτή περιγραφή δόθηκε μικρή ιδέα του πώς είναι δυνατόν ένας υπολογιστής να ενσωματωθεί στο κύκλωμα αυτοματισμού ενός μοντέρνου πλοίου, με τον πιο πρόσφορο τρόπο.

9.12 Έρωτήσεις.

1. Σχεδιάστε ένα βασικό διάγραμμα κυκλώματος παρακολουθήσεως.
2. Ποιές κατηγορίες συστημάτων παρακολουθήσεως υπάρχουν;
3. Αναφέρετε μερικά παραδείγματα τηλεχειρισμών.
4. Ποιές είναι οι άρχες λειτουργίας των βηματιστικών μεταδοτών και ιά τὰ μειονεκτήματά τους;
5. Ποιός είναι ο σκοπός του στάτη, και πώς τροφοδοτείται με ρεύμα;
6. Ποιός είναι ο σκοπός του δρομέα, και πώς ηλεκτροδοτείται;
7. Σχεδιάστε ένα συγχρονοδέκτη, και τροφοδοτείστε τὰ τυλίγματα έτσι, να στραφεί κατά 30°.
8. Όταν ο δρομέας του μεταδότη στραφεί κατά 240°, τί τάσεις θα αναπτωμεταξύ των τυλιγμάτων του στάτη του;
9. Τί άνωμαλίες παρατηρούνται συνήθως στους συγχρονομεταδότες και δέκτες;

10. Δώστε μερικά παραδείγματα τηλενδείξεων.
11. Ποῦ χρησιμοποιούνται τὰ συγχρονοδιαφορικά;
12. Τί εισόδους καὶ τί ἐξόδους ἔχει ἓνα συγχρονοδιαφορικό, καὶ ποιά σχέση ὑπάρχει μεταξύ εισόδων καὶ ἐξόδων;
13. Πῶς λειτουργεῖ ἓνας μετασχηματιστῆς ἐλέγχου;
14. Ὄταν πατήσουμε τὸ κομβίο κλήσεως ἑνὸς ἀνελκυστήρα, σὲ τί λογικὴ κατάσταση θὰ εἶναι πλέον τὸ κομβίο αὐτό;
15. Ποιές εἶναι οἱ πιὸ βασικὲς λογικὲς πράξεις;
16. Σχεδιάστε τὸ διάγραμμα Venn καὶ τὸν πίνακα ἀλήθειας λογικοῦ πολλαπλασιασμοῦ (AND) A καὶ B.
17. Σχεδιάστε τὸ ἠλεκτρικὸ καὶ ἠλεκτρονικὸ κύκλωμα λογικῆς προσθέσεως (OR) A καὶ B.
18. Τί εἶναι ἡ λογικὴ πράξη ἀρνήσεως (NOT);
19. Τί εἶναι οἱ λογικὲς θύρες;
20. Πόσων εἰδῶν ἠλεκτρονικούς ὑπολογιστῆς ἔχομε, καὶ τί πλεονεκτήματα ἔχουν;
21. Τί εἶναι τὸ δυαδικὸ σύστημα ἀριθμῆσεως;
22. Πῶς παριστάνεται ὁ ἀριθμὸς 7 στὸ δυαδικὸ σύστημα;
23. Ἀπὸ ποιές κύριες μονάδες ἀποτελεῖται ἓνας ἠλεκτρονικὸς ὑπολογιστῆς;
24. Τί κινήσεις μπορεῖ νὰ περιλαμβάνει ἓνα πρόγραμμα ἐλέγχου θερμοκρασίας κυλίνδρων μιᾶς μηχανῆς Ντῆζελ;

ΝΑΥΤΙΚΑ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΑ ΟΡΓΑΝΑ

10 · 1 Είσαγωγή.

Σήμερα, με τή ραγδαία ανάπτυξη τῆς τεχνολογίας, σὲ ἓνα πλοῖο ἔχομε ἄρκετὲς ἠλεκτρονικὲς συσκευὲς γιὰ τὴν ὑποβοήθηση τῶν ναυτιλλομένων. Τέτοιες εἶναι οἱ συσκευὲς ραδιοεντοπισμοῦ (ραντάρ), ἀσύρματης τηλεπικοινωνίας, τὰ ἠχοβολιστικά, τὰ ραδιογωνιόμετρα, τὰ αὐτόματα πηδάλια, τὰ δρομόμετρα, οἱ πορειογράφοι, οἱ πυξίδες κ.λπ. Γιὰ τὶς συσκευὲς τηλεπικοινωνίας (ἀσύρματος - ραδιοτηλέφωνο) ἔχομε μιλήσει στὰ Κεφάλαια 6 καὶ 8. Ἐδῶ θὰ περιγράψομε τὶς κυριότερες ἀπὸ τὶς ὑπόλοιπες συσκευὲς.

10 · 2 Συσκευὲς ραδιοεντοπισμοῦ (Radar).

Οἱ συσκευὲς ραδιοεντοπισμοῦ, γνωστότερες ὡς Radar, εἶναι ἠλεκτρονικὲς συσκευὲς, ποὺ χρησιμοποιοῦνται γιὰ τὸν προσδιορισμὸ τῆς κατευθύνσεως καὶ τῆς ἀποστάσεως ἀντικειμένων, π.χ. πλοίων, ἀκτῶν κ.λπ.

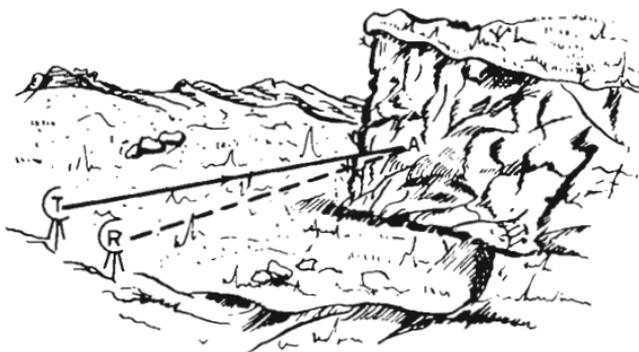
Ἡ λέξη Radar προέρχεται ἀπὸ τὰ ἀρχικὰ τῶν ἀγγλικῶν λέξεων Radio Detection and Ranging, ποὺ σημαίνει ραδιοεντοπισμὸς καὶ καθορισμὸς ἀποστάσεως.

1. Ἀνάκλαση ἠχητικῶν κυμάτων.

Ἡ ἀρχὴ λειτουργίας τοῦ Radar εἶναι παρόμοια μὲ τὴν ἀρχὴ τῆς ἀνακλάσεως τῶν ἠχητικῶν κυμάτων. Ὅπως εἶναι γνωστὸ, ἂν μψομε ἦχο πρὸς τὴ διεύθυνση μιᾶς ἠχοανακλαστικῆς ἐπιφάνειας (π.χ. πρὸς τὴ διεύθυνση τῆς πλαγιᾶς λόφου), μετὰ ἀπὸ λίγο ἀκοῦμε ἄλι τὸν ἦχο νὰ ἐπιστρέφει ἀπὸ τὴ διεύθυνση τῆς ἠχοανακλαστικῆς ἐπιφάνειας. Στὴν πραγματικότητα, τὰ παραγόμενα ἀπὸ μᾶς ἠχητικὰ ἴματα διαδίδονται μέσω τοῦ ἀέρα, μέχρι νὰ προσπέσουν πάνω στὴν ἠχοανακλαστικὴ ἐπιφάνεια. Ἐκεῖ, ἓνα μέρος τους ἀπορροφεῖται, μεταί σὲ θερμότητα καὶ χάνεται. Μέρους τους πάλι, ἀφοῦ ἀνακλαί, ἐπιστρέφει πρὸς τὴν πηγὴ ποὺ τὰ παράγει, μὲ ἀποτέλεσμα ἄκοῦμε τὴν «ἠχώ» τοῦ ἦχου, ποὺ ἐκπέμπεται.

Από τη στιγμή που εκπέμπεται ο ήχος μέχρι και τη στιγμή που θα ακούσουμε την ήχώ του, παρέρχεται ορισμένος χρόνος, γιατί τα ήχητικά κύματα διαδίδονται στον αέρα με ταχύτητα περίπου 1100 πόδια ανά δευτερόλεπτο (ή 335 μέτρα ανά δευτερόλεπτο). Έτσι λοιπόν, όσο πιο μακριά βρισκόμαστε από την ήχοανακλαστική επιφάνεια, τόσο μεγαλύτερος θα είναι ο χρόνος που μεσολαβεί από τη στιγμή που παράγεται ο ήχος, μέχρι τη στιγμή που θα ακούσουμε την ήχώ του.

Αν π.χ. βρισκόμαστε σε απόσταση 2200 πόδια (670 μέτρα) από την ανακλαστική επιφάνεια, θα απαιτηθεί χρόνος 4 δευτερόλεπτα από τη στιγμή έκπομπής του ήχου, μέχρι τη στιγμή που θα ακούσουμε την ήχώ του, γιατί τα ήχητικά κύματα θα χρειαστούν 2 δευτερόλεπτα να φτάσουν από μας στην ήχοανακλαστική επιφάνεια, και άλλα 2 για να επιστρέψουν πίσω.



————	Έκπεμπόμενα ήχητικά κύματα
- - - -	Ανακλώμενα ήχητικά κύματα
T	Πομπός ήχου
R	Δέκτης ήχου

Σχ. 10.2 α.

Έπομένως, αν έχουμε μία συσκευή που να μπορεί να εκπέμπει προς ορισμένη κατεύθυνση και να λαμβάνει ήχητικά κύματα, τότε η αρχή της ήχου, σε συνδυασμό με τη γνώση της ταχύτητας του ήχου στον αέρα, μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τον προσδιορισμό της απόστασης και διοπτεύσεως μιας ήχοανακλαστικής επιφάνειας (σχ. 10.2 α).

Ἡ ζητούμενη ὀριζόντια ἀπόσταση μέχρι καὶ τὴν ἠχοανακλαστική ἐπιφάνεια (π.χ. τοῦ λόφου), μπορεῖ νὰ ὑπολογιστεῖ μὲ πολλπλασιασμό τοῦ μισοῦ χρόνου ποῦ διέρρευσε ἀπὸ τὴν ἐκπομπή μέχρι τὴ λήψη, ἐπὶ τὴν ταχύτητα διαδόσεως τοῦ ἤχου. Στὴν πραγματικότητα, ἡ ἀπόσταση αὐτὴ θὰ εἶναι RA (σχ. 10 · 2 α).

Ἐὰν στὸ δέκτη εἶναι προσαρμοσμένη ὀριζόντια κυκλικὴ πλάκα, βαθμολογημένη σὲ μοῖρες, τότε μὲ αὐτὴν καὶ μὲ τὴ βοήθεια μιᾶς πυξίδας μποροῦμε νὰ προσδιορίσουμε καὶ τὴ διόπτειση τῆς ἠχοανακλαστικῆς ἐπιφανείας.

2. Ἀνάκλαση ραδιοκυμάτων.

Ἡ λειτουργία τῶν συσκευῶν Radar βασίζεται σὲ παρόμοια ἀρχὴ μὲ αὐτὴν ποῦ περιγράψαμε παραπάνω, δηλαδὴ μὲ τὴν ἀρχὴ τῶν ἠχητικῶν κυμάτων.

Στὶς συσκευές Radar ὁμως χρησιμοποιοῦνται ραδιοκύματα πολὺ ὑψηλῶν συχνοτήτων, ἀντὶ τῶν μέχρι τῶρα ἀναφερθέντων ἠχητικῶν κυμάτων, δηλαδὴ σὰν αὐτὰ τοῦ Κεφαλαίου 6.

Ἐὰν τὸ ἐκπεμπόμενο κύμα κατευθύνεται σὲ χῶρο χωρὶς ἐμπόδια, τότε δὲν ἐπιστρέφει ἠχῶ ἠλεκτρομαγνητικοῦ κύματος πρὸς τὸ δέκτη τοῦ Radar. Τὸ κύμα καὶ ἡ ἐνέργεια, ποῦ φέρει μαζί του, διαδίδεται στὸ διάστημα καὶ τελικὰ χάνεται.

Τὰ ἠλεκτρομαγνητικὰ κύματα ἢ ραδιοκύματα ταξιδεύουν στὸ χῶρο μὲ τὴν ταχύτητα τοῦ φωτός, δηλαδὴ μὲ 300 000 χιλιόμετρα ἀνὰ δευτερόλεπτο.

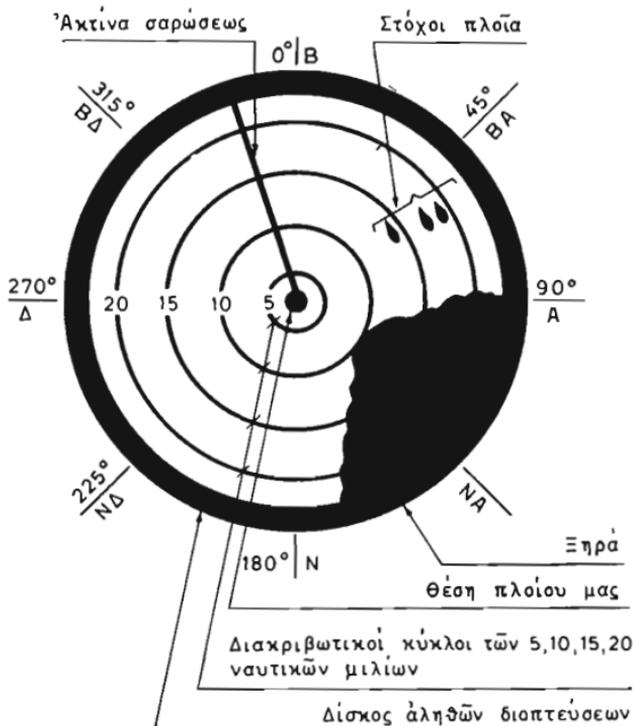
Ἡ δημιουργία τῶν παλμῶν ραδιοκυμάτων, ἡ μέτρηση τοῦ χρόνου ποῦ διέρρευσε μεταξύ ἐκπομπῆς καὶ λήψεως τοῦ παλμοῦ, καθὼς καὶ ἡ τελικὴ ἀπεικόνιση τοῦ στόχου στὴ συσκευή, ἢ ὁποῖα ὀνομάζονται *ἐνδείκτης*, ἐπιτυγχάνεται μὲ εἰδικὰ κυκλώματα καὶ διατάξεις.

Οἱ κεραίες κατευθυνόμενης ἐκπομπῆς-λήψεως, ποῦ χρησιμοποιοῦνται στὶς συσκευές Radar, ἐκπέμπουν καὶ λαμβάνουν ἐνέργεια σὲ ἰα σχετικά στενὴ δέσμη. Στὴ συνέχεια ἡ διόπτειση τοῦ στόχου καθρίζεται ἀπὸ τὴ θέση, ποῦ βρίσκεται ἡ κεραία κατὰ τὴ στιγμὴ αὐτῆ.

Ἡ λαμβανόμενη ἠχῶ ἀπὸ τὸ δέκτη Radar ἐμφανίζεται τε-
 ἄ σὰν φωτεινὸ σημεῖο σὲ καθοδικὸ παλμογράφο, ὁ ὁποῖος ὀνομάζεται *ἐνδείκτης*. Ὁ ἐνδείκτης εἶναι βαθμολογημένος σὲ κλίμακα ν μιλίων. Ἐτσι, ἀπὸ τὴ θέση τοῦ σήματος τῆς ἠχοῦς στὸν

ένδεικτη, ο χειριστής του Radar μπορεί να καθορίσει την απόσταση και διόπτευση ενός στόχου.

Κατά την έκπομπή κάθε παλμού από την κεραία, εμφανίζεται φωτεινή κηλίδα στο κέντρο του ένδεικτη PPI, που έχει κυκλικό σχήμα (σχ. 10·2 β). Το κέντρο αντιστοιχεί πάντοτε με τη θέση του πλοίου



Σχ. 10·2 β.

Ένδεικτης PPI.

μας. Η κηλίδα κινείται ταχέως προς την περιφέρεια ακολουθώντας την ακτίνα του κύκλου του PPI.

Άμέσως, μόλις φθάσει ή κηλίδα στην περιφέρεια του ένδεικτη, πηδᾶ αυτόματα πίσω στο κέντρο, για να αρχίσει και πάλι νέα διαδρομή από το κέντρο προς την περιφέρεια, με την έκπομπή του επόμενου παλμού.

Η προαναφερθείσα κίνηση της κηλίδας από το κέντρο προς την

περιφέρεια είναι τόσο ταχεία, ὥστε στήν πραγματικότητα αὐτὸ πού τελικά βλέπομε στήν ὀθόνη τοῦ PPI εἶναι μία φωτεινὴ ἀκτίνα, πού λέγεται *ἀκτίνα σαρώσεως*.

Ἡ ἀκτίνα αὐτὴ περιστρέφεται στήν ὀθόνη τοῦ ἐνδείκτη PPI ταυτόχρονα μὲ τὴν κεραία τοῦ Radar.

Ἄν ἡ συσκευή μας δεχτεῖ τὴν ἠχώ ἐνὸς στόχου, τότε ἡ φωτεινότητα στὸ τμήμα τῆς περιστρεφόμενης ἀκτίνας, πού ἀντιστοιχεῖ στήν ἠχώ αὐτὴ, αὐξάνεται σημαντικά.

10·3 Ήχοβολιστικά.

Τὰ ἠχοβολιστικά εἶναι ὄργανα γιὰ τὸν ἔλεγχο καὶ καταγραφή τοῦ βάθους τῆς θάλασσας, κάτω ἀπὸ τὸ σημεῖο πού πλέει τὸ πλοῖο μας.

Μὲ τὶς ἠχοβολιστικὲς συσκευὲς ἐκπέμπονται πρὸς τὸ βυθὸ ἠχητικὰ κύματα, τὰ ὁποῖα, ἀφοῦ προσκρούσουν ἐκεῖ, ἀνακλῶνται πρὸς τὰ πίσω. Μὲ τὴ μέτρηση τοῦ χρόνου πού πέρασε ἀπὸ τὴν ἐκπομπὴ τοῦ κύματος μέχρι καὶ τὴ λήψη τῆς ἠχοῦς του, προσδιορίζεται αὐτόματα ἡ ἀπόσταση τῆς τρόπιδας τοῦ πλοίου ἀπὸ τὸ βυθὸ, ἀφοῦ βεβαίως εἶναι γνωστὴ ἡ ταχύτητα διαδόσεως τῶν κυμάτων αὐτῶν στὸ νερὸ τῆς θάλασσας.

Τὰ ἠχητικὰ κύματα εἶναι κύματα πιέσεως. Γι' αὐτό, ὅπως εἶναι προφανές, μποροῦν νὰ διαδοθοῦν στὸ νερὸ.

Στὰ ἠχοβολιστικά χρησιμοποιοῦνται κυρίως ὑπερηχητικὰ κύματα, γιατί ἡ κατευθυντικότητά τους στὸ νερὸ τῆς θάλασσας εἶναι καλύτερη.

Γιὰ τὴν παραγωγὴ τῶν ἀπαιτούμενων ὑπερηχητικῶν κυμάτων, γίνεται χρῆση τοῦ φαινομένου τῆς *μαγνητοσυστολῆς* ἢ τοῦ *πιεζοηλεκτρικοῦ φαινομένου*.

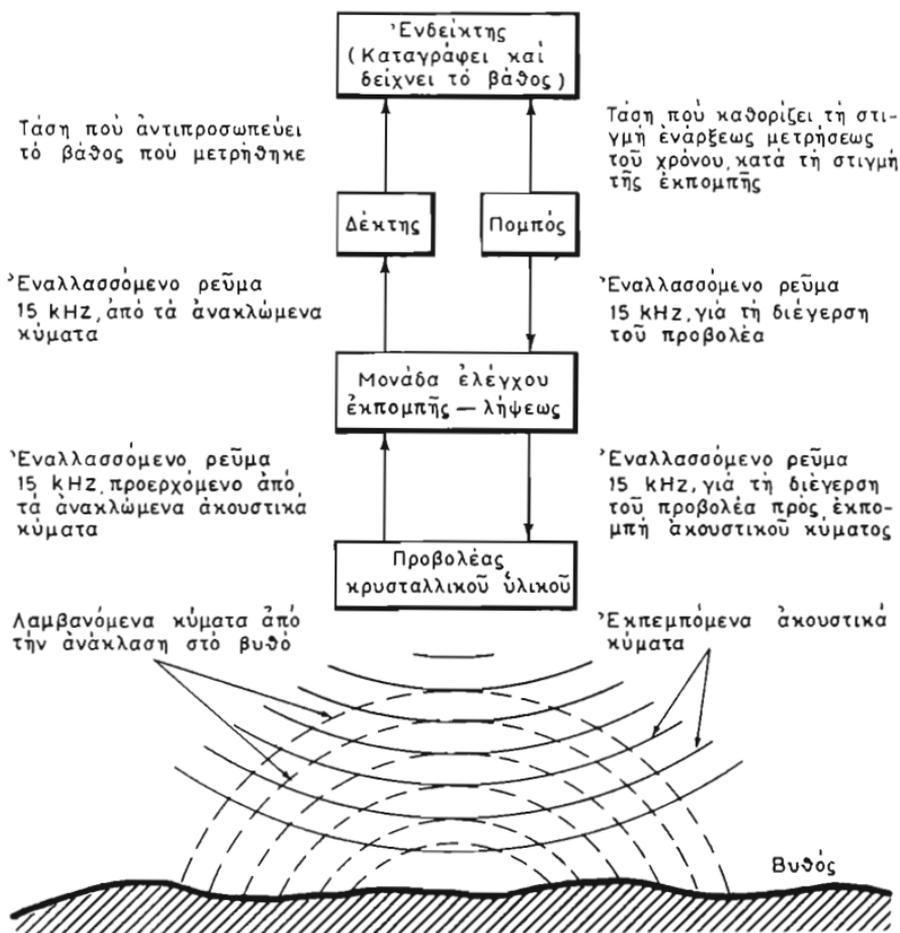
Μονάδες πού ἀποτελοῦν ἓνα ἠχοβολιστικό.

Οἱ μονάδες πού ἀποτελοῦν ἓνα ἠχοβολιστικό εἶναι οἱ παρακάτω, καὶ φαίνονται ἀναλυτικὰ στὸ σχῆμα 10·3.

α) Ὁ *προβολέας*. Σκοπὸς του εἶναι νὰ μετατρέπει τὴν ἠλεκτρομαγνητικὴ ἐνέργεια σὲ ἀκουστικὴ (διάρκεια ἐκπομπῆς), καὶ τὴν ἀκουστικὴ ἐνέργεια σὲ ἠλεκτρομαγνητικὴ (διάρκεια λήψεως).

β) Ὁ *πομπός*. Σκοπὸς του εἶναι ἡ παραγωγὴ ἐναλλασσόμενου

ρεύματος τῆς ἐπιθυμητῆς συχνότητος (π.χ. 15 kHz), γιὰ τὴν τροφοδότηση τῶν πηνίων τῶν μπαρῶν νικελίου ἢ τῶν κρυστᾶλλων τοῦ προβολέα.



Σχ. 10-3.

γ) Ἡ μονάδα ἐλέγχου. Σκοπὸς τῆς εἶναι νὰ διακόπτει κατὰ διαστήματα τὴ λειτουργία τοῦ πομποῦ, ὥστε νὰ παρέχεται ὁ ἀπαιτούμενος χρόνος γιὰ νὰ προσπέσουν τὰ ἠχητικά κύματα στὸ βυθὸ καὶ νὰ ἐπιστρέψουν στὸν προβολέα ὡς ἤχῳ.

δ) Ὁ δέκτης καὶ ὁ ἐνισχυτής. Αὐτὸς ἐνισχύει τὴν ἀσθενῆ ἤχῳ

πού λαμβάνεται από τὸν προβολέα, καὶ τροφοδοτεῖ στὴ συνέχεια τὸν ἐνδείκτη.

ε) Ὁ ἐνδείκτης. Αὐτὸς λαμβάνει ἀπὸ τὸν πομπὸ μικρὸ ποσοστὸ τοῦ ἐκπεμπόμενου σήματος καὶ ἀπὸ τὸ δέκτη τὴν ἤχώ. Ἀπὸ τὰ δύο αὐτὰ στοιχεῖα ὁ ἐνδείκτης τελικὰ μᾶς παρέχει τὸ βάθος τῆς θάλασσας, πάνω ἀπὸ τὸ σημεῖο ἀκριβῶς πού πλέει τὸ πλοῖο.

10.4 Αὐτόματα πηδάλια.

Τὰ σύγχρονα πλοῖα εἶναι ἐφοδιασμένα μὲ αὐτόματα πηδάλια.

Με τὶς συσκευές αὐτὲς ἐπιτυγχάνεται ἡ πηδαλιουχία τοῦ πλοίου χωρὶς τὴ χρησιμοποίηση ναύτη πηδαλιούχου.

Τὸ ὄφελος πού ἔχομε ἀπὸ τὴ χρησιμοποίηση τῶν αὐτόματων πηδαλιούχων εἶναι ἀπὸ τὴν ἀρχὴ φανερό. Συγκεκριμένα, μὲ τὰ αὐτόματα πηδάλια ἔχομε οἰκονομία καυσίμων, γιατί μὲ τὶς συσκευές αὐτὲς περιορίζεται τὸ σφάλμα τῆς παροιακίσεως, μὲ ἀποτέλεσμα τὸ πλοῖο νὰ πλέει κατὰ τὸ δυνατὸ σὲ εὐθύγραμμη πορεία.

Τὸ ὅλο σύστημα αὐτόματης πηδαλιουχίας εἶναι σύστημα αὐτόματης παρακολουθήσεως, ὅπως αὐτὸ πού περιγράψαμε στὶς παραγράφους 9·1 καὶ 9·2.

Γιὰ τὸν καθορισμὸ τῆς πορείας, πού πρέπει νὰ τηρηθεῖ, χρησιμοποιεῖται ἐπαναλήπτης (repeater) γυροσκοπικῆς ἢ μαγνητικῆς πυξίδας.

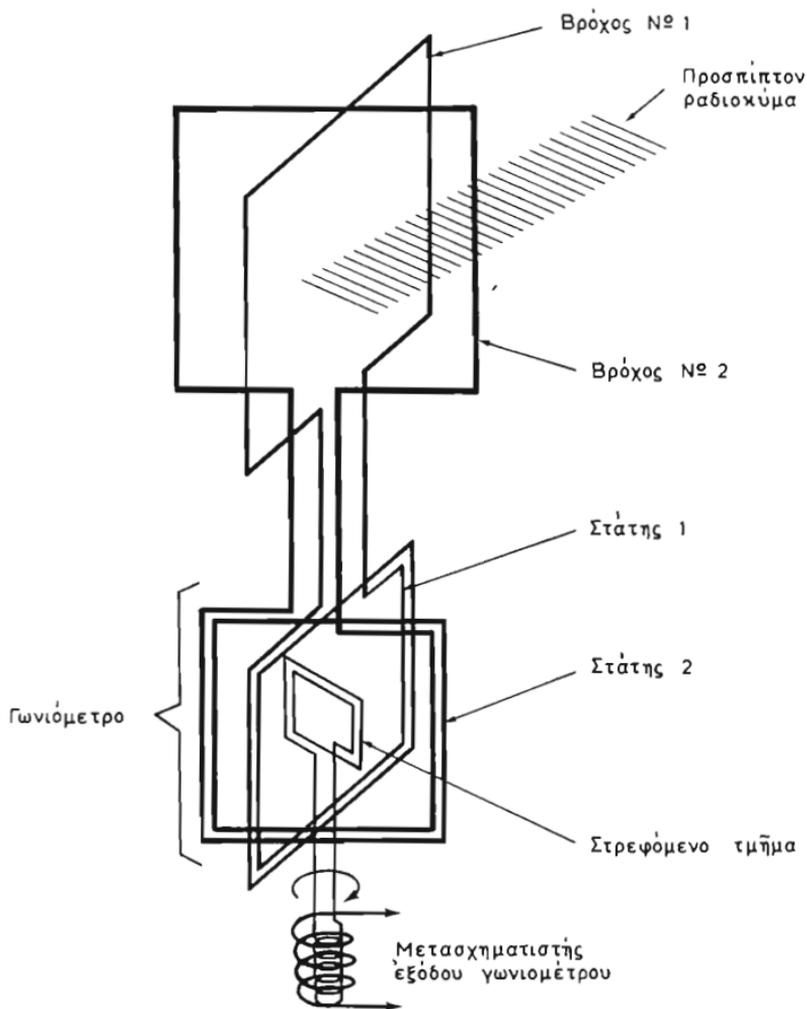
Ἡ διαφορὰ πού προκύπτει μεταξὺ τῆς πορείας τῆς γυροσκοπικῆς ἢ τῆς μαγνητικῆς πυξίδας, καὶ αὐτῆς πού κάθε φορὰ ἀκολουθεῖ τὸ πλοῖο, χρησιμεύει γιὰ τὸν ἔλεγχο πηγῆς ἰσχύος, πού στρέφει κατάλληλα τὸ πηδάλιο, ὥστε νὰ ἐπανέρχεται τὸ πλοῖο στὴν πορεία του.

10.5 Ραδιογωνιόμετρα.

Πρὶν ἀπὸ τὴν ἀνακάλυψη τοῦ Radar καὶ τὴ χρησιμοποίησή του ὡς ραδιοναυτιλιακοῦ βοηθήματος, ἡ μόνη ἠλεκτρονικὴ συσκευή, πού χρησιμοποιόταν στὴ ναυτιλία γιὰ τὸν προσδιορισμὸ τοῦ στίγματος ἑνὸς πλοίου, ἦταν τὸ *ραδιογωνιόμετρο*.

Ἔτσι, ἓνα πλοῖο πού προσεγγίζει σὲ λιμάνι ἢ παραπλέει ἀκτές, ἐφοδιασμένες μὲ σταθμοὺς ραδιογωνιομέτρων, μπορεῖ νὰ προσδιορίζει τὸ στίγμα μὲ δύο μεθόδους:

α) Το πλοίο έρχεται με τον ασύρματο σε έπαφή με το σταθμό ραδιογωνιομετρήσεως ξηρᾶς και ζητᾶ νὰ μάθει τὸ στίγμα του.



Σχ. 10.5.

Σύστημα κεραίας ραδιογωνιομέτρου Bellini - Tosi.

Κατόπιν εκπέμπει με τον ασύρματό του μία σειρά από παύλες του κώδικα Mors, και ένας ή περισσότεροι σταθμοί ραδιογωνιομέτρων ξηρᾶς μετρούν τή διεύθυνση, από την οποία προέρχεται ή

έκπομπή του πλοίου. Κατόπιν οί σταθμοί ραδιογωνιομέτρων ξηρᾶς ἀναφέρουν τηλεφωνικά τίς ληφθεῖσες ραδιοδιοπτέυσεις στόν ὀρισθέντα ὡς σταθμό ἐλέγχου ραδιογωνιομέτρων «ξηρᾶς», ὁ ὁποῖος καί τίς χαράζει στό ναυτιλιακό χάρτη τῆς περιοχῆς. Τό σημεῖο τομῆς τῶν διοπτέυσεων καθορίζει τό στίγμα τοῦ πλοίου, τό ὁποῖο καί τοῦ γνωστοποιεῖται μέ τόν ἀσύρματο.

β) Τό πλοῖο μετρά μέ τό ραδιογωνιόμετρό του τίς κατευθύνσεις τῶν ραδιοφάρων ἢ σταθμῶν ἀσυρμάτου ξηρᾶς γνωστῆς γεωγραφικῆς θέσεως.

Ἡ τομή τους δίνει τό στίγμα τοῦ πλοίου.

Τό ραδιογωνιόμετρο βασικά εἶναι ἕνας εὐαίσθητος ραδιοδέκτης (Κεφάλ. 8), ἐφοδιασμένος μέ εἰδική κεραία κατευθυνόμενης λήψεως.

Τά σύγχρονα ραδιογωνιόμετρα ἔχουν σύστημα κεραίας «Bellini-Tosi», πού χρησιμοποιοῖ ὡς κεραία δύο σταθεροῦς βρόχους (συνήθως κυκλικούς) τοποθετημένους κάθετα μεταξύ τους (σχ. 10·5).

Οἱ βρόχοι αὐτοί εἶναι ἠλεκτρικά συνδεμένοι μέ τό δέκτη μέσω γωνιόμετρου, πού ἀποτελεῖ ἠλεκτρικό ὁμοίωμα τῶν σταθερῶν βρόχων τῆς κεραίας. Ἔτσι, ἡ περιστροφή τοῦ στρεφόμενου τμήματος τοῦ γωνιόμετρου (σχ. 10·5) δίνει τελικά τό ἴδιο ἀποτέλεσμα, πού θά ἔδινε καί ἂν περιστρεφόταν ἡ ἀκίνητη ἀπό τοὺς δύο βρόχους κεραία.

10·6 Γυροσκοπική πυξίδα.

1. Γενικά.

Οἱ μαγνητικές πυξίδες, πού χρησιμοποιοῦνται ἀπό τὰ παλαιὰ χρόνια στά πλοῖα, παρουσιάζουν πολλά μειονεκτήματα. Κυριότερο μειονέκτημα εἶναι ὅτι ἡ ἔνδειξή τους, ἐπηρεάζεται ἀπό τή μετακίνηση σιδηρῶν μαζῶν καί ἀπό τίς μεταβολές τοῦ μαγνητικοῦ πεδίου. τῆς γῆς ἀπό τόπο σέ τόπο.

Τά μειονεκτήματα αὐτά συνετέλεσαν, ὥστε οἱ μαγνητικές πυξίδες νά ὑποκαθιστοῦνται ἀπό τίς γυροσκοπικές.

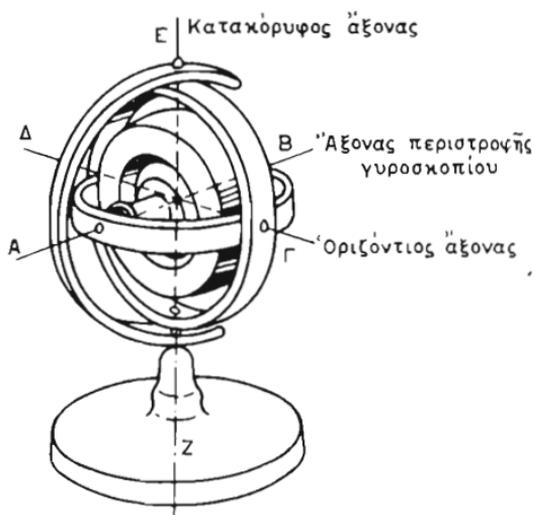
Ἡ ἔνδειξη τῆς γυροσκοπικῆς πυξίδας ἔχει σφάλματα, ἀλλά εἶναι συστηματικά καί ἐπομένως διορθώνονται.

Οἱ γυροσκοπικές πυξίδες μειονεκτοῦν ὡς πρὸς τίς μαγνητικές λόγω τῆς πολύπλοκης καί δαπανηρῆς κατασκευῆς τους.

Τό μειονέκτημα ὅμως αὐτό, δέν εἶναι ἀρκετό νά ἐξουδετερώσει τό πλεονέκτημά της, ὅτι δηλαδή δέν ἐπηρεάζεται ἀπό τό μαγνητισμό.

2. Το ελεύθερο γυροσκόπιο.

Το γυροσκόπιο αποτελεί το κύριο εξάρτημα των γυροσκοπικών πυξίδων. Αυτό είναι σφόνδυλος, με το μεγαλύτερο μέρος της



Σχ. 10-6.
Έλεύθερο γυροσκόπιο.

μάζας του συγκεντρωμένο στην περιφέρεια.

Έχει τρεις βαθμούς ελευθερίας, μπορεί δηλαδή να στραφεί γύρω από τον άξονά του, και κατακόρυφα και οριζόντια. Αυτό επιτυγχάνεται με κατάλληλο τρόπο αναρτήσεώς του (σχ. 10·6). Όταν το γυροσκόπιο στρέφεται γύρω από τον άξονά του, αποκτά όρισμένες ιδιότητες: τη *γυροσκοπική αδράνεια* και τη *μετάπτωση*.

Γυροσκοπική αδράνεια είναι η ιδιότητα εκείνη του γυροσκοπίου, με την οποία διατηρείται ή αρχική διεύθυνση του άξονα περιστροφής του, ανεξάρτητα από τις κινήσεις της βάσεώς του. Η ιδιότητα αυτή αποδεικνύεται, αν προσπαθήσουμε να κάνουμε τον άξονα να αποκλίνει από την αρχική του διεύθυνση, στρέφοντας τη βάση του ελεύθερου γυροσκοπίου του σχήματος 10·6 προς οποιαδήποτε κατεύθυνση.

Η γυροσκοπική αδράνεια γίνεται έντονη:

α) Με συγκέντρωση της μάζας του σφονδύλου προς την περιφέρειά του.

β) Με ελάττωση των τριβών στα σημεία στηρίξεως του γυροσκοπίου.

γ) Με αύξηση της ταχύτητας του σφονδύλου.

Μετάπτωση είναι η ιδιότητα εκείνη του γυροσκοπίου, όπου, όταν στο σφόνδυλο έπενεργήσει δύναμη, που προκαλεί ροπή στρέψεως γύρω από ένα άξονα, ο σφόνδυλος τελικά θα στρέφεται γύρω

από άξονα κάθετο προς τον προηγούμενο. Έτσι, αν π.χ. στο άκρο Α του άξονα ΑΒ (σχ. 10·6) εφαρμοστεί δύναμη προς τα κάτω, ο σφόνδυλος δεν θα στραφεί γύρω από τον άξονα ΓΔ, αλλά τον ΕΖ. Η διεύθυνση περιστροφής θα εξαρτηθεί από τη διεύθυνση περιστροφής του σφονδύλου.

10·7 Λοιπές ναυτιλιακές συσκευές.

Έκτός από τις ναυτιλιακές συσκευές που αναφέρθηκαν (Radar, ραδιογωνιόμετρο κ.λπ.), άλλες ναυτιλιακές συσκευές, που έχουν σχέση με τις εφαρμογές του ηλεκτρισμού και των ηλεκτρονικών στο πλοίο, είναι τα *ηλεκτρικά δρομόμετρα*.

Τα δρομόμετρα είναι εγκαταστημένα σε όλα τα σύγχρονα σκάφη, και χρησιμεύουν για να δείχνουν κάθε στιγμή την ταχύτητα του πλοίου και την απόσταση που διάνυσε.

Παλαιότερα χρησιμοποιούνταν μηχανικά δρομόμετρα, που όμως ήταν αρκετά δύσχρηστα και δεν έδιναν ακρίβεια, ιδίως σε μεγάλες ταχύτητες. Τώρα τα δρομόμετρα αυτά αντικαταστάθηκαν από ηλεκτρικά.

Η αρχή λειτουργίας των σύγχρονων ηλεκτρικών δρομομέτρων ποικίλλει, ανάλογα με τον κατασκευαστή κάθε δρομομέτρου. Η κύρια μονάδα βρίσκεται κοντά στην τρόπιδα του πλοίου και διαθέτει υποβρύχιο μηχανισμό, που λειτουργεί με την ταχύτητα ροής του νερού της θάλασσας σε σχέση προς τα ύφαλα του πλοίου.

Η ένδειξη της ταχύτητας και ή συνολικά διανυθείσα απόσταση μεταφέρεται σε κατάλληλο ένδεικτη κοντά στη γέφυρα, με σύστημα βηματιστικής ή σύγχρονης μεταδόσεως (Κεφάλ. 9).

10·8 Έρωτήσεις.

1. Αν ήχητικά κύματα μιās πηγής χρειαστούν 4 δευτερόλεπτα για να φτάσουν σε ήχοανακλαστική επιφάνεια και να γυρίσουν, σε ποιά απόσταση πρέπει να βρίσκεται η ήχοανακλαστική επιφάνεια;

2. Τι είναι η ηλεκτρομαγνητική ήχώ;

3. Πώς μπορούμε να καταλάβουμε τη διεύθυνση ενός στόχου από τον ένδεικτη ΡΡ1;

4. Ραδιοκύμα χρειάζεται 6,1 μικροδευτερόλεπτα για να φτάσει στο στόχο και να ξαναγυρίσει στο δέκτη του ραντάρ. Ποιά είναι η απόσταση του στόχου;

5. Ποιός είναι ο σκοπός του ήχοβολιστικού;

6. Τι είναι η μαγνητοσυστολή;
 7. Από ποιές κύριες μονάδες αποτελείται ένα ήχοβολιστικό;
 8. Τι όφελος έχουμε από τη χρήση αυτόματου πηδαλιούχου.
 9. Τι είναι το ραδιογωνιόμετρο;
 10. Ποιά είναι τὰ μειονεκτήματα τῶν μαγνητικῶν καὶ ποιά τῶν γυροσκοπικῶν πυξίδων;
 11. Τι είναι γυροσκοπική αδράνεια καὶ πότε γίνεται έντονότερη;
-

Ε Υ Ρ Ε Τ Η Ρ Ι Ο

(Οί αριθμοί αναφέρονται σὲ σελίδες τοῦ βιβλίου)

- Ἄγωγός 5,41
ἀγώγιμη λυχνία 12
ἀγωγιμότητα 20
ἀκουστικά ρεύματα 135, 137
ἀκροδέκτης 1, 7
ἀκτίνα σαρώσεως 221
ἀκτινοβολία 137
ἀλγεβρα τοῦ Μπούλ 200
ἄμηση θέρμανση 8
ἀναγωγῆς, σημεῖο 3
ἀναδράσεις, κύκλωμα 105
ἀναδράσεις, ποσοστὸ 106, 107
ἀνάδραση 114, 129, 176
ἀνάδραση θετική 154
ἀνάκλαση ἠχητικῶν κυμάτων 217
ἀνάκλαση ραδιοκυμάτων 219
ἀναλογικοὶ (analog) ὑπολογιστὲς 208
ἀνασταλτικὴ ἐσχάρα 27
ἀνοδικὴ τάση 11, 16
ἀνοδικὸ ρεῦμα 10, 12, 15 - 17, 86
— φορτίο 83, 86
ἄνοδος 2, 8
ἀνορθωση διόδου λυχνίας 12
ἀνορθωτῆς, ξηρὸς 53, 54
ἀνορθωτικὲς διατάξεις 69, 70, 78
ἀντίσταση ἀπωλειῶν 122, 124
— διαρροῆς ἐσχάρας 38, 130
— ἐπαγωγική 101, 124
— ἰσοδύναμη 127
— πολώσεως 63
— σύνθετη 125
— φορτίου 149
— χωρητικὴ 101, 124
— ὠμικὴ 128
ἀντίστροφη πώλωση 50
ἀνωμαλίες συγχρόνων μεταδοτῶν καὶ δεκτῶν 196
ἄξονας περιστροφῆς 226
ἀπλὸς δέκτης 163
ἀποδέκτες 48
ἀποδιαμόρφωση 148
ἀπολαβὴ 97
ἀποπνικτικὸ πηνίο 174
ἀπόσταση 220
ἀπώλειες 124
ἀραιώμα 133, 136
ἀριθμητικὴ μονάδα 211
ἀριθμητικὸ σύστημα 210
ἀρμονικὲς 117, 136
ἀρμονικὴ ἀνάλυση 117
— συνιστώσα 105
ἀρνητικὴ ἀνάδραση 105
— ἀντίσταση 29, 53
— ἐσωτερικὴ ἀντίσταση 26
ἀρνητικὸ Ἴον 4
ἀρνητικὸς ἠλεκτρισμὸς 4
ἄρτιες ἀρμονικὲς 110
ἀσύρματη ἐπικοινωνία 133, 137
αὐτόματα πηδάλια 223
αὐτοπώλωση 36, 90
αὐτοτελεῖς ἡμιαγωγοὶ 42
- Βαθμίδα ἐνισχυτῆ** 92
— φωράσεως 159
βαθμὸς ἀποδόσεως κεραίας 142
— διαμορφώσεως 144
— ἐλευθερίας 226
βάθος διαμορφώσεως 144
βάση 3, 54, 55, 60
Bellini-Tosi, κεραία 225
βηματιστικὰ συστήματα 186
βηματιστικὸς δέκτης 175, 180
— μεταδότης 175, 180
— τηλεχειρισμὸς 184
βολφράμιο 6
βομβαρδισμοῦ μέθοδος 5
βρόχος 225
- Γέφυρα ἀνορθώσεως** 74
γῆ 9, 15
γραφομηχανὴ 215
γυάλινο κέλφος 7
γυροσκοπικὴ ἀδράνεια 226
— πυξίδα 225
- Δεκαδικὸ σύστημα** 210
δέκτες AM 172
δέκτες FM 172
δέκτης 132, 158, 184, 222

- δέκτης άπλός 163
 — με κρύσταλλο 162
 δευτερεύον τύλιγμα 65
 δεύτερη φάραση 171
 δευτερογενή ήλεκτρονία 26
 δευτερογενής ήκπομπή 5, 26, 28
 διάγραμμα του Venπ 201, 202
 διαγραμματικός συμβολισμός 203
 διαγωγιμότητα (G) 19, 25
 — τριόδου λυχνίας 20
 διαδρομή συχνότητας 146
 διακροτήματα 166
 διαμορφωμένο ρεύμα ΥΣ 140
 διαμόρφωση κατά πλάτος 118, 139, 140, 143, 146, 156
 — συχνότητας 145, 146, 156
 διαρροής, αντίσταση 38
 — πυκνωτής 37, 38, 90
 διατάξεις πολώσεως 62
 διαφορά δυναμικού 34
 διάχυση 49
 διέγερση 82, 90, 153
 διέγερση έσχάρας 130
 διεύθυνση διαδόσεως κύματος 141
 διευκρινιστής 172
 διοδική λυχνία 2
 διόδος 2
 — λυχνία 8
 δίοδος λυχνίας, χαρακτηριστική 10
 διόπτευση 220
 διόπτευση τής ήχοανακλαστικής έπι-
 φάνειας* 219
 διπλασιαστής τάσεως 79
 δότες 47
 δρομόμετρο, ήλεκτρικό 227
 δυαδικό σύστημα 210
 δυνάμεις, συνεκτικές 42
 — συνοχής 42
 δύναμη σθένους 43
 δυναμική χαρακτηριστική άνόδου 85
 — έσωτερική αντίσταση 17
 — ώμική αντίσταση 128
 δυναμικό 3, 34
 — άναγωγής 35
 — καθόδου 35
- Εϊδικό πρόγραμμα 213**
 είσοδος (έσχάρα έλέγχου) 88
 — του συστήματος 176
 έκκίνηση κυρίων μηχανών 214
 ήκπομπή ήλεκτρονίων 4
 ήκπομπός 55, 56, 60
 ήκφόρτιση 150, 151
 έλεύθερα ήλεκτρονία 3, 4, 44
- έλεύθερο γυροσκόπιο 226
 έμμεση θέρμανση 8
 έναλλασσόμενα μεγέθη 82
 ένδεικτης 219, 223
 ένδεικτης PPI 220
 ένδιάμεση συχνότητα 91, 165
 ένδογενής άγωγιμότητα 44, 46
 ένισχυση 85, 86, 98, 112, 164
 — με άνάδραση 107
 — ισχύος 98
 — ύψηλής συχνότητας 112
 — χαμηλής συχνότητας 112
 ένισχυτής 87, 92, 222
 — ισχύος 94
 —, τάσεως 94
 — τάσεως με άντιστάσεις 88
 — ύψηλής συχνότητας 94
 — χαμηλής συχνότητας 94, 111
 ένισχύτρια τάσεως 82
 έξασθένιση 98
 έξοδος 176
 έξωγενής άγωγιμότητα 46
 έξωτερικά ήλεκτρονία 4
 έπαγωγική αντίσταση 101, 124
 έπαναλήπττης (repeater) 223
 έπαφή ή συνένωση 48
 έπιλογή 159, 161, 162
 έσχάρα 2
 — άνασταλτική 27
 — άναστολής 90
 — έλέγχου 14, 24
 έσχάρας, διέγερση 130
 — πόλωση 15
 — χαρακτηριστικές 18
 έσωτερική αντίσταση (ρ) 17, 25, 149
 — — άρνητική 26
 — — διόδου λυχνίας 8
 έτεροδύναση 165
 εύθεια πόλωση 50
 — φορτίου 83, 85
- Zener, φαινόμενο 52**
 ζώνη συχνότητων 161
- Ήλεκτρεγερτική δύναμη (HEΔ) 49,67**
 ήλεκτρική πηγή 5
 ήλεκτρικό δρομόμετρο 227
 — πεδίο 141
 — ρεύμα 4
 ήλεκτρικός συντονισμός 121
 — σωλήνας 1
 — φλοιός 43
 ήλεκτρισμός, άρνητικός 4
 — θετικός 4

- ηλεκτρόδιο 1, 7
 ηλεκτρομαγνητής 180
 ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία 138
 ηλεκτρομαγνητικό κύμα 137, 140
 — πεδίο 7
 ηλεκτρονικό κύκλωμα 203
 ηλεκτρονικοί υπολογιστές 208
 ηλεκτρόνιο 2
 — δευτερογενές 26
 — έκπομπής 5
 — ελεύθερο 3, 4
 — εξωτερικό 4
 — πρωτογενές 26
 — ροής 5
 ηλεκτρονίων έκπομπή 4
 — ροή 3, 5
 ήμιαγωγός 41, 152
 — αὐτοτελής 42
 — προσμίξεως 42, 46
 ἡμιανόρθωση 71
 ἡμιτονική συνιστώσα 102, 105, 120
 ἤχητικά κύματα 135, 218
 ἤχοανακλαστική ἐπιφάνεια 217
 ἤχοβολιστικά 221
 ἤχος 136, 160
 ἤχώ 217
 ἤχώ ηλεκτρομαγνητικοῦ κύματος 219
- Θέρμανση καθόδου** 70
 θερμική έκπομπή 3
 θερμοκρασία ἔξαγωγῆς 213
 θετικό ἰόν 4
 θετικός ηλεκτρισμός 4
 θύρατρον 33
 θύρες (gates) 208
- Ίδιοσυχνότητα** 121, 122, 123, 130
 ἰόν ἀρνητικό 4
 — θετικό 4
 ἰονισμός 33
 ἰσοδύναμη ἀντίσταση 127
 — — κάθε παράλληλου συν-
 — τονισμένου κυκλώματος 170
 — ὤμικῆ ἀντίσταση 128
 ἰσχύς ἀκτινοβολίας 141
 — δίοδου λυχνίας 8
 — μετασχηματιστή 68
 — ὠφέλιμη 142
- Καθοδικό φορτίο χώρου** 3, 11, 41
 κάθοδος 3, 8, 88
 καμπύλη ἀποκρίσεως 91, 99
 κατακόρυφος ηλεκτρομαγνητής 182
 κατευθυντικότητα 142
- κατολισθήση 52
 κέλυφος 7
 — γυάλινο 7
 — μεταλλικό 7
 κενό 7
 κεντρική συχνότητα 119
 κεραία Bellini-Tosi 225
 κεφαλή ἐλέγχου 177
 κλειστό κύκλωμα τηλεοράσεως 215
 κλίση τριόδου λυχνίας 20
 κοινή βάση 61
 κοινός ἔκπομπός 61
 — συλλέκτης 61
 κοσόλα ἐλέγχου 211, 215
 κόρος 11, 16
 κρυσταλλικό πλέγμα 42
 κρυσταλλικός φωρατής 151, 162
 κρυσταλλοδίοδος ἀκίδας 60
 — ἐπαφῆς 50
 — σήραγγας 53
 κρυσταλλολυχνία 1, 41
 κρυσταλλοτρίοδος ἐπαφῆς 54
 — ἐπηρείας πεδίου 61
 — μοναδικῆς ἐπαφῆς 61
 κύκλος ἔκπομπῆ - διάδοση - λήψη 159
 κύκλωμα ἀναδράσεως 105
 — εἰσόδου 82
 — ἐξόδου 83
 — ἐξουδετερώσεως 114
 — ηλεκτρικῶν διακοπτῶν 202
- κυμάτωση 73, 74
 κώδικας Mors 224
- Λήψη** 158
 λογαριθμική κλίμακα 99
 λογικά κυκλώματα 200
 λογική ἀρνηση 202
 — πράξη AND (λογικός πολ-
 — λαπλασιασμός) 203
 — — ἀνήσεως (λογική ἀνα-
 — στροφή σημείου) 207
 — — OR (λογική πρόσθεση)
 — — 203
 — πρόσθεση 202, 203
 λογικός πολλαπλασιασμός 202, 203
 λόγος μετασχηματισμοῦ 93
 λυχνία 1
 — ἀγωγήμη 12
 — διοδική 2
 — δίοδος 8
 — κενού 1, 32
 — πενταοδική 2, 27
 — τριοδική 2
 — τριοδος 14

- λυχνία τετραοδική 2, 23
 λυχνίας διόδου, ανόρθωση 12
 — — φώραση 12
 λυχνίες αερίου 32
 — μεταβλητοῦ μ 29
 — ψυχρῆς καθόδου 34
- Μαγνητικές πυξίδες** 225
 μαγνητικό πεδίο 65, 141
 μαγνητοσυστολής, φαινόμενο 221
 μάζα 9
 Μάξγουελ 137
 μεγάφωνο 92
 μέθοδος άμεσης θερμάνσεως 6
 — βομβαρδισμού 5
 — έμμεσης θερμάνσεως 6
 — πολώσεως 34
 — φωτισμού 5
- μειοεκτῆματα τῶν βηματιστικῶν με-
 ταδοτῶν - δεκτῶν 185
 μεμβράνη μικροφώνου 145
 μεσαία λήψη 108, 109
 μεταδότης 184
 μεταλλικό κέλυφος 7
 μετάπτωση 226
 μετασχηματιστής άνυψώσεως 64
 — έλέγχου 198
 — έξόδου 93, 109
 — μεγαφώνου 93
 — προσαρμογῆς 93
 — συζεύξεως 108
 — τριφασικός 68
 — ύποβιβασμοῦ 64
- μετρικός ένισχυτής ίσχύος 108
 μή γραμμικά στοιχεία 13
 μήκος κεραίας 141
 — κύματος 116, 133
 μηχανικός φυλακῆς 214
 μή ώμικά στοιχεία 13, 17
 μικρόφωνο 135, 139
 μίξη 165
 μνήμη ύπολογιστῆ 209
 μονάδα είσόδου-έξόδου 211
 — έλέγχου 211-222
 — μνήμης 211
 — συγχρονισμού διακοπῆς 213
- μόνιμος μαγνήτης 180
 μουσικά 41
 Μορς κώδικας 224
 μπαταρία 5
- Ναυτιλιακός χάρτης** 225
 νῆμα 2,6
 νῆμα θερμάνσεως 9
 ντεσιμπέλ 97
- Ξηρός άνορθωτής** 53, 54
- Ώπη** 44,45
 όριζόντιος ήλεκτρομαγνήτης 182
- Παραγωγή ταλαντώσεων** 128
 παράλληλος συντονισμός 126
 παράμετρος τριόδου λυχνίας 20
 παραμόρφωση 20, 94, 100, 154
 — πλάτους 103
 — συχνότητας 100, 101
 — φάσεως 102
- παράσιτα 157
 παράσιτικά στοιχεία 154
 παρασιτική άνάδραση 113
 — χωρητικότητα 22, 113
- πενταοδική λυχνία 2, 27
 περιβάλλουσα 144
 περίοδος 116, 134
 περιοριστής 172, 173
 περιττές άρμονικές 110
 πηγή τροφοδοτήσεως 4, 69
 — ύψηλῆς τάσεως 70
- πιεζοηλεκτρικό φαινόμενο 221
 πίνακας άλήθειας 202
 πιστότητα 161
 πλάκα 2
 πλευρική συχνότητα 119, 161
 πλήρης ανόρθωση 73
 — φώραση 149
- ποδαράκια 1
 πολλαπλασιαστές τάσεως 79
 πολλαπλές λυχνίες 30
 πολώσεως μέθοδοι 34
 πώλωση 18, 35
 — αντίστροφη 50
 — βάσεως 62
 — διαρροῆς έσχάρας 36
 — έσχάρας 15, 153
 — εϋθεία 50
 — καθόδου 36
- πομπός 132, 221
 — AM 172
 — FM 172
- ποσοστό άναδράσεως 106, 107
 πράξη AND 202
 — NOT 202
 — OR 202
- προβολέας 221
 πρόγραμμα ύπολογιστῆ 209
 προστατευτική έσχάρα 90
 πρωτεύον τύλιγμα 65

- πρώτη φάραση 171
 πρωτογενές ηλεκτρόνιο 26
 πύκνωμα 133, 136
 πυκνωτής διαρροής 37, 38, 90
 — έξουδετερώσεως 23
 — συζεύξεως 90, 154
 πυξίδα γυροσκοπική 225
 — μαγνητική 225
 πυρήνας 3, 4, 64
- Radar** 217
 ραδιογωνιόμετρο 223
 ραδιοδέκτης 225
 ραδιοδιόπτωση 225
 ραδιοκύματα 219
 ραδιοσυχνότητα 138
 ραδιοφάρος 225
 ρεύμα άνόδου 17
 — βάσεως 60
 — διαρροής έσχάρας 37
 — ήρεμίας 82
 — θερμάνσεως 70
 — κόρου 11, 52, 56
 — προστατευτικής έσχάρας 24
 — χαμηλής συχνότητας 135, 139
 ροή ηλεκτρονίων 3, 5
 — ρεύματος 3, 13
- Σήμα** 82, 161
 — εισόδου 177
 — έξόδου 177
 σημείο άναγωγής 3
 — άποκοπής 154
 — λειτουργίας 82
 στάδια (βαθμίδες) 159
 σταθερά χρόνου 151
 σταθεροποίηση τάσεως 77
 στατικές χαρακτηριστικές 82, 85
 στίγμα πλοίου 224, 225
 στρώσεις 4
 συγχροδιαφορικό 175, 176, 197
 συγχρομετασηματιστής 175, 198
 σύγχρονος δέκτης 175, 180, 185
 — μεταδότης 175, 180, 185
 συλλέκτης 55, 57, 60
 συμβολή 165
 συμμετρικά κυκλώματα 96
 συμμετρικές συνδεσμολογίες 111
 συμμετρικοί ένισχυτές 109, 110
 συνεκτικές δυνάμεις 5, 42
 συνένωση ή έπαφή 48
 συνεχές μέγεθος 82
 σύνθετη αντίσταση 125
 συνιστώσα 102
 — αρμονική 105
 — ήμιτονική 102, 105
 συνοχής δυνάμεις 42
 συντελεστής ένισχύσεως (μ) 18, 19, 25
 — ένισχύσεως ρεύματος 58
 — ποιότητας 128, 170
 συντονισμένο κύκλωμα 145, 159
 συντονισμός 122, 123
 — ηλεκτρικός 121
 — παράλληλος 126
 — σε σειρά 123
 συσκευή έλέγχου μεταδοτών 213
 — ραδιοεντοπισμού 217
 σύστημα, άριθμητικό 210
 — δεκαδικό 210
 — δυαδικό 210
 — παρακολουθήσεως 177
 συχνότητα (F) 23, 134
 — διεγέρσεως 130
 — συντονισμού 129, 145
 σφάλμα παροιακίσεως 223
 σφόνδυλος 226
 σχέση μεταφοράς 67
- Ταλαντωτής** 130
 ταλαντώτρια 129
 τάση A 95
 — B 95
 — B1 95
 — B2 95
 — Γ 96
 τάση άναδράσεως 113
 — άνοδική 11, 17
 — έναύσεως 32, 78
 — σβέσεως 34
 — σφάλματος 199
 — ύψηλή 9
 — χαμηλή 9
 τάσεως διπλασιαστές 79
 — πολλαπλασιαστές 79
 — τριπλασιαστές 79, 80
 τετραοδική λυχνία 2, 23
 τηλενδείξεις 196
 τηλεφωνικό σύρμα 136
 τηλεχειρισμός 179
 τρανζίστορ 41
 τριοδική λυχνία 2
 τρίοδος 2
 — λυχνία 4
 τρίοδου λυχνίας, διαγωγιμότητα 20
 — λυχνίας, κλίση 20
 — λυχνίας, παράμετροι 20
 τριπλασιαστής τάσεως 79, 80
 τρίτη άρμονική 102

- τριφασικός μετασχηματιστής 68
τροφοδότηση 164
τύλιγμα 64
- δευτερεύον 65
 - δρομέα συγχρονοδέκτη 188
 - πρωτεύον 65
 - στάτη συγχρονοδέκτη 188
- Ύπερ-γραμμικός ενισχυτής** 110
υπερετερόδυνος δέκτης 169, 171
υποβιβασμός 112
υποβρύχιος μηχανισμός 227
υπολογιστικά κυκλώματα 200, 208
ύψηλη συχνότητα 138, 148, 149, 154, 160
- τάση 9
- Φαινόμενο Zener** 52
- κατολισθήσεως 78
 - μαγνητοσυστολής 221
 - Μίλλερ 113
 - συντονισμού 121
- φάσμα 120
φέρουσα συχνότητα 119, 139
φίλτρο 71, 73, 75 - 77, 165
φλοιός 4
φορέας άρνητικού φορτίου 45
- θετικού φορτίου 45
- φορτίο 175
- άνοδικό 83
 - λυχνίας 82
- φορτίου εύθεια 83, 85
φόρτιση 149, 151
φυσική συχνότητα 21
φώραση 12, 13, 148, 149, 151, 162
- φώραση από άνοδο 154
- από έσχάρα 153
 - για διαμόρφωση συχνότητας 155
 - δεύτερη 171
 - με διοδο 155
 - πρώτη 171
- φωρατής 112
- για διαμόρφωση πλάτους 156
 - κρυσταλλικός 151, 162
- φωτεινή κηλίδα 220
φωτισμού, μέθοδος 5
- Χαμηλή συχνότητα** 91, 149
- τάση 9
- χαρακτηριστικές άνοδου 16
- έσχάρας 18
 - καμπύλες 59
 - στατικές 82, 85
- χαρακτηριστική διόδου λυχνίας 10
- καμπύλη άνοδου 15, 25
 - καμπύλη έσχάρας 17
 - κρυσταλλικού φωρατή 152
- χέρτζ (Hz) 116
χημικοί δεσμοί 44
χωρητική αντίσταση 101, 124
χωρητικότητα μεταξή ηλεκτροδίων 22
- πυκνωτή 23
- χωριστή πόλωση 36
- Ψηφιακοί (Digital) ύπολογιστές** 208, 209
- Ώμική αντίσταση** 128
ώφέλιμη Ισχύς 142

ΚΟΡΥΡΗΤ ΙΔΡΥΜΑΤΟΣ ΕΥΓΕΝΙΔΟΥ

ΕΚΤΥΠΩΣΙΣ - ΒΙΒΛΙΟΔΕΣΙΑ: ΓΡΑΦΙΚΑΙ ΤΕΧΝΑΙ "ΑΣΠΙΩΤΗ - ΕΛΚΑ"

