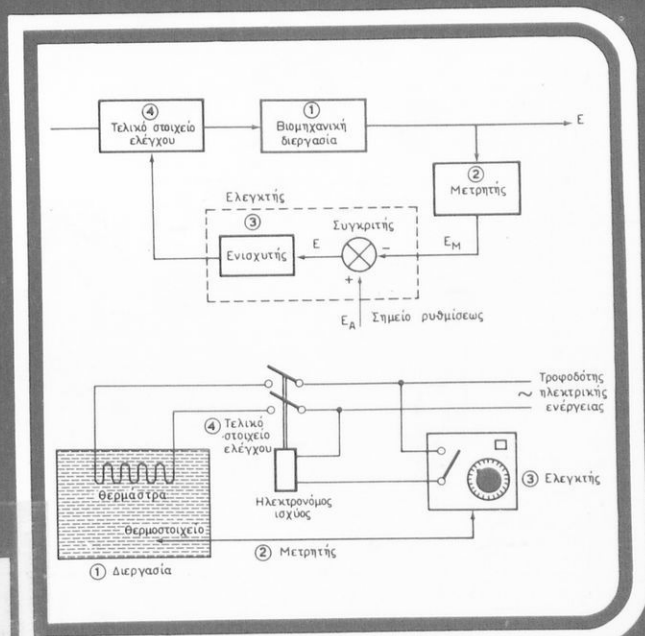


ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΑ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΑ ΑΥΤΟΜΑΤΙΣΜΟΙ

Σταματίου Ν. Παλαιοκρασά
ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΟΥ ΜΗΧΑΝΙΚΟΥ,
ΔΡΟΣ ΠΥΡΗΝΙΚΟΥ ΜΗΧΑΝΙΚΟΥ





ΠΡΟΛΟΓΟΣ ΙΔΡΥΜΑΤΟΣ ΕΥΓΕΝΙΔΟΥ

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

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

Έτσι το Φεβρουάριο του 1956 συστήθηκε το «*Ίδρυμα Ευγενίδου*», του οποίου τη διοίκηση ανέλαβε η αδελφή του κυρία Μαριάνθη Σίμου, σύμφωνα με την επιθυμία του διαθέτη.

Από το 1956 μέχρι σήμερα η συμβολή του *Ιδρύματος* στην τεχνική εκπαίδευση πραγματοποιείται με διάφορες δραστηριότητες. Όμως απ' αυτές η σημαντικότερη, που κρίθηκε από την αρχή ως πρώτης ανάγκης, είναι η έκδοση βιβλίων για τους μαθητές των τεχνικών σχολών.

Μέχρι σήμερα εκδόθηκαν εκατοντάδες τόμοι βιβλίων, που έχουν διατεθεί σε πολλά εκατομμύρια τεύχη και καλύπτουν ανάγκες όλων των βαθμίδων της Μέσης Τεχνικής και Επαγγελματικής Εκπαίδευσής του Υπ. Παιδείας, των Σχολών του Οργανισμού Απασχολήσεως Εργατικού Δυναμικού (ΟΑΕΔ) και των Δημοσίων Σχολών Εμπορικού Ναυτικού.

Μοναδική φροντίδα του *Ιδρύματος* σ' αυτή την εκδοτική του προσπάθεια ήταν και είναι η ποιότητα των βιβλίων, από άποψη όχι μόνον επιστημονική, παιδαγωγική και γλωσσική, αλλά και από άποψη εμφανίσεως, ώστε το βιβλίο να αγαπηθεί από τους νέους.

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

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

Έτσι με απόφαση που πάρθηκε ήδη από το 1956 όλα τα βιβλία της Βιβλιοθήκης του Τεχνίτη, δηλαδή τα βιβλία για τις Κατώτερες Τεχνικές Σχολές, όπως αργότερα και για τις Σχολές του ΟΑΕΔ, ήταν γραμμένα σε γλώσσα δημοτική με βάση τη γραμματική του Τριανταφυλλίδη, ενώ όλα τα άλλα βιβλία ήταν γραμμένα στην απλή καθαρεύουσα. Σήμερα ακολουθείται η δημοτική γλώσσα, έτσι όπως έχει καθιερωθεί από το Υπουργείο Παιδείας. Η γλωσσική επεξεργασία των βιβλίων γίνεται από φιλόλογους του *Ιδρύματος* και έτσι εξασφαλίζεται η ενιαία σύνταξη και ορολογία κάθε κατηγορίας βιβλίων.

Το περιεχόμενο των βιβλίων, σύμφωνα πάντα με τα αναλυτικά προγράμματα των υπουργείων, εκσυγχρονίζεται σε κάθε νέα έκδοση, μια και τα τεχνικά βιβλία δεν πρέπει να μη παρακολουθούν την εξέλιξη.

Η ποιότητα του χαρτιού, το είδος των τυπογραφικών στοιχείων, τα σωστά σχήματα και η καλαίσθητη σελιδοποίηση, το εξώφυλλο και το μέγεθος του βιβλίου περιλαμβάνονται και αυτά στις φροντίδες του Ιδρύματος.

ΕΠΙΤΡΟΠΗ ΕΚΔΟΣΕΩΝ ΙΔΡΥΜΑΤΟΣ ΕΥΓΕΝΙΔΟΥ

Αλέξανδρος Ι. Παππάς, Ομ. Καθηγητής ΕΜΠ, Πρόεδρος.

Χρυσόστομος Φ. Καβουνίδης, Διπλ.-Μηχ.- Ηλ. ΕΜΠ, Επίτιμος Διοικητής ΟΤΕ, Αντιπρόεδρος.

Μιχαήλ Γ. Αγγελόπουλος, Τακτικός Καθηγητής ΕΜΠ, τ. Διοικητής ΔΕΗ.

Θεόδωσιος Παπαθεοδοσίου, Δρ. Μηχανολόγος Μηχανικός, Δ/ντής Εφ. Προγρ. και Μελετών Τεχν. και Επαγγ. Εκπ. Υπ. Παιδείας.

Επιστημ. Σύμβουλος, **Γ. Ρούσσος**, Χημ.-Μηχ. ΕΜΠ.

Σύμβουλος επί των εκδόσεων του Ιδρύματος **Κ. Α. Μανάφης**, Καθηγητής Φιλοσοφικής Σχολής Παν/μίου Αθηνών.

Γραμματεύς, **Δ. Π. Μεγαρίτης**.

Ειδικός Επιστημονικός Σύμβουλος για το βιβλίο Βιομηχανικά Ηλεκτρονικά - Αυτοματισμοί ο καθ. κ. **Νικόλαος Ι. Κρικέλης**, καθηγητής ΕΜΠ.

Διατελέσαντα μέλη ή σύμβουλοι της Επιτροπής

Γεώργιος Κακριδής † (1955 - 1959) Καθηγητής ΕΜΠ, **Άγγελος Καλογεράς** † (1957 - 1970) Καθηγητής ΕΜΠ, **Δημήτριος Νιάνιαν** (1957 - 1965) Καθηγητής ΕΜΠ, **Μιχαήλ Σπετσιέρης** (1956 - 1959), **Νικόλαος Βασιώπης** (1960 - 1967), **Θεόδωρος Κουζέλης** (1968 - 1976) Μηχ.- Ηλ. ΕΜΠ, **Παναγιώτης Χατζηγιάννου** (1977 - 1982) Μηχ. Ηλ. ΕΜΠ.



Ε 39
ΦΣΣ
Παλαίουκραςα, Σταματίου Ν.

Γ' ΤΕΧΝΙΚΟΥ ΛΥΚΕΙΟΥ

ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΑ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΑ ΑΥΤΟΜΑΤΙΣΜΟΙ

ΤΕΥΧΟΣ Α'

ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΑ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΑ

ΣΤΑΜΑΤΙΟΥ Ν. ΠΑΛΑΙΟΚΡΑΣΣΑ
ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΟΥ ΜΗΧΑΝΙΚΟΥ, ΔΡΟΣ ΠΥΡΗΝΙΚΟΥ ΜΗΧΑΝΙΚΟΥ

ΑΘΗΝΑ
1982

002
h0E
ET2B
2151

ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΔΗΜΟΚΡΑΤΙΑ
ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΑΙΔΕΙΑΣ, ΕΡΕΥΝΑΣ ΚΑΙ ΘΡΗΣΚΕΥΜΑΤΩΝ
ΙΝΣΤΙΤΟΥΤΟ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ ΚΑΙ ΕΚΔΟΣΕΩΝ ΔΙΔΑΚΤΙΚΩΝ ΒΙΒΛΙΩΝ (ΙΤΥΣΕ)

ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΙΑΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ "ΕΚΠΑΙΔΕΥΣΗ ΚΑΙ ΔΙΑ ΒΙΟΥ ΜΑΘΗΣΗ"

ΜΕΣΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΙΑΚΩΝ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΩΝ

ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΣΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΙΑΚΩΝ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΩΝ

ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΙΑΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ "ΕΚΠΑΙΔΕΥΣΗ ΚΑΙ ΔΙΑ ΒΙΟΥ ΜΑΘΗΣΗ"

ΜΕΣΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΙΑΚΩΝ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΩΝ

ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΣΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΙΑΚΩΝ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΩΝ

ΠΡΟΛΟΓΟΣ ΤΟΥ ΣΥΓΓΡΑΦΕΑ

Η εφαρμογή ηλεκτρονικών κυκλωμάτων στην επίλυση βιομηχανικών προβλημάτων που σχετίζονται με τη βελτίωση, την επιτάχυνση και τον έλεγχο διεργασιών παραγωγής έχει ιστορία πενήντα περίπου ετών. Πριν από την εφεύρεση του τρανζίστορ, οι βιομηχανικές εφαρμογές των ηλεκτρονικών κάλυπταν κυρίως τη λειτουργία κινητηρίων μηχανών, τη θέρμανση και συγκόλληση μετάλλων και την αυτοματοποίηση της βιομηχανικής διεργασίας.

Σήμερα, με τη ραγδαία εξέλιξη των ολοκληρωμένων κυκλωμάτων, των ηλεκτρονικών υπολογιστών και των μικροεπεξεργαστών, τα ηλεκτρονικά έχουν κυριολεκτικά κατακτήσει το χώρο της παραγωγής, σε βαθμό που ένα μεγάλο ποσοστό του προσωπικού στα σύγχρονα εργοστάσια απασχολείται με την προληπτική συντήρηση-ση ηλεκτρονικών συσκευών και συστημάτων.

Το μάθημα «Βιομηχανικά Ηλεκτρονικά - Αυτοματισμοί», που δίδασκεται στους μαθητές της Γ' τάξεως Τεχνικού Λυκείου, οι οποίοι ακολουθούν τις ειδικότητες «Εσωτερικών Ηλεκτρικών Εγκαταστάσεων» και «Ηλεκτρονικών Εγκαταστάσεων και Αυτοματισμού», έχει στόχο την εφαρμογή των γνώσεων που απόκτησαν οι μαθητές αυτοί στα γενικά μαθήματα ηλεκτρονικών, που προηγήθηκαν στο πρόγραμμά τους, πάνω σε συγκεκριμένες βιομηχανικές διεργασίες.

Το παρόν Α' Τεύχος του βιβλίου καλύπτει την ύλη των Βιομηχανικών Ηλεκτρονικών. Το Β' Τεύχος καλύπτει την ύλη των Συστημάτων Αυτόματου Ελέγχου.

Η ύλη των βιομηχανικών Ηλεκτρονικών καλύπτεται με επτά σύντομα κεφάλαια που ακολουθούν πιστά το επίσημο αναλυτικό πρόγραμμα. Η παρουσίαση της ύλης γίνεται κατά τρόπο παραστατικό, χωρίς δύσκολες μαθηματικές αναλύσεις, και δίνεται ιδιαίτερη έμφαση στην περιγραφή των βασικών αρχών λειτουργίας των συσκευών και συστημάτων.

Επειδή οι ειδικοί ηλεκτρονικοί όροι έχουν καθιερωθεί διεθνώς στην αγγλική, κάθε φορά που χρησιμοποιείται ειδικός όρος ακολουθεί ο αγγλικός όρος μέσα σε παρένθεση, ενώ στο τέλος του τεύχους περιέχεται αγγλο-ελληνικό γλωσσάριο.

Κατά τη συγγραφή του παρόντος τεύχους συμβουλευτήκαμε πολλούς συναδέλφους, που τους ευχαριστούμε για τη συνεισφορά τους. Ιδιαίτερες ευχαριστίες απευθύνω στον καθηγητή κ. Ν. Κρικέλη για τη συνεργασία και τις υποδείξεις του. Τέλος εκφράζω τις ευχαριστίες μας και στο προσωπικό του Τμήματος Εκδόσεων του Ιδρύματος Ευγενίδου που συνέβαλε στην άρτια έκδοση του βιβλίου.

Ο Συγγραφέας



ΕΡΕΥΝΑ ΚΑΙ ΕΚΠΑΙΔΕΥΣΗ

Η παρούσα μελέτη εξετάζει την επίδραση της εκπαίδευσης στην ανάπτυξη των δεξιοτήτων των μαθητών. Τα αποτελέσματα δείχνουν ότι η εκπαίδευση έχει θετική επίδραση στην ανάπτυξη των δεξιοτήτων των μαθητών. Η μελέτη πραγματοποιήθηκε σε ένα δείγμα μαθητών ηλικίας 12-15 ετών. Τα αποτελέσματα της μελέτης είναι τα εξής:

- Η εκπαίδευση έχει θετική επίδραση στην ανάπτυξη των δεξιοτήτων των μαθητών.
- Η επίδραση της εκπαίδευσης είναι μεγαλύτερη σε μαθητές που έχουν περισσότερη εκπαίδευση.
- Η επίδραση της εκπαίδευσης είναι μεγαλύτερη σε μαθητές που έχουν περισσότερη οικονομική κατάσταση.

Τα αποτελέσματα της μελέτης δείχνουν ότι η εκπαίδευση είναι ένας σημαντικός παράγοντας στην ανάπτυξη των δεξιοτήτων των μαθητών. Η μελέτη πραγματοποιήθηκε σε ένα δείγμα μαθητών ηλικίας 12-15 ετών. Τα αποτελέσματα της μελέτης είναι τα εξής:

- Η εκπαίδευση έχει θετική επίδραση στην ανάπτυξη των δεξιοτήτων των μαθητών.
- Η επίδραση της εκπαίδευσης είναι μεγαλύτερη σε μαθητές που έχουν περισσότερη εκπαίδευση.
- Η επίδραση της εκπαίδευσης είναι μεγαλύτερη σε μαθητές που έχουν περισσότερη οικονομική κατάσταση.

Τα αποτελέσματα της μελέτης δείχνουν ότι η εκπαίδευση είναι ένας σημαντικός παράγοντας στην ανάπτυξη των δεξιοτήτων των μαθητών. Η μελέτη πραγματοποιήθηκε σε ένα δείγμα μαθητών ηλικίας 12-15 ετών. Τα αποτελέσματα της μελέτης είναι τα εξής:

- Η εκπαίδευση έχει θετική επίδραση στην ανάπτυξη των δεξιοτήτων των μαθητών.
- Η επίδραση της εκπαίδευσης είναι μεγαλύτερη σε μαθητές που έχουν περισσότερη εκπαίδευση.
- Η επίδραση της εκπαίδευσης είναι μεγαλύτερη σε μαθητές που έχουν περισσότερη οικονομική κατάσταση.



ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΠΡΩΤΟ

ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΚΑΙ ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ

1.1 Εισαγωγή στα βιομηχανικά ηλεκτρονικά.

Η θεμελίωση του τομέα της ηλεκτρονικής μπορεί να θεωρηθεί ότι έγινε το 1888 από τον Χερτζ (Hertz), με την ανακάλυψη της μεταδόσεως και της μετρήσεως της ηλεκτρομαγνητικής ενέργειας. Η επιστήμη της ηλεκτρονικής και η πρόοδος στα ηλεκτρονικά κυκλώματα ακολούθησαν σχετικά γρήγορη εξέλιξη μετά από τρία σημαντικά επιστημονικά γεγονότα. Την επινόηση της δίοδου λυχνίας από τον Φλέμινγκ (Fleming) το 1903, την ανακάλυψη του κρυσταλλικού φωρατή από τον Πίκαρντ (Pickard) το 1906 και την εφεύρεση της τριόδου λυχνίας από τον Ντε Φόρεστ (De Forest) το 1907.

Η εφαρμογή των ηλεκτρονικών κυκλωμάτων στην επίλυση βιομηχανικών προβλημάτων ως προς τη βελτίωση και επιτάχυνση της παραγωγικής διαδικασίας έχει ιστορία πενήντα περίπου ετών, γνώρισε δε μεγάλη έκταση ύστερα από τις εφευρέσεις του τρανζίστορ το 1948 από τους Μπαρντίν (Bardeen) και Μπρατέιν (Brattain) και της P-N επαφής από τον Σόκλεϋ (Shockley) το 1949. Οι βιομηχανικές εφαρμογές των ηλεκτρονικών κυκλωμάτων κάλυπταν ως τότε τη λειτουργία κινητηρίων μηχανών, τη θέρμανση και συγκόλληση μετάλλων και την αυτοματοποίηση της βιομηχανικής διεργασίας.

Σήμερα, με τη ραγδαία εξέλιξη των ολοκληρωμένων κυκλωμάτων και των ηλεκτρονικών υπολογιστών, τα ηλεκτρονικά έχουν κυριολεκτικά κατακτήσει το βιομηχανικό χώρο, ώστε ένα μεγάλο ποσοστό του προσωπικού στα σύγχρονα εργοστάσια να απασχολείται με την προληπτική συντήρηση των ηλεκτρονικών εξαρτημάτων των διαφόρων μηχανών.

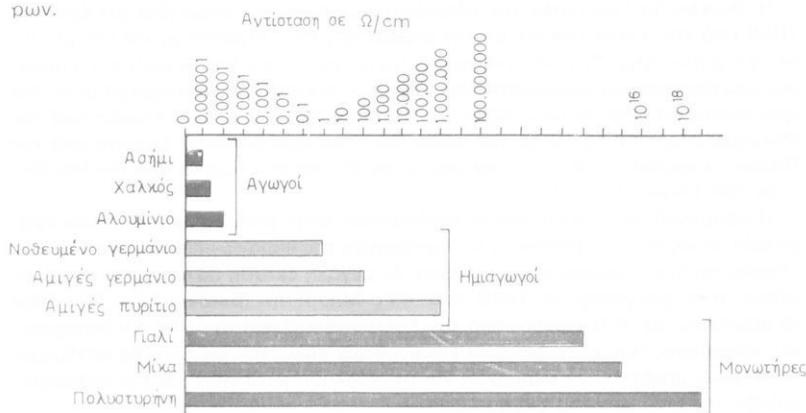
1.2 Ανασκόπηση της θεωρίας των ημιαγωγών.

Τα σημαντικότερα υλικά για την κατασκευή ηλεκτρονικών εξαρτημάτων στις τελευταίες τρεις δεκαετίες είναι οι ημιαγωγοί. Τα τρανζίστορ και οι δίοδοι κατασκευάζονται με ημιαγωγούς. Τα ηλεκτρονικά εξαρτήματα που κατασκευάζονται από ημιαγωγούς ονομάζονται εξαρτήματα **στερεάς καταστάσεως** (solid state) για να διακρίνονται από τα εξαρτήματα που περιέχουν αέρια ή υγρά.

Είναι γνωστό ότι ένας **αγωγός** (conductor) κατασκευάζεται από ουσίες που έχουν μικρή ηλεκτρική αντίσταση ώστε τα ηλεκτρόνια να τις διαπερνούν προς κάθε κατεύθυνση με σχετική ευκολία. Τα μέταλλα, γενικά, είναι καλοί αγωγοί γιατί έ-

χουν πολλά «ελεύθερα» ηλεκτρόνια (free electrons). Ο *μονωτής* (insulator), αντίθετα από τον αγωγό, δεν επιτρέπει στα ηλεκτρόνια να τον διαπερνούν παρά μόνο με μεγάλη δυσκολία. Οι μονωτήρες γενικά παρουσιάζουν πολύ μεγάλη ηλεκτρική αντίσταση, επειδή δεν περιέχουν «ελεύθερα» ηλεκτρόνια, τα οποία, όπως ξέρομε, προάγουν την αγωγιμότητα. Τα ηλεκτρόνια στους μονωτήρες είναι σταθερά εγκλωβισμένα στα άτομα και δεν έχουν τη δυνατότητα μετακινήσεως.

Οι *ημιαγωγοί* (semiconductors) αποτελούνται από ύλες, η αντίσταση των οποίων στη ροή ηλεκτρονίων βρίσκεται μεταξύ της αντιστάσεως των αγωγών και των μονωτήρων. Η μετακίνηση των ηλεκτρονίων στους ημιαγωγούς είναι δυνατή με κάποια δυσκολία. Για την κατασκευή των ημιαγωγών χρησιμοποιούνται ως βασικές ύλες *γερμάνιο* (germanium), *πυρίτιο* (silicon) και *σελήνιο* (selenium). Οι ύλες αυτές υφίστανται προηγούμενως κατάλληλη επεξεργασία, ώστε να μην περιέχουν ξένες ουσίες και να είναι όσο το δυνατό πιο αμιγείς. Στο σχήμα 1.2α γίνεται σύγκριση της ηλεκτρικής αντιστάσεως των ημιαγωγών, των αγωγών και των μονωτήρων.



Σχ. 1.2α.

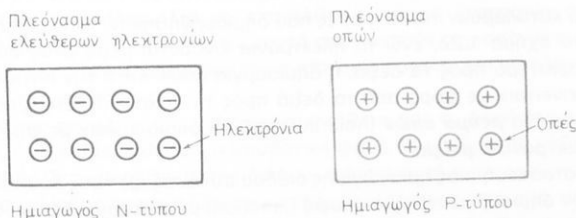
Αντίσταση κοινών αγωγών, ημιαγωγών και μονωτήρων.

Στις αμιγείς ύλες από πυρίτιο, σελήνιο ή γερμάνιο προστίθενται άτομα άλλων ουσιών. Οι προστιθέμενες ουσίες επιλέγονται έτσι ώστε ο συνδυασμός τους με την πρωταρχική ουσία να παρέχει πρόσθετα ελεύθερα ηλεκτρόνια ή τις συνθήκες που θα διευκόλυναν τα ήδη υπάρχοντα στην αμιγή ύλη ηλεκτρόνια να μετακινούνται με ακόμη μεγαλύτερη ευκολία. Η σκόπιμη αυτή πρόσθεση ξένων ουσιών σε αμιγείς ημιαγωγούς λέγεται *πρόσμιξη* (doping). Ένας ημιαγωγός, ο οποίος μετά από πρόσμιξη διαθέτει *πλεόνασμα ηλεκτρονίων*, λέγεται *ημιαγωγός N-τύπου*. Το γράμμα N καθιερώθηκε από τον αγγλικό όρο Negative (αρνητικό), επειδή αυτός ο τύπος ημιαγωγού έχει πλεόνασμα ηλεκτρονίων που είναι σωματίδια με αρνητική φόρτιση. Αντίθετα ένας ημιαγωγός, ο οποίος μετά από πρόσμιξη έχει *έλλειψη ηλεκτρονίων* και συνεπώς πλεόνασμα θετικά ιονισμένων θέσεων, που διατίθενται για να δέχονται μετακινούμενα ηλεκτρόνια, λέγεται *ημιαγωγός P-τύπου*. Το γράμμα P καθιερώθηκε από τον αγγλικό όρο Positive (θετικό), επειδή αυτός ο τύπος ημιαγω-

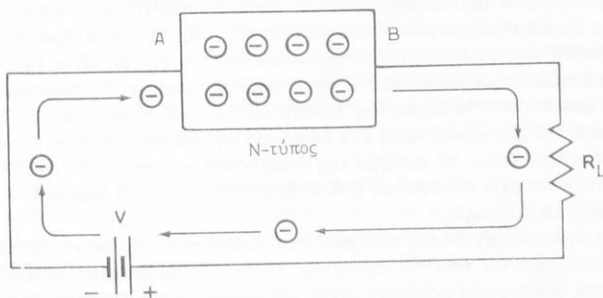
γού έχει πλεονάσμα θετικά ιονισμένων θέσεων, οι οποίες λέγονται και **οπές** (holes). Στο σχήμα 1.2β παρουσιάζονται συμβολικά οι δύο τύποι ημιαγωγών.

Όταν ένας ημιαγωγός N-τύπου συνδεθεί με μια μπαταρία V (σχ. 1.2γ) σε σειρά με μια αντίσταση φορτίου R, τα ηλεκτρόνια φεύγουν από τον αρνητικό ακροδέκτη της μπαταρίας και καταφθάνουν στο άκρο A του ημιαγωγού. Τα ηλεκτρόνια από τη μπαταρία εισέρχονται στον ημιαγωγό και αναγκάζουν τα πλεονάζοντα ηλεκτρόνια του να μετακινηθούν προς το άκρο B, λόγω απώσεων μεταξύ ομοίων φορτίων. Τα ηλεκτρόνια στη συνέχεια εξέρχονται από το άκρο B του ημιαγωγού, διαπερνούν την αντίσταση φορτίου R_L και επανέρχονται στο θετικό ακροδέκτη της μπαταρίας. Ο ημιαγωγός N-τύπου επομένως συμπεριφέρεται μέσα σε ένα κύκλωμα ως αγωγός. Δηλαδή, το ρεύμα διαπερνά τον ημιαγωγό N-τύπου με σχετική ευκολία.

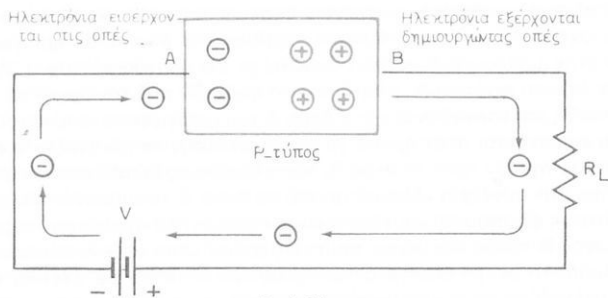
Στη συνέχεια εξετάζουμε τη συμπεριφορά ενός ημιαγωγού P-τύπου μέσα σε ένα κύκλωμα. Στο σχήμα 1.2δ δίνεται σχηματικά η ροή ηλεκτρονικού ρεύματος σε ημιαγωγό P-τύπου. Τα ηλεκτρόνια που φεύγουν από τον αρνητικό ακροδέκτη της μπαταρίας, εισέρχονται στον ημιαγωγό από το άκρο A και έλκονται από τις θετικά ιονισμένες οπές, με αποτέλεσμα να τις καταλαμβάνουν. Για να διατηρηθεί όμως η αρχική ισορροπία φορτίων στον ημιαγωγό, που διαταράχθηκε από τη μείωση του συνολικού αριθμού οπών, νέες οπές δημιουργούνται κοντά στο άκρο B και τα ηλεκτρόνια που υπήρχαν σ' αυτές εξέρχονται από τον ημιαγωγό, διαπερνούν την αντίσταση R_L και συλλέγονται στο θετικό πόλο της μπαταρίας. Αυτό το φαινόμενο παρέχει την ευκαιρία στα ηλεκτρόνια που εισήλθαν στον ημιαγωγό από το άκρο A να μετακινηθούν προς τα δεξιά, εγκαταλείποντας τις οπές που είχαν αρχικά κατα-



Σχ. 1.2β.
Οι δύο τύποι ημιαγωγών.

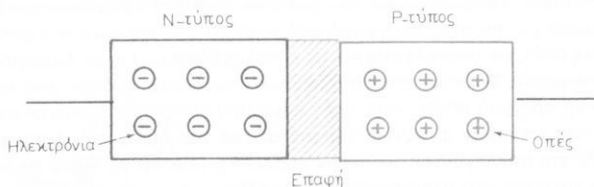


Σχ. 1.2γ.
Ροή ηλεκτρονικού ρεύματος σε ημιαγωγό N-τύπου.



Σχ. 1.2δ.

Ροή ηλεκτρονικού ρεύματος σε ημιαγωγό P - τύπου.



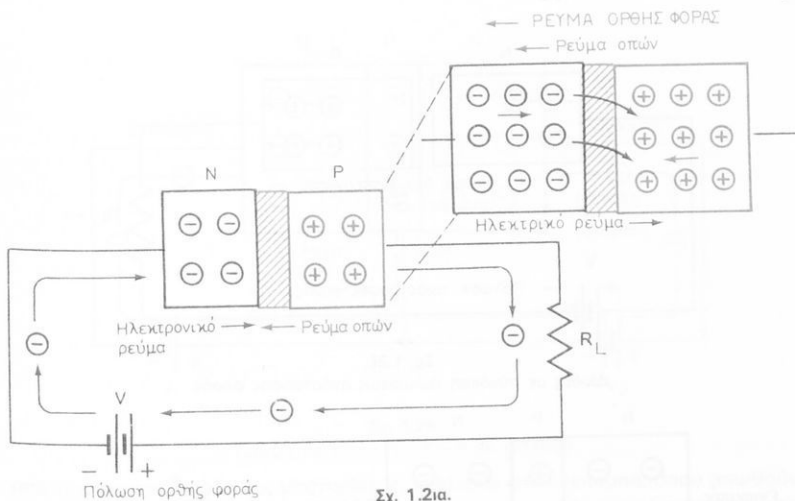
Σχ. 1.2ε.

Ημιαγωγική διάοδος τύπου N - P.

λάβει και να καταλάβουν τις νέες οπές που δημιουργήθηκαν. Όπως δηλαδή παρατηρούμε στο σχήμα 1.2δ, ενώ τα ηλεκτρόνια κινούνται μέσα στον ημιαγωγό με φορά από αριστερά προς τα δεξιά, η δημιουργία οπών κατά την κίνηση των ηλεκτρονίων «κινείται» με φορά από τα δεξιά προς τα αριστερά. Έτσι μπορούμε, να φανταστούμε ένα **ρεύμα οπών** (hole current), το οποίο «ρέει» με φορά αντίθετη προς το ηλεκτρονικό ρεύμα.

Για την κατασκευή μιας ημιαγωγικής διάοδου συνδυάζουμε τους δύο τύπους N και P ημιαγωγών δημιουργώντας μια **επαφή** (junction) μεταξύ τους. Σημειώνεται ότι οι δύο τύποι ημιαγωγών δεν προσκολλούνται μεταξύ τους, αλλά παράγονται κατά την πρόσμιξη με την ξαφνική αλλαγή του τύπου των ξένων ουσιών οι οποίες εκχύνονται στο πρωταρχικό ημιαγωγικό υλικό. Αν η επαφή γινόταν με προσκόλληση δε θα είχαμε μια διάοδο αλλά μια **ωμική επαφή** (ohmic contact). Στο σχήμα 1.2ε φαίνεται διαγραμματικά μια ημιαγωγική διάοδος τύπου N-P. Η επαφή είναι ένα είδος ηλεκτρικού φράγματος με ανασταλτική τάση που υποχρεώνει τα ηλεκτρόνια του N-τύπου να μένουν στο N-μέρος της διάοδου και τις οπές στο P-μέρος. Όταν όμως εφαρμόσουμε μια εξωτερική τάση στα δύο άκρα της διάοδου, τα ηλεκτρόνια είναι δυνατό να «διαπεράσουν» το φράγμα της επαφής και να εισέλθουν στο P-μέρος της διάοδου, όπου υπάρχει πλεόνασμα οπών. Στο σχήμα 1.2στ η διάοδος N-P βρίσκεται σε ηλεκτρονικό κύκλωμα.

Όταν η ημιαγωγική διάοδος εισαχθεί στο κύκλωμα με τη μπαταρία, τα ηλεκτρόνια που προέρχονται από το αρνητικό μέρος της μπαταρίας εισέρχονται στο N-μέρος της διάοδου και οδεύουν προς την επαφή. Όταν η τάση της μπαταρίας υπερσχύει της τάσεως του ηλεκτρικού φάσματος στην επαφή, τα ηλεκτρόνια έ-

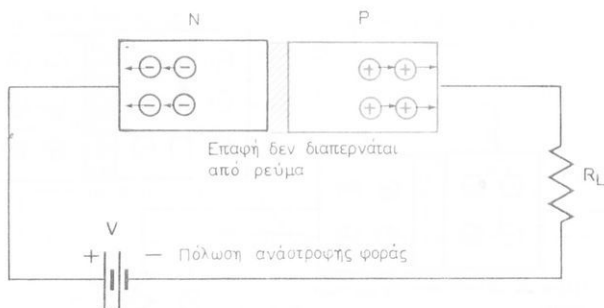


Σχ. 1.2ια.
Τρανζίστορ τύπου P - N - P σε κύκλωμα.

χουν αρκετή κινητική ενέργεια, υπερπηδούν το φράγμα, και εισέρχονται στο P-μέρος της διόδου, όπου και καταλαμβάνουν ένα αντίστοιχο αριθμό οπών κοντά στην επαφή. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα τη μείωση του συνολικού αριθμού οπών στο P-μέρος της διόδου. Για να επανέλθει η αρχική ισορροπία φορτίου στο P-μέρος, δημιουργούνται νέες οπές κοντά στον ακροδέκτη, από τις οποίες εκπέμπονται ηλεκτρόνια που διαπερνούν την αντίσταση φορτίου και καταλήγουν στο θετικό μέρος της μπαταρίας.

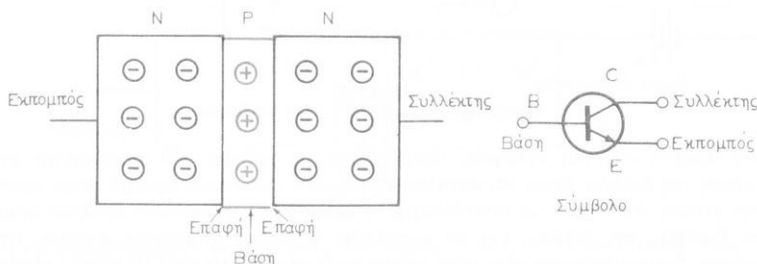
Η φορά του ρεύματος οπών (που είναι αντίθετη από τη φορά του ηλεκτρονικού ρεύματος), έχει καθιερωθεί ως η συμβατική φορά του ρεύματος κάθε ηλεκτρονικής συσκευής. Στην περίπτωση της διόδου, η φορά αυτή αντιπροσωπεύει τη φορά στην οποία η διόδος παρουσιάζει τη μικρότερη αντίσταση στη ροή του ρεύματος. Το ρεύμα στη φορά αυτή ονομάζεται **ρεύμα ορθής φοράς** (forward current). Η εφαρμοζόμενη τάση με την πολικότητα της μπαταρίας του σχήματος 1.2στ, όπου ο αρνητικός πόλος της μπαταρίας συνδέεται με το N-μέρος της διόδου και ο θετικός με το P-μέρος, ονομάζεται **πόλωση ορθής φοράς** (forward bias).

Όταν αντιστρέψουμε την πολικότητα της μπαταρίας, όπως φαίνεται στο σχήμα 1.2ζ το ρεύμα (ρεύμα οπών) έχει φορά αντίθετη από εκείνη που είχε όταν είχαμε εφαρμόσει πόλωση ορθής φοράς και ονομάζεται **ρεύμα ανάστροφης φοράς** (reverse current). Η σύνδεση της μπαταρίας όπως στο σχήμα 1.2ζ, δηλαδή με το θετικό πόλο συνδεδεμένο με το N-μέρος της διόδου και τον αρνητικό με το P-μέρος, ονομάζεται **πόλωση ανάστροφης φοράς** (reverse bias). Με τη σύνδεση αυτή τα ηλεκτρόνια στο N-μέρος της διόδου έλκονται στο άκρο της διόδου που είναι συνδεδεμένο με το θετικό πόλο της μπαταρίας. Από την άλλη μεριά οι οπές στο P-μέρος της διόδου έλκονται στο άκρο της διόδου που είναι συνδεδεμένο με τον αρνητικό πόλο της μπαταρίας. Στη φορά αυτή η διόδος παρουσιάζει μεγάλη αντίσταση στη ροή ρεύματος ώστε πάρα πολύ λίγο ρεύμα να διαπερνά την επαφή N-P.



Σχ. 1.25.

Δίοδος με σύνδεση πόλωσης ανάστροφης φοράς.



Σχ. 1.2η.

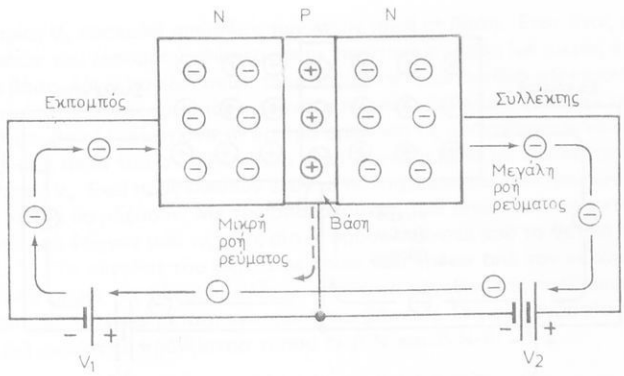
Τρανζίστορ τύπου N - P - N και το σύμβολό του.

Συνοψίζοντας, παρατηρούμε ότι, όταν εφαρμόσουμε θετική τάση στα άκρα της διόδου το ρεύμα διέρχεται με σχετική ευκολία, ενώ όταν εφαρμόσουμε αρνητική τάση στα άκρα της, το ρεύμα βρίσκει υψηλή αντίσταση, γεγονός που χαρακτηρίζει τη λειτουργία της διόδου.

Όπως είδαμε, οι διόδοι κατασκευάζονται από ημιαγωγίμια υλικά N και P-τύπου. Στα τρανζίστορ, χρησιμοποιούνται επίσης οι δύο αυτοί τύποι ημιαγωγών, αλλά υπάρχει και μια πρόσθετη ζώνη του ενός ή του άλλου τύπου.

Στα τρανζίστορ τύπου N-P-N υπάρχουν τρεις ζώνες ημιαγωγίμου υλικού όπως φαίνεται στο σχήμα 1.2η. Όπως βλέπουμε, η P-τύπου ζώνη βρίσκεται μεταξύ δύο ζωνών N-τύπου. Το πάχος της P-ζώνης είναι περίπου ένα χιλιοστό του εκατοστού-μετρου. Η P-ζώνη σε ένα τρανζίστορ N-P-N λέγεται **βάση** (base) του τρανζίστορ. Η μια N-ζώνη ονομάζεται **εκπομπός** (emitter) και η άλλη N-ζώνη **συλλέκτης** (collector). Στο σύμβολο του τρανζίστορ N-P-N που παρουσιάζεται στο σχήμα 1.2η, το βέλος εξέρχεται από τη βάση.

Εξετάζουμε τώρα τη συμπεριφορά ενός τρανζίστορ N-P-N μέσα σε κύκλωμα, όπως φαίνεται στο σχήμα 1.2θ. Όπως βλέπουμε, η βάση συνδέεται με το κύκλωμα εισόδου και με το κύκλωμα εξόδου μέσω των μπαταριών V_1 και V_2 . Παρατηρούμε δε ότι εφαρμόζεται **πόλωση ορθής φοράς μεταξύ εκπομπού και βάσεως** και **πόλωση ανάστροφης φοράς μεταξύ συλλέκτη και βάσεως**. Τα ηλεκτρόνια που φεύγουν

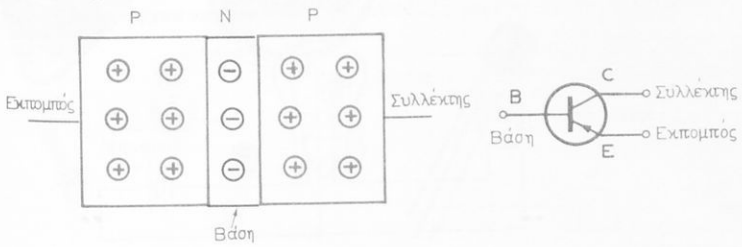


Σχ. 1.2θ.
Τρανζίστορ τύπου N - P - N σε κύκλωμα.

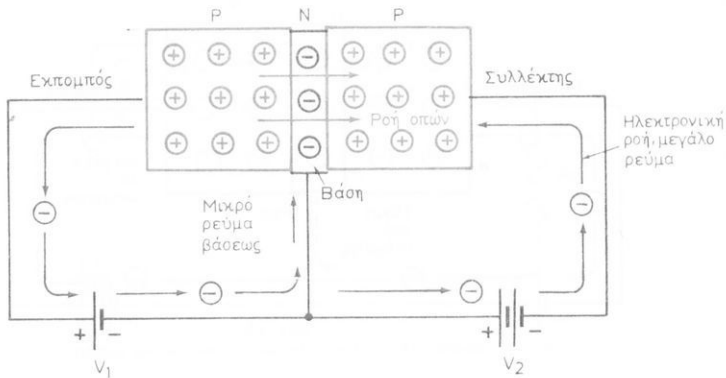
από τον αρνητικό πόλο της μπαταρίας V_1 φθάνουν στον εκπομπό, όπου απωθούν τα ηλεκτρόνια του N-μέρους του τρανζίστορ και τα αναγκάζουν να διαπεράσουν τη βάση γρήγορα, χωρίς σημαντικές απώλειες από καταλήψεις οπών που αφθονούν στη βάση. Έτσι φθάνουν στο συλλέκτη και απωθούν τα ηλεκτρόνια που βρίσκονται εκεί προς το θετικό πόλο της μπαταρίας V_2 .

Το μέγεθος του ηλεκτρονικού ρεύματος που ρέει από τον εκπομπό στο συλλέκτη ελέγχεται από το μέγεθος της πολώσεως ορθής φοράς που εφαρμόζεται στην επαφή μεταξύ εκπομπού και βάσεως. Η λειτουργία ενός τρανζίστορ N-P-N βασίζεται κατά κύριο λόγο στη διακίνηση ηλεκτρονίων, τα οποία ονομάζονται **πλειοψηφούντες φορείς** (majority carriers). Το λεπτό πάχος της βάσεως, διευκολύνει τα ηλεκτρόνια να τη διαπερνούν γρήγορα, χωρίς μεγάλες πιθανότητες να «συλληφθούν» από τις πλειονάζουσες εκεί οπές. Βέβαια, ένας μικρός αριθμός ηλεκτρονίων παγιδεύεται από ένα αντίστοιχο αριθμό οπών μέσα στη βάση, με αποτέλεσμα να διαρρέει τη βάση ένα πολύ μικρό ρεύμα, όπως φαίνεται στο σχήμα 1.2θ.

Υπάρχουν όμως και P-N-P τρανζίστορ που αποτελούνται επίσης από τρεις ζώνες ημιαγωγικού υλικού. Η βάση είναι ημιαγωγός N-τύπου και ο εκπομπός και ο συλλέκτης είναι ημιαγωγοί P-τύπου. Το τρανζίστορ αυτό με το σύμβολό του φαίνεται στο σχήμα 1.2ι. Στο σύμβολο ενός P-N-P τρανζίστορ, η φορά του βέλους



Σχ. 1.2στ.
Ημιαγωγική διάδος τύπου N - P σε κύκλωμα.

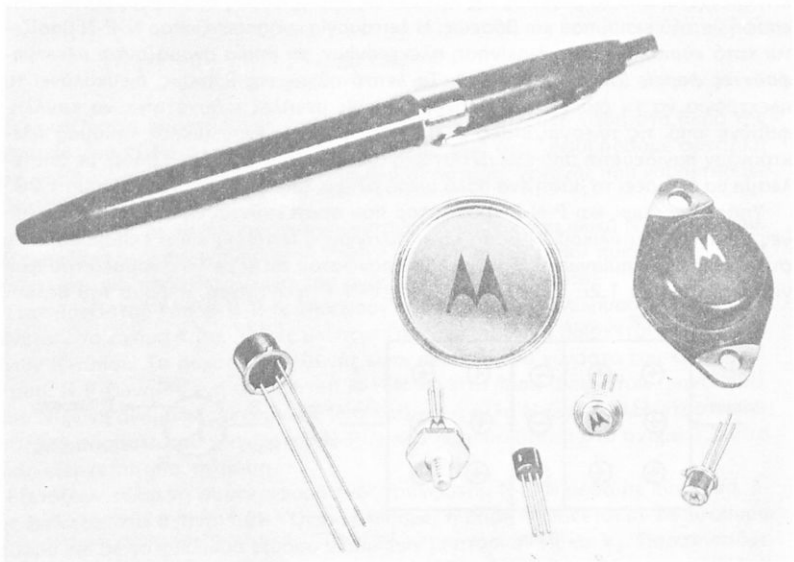


Σχ. 1.2i.

Τρανζίστορ τύπου P - N - P και το σύμβολό του.

στον εκπομπό είναι προς τη βάση. Είναι φανερό, ότι η λειτουργία του τρανζίστορ P-N-P βασίζεται κατά κύριο λόγο στη «διακίνηση» οπών, οι οποίες αποτελούν τους «πλειοψηφούντες φορείς». Στο σχήμα 1.2ia φαίνεται ένα τρανζίστορ P-N-P σε κύκλωμα, με πόλωση ορθής φοράς μεταξύ του εκπομπού και της βάσεως και πόλωση ανάστροφης φοράς μεταξύ συλλέκτη και βάσεως.

Η σύνδεση του εκπομπού στον οποίο πλεονάζουν οι οπές, με το θετικό πόλο



Σχ. 1.2ιβ.

Φωτογραφία τρανζίστορ N - P - N και P - N - P.

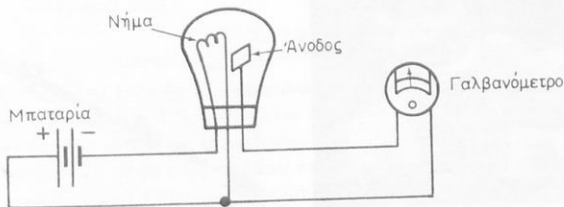
της μπαταρίας V_1 προκαλεί απώθηση των οπών προς τη βάση. Έτσι, ένας μεγάλος αριθμός οπών του εκπομπού «διαπερνά» με ταχύτητα τη βάση (με μικρές απώλειες μέσα στη βάση, λόγω παγιδεύσεώς τους από αντίστοιχο αριθμό ηλεκτρονίων) και «εισέρχεται» στο συλλέκτη όπου πλεονάζουν οπές. Οι «νεοφερμένες» οπές στο συλλέκτη απωθούν ένα αντίστοιχο αριθμό οπών και τις υποχρεώνουν να «συγκεντρωθούν» στο άκρο του συλλέκτη που είναι συνδεδεμένο με τον αρνητικό πόλο της μπαταρίας V_2 . Εκεί προσελκύουν έναν αντίστοιχο αριθμό ηλεκτρονίων από την μπαταρία και τα παγιδεύουν. Με την απομάκρυνση των οπών από τον εκπομπό τα ηλεκτρόνια που έφυγαν από τις οπές αυτές προσελκύονται από το θετικό πόλο της μπαταρίας V_1 . Το μέγεθος του ρεύματος οπών που «ρέει» από τον εκπομπό προς το συλλέκτη, μέσω της βάσεως, ελέγχεται από το μέγεθος της πολώσεως ορθής φοράς που εφαρμόζεται μεταξύ εκπομπού και βάσεως. Στη φωτογραφία του σχήματος 1.2ιβ φαίνονται τρανζίστορ τύπου N-P-N και P-N-P.

1.3 Ανασκόπηση της θεωρίας των ηλεκτρονικών λυχνιών.

Η πρώτη συσκευή που χρησιμοποιήθηκε για την ενίσχυση ηλεκτρονικών σημάτων ήταν η τρίοδος λυχνία. Ο Θωμάς Έντισον, πειραματιζόμενος με την πυρακτούμενη φωτιστική λυχνία, είχε παρατηρήσει ότι, όταν τοποθετούσε ένα μικρό μεταλλικό σύρμα κοντά στο πυρακτωμένο **νήμα** (filament), μέσω του σύρματος αυτού κυκλοφορούσε ηλεκτρικό ρεύμα.

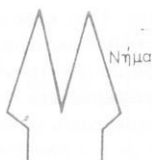
Το ρεύμα αυτό το μέτρησε με ένα **γαλβανόμετρο** (galvanometer), χρησιμοποιώντας τη διάταξη του σχήματος 1.3α και, αδυνατώντας να εξηγήσει το ότι το ρεύμα οφείλονταν σε ηλεκτρόνια που πήδησαν από το νήμα στην **άνοδο** (anode), αρκέστηκε να βγάλει μια «πατέντα» με την περιγραφή του φαινομένου αυτού που αργότερα καθιερώθηκε ως «Φαινόμενο Έντισον» (1883). Μετά από είκοσι χρόνια ένας Βρετανός κατασκεύασε την πρώτη λυχνία, την οποία ονόμασε «βαλβίδα» (valve). Ήταν μια δίοδος λυχνία, στην οποία ηλεκτρικό ρεύμα μπορούσε να περάσει από το νήμα στην άνοδο, αλλά όχι και από την άνοδο προς το νήμα. Με τη συσκευή αυτή επιτεύχθηκε για πρώτη φορά **ανόρθωση** (rectification). Το 1906 ο Λη Ντε Φόρεστ επινόησε την τρίοδη λυχνία (που την ονόμασε «όντιον»), εισάγοντας μεταξύ νήματος και ανόδου τη **σχάρα ελέγχου** (control grid). Η **τρίοδος** (triode) είναι ένας ενισχυτής, με τον οποίο ελέγχεται η μεταβολή μιας σχετικά μεγάλης τάσεως στην έξοδό της με μεταβολή μιας σχετικά μικρής τάσεως στην είσοδό της.

Οι τρίοδοι αποτελούνται από τρία βασικά στοιχεία: την **κάθοδο** (cathode) ή νήμα, τη **σχάρα ελέγχου** και την **άνοδο**. Η κάθοδος είναι ο εκπομπός ηλεκτρονίων, με

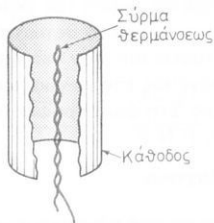
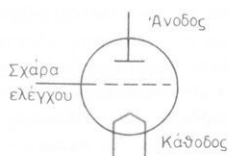


Σχ. 1.3α.

Διάταξη του «Φαινομένου Έντισον».



α)



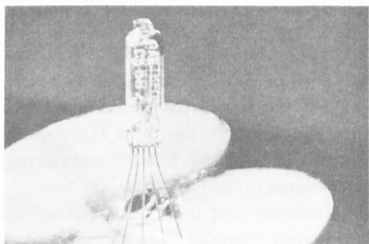
β)



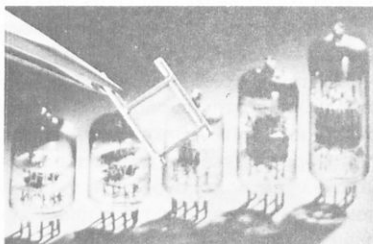
Σχ. 1.3β.

α) Άμεσα θερμαινόμενη κάθοδος. β) Έμμεσα θερμαινόμενη κάθοδος.

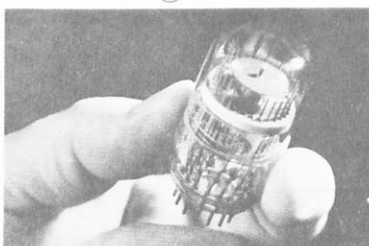
τη σχάρα ελέγχου κανονίζεται η ροή των ηλεκτρονίων από την κάθοδο προς την άνοδο και η άνοδος, που είναι θετικά φορτισμένη, έλκει και συλλέγει τα ηλεκτρόνια. Στις παλαιότερες τριόδους το νήμα θερμαινόταν άμεσα [σχ. 1.3β(α)]. Σήμερα, οι τριόδοι περιλαμβάνουν στην κάθοδο πολύ λεπτό σύρμα για το σκοπό αυτό, όπως φαίνεται στο σχήμα 1.3β(β). Στο σχήμα δίνεται και το αντίστοιχο σύμβολο αυτού



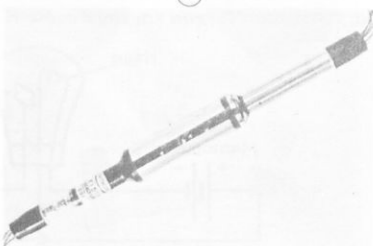
Α



Γ



Β



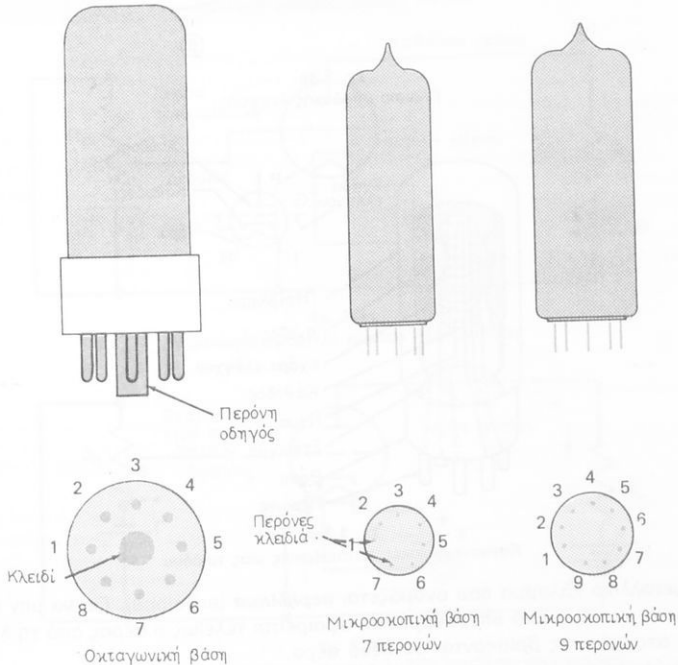
Δ

Σχ. 1.3γ.

Εικόνες συγχρόνων τύπων λυχνιών.

του τύπου λυχνίας. Για τη διευκόλυνση της εκπομπής ηλεκτρονίων, η κάθοδος επιστρώνεται με ειδική ουσία από οξείδια σπανίων γαιών. Η εκπομπή ηλεκτρονίων με θέρμανση της καθόδου ονομάζεται **θερμιονική εκπομπή** (thermionic emission). Στο σχήμα 1.3γ εικονίζονται εικόνες τεσσάρων τύπων λυχνιών, που έχουν μεγάλη εφαρμογή ακόμη και σήμερα. Στην εικόνα (Α) φαίνεται μια μικροσκοπική λυχνία, στη (Β) ένας δεκαδικός μετρητής, στη (Γ) πέντε λυχνίες με πλαισιωμένη σχάρα για μεγαλύτερη αντοχή και στη (Δ) μια ειδική λυχνία που χρησιμεύει στην «αποθήκευση» ηλεκτρονικών πληροφοριών.

Τα ηλεκτρόδια της λυχνίας συνδέονται στο κύκλωμα εφαρμογής μέσω μιας **βάσεως με περόνες** (base - pin) και ενός **πλαισίου υποδοχής** (socket assembly). Στο σχήμα 1.3δ φαίνονται οι βάσεις τριών κοινών τύπων λυχνιών. Η αρίθμηση των πε-

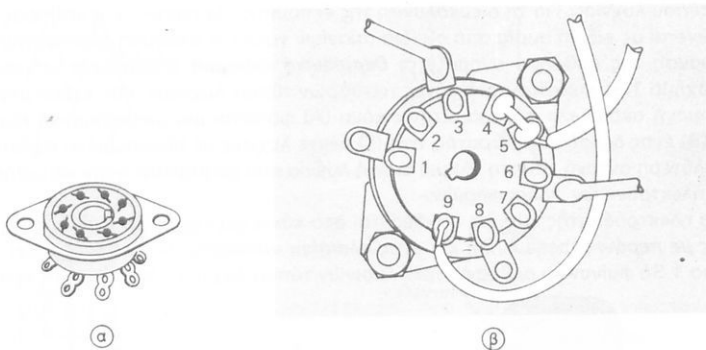


Σχ. 1.3δ.

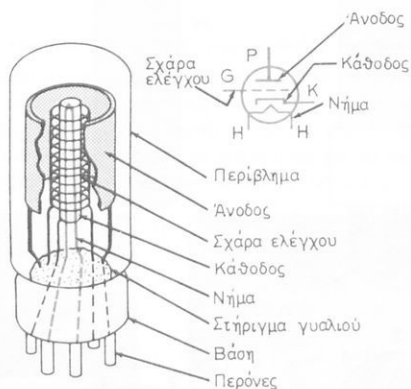
Βάσεις για τρεις κοινούς τύπους λυχνιών.

ρονών αρχίζει από την ένδειξη του «κλειδιού» (key) και γίνεται στη φορά των δεικτών ρολογιού. Στο σχήμα 1.3ε φαίνονται δύο πλαίσια υποδοχής λυχνιών, το (Α) χωρίς συνδέσεις και το (Β) με συνδέσεις.

Τα κατασκευαστικά μέρη μιας τριόδου εικονίζονται στο σχήμα 1.3στ. Η σχάρα ελέγχου αποτελείται από ένα λεπτό σύρμα τυλιγμένο σε δύο **ράβδους στηρίξεως** (side rods) και καλύπτει όλο το μήκος της καθόδου. Η άνοδος (ή πλάκα) περιβάλλει τα υπόλοιπα στοιχεία της λυχνίας, όλα δε τα στοιχεία περικλείονται από ένα γυάλι-



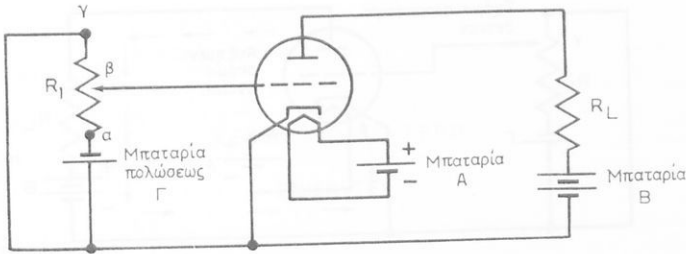
Σχ. 1.3ε.
Πλαίσια υποδοχής λυχνιών.



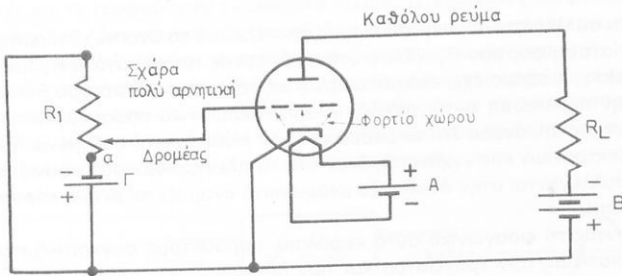
Σχ. 1.3στ.
Κατασκευαστικές λεπτομέρειες μιας τριόδου.

νο ή μεταλλικό κάλυμμα που ονομάζεται **περίβλημα** (envelope). Για να μην καταστρέφεται το νήμα από υπερθέρμανση αφαιρείται τελείως ο αέρας από τη λυχνία και τα στοιχεία της βρίσκονται σε κενό αέρα.

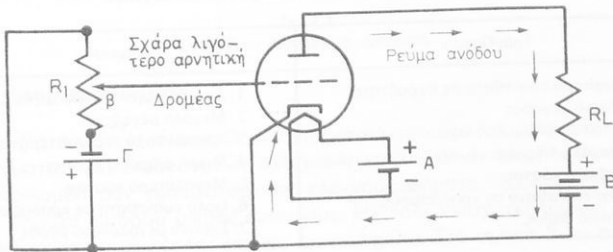
Η ανάλυση της λειτουργίας της τριόδου γίνεται με τη βοήθεια του κυκλώματος του σχήματος 1.3ζ, το οποίο θεωρείται ειδικό κύκλωμα δοκιμής της λυχνίας (και όχι κύκλωμα ενισχύσεως τάσεως ή ρεύματος). Η μπαταρία A παρέχει την απαραίτητη τάση για την πυράκτωση του νήματος και ονομάζεται **τάση νήματος** (filament voltage). Η μπαταρία B τροφοδοτεί την **τάση ανόδου** (plate voltage) και η μπαταρία πολώσεως Γ χρησιμεύει για τον έλεγχο της **τάσεως σχήρας** (grid voltage). Σε πρακτικά κυκλώματα τριόδων λυχνιών, οι τάσεις A και B παράγονται από το ίδιο **τροφοδοτικό ισχύος** (power supply), ενώ η τάση Γ εξασφαλίζεται με **αυτοπόλωση** (self bias) στο κύκλωμα εισόδου.



Σχ. 1.3ζ.
Κύκλωμα δοκιμής τριόδου λυχνίας.



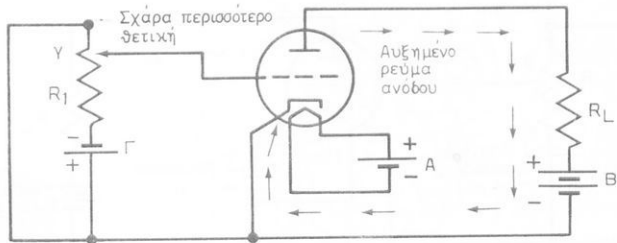
Σχ. 1.3η.
Δημιουργία «φορτίου χώρου» στην κάθοδο.



Σχ. 1.3θ.
Με λιγότερο αρνητική τάση σχάρας η λυχνία επιτρέπει ροή ρεύματος.

Όταν ο δρομέας του ρεοστάτη R_1 τοποθετηθεί στο σημείο α, η τάση σχάρας γίνεται πολύ αρνητική και αναπτύσσεται ένα ηλεκτρικό φράγμα μεταξύ της καθόδου και της ανόδου, το οποίο εμποδίζει τη διακίνηση των ηλεκτρονίων (όμοια φορτία απωθούνται) και άρα και τη ροή ρεύματος. Συνέπεια αυτού είναι η συγκέντρωση πολλών ηλεκτρονίων γύρω από την κάθοδο. Το φαινόμενο αυτό λέγεται **φορτίο χώρου** (space charge) και φαίνεται στο σχήμα 1.3η.

Όταν ο δρομέας του ρεοστάτη R_1 τοποθετηθεί στο σημείο β (σχ. 1.3θ), η σχάρα αποκτά λιγότερο αρνητική τάση. Έτσι ένας αριθμός ηλεκτρονίων διαπερνά τη



Σχ. 1.3i.

Το ρεύμα ανόδου αυξάνει όταν η σχάρα γίνει περισσότερο θετική.

σχάρα και συλλέγεται από την άνοδο, με αποτέλεσμα να αναπτυχθεί ροή ρεύματος στην αντίσταση φορτίου R_L . Τέλος, όταν ο δρομέας του ρεοστάτη R_1 τοποθετηθεί στο σημείο γ, η σχάρα έχει ελάχιστη αρνητική τάση (ή περισσότερο θετική, σχήμα 1.3i). Στην περίπτωση αυτή, σχεδόν όλα τα θερμοϊονικά παραγόμενα ηλεκτρόνια συλλέγονται στην άνοδο και το ρεύμα ανόδου είναι αρκετά αυξημένο. Το μέγιστο ρεύμα ηλεκτρονίων επιτυγχάνεται, όταν όλα τα ηλεκτρόνια που εμφανίζονται στην κάθοδο συλλέγονται στην άνοδο. Το ρεύμα αυτό ονομάζεται **ρεύμα κόρου** (saturation current).

Κλείνοντας το εισαγωγικό αυτό κεφάλαιο, παραθέτομε συγκριτικό πίνακα των χαρακτηριστικών των τρανζίστορ και των λυχνιών.

ΠΙΝΑΚΑΣ 1.3.

Σύγκριση χαρακτηριστικών τρανζίστορ και λυχνιών.

Τρανζίστορ	Λυχνία
1. Ιδιαίτερα ευαίσθητο σε θερμότητα.	1. Απαιτεί μεγάλη θερμότητα.
2. Μικρό μέγεθος.	2. Μεγάλο μέγεθος.
3. Απαιτεί πολύ μικρή ισχύ.	3. Απαιτεί πολύ περισσότερη ισχύ.
4. Μεγάλη διάρκεια «ζωής».	4. Μικρή διάρκεια «ζωής».
5. Χαμηλό κόστος.	5. Μεγαλύτερο κόστος.
6. Όχι ευαίσθητο σε κραδασμούς.	6. Πολύ ευαίσθητο σε κραδασμούς.
7. Μικρό βάρος.	7. Σχετικά μεγαλύτερο βάρος.

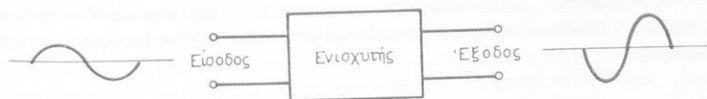
ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΔΕΥΤΕΡΟ

ΕΝΙΣΧΥΤΕΣ

2.1 Γενικά.

Στα σημαντικότερα ηλεκτρονικά κυκλώματα περιλαμβάνονται οι ενισχυτές, οι ταλαντωτές και τα τροφοδοτικά κυκλώματα ισχύος. Οι **ενισχυτές** (amplifiers) παράγουν ενισχυμένα ηλεκτρονικά σήματα εξόδου από σήματα εισόδου μικρού μεγέθους. Στο σχήμα 2.1 δίνεται το συμβολικό διάγραμμα ενός ενισχυτή.

Στο κεφάλαιο αυτό θα περιγράψουμε ενισχυτές που κατασκευάζονται με τρανζίστορ, ενισχυτές με λυχνίες και τέλος θα ασχοληθούμε με το τρανζίστορ επιδράσεως πεδίου, το οποίο συνδυάζει τα χαρακτηριστικά του τρανζίστορ και της λυχνίας, και έχει πολλές εφαρμογές σε ενισχυτικά κυκλώματα.



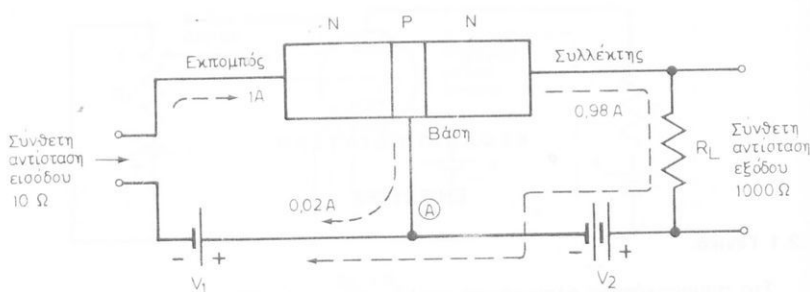
Σχ. 2.1.

Συμβολικό διάγραμμα ενισχυτή.

2.2 Ενισχυτές με τρανζίστορ.

Το τρανζίστορ, όπως αναφέρθηκε ήδη, χρησιμοποιείται σε διάφορα ηλεκτρονικά κυκλώματα. Μια διαδεδομένη κατηγορία κυκλωμάτων είναι οι ενισχυτές, οι οποίοι περιλαμβάνουν τρανζίστορ, και ελέγχουν σήματα εξόδου μεγάλης εντάσεως με σήματα εισόδου μικρής εντάσεως. Με τους ενισχυτές μπορεί επίσης να επιτευχθεί **ενίσχυση** ή **κέρδος ισχύος** (power gain). Στο σχήμα 2.2α φαίνεται το κύκλωμα ενός ενισχυτή με τρανζίστορ. Σ' ένα τέτοιο κύκλωμα, π.χ., η **σύνθετη αντίσταση εισόδου** (input impedance) κυμαίνεται μεταξύ 0,5 και 50 Ω και η **σύνθετη αντίσταση εξόδου** (output impedance) μεταξύ 10 και 1.000 Ω. Ας υποθέσουμε ότι η σύνθετη αντίσταση εισόδου είναι 10 Ω και η σύνθετη αντίσταση εξόδου 1.000 Ω. Ας υποθέσουμε επίσης ότι το ρεύμα που ρέει από τον αρνητικό πόλο της μπαταρίας V_1 προς τον εκπομπό, είναι ένα αμπέρ (1A).

Τα ηλεκτρόνια του εκπομπού απωθούνται προς τη βάση όπου ένας μικρός αριθμός ηλεκτρονίων καταλαμβάνει σπές στην περιοχή της βάσεως. Για να επέλθει πάλι ισορροπία σπών, ένας ίσος αριθμός ηλεκτρονίων «ξεπηδά» από τη βάση, με αποτέλεσμα να δημιουργηθεί ένας αντίστοιχος αριθμός νέων σπών. Ας υποθεθεί τώρα, ότι ένα ποσοστό 2% των ηλεκτρονίων που εισέρχονται στη βάση από τον εκ-



Σχ. 2.2α.
Κύκλωμα ενισχυτή με τρανζίστορ.

πομπό διαρρέουν προς τον ακροδέκτη της βάσεως. Είναι φανερό, ότι το ρεύμα προς τη βάση είναι 0,02 A και το ρεύμα προς το συλλέκτη ίσο με 0,98 A. Τα ηλεκτρόνια που αντιστοιχούν στο ρεύμα του συλλέκτη διαπερνούν την αντίσταση φορτίου R_L και τη μπαταρία V_2 . Τα ρεύματα των 0,02 A και 0,98 A προστίθενται στον κόμβο A (νόμος του Κίρκωφ) και έτσι ρέει στη μπαταρία V_1 ρεύμα 1 A.

Επειδή η σύνθετη αντίσταση της εισόδου είναι πολύ μικρότερη από τη σύνθετη αντίσταση της εξόδου, το κύκλωμα του σχήματος 2.2α έχει την ικανότητα ενισχύσεως ισχύος ή κέρδους ισχύος. Το **κέρδος (ή απολαβή) ισχύος** (power gain) ορίζεται ως εξής:

$$\text{Κέρδος ισχύος} = \frac{\text{ισχύς εξόδου}}{\text{ισχύς εισόδου}} \quad (2.1)$$

Στο παράδειγμα του σχήματος 2.2α η απολαβή ισχύος υπολογίζεται ως εξής:

$$\begin{aligned} \text{Ισχύς εξόδου} &= I_L^2 \times Z_o \\ &= (0,98)^2 \times 1.000 = 0,96 \times 1.000 \\ &= 960 \text{ Watt} \end{aligned}$$

όπου I_L είναι το ρεύμα φορτίου ή ρεύμα εξόδου και Z_o η σύνθετη αντίσταση εξόδου. Αν λοιπόν I_i είναι το ρεύμα εισόδου και Z_i η σύνθετη αντίσταση εισόδου, έχουμε

$$\begin{aligned} \text{Ισχύς εισόδου} &= I_i^2 \times Z_i \\ &= (1)^2 \times 10 = 1 \times 10 \\ &= 10 \text{ Watt} \end{aligned}$$

Τέλος, το κέρδος ισχύος είναι

$$\text{κέρδος ισχύος} = \frac{960}{10} = 96$$

Δηλαδή η ισχύς εξόδου είναι 96 φορές μεγαλύτερη από την ισχύ εισόδου.

Με όμοιο τρόπο ορίζεται το **κέρδος ρεύματος** (current gain), το οποίο συμβολίζεται με το γράμμα «α» και υπολογίζεται, για τον τύπο της διατάξεως του σχήματος 2.2α, από τη σχέση

$$\alpha = \frac{\text{ρεύμα συλλέκτη}}{\text{ρεύμα εκπομπού}}$$

Στο παράδειγμα του σχήματος 2.2α το ρεύμα του συλλέκτη είναι 0,98 A και το ρεύμα του εκπομπού 1,00 A. Έτσι το κέρδος ρεύματος είναι

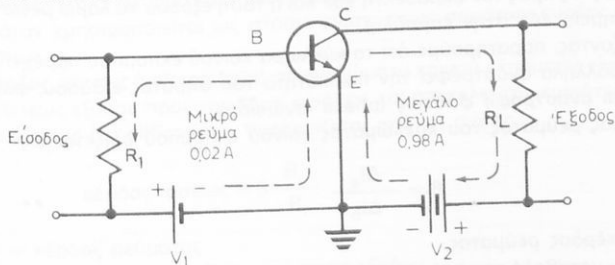
$$\alpha = \frac{0,98}{1,00} = 0,98$$

Στη συνδεσμολογία του σχήματος 2.2α, όπου η βάση είναι κοινή στα κυκλώματα εκπομπού και συλλέκτη, το **άλφα**, «α», είναι πάντοτε μικρότερο της μονάδας, αφού το ρεύμα εξόδου δεν μπορεί να υπερβεί το ρεύμα της εισόδου.

2.2.1 Κυκλώματα κοινού εκπομπού.

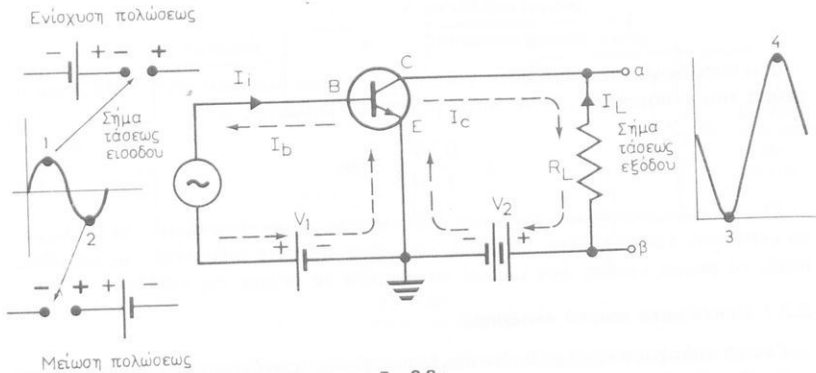
Γενικά υπάρχουν τρεις μέθοδοι συνδέσεως ενός τρανζίστορ σε κυκλώματα ενισχύσεως. Οι μέθοδοι αυτές ορίζονται από το ηλεκτρόδιο του τρανζίστορ που είναι κοινό στα κυκλώματα εισόδου και εξόδου του ενισχυτή. Στην περίπτωση που το ηλεκτρόδιο του εκπομπού είναι κοινό στα δύο αυτά κυκλώματα, το κύκλωμα του ενισχυτή ονομάζεται **κύκλωμα κοινού εκπομπού** (common emitter circuit). Το κύκλωμα κοινού εκπομπού έχει τη μεγαλύτερη εφαρμογή σε ενισχυτές με τρανζίστορ, επειδή εξασφαλίζει υψηλά κέρδη ρεύματος, τάσεως και ισχύος.

Η συνδεσμολογία του κυκλώματος κοινού εκπομπού φαίνεται στο σχήμα 2.2β. Το ηλεκτρόδιο του εκπομπού είναι κοινό στα κυκλώματα εισόδου και εξόδου. Το χρησιμοποιούμενο τρανζίστορ, όπως φαίνεται από τη φορά του βέλους, είναι τύπου N-P-N. Τα ηλεκτρόνια που φεύγουν από τον αρνητικό πόλο της μπαταρίας V_1 εισέρχονται στην περιοχή του εκπομπού. Η πόλωση μεταξύ εκπομπού και βάσεως καθορίζει την ένταση του ρεύματος μεταξύ εκπομπού και συλλέκτη. Ένας πολύ μικρός αριθμός ηλεκτρονίων παγιδεύεται στη βάση από ένα αντίστοιχο αριθμό οπών. Για την αποκατάσταση της ισορροπίας φορτίων στη βάση, λίγα ηλεκτρόνια διαρρέουν από τον ακροδέκτη της βάσεως διαμέσου της αντιστάσεως εισόδου R_1 και καταλήγουν στο θετικό πόλο της μπαταρίας V_1 . Ο μεγαλύτερος αριθμός των ηλεκτρονίων που παράγονται στον εκπομπό, διαπερνά τη βάση και εισέρχεται στην περιοχή του συλλέκτη. Εκεί απωθεί ένα αντίστοιχο αριθμό ηλεκτρονίων, τα οποία αναχωρούν από το συλλέκτη, και μέσω της αντιστάσεως φορτίου R_L καταλήγουν στο θετικό πόλο της μπαταρίας V_2 . Η ενίσχυση οφείλεται στο ότι ένα



Σχ. 2.2β.

Βασικό κύκλωμα κοινού εκπομπού.



Σχ. 2.2γ.

Εισαχτικό στάδιο N - P - N κοινού εκπομπού.

μικρό ρεύμα στην είσοδο (0,02 A) συνοδεύεται από ένα πολύ μεγαλύτερο ρεύμα στην έξοδο (0,98).

Αν εφαρμόσουμε στην είσοδο ένα σήμα ημιτονοειδούς τάσεως, όπως φαίνεται στο σχήμα 2.2γ, παρατηρούμε ότι η τάση της εισόδου στη θετική ημιπερίοδο του σήματος ενισχύει την πόλωση V_1 και επομένως αυξάνεται ο αριθμός των ηλεκτρονίων που εισέρχονται στη βάση από τον εκπομπό. Όταν η τάση εισόδου λάβει την τιμή «1» το ρεύμα του συλλέκτη και κατ' επέκταση η τάση φορτίου $I_L R_L$ λαμβάνουν τη μέγιστη τιμή. Παράλληλα, η τάση μεταξύ των ακροδεκτών του συλλέκτη και του εκπομπού παίρνει την ελάχιστη τιμή επειδή είναι σε σειρά με την τάση φορτίου καθώς και με τη σταθερή τάση της μπαταρίας V_2 . Η τάση του ακροδέκτη «α» στην έξοδο ως προς τον ακροδέκτη «β» παίρνει τη μέγιστη αρνητική τιμή (σημείο «3» της καμπύλης).

Όταν η τάση εισόδου πάρει τη μέγιστη αρνητική τιμή (σημείο «2» της καμπύλης), έρχεται σε αντίθεση με την τάση πολώσεως V_1 , με αποτέλεσμα να μειωθεί η συνολική πόλωση που εφαρμόζεται μεταξύ εκπομπού και βάσεως. Τη χρονική αυτή στιγμή το ρεύμα του συλλέκτη και κατ' επέκταση η τάση φορτίου παίρνουν τις ελάχιστες τιμές τους. Παράλληλα, η τάση μεταξύ των ακροδεκτών συλλέκτη και εκπομπού παίρνει μέγιστη τιμή, με αποτέλεσμα ο ακροδέκτης «α» της εξόδου να είναι θετικός ως προς τον ακροδέκτη «β» και η τάση εξόδου να λάβει μέγιστη θετική τιμή (σημείο «4» στην καμπύλη).

Συνοψίζοντας, παρατηρούμε ότι το κύκλωμα κοινού εκπομπού παρέχει ενίσχυση και παράλληλα αναστρέφει την πολικότητα του σήματος εισόδου, φαινόμενο που λέγεται **αναστροφή φάσεως** (phase inversion).

Το κέρδος ρεύματος του κυκλώματος κοινού εκπομπού ορίζεται ως

$$\beta = \frac{\Delta I_c}{\Delta I_b} \quad (2.2)$$

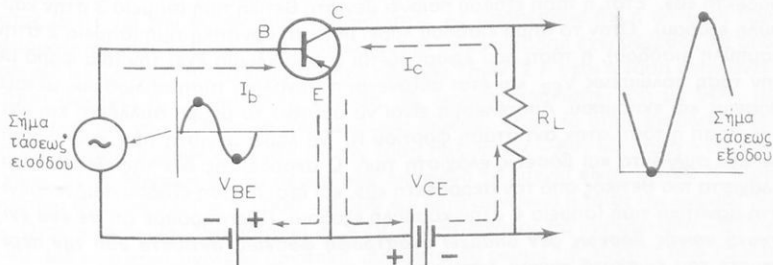
όπου β = κέρδος ρεύματος

ΔI_c = μεταβολή του ρεύματος συλλέκτη

ΔI_b = μεταβολή του ρεύματος βάσεως.

Ο εκπομπός χρησιμοποιείται ως κοινό σημείο μετρήσεως των δύο εντάσεων για τον υπολογισμό του β , οι συνήθεις τιμές του οποίου είναι γύρω στο 100.

Σε κυκλώματα κοινού εκπομπού χρησιμοποιούνται και τρανζίστορ P-N-P. Η λειτουργία του κυκλώματος αυτού είναι παρόμοια με τη λειτουργία του κυκλώματος κοινού εκπομπού N-P-N. Στο κύκλωμα με τρανζίστορ P-N-P η τάση εισόδου ελέγχει έμμεσα τον αριθμό οπών που «εισέρχονται» στη βάση από τον εκπομπό. Έτσι ελέγχεται το ρεύμα του συλλέκτη διαμέσου του ρεύματος που διαρρέει την επαφή βάσεως-εκπομπού. Στο σχήμα 2.2δ φαίνεται το κύκλωμα κοινού εκπομπού με τρανζίστορ P-N-P. Οι πόλσεις που εφαρμόζονται στις επαφές βάσεως-εκπομπού και συλλέκτη-εκπομπού είναι αντίστροφες από αυτές που εφαρμόζονται στο κύκλωμα N-P-N (σχ. 2.2γ). Αυτό έχει ως αποτέλεσμα την αντιστροφή της φοράς των ρευμάτων συλλέκτη, βάσεως και εκπομπού. Στην περίπτωση αυτή, οι φάσεις των τάσεων εξόδου και εισόδου διαφέρουν επίσης κατά 180° , δηλαδή υπάρχει πάλι αναστροφή φάσεως. Η σύνθετη αντίσταση εισόδου είναι σχετικά μικρή στο κύκλωμα αυτό, επειδή εφαρμόζεται πόλωση ορθής φοράς στην επαφή βάσεως-εκπομπού. Συνήθως είναι μικρότερη των 5.000Ω . Η σύνθετη αντίσταση εξόδου κυμαίνεται μεταξύ $50 - 50.000 \Omega$.



Σχ. 2.2δ.

Κύκλωμα κοινού εκπομπού P - N - P.

Ένα βασικό χαρακτηριστικό κάθε κυκλώματος ενισχύσεως είναι η **συχνότητα αποκοπής** (cuttoff frequency), που αντιστοιχεί στη συχνότητα του σήματος εισόδου, στην οποία το βήτα (β) είναι το 0,707 του μέγιστου βήτα (β) του κυκλώματος. Η συχνότητα αποκοπής είναι μια ένδειξη της πιστότητας του ενισχυτή με τρανζίστορ, όταν χρησιμοποιείται ως στάδιο ενισχύσεως σημάτων ευρέος φάσματος συχνοτήτων.

Το **κέρδος τάσεως** (voltage gain) σε κυκλώματα κοινού εκπομπού είναι το πηλίκο της τάσεως εξόδου προς την τάση εισόδου και αποτελεί την κυριότερη ένδειξη της **ενισχύσεως** (amplification). Υπολογίζεται από τη σχέση

$$\text{κέρδος τάσεως} = \beta \frac{R_o}{R_i} \quad (2.3)$$

όπου β = κέρδος ρεύματος

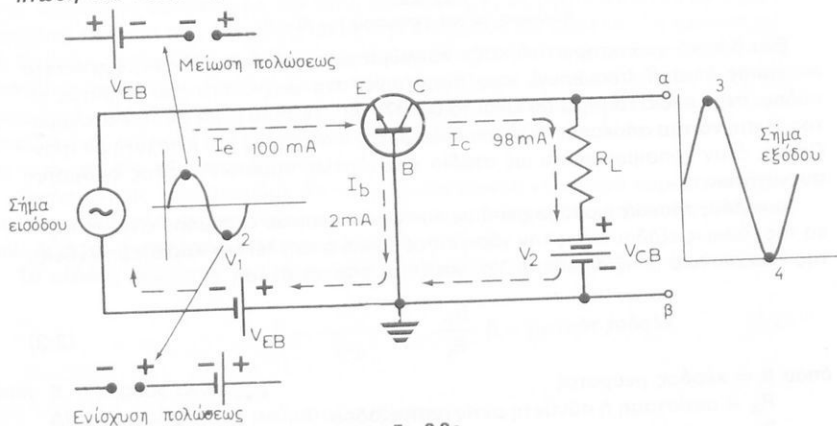
R_o = αντίσταση ή σύνθετη αντίσταση εξόδου

R_i = αντίσταση ή σύνθετη αντίσταση εισόδου.

2.2.2 Άλλα κυκλώματα ενισχυτών.

α) Ενισχυτής κοινής βάσεως.

Στο κύκλωμα του **ενισχυτή κοινής βάσεως** (common-base amplifier), η τάση εισόδου του τρανζίστορ εφαρμόζεται μεταξύ βάσεως και εκπομπού και η τάση εξόδου λαμβάνεται μεταξύ βάσεως και συλλέκτη. Στο κύκλωμα αυτό η σύνθετη αντίσταση εισόδου είναι πολύ μικρή, συνήθως μεταξύ 1-50 Ω, ενώ η σύνθετη αντίσταση εξόδου είναι πολύ μεγάλη, συνήθως μεταξύ 1.000 και 1.000.000 Ω. Το κύκλωμα ενισχυτή κοινής βάσεως φαίνεται στο σχήμα 2.2ε. Όταν το σήμα εισόδου παίρνει μέγιστη θετική τιμή, η τάση που εφαρμόζεται στο κύκλωμα αντιστάσει στην τάση πολώσεως V_{EB} και έτσι μειώνεται η συνολική τάση πολώσεως εκπομπού-βάσεως. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα τη μείωση του αριθμού ηλεκτρονίων που εισέρχονται στη βάση από τον εκπομπό. Έτσι, το ρεύμα συλλέκτη που διαρρέει την αντίσταση φορτίου R_L μειώνεται στην ελάχιστη τιμή του και η τάση $I_C R_L$ στην αντίσταση, μειώνεται αντίστοιχα στην ελάχιστη τιμή της. Για τη διατήρηση ισορροπίας τάσεως (νόμος Κίρκωφ) στο κύκλωμα εξόδου, η τάση μεταξύ βάσεως και συλλέκτη του τρανζίστορ αυξάνεται στη μέγιστη τιμή της με αποτέλεσμα ο ακροδέκτης «α» της εξόδου να είναι πολύ πιο θετικός σε σχέση με τον ακροδέκτη «β». Έτσι, η τάση εξόδου παίρνει μέγιστη θετική τιμή (σημείο 3 στην καμπύλη εξόδου). Όταν το σήμα εισόδου λάβει μέγιστη αρνητική τιμή (σημείο 2 στην καμπύλη εισόδου), η τάση που εφαρμόζεται στο κύκλωμα έχει την ίδια φορά με την τάση πολώσεως V_{EB} και έτσι αυξάνεται η συνολική τάση πολώσεως μεταξύ βάσεως και εκπομπού. Αποτέλεσμα είναι να αυξηθεί το ρεύμα συλλέκτη και κατ'επέκταση η τάση στην αντίσταση φορτίου R_L να λάβει μέγιστη τιμή, ενώ η τάση μεταξύ συλλέκτη και βάσεως ελάχιστη τιμή. Ο ακροδέκτης «α» της εξόδου είναι ελάχιστα πιο θετικός από τον ακροδέκτη «β», και έτσι η τάση εξόδου παίρνει μέγιστη αρνητική τιμή (σημείο 4 στην καμπύλη εξόδου). Παρατηρούμε ότι **σε ένα ενισχυτή κοινής βάσεως δεν υπάρχει αναστροφή φάσεως, αντίθετα από την περίπτωση του ενισχυτή κοινού εκπομπού.**



Σχ. 2.2ε.

Κύκλωμα ενισχυτή κοινής βάσεως με τρανζίστορ N-P-N.

β) Κύκλωμα κοινού συλλέκτη.

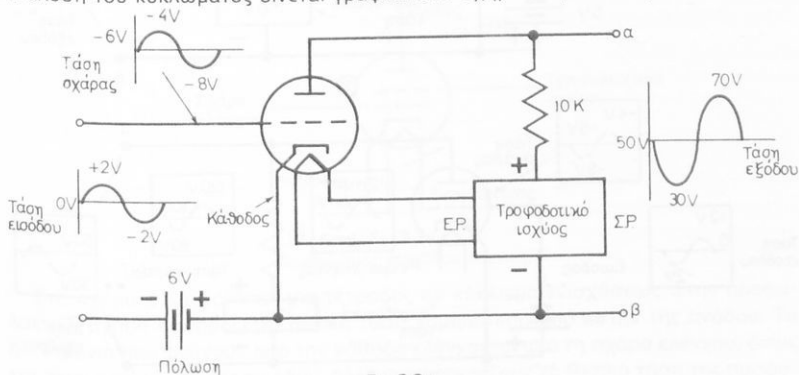
Αναφέρομε τέλος το **κύκλωμα κοινού συλλέκτη**, όπου ο συλλέκτης του τρανζιζτορ είναι κοινός στα κυκλώματα εισόδου και εξόδου. Το κύκλωμα αυτό σπάνια χρησιμοποιείται ως στάδιο ενισχύσεως, χρησιμεύει όμως συχνά στην προσαρμογή σύνθετης αντιστάσεως (impedance matching) της υψηλής σύνθετης αντιστάσεως εξόδου ενός ενισχυτικού σταδίου με τη χαμηλή σύνθετη αντίσταση εισόδου του επόμενου ενισχυτικού σταδίου. Επίσης χρησιμοποιείται για την απομόνωση διαφόρων ενισχυτικών σταδίων κατά τη σύζευξή τους.

2.3 Ενισχυτές με λυχνίες.

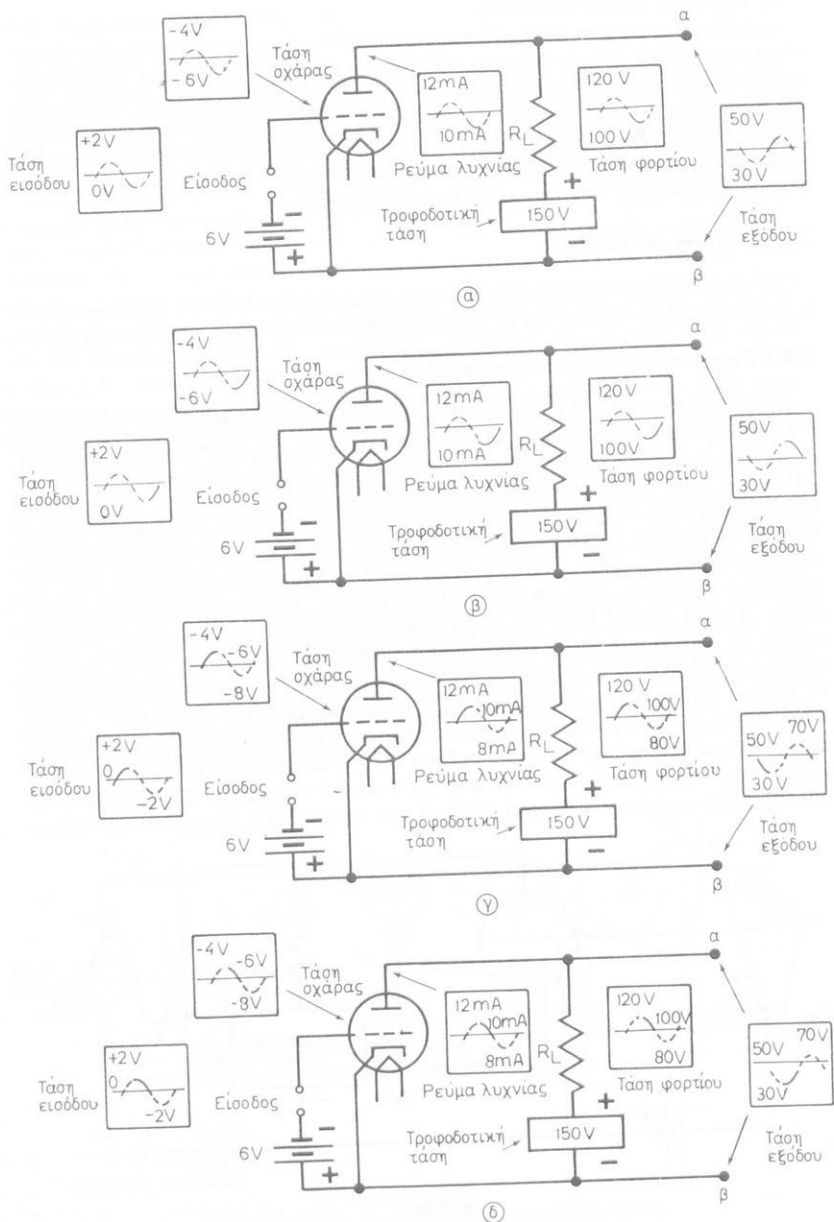
Θα ασχοληθούμε παρακάτω με ενισχυτικά κυκλώματα λυχνιών τριόδων, τετρόδων και πεντόδων, καθώς και με τη σύζευξη των ενισχυτικών σταδίων λυχνιών.

2.3.1 Ενισχυτικά κυκλώματα με τριόδους.

Η τριόδος ενισχύει το σήμα τάσεως το οποίο εφαρμόζεται μεταξύ της σχάρας ελέγχου και της καθόδου, όπως φαίνεται στο σχήμα 2.3α. Στο κύκλωμα αυτό, αντί μπαταρίας (σχ. 1.3ζ) χρησιμοποιείται τροφοδοτικό ισχύος εναλλασσόμενου ρεύματος (ΕΡ) για την πυράκτωση του νήματος. Ας υποθέσουμε ότι η πόλωση που εφαρμόζεται στην κάθοδο είναι -6V και ότι το σήμα εισόδου έχει μέγεθος 4V από κορυφή σε κορυφή. Αν το τροφοδοτικό παράγει 150V (ΣΡ) και η τάση στην αντίσταση φορτίου R_L είναι 100V , η τάση της λυχνίας προκύπτει ίση με 50V , με εφαρμογή του νόμου Κίρκωφ στο κύκλωμα εξόδου. Όταν το σήμα εισόδου είναι μηδέν, η τάση σχάρας είναι ίση με την τάση πόλωσης -6V . Με τάση -6V στη σχάρα, ας υποθέσουμε ότι το ρεύμα που διαπερνά τη λυχνία είναι 10mA . Η τάση φορτίου θα είναι $0,01 \times 10,000 = 100\text{V}$ και κατά συνέπεια η τάση της λυχνίας 50V . Όταν η τάση εισόδου αυξηθεί σε $+2\text{V}$, η τάση σχάρας θα ανέλθει από -6V σε -4V . Με τη σχάρα λιγότερο αρνητική, αυξάνεται το ρεύμα της λυχνίας από 10mA σε 12mA πράγμα που συνεπάγεται αύξηση της τάσεως φορτίου σε 120V . Η τάση εξόδου της λυχνίας μειώνεται έτσι από 50V σε 30V ($150\text{V} - 120\text{V} = 30\text{V}$). Η ανάλυση του κυκλώματος δίνεται γραφικά στο σχήμα 2.3β: όταν η τάση εισόδου



Σχ. 2.3α.
Ενισχυτικό κύκλωμα τριόδου.



Σχ. 2.3β.

Ανάλυση ενισχυτικού κυκλώματος με τριόδο λυχνία.

αυξάνεται από 0V σε +2V στο μέρος (α), από +2V σε 0V στο μέρος (β), από 0V σε -2V στο μέρος (γ) και από -2V σε 0V στο μέρος (δ).

Συνοψίζοντας, παρατηρούμε ότι ένα σήμα 4V στην τάση εισόδου (από κορυφή σε κορυφή) δημιουργεί ένα σήμα στην τάση εξόδου 40V (από κορυφή σε κορυφή). Δηλαδή, ο **συντελεστής ενισχύσεως** (amplification factor) είναι ίσος με 10. Γενικά ο συντελεστής ενισχύσεως μ μιας λυχνίας δίνεται από τον τύπο

$$\mu = \frac{\Delta e_p}{\Delta e_g} \quad (2.4)$$

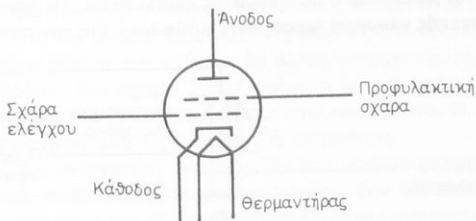
όπου Δe_p = μεταβολή στην τάση ανόδου της λυχνίας,

Δe_g = μεταβολή στην τάση σχάρας της λυχνίας.

2.3.2 Ενισχυτικά κυκλώματα τετράδων και πεντόδων.

Ένα από τα κύρια προβλήματα που επηρεάζουν τη λειτουργία τριόδων λυχνιών είναι το φαινόμενο της **διηλεκτροδιακής χωρητικότητας** (interelectrode capacitance). Η ύπαρξη της χωρητικότητας αυτής οφείλεται στο γεγονός ότι μεταξύ της ανόδου, της σχάρας και της καθόδου της λυχνίας δημιουργούνται, λόγω της γεωμετρίας των ηλεκτροδίων, χωρητικότητες οι οποίες βέβαια έχουν μικρές τιμές. Όταν η λυχνία λειτουργεί σε μικρές συχνότητες, η διηλεκτροδιακή χωρητικότητα δε δημιουργεί προβλήματα. Αντίθετα, σε μεγάλες συχνότητες (π.χ. ραδιοσυχνότητες κλπ.) η χωρητικότητα αυτή δημιουργεί ταλαντώσεις στο ενισχυτικό κύκλωμα και σε ορισμένες περιπτώσεις, **ζεύξη** (coupling) μεταξύ των σημάτων εισόδου και εξόδου.

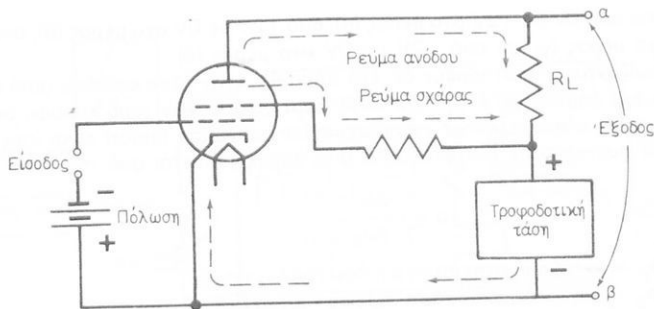
Για να αντιμετωπισθεί το παραπάνω πρόβλημα αναπτύχθηκε η τέτροδος λυχνία με την προσθήκη μιας ακόμη σχάρας που λέγεται **προφυλακτική σχάρα** (screen grid). Η σχάρα αυτή τοποθετείται μεταξύ της σχάρας ελέγχου και της ανόδου, όπως φαίνεται στο σχήμα 2.3γ και συνήθως τροφοδοτείται με θετική τάση μικρότερη από την τάση ανόδου. Η πρόσθετη αυτή σχάρα αποτελεί ηλεκτροστατική ασπίδα μεταξύ της σχάρας ελέγχου και της ανόδου, που συντελεί στη μείωση της διηλεκτροδιακής χωρητικότητας κατά 100 φορές περίπου.



Σχ. 2.3γ.

Συμβολισμός τετράδου λυχνίας.

Στο σχήμα 2.3δ φαίνεται μια τέτροδος σε κύκλωμα ενισχύσεως. Στην προφυλακτική σχάρα εφαρμόζεται θετική τάση χαμηλότερη από αυτήν της ανόδου. Τα ηλεκτρόνια που φεύγουν από την κάθοδο ελέγχονται από τη σχάρα ελέγχου, όπως και στην περίπτωση της τριόδου, αλλά αντιμετωπίζουν τη θετική τάση της προφυ-



Σχ. 2.36.
Ενισχυτικό κύκλωμα με τέτροδο λυχνία.

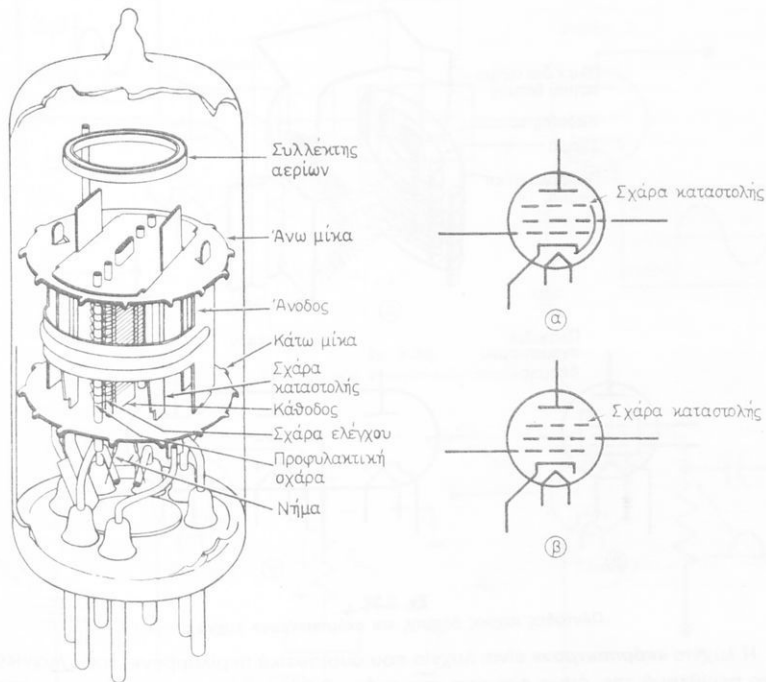
λακτικής σχάρας και επιταχύνονται προς την άνοδο διαπερνώντας την προφυλακτική σχάρα. Ένας πολύ μικρός αριθμός συλλέγεται από τη σχάρα και επιστρέφει μέσω της αντιστάσεως στο θετικό πόλο του τροφοδοτικού. Η μεγάλη πλειοψηφία των ηλεκτρονίων συλλέγεται από την άνοδο και οδεύει προς την αντίσταση φορτίου. Η περαιτέρω ανάλυση του κυκλώματος είναι παρόμοια με εκείνη της τριόδου λυχνίας.

Η τέτροδος έλυσε το πρόβλημα της διηλεκτροδιακής χωρητικότητας και πέτυχε μεγαλύτερους συντελεστές ενισχύσεως από την τριόδο, παράλληλα όμως δημιούργησε ένα νέο πρόβλημα.

Η παρουσία της προφυλακτικής σχάρας με τη θετική τάση επιταχύνει τα ηλεκτρόνια, που μετακινούνται από την κάθοδο προς την άνοδο, σε βαθμό ώστε να αποκτούν υψηλή κινητική ενέργεια όταν φθάνουν στην άνοδο. Ένα μέρος της ενέργειας αυτής μεταφέρεται μέσω συγκρούσεων στα ηλεκτρόνια που βρίσκονται μέσα στην άνοδο. Έτσι, ορισμένα ηλεκτρόνια από αυτά που βρίσκονται κοντά στην επιφάνεια της ανόδου, αποκτούν αρκετή κινητική ενέργεια και εξέρχονται από την άνοδο, όπως φαίνεται στο σχήμα 2.3ε. Ένας σημαντικός αριθμός από αυτά τα ηλεκτρόνια συλλέγονται από την προφυλακτική σχάρα, που είναι θετικά φορτισμένη, και έτσι μειώνεται ο συντελεστής ενισχύσεως. Το φαινόμενο αυτό ονομάζεται **δευτερογενής εκπομπή** (secondary emission). Για την αντιμετώπισή του χρη-



Σχ. 2.3ε.
Φαινόμενο δευτερογενούς εκπομπής ηλεκτρονίων.

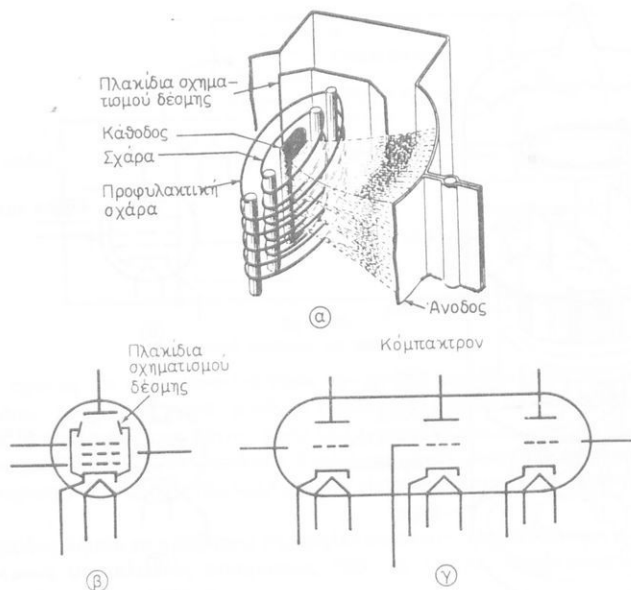


Σχ. 2.3στ.

Πέντοδος λυχνία και οι δύο συμβολισμοί της.

σιμοποιήθηκε ένα πρόσθετο ηλεκτρόδιο, που ονομάζεται *σχάρα καταστολής* (suppressor grid) και που οδήγησε στην πέντοδο λυχνία. Η σχάρα καταστολής διατηρείται σκόπιμα σε μικρό αρνητικό δυναμικό, ώστε να εμποδίζει τη δευτερογενή εκπομπή ηλεκτρονίων από την άνοδο. Σε ορισμένες λυχνίες η σχάρα καταστολής είναι συνδεδεμένη εσωτερικά με την κάθοδο. Σε άλλες υπάρχει εξωτερική σύνδεση ανεξάρτητη της καθόδου. Στο σχήμα 2.3στ φαίνεται μια πέντοδος λυχνία και οι συμβολισμοί συνδέσεως που χρησιμοποιούνται στα κυκλώματα. Η πέντοδος παρέχει μεγαλύτερη ενίσχυση από τις τριόδους ή τετρόδους.

Ολοκληρώνοντας την περιγραφή των λυχνιών που χρησιμοποιούνται στα βιομηχανικά ηλεκτρονικά, αναφέρουμε δύο ακόμη λυχνίες. Την *πέντοδο ισχύος - δέσμης* (beam - power pentode) και τη λυχνία *«κόμπακτρον»* (comractron). Η πέντοδος λυχνία ισχύος - δέσμης περιέχει δύο ειδικά πλακίδια, τα οποία κατευθύνουν τη ροή των ηλεκτρονίων προς μια συγκεκριμένη επιφάνεια της ανόδου. Τα πλακίδια αυτά ονομάζονται *πλακίδια σχηματισμού δέσμης* (beam forming plates) και φαίνονται στο σχήμα 2.3ζ(α) και (β). Το πλεονέκτημα αυτής της γεωμετρικής κατασκευής της λυχνίας είναι ότι επιτυγχάνεται μεγαλύτερη ροή ρεύματος μέσα στη λυχνία και κατά συνέπεια μεγαλύτερη ενίσχυση.



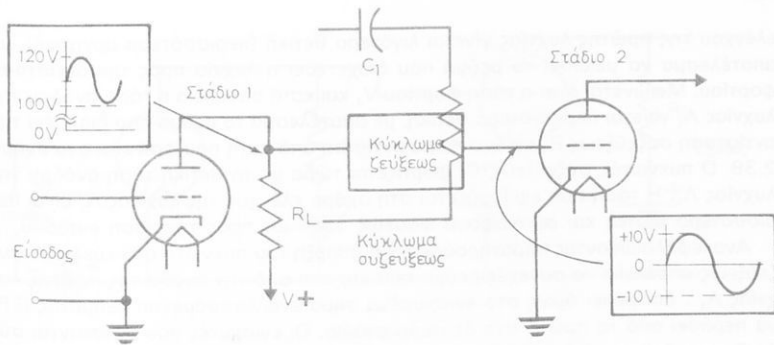
Σχ. 2.3ζ.

Πέντοδος ισχύος δέσμης και «κόμπακτρον» λυχνίες.

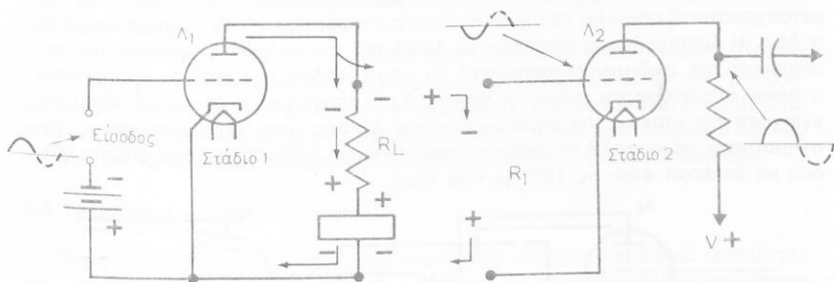
Η λυχνία «κόμπακτρον» είναι λυχνία που ουσιαστικά περιλαμβάνει τρεις λυχνίες στο περίβλημά της, όπως φαίνεται στο σχήμα 2.3ζ(γ). Τέλος σημειώνουμε ότι στα ενισχυτικά κυκλώματα υψηλού κέρδους είναι ανάγκη να προστατεύονται οι λυχνίες των διαφόρων ενισχυτικών σταδίων, ώστε να αποφεύγονται υπερβολικές χωρητικότητες μεταξύ τους και να μην αλληλο-επηρεάζονται από την ύπαρξη των μαγνητικών τους πεδίων. Προς το σκοπό αυτό γίνεται **προστασία λυχνιών** (tube shielding) με ειδικά μεταλλικά καλύμματα που τοποθετούνται πάνω από τη λυχνία ή με ειδικό μεταλλικό περίβλημα αντί του συνηθισμένου γυαλίνου.

2.3.3 Σύζευξη ενισχυτικών σταδίων.

Συνήθως η ενίσχυση των ηλεκτρικών σημάτων γίνεται με περισσότερα από ένα ενισχυτικά στάδια. Η σύνδεση των διαφόρων ενισχυτικών σταδίων γίνεται σε σειρά, με τρόπο ώστε η έξοδος του ενός να αποτελεί την είσοδο του επόμενου σταδίου. Η σε σειρά σύνδεση των ενισχυτικών σταδίων ονομάζεται **σύζευξη** (coupling) ή **διαδοχική σύνδεση** (cascade connection). Με τη σύζευξη των ενισχυτικών σταδίων επιτυγχάνεται βαθμιαία ενίσχυση, χωρίς το ενισχυόμενο σήμα να υφίσταται **παραμόρφωση** (distortion). Στο σχήμα 2.3η φαίνεται ο τρόπος με τον οποίο γίνεται η σύζευξη δύο σταδίων. Το κύκλωμα συζεύξεως επιτρέπει τη διέλευση της εναλλασσόμενης τάσεως ανόδου της πρώτης λυχνίας, ενώ αποκλείει τη συνεχή τάση $V+$ που είναι στην έξοδο του πρώτου ενισχυτικού σταδίου. Με καλοσχεδιασμένα κυκλώματα συζεύξεως επιτυγχάνεται προσαρμογή των συνθέτων αντιστά-



Σχ. 2.3η.
Σύζευξη δύο ενισχυτικών σταδίων.



Σχ. 2.3θ.
Σύζευξη με κύκλωμα RC δύο ενισχυτικών σταδίων.

σεων των δύο σταδίων. Το κύκλωμα συζεύξεως πρέπει επίσης να μην παρουσιάζει μεγάλες απώλειες ισχύος. Υπάρχουν τρεις βασικοί τρόποι συζεύξεως ενισχυτικών σταδίων: σύζευξη με κύκλωμα RC, σύζευξη με μετασχηματιστή και άμεση σύζευξη.

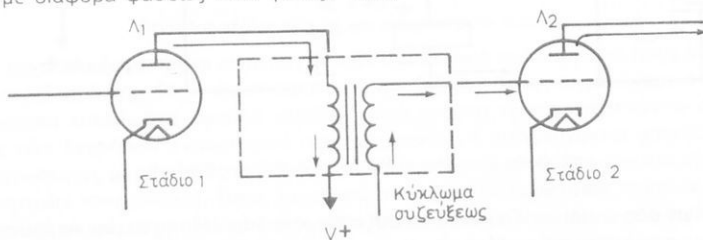
Η **σύζευξη με κύκλωμα RC** (RC coupling) χρησιμοποιείται σε ενισχυτές τάσεων ακουστικών συχνοτήτων. Στο σχήμα 2.3θ φαίνονται δύο ενισχυτικά κυκλώματα που έχουν συζευχθεί με ένα κύκλωμα RC, το οποίο αποτελείται από μια αντίσταση R_1 και ένα πυκνωτή C_1 . Όταν η τάση εισόδου στο πρώτο στάδιο γίνει περισσότερο θετική, το ρεύμα από τη λυχνία προς την αντίσταση φορτίου αυξάνεται. Η τάση στην αντίσταση φορτίου R_L αυξάνεται, ενώ συγχρόνως φορτίζεται ο πυκνωτής συζεύξεως C_1 . Κατά τη διάρκεια φορτίσεως του C_1 ρέει ρεύμα προς την αντίσταση συζεύξεως R_1 , το οποίο δημιουργεί τάση με πολικότητα που φαίνεται στο σχήμα 2.3θ. Η τάση αυτή, που είναι αρνητική και σε διαφορά φάσεως 180° ως προς την τάση εισόδου, εφαρμόζεται στη σχάρα ελέγχου της δεύτερης λυχνίας.

Όταν η τάση εισόδου πάρει αρνητικές τιμές (δεύτερη ημιπερίοδος), η σχάρα

ελέγχου της πρώτης λυχνίας γίνεται λιγότερο θετική (περισσότερο αρνητική), με αποτέλεσμα να μειωθεί το ρεύμα που διοχετεύει η λυχνία προς την αντίσταση φορτίου. Μειώνεται έτσι η τάση φορτίου V_1 και κατά συνέπεια η τάση ανόδου της λυχνίας Λ_1 γίνεται περισσότερο θετική, με αποτέλεσμα το ρεύμα που διαρρέει την αντίσταση συζεύξεως R_1 να έχει φορά αντίθετη από αυτή που φαίνεται στο σχήμα 2.3θ. Ο πυκνωτής συζεύξεως C_1 φορτίζεται τώρα με τη θετική τάση ανόδου της λυχνίας Λ_1 . Η τάση που εφαρμόζεται στη σχάρα ελέγχου της λυχνίας Λ_2 είναι περισσότερο θετική και σε διαφορά φάσεως 180° ως προς την τάση εισόδου.

Ανακεφαλαιώνοντας παρατηρούμε ότι η ύπαρξη του πυκνωτή στο κύκλωμα συζεύξεως αποκλείει το συνεχές ρεύμα που έρχεται από την άνοδο της πρώτης λυχνίας Λ_1 . Επιτρέπει όμως στο ενισχυμένο σήμα εναλλασσόμενου ρεύματος (ΕΡ) να περάσει από το πρώτο στο δεύτερο στάδιο. Οι ενισχυτές που υφίστανται σύζευξη με κύκλωμα RC προορίζονται να λειτουργούν σε υψηλές παρά σε χαμηλές συχνότητες.

Η **σύζευξη με μετασχηματιστή** (transformer coupling) επιτυγχάνεται με το κύκλωμα που φαίνεται στο σχήμα 2.3ι. Όπως βλέπομε, η πρωτεύουσα περιέλιξη του μετασχηματιστή αποτελεί τη σύνθετη αντίσταση φορτίου για το πρώτο ενισχυτικό στάδιο. Η δευτερεύουσα περιέλιξη, με λήψη από τον κεντρικό ακροδέκτη του μετασχηματιστή, συζευγνύει επαγωγικά το σήμα εξόδου του πρώτου ενισχυτικού σταδίου στη σχάρα της επόμενης λυχνίας Λ_2 . Η επαγωγική σύζευξη επιτρέπει την ενίσχυση της τάσεως του σήματος εισόδου. Επίσης, όταν χρησιμοποιείται μετασχηματιστής με κεντρικό ακροδέκτη, υπάρχουν στη διάθεσή μας δύο σήματα εξόδου με διαφορά φάσεως 180° μεταξύ τους.

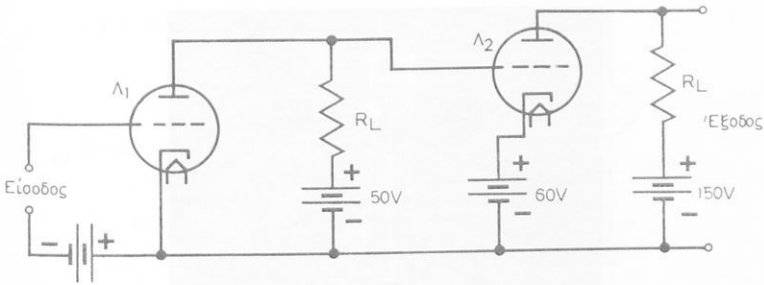


Σχ. 2.3ι.

Σύζευξη δύο ενισχυτικών σταδίων με μετασχηματιστή.

Προβλήματα στα κυκλώματα συζεύξεως μετασχηματιστών παρουσιάζονται όταν η συχνότητα λειτουργίας είναι υψηλή, γιατί αυξάνεται η αντίσταση αυτεπαγωγής. Επίσης, όπως γνωρίζομε, οι μετασχηματιστές είναι ογκώδεις και έχουν υψηλό κόστος.

Η μέθοδος της **απ' ευθείας συζεύξεως** (direct coupling) είναι η απλούστερη μέθοδος συνδέσεως ενισχυτικών σταδίων. Στην περίπτωση αυτή, η έξοδος του ενός σταδίου συνδέεται απ' ευθείας με την είσοδο του επόμενου, χωρίς να μεσολαβεί κάποιο κύκλωμα. Η απ' ευθείας σύζευξη χρησιμοποιείται κυρίως σε περιπτώσεις όπου η ενίσχυση γίνεται με ταχεία χρονική απόκριση στις χαμηλές συχνότητες, ή σε περιπτώσεις που αφορούν ενίσχυση σημάτων συνεχούς ρεύματος (ΣΡ). Στο σχήμα 2.3ια φαίνεται το κύκλωμα απ' ευθείας συζεύξεως δύο ενισχυτικών σταδίων με λυχνίες.



Σχ. 2.3ια.

Απ' ευθείας σύζευξη δύο ενισχυτικών σταδίων.

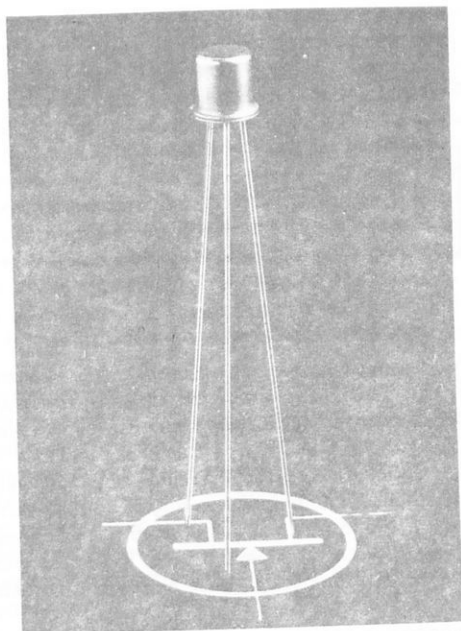
Παρατηρούμε ότι το κύκλωμα αυτό χρειάζεται τρεις ξεχωριστές τροφοδοτικές τάσεις (50 V, 60 V και 150 V). Αυτό επιτυγχάνεται με τη χρήση ειδικού τροφοδοτικού το οποίο περιέχει **αντιστάσεις διαρροής** (bleeder resistors) που ενεργούν ως διαιρέτες τάσεως.

Η μέθοδος της απ' ευθείας συζεύξεως έχει δύο βασικά μειονεκτήματα. Πρώτο, γιατί ο αριθμός των σταδίων που μπορούν να συζευχθούν με αυτόν τον τρόπο είναι περιορισμένος και δεύτερο γιατί κάθε πρόβλημα στη λειτουργία κάποιου σταδίου μεταφέρεται ενισχυμένο στα επόμενα στάδια. Το δεύτερο πρόβλημα οφείλεται στο ότι το κύκλωμα παρουσιάζει μεγάλες δυσκολίες σταθεροποιήσεως.

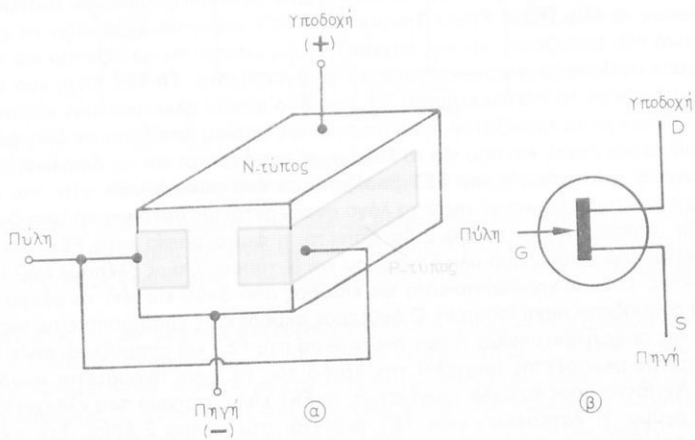
2.4 Τρανζίστορ επιδράσεως πεδίου.

Όπως αναφέρθηκε στην αρχή του κεφαλαίου, υπάρχει ένα ειδικό τρανζίστορ που βρίσκει εφαρμογές σε ενισχυτικά κυκλώματα, το οποίο ονομάζεται **τρανζίστορ επιδράσεως πεδίου** (Field Effect Transistor) ή **FET** (εφ-η-τι). Συνδυάζει τα χαρακτηριστικά του τρανζίστορ και της λυχνίας. Όπως είδαμε, το τρανζίστορ και η λυχνία έχουν αντίστοιχα πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα. Το FET είναι ένα στοιχείο που διαθέτει τα πλεονεκτήματα και των δύο αυτών ηλεκτρονικών εξαρτημάτων. Αντίθετα με το τρανζίστορ, η λειτουργία του οποίου βασίζεται σε δύο φορείς (ηλεκτρόνια και οπές), και που για το λόγο αυτό αναφέρεται και ως **διπολικό** (bipolar) στοιχείο, η λειτουργία του FET βασίζεται σε ένα μόνο φορέα, είτε στα ηλεκτρόνια είτε στις οπές, και γι' αυτό το λόγο αναφέρεται ως **μονοπολικό τρανζίστορ** (unipolar transistor). Στο σχήμα 2.4α φαίνεται η φωτογραφία ενός FET. Το FET αποτελείται από ημιαγωγικό υλικό P-τύπου και N-τύπου. Όπως βλέπουμε έχει τρεις ακροδέκτες. Ο ένας χρησιμοποιείται ως είσοδος από όπου εισρέει το ρεύμα στο FET και ονομάζεται **πηγή** (source). Ο δεύτερος ακροδέκτης χρησιμοποιείται για τον έλεγχο της ροής ηλεκτρονίων ή των οπών μέσα στο FET και ονομάζεται **πύλη** (gate). Ο τρίτος ακροδέκτης αποτελεί την έξοδο του FET και ονομάζεται **υποδοχή** (drain). Αντίθετα προς τα άλλα τρανζίστορ, το FET είναι στοιχείο που ελέγχει τάση και όχι ρεύμα. Η κατασκευή ενός FET φαίνεται στο σχήμα 2.4β(α). Στο σχήμα 2.4β(β) φαίνεται ο συμβολισμός του FET που χρησιμοποιείται σε ηλεκτρονικά κυκλώματα.

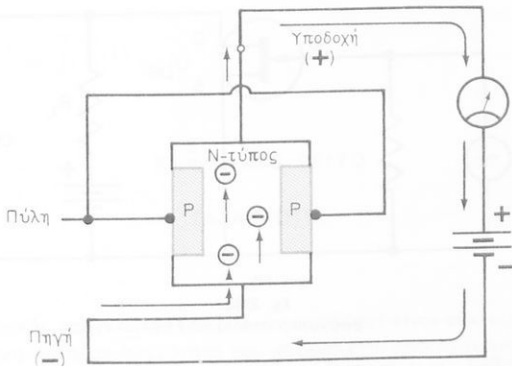
Το FET λειτουργεί ως $r_{\text{εξ}} = \frac{V_{\text{εξ}}}{I_{\text{εξ}}}$ = εφαρμογή τάσεως στην πύλη (σχ. 2.4γ),



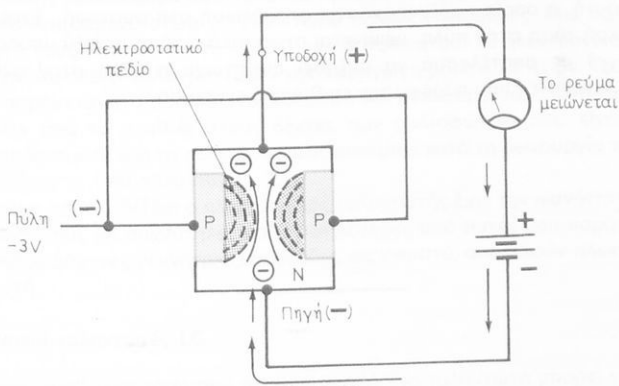
Σχ. 2.4α.
Φωτογραφία ενός FET.



Σχ. 2.4β.
Γεωμετρία και συμβολισμός του FET.

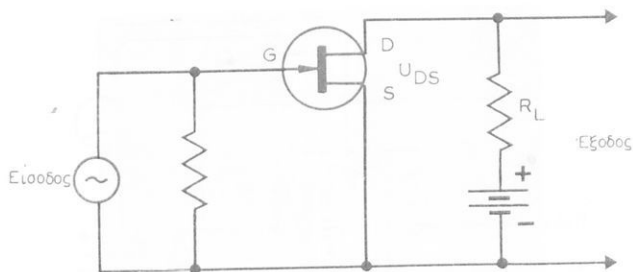


Σχ. 2.4γ.
Ροή ρεύματος διά μέσου FET.



Σχ. 2.4δ.
FET με αρνητική τάση στην πύλη.

το ρεύμα διαπερνά το πυρίτιο N-τύπου όπως ακριβώς διαπερνά μια αντίσταση. Με τη ροή του ρεύματος από την πηγή προς την υποδοχή, δημιουργείται μια τάση μεταξύ των δύο αυτών ακροδεκτών. Αν στη συνέχεια εφαρμοσθεί μια αρνητική τάση στην πύλη, δημιουργείται ηλεκτροστατικό πεδίο, όπως φαίνεται στο σχήμα 2.4δ. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα να εμποδιστεί η διέλευση των ηλεκτρονίων μέσα από το N-τύπου κανάλι του FET, από την εμφάνιση αντιστάσεως. Η αντίσταση αυτή έχει ηλεκτροστατική μορφή επειδή τα ηλεκτρόνια κατά τη διέλευσή τους από το κανάλι απωθούνται από το αρνητικό ηλεκτροστατικό πεδίο που δημιουργείται με την εφαρμογή αρνητικής τάσεως στην πύλη. Η περιοχή του υλικού N-τύπου όπου δημιουργείται το ηλεκτροστατικό πεδίο, ονομάζεται **περιοχή κατακενώσεως** (depletion area), το δε μέγεθος της περιοχής είναι ανάλογο προς το μέγεθος της τάσεως που εφαρμόζεται στην πύλη.



Σχ. 2.4ε.
Ενισχυτικό στάδιο με FET.

Ο ρόλος του FET ως ενισχυτικής συσκευής φαίνεται στο κύκλωμα του σχήματος 2.4ε. Το προς ενίσχυση σήμα τάσεως εφαρμόζεται στην πύλη (G). Η περιοχή κατακενώσεως και η αντίσταση του FET στη διέλευση ρεύματος, ελέγχονται από την τάση αυτή, η οποία παρέχει ανάστροφη πόλωση στη συσκευή. Έτσι, με μια σχετικά μικρή τάση στην πύλη, μειώνεται σημαντικά η τάση μεταξύ υποδοχής και πηγής (U_{DS}) με αποτέλεσμα να αυξηθεί αντίστοιχα η τάση στην αντίσταση φορτίου R_L , γεγονός που παρέχει την επιθυμητή ενίσχυση.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΤΡΙΤΟ

ΤΑΛΑΝΤΩΤΕΣ

3.1 Γενικά.

Ο ηλεκτρονικός **ταλαντωτής** (electronic oscillator) είναι κύκλωμα που παράγει εναλλασσόμενη τάση, με συχνότητα που καθορίζεται από τις συγκεκριμένες τιμές των χρησιμοποιούμενων στο κύκλωμα ηλεκτρικών στοιχείων. Ο ταλαντωτής μπορεί επίσης να θεωρηθεί ως γεννήτρια μετατροπής συνεχούς σε εναλλασσόμενη τάση, επειδή το κύκλωμα του ταλαντωτή τροφοδοτείται με συνεχή τάση.

Τα εναλλασσόμενα σήματα έχουν πάρα πολλές εφαρμογές. Μια πολύ γνωστή εφαρμογή τους είναι αυτή στο «φλας» του αυτοκινήτου. Το ηλεκτρονικό οργάνο επίσης χρησιμοποιεί ταλαντωτές για την παραγωγή μουσικών ήχων. Το φέρον κύμα που παράγεται στο ραδιοφωνικό σταθμό και μεταφέρει τις ηλεκτρονικές «πληροφορίες» από το σταθμό στους δέκτες των ραδιοφώνων μας, είναι και αυτό προϊόν ταλαντωτή. Και το ραντάρ, επίσης εκπέμπει κατά τη λειτουργία του κύματα που παράγονται από ταλαντωτές.

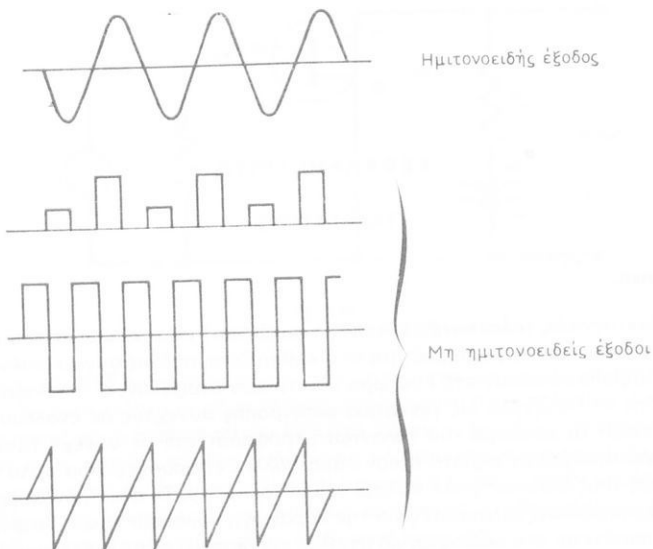
Αξίζει να σημειωθεί ότι ο ηλεκτρονικός ταλαντωτής έχει την ικανότητα να παράγει ταλαντώσεις με συχνότητες πολύ υψηλότερες από αυτές που παράγονται από τις περιστρεφόμενες γεννήτριες, οι οποίες, ως γνωστό, αποτελούν ηλεκτρικό τύπο ταλαντωτή.

3.2 Βασικοί ταλαντωτές LC.

Η εναλλασσόμενη τάση που παράγεται από ένα ταλαντωτή μπορεί να έχει διάφορες μορφές. Η πιο συνηθισμένη είναι η ημιτονοειδής μορφή, αλλά υπάρχουν και μορφές κυμάτων μη - ημιτονοειδών. Ορισμένες μορφές κυμάτων ταλαντωτών φαίνονται στο σχήμα 3.2α.

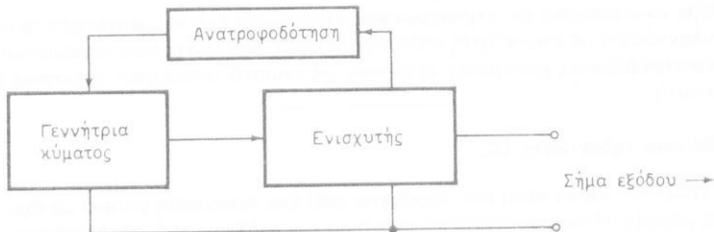
Ο απλούστερος ταλαντωτής με ημιτονοειδή έξοδο είναι το κύκλωμα LC (με αυτεπαγωγή L και πυκνωτή C), που ονομάζεται **αποθηκευτικό κύκλωμα** (tank circuit), επειδή έχει την ικανότητα να αποθηκεύει ενέργεια με μορφή πεδίου στον πυκνωτή και στην αυτεπαγωγή.

Πριν προχωρήσουμε στην περιγραφή του ταλαντωτή LC, είναι απαραίτητο να περιγράψουμε το βασικό κύκλωμα κάθε ταλαντωτή, που φαίνεται στο σχήμα 3.2β και, όπως βλέπουμε, αποτελείται από τρία επί μέρους κυκλώματα. Τη **γεννήτρια κύματος** (wave generator), τον **ενισχυτή** και το **κύκλωμα ανατροφοδότησης** (feedback circuit). Η γεννήτρια του κύματος παράγει το κύμα και ελέγχει τη συχνότητα της ταλαντώσεως. Το κύμα που παράγεται είναι πολύ αδύνατο για να χρησιμοποιηθεί και έτσι εισάγεται ο ενισχυτής που ακολουθεί. Η ανατροφοδότηση της εξόδου του ενι-



Σχ. 3.2α.

Ημιτονοειδείς και μη - ημιτονοειδείς έξοδοι ταλαντωτών.

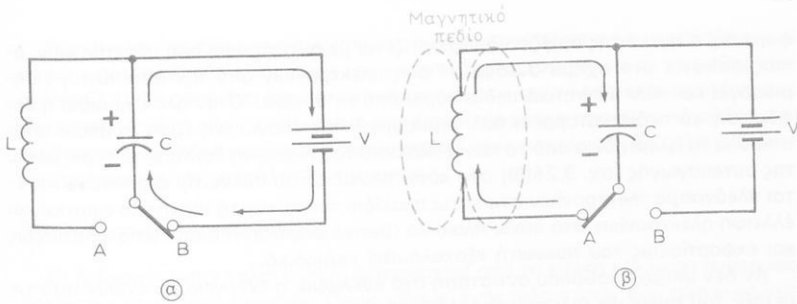


Σχ. 3.2β.

Βασικό κύκλωμα ταλαντωτή.

σχυτή στην είσοδο της γεννήτριας είναι απαραίτητη, για να διατηρείται το πλάτος της ταλαντώσεως σταθερό. Χωρίς ανατροφοδότηση, το πλάτος της ταλαντώσεως μειώνεται σταδιακά για τους λόγους που θα δούμε στη συνέχεια.

Το κύκλωμα της γεννήτριας κύματος ενός ταλαντωτή LC φαίνεται στο σχήμα 3.2γ. Η ενέργεια στο κύκλωμα παρέχεται από τη μπαταρία V . Σε πρακτικά κυκλώματα ταλαντωτών, η ηλεκτρική ενέργεια προέρχεται από κάποιο ενισχυτή, από αντένα κλπ. Ο διπολικός διακόπτης χρησιμεύει για να συνδέει και να αποσυνδέει περιοδικά τη μπαταρία και το κύκλωμα. Με το διακόπτη στη θέση Β [σχ. 3.2γ(α)], η μπαταρία φορτίζει τον πυκνωτή C . Τα ηλεκτρόνια από τον αρνητικό πόλο της μπαταρίας οδεύουν και φορτίζουν το κάτω πλακίδιο του πυκνωτή. Αυτό έχει ως



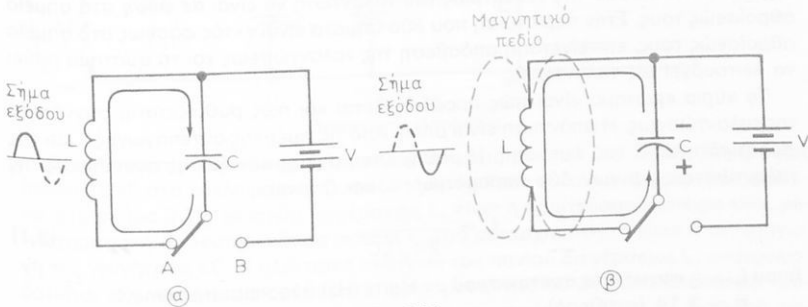
Σχ. 3.2γ.

Φόρτιση και εκφόρτιση του πυκνωτή C στη γεννήτρια του ταλαντωτή.

συνέπεια να φύγουν ηλεκτρόνια από το πάνω πλακίδιο του πυκνωτή και να μεταβούν στο θετικό πόλο της μπαταρίας.

Η ροή των ηλεκτρονίων συνεχίζεται μέχρις ότου η τάση του πυκνωτή εξισωθεί με την τάση V της μπαταρίας, οπότε παύει η φόρτιση του πυκνωτή και η ροή των ηλεκτρονίων σταματά. Στο κύκλωμα αυτό μεταφέρεται ηλεκτρική ενέργεια από τη μπαταρία στο κύκλωμα LC.

Η ταλάντωση επιτυγχάνεται ως εξής: όταν ο διακόπτης έλθει στη θέση A [σχ. 3.2γ(β)], η αυτεπαγωγή κλείνει το κύκλωμα LC και, λόγω της μικρής αντιστάσεως, εκφορτίζεται εύκολα ο πυκνωτής. Κατά την εκφόρτιση, ηλεκτρόνια φεύγουν από το αρνητικό πλακίδιο, διαπερνούν την αυτεπαγωγή L και συλλέγονται στο θετικό πλακίδιο του πυκνωτή. Η ροή των ηλεκτρονίων από την αυτεπαγωγή παράγει μαγνητικό πεδίο όπως φαίνεται στο σχήμα 3.2γ(β). Όταν ολοκληρωθεί η εκφόρτιση του πυκνωτή, το μαγνητικό πεδίο, που είναι γύρω από την αυτεπαγωγή και διαπερνά τις σπείρες της, καταρρέει αναπτύσσοντας μια επαγωγική τάση. Λόγω της τάσεως αυτής αποσπώνται ακόμα περισσότερα ηλεκτρόνια από το κάτω πλακίδιο του πυκνωτή τα οποία διέρχονται μέσω της αυτεπαγωγής και συλλέγονται στο πάνω πλακίδιο του πυκνωτή. Δημιουργείται έτσι πλεόνασμα ηλεκτρονίων στο πάνω πλακίδιο του πυκνωτή (αρνητικό φορτίο) και έλλειψη ηλεκτρονίων στο κάτω πλακίδιο (θετικό φορτίο) όπως φαίνεται στο σχήμα 3.2δ(α). Μετά την αναστροφή αυτή

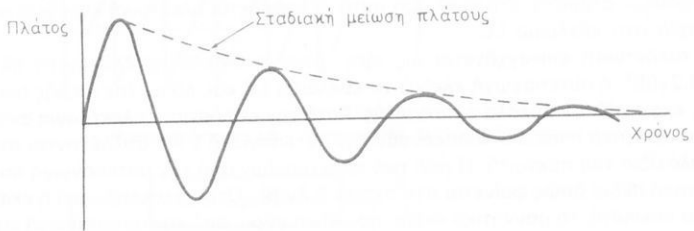


Σχ. 3.2δ.

Δημιουργία πλεονάσματος ηλεκτρονίων στο πάνω πλακίδιο και επανάληψη εκφόρτισεως του πυκνωτή.

φόρτιση, ο πυκνωτής αρχίζει να εκφορτίζεται με αντίστροφη ροή ηλεκτρονίων, όπως φαίνεται στο σχήμα 3.2δ(β). Η ροή ηλεκτρονίων από την αυτεπαγωγή δημιουργεί και πάλι μαγνητικό πεδίο γύρω από τη σπείρα. Όταν ολοκληρωθεί η εκφόρτιση, το πεδίο καταρρέει πάλι δημιουργώντας επαγωγική τάση, η οποία αποσπά όλα τα ηλεκτρόνια από το πάνω πλακίδιο του πυκνωτή και τα μεταφέρει μέσω της αυτεπαγωγής [σχ. 3.2δ(β)] στο κάτω πλακίδιο του πυκνωτή. Δημιουργείται έτσι πλεόνασμα ηλεκτρονίων στο κάτω πλακίδιο του πυκνωτή (αρνητικό φορτίο) και έλλειψη ηλεκτρονίων στο πάνω πλακίδιο (θετικό φορτίο). Η διαδικασία φορτίσεως και εκφορτίσεως του πυκνωτή εξακολουθεί περιοδικά.

Αν δεν υπήρχε καθόλου αντίσταση στο κύκλωμα, η ενέργεια θα εναλλασσόταν μεταξύ του πυκνωτή (ηλεκτρική ενέργεια) και της αυτεπαγωγής (μαγνητική ενέργεια) και η ταλάντωση του σήματος εξόδου θα διατηρούσε σταθερό πλάτος. Πάντοτε όμως υπάρχει, έστω και μικρή αντίσταση στο κύκλωμα, η οποία διαχέει την ενέργεια σταδιακά, κατά την εναλλαγή της μεταξύ των δύο στοιχείων L και C του κυκλώματος, μέχρις ότου εξαφανισθεί τελείως. Η αντίστοιχη ταλάντωση του ρεύματος φθίνει σε συνάρτηση με το χρόνο όπως φαίνεται στο σχήμα 3.2ε, και γι' αυτό ονομάζεται **αποσβηνόμενη** (damped).



Σχ. 3.2ε.

Απόσβεση ταλαντώσεως λόγω αντιστάσεως στο κύκλωμα.

Για να αντιμετωπισθεί η απόσβεση ενέργειας και να διατηρηθεί σταθερό το εύρος της ταλαντώσεως, ανατροφοδοτείται στην είσοδο της γεννήτριας το ενισχυμένο σήμα από την έξοδο της σύμφωνα με το διάγραμμα του σχήματος 3.2β. Το κύκλωμα ανατροφοδοτήσεως επιλέγεται έτσι, ώστε τα σήματα της εξόδου του ενισχυτή με την είσοδο της γεννήτριας του ταλαντωτή να είναι **σε φάση** στο σημείο αθροίσεώς τους. Στην περίπτωση που δύο σήματα είναι εκτός φάσεως στο σημείο αθροίσεώς τους, επιτείνεται η απόσβεση της ταλαντώσεως και το σύστημα παύει να λειτουργεί ως ταλαντωτής.

Το κύριο ερώτημα είναι πώς προσδιορίζεται και πώς ρυθμίζεται η συχνότητα της ταλαντώσεως. Η απάντηση είναι απλή. Από τις τιμές της αυτεπαγωγής L και της χωρητικότητας C του πυκνωτή. Η μαθηματική σχέση μεταξύ της συχνότητας της ταλαντώσεως και των δύο παραμέτρων L και C είναι

$$f_r = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \quad (3.1)$$

όπου f_r = η **συχνότητα συντονισμού** σε Hertz (Hz) (resonant frequency)

π = 3,14 (σταθερά)

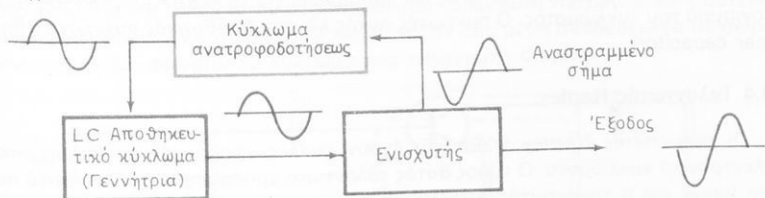
L = αυτεπαγωγή σε Henries (H)

C = χωρητικότητα σε Farad (F)

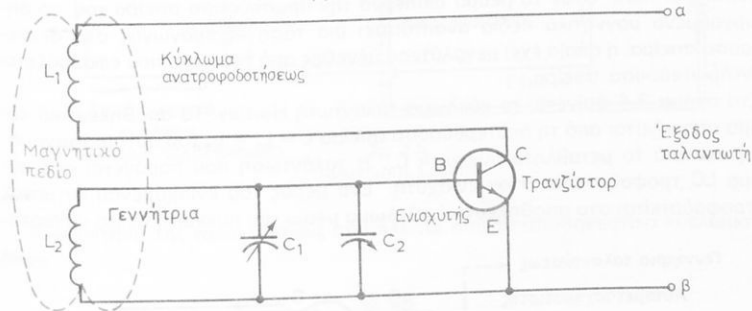
Η ρύθμιση της τιμής της συχνότητας συντονισμού γίνεται με μεταβολή της τιμής της αυτεπαγωγής ή της τιμής της χωρητικότητας, σύμφωνα με τη μαθηματική σχέση (3.1). Σε ορισμένα αποθηκευτικά κυκλώματα χρησιμοποιείται μεταβαλλόμενη αυτεπαγωγή, η οποία αποτελείται από ένα πηνίο με μια ομοκεντρική ράβδο, που κινείται από **κινητήρα αυτόματου συντονισμού** (slug tuned coil). Σε άλλα κυκλώματα χρησιμοποιείται μεταβλητός πυκνωτής.

3.3 Ταλαντωτής Armstrong.

Οι διάφοροι τύποι ταλαντωτών διακρίνονται από το ειδικό κύκλωμα ανατροφοδοτήσεως που χρησιμοποιούν. Όπως είδαμε, ένας ταλαντωτής έχει τρία κυκλώματα. Το κύκλωμα γεννήτριας, που συνήθως είναι το αποθηκευτικό κύκλωμα (tank circuit), τον ενισχυτή και το κύκλωμα ανατροφοδοτήσεως. Στο σχήμα 3.3α παρουσιάζεται το λειτουργικό διάγραμμα του ταλαντωτή, όπου η έξοδος της γεννήτριας ενισχύεται, αναστρέφεται και ανατροφοδοτείται στο αποθηκευτικό κύκλωμα LC.



Σχ. 3.3α.
Λειτουργικό διάγραμμα ταλαντωτή.



Σχ. 3.3β.
Ταλαντωτής Armstrong.

Ο **ταλαντωτής Armstrong** (Άρμστρονγκ) χρησιμοποιεί ένα **πηνίο διεγέρσεως** (trickler coil) στο κύκλωμα ανατροφοδοτήσεως. Στον ταλαντωτή αυτό, που φαίνεται στο σχήμα 3.3β, το πηνίο διεγέρσεως L_1 είναι η πρωτεύουσα σπείρα ενός μετασχηματιστή. Η δευτερεύουσα σπείρα L_2 του μετασχηματιστή είναι η αυτεπαγωγή της γεννήτριας LC. Η ηλεκτρική ενέργεια του πηνίου διεγέρσεως L_1 ανατροφοδοτείται στη γεννήτρια διαμέσου του μαγνητικού πεδίου με πολύ αποδοτικό τρόπο. Η τάση που αναπτύσσεται εξ επαγωγής στη σπείρα L_2 είναι σε διαφορά φάσης 180° από την τάση στη σπείρα L_1 . Η τάση όμως της πρωτεύουσας σπείρας

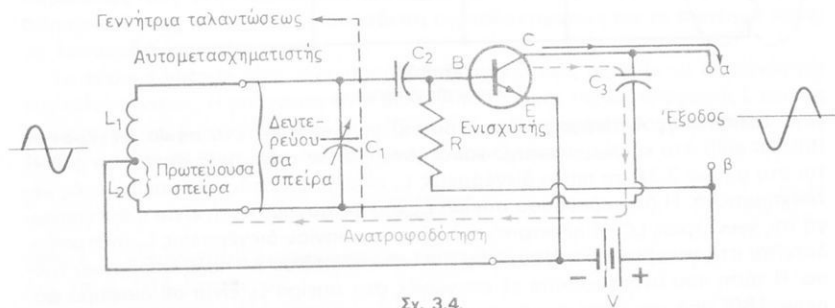
L_1 είναι και αυτή 180° εκτός φάσεως από την έξοδο της γεννήτριας, επειδή ο ενισχυτής αναστρέφει το σήμα εισόδου του. Έτσι, η τάση ανατροφοδότησης στο πηνίο L_2 γίνεται σε φάση με την τάση εξόδου του αποθηκευτικού κυκλώματος LC, όπως επιβάλλεται να είναι για να αποφευχθεί η απόσβεση της ταλαντώσεως.

Για τη σωστή λειτουργία του ταλαντωτή Armstrong πρέπει να εφαρμοσθεί η σωστή πόλωση μεταξύ της γεννήτριας και του ενισχυτή. Η πόλωση αυτή εφαρμόζεται μεταξύ βάσεως και εκπομπού του τρανζίστορ και επιτρέπει στον ενισχυτή να παραμένει εκτός κυκλώματος, μέχρις ότου ο ταλαντωτής διεγερθεί για πρώτη φορά. Η συνολική ενέργεια που ανατροφοδοτείται στο κύκλωμα της γεννήτριας εξαρτάται από την πόλωση που εφαρμόζεται μεταξύ βάσεως και εκπομπού του τρανζίστορ, καθώς και από το λόγο σπειρών των L_1 και L_2 . Η συχνότητα της ταλαντώσεως ρυθμίζεται από το μεταβλητό πυκνωτή C_1 . Όταν μειωθεί η χωρητικότητα C_1 , η συχνότητα της ταλαντώσεως αυξάνεται σύμφωνα με τη σχέση (3.1). Ο δεύτερος πυκνωτής C_2 στο κύκλωμα είναι και αυτός μεταβλητός, συγκριτικά δε με τον C_1 , έχει πολύ μικρή τιμή χωρητικότητας και χρησιμεύει για τη λεπτή ρύθμιση του συντονισμού του κυκλώματος. Ο πυκνωτής αυτός λέγεται **βοηθητικός πυκνωτής** (trimmer capacitor).

3.4 Ταλαντωτής Hartley.

Οι **ταλαντωτές Hartley** (Χάρτλεϋ) έχουν πολλές εφαρμογές σε βιομηχανικά ηλεκτρονικά κυκλώματα. Ο τύπος αυτός ταλαντωτή χρησιμοποιεί το μαγνητικό πεδίο (όπως και ο ταλαντωτής Armstrong), για να ανατροφοδοτήσει ενέργεια στο κύκλωμα της γεννήτριας. Ειδικότερα, χρησιμοποιείται ένας **αυτομετασχηματιστής** (autotransformer). Όταν το ρεύμα διαπερνά την πρωτεύουσα σπείρα του, του δημιουργούμενο μαγνητικό πεδίο αναπτύσσει μια τάση εξ επαγωγής στη δευτερεύουσα σπείρα, η οποία έχει μεγαλύτερο μέγεθος από την τάση που εφαρμόζεται στην πρωτεύουσα σπείρα.

Στο σχήμα 3.4 φαίνεται το κύκλωμα ταλαντωτή Hartley. Το αποθηκευτικό κύκλωμα αποτελείται από τη δευτερεύουσα σπείρα $L = L_1 + L_2$ του αυτομετασχηματιστή και από το μεταβλητό πυκνωτή C_1 . Η ταλάντωση που παράγεται στο κύκλωμα LC τροφοδοτείται στον ενισχυτή. Ένα μέρος του ενισχυμένου σήματος ανατροφοδοτείται στο αποθηκευτικό κύκλωμα μέσω του πυκνωτή C_3 για να διατη-

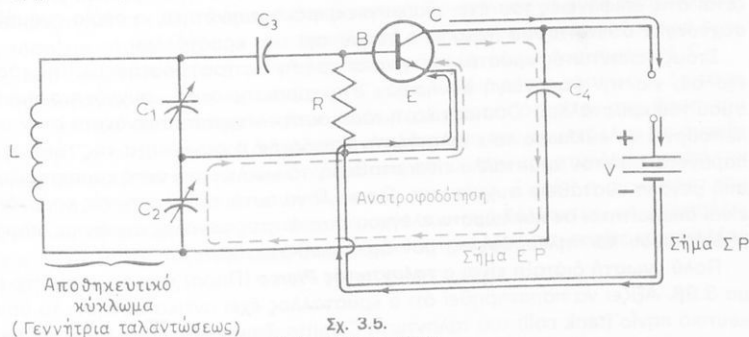


Σχ. 3.4.
Ταλαντωτής Hartley.

ρηθεί σταθερό το πλάτος της ταλαντώσεως. Η πρωτεύουσα σπείρα L_2 του αυτομετασχηματιστή συνδέεται με την είσοδο του τρανζίστορ και το σήμα ταλαντώσεως διοχετεύεται στον ενισχυτή από τη σπείρα L_1 . Η αντίσταση R παράγει την πώλωση στο τρανζίστορ. Ο πυκνωτής C_3 , μέσω του οποίου γίνεται η ανατροφοδότηση, ανατροφοδοτεί το εναλλασσόμενο μέρος του σήματος ενώ αποκλείει το συνεχές. Η τάση ανατροφοδότησεως εφαρμόζεται στην πρωτεύουσα σπείρα του αυτομετασχηματιστή, με συνέπεια να παραχθεί μαγνητικό πεδίο, μέσω του οποίου αναπτύσσεται τάση εξ επαγωγής στη δευτερεύουσα σπείρα και ενίσχυση του σήματος ταλαντώσεως. Η διαφορά φάσεως μεταξύ του σήματος ταλαντώσεως και της εξόδου του ταλαντωτή είναι 180° λόγω του ενισχυτή.

3.5 Ταλαντωτής Colpitts.

Στον *ταλαντωτή Colpitts* (Κόλπιτς) η σύζευξη του ενισχυτή με το αποθηκευτικό κύκλωμα γίνεται μέσω του πυκνωτή του αποθηκευτικού κυκλώματος Hartley. Εδώ η αυτεπαγωγή είναι ενιαία, ενώ ο πυκνωτής διαιρείται σε δύο μέρη συνδεδεμένα σε σειρά. Στο σχήμα 3.5 φαίνεται το κύκλωμα του ταλαντωτή Colpitts.



Σχ. 3.5.
Ταλαντωτής Colpitts.

Η γεννήτρια της ταλαντώσεως αποτελείται από το αποθηκευτικό κύκλωμα LC, όπου

$$C = \frac{C_1 C_2}{C_1 + C_2} \quad (3.2)$$

Ο πυκνωτής C_1 συνδέεται στην είσοδο του ενισχυτή μέσω του C_3 ενώ ο C_2 συνδέεται στην έξοδο του ενισχυτή μέσω του C_4 , ο οποίος επιτρέπει την ανατροφοδότηση στη γεννήτρια μόνο του C_4 (εναλλασσόμενου ρεύματος) του σήματος εξόδου του ενισχυτή. Η αντίσταση R παράγει πάλι την τάση πώλεσης στο τρανζίστορ. Και στην περίπτωση αυτή με ανατροφοδότηση αναπτύσσεται πρόσθετη τάση στον πυκνωτή C_2 , με την οποία αναπληρώνεται η ενέργεια που διαχέεται στο αποθηκευτικό κύκλωμα και υπερνικάται η απόσβεση της ταλαντώσεως. Η συχνότητα της ταλαντώσεως ρυθμίζεται από τους μεταβλητούς πυκνωτές C_1 και C_2 .

3.6 Ταλαντωτής κρυστάλλου.

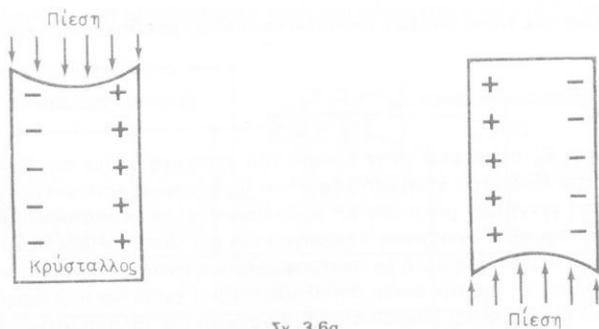
Ορισμένοι κρύσταλλοι, όπως π.χ. κρύσταλλοι χαλαζιού, τουρμαλίνης και αλάτων Rochelle, όταν υποβληθούν σε δυναμική πίεση εμφανίζουν ηλεκτρικά φορτία κοντά στις επιφάνειές τους. Το φαινόμενο αυτό ονομάζεται **πιεζοηλεκτρικό φαινόμενο** (piezoelectric effect) και περιγράφεται παραστατικά στο σχήμα 3.6α.

Όταν η πίεση εφαρμόζεται στο πάνω μέρος του κρυστάλλου, φορτία αντίθετης πολικότητας συγκεντρώνονται στις απέναντι κάθετες επιφάνειες. Στην αριστερή επιφάνεια μαζεύονται τα αρνητικά φορτία και στη δεξιά τα θετικά. Όταν η πίεση εφαρμοσθεί στην αντίθετη πλευρά, η πολικότητα της δημιουργούμενης τάσεως αντιστρέφεται.

Το φαινόμενο πίεσεως - τάσεως στους κρυστάλλους αυτούς είναι αναστρέψιμο. Όταν, δηλαδή, εφαρμοσθεί μια τάση μεταξύ των κατακορύφων επιφανειών του κρυστάλλου (σχ. 3.6α), αναπτύσσεται πίεση στις εγκάρσιες επιφάνειες που προκαλεί αντίστοιχη μετατόπιση. Αν τώρα ο κρύσταλλος τοποθετηθεί σε μια ειδική υποδοχή, μέσω της οποίας να μπορούμε να εφαρμόζουμε τάση ΕΡ, τότε ο κρύσταλλος θα αρχίσει να πάλλεται με συχνότητα ίση προς τη συχνότητα της εφαρμοζόμενης τάσεως. Η ταλάντωση του κρυστάλλου μεγιστοποιείται, όταν η τάση που εφαρμόζεται στις επιφάνειές του έχει μια συγκεκριμένη συχνότητα, η οποία ονομάζεται **συχνότητα συντονισμού** (resonant frequency) του κρυστάλλου.

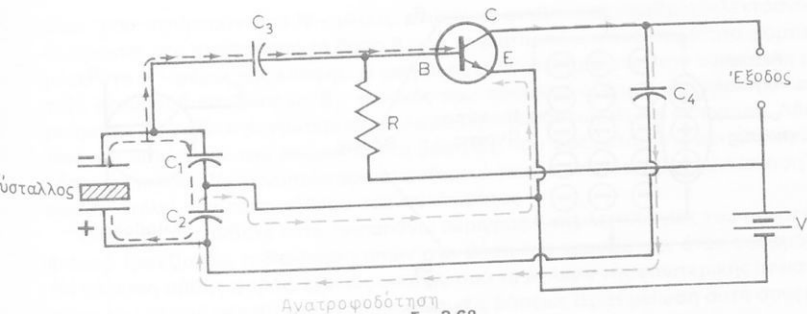
Στους ταλαντωτές κρυστάλλου γίνεται χρήση ανατροφοδοτήσεως της τάσεως εξόδου, για την παραγωγή δονήσεων στη χαρακτηριστική συχνότητα συντονισμού του κρυστάλλου. Ουσιαστικά, η τάση αυτή ελέγχει τη συχνότητα στην οποία λειτουργεί το κύκλωμα του ταλαντωτή. Επειδή δε η συχνότητα της τάσεως που παράγεται από τον κρύσταλλο είναι σταθερή, τα κυκλώματα αυτά χαρακτηρίζονται από μεγάλη ευστάθεια συχνότητας. Για το λόγο αυτό, οι ταλαντωτές κρυστάλλου είναι απαραίτητοι σε κυκλώματα ελέγχου συχνότητας μεγάλης ακρίβειας (πομπούς ραδιοφώνου και τηλεοράσεως, ραντάρ, τηλεμετρία κλπ.).

Πολύ γνωστή διάταξη είναι ο **ταλαντωτής Pierce** (Πηρσ) που φαίνεται στο σχήμα 3.6β. Αξίζει να παρατηρηθεί ότι ο κρύσταλλος έχει αντικαταστήσει το αποθηκευτικό πηνίο (tank coil) του ταλαντωτή Colpitts. Το υπόλοιπο κύκλωμα είναι εκείνο του ταλαντωτή Colpitts. Όταν η πάνω πλάκα του κρυστάλλου έχει αρνητικό



Σχ. 3.6α.

Πιεζοηλεκτρικό φαινόμενο.



Ανατροφοδότηση
Σχ. 3.6β.
 Ταλαντωτής κρυστάλλου Pierce.

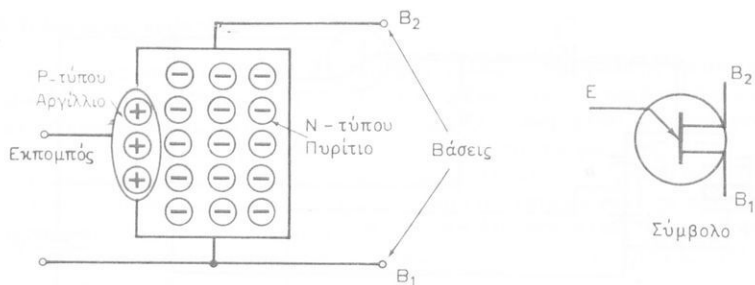
φορτίο και η κάτω πλάκα θετικό (σχ. 3.6β), ο κρυστάλλος μετατοπίζεται προς τα αριστερά, γεγονός που διαρκεί όσο το πρώτο ημικύκλιο της ταλαντώσεως. Κατά το δεύτερο ημικύκλιο της ταλαντώσεως, ο κρυστάλλος κινείται προς τα δεξιά και τα φορτία στις πλάκες αντιστρέφονται, δηλαδή η πάνω πλάκα του κρυστάλλου είναι θετικά φορτισμένη ενώ η κάτω πλάκα αρνητικά. Το φαινόμενο αυτό προκαλεί αύξηση τόσο της τάσεως εξόδου του τρανζίστορ όσο και του ανατροφοδοτικού ρεύματος που διοχετεύεται στη γεννήτρια ταλαντώσεως μέσω του πυκνωτή C_4 .

Ο συνδυασμός των πυκνωτών C_1 και C_2 δρα ως διαιρέτης τάσεως, η δε τάση κρυστάλλου που αναπτύσσεται στον πυκνωτή C_1 τροφοδοτείται στη βάση του τρανζίστορ. Το κύκλωμα αυτό διατηρεί την ταλάντωση του κρυστάλλου σε συχνότητα που καθορίζεται από τη συχνότητα συντονισμού του κρυστάλλου και από την ολική χωρητικότητα των πυκνωτών C_1 και C_2 σε σειρά. Επειδή η συχνότητα του κρυστάλλου επηρεάζεται από τη θερμοκρασία του περιβάλλοντος, οι κρυστάλλοι κλείνονται σε θαλάμους σταθερής θερμοκρασίας που λέγονται **εστίες κρυστάλλου** (crystal ovens).

3.7 Μονοεπαφιακός ταλαντωτής.

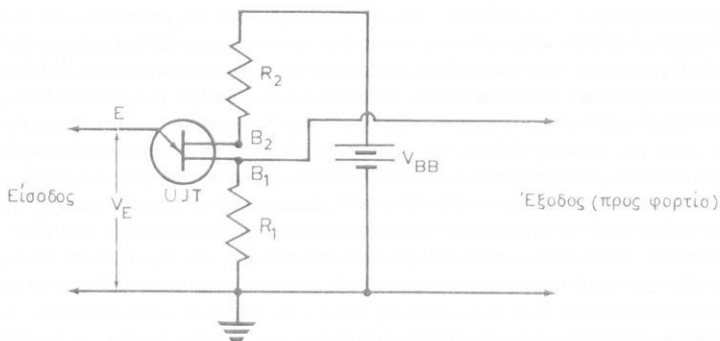
Ο **μονοεπαφιακός ταλαντωτής** (unijunction oscillator) βασίζεται στο μονοεπαφιακό τρανζίστορ που αναγνωρίζεται σε ηλεκτρονικά σχέδια από τα αρχικά UJT. Το UJT είναι κατασκευασμένο από ημιαγωγικό υλικό με βάση το πυρίτιο. Στο σχήμα 3.7α παρουσιάζεται η δομή του στοιχείου μαζί με το σύμβολο που χρησιμοποιείται σε ηλεκτρονικά σχέδια. Επειδή το μονοεπαφιακό τρανζίστορ έχει δύο βάσεις, αναφέρεται σε βιβλία και ως **δίοδος διπλής βάσεως** (double - base diode). Το τρανζίστορ αυτό αποτελείται από ένα κομμάτι πυρίτιου N - τύπου, στο οποίο έχει προστεθεί ένα μικρό κομμάτι από κράμα αργιλίου P - τύπου.

Ένας ακροδέκτης, συνδεδεμένος με το P - τύπου υλικό, αποτελεί τον εκπομπό του στοιχείου. Το N - τύπου υλικό έχει δύο ακροδέκτες που αποτελούν τις βάσεις B_1 και B_2 . Η ωμική αντίσταση μεταξύ των δύο βάσεων, όταν ο εκπομπός είναι ασύνδετος, κυμαίνεται μεταξύ 5 και 12 KΩ. Το μονοεπαφιακό τρανζίστορ έχει εφαρμογές σε **κυκλώματα χρονισμού** (timing circuits), σε παλμογεννήτριες, σε πολυδονητές και σε μετρητές.



Σχ. 3.7α.

Το μονοεπαφιακό τρανζίστορ.



Σχ. 3.7β.

Το UJT σε κύκλωμα γενικής εφαρμογής.

Για τη λειτουργία του UJT εφαρμόζεται μια τάση V_{BB} στη βάση B_2 μέσω της αντιστάσεως R_2 , ενώ η βάση B_1 γειώνεται μέσω της αντιστάσεως R_1 (σχ. 3.7β).

Το τμήμα του πυριτίου δρα ως διαιρέτης τάσεως, έτσι ώστε ένα κλάσμα της τάσεως μεταξύ B_2 και B_1 να εφαρμόζεται μεταξύ εκπομπού και B_1 . Το κλάσμα αυτό συμβολίζεται με το γράμμα η και ονομάζεται **ενδογενής λόγος ισσορροπίας** (intrinsic standoff ratio).

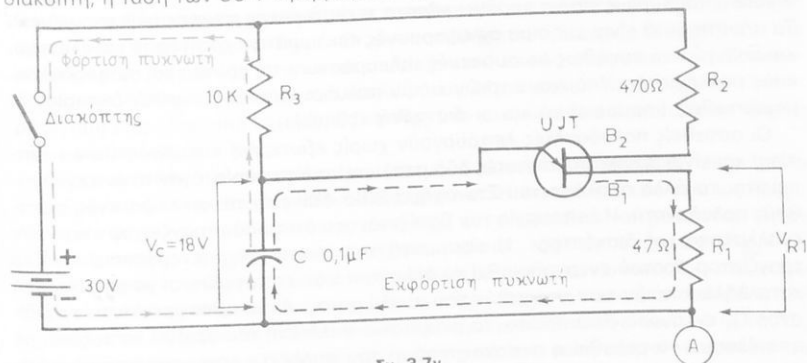
Η τάση εισόδου V_E εφαρμόζεται μεταξύ εκπομπού και γείωσης. Όταν η τάση εκπομπού - γείωσης είναι λιγότερο θετική από την τάση εκπομπού - βάσεως B_1 , η επαφή P - N είναι πολωμένη ανάστροφα. Με τις συνθήκες αυτές, το ρεύμα στο κύκλωμα εισόδου είναι μηδέν, ενώ το ρεύμα που διαπερνά το κομμάτι του πυριτίου (μεταξύ B_1 και B_2) δημιουργείται αποκλειστικά από την κίνηση ηλεκτρονίων. Όταν η τάση εισόδου μεταβληθεί και υποχρεώσει τον εκπομπού να γίνει περισσότερο θετικός ως προς τη γείωση, παρά ως προς τη βάση B_1 , στην επαφή P - N αναπτύσσεται πόλωση ορθής φοράς, με αποτέλεσμα οπές να οδεύουν από το P - μέρος στο N - μέρος της επαφής και να διαχέονται προς τη βάση B_1 . Είναι ευκολολόγητο ότι ένας αριθμός οπών καταλαμβάνεται από ένα αντίστοιχο αριθμό ηλεκτρο-

νίων, που αφθονούν στο N - μέρος, ενώ ένας αντίστοιχος αριθμός ηλεκτρονίων εισέρχεται στο πυρίτιο από τη βάση B_1 για να διατηρηθεί η ουδετερότητα φορτίων μέσα στο N - μέρος της επαφής. Η ροή αυτή μειώνει σημαντικά την αντίσταση μεταξύ εκπομπού και βάσεως B_1 , γεγονός που προκαλεί αύξηση του ηλεκτρονικού ρεύματος που ρέει στο εξωτερικό κύκλωμα μεταξύ βάσεως B_1 και εκπομπού. Λόγω των αυξομειώσεων του ρεύματος στη βάση B_1 , που οφείλεται στις μεταβολές της τάσεως εισόδου V_E , αναπτύσσονται αυξομειώσεις της τάσεως στην αντίσταση R_1 που αποτελεί την τάση εξόδου του κυκλώματος.

Όπως διαπιστώθηκε στην παραπάνω περιγραφή της λειτουργίας του μονοεπαφιακού τρανζίστορ, η διακίνηση οπών στη βάση του τρανζίστορ, όταν εφαρμόζεται πόλωση ορθής φοράς, έχει ως αποτέλεσμα **τη μείωση** της εσωτερικής αντιστάσεως του υλικού μεταξύ του εκπομπού και της βάσεως B_1 . Η μείωση αυτή συνεπάγεται αύξηση του ρεύματος ηλεκτρονίων που ρέει μεταξύ των δύο αυτών ακροδεκτών και κατά συνέπεια μείωση του ρεύματος I και της αντίστοιχης τάσεως IR μεταξύ τους. Το μονοεπαφιακό δηλαδή τρανζίστορ, παρουσιάζει το χαρακτηριστικό «αρνητικής αντιστάσεως», σύμφωνα με το οποίο δεν ισχύει ο γνωστός νόμος του Ω , επειδή το ρεύμα που διαπερνά τη συσκευή αυξάνεται με τη μείωση της τάσεως και αντίστροφα. Το χαρακτηριστικό της αρνητικής αντιστάσεως παρέχει τη δυνατότητα χρήσεως του μονοεπαφιακού τρανζίστορ σε **κυκλώματα «σκανδάλης»** (trigger circuits), στα οποία ενεργοποιείται από σήματα παλμών με την απαραίτητη πόλωση. Το UJT τέλος έχει τα εξής μειονεκτήματα:

1. Είναι ευαίσθητο σε αλλαγές θερμοκρασίας.
2. Η λειτουργία του περιορίζεται σε εφαρμογές με χαμηλή ισχύ.
3. Δεν προσφέρει μεγάλες απολαβές τάσεως.

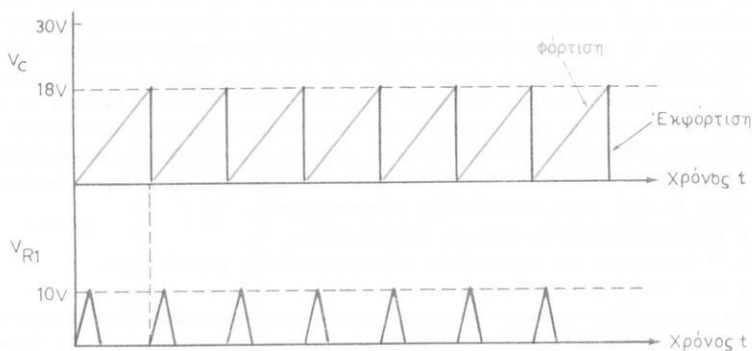
Θα περιγράψουμε τώρα την εφαρμογή του μονοεπαφιακού τρανζίστορ στον **ταλαντωτή χαλαρώσεως** (relaxation oscillator) που φαίνεται στο σχήμα 3.7γ. Το κύκλωμα αυτό παράγει ταλαντώσεις συνεχούς ρεύματος (ΣΡ) με σχετικά βραδύ ρυθμό. Όταν κλείσει ο διακόπτης, η τάση της μπαταρίας κατανέμεται στην αντίσταση R_1 , στο μονοεπαφιακό τρανζίστορ (UJT) και στην αντίσταση R_2 . Η τάση των 30 V εφαρμόζεται επίσης στην αντίσταση R_3 και στον πυκνωτή C. Με το κλείσιμο του διακόπτη, η τάση των 30 V εφαρμόζεται εξ ολοκλήρου στην αντίσταση R_3 , επειδή



Σχ. 3.7γ.

- Ταλαντωτής χαλαρώσεως με μονοεπαφιακό τρανζίστορ.

ο πυκνωτής δε μπορεί να φορτισθεί στιγμιαία. Στο κύκλωμα που περιλαμβάνει το UJT και τις αντιστάσεις R_1 και R_2 , δημιουργείται διαφορά τάσεως περίπου 18 V μεταξύ του εκπομπού και του σημείου A. Το ρεύμα του UJT είναι μηδέν, λόγω πώσεως ανάστροφης φοράς. Με την πάροδο του χρόνου ο πυκνωτής φορτίζεται από το ρεύμα που διαρρέει την αντίσταση R_2 και η τάση του αυξάνεται ανάλογα. Όταν ολοκληρωθεί η φόρτιση του πυκνωτή C, η επαφή του UJT πολώνεται στην ορθή φορά και κατά συνέπεια, ρεύμα διαρρέει τη βάση B_1 . Η ροή του ρεύματος αυτού μειώνει την εσωτερική αντίσταση μεταξύ εκπομπού και βάσεως B_1 και κατ'επέκταση την τάση στο UJT. Ο πυκνωτής αρχίζει να εκφορτίζεται μέσω της αντίστασης R_1 , η οποία έχει μικρή τιμή. Όταν ο πυκνωτής χάσει όλο το φορτίο του, η διαδικασία επαναλαμβάνεται. Στο σχήμα 3.7δ παρουσιάζονται τα σήματα τάσεων του πυκνωτή και της αντιστάσεως R_1 .



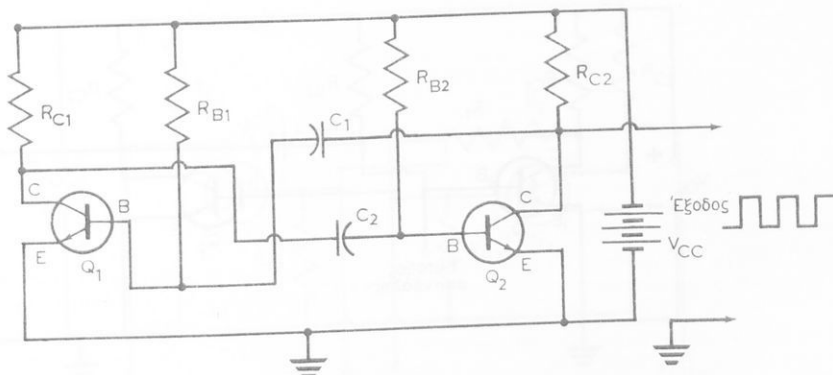
Σχ. 3.7δ.

Σήματα τάσεων του πυκνωτή και της αντιστάσεως R_1 .

3.8 Πολυδονητές.

Ο **πολυδονητής** (multivibrator) είναι ένας ταλαντωτής «χαλαρώσεως» που χρησιμοποιείται κυρίως για να παράγει **κύματα τετραγωνικής μορφής** (square waves). Τα σήματα αυτά είναι χρήσιμα σε εφαρμογές κυκλωμάτων χρονισμού και ελέγχου, και απαντώνται συνήθως σε συσκευές τηλεοράσεων, σε ραντάρ και σε ηλεκτρονικούς υπολογιστές. Υπάρχουν τριών ειδών πολυδονητές. Οι **ασταθείς** (astable), οι **μονοσταθείς** (monostable) και οι **δισταθείς** (bistable).

Οι ασταθείς πολυδονητές λειτουργούν χωρίς **εξωτερική επέμβαση** (free - running) και είναι βασικά ταλαντωτές δύο σταδίων, από τα οποία, όταν το ένα ενεργοποιείται το άλλο αποκόπτεται. Στο σχήμα 3.8α φαίνεται το κύκλωμα ενός ασταθούς πολυδονητή. Η λειτουργία του βασίζεται στο ότι τα δύο τρανζίστορ ενεργούν εναλλακτικά ως διακόπτες. Η εφαρμογή της τάσεως V_{CC} ενεργοποιεί το ένα τρανζίστορ προτού ενεργοποιηθεί το άλλο, αυτό δε επιτυγχάνεται με την επιλογή κατάλληλων τιμών των στοιχείων του κυκλώματος. Αν υποθέσουμε ότι το τρανζίστορ Q_1 ενεργοποιείται πρώτο, το ρεύμα του συλλέκτη του αρχίζει να αυξάνει με αποτέλεσμα να μειωθεί η αντίστοιχη τάση του συλλέκτη λόγω της πτώσεως τάσεως στην αντίσταση R_{C1} . Η τάση αυτή, που είναι μικρότερη της V_{CC} , επιβάλλει



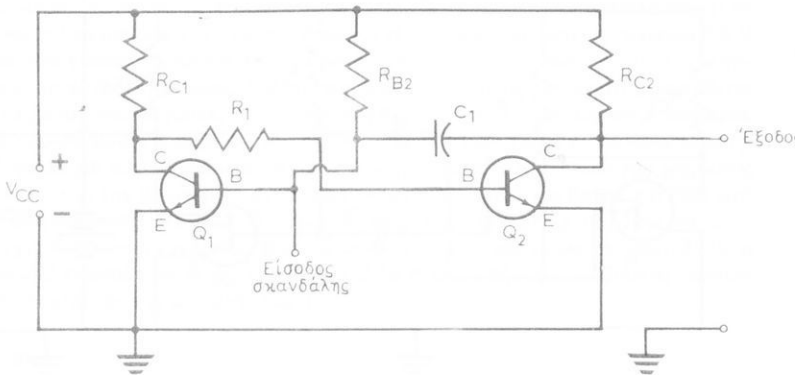
Σχ. 3.8α.

Κύκλωμα ασταθούς πολυδονητή.

μέσω του C_2 ανάστροφη πόλωση μεταξύ βάσεως και εκπομπού στο τρανζίστορ Q_2 . Έτσι, το ρεύμα του συλλέκτη του Q_2 αρχίζει να μειώνεται, με αποτέλεσμα η αντίστοιχη τάση του να υψώνεται προς την τάση V_{CC} . Η αυξανόμενη τάση του συλλέκτη, που συνδέεται μέσω του πυκνωτή C_1 στη βάση του Q_1 , επιβάλλει στο τρανζίστορ Q_1 πόλωση ορθής φοράς και το οδηγεί σε κορεσμό, ενώ παράλληλα το τρανζίστορ Q_2 οδηγείται σε **αποκοπή** (cutoff). Τα τρανζίστορ παραμένουν σ' αυτή την κατάσταση μέχρις ότου εκφορτισθεί ο πυκνωτής C_1 μέσω της αντιστάσεως R_{B1} και της χαμηλής αντιστάσεως του Q_1 . Στο σημείο αυτό η πόλωση του Q_2 παύει να έχει ανάστροφη φορά και το τρανζίστορ αρχίζει να ενεργοποιείται, με αποτέλεσμα να οδηγηθεί το Q_1 σε αποκοπή. Ο κύκλος αυτός επαναλαμβάνεται με συχνότητα που καθορίζεται από τις τιμές R_{B1} , C_1 και R_{B2} , C_2 .

Οι μονοσταθείς και διασταθείς πολυδονητές διαφέρουν από τους ασταθείς στο ότι χρειάζονται εξωτερικό (ξένο) σήμα για να λειτουργήσουν. Στο σχήμα 3.8β φαίνεται ένας μονοσταθής πολυδονητής. Η διαφορά από τον ασταθή πολυδονητή είναι ότι στη θέση του πυκνωτή C_2 έχει τοποθετηθεί η αντίσταση R_1 , επίσης ότι έχει αφαιρεθεί η αντίσταση R_{B1} . Ο μονοσταθής πολυδονητής ονομάζεται και **πολυδονητής μιας βολής** (one - shot multivibrator) επειδή ένας μόνο παλμός σκανδάλης αλλάζει την κατάσταση του κυκλώματος. Μετά από μια μικρή χρονική υστέρηση που εξαρτάται από τις τιμές C_1 και R_{B2} , το κύκλωμα επανέρχεται στην αρχική του κατάσταση.

Ο μονοσταθής πολυδονητής έχει μία μόνο ευσταθή κατάσταση, στην οποία επανέρχεται όταν η είσοδος σκανδάλης αδρανεύει. Η λειτουργία του έχει ως εξής: Με την εφαρμογή ισχύος από την τάση V_{CC} , ενεργοποιείται το τρανζίστορ Q_1 με πόλωση ορθής φοράς, που παρέχεται μέσω της αντιστάσεως R_{B2} . Η ενεργοποίηση του Q_1 αναπτύσσει αυξημένο ρεύμα στην αντίσταση R_{C1} , το οποίο αυξάνει την τάση στην αντίσταση αυτή, με αποτέλεσμα η τάση στο συλλέκτη του Q_1 να γίνεται λιγότερο θετική ή περισσότερο αρνητική. Επειδή ο συλλέκτης του Q_1 είναι συζευγμένος με τη βάση του Q_2 , η αρνητικότητα αυτή οδηγεί το τρανζίστορ Q_2 σε αποκοπή. Η αποκοπή του Q_2 μειώνει το ρεύμα που διαπερνά την αντίσταση

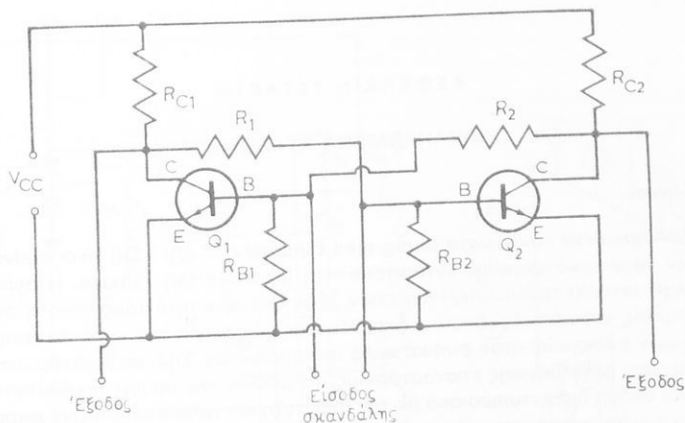


Σχ. 3.8β.
Κύκλωμα μονοσταθούς πολυδονητή.

R_{C2} , με αποτέλεσμα ο συλλέκτης του Q_2 να γίνεται περισσότερο θετικός. Επειδή ο συλλέκτης του Q_2 είναι συζευγμένος με τη βάση του Q_1 μέσω του πυκνωτή C_1 , διατηρείται η ενεργοποίηση του Q_1 για όσο διάστημα εφαρμόζεται η τάση V_{CC} στο κύκλωμα του πολυδονητή.

Όταν εφαρμοσθεί αρνητικός παλμός στην είσοδο σκανδάλης του κυκλώματος, το τρανζίστορ Q_1 οδηγείται αμέσως σε αποκοπή, με αποτέλεσμα να εφαρμοσθεί ένας θετικός παλμός στη βάση του Q_2 . Το τρανζίστορ Q_2 ενεργοποιείται, το ρεύμα του συλλέκτη του αυξάνεται και ταυτόχρονα αναπτύσσεται μια μεγάλη τάση στην αντίσταση R_{C2} . Η τάση του συλλέκτη του Q_2 , η οποία γίνεται λιγότερο θετική ή περισσότερο αρνητική, εφαρμόζεται στη βάση του Q_1 μέσω του πυκνωτή C_1 . Το φορτίο που έχει αποθηκευθεί στον πυκνωτή C_1 διατηρεί το τρανζίστορ Q_1 σε κατάσταση αποκοπής, μέχρις ότου ο πυκνωτής εκφορτισθεί πλήρως μέσω του Q_2 . Όταν συμβεί αυτό, η ανάστροφη πόλωση παύει να υφίσταται στη βάση του Q_1 και το τρανζίστορ ενεργοποιείται και επανέρχεται στην αρχική του κατάσταση. Η χρονική σταθερά $R_{B2} C_1$ καθορίζει το χρονικό διάστημα για την επαναφορά του κυκλώματος στην αρχική του ευσταθή κατάσταση, μετά την εφαρμογή του σήματος σκανδάλης.

Ο διασταθής πολυδονητής, που είναι γνωστός ως *κύκλωμα «flip - flop»*, έχει δύο ευσταθείς καταστάσεις (αντί της μιας που έχει ο μονοσταθής πολυδονητής). Στο σχήμα 3.8γ φαίνεται το κύκλωμα του διασταθούς πολυδονητή. Στο κύκλωμα αυτό, κάθε θετικός παλμός στην είσοδο αλλάζει την κατάσταση ενεργοποίησης. Η λειτουργία του έχει ως εξής: Με την εφαρμογή της V_{CC} ένα από τα τρανζίστορ θα ενεργοποιηθεί πριν από το άλλο. Αν το Q_1 ενεργοποιηθεί πρώτο, η τάση του συλλέκτη του γίνεται λιγότερο θετική ή περισσότερο αρνητική από πριν. Η τάση αυτή διαμέσου της αντιστάσεως R_1 επιβάλλει ανάστροφη πόλωση στο Q_2 , το οποίο κατόπιν, μέσω της R_2 επιβάλλει θετική τάση στη βάση του Q_1 , και διατηρεί έτσι την ενεργό κατάσταση. Αυτή είναι μια από τις δύο ευσταθείς καταστάσεις του κυκλώματος. Το κύκλωμα θα διατηρηθεί στην κατάσταση αυτή, όσο εφαρμόζεται η τάση V_{CC} .



Σχ. 3.8γ.

Κύκλωμα διασταθούς πολυδονητή «flip - flop».

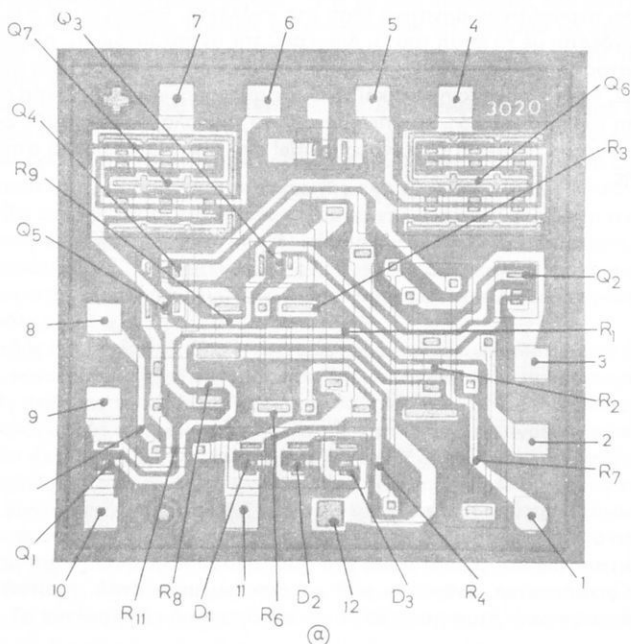
Η κατάσταση του κυκλώματος αλλάζει, αν εφαρμοσθεί ένας θετικός παλμός στο αποκομμένο τρανζίστορ Q_2 . Με το σήμα αυτό, το τρανζίστορ Q_2 , ενεργοποιείται και το ρεύμα του συλλέκτη του μέσω της αντιστάσεως R_{C2} , αυξάνει και αναπτύσσει περισσότερο αρνητική τάση στο συλλέκτη. Επειδή όμως ο συλλέκτης του Q_2 συνδέεται με τη βάση του Q_1 διαμέσου της αντιστάσεως R_1 , η αναπτυσσόμενη ανάστροφη πόλωση στο Q_1 , το οδηγεί σε αποκοπή. Η κατάσταση αυτή, στην οποία το Q_2 είναι ενεργοποιημένο και το Q_1 σε αποκοπή, είναι η δεύτερη ευσταθής κατάσταση του κυκλώματος. Το φαινόμενο αυτό επαναλαμβάνεται κάθε φορά που το τρανζίστορ σε αποκοπή θα ενεργοποιηθεί από ένα θετικό παλμό στην είσοδο σκανδάλης.

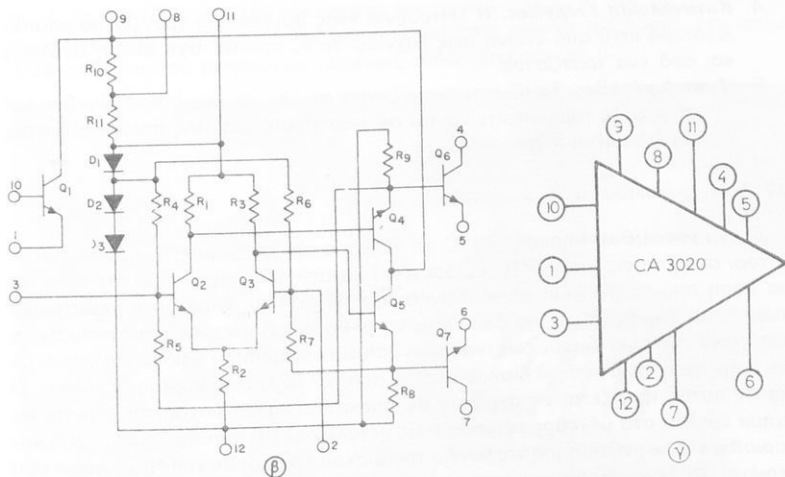
ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΤΕΤΑΡΤΟ

ΟΛΟΚΛΗΡΩΜΕΝΑ ΚΥΚΛΩΜΑΤΑ

4.1 Γενικά.

Ολοκληρωμένα κυκλώματα (Integrated Circuits) ή IC (Αϊ - Ση) είναι εκείνα των οποίων το φυσικό μέγεθος εντάσσεται στη μικροσκοπική κλίμακα. Η ανάπτυξή τους έχει ιστορία τριάντα περίπου ετών, η δε αναγκαιότητά τους πήγασε από τις διαστημικές κατασκευές, όπου ο διατιθέμενος χώρος για την εγκατάσταση ηλεκτρονικών συσκευών ήταν φυσικά πολύ περιορισμένος. Σήμερα βρισκόμαστε στο στάδιο μιας ηλεκτρονικής επανάστασης, το μέλλον της οποίας προβλέπεται ότι θα είναι ακόμη πιο εντυπωσιακό με την ανάπτυξη και τελειοποίηση των *μικροεπεξεργαστών* (microprocessors) που άρχισε στις τελευταίες δύο δεκαετίες. Ένα τυπικό IC μπορεί να περιέχει π.χ. 7 τρανζίστορ, 12 αντιστάσεις και 4 διόδους, το δε φυσικό του μέγεθος να μην υπερβαίνει ένα πλακίδιο με διαστάσεις 1,5 x 1,5 χιλιοστά του μέτρου! Στο σχήμα 4.1 εικονίζεται ένα IC σε μεγέθυνση και στο πραγματικό φυσικό του μέγεθος.





Σχ. 4.1.

α) Μεγέθυνση ενός IC, β) το σχηματικό διάγραμμά του, γ) το συμβολικό ηλεκτρονικό του σχέδιο και δ) το φυσικό του μέγεθος.

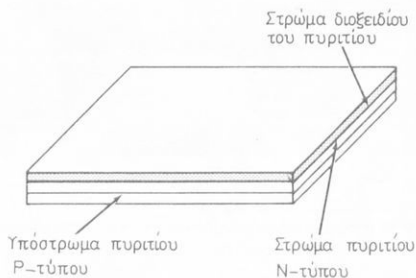
Τα κύρια πλεονεκτήματα των IC σε σύγκριση με τα συμβατικά κυκλώματα, είναι:

1. **Αξιοπιστία.** Δε χαλούν εύκολα και διαρκούν περισσότερο χρονικό διάστημα.
2. **Ευκολία στη συντήρηση.** Σε περίπτωση προβληματικής λειτουργίας τους τα IC αντικαθίστανται ολόκληρα με νέα. Το αντικαθιστάμενο IC, λόγω της ιδιόμορφης κατασκευής του, δεν επιδιορθώνεται ούτε ξαναχρησιμοποιείται.
3. **Κόστος.** Το κόστος των IC, με τις ραγδαίες βελτιώσεις των μεθόδων παραγωγής, μειώνεται συνεχώς. Όταν πρωτοεμφανίσθηκαν στην αγορά στοίχιζαν περίπου 50.000 σημερινές δραχμές το ένα, ενώ σήμερα κοστίζουν από 100 μέχρι 500 δρχ.

4. **Κατανάλωση ενέργειας.** Η λειτουργία ενός συμβατικού τρανζίστορ απαιτεί λιγότερη ισχύ από εκείνη μιας λυχνίας. Το IC απαιτεί ισχύ ακόμη λιγότερη και από ένα τρανζίστορ.
5. **Φυσικό μέγεθος.** Τα IC κατασκευάζονται σε όλο και μικρότερο μέγεθος και οι εφαρμογές τους επεκτείνονται σε συστήματα μεγάλης πολυπλοκότητας σε περιορισμένο χώρο.

4.2 Δομή μονολιθικού κυκλώματος.

Σε ένα **μονολιθικό** (monolithic) IC, τα διάφορα στοιχεία του κυκλώματος (τρανζίστορ, αντιστάσεις, πυκνωτές, δίοδοι κλπ.) κατασκευάζονται ενσωματωμένα σε μια βάση από ημιαγωγίμο υλικό, συνήθως πυρίτιο, που ονομάζεται **υπόστρωμα** (substrate). Σύμφωνα με μια διαδεδομένη μέθοδο κατασκευής, που ονομάζεται **επιταξιακό σύστημα διαχύσεως** (epitaxial diffusion system), η διαδικασία ξεκινά με την κοπή ενός πολύ λεπτού δίσκου (wafer) από τον κρύσταλλο πυρίτιου P-τύπου. Ο δίσκος αυτός τροχίζεται με ακρίβεια σε προκαθορισμένο πάχος και κόβεται σε σχήμα κύκλου στο μέγεθος περίπου ενός μεταλλικού πενντάδραχμου. Αφού καθαρισθεί και λειανθεί, η μια επιφάνεια του δίσκου έρχεται σε επαφή με αέριο που περιέχει τα ξένα άτομα και επιτυγχάνεται πρόσμιξη κάτω από υψηλή θερμοκρασία. Τα ξένα άτομα διαχέονται στο υπόστρωμα και δημιουργούν ένα λεπτό στρώμα πυρίτιου N-τύπου, που λέγεται **επιταξιακό στρώμα** (epitaxial layer). Ο δίσκος τοποθετείται κατόπιν σε ένα ειδικό φούρνο με πολύ υψηλή θερμοκρασία, μέσα στον οποίο διοχετεύεται αέριο οξυγόνο, με αποτέλεσμα να επέλθει οξειδωση (χημική αντίδραση του οξυγόνου με το πυρίτιο) και να δημιουργηθεί ένα προστατευτικό στρώμα διοξειδίου του πυρίτιου (SiO_2). Στο σχήμα 4.2α φαίνονται τα τρία στρώματα του δίσκου.

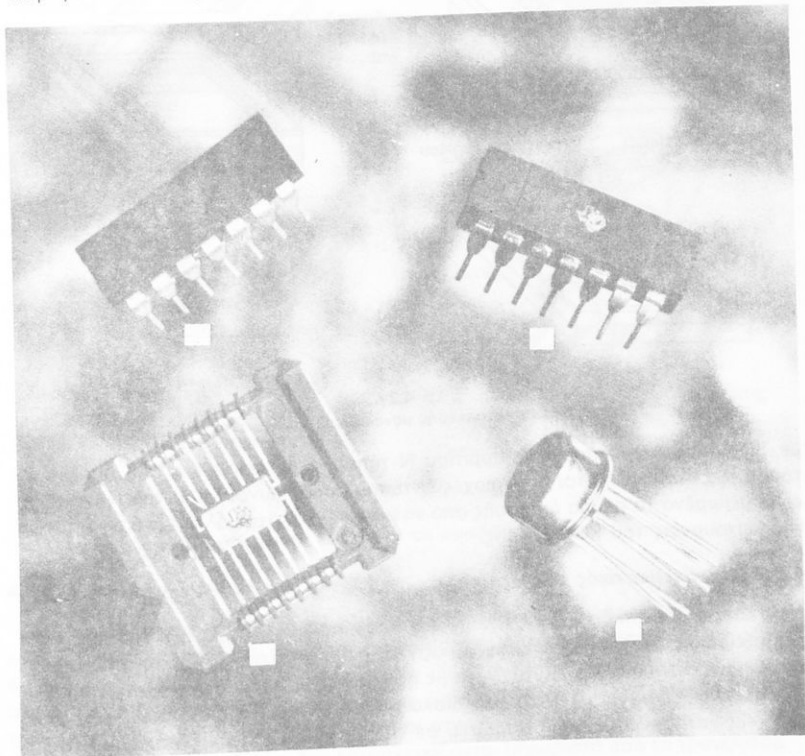


Σχ. 4.2α.

Τα τρία βασικά στρώματα κατά την κατασκευή μονολιθικού IC.

Σε ένα δίσκο κατασκευάζονται ταυτόχρονα πολλά ολοκληρωμένα κυκλώματα, που καταλαμβάνουν ένα προκαθορισμένο χώρο, όχι μεγαλύτερο από $1,5 \times 1,5$ χιλιοστά του μέτρου το καθένα. Η διαδικασία κατασκευής των IC, που λέγονται στην περίπτωση αυτή «τσιπς» (chips), αρχίζει με τη χάραξη τους πάνω στο δίσκο (που προετοιμάστηκε όπως αναφέρθηκε παραπάνω), με τη βοήθεια ενός εργαλείου με διαμαντένια αιχμή. Κάθε τσιπ συγκολλάται πάνω σε ένα κεραμικό υλικό και μαζί τοποθετούνται σε μια βάση, η οποία φέρει τους κατάλληλους ακροδέκτες για τη

σύνδεση του IC με τα άλλα κυκλώματα εφαρμογής. Τέλος, το τσιπ με τη βάση του περικλείεται σε ένα πλαίσιο, το οποίο ονομάζεται **πακέτο** (package). Στο σχήμα 4.2β φαίνονται σε μεγέθυνση τέσσερις τύποι πακέτων με IC.

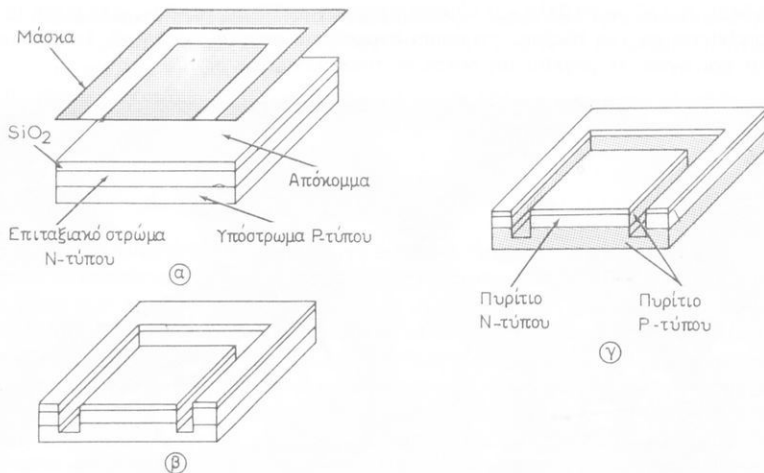


Σχ. 4.2β.

Φωτογραφία σε μεγέθυνση τεσσάρων κοινών τύπων IC «πακέτων».

4.2.1 Κατασκευή.

Σε πρώτη φάση γίνεται επίστρωση της επιφάνειας του διοξειδίου του πυριτίου με ένα λεπτό στρώμα μιας φωτοευαίσθητης ουσίας. Τα τμήματα της επιφάνειας στα οποία θα κατασκευασθούν τα διάφορα στοιχεία του IC καλύπτονται από υλικό επιλεκτικής καλύψεως ή **μάσκες** (masks) [σχ. 4.2γ(α)] με σκοπό να εμποδίσουν το υπεριώδες φως που ρίχνεται σκόπιμα πάνω στο δίσκο για να αποτυπωθεί το σχέδιο του IC. Το φως μετατρέπει τις ακάλυπτες επιφάνειες σε μια ουσία η οποία μπορεί να αφαιρεθεί εύκολα με τη χάραξη. Η χάραξη αφαιρεί το επιταξιακό στρώμα, σύμφωνα με το σχέδιο του IC [σχ. 4.2γ(β)]. Η διαδικασία κατασκευής του IC συνεχίζεται με τη διάχυση ενός αερίου με Ρ-τύπου άτομα (συνήθως Βόριο) μέσα στα χαραγμένα κανάλια του επιταξιακού στρώματος. Οι επιφάνειες που είχαν καλυφθεί



Σχ. 4.2γ.

Βασικά στάδια κατασκευής μονολιθικού κυκλώματος IC.

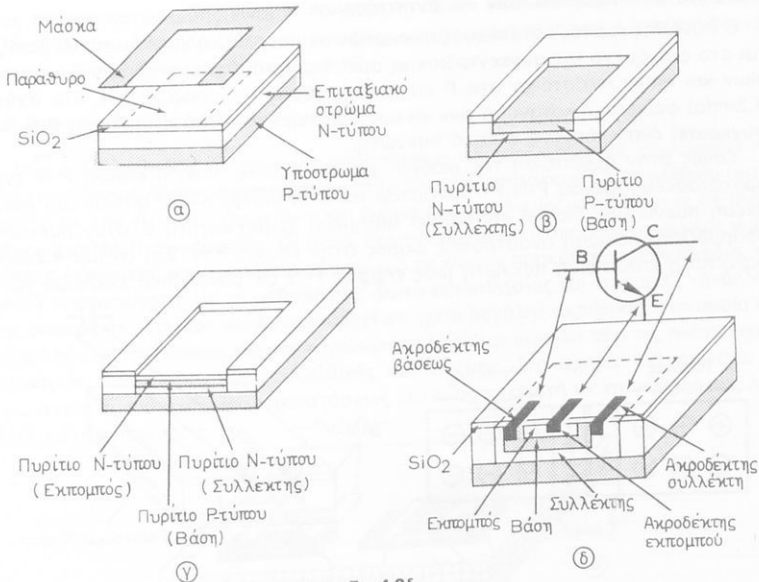
με SiO_2 είναι τώρα περιοχές πυριτίου N-τύπου, περικλειόμενες από πυρίτιο P-τύπου [σχ. 4.2γ(γ)]. Έτσι οι περιοχές N-τύπου απομονώνονται με αποτέλεσμα να είναι μειωμένο το ρεύμα διαρροής από τη μια περιοχή στην άλλη κατά τη διάρκεια της λειτουργίας του κυκλώματος.

4.2.2 Κατασκευαστικός κύκλος.

Ο κατασκευαστικός κύκλος του μονολιθικού κυκλώματος IC έχει τέσσερα στάδια, οξείδωση, φωτο-αποτύπωση, χάραξη και διάχυση. Στην πράξη, τα στάδια αυτά ολοκληρώνονται σχεδόν ταυτόχρονα με σύγχρονες μεθόδους αυτόματης παραγωγής πολλών IC πάνω στον αρχικό δίσκο του πυριτίου. Τα διάφορα ηλεκτρονικά στοιχεία κατασκευάζονται ξεχωριστά σε συγκεκριμένες θέσεις του κάθε τσιπ.

4.2.3 Κατασκευή τρανζίστορ.

Τα διάφορα στάδια κατασκευής ενός N-P-N τρανζίστορ σε μια συγκεκριμένη περιοχή του μονολιθικού κυκλώματος IC φαίνονται στο σχήμα 4.2δ. Το πρώτο στάδιο αφορά τη φωτοαποτύπωση του «παραθύρου» του τσιπ με χρησιμοποίηση της μάσκας [σχ. 4.2δ(α)] και υπεριώδους φωτός. Ακολουθεί η χάραξη και διάχυση ατόμων P-τύπου στην περιοχή του «παραθύρου» μέχρι ένα προκαθορισμένο βάθος. Το επιταξιακό στρώμα που βρίσκεται ακριβώς από κάτω είναι N-τύπου και αποτελεί το συλλέκτη του τρανζίστορ [σχ. 4.2δ(β)]. Ο κύκλος οξείδωση - φωτοαποτύπωση - χάραξη - διάχυση επαναλαμβάνεται, αυτή δε τη φορά άτομα N-τύπου διαχέονται στη βάση P-τύπου μέχρι ένα καθορισμένο βάθος. Σχηματίζεται έτσι ένα στρώμα N-τύπου ακριβώς πάνω από τη βάση, που αποτελεί τον εκπομπό του τρανζίστορ [σχ. 4.2δ(γ)]. Μια πληρέστερη εικόνα του ολοκληρωμένου τρανζίστορ φαίνεται στο σχήμα 4.2δ(δ), που περιλαμβάνει τους τρεις απαραίτητους ακροδέκτες.

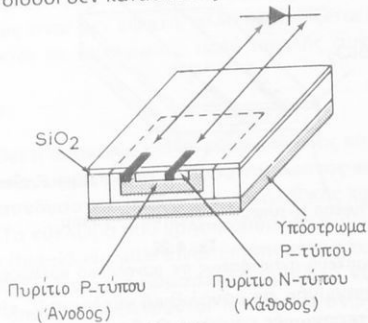


Σχ. 4.26.

Στάδια κατασκευής τρανζίστορ σε μονολιθικό κύκλωμα IC.

4.2.4 Κατασκευή διόδων.

Για να μην επαναλαμβάνεται νέα διαδικασία κατασκευής διόδων στα μονολιθικά κυκλώματα IC συνηθίζεται να χρησιμοποιούνται τα ήδη υπάρχοντα τρανζίστορ ως διόδοι, όταν βέβαια δεν χρησιμοποιούνται ως τρανζίστορ. Έτσι π.χ. ένα τρανζίστορ P-N-P μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως διάδος P-N με εκμετάλλευση των δύο τρίτων της γεωμετρίας του, όπως φαίνεται στο σχήμα 4.2ε. Στα IC, για οικονομικούς κυρίως λόγους, οι διόδοι δεν κατασκευάζονται ξεχωριστά από τα τρανζίστορ.



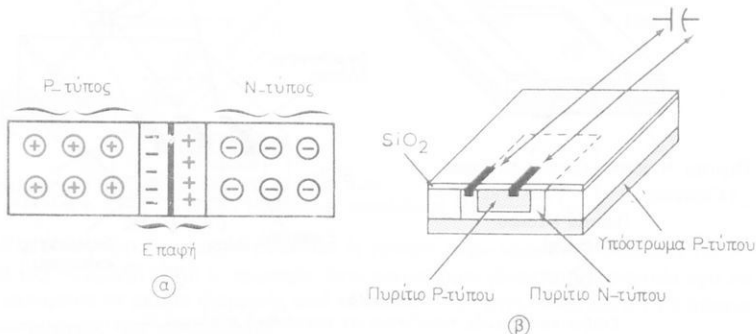
Σχ. 4.2ε.

Κατασκευή διόδου σε μονολιθικό κύκλωμα IC.

4.2.5 Κατασκευή πυκνωτών και αντιστάσεων.

Ο συνήθης τρόπος κατασκευής πυκνωτών σε μονολιθικά κυκλώματα IC βασίζεται στο φαινόμενο της συγκεντρώσεως αρνητικών και θετικών ιόντων ή ηλεκτρονίων και οπών αντίστοιχα στο P και στο N μέρος της επαφής P-N. Στο σχήμα 4.2στ(α) φαίνεται η κατανομή των ιόντων αριστερά και δεξιά της επαφής P-N που συγκροτεί ένα ενδογενή φυσικό πυκνωτή.

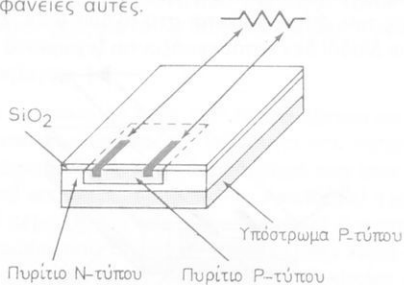
Όπως στην περίπτωση της διόδου, χρησιμοποιείται πάλι η επαφή P-N ενός προκατασκευασμένου P-N-P τρανζίστορ και έτσι αποφεύγεται η ιδιαίτερη κατασκευή πυκνωτών. Για να επιτευχθεί αυξημένη χωρητικότητα C στον πυκνωτή, εφαρμόζεται πόλωση ανάστροφης φοράς στην επαφή P-N. Στο σχήμα 4.2στ(β) φαίνεται η κατασκευή πυκνωτή μιας επαφής P-N σε μονολιθικό κύκλωμα IC.



Σχ. 4.2στ.

Φυσικός ενδογενής πυκνωτής P-N επαφής και κατασκευή του σε IC.

Η κατασκευή αντιστάσεων στο μονολιθικό κύκλωμα IC γίνεται με τη διάχυση P-τύπου ατόμων στο επιταξιακό στρώμα, όπως φαίνεται στο σχήμα 4.2ζ. Οι διαφορετικές τιμές αντιστάσεως επιτυγχάνονται με την αυξομείωση του εμβαδού των επιφανειών διαχύσεως και τη μεταβολή της πυκνότητας των ξένων φορέων που διαχέονται στις επιφάνειες αυτές.



Σχ. 4.2ζ.

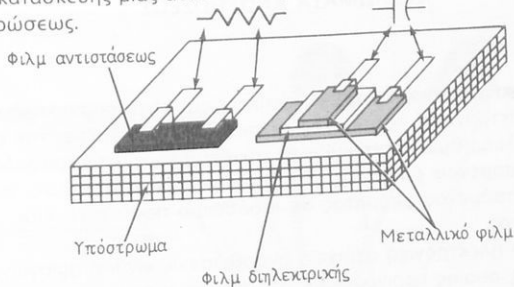
Κατασκευή αντιστάσεως σε μονολιθικό κύκλωμα IC.

Η κατασκευή αυτεπαγωγής, σε μονολιθικό κύκλωμα IC είναι δύσκολη, συνήθως δε περιορίζεται σε αυτεπαγωγές χαμηλού Q. Επιτυγχάνεται με τη διάχυση μεγάλης πυκνότητας ξένων ατόμων σε ελικοειδές σχήμα. Οποσδήποτε όμως η ποιότητα

μιας τέτοιας κατασκευής είναι πολύ χαμηλή. Όταν είναι απαραίτητη η παρουσία αυτεπαγωγής με υψηλό Ω , χρησιμοποιείται συμβατική αυτεπαγωγή που συνδέεται εξωτερικά στο μονολιθικό κύκλωμα IC.

4.3 Στοιχεία λεπτής επιστρώσεως.

Μια άλλη μέθοδος κατασκευής αντιστάσεων και πυκνωτών σε κυκλώματα IC είναι η μέθοδος **λεπτής επιστρώσεως** (thin film). Η κατασκευή με τη μέθοδο αυτή αρχίζει με την εξάτμιση αγωγίμων και διηλεκτρικών υλικών αντιστάσεων σε συνθήκες υψηλής θερμοκρασίας. Οι ατμοί συμπυκνώνονται στην επιφάνεια ενός γυάλινου ή κεραμικού υποστρώματος σύμφωνα με κάποιο προκαθορισμένο σχέδιο, το οποίο αποτυπώνεται με τη μέθοδο της φωτο-ευαισθησίας και τη χρήση κατάλληλης μάσκας. Η μέθοδος αυτή δημιουργεί στοιχεία μεγάλης ακριβείας, στα οποία το εμβαδόν της επιφάνειας που επιστρώνεται ελέγχεται εύκολα από τις αντίστοιχες επιφάνειες διαχύσεως της μονολιθικής κατασκευής. Στο σχήμα 4.3 φαίνεται η γεωμετρία κατασκευής μιας αντιστάσεως και ενός πυκνωτή με τη μέθοδο της λεπτής επιστρώσεως.



Σχ. 4.3.

Γεωμετρία κατασκευής αντιστάσεως και πυκνωτή με τη μέθοδο λεπτής επιστρώσεως.

Η κατασκευή τρανζίστορ και διόδων με τη μέθοδο της λεπτής επιστρώσεως είναι πολύ δύσκολη και πολύ δαπανηρή. Έτσι οι κατασκευές αυτές περιορίζονται μόνο στις πειραματικές εφαρμογές. Τέλος, η κατασκευή αυτεπαγωγής με τη μέθοδο της λεπτής επιστρώσεως είναι μεν εφικτή, αλλά περιορίζεται σε μικρές τιμές αυτεπαγωγής και εφαρμόζεται σε κυκλώματα πολύ υψηλής συχνότητας.

4.4 Υβριδικό κύκλωμα.

Για να αντιμετωπισθεί η δυσκολία και το υψηλό κόστος κατασκευής των τρανζίστορ, διόδων και αυτεπαγωγών με τη μέθοδο της λεπτής επιστρώσεως, αναπτύχθηκε η μέθοδος του συνδυασμού στοιχείων μονολιθικής κατασκευής με στοιχεία λεπτής επιστρώσεως. Το κύκλωμα που χρησιμοποιεί το συνδυασμό αυτό ονομάζεται **υβριδικό κύκλωμα** (hybrid circuit). Είναι επίσης μικροσκοπικό σε μέγεθος και εντάσσεται στα ολοκληρωμένα κυκλώματα. Το υβριδικό κύκλωμα έχει ως βάση ένα υπόστρωμα, στο οποίο τοποθετούνται πρώτα τα στοιχεία λεπτής επιστρώσεως και ύστερα τα υπόλοιπα στοιχεία που έχουν κατασκευασθεί με τη μονολιθική μέθοδο.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΠΕΜΠΤΟ

ΚΥΚΛΩΜΑΤΑ ΑΝΟΡΘΩΣΕΩΣ

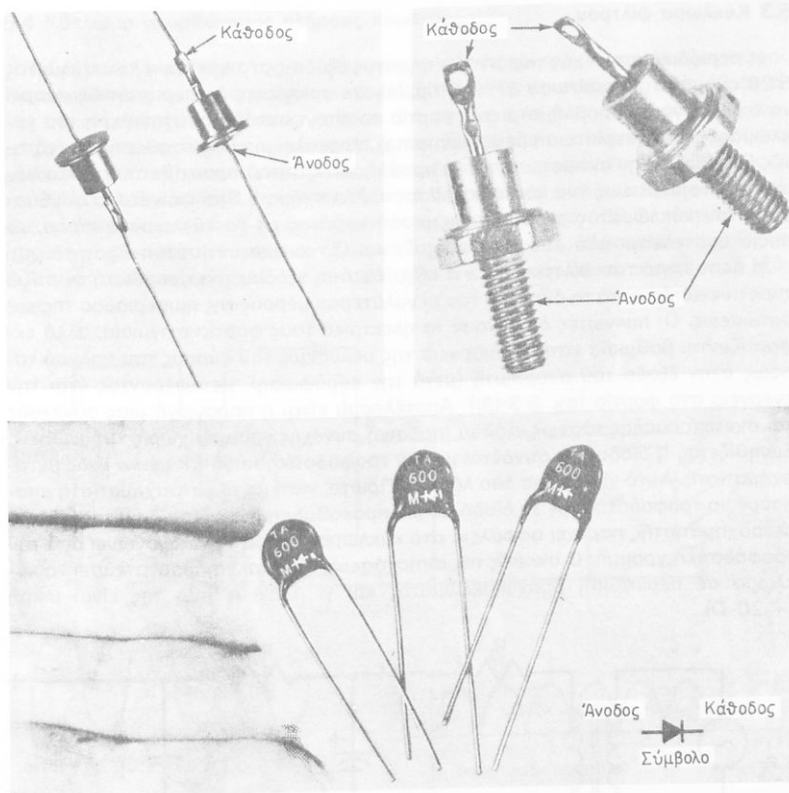
5.1 Γενικά.

Η αναγκαιότητα της **ανορθώσεως** (rectification) είναι ουσιαστική σε όλες τις βιομηχανικές ηλεκτρονικές εφαρμογές. Η ανόρθωση επιτρέπει την απ' ευθείας τροφοδότηση πολυαριθμών συσκευών με σύνδεσή τους στην τροφοδοτική γραμμή του εναλλασσόμενου ρεύματος. Τα κυκλώματα ανορθώσεως, μετατρέπουν ενέργεια εναλλασσόμενου ρεύματος σε ισοδύναμο ποσό ενέργειας, υπό μορφή συνεχούς ρεύματος.

Το βασικότερο ηλεκτρονικό στοιχείο ανορθώσεως είναι η ημιαγώγιμη δίοδος, τη λειτουργία της οποίας περιγράψαμε στο πρώτο κεφάλαιο.

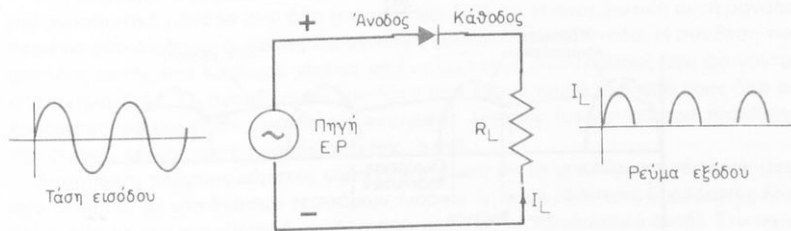
5.2 Ημιαγώγιμη δίοδος ως ανορθωτής.

Η ημιαγώγιμη δίοδος συνίσταται σε μια επαφή P-N, η οποία επιτρέπει τη διέλευση ρεύματος, όταν η εφαρμοζόμενη τάση έχει την ορθή πολικότητα, ενώ προβάλλει μεγάλη αντίσταση στη διέλευση ρεύματος, όταν η τάση έχει την αντίστροφη πολικότητα. Όπως είδαμε στο πρώτο κεφάλαιο, η φορά τάσεως που επιτρέπει τη διέλευση ρεύματος ονομάζεται **πώλωση ορθής φοράς** (forward bias) και η φορά τάσεως που προβάλλει μεγάλη αντίσταση στη διέλευση ρεύματος **πώλωση ανάστροφης φοράς** (reverse bias). Στο σχήμα 5.2α φαίνονται τρεις βασικοί τύποι ημιαγωγίμων διόδων ανορθώσεως. Όταν στη δίοδο ενός κυκλώματος ανορθώσεως εφαρμοσθεί μια εναλλασσόμενη τάση, η δίοδος πολώνεται διαδοχικά σε ορθή και ανάστροφη φορά. Το ρεύμα τη διαπερνά μόνο κατά τη διάρκεια του ημικυκλίου της ημιτονοειδούς τάσεως, κατά την οποία η κάθοδος της διόδου είναι αρνητική ως προς την άνοδο. Έτσι, το ρεύμα της διόδου παίρνει την παλμική μορφή του σχήματος 5.2β. Παρατηρούμε ότι το ρεύμα εξόδου υπάρχει μόνο στο θετικό ημικόκλιο, ενώ αποκόπτεται τελείως στο αρνητικό ημικόκλιο. Για το λόγο αυτό το κύκλωμα του σχήματος 5.2β ονομάζεται **κύκλωμα ανορθώσεως μισού κύματος** (half-wave rectifier circuit).



Σχ. 5.2α.

Ημιαγωγίμοι δίοδοι ανορθώσεως τριών βασικών τύπων.



Σχ. 5.2β.

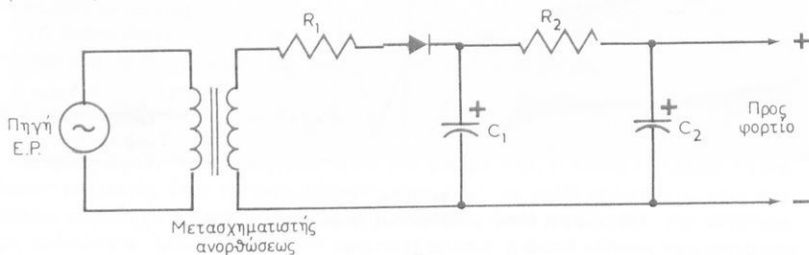
Λειτουργία δίοδου ως ανορθωτή μισού κύματος.



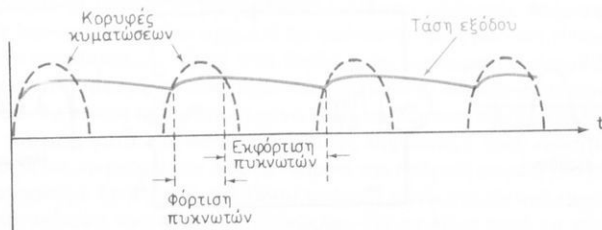
5.3 Κύκλωμα φίλτρου.

Η περιοδικά ασυνεχής μορφή του σήματος εξόδου στο κύκλωμα του σχήματος 5.2β ονομάζεται **κυμάτωση ΕΡ** (AC ripple), σε ορισμένες δε περιπτώσεις μπορεί να δημιουργήσει προβλήματα στο φορτίο το οποίο συνδέεται στην άκρη του κυκλώματος. Στην περίπτωση μεγαψώνου π.χ., προκαλεί μια βοή σταθερής συχνότητας 50 Hz. Για την αντιμετώπιση του προβλήματος αυτού προστίθεται στο κύκλωμα της ανορθώσεως ένα κύκλωμα φίλτρου. Στο σχήμα 5.3(α) φαίνεται ο συνδυασμός του κυκλώματος ανορθώσεως μισού κύματος με το κύκλωμα φίλτρου, το οποίο αποτελείται από δύο πυκνωτές C_1 και C_2 και μια αντίσταση R_2 .

Η λειτουργία του φίλτρου είναι η εξής: Η τάση εξόδου του ανορθωτή φορτίζει τους πυκνωτές, κατά τη διάρκεια του μεγαλύτερου μέρους της ημιπεριόδου της κυματώσεως. Οι πυκνωτές δε χάνουν το ηλεκτρικό τους φορτίο στιγμιαία, αλλά εκφορτίζονται βαθμιαία κατά τη διάρκεια της μείωσης του εύρους του παλμού τάσεως στην έξοδο του ανορθωτή (μετά την κορύφωση), μεταφέροντας έτσι την ενέργεια στο φορτίο [σχ. 5.3 (β)]. Αποτέλεσμα είναι η παραγωγή μιας συνεχούς και σχετικά ομαλής τάσεως εξόδου (πράσινη συνεχής γραμμή) χωρίς κυματώσεις. Συνηθίζεται, η είσοδος να συνδέεται με την τροφοδοτική πηγή ΕΡ μέσω ενός μετασχηματιστή. Αυτό γίνεται για δύο λόγους. Πρώτο, γιατί με το μετασχηματιστή μπορούμε να τροφοδοτήσουμε τη είσοδο με μια προκαθορισμένη τάση. Δεύτερο, γιατί ο μετασχηματιστής παρέχει ασφάλεια στο κύκλωμα, επειδή το απομονώνει από την τροφοδοτική γραμμή. Ο σκοπός της αντιστάσεως R_1 είναι να προστατεύσει το κύκλωμα σε περίπτωση βραχυκυκλώματος και γι' αυτό η τιμή της είναι μικρή ($\sim 20 \Omega$).



(α)



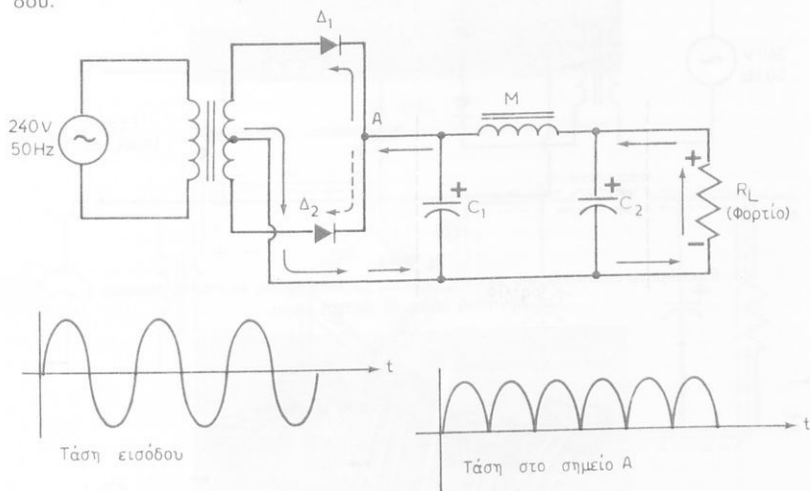
(β)

Σχ. 5.3.

Κύκλωμα και έξοδος φίλτρου ανορθώσεως.

5.4 Κύκλωμα ανορθώσεως πλήρους κύματος.

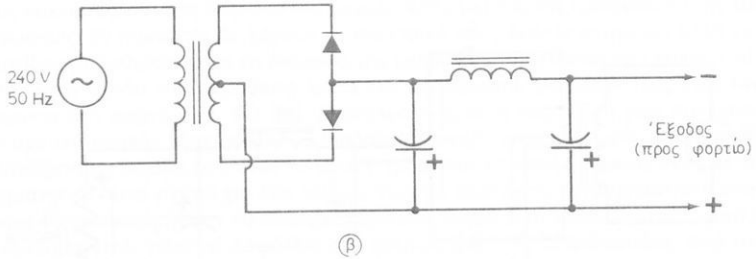
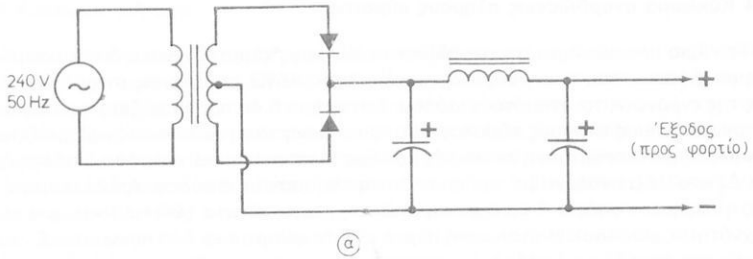
Το κύριο πλεονέκτημα της ανορθώσεως πλήρους κύματος είναι ο διπλασιασμός της αποδόσεως του προηγούμενου κυκλώματος, λόγω μεταφοράς στην έξοδο όλης της ενέργειας του σήματος εισόδου. Στο σχήμα 5.4α παρουσιάζεται το κύκλωμα ανορθώσεως πλήρους κύματος. Η απαιτούμενη τάση πολώσεως εφαρμόζεται μέσω του μετασχηματιστή *κεντρικής λήψεως* (center-tapped) στις δύο διόδους Δ_1 και Δ_2 εναλλάξ, ανάλογα με την πολικότητα της τάσεως εισόδου. Αποτέλεσμα είναι, η τάση στο σημείο A να έχει κυματώσεις με συχνότητα 100 Hz (διπλάσια της συχνότητας εισόδου). Η τάση αυτή περνά από το φίλτρο των δύο πυκνωτών C_1 και C_2 και της αυτεπαγωγής M, και μετατρέπεται σε μια συνεχή και ομαλή τάση εξόδου.



Σχ. 5.4α.
Κύκλωμα ανορθώσεως πλήρους κύματος.

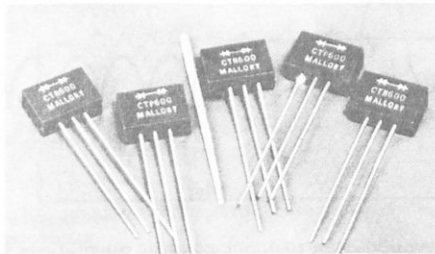
Στα κυκλώματα ανορθώσεως πλήρους κύματος συνηθίζεται να χρησιμοποιείται μια ανορθωτική μονάδα αντί δύο ξεχωριστών διόδων. Η ανορθωτική αυτή μονάδα περιέχει δύο διόδους, οι οποίες έχουν κοινή κάθοδο ή κοινή άνοδο. Η σύνδεση της μονάδας αυτής στο κύκλωμα γίνεται με ένα από τους δύο τρόπους που φαίνονται στο σχήμα 5.4β. Οι ανορθωτικές μονάδες που έχουν κοινό ένα από τους δύο ακροδέκτες ονομάζονται *ανορθωτές κεντρικής λήψεως* (center-tapped rectifiers) και φυσικά έχουν τρεις ακροδέκτες (σχ. 5.4γ).

Ανορθωση πλήρους κύματος επιτυγχάνεται και με τα *κυκλώματα γέφυρας* (bridge circuits), με συνδυασμό τεσσάρων διόδων (είτε με τέσσερις ξεχωριστές διόδους, είτε με μια ανορθωτική μονάδα που περιέχει το συνδυασμό αυτό). Στο σχήμα 5.4δ φαίνεται το σύμβολο και η φωτογραφία ανορθωτικών μονάδων με τέσσερις διόδους. Το ανορθωτικό κύκλωμα γέφυρας φαίνεται στο σχήμα 5.4ε. Στο κύκλωμα αυτό, δε χρειάζεται μετασχηματιστής κεντρικής λήψεως. Έτσι, όλη η τάση



Σχ. 5.4β.

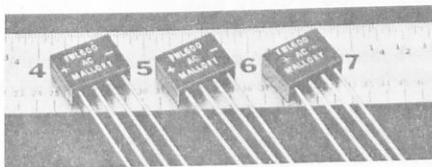
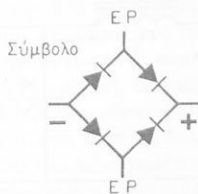
Κυκλώματα αρνητικής και θετικής λήψης με ανόρθωτές κεντρικής λήψης.
α) Αρνητική λήψη. β) Θετική λήψη.



Σχ. 5.4γ.

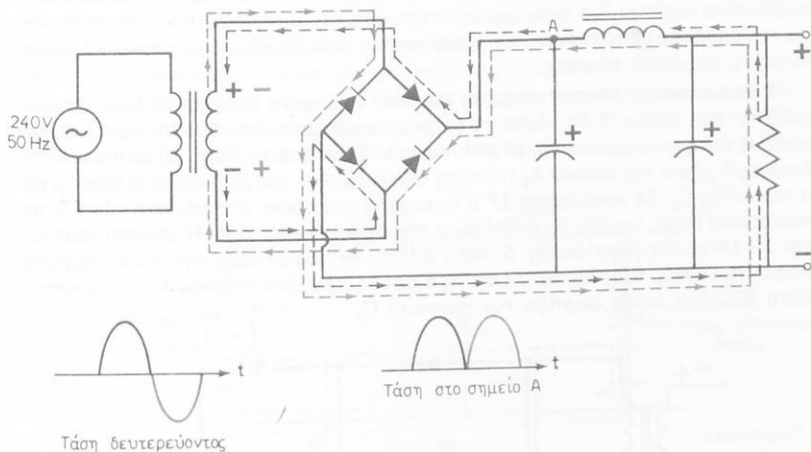
Ανόρθωτές κεντρικής λήψης (θετικής και αρνητικής).

του δευτερεύοντος προσφέρεται για ανόρθωση και όχι η μισή, όπως συμβαίνει όταν χρησιμοποιείται μετασχηματιστής κεντρικής λήψης. Κατά τη διάρκεια της εφαρμογής του θετικού ημικυκλίου τάσεως στο δευτερεύον του μετασχηματιστή (κόκκινη γραμμή), το ρεύμα εξόδου ρέει μέσω του σημείου A στη φορά της κόκκινης διακεκομμένης γραμμής, με αποτέλεσμα η τάση στο σημείο A να είναι θετική. Κατά τη διάρκεια εφαρμογής του δεύτερου ημικυκλίου τάσεως στο δευτερεύον του μετασχηματιστή (μπλε γραμμή), η φορά του ρεύματος εξόδου είναι η ίδια μέχρι το σημείο A (μπλε διακεκομμένη γραμμή). Από εκεί και πέρα όμως διαφοροποιείται και ακολουθεί διαφορετική διαδρομή μέσω της γέφυρας. Βέβαια, η τάση στο σημείο A είναι πάλι θετική, δηλαδή επιτυγχάνεται ανόρθωση πλήρους κύματος.



Σχ. 5.4δ.

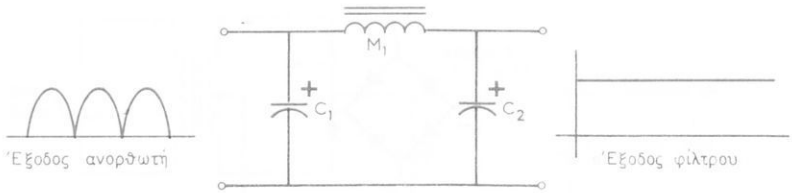
Ανορθωτικές μονάδες πλήρους κύματος με γέφυρα.



Σχ. 5.4ε.

Ανορθωτικό κύκλωμα γέφυρας.

Στα ανορθωτικά κυκλώματα πλήρους κύματος χρησιμοποιείται φίλτρο δύο πυκνωτών και μιας αυτεπαγωγής σε σχήμα Π, το οποίο ονομάζεται **φίλτρο εισόδου πυκνωτή Π-τύπου** (capacitor input filter Π-type). Το φίλτρο αυτό ενδείκνυται στα κυκλώματα ανορθώσεως πλήρους κύματος, επειδή συνδυάζει τις ιδιότητες συσσωρεύσεως ενέργειας του πυκνωτή και της αυτεπαγωγής και εξομαλύνει τις κυματώσεις του ανορθωτικού κυκλώματος. Η δράση του πυκνωτή αναλύθηκε στην παράγραφο 5.2. Η δράση της αυτεπαγωγής έγκειται στο ότι αποκλείει τις εναλλασσόμενες συνιστώσες του ρ επιτρέπεται τη διέλευση του συνεχούς ρεύ-



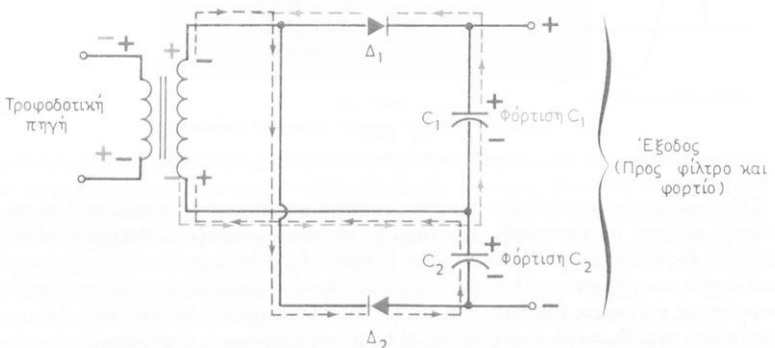
Σχ. 5.4στ.
Φίλτρο εισόδου Π - τύπου.

ματος. Δηλαδή, ο συνδυασμός σε σχήμα Π του πυκνωτή και της αυτεπαγωγής εξαφανίζει κάθε κυμάτωση και παράγει συνεχή και σταθερή τάση εξόδου (σχ. 5.4στ).

5.5 Κύκλωμα διπλασιασμού τάσεως.

Το *κύκλωμα διπλασιασμού τάσεως* (voltage-doubler circuit) επιτρέπει την αύξηση της τάσεως εξόδου των ανορθωτικών κυκλωμάτων, χωρίς μετασχηματιστή ο οποίος είναι σχετικά βαρύς αλλά και δαπανηρός. Η τάση εξόδου του κυκλώματος αυτού είναι περίπου 2,5 φορές μεγαλύτερη από την τιμή RMS (Root Mean Square) της τροφοδοτικής τάσεως. Οι διπλασιαστές τάσεως είναι δύο τύπων, πλήρους κύματος και μισού κύματος.

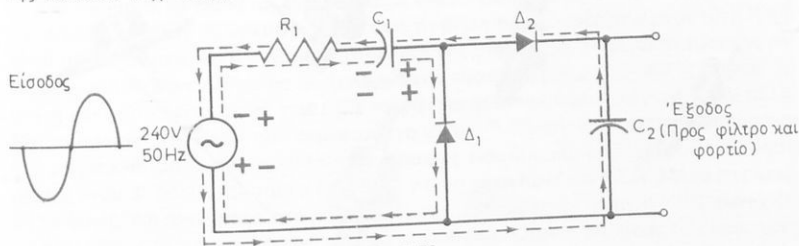
Ο *διπλασιαστής τάσεως πλήρους κύματος* (full wave voltage-doubler) παρουσιάζεται στο σχήμα 5.5α. Κατά τη διάρκεια εφαρμογής της θετικής ημiperόδου τάσεως στο μετασχηματιστή, το ρεύμα εμποδίζεται από τη διόδο Δ_1 , ακολουθεί τη διαδρομή μέσω της διόδου Δ_2 (κόκκινη διακεκομμένη γραμμή) και έτσι φορτίζεται ο πυκνωτής C_2 . Σε κυκλώματα ΣΡ ο πυκνωτής φορτίζεται στη μέγιστη τάση. Στην περίπτωση όμως του ΕΡ, τα 240V είναι η ενδεικνυόμενη τάση. Η μέγιστη τάση είναι 1,414 φορές μεγαλύτερη, δηλαδή 340V. Αν αφαιρέσουμε την πτώση τάσεως στις αντιστάσεις, τους πυκνωτές και τις διόδους, που είναι περίπου 10V, προκύπτει τάση 330V, η οποία φορτίζει τον πυκνωτή C_2 .



Σχ. 5.5α.
Διπλασιαστής τάσεως πλήρους κύματος.

Κατά τη διάρκεια εφαρμογής στο μετασχηματιστή της αρνητικής ημιπεριόδου τάσεως, το ρεύμα ηλεκτρονίων αναχωρεί από τον αρνητικό (μπλε) ακροδέκτη του δευτερεύοντος και φορτίζει τον πυκνωτή C_1 ακολουθώντας τη διαδρομή που παριστάνεται με μπλε διακεκομμένη γραμμή. Δηλαδή ο πυκνωτής C_1 φορτίζεται κατά τη διάρκεια του αρνητικού ημικυκλίου τάσεως εισόδου κάθε 1/50 του δευτερολέπτου. ο δε πυκνωτής C_2 φορτίζεται κατά τη διάρκεια του θετικού ημικυκλίου τάσεως εισόδου, πάλι κάθε 1/50 του δευτερολέπτου. Οι δύο πυκνωτές είναι συνδεδεμένοι σε σειρά και κατά συνέπεια η τάση εξόδου είναι ίση με το άθροισμα των τάσεων των δύο πυκνωτών, δηλαδή $330 + 330 = 660V$. Το σήμα εξόδου του διπλασιαστή τάσεως διέρχεται από το φίλτρο εξομαλύνσεως τάσεως πριν εφαρμοσθεί στο φορτίο.

Ο **διπλασιαστής τάσεως μισού κύματος** (half-wave voltage doubler) φαίνεται στο σχήμα 5.5β. Στο κύκλωμα αυτό, αντίθετα από ό,τι στο κύκλωμα του διπλασιαστή τάσεως πλήρους κύματος, η έξοδος είναι η τάση ενός μόνο πυκνωτή, του C_2 . Όταν η τάση εισόδου έχει την πολικότητα με τα κόκκινα πρόσημα, η ροή του ρεύματος ακολουθεί την κόκκινη διακεκομμένη γραμμή. Έτσι, το ρεύμα διαπερνά τη δίοδο Δ_1 και φορτίζει τον πυκνωτή C_1 σε 330V, σύμφωνα με την πολικότητα που φαίνεται στο σχήμα. Κατά την εφαρμογή του επόμενου ημικυκλίου τάσεως από την πηγή (πολικότητα με μπλε πρόσημα), το ρεύμα ρέει προς την αντίθετη φορά (μπλε διακεκομμένη γραμμή), εμποδίζεται όμως από τη δίοδο Δ_1 και διαπερνά τη δίοδο Δ_2 . Ο πυκνωτής C_1 είναι ήδη φορτισμένος στη μέγιστη τάση των 330V, αφού η πολικότητα των δύο αυτών τάσεων είναι ομόρροπη. Τελικά, ο πυκνωτής C_2 φορτίζεται κάθε 1/100 του δευτερολέπτου στη διπλάσια περίπου μέγιστη τάση της εισόδου (σχ. 5.5β).

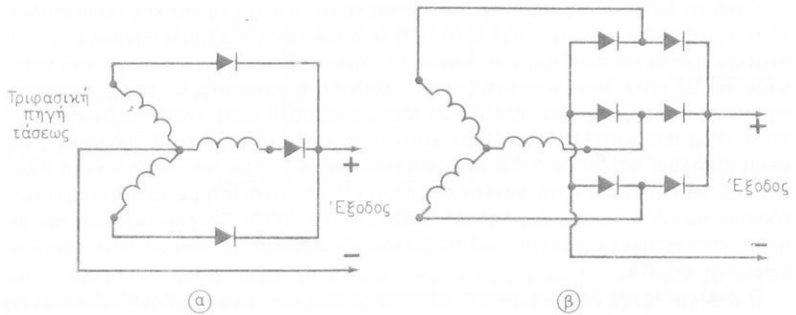


Σχ. 5.5β. Διπλασιαστής τάσεως μισού κύματος.

Με παρόμοια κυκλώματα είναι δυνατό να διπλασιάσουμε, να τριπλασιάσουμε κ.ο.κ. την τάση της πηγής, χωρίς να χρησιμοποιήσουμε μετασχηματιστή. Τα κυκλώματα αυτά έχουν μικρή απόδοση για πολλαπλασιασμό της τάσεως πέρα από το τετραπλάσιο και γι' αυτό η εφαρμογή τους ως **πολλαπλασιαστών τάσεως** (voltage multipliers) περιορίζεται κάτω από αυτό το όριο.

5.6 Ανόρθωση σε πολυφασικά συστήματα.

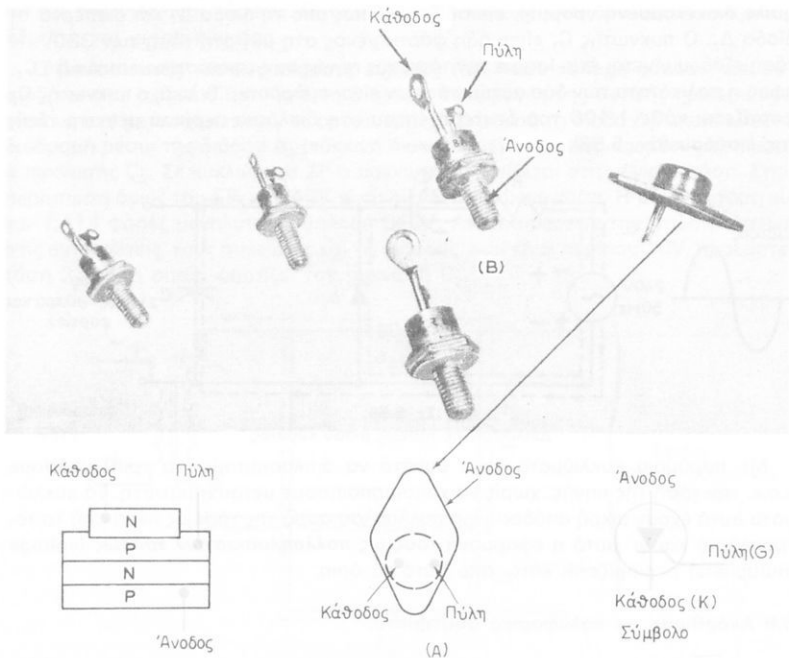
Στο σχήμα 5.6 φαίνονται τα κυκλώματα ανορθώσεως μισού και πλήρους κύματος τριφασικής πηγής τάσεως. Ο κύριος σκοπός αυτών των κυκλωμάτων είναι η απόδοσης υψηλότερες κυματώσεις στην περίπτωση αυ-



Σχ. 5.6.

Ανορθωτικά κυκλώματα μισού και πλήρους κύματος τριφασικής πηγής τάσεως.

τή είναι σχετικά υψηλής συχνότητας, η δε χρήση κυκλώματος φίλτρου εξαρτάται από τη συγκεκριμένη εφαρμογή. Κύκλωμα ανορθώσεως πλήρους κύματος εφαρμόζεται στον τριφασικό εναλλακτήρα των αυτοκινήτων.



Σχ. 5.7α.

Ελεγχόμενοι ανορθωτές πυριτίου: (Α) γεωμετρία, (Β) κοινός τύπος.

5.7 Ελεγχόμενος ανορθωτής πυριτίου (SCR).

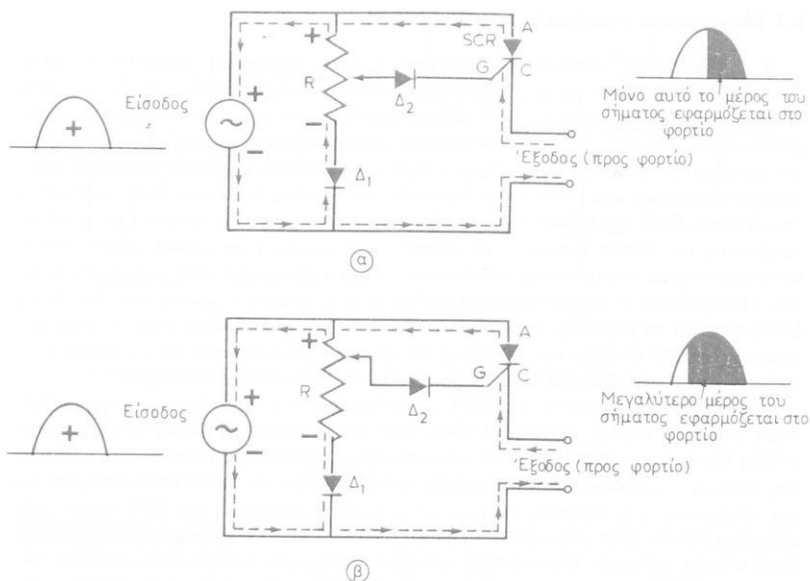
Ο *ελεγχόμενος ανορθωτής πυριτίου* (silicon-controlled rectifier) ή *SCR* (Es-σι-αρ) είναι εξάρτημα από ημιαγωγίμο υλικό με πάρα πολλές εφαρμογές στα βιομηχανικά ηλεκτρονικά. Οι SCR χρησιμοποιούνται κυρίως σε *κυκλώματα ελέγχου* (control circuits), για ρύθμιση τάσεων χωρίς απώλεια ισχύος. Οι συνηθέστερες εφαρμογές αφορούν κυκλώματα ελέγχου ηλεκτρικών μηχανών, διατάξεις φορτίσεως μπαταριών και κυκλώματα διακοπής. Στο σχήμα 5.7α φαίνονται ορισμένοι κοινοί τύποι SCR και η βασική γεωμετρία της συσκευής. Η συσκευή έχει τρεις ακροδέκτες την *άνοδο* (anode), την *κάθοδο* (cathode) και την *πύλη* (gate). Όπως στην περίπτωση της ημιαγωγίμης διόδου, ο SCR διαπερνάται από ρεύμα μόνον όταν εφαρμόζεται σ' αυτόν πόλωση ορθής φοράς. Διαφέρει όμως από την κοινή διόδο στο ότι το μέγεθος του ρεύματος αυτού είναι πολύ μικρό, όταν η τάση πολώσεως (μεταξύ ανόδου και καθόδου) δεν ξεπερνά μια ελάχιστη τιμή, η οποία ονομάζεται *τάση υπερβάσεως ορθής φοράς* (forward breakover voltage).

Η ιδιαίτερη χρησιμότητα του SCR σε κυκλώματα ελέγχου, διακοπής και ρυθμίσεως παροχής ισχύος, οφείλεται στην εξής χαρακτηριστική ιδιότητα: Στην περίπτωση που η εφαρμοζόμενη τάση πολώσεως ορθής φοράς είναι πολύ χαμηλότερη της τάσεως υπερβάσεως-ορθής φοράς, ο SCR μπορεί να τεθεί σε λειτουργία με την εφαρμογή ενός σήματος ελέγχου στην πύλη. Η διέγερση του SCR απαιτεί μια ελάχιστη θετική τάση στην πύλη (περίπου 2 V) που λέγεται *τάση σκανδάλης-πύλης* (gate-trigger voltage). Όταν ο SCR τεθεί σε λειτουργία, η τάση ελέγχου στην πύλη παύει να έχει επίδραση στο ρεύμα, ο δε SCR συνεχίζει να λειτουργεί ακόμη και αν μηδενισθεί η τάση ελέγχου. Η λειτουργία του μπορεί να διακοπεί με αναστροφή της πολώσεως, όπως γίνεται και στον κοινό ανορθωτή.

Στο σχήμα 5.7β φαίνεται ένα κύκλωμα ανορθώσεως μισού κύματος με SCR. Η τάση ελέγχου στην πύλη καθορίζεται από τη θέση του δρομέα του ρεοστάτη R και είναι πάντα θετική, γιατί εφαρμόζεται μέσω της διόδου Δ_2 . Η μέγιστη τιμή της τάσεως εισόδου κανονίζεται να μη ξεπερνά την τάση υπερβάσεως-ορθής φοράς, ώστε η εκκίνηση λειτουργίας του SCR να γίνεται από την τάση ελέγχου στην πύλη. Με το δρομέα στη θέση που φαίνεται στο σχήμα 5.7β (α), η τάση στην πύλη είναι ένα μικρό κλάσμα της μεταβαλλόμενης τάσεως εισόδου και υπάρχει καθυστέρηση μέχρις ότου φτάσει στην τιμή σκανδάλης για να εκκινήσει τον SCR. Μετά την εκκίνηση όμως, και ανεξάρτητα από τη μείωση της τάσεως στην πύλη, ο SCR συνεχίζει να άγει μέχρις ότου αναστραφεί η φορά πολώσεως. Όταν ο δρομέας του ρεοστάτη R τοποθετηθεί στη θέση που φαίνεται στο σχήμα 5.7β (β), η τάση ελέγχου που εφαρμόζεται στην πύλη είναι μεγαλύτερο κλάσμα της τάσεως εισόδου, και συνεπώς η τιμή σκανδάλης εμφανίζεται νωρίτερα από πριν. Επομένως η εκκίνηση του SCR γίνεται νωρίτερα. Είναι λοιπόν φανερό ότι με τη ρύθμιση του ρεοστάτη, μπορούμε να ελέγχομε το σημείο ενεργοποίησεως του SCR (κατά τη διάρκεια εφαρμογής του θετικού ημικυκλίου της εισόδου) και επομένως την ισχύ εξόδου στο φορτίο.

Ο SCR ανήκει στην κατηγορία των ημιαγωγίμων συσκευών που αποσκοπούν στον έλεγχο του ρεύματος. Επειδή ο έλεγχος ρεύματος επιτυγχάνεται και με λυχνίες *θύρατρον* (thyatron) τα στοιχεία που απαρτίζουν την ομάδα αυτή ονομάζονται *θυρίστορ* (thyristors).

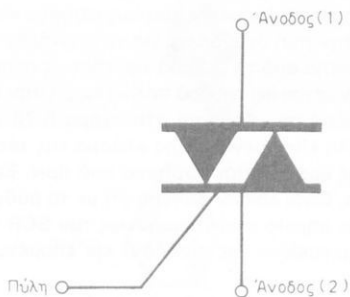
Τέλος, ελεγχόμενη ανόρθωση πλήρους κύματος επιτυγχάνεται με μια συσκευή



Σχ. 5.7β.

Κύκλωμα ανορθώσεως μισού κύματος με SCR.

που ισοδυναμεί με δύο SCR. Το σύμβολο της συσκευής αυτής φαίνεται στο σχήμα 5.7γ και ονομάζεται **τράιακ** (triac) ή **αμφίδρομος ελεγχόμενος ανορθωτής πυριτίου**. Παρατηρούμε ότι η συσκευή αυτή έχει δύο ανόδους, μια πύλη, ενώ δε διαθέτει κάθοδο. Το ρεύμα μπορεί να τη διαπερνά και προς τις δύο κατευθύνσεις. Λεπτομερέστερη ανάλυση της λειτουργίας της συσκευής θα γίνει στο έβδομο κεφάλαιο.

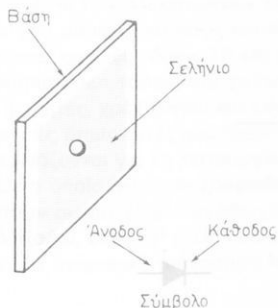


Σχ. 5.7γ.

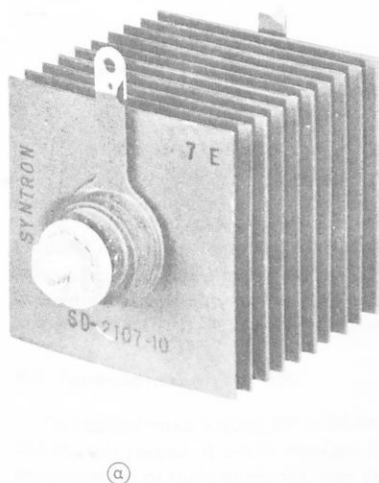
Σύμβολο ελεγχόμενου ανορθωτή πλήρους κύματος Triac.

5.8 Ανορθωτής σεληνίου.

Ο ανορθωτής σεληνίου κατασκευάζεται από πολλά στοιχεία, τα οποία συνδέονται παράλληλα και τα οποία αποτελούνται από μια βάση αλουμινίου επιστρωμένη με σελήνιο (σχ. 5.8α). Η επιστροφή γίνεται με τη μέθοδο της εξατμίσεως του υλικού σε υψηλή θερμοκρασία. Η διέλευση του ρεύματος είναι δυνατή από τη βάση προς το σελήνιο (από κάθοδο προς άνοδο). Ο ανορθωτής σεληνίου επιτρέπει τη διέλευση ενός μικρού ρεύματος προς την αντίθετη φορά κατά την εφαρμογή ανάστροφης πολώσεως. Σε σύγκριση με άλλους ανορθωτές, το ρεύμα αυτό είναι σχετικά μεγάλο (γύρω στα 4 mA για πόλωση $-10V$) και έτσι η ανόρθωση είναι λιγότερο αποδοτική από αυτήν που επιτυγχάνεται με ημιαγωγίμες διόδους ή διόδους λυχνίες. Στο σχήμα 5.8β φαίνεται ένας ανορθωτής σεληνίου που αποτελείται από πολλά στοιχεία συνδεδεμένα παράλληλα. Στο Β μέρος του σχήματος φαίνεται ένας



Σχ. 5.8α.
Βασικό στοιχείο ανορθωτή σεληνίου.



(α)



(β)

Σχ. 5.8β.

Ανορθωτές σεληνίου: (α) μονάδα μονοφασική μισού κύματος, (β) μονάδα 60 A με καταστολέα για προστασία από υψηλές τάσεις.

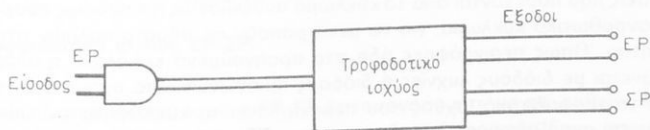
ανορθωτής σεληνίου 60Α με *σωληνοειδή καταστολέα* (suppressor) για προστασία από πολύ υψηλές τάσεις. Πρέπει να τονισθεί ότι οι ανορθωτές σεληνίου έχουν αυστηρά όρια ως προς την ενεργό τιμή τάσεως εισόδου και ως προς την τιμή του μέγιστου συνεχούς ρεύματος που παρέχουν στο φορτίο. Τυχόν υπέρβαση των οριακών αυτών πμών συνεπάγεται πλήρη καταστροφή του ανορθωτή.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΕΚΤΟ

ΤΡΟΦΟΔΟΤΙΚΑ ΙΣΧΥΟΣ

6.1 Γενικά.

Η λειτουργία των ηλεκτρονικών κυκλωμάτων απαιτεί την τροφοδότησή τους με ενέργεια υπό μορφή ρεύματος και τάσεως. Όπως είναι γνωστό η λειτουργία λιγνών απαιτεί υψηλές τάσεις ΣΡ και υψηλά ρεύματα, ενώ τα τρανζίστορ απαιτούν πολύ χαμηλότερες τάσεις και ρεύματα ΣΡ. Ορισμένες ηλεκτρονικές συσκευές, ιδίως οι φορητές, χρειάζονται και ειδικές μπαταρίες. Στις περισσότερες ηλεκτρονικές συσκευές, όπως αυτές που απαντώνται στη βιομηχανία, οι τάσεις και τα ρεύματα που χρειάζονται για τη λειτουργία τους παρέχονται από ειδικά ηλεκτρονικά κυκλώματα, τα οποία λέγονται **τροφοδοτικά ισχύος** (power supplies). Οι είσοδοι των κυκλωμάτων αυτών είναι συνήθως τάσεις εναλλασσόμενου ρεύματος (ΕΡ), και η έξοδος ή έξοδοι, είναι ΕΡ ή ΣΡ, ανάλογα με τους συγκεκριμένους σκοπούς που εκπληρούν. Το σχηματικό διάγραμμα του τροφοδοτικού ισχύος φαίνεται στο σχήμα 6.1.

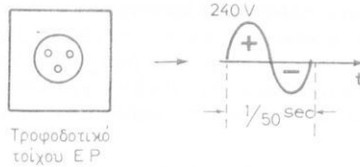


Σχ. 6.1.
Γενική διάταξη τροφοδοτικού ισχύος.

Τα τροφοδοτικά ισχύος διακρίνονται από τον τύπο της εισόδου τους. Όταν η είσοδός τους είναι τάση που προέρχεται κατ' ευθείαν από το τοπικό ηλεκτρικό δίκτυο λέγονται **τροφοδοτικά ισχύος ΕΡ** (AC power supplies). Όταν τα τροφοδοτικά μπορούν να λειτουργήσουν με είσοδο είτε ΕΡ είτε ΣΡ, λέγονται **τροφοδοτικά ισχύος ΕΡ-ΣΡ** (AC-DC power supplies).

6.2 Τροφοδοτικά ισχύος ΕΡ.

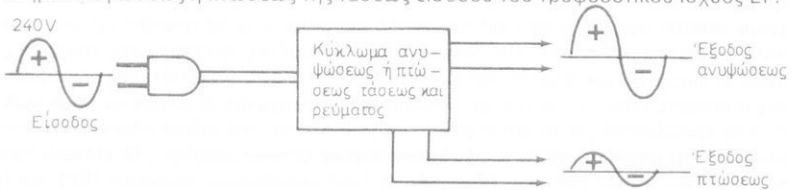
Τα τροφοδοτικά ισχύος ΕΡ συνδέονται απ' ευθείας με την τροφοδοτική εγκατάσταση του τοίχου, η οποία παρέχει ΕΡ με τάση 240V και συχνότητα 50 Hz. Σημειώνουμε ότι οι τιμές αυτές ισχύουν για την Ελλάδα και τις περισσότερες Ευρωπαϊκές χώρες. Αλλού, όπως π.χ. στις ΗΠΑ, η εγκατάσταση τοίχου παρέχει ΕΡ με τάση 120V και συχνότητα 60 Hz. Στο σχήμα 6.2α φαίνεται η εγκατάσταση τοίχου και η



Σχ. 6.2α.

Τροφοδοτικό εγκαταστάσεως τοίχου.

μορφή ΕΡ που παρέχει. Τα τροφοδοτικά ισχύος ΕΡ συνδέονται με το τροφοδοτικό ΕΡ τοίχου μέσω ενός κυκλώματος, το οποίο, ανάλογα με τις ανάγκες, υψώνει ή χαμηλώνει την τάση. Η ανύψωση ή πτώση της τάσεως επιτυγχάνεται με μετασχηματιστή ή με κύκλωμα πολλαπλασιασμού τάσεως. Στο σχήμα 6.2β φαίνεται το σύστημα ανυψώσεως ή πτώσεως της τάσεως εισόδου του τροφοδοτικού ισχύος ΕΡ.

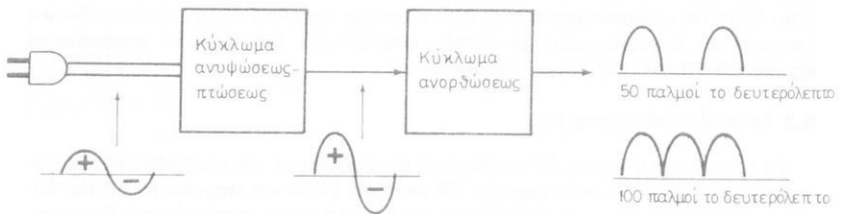


Σχ. 6.2β.

Σύστημα ανυψώσεως ή πτώσεως τάσεως και ρεύματος ΕΡ.

Οι τάσεις που παρέχονται από το κύκλωμα ανυψώσεως ή πτώσεως εφαρμόζονται σε ανορθωτικό κύκλωμα, για να μετατραπούν σε σήματα παλμών σταθερής πολικότητας. Όπως περιγράφηκε ήδη στο προηγούμενο κεφάλαιο, η ανόρθωση επιτυγχάνεται με διόδους λυχνίες ή διόδους ημιαγωγών. Στο σχήμα 6.2γ παρουσιάζεται το τροφοδοτικό ισχύος που περιλαμβάνει τα κυκλώματα ανυψώσεως - πτώσεως και ανορθώσεως. Η έξοδος του ανορθωτικού κυκλώματος μπορεί να είναι σήμα με 50 παλμούς ανά δευτερόλεπτο (ανόρθωση μισού κύματος) ή σήμα με 100 παλμούς ανά δευτερόλεπτο (ανόρθωση πλήρους κύματος).

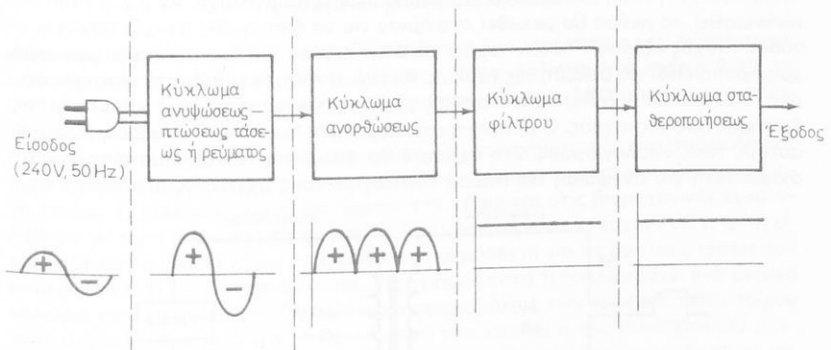
Μετά το κύκλωμα ανορθώσεως, στα τροφοδοτικά ισχύος ακολουθεί το κύκλωμα φίλτρου το οποίο είναι απαραίτητο για την εξομάλυνση του σήματος παλμών σε



Σχ. 6.2γ.

Κυκλώματα ανυψώσεως - πτώσεως και ανορθώσεως σε τροφοδοτικό ισχύος.

καθαρό σήμα ΣΡ. Τα φίλτρα αυτά είναι ικανά να διαμορφώνουν το ανορθωμένο σήμα σε σήμα ΣΡ μιας συγκεκριμένης τιμής, στο οποίο συνήθως υπάρχει μια **κυμάτωση** (ripple) που δεν υπερβαίνει το 2% της τάσεως εξόδου. Τέλος, η ακρίβεια και η σταθερότητα της τάσεως ή του ρεύματος εξόδου του τροφοδοτικού ισχύος επιτυγχάνεται με ένα πρόσθετο **κύκλωμα σταθεροποίησης** (regulating circuit) που έχει τη δυνατότητα να μειώνει ακόμη περισσότερο το μέγεθος της κυματώσεως ΕΡ του σήματος εξόδου. Στο σχήμα 6.2δ φαίνεται η γενική διάταξη ενός τροφοδοτικού ισχύος που περιλαμβάνει τα κυκλώματα ανυψώσεως - πτώσεως, ανορθώσεως, φίλτρου, ανορθώσεως, φίλτραρίσματος και σταθεροποίησης.



Σχ. 6.2δ.

Γενική διάταξη τροφοδοτικού ισχύος.

6.3 Τροφοδοτικά ισχύος ΕΡ-ΣΡ.

Τα κοινά τροφοδοτικά ισχύος ΕΡ-ΣΡ λειτουργούν είτε με απ' ευθείας σύνδεση με το τροφοδοτικό τοίχου, και λέγονται **τροφοδοτικά γραμμής** (line - operated power supplies), είτε συνδέονται με το τροφοδοτικό τοίχου μέσω μετασχηματιστή, και λέγονται **τροφοδοτικά με μετασχηματιστή** (transformer - operated power supplies). Το τροφοδοτικό τοίχου μιας βιομηχανικής εγκαταστάσεως παρέχει 240V ΕΡ (50 Hz) ή 240V ΣΡ. Τα τροφοδοτικά με μετασχηματιστή λειτουργούν με 240V ΕΡ.

6.3.1 Τροφοδοτικά γραμμής.

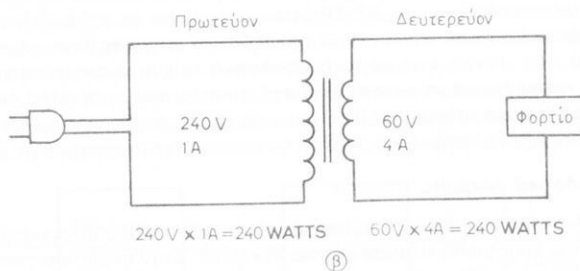
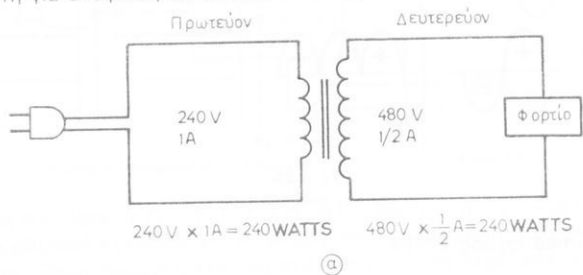
Τα τροφοδοτικά γραμμής είναι συσκευές που παρέχουν μια συγκεκριμένη τάση εξόδου, η οποία χρησιμοποιείται σε κάποιο κύκλωμα. Στην περίπτωση που η αρχική πηγή παρέχει τάση ΕΡ, ενώ η επιθυμητή τάση εξόδου του τροφοδοτικού ισχύος είναι ΣΡ, τα τροφοδοτικά γραμμής περιέχουν τα κυκλώματα ανορθώσεως και φίλτρου που αναλύσαμε στο προηγούμενο κεφάλαιο.

6.3.2 Τροφοδοτικά με μετασχηματιστή.

Η χρησιμότητα του μετασχηματιστή στα τροφοδοτικά ισχύος είναι πολύπλευρη. Ο μετασχηματιστής προσφέρει τις εξής υπηρεσίες:

- 1) Ανυψώνει τάση ή ρεύμα.
- 2) Μειώνει τάση ή ρεύμα.
- 3) Παρέχει ξεχωριστές τάσεις εκτός φάσεως η μία από την άλλη.
- 4) Απομονώνει τη δευτερεύουσα από την πρωτεύουσα ισχύ (αυτό δεν ισχύει για αυτομετασχηματιστές).
- 5) Παρέχει μεταβαλλόμενη τάση στη δευτερεύουσα σπείρα (μεταβλητός αυτομετασχηματιστής).

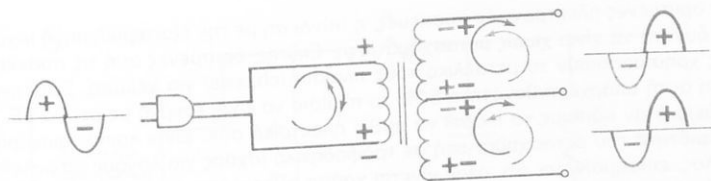
Η λειτουργία του μετασχηματιστή βασίζεται στη συνθήκη διατηρήσεως της ισχύος, δηλαδή στο γεγονός ότι η ισχύς εξόδου είναι ίση με την ισχύ εισόδου. Όταν λοιπόν η τάση ανυψώνεται, το ρεύμα μειώνεται ανάλογα. Αν π.χ. η τάση διπλασιασθεί, το ρεύμα θα μειωθεί στο ήμισυ για να διατηρηθεί η ισχύς (ισχύς εισόδου = ισχύς εξόδου). Το ίδιο ισχύει και στην περίπτωση που ο μετασχηματιστής χρησιμοποιείται για μείωση της τάσεως. Αν π.χ., η τάση μειωθεί κατά τέσσερις φορές το ρεύμα θα αυξηθεί κατά τέσσερις φορές, για να ικανοποιηθεί η συνθήκη της διατηρήσεως της ισχύος. Ο μετασχηματιστής θεωρείται ότι έχει απόδοση 100% σ' αυτούς τους υπολογισμούς. Στο σχήμα 6.3α φαίνονται τα κυκλώματα του μετασχηματιστή για ανύψωση και πτώση τάσεως με τους σχετικούς υπολογισμούς.



Σχ. 6.3α.

Μετασχηματιστής (α) ανυψώσεως τάσεως, (β) μείωσης τάσεως.

Ορισμένοι μετασχηματιστές διαθέτουν ξεχωριστές **λήψεις** (taps) στο πρωτεύον κύκλωμα, ώστε να αντιμετωπίζονται με κατάλληλη επιλογή της εισόδου οι διαφορές στις τάσεις της γραμμής από ένα μέρος μιας χώρας σε άλλο (π.χ. αλλού είναι 240V, αλλού 230V κλπ.) Συνήθως όμως, οι ξεχωριστές λήψεις στο μετασχηματιστή κατασκευάζονται στο δευτερεύον κύκλωμα. Τέτοιοι είναι οι **μετασχηματιστές**

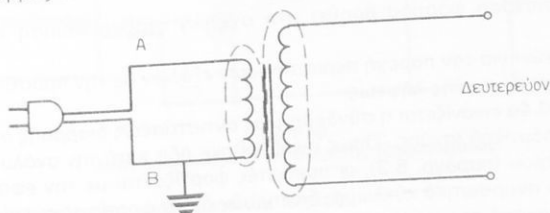


Σχ. 6.3β.
Μετασχηματιστής κεντρικής λήψεως.

Κεντρικής Λήψεως (σχ. 6.3β), οι οποίοι παρέχουν δύο ίσες τάσεις που λαμβάνονται με κοινό τον ακροδέκτη κεντρικής λήψεως. Όπως φαίνεται στο σχήμα 6.3β, το ρεύμα στα δευτερεύοντα βρίσκεται σε διαφορά φάσεως 180° ως προς το πρωτεύον κύκλωμα.

Ένα από τα πλεονεκτήματα της χρήσεως μετασχηματιστή στα τροφοδοτικά ισχύος είναι η απομόνωση του δευτερεύοντος κυκλώματος από την ηλεκτρική πηγή ισχύος. Η ηλεκτρική ισχύς διανέμεται στα κτίρια και στις βιομηχανικές εγκαταστάσεις με τρεις γραμμές μεταφοράς. Οι δύο γραμμές είναι ενεργές ενώ η τρίτη είναι ουδέτερη ή γειωμένη και αποτελεί κοινό ακροδέκτη για τις δύο ίσες τάσεις που παρέχονται από το ηλεκτρικό δίκτυο. Στα τροφοδοτικά τοίχους των τροφοδοτικών καλώδιου και ένα ουδέτερο. Οι ουδέτεροι αγωγοί όλων των τροφοδοτικών τοίχους είναι συνδεδεμένοι μαζί στο κεντρικό κουτί του κτιρίου ή του βιομηχανικού συγκροτήματος και από εκεί με ένα βαρύ καλώδιο γειώνονται είτε με σύνδεση σε νεροσωλήνα είτε με σύνδεση σε μεταλλική ράβδο που είναι καρφωμένη μέσα στο χώμα.

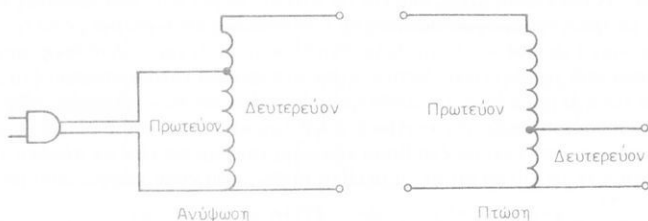
Στο σχήμα 6.3γ φαίνεται ο τρόπος γείωσης του μετασχηματιστή που εξασφαλίζει προστασία στον άνθρωπο που χειρίζεται τα τροφοδοτικά ισχύος. Αν ο εργαζόμενος αγγίξει το σύρμα Β που είναι γειωμένο δεν παθαίνει τίποτε. Αν όμως, ενώ πατάει σε υγρό πάτωμα ή νεροσωλήνα, αγγίξει το σύρμα Α, η ηλεκτρική εκκένωση που θα ακολουθήσει μπορεί να είναι θανατηφόρα. Λόγω του μετασχηματιστή όμως, το δευτερεύον δε συνδέεται απ' ευθείας με την πηγή ισχύος, αλλά μέσω της μαγνητικής συζεύξεως του πρωτεύοντος κυκλώματος με το δευτερεύον. Έτσι, αν κάποιος πιάσει άθελά του οποιαδήποτε γραμμή του δευτερεύοντος κυκλώματος του μετασχηματιστή δεν παθαίνει ηλεκτρικό σοκ. Μόνο αν πιάσει ταυτόχρονα και τις δύο γραμμές του δευτερεύοντος θα υποστεί το ηλεκτρικό σοκ.



Σχ. 6.3γ.
Η απομόνωση κυκλώματος με τη χρήση μετασχηματιστή.

Σε ορισμένες ηλεκτρονικές συσκευές, η σύνδεση με την εξωτερική πηγή ισχύος είναι δυνατό να γίνει χωρίς μετασχηματιστή. Επίσης, ορισμένες από τις συσκευές αυτές χρησιμοποιούν το μεταλλικό τους πλαίσιο (chassis) για γείωση. Στην περίπτωση αυτή υπάρχει πιθανότητα 50% το πλαίσιο να είναι ενεργό με ρεύμα ΕΡ, με συνέπεια όταν κάποιος το πιάσει να πάθει ηλεκτρικό σοκ. Είναι λοιπόν φανερό η αναγκαιότητα του μετασχηματιστή σε τροφοδοτικά ισχύος για λόγους ασφαλείας.

Τέλος, επισημαίνεται ότι, όταν γίνεται χρήση αυτομετασχηματιστή στο τροφοδοτικό κύκλωμα ισχύος, το δευτερεύον δεν απομονώνεται από το πρωτεύον κύκλωμα ισχύος. Το γεγονός αυτό γίνεται αντιληπτό από το σχήμα 6.3δ, στο οποίο παρουσιάζονται δύο αυτομετασχηματιστές, που έχουν τα δευτερεύοντα και τα πρωτεύοντα ενωμένα (στην πραγματικότητα αποτελούνται από την ίδια σπείρα). Η αρχή λειτουργίας του αυτομετασχηματιστή είναι ίδια με αυτή του κοινού μετασχηματιστή. Το μεταβαλλόμενο μαγνητικό πεδίο που σχηματίζεται από το μεταβαλλόμενο ρεύμα στο πρωτεύον τύλιγμα παράγει τάση εξ επαγωγής στο δευτερεύον. Οι αυτομετασχηματιστές χρησιμοποιούνται καμιά φορά σε τροφοδοτικά κυκλώματα ισχύος, παρά το μειονέκτημα της ελλείψεως απομονώσεως του κυκλώματος εφαρμογής από την πρωτεύουσα πηγή ισχύος.



Σχ. 6.3δ.

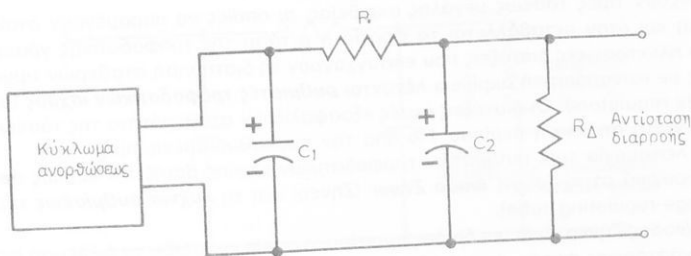
Δύο τύποι αυτομετασχηματιστών.

6.4 Αντίσταση διαρροής.

Σε ορισμένα τροφοδοτικά ισχύος, χρησιμοποιείται στην έξοδο του κυκλώματος φίλτρου μια αντίσταση, που ονομάζεται **αντίσταση διαρροής** (bleeder resistor) και εξυπηρετεί τους παρακάτω σκοπούς:

- 1) Αποτελεί διέξοδο εκφορτίσεως του κυκλώματος φίλτρου μετά τη διακοπή της ισχύος.
- 2) Σαν αντίσταση φορτίου βοηθεί στη σχετική σταθεροποίηση της τάσεως εξόδου.
- 3) Χρησιμεύει για την παροχή περισσότερων εξόδων με την προσθήκη ενός ακροδέκτη κεντρικής λήψεως.

Στο σχήμα 6.4α εικονίζεται η σύνδεση μιας αντιστάσεως διαρροής σε κύκλωμα φίλτρου τροφοδοτικού ισχύος. Όπως αναφέρθηκε ήδη κατά την ανάλυση του κυκλώματος φίλτρου (παράγρ. 5.3), οι πυκνωτές φορτίζονται με την εφαρμογή της τάσεως από το ανορθωτικό κύκλωμα, διατηρούν δε το φορτίο τους επί πολλές ώρες μετά τη διακοπή της ισχύος τροφοδοσίας του κυκλώματος. Αυτό δημιουργεί ένα κίνδυνο σοκ για τον τεχνίτη, ο οποίος μη ννωρίζοντας την ύπαρξη του φορτίου,



Σχ. 6.4α.

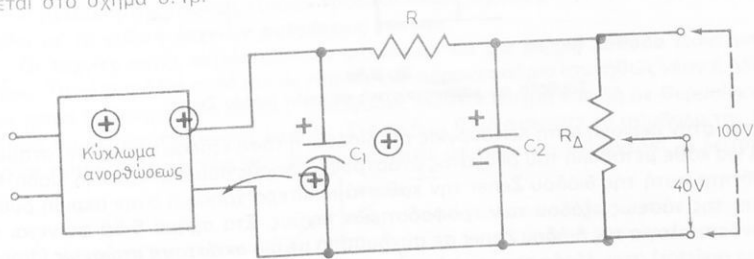
Αντίσταση διαρροής σε κύκλωμα φίλτρου τροφοδοτικού.

θα επιχειρήσει να επιδιορθώσει ή να συντηρήσει το τροφοδοτικό. Ο κίνδυνος αυτός εξαλείφεται με την ύπαρξη της αντιστάσεως διαρροής R_{Δ} , μέσω της οποίας διαχέεται η ενέργεια των πυκνωτών μετά τη διακοπή της ισχύος.

Η αντίσταση διαρροής χρησιμεύει επίσης και ως αντίσταση φορτίου. Συγκεκριμένα, στην περίπτωση που το κύκλωμα εφαρμογής, το οποίο τροφοδοτείται με ηλεκτρική ενέργεια από το τροφοδοτικό ισχύος, αποσυνδεθεί ξαφνικά, αν δεν υπάρχει αντίσταση διαρροής θα εμφανισθεί στο ανοικτό κύκλωμα υψηλή τάση εξόδου του τροφοδοτικού, με αποτέλεσμα να καταστραφούν ορισμένα στοιχεία του. Ο κίνδυνος αυτός αποφεύγεται με την ύπαρξη της αντιστάσεως διαρροής, η οποία αποτελεί το φορτίο του τροφοδοτικού όταν παρουσιασθεί ανοικτό κύκλωμα στην έξοδο.

Η αντίσταση διαρροής συμβάλλει επίσης στη σταθεροποίηση της τάσεως εξόδου του τροφοδοτικού, επειδή βοηθεί στη διατήρηση μιας σχετικής σταθερότητας της αντιστάσεως φορτίου.

Τέλος, η αντίσταση διαρροής, μπορεί να χρησιμεύσει και ως *διαιρέτης τάσεως εξόδου* (output voltage divider) με την προσθήκη ενός κεντρικού λήπτη, όπως φαίνεται στο σχήμα 6.4β.



Σχ. 6.4β.

Αντίσταση διαρροής ως διαιρέτης τάσεως εξόδου.

6.5 Ρυθμιστές τάσεως τροφοδοτικών ισχύος.

Ορισμένα ηλεκτρονικά κυκλώματα απαιτούν τροφοδοτικά ισχύος που να εξα-

σφαλίζουν τιμές τάσεως μεγάλης ακριβείας, οι οποίες να παραμένουν σταθερές ακόμη και όταν μεταβάλλεται το φορτίο ή η τάση της τροφοδοτικής γραμμής.

Οι ηλεκτρονικές διατάξεις που επιτυγχάνουν τη διατήρηση σταθερών τιμών τάσεως με ικανοποιητική ακρίβεια λέγονται **ρυθμιστές τροφοδοτικών ισχύος** (power supply regulators). Οι διατάξεις αυτές εξασφαλίζουν σταθερότητα της τάσεως ΣΡ, με μέγιστη απόκλιση περίπου 1% από την προκαθορισμένη τιμή.

Η λειτουργία των ρυθμιστών τροφοδοτικών ισχύος βασίζεται κυρίως σε δύο ηλεκτρονικά στοιχεία: τη **δίοδο Zener** (Ζήνερ) και τη **λυχνία ρυθμίσεως τάσεως** (voltage-regulating tube).

Η δίοδος Ζήνερ είναι μια δίοδος πυριτίου, η οποία εμποδίζει τη διέλευση ρεύματος ανάστροφης φοράς, όταν η τάση πολώσεως ανάστροφης φοράς βρίσκεται κάτω από μια συγκεκριμένη τιμή. Όταν η τάση πολώσεως ανάστροφης φοράς ξεπεράσει την τιμή αυτή, η δίοδος «καταρρέει» και το ρεύμα ανάστροφης φοράς τη διαπερνά με μεγάλη ευκολία. Η πόλωση ανάστροφης φοράς που προκαλεί την «κατάρρευση» ονομάζεται **τάση Ζήνερ** ή **τάση καταρρεύσεως** (breakdown voltage). Στο σχήμα 6.5α φαίνονται το σύμβολο της δίοδου Zener και η χαρακτηριστική καμπύλη που δίνει γραφικά τη σχέση ρεύματος και τάσεως της δίοδου. Παρατηρούμε ότι στην περιοχή της τάσεως καταρρεύσεως, μια πολύ μικρή μεταβολή της τάσεως ανάστροφης φοράς επιφέρει μεγάλη μεταβολή στο ρεύμα ανάστροφης φοράς.

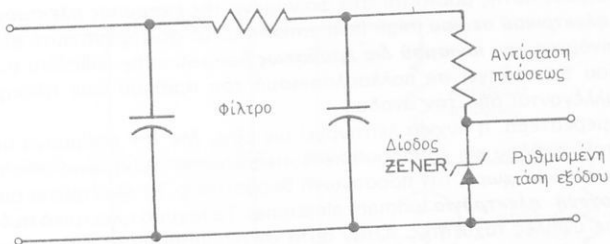


Σχ. 6.5α.

Σύμβολο και χαρακτηριστική καμπύλη δίοδου Zener.

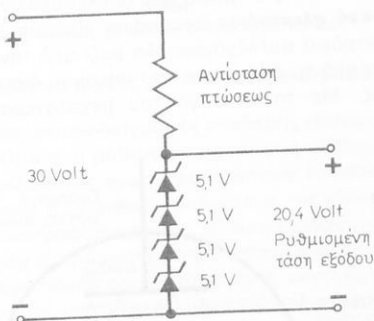
Έτσι, στην περιοχή αυτή λειτουργίας της δίοδου, η τάση εξόδου παραμένει σταθερή για κάθε μεταβολή του ρεύματος ανάστροφης φοράς που διαπερνά τη δίοδο. Η ιδιότητα αυτή της δίοδου Zener την καθιστά ιδιαίτερα χρήσιμη στην ακριβή ρύθμιση της τάσεως εξόδου των τροφοδοτικών ισχύος. Στο σχήμα 6.5β φαίνεται η συνδεσμολογία της δίοδου Zener σε συνδυασμό με μια **αντίσταση πτώσεως** (dropping resistor) στην έξοδο του κυκλώματος φίλτρου ενός τροφοδοτικού, για τη ρύθμιση της τάσεως εξόδου του.

Οι δίοδοι Zener κατατάσσονται σε ομάδες, σύμφωνα με την τάση ρυθμίσεως (regulating voltage), το μέγεθος ισχύος και τη μέγιστη τιμή ρεύματος. Η επιθυμητή τάση στην έξοδο του τροφοδοτικού επιτυγχάνεται με σύνδεση σε σειρά ενός αριθμού δίοδων Zener, όπως φαίνεται στο σχήμα 6.5γ. Στην περίπτωση αυτή, η σύν-



Σχ. 6.5β.

Ρύθμιση τάσεως εξόδου τροφοδοτικού ισχύος με δίοδο Zener.



Σχ. 6.5γ.

Ρύθμιση τάσεως εξόδου τροφοδοτικού με 4 διόδους Zener.

δεση σε σειρά τεσσάρων διόδων Zener των 5,1 V εξασφαλίζει ρυθμισμένη τάση εξόδου 20,4 V.

Η ρύθμιση της τάσεως εξόδου τροφοδοτικών ισχύος μπορεί επίσης να επιτευχθεί με τη χρήση **λυχνιών ρυθμίσεως τάσεως**.

Οι λυχνίες αυτές περιλαμβάνουν μια άνοδο και μια **ψυχρή κάθοδο** (cold cathode). Τα ηλεκτρόδια αυτά εκτίθενται σε ένα αδρανές αέριο (συνήθως νέον ή ήλιον με μικρή ποσότητα από αργόν). Η κάθοδος λέγεται ψυχρή επειδή δε θερμαίνεται, όπως συμβαίνει στις κοινές λυχνίες. Στο σχήμα 6.5δ φαίνεται το σύμβολο της λυχνίας ρυθμίσεως τάσεως που χρησιμοποιείται σε ηλεκτρονικά σχέδια. Η λειτουργία



Σχ. 6.5δ.

Σύμβολο λυχνίας ρυθμίσεως τάσεως.

γία της λυχνίας αυτής βασίζεται στο φαινόμενο της *εκπομπής ηλεκτρονίων λόγω ισχυρού ηλεκτρικού πεδίου* (high field emission). Το φαινόμενο αυτό συνδυάζεται με το φαινόμενο του *ιονισμού διά κρούσεως* (ionization by collision) των ατόμων του αερίου που οδηγεί σε πολλαπλασιασμό του αριθμού των ηλεκτρονίων τα οποία συλλέγονται από την άνοδο.

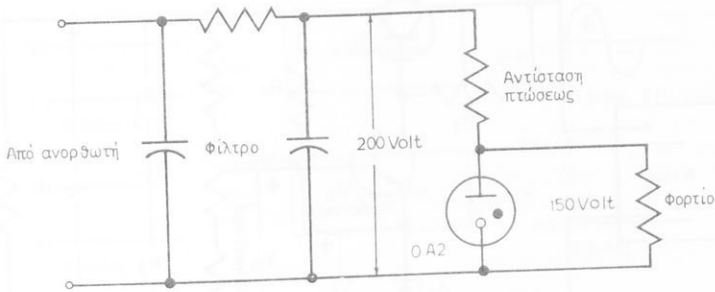
Λεπτομερέστερα, η λυχνία λειτουργεί ως εξής: Με την εφαρμογή υψηλής τάσεως μεταξύ ανόδου και καθόδου απελευθερώνονται ηλεκτρόνια από την επιφάνεια της καθόδου, χωρίς την προσαγωγή θερμότητας. Τα ηλεκτρόνια αυτά λέγονται *πρωτογενή ηλεκτρόνια* (primary electrons). Το ισχυρό ηλεκτρικό πεδίο τα επιταχύνει σε υψηλές ταχύτητες. Όταν αυτά συγκρουστούν με τα ηλεκτρόνια των ατόμων του αδρανούς αερίου, τα αποσπών από τα άτομά τους. Η απόσπαση αυτή των ηλεκτρονίων από τα άτομα του αδρανούς αερίου ονομάζεται *ιονισμός διά κρούσεως*, τα δε επιπλέον ηλεκτρόνια που απελευθερώνονται με τον τρόπο αυτό λέγονται *δευτερογενή ηλεκτρόνια* (secondary electrons). Τα πρωτεύοντα και τα δευτερεύοντα ηλεκτρόνια συλλέγονται όλα μαζί από την άνοδο. Στο σχήμα 6.5ε εικονίζεται παραστατικά το φαινόμενο του ιονισμού δια κρούσεως σε μια λυχνία ρυθμίσεως τάσεως. Με τη συλλογή του μεγαλύτερου αυτού αριθμού ηλε-



Σχ. 6.5ε.

Ιονισμός σε λυχνία ρυθμίσεως τάσεως.

κτρονίων από την άνοδο, ενισχύεται το ρεύμα που διαπερνά τη λυχνία και μειώνεται η εσωτερική της αντίσταση. Έτσι, με το ξεκίνημα του ιονισμού επιτυγχάνεται η ροή ρεύματος, η οποία παύει μόνο όταν επέλθει διακοπή στο κύκλωμα. Οι λυχνίες ρυθμίσεως τάσεως χρειάζονται μια *τάση εκκινήσεως* (starting voltage). Στη λυχνία OA2 π.χ απαιτείται τάση 185 V για να ξεκινήσει ο ιονισμός. Μετά την εκκίνηση, η λυχνία αυτή παρέχει ρυθμισμένη τάση 150 V ΣΡ, με ρεύμα που κυμαίνεται μεταξύ 5 και 30 mA. Στο σχήμα 6.5στ φαίνεται το κύκλωμα με λυχνία ρυθμίσεως τάσεως, συνδεδεμένο με το κύκλωμα του φίλτρου τροφοδοτικού ισχύος.

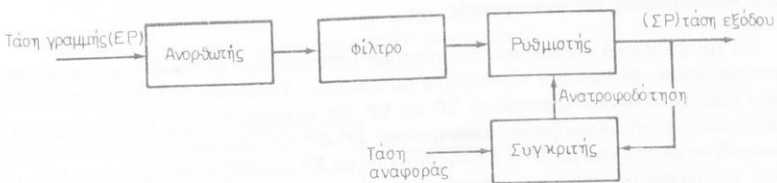


Σχ. 6.5στ.
Ρύθμιση τάσεως με χρήση ανατροφοδοτήσεως.

6.6 Ρυθμιζόμενα τροφοδοτικά ισχύος με κύκλωμα ανατροφοδοτήσεως.

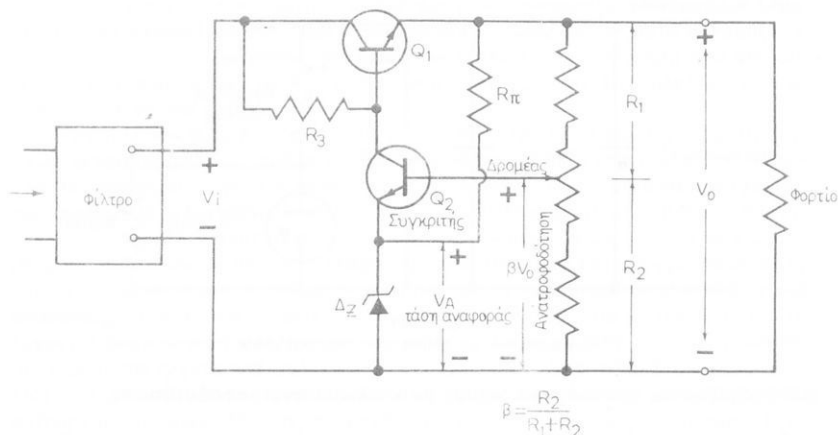
Στα τροφοδοτικά ισχύος με προδιαγραφές σταθερής τάσεως μεγάλης ακριβείας και χωρίς καθόλου αποκλίσεις, η ρύθμιση της τάσεως εξόδου του τροφοδοτικού γίνεται με τη χρήση **κυκλώματος ανατροφοδοτήσεως** (feedback circuit).

Στο σχήμα 6.6α φαίνεται η διαδικασία ρύθμισης της τάσεως εξόδου του τροφοδοτικού με κύκλωμα ανατροφοδοτήσεως. Η τάση εξόδου του τροφοδοτικού μεταδίδεται σε ένα **συγκριτή** (comparator), όπου αθροίζεται αλγεβρικά με μια **τάση ΣΡ αναφοράς** (DC voltage reference). Η τάση αυτή κανονίζεται από το χειριστή στην επιθυμητή τιμή που πρέπει να έχει η τάση εξόδου του τροφοδοτικού ισχύος. Αποτέλεσμα της συγκρίσεως αυτής είναι το **σήμα σφάλματος** (error signal), το οποίο ενεργοποιεί το κύκλωμα του ρυθμιστή για τη διόρθωση και σταθεροποίηση της τιμής της τάσεως εξόδου του τροφοδοτικού.



Σχ. 6.6α.
Ακρίβης ρύθμιση τάσεως με χρήση ανατροφοδοτήσεως.

Στο σχήμα 6.6β φαίνεται το ηλεκτρονικό κύκλωμα σταθεροποίησης τάσεως ενός τροφοδοτικού ισχύος με ημιαγώγιμα στοιχεία. Το τρανζίστορ Q_2 είναι ο συγκριτής, ο οποίος συγκρίνει ένα μέρος της τάσεως εξόδου (βV_0) με την τάση αναφοράς V_A , η οποία διατηρείται σταθερή με τη δίοδο Zener R_{11} είναι η αντίσταση πτώσεως. Η διαφορά $\beta V_0 - V_A$ ενισχύεται από το τρανζίστορ Q_2 . Αν η τάση εισόδου V_i (τάση εξόδου του φίλτρου) αυξηθεί κατά ΔV_i (π.χ. λόγω μεταβολής της τάσεως της γραμμής), η τάση εξόδου V_0 θα αυξηθεί ελάχιστα ενώ θα αυξηθεί το ρεύμα στην αντίσταση R_3 . Δηλαδή, η αύξηση ΔV_i στην είσοδο του κυκλώματος θα εφαρμοσθεί στην αντίσταση R_3 και στο τρανζίστορ Q_1 , (αφού η τάση μεταξύ βά-



Σχ. 6.6β.

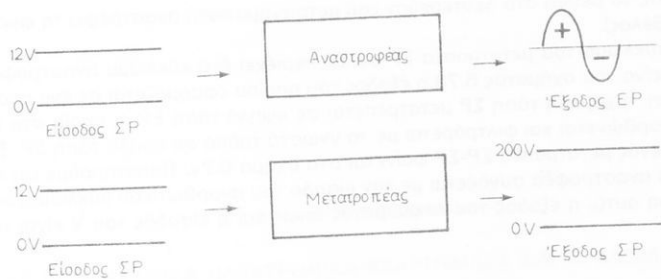
Κύκλωμα σταθεροποίησης τάσεως εξόδου τροφοδοτικού ισχύος με ημιαγωγικά στοιχεία και με ανατροφοδότηση.

σεως και εκπομπού είναι μικρή) και έτσι η τάση εξόδου V_0 θα παραμείνει πρακτικά αμετάβλητη. Η τιμή της τάσεως εξόδου κανονίζεται με την τιμή του συντελεστή β , η οποία με τη σειρά της ρυθμίζεται με τον δρομέα, όπως φαίνεται στο σχήμα 6.6β. Σε τροφοδοτικά που παρέχουν σταθερή τάση μεγάλης ακριβείας, ο συγκριτής είναι ένας **διαφορικός ενισχυτής** (differential amplifier) αντί του τρανζίστορ Q_2 . Τα τροφοδοτικά αυτά είναι πολύ πιο δαπανηρά.

6.7 Αναστροφείς και μετατροπείς.

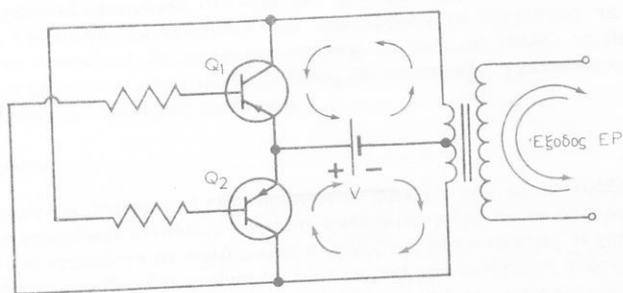
Τα τροφοδοτικά ισχύος που μελετήσαμε μετατρέπουν ΕΡ σε ΣΡ με κυκλώματα ανορθώσεως, φίλτρα και κυκλώματα ρυθμίσεως. Υπάρχουν βέβαια και διατάξεις που πραγματοποιούν μετατροπή ΣΡ σε ΕΡ. Τα κυκλώματα που επιτυγχάνουν τη μετατροπή αυτή ονομάζονται **αναστροφείς ΣΡ-ΕΡ** (DC-AC inverters). Είναι επίσης δυνατό να μετατρέψουμε ΣΡ χαμηλής τάσεως σε ΣΡ υψηλής τάσεως. Τα κυκλώματα που επιτυγχάνουν αυτή τη μετατροπή ονομάζονται **μετατροπείς ΣΡ-ΣΡ** (DC-DC converters). Στο σχήμα 6.7α δίνεται η σχηματική παράσταση ενός αναστροφέα ΣΡ-ΕΡ και ενός μετατροπέα ΣΡ-ΣΡ.

Οι αναστροφείς ΣΡ-ΕΡ μετατρέπουν συνήθως χαμηλές τάσεις ΣΡ σε υψηλότερες τάσεις ΕΡ. Πρώτα γίνεται μετατροπή της χαμηλής τάσεως ΣΡ σε χαμηλή τάση ΕΡ και κατόπιν ανύψωση της τάσεως ΕΡ με χρησιμοποίηση ενός μετασχηματιστή ανυψώσεως. Στο σχήμα 6.7β φαίνεται ένας αναστροφέας ΣΡ σε ΕΡ με τρανζίστορ. Συνοπτικά, η λειτουργία του κυκλώματος είναι η εξής: όταν το τρανζίστορ Q_1 ενεργοποιηθεί, άγει προς την κατεύθυνση που δείχνουν τα κόκκινα βέλη, ενώ το τρανζίστορ Q_2 αδρανεί. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα το ρεύμα στο δευτερεύον του μετασχηματιστή να έχει αντίστροφη φορά (κόκκινο βέλος). Όταν το Q_1 παύσει να άγει, ενεργοποιείται το Q_2 το οποίο άγει προς την κατεύθυνση που δείχνουν τα μπλε βέ-



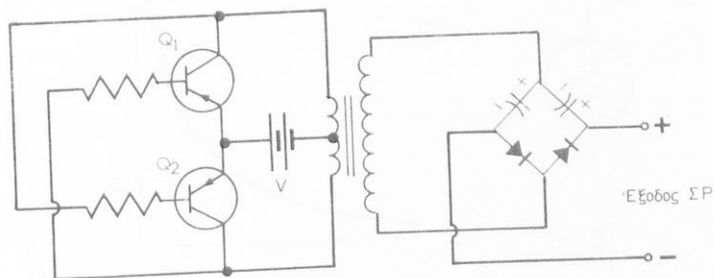
Σχ. 6.7α.

Σχηματική παράσταση αναστροφέα και μετατροπέα.



Σχ. 6.7β.

Αναστροφέας ΣΡ-ΕΡ με τρανζίστορ.



Σχ. 6.7γ.

Κύκλωμα μετατροπέα ΣΡ-ΣΡ με τρανζίστορ.

λη. Έτσι, το ρεύμα στο δευτερεύον του μετασχηματιστή αναστρέφει τη φορά του (μπλε βέλος).

Το κύκλωμα του μετατροπέα ΣΡ σε ΣΡ περιέχει ένα κύκλωμα αναστροφέα, όπως εκείνο του σχήματος 6.7β η έξοδος του οποίου εφαρμόζεται σε ένα ανορθωτή. Έτσι, η χαμηλή τάση ΣΡ μετατρέπεται σε υψηλή τάση ΕΡ, η οποία στη συνέχεια ανορθώνεται και φιλτράρεται με το γνωστό τρόπο σε ομαλή τάση ΣΡ. Το κύκλωμα ενός μετατροπέα ΣΡ-ΣΡ φαίνεται στο σχήμα 6.7γ. Παρατηρούμε ότι η έξοδος του αναστροφέα συνδέεται με την είσοδο του ανορθωτικού κυκλώματος. Στο κύκλωμα αυτό, η έξοδος του κυκλώματος όπως και η είσοδός του V είναι τάσεις ΣΡ.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΕΒΔΟΜΟ

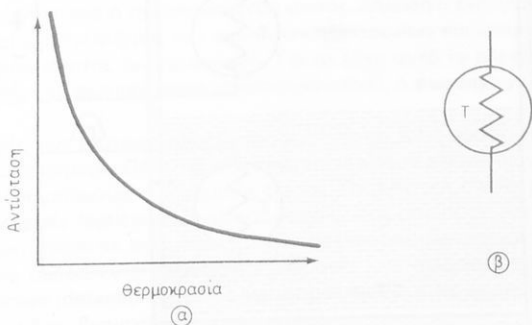
ΑΛΛΑ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΑ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΑ ΕΞΑΡΤΗΜΑΤΑ ΚΑΙ ΚΥΚΛΩΜΑΤΑ

7.1 Γενικά.

Από τα πολυάριθμα ηλεκτρονικά εξαρτήματα και κυκλώματα που απαντώνται στις βιομηχανικές εφαρμογές, στο κεφάλαιο αυτό θα συζητηθούν εκείνα με τη μεγαλύτερη εφαρμογή. Συγκεκριμένα, θα περιγραφούν το θερμίστορ, τα φωτοελεγχόμενα στοιχεία, η δίοδος φωτοεκπομπής, το SCR, το TRIAC, το DIAC και κυκλώματα ελέγχου φάσεως με SCR. Τέλος, θα αναπτυχθεί η μέθοδος κατεργασίας μετάλλων με ηλεκτρική εκκένωση.

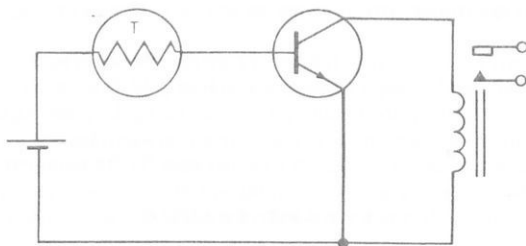
7.2 Θερμίστορ.

Το **θερμίστορ** (thermistor) είναι ημιαγωγίμο στοιχείο που κατασκευάζεται από τα οξείδια ορισμένων μετάλλων (ουράνιο, νικέλιο-μαγγάνιο, θειικό άργυρο) και είναι ιδιαίτερα ευαίσθητο σε πολύ μικρές αλλαγές της θερμοκρασίας. Η χαρακτηριστική ιδιότητα του θερμίστορ είναι ότι η εσωτερική του αντίσταση πέφτει σημαντικά με σχετικά μικρή αύξηση της θερμοκρασίας. Η ιδιότητα αυτή ονομάζεται **αρνητικός συντελεστής θερμοκρασίας** (negative temperature coefficient). Στο σχήμα 7.2α φαίνεται γραφικά η σχέση της αντιστάσεως του θερμίστορ ως προς τη θερμοκρασία, καθώς και το ηλεκτρονικό του σύμβολο.



Σχ. 7.2α.

α) Καμπύλη αντιστάσεως - θερμοκρασίας, β) ηλεκτρονικό σύμβολο του θερμίστορ.



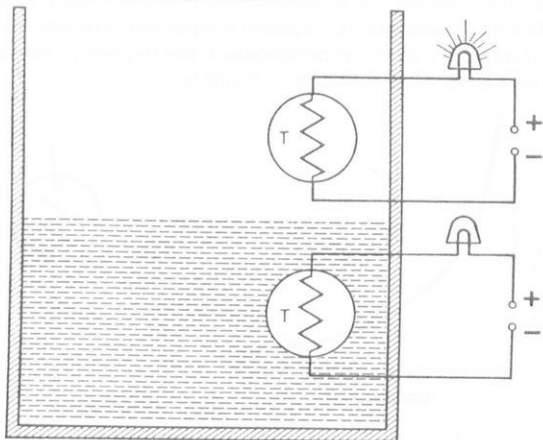
Σχ. 7.2β.

Θερμίστορ σε κύκλωμα ελέγχου θερμοκρασίας.

Τα θερμίστορ έχουν πολλές εφαρμογές σε βιομηχανικά ηλεκτρονικά κυκλώματα ελέγχου θερμοκρασίας. Ένα τέτοιο κύκλωμα με θερμίστορ για τον έλεγχο θερμοκρασίας φαίνεται στο σχήμα 7.2β. Όπως φαίνεται, το θερμίστορ περιορίζει τη ροή ρεύματος προς τη βάση του τρανζίστορ με σχετικά μικρή πτώση της θερμοκρασίας. Η επακολουθούσα απόκριση του τρανζίστορ επιδρά στο εξωτερικό κύκλωμα, το οποίο ελέγχει το ανοιγκλείσιμο των δύο επαφών.

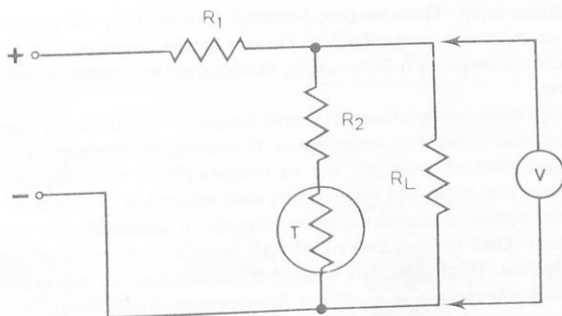
Μια συνήθης βιομηχανική εφαρμογή του θερμίστορ είναι ο έλεγχος της θερμοκρασίας υγρού σε δεξαμενή. Στην περίπτωση αυτή το θερμίστορ τοποθετείται μέσα στο υγρό.

Μια άλλη εφαρμογή του θερμίστορ απαντάται στη μέτρηση της στάθμης υγρού σε δεξαμενή. Στο σχήμα 7.2γ φαίνεται η διάταξη για τη μέτρηση αυτή. Μερικά θερμίστορ τοποθετούνται σε διάφορα ύψη της δεξαμενής. Κάθε θερμίστορ είναι συνδεδεμένο σε σειρά με ένα λαμπάκι και μια πηγή ΣΡ και, όταν το υγρό καλύψει το θερμίστορ, η θερμοκρασία του πέφτει με αποτέλεσμα να αυξηθεί η αντίστασή του και να σβήσει το αντίστοιχο λαμπάκι.



Σχ. 7.2γ.

Μέτρηση στάθμης υγρού με θερμίστορ.



Σχ. 7.26.
Σταθεροποίηση τάσεως με θερμίστορ.

Άλλη εφαρμογή του θερμίστορ απαντάται σε κυκλώματα ελέγχου τάσεως. Ένα τέτοιο κύκλωμα φαίνεται στο σχήμα 7.26. Ένα θερμίστορ σε σειρά με μια αντίσταση R_2 συνδέεται παράλληλα με την αντίσταση φορτίου R_L ενός κυκλώματος, στην οποία η τάση V πρέπει να διατηρηθεί σταθερή. Όταν, π.χ., αυξηθεί η αντίσταση του φορτίου R_L , μειώνεται η τάση της αντιστάσεως R_1 και αυξάνεται η τάση V στο φορτίο. Συγχρόνως αυξάνεται η θερμοκρασία του θερμίστορ, οπότε μειώνεται ανάλογα η αντίστασή του και επιτρέπει να διαπεράσει μεγαλύτερο ρεύμα την αντίσταση R_2 και το θερμίστορ. Έτσι, η τάση στο φορτίο επανέρχεται στην αρχική της τιμή. Η μέθοδος αυτή σταθεροποιήσεως τάσεως μπορεί να αποδώσει ακρίβεια με μέγιστη απόκλιση μέχρι 1% από μια συγκεκριμένη τιμή τάσεως.

7.3 Φωτο-ελεγχόμενα στοιχεία.

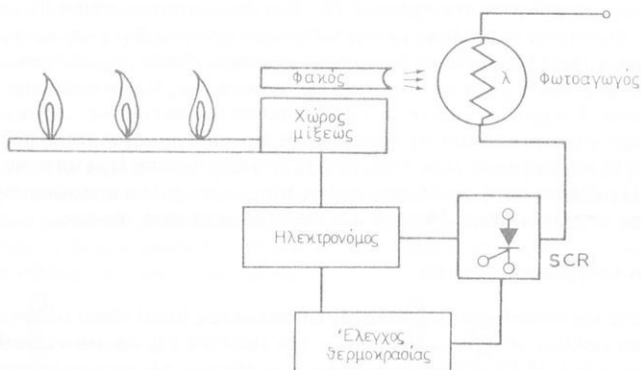
Η έρευνα της τεχνολογίας της *στερεάς καταστάσεως* (solid state) οδήγησε στην ανακάλυψη πολλών στοιχείων που έχουν την ιδιότητα της «*φωτο-ευαισθησίας*» (photosensitivity). Η λειτουργία των φωτο-ευαίσθητων ηλεκτρονικών στοιχείων βασίζεται στην παρουσία ή την απουσία του φωτός. Δηλαδή η ενέργεια του φωτός χρησιμοποιείται για την αύξηση των αγωγίμων ηλεκτρονίων και επομένως για την αύξηση της αγωγιμότητας του ημιαγωγού. Για το λόγο αυτό τα ηλεκτρονικά αυτά στοιχεία ονομάζονται *φωτοαγωγίμα* (photoconductive), ή *φωτοαγωγοί* (photoconductors).

Οι εφαρμογές των φωτοαγωγών κατατάσσονται σε τρεις ομάδες. Στην πρώτη εντάσσονται οι εφαρμογές *ON-OFF*, όπου κάποιο κύκλωμα κλείνει ή ανοίγει με βάση τη διαπίστωση απουσίας ή παρουσίας φωτός. Στη δεύτερη ομάδα εντάσσονται οι *οπτικο-αναλογικές* (optical-analog) εφαρμογές, στις οποίες το μεταβαλλόμενο σήμα φωτός μετατρέπεται σε αναλογικά μεταβαλλόμενο ηλεκτρονικό ρεύμα. Τέλος, στην τρίτη ομάδα εντάσσονται οι εφαρμογές που αφορούν την *ανίχνευση ασθενών σημάτων* (detection of weak signals). Η ομάδα αυτή δε θα μας απασχολήσει, γιατί δεν έχει βιομηχανικές εφαρμογές.

Οι φωτοαγωγοί υπεισέρχονται συχνά στα κυκλώματα ελέγχου πολλών βιομηχανικών εφαρμογών. Γενικά, οι *συσκευές συναγερμού* (alarms) και ασφάλειες ριέχουν φωτοαγωγούς, στους οποίους κατευθύνεται μια δέσμη φωτός που

χεται από κάποια πηγή. Όταν το φως διακοπεί, η αντίσταση του φωτοαγωγού μεταβάλλεται, με συνέπεια να ανοίξει ή να κλείσει κάποιο κύκλωμα, το οποίο θέτει σε λειτουργία κάποια σειρά ή θέτει εκτός λειτουργίας το μηχάνημα που πρέπει να προστατεύσει.

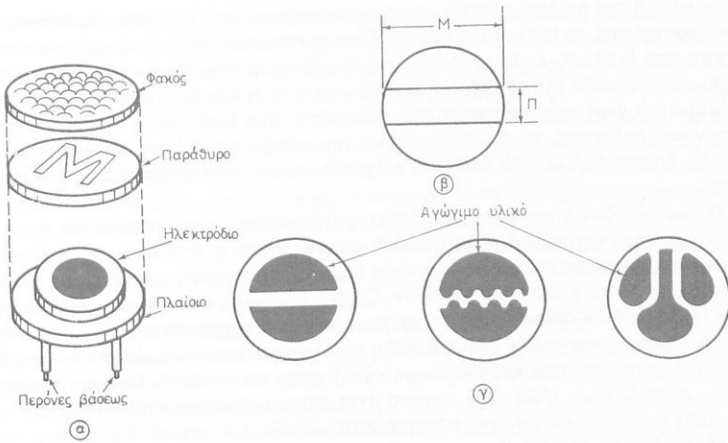
Μια τυπική εφαρμογή φωτοαγωγού στη βιομηχανία αποτελεί η χρησιμοποιούμενη στο σύστημα ασφάλειας καυστήρων. Ο έλεγχος της παροχής καύσιμης ύλης στον καυστήρα είναι απαραίτητος για να αποφευχθεί ο κίνδυνος εκρήξεως. Στο σχήμα 7.3α φαίνεται η διάταξη προστασίας ενός καυστήρα από έκρηξη, στην περίπτωση που θα σβήσει η φωτιά και θα συνεχισθεί η τροφοδότηση του καυστήρα με καύσιμη ύλη. Όσο το φως από τις φλόγες φωτίζει το φωτοαγωγό, το σύστημα είναι σε ισορροπία. Όταν σβήσουν οι φλόγες, ο ελεγχόμενος ανορθωτής πυριτίου ενεργοποιεί τον ηλεκτρονόμο, οι οποίοι διακόπτει την τροφοδοσία του καυσίμου. Σε παλαιότερους τύπους συστημάτων, αντί του SCR ερρησιμοποιείτο λυχνία θύρατρον. Σήμερα χρησιμοποιείται αποκλειστικά ο SCR, επειδή έχει μικρότερο κόστος, είναι μικρότερος σε μέγεθος και έχει μεγαλύτερη διάρκεια ζωής από τη λυχνία θύρατρον.



Σχ. 7.3α.

Κύκλωμα προστασίας καυστήρα με φωτοαγωγό και SCR.

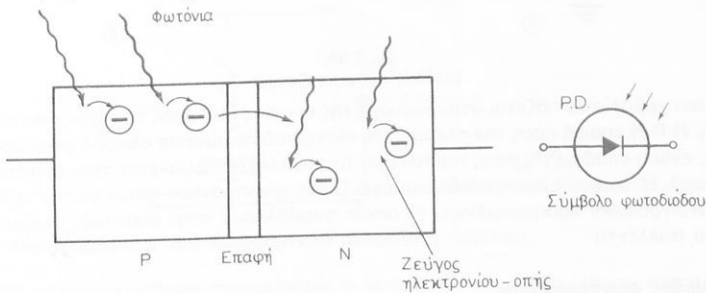
Ένας τύπος φωτοαγωγού με πολλές εφαρμογές στη βιομηχανία είναι η **φωτοεξαρτώμενη αντίσταση** (light dependent resistor) ή **LDR** (Ελ - ντη - αρ). Στο σχήμα 7.3β (α) φαίνεται η γεωμετρία της LDR. Κύριο στοιχείο της LDR είναι το ηλεκτροδίο, το μέγεθος του οποίου προσδιορίζει την τιμή τάσεως και τη φωτεινή ροή που απαιτούνται για τη λειτουργία της συσκευής. Το πλάτος Π του ηλεκτροδίου [σχ. 7.3β (β)] προσδιορίζει την τάση στην οποία λειτουργεί η συσκευή, ενώ το μήκος του Μ προσδιορίζει τη φωτεινή ροή, την οποία δέχεται η συσκευή. Το μήκος του ηλεκτροδίου μπορεί να μεταβάλλεται για διάφορες εφαρμογές. Στο σχήμα 7.3β(γ) φαίνονται διάφορα σχήματα του ηλεκτροδίου, τα οποία καθορίζονται από το αγώγιμο υλικό. Μερικές από τις βιομηχανικές εφαρμογές των LDR είναι οι εξής: Ενδείκτες θέσεως και στάθμης, προειδοποιητικές σειρήνες καπνού και διαρρήξεως, συσκευές μετρήσεων, έλεγχος διαστάσεων, κυκλώματα ελέγχου ασφάλειας, αριθμητικός έλεγχος, κυκλώματα συγκρίσεως, ενδείκτες ροής αέρα, ψηφιακά βολτόμε-



Σχ. 7.3β.
Γεωμετρία μιας LDR.

τρα, ρυθμιστές τροφοδοτικών ισχύος και φωτόμετρα.

Άλλο φωτο-ευαίσθητο στοιχείο είναι η **φωτοδιόδος** (photodiode), η οποία είναι αδιαφανής ημιαγώγιμη επαφή P-N. Δηλαδή δε διαπερνάται από το φως, αλλά αντίθετα, έχει την ιδιότητα να δεσμεύει τη φωτεινή ενέργεια. Ένα μεγάλο μέρος της ενέργειας αυτής, που μεταφέρεται στο εσωτερικό της διόδου από **φωτόνια** (photons), αξιοποιείται με τη δημιουργία ηλεκτρονίων-οπών. Αυτό συμβαίνει κάθε φορά που ένα φωτόνιο συγκρούεται με ένα ηλεκτρόνιο και το υποχρεώνει να εγκαταλείψει τη θέση του (θετικά ιονισμένη), οπότε και δημιουργείται ένα **ζεύγος ηλεκτρονίου-οπής**, όπως φαίνεται στο σχήμα 7.3γ. Τα ζεύγη που δημιουργούνται μακριά από την επαφή της διόδου συμβάλλουν στην αύξηση της αγωγιμότητας (ή μείωση της αντιστάσεως του κρυστάλλου), όπως ακριβώς και στην περίπτωση των φωτοαγωγών. Από τα ζεύγη ηλεκτρονίων-οπών που αναπτύσσονται πολύ κοντά

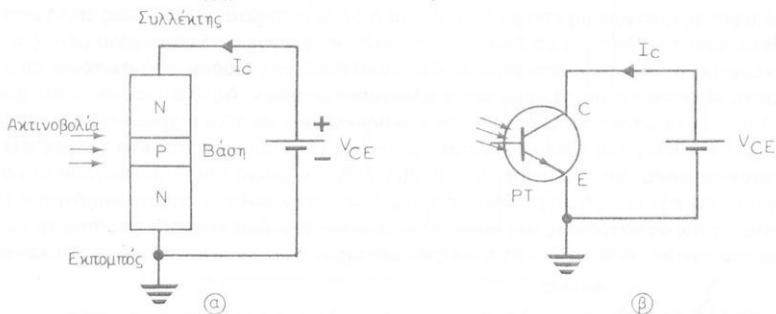


Σχ. 7.3γ.
Λειτουργία φωτοδιόδου και το ηλεκτρονικό της σύμβολο.

στην επαφή της διόδου, οι οπές που δημιουργούνται στο N-μέρος της διόδου παρασύρονται από το ηλεκτροστατικό πεδίο της επαφής, την διαπερνούν και εισέρχονται στο P-μέρος, ενώ τα ηλεκτρόνια των ζευγών που δημιουργούνται στο P-μέρος, διαπερνούν την επαφή και οδεύουν προς το N-μέρος (σχ. 7.3γ). Έτσι, αποτέλεσμα της φωτεινής ενέργειας που προσπίπτει στη διόδο, είναι η ανάπτυξη ηλεκτρονικού ρεύματος, το οποίο διαπερνά την επαφή της διόδου. Το ρεύμα αυτό, επειδή δημιουργείται από φωτεινή ενέργεια, ονομάζεται **φωτορεύμα** (photocurrent).

Η φωτοδιόδος είναι ένας **μεταλλάκτης** (transducer) που μετατρέπει φωτεινή ενέργεια σε ηλεκτρική. Επειδή η επιφάνεια της επαφής P-N είναι σχετικά μικρή επιβάλλεται συγκέντρωση της φωτεινής δέσμης στην επαφή, γεγονός που επιτυγχάνεται με τη χρησιμοποίηση φακών. Οι περισσότερες βιομηχανικές εφαρμογές των φωτοδίοδων απαντώνται σε **φωτομετρητές** ή **φωτοανιχνευτές** (photodetectors). Οι φωτοανιχνευτές έχουν μεγάλη ταχύτητα αποκρίσεως, με **χρονική σταθερά** (time constant) που κυμαίνεται μεταξύ 1 μsec και 1 nsec (!). Οι συνηθέστεροι, τύποι φωτοδίοδων είναι από πυρίτιο (για φάσμα φωτός μεταξύ 0,82 μm και 1,1 μm) ή από γερμάνιο (για φάσμα φωτός μεταξύ 1,4 μm και 1,9 μm).

Τέλος, ένα φωτο-ελεγχόμενο στοιχείο με πολλές βιομηχανικές εφαρμογές είναι το **φωτο-транζίστορ** (phototransistor). Το φωτοтранζίστορ είναι ημιαγωγική συσκευή πολύ πιο ευαίσθητη στη φωτεινή ακτινοβολία από τη φωτοδιόδο. Συνήθως χρησιμοποιείται σε σύνδεση κοινού εκπομπού με ανοικτό κύκλωμα στη βάση του, όπως φαίνεται στο σχήμα 7.3δ(α) και 7.3δ(β).



Σχ. 7.36.

Σύνδεση φωτοтранζίστορ.

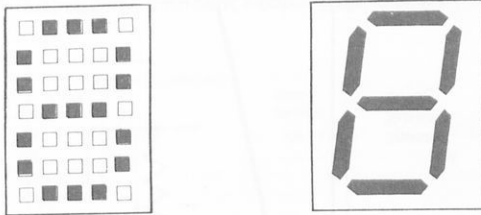
Η ακτινοβολία εστιάζεται στην περιοχή της επαφής P-N προς το μέρος του συλλέκτη. Η P-N επαφή προς την πλευρά του εκπομπού πολώνεται ελαφρά στην ορθή φορά, ενώ η επαφή P-N προς την πλευρά του συλλέκτη πολώνεται στην αναστροφή φορά. Η φωτεινή ενέργεια δημιουργεί ζεύγη ηλεκτρονίων-οπών με τον τρόπο που περιγράφηκε προηγούμενως, τα οποία συμβάλλουν στην ανάπτυξη ρεύματος I_C του συλλέκτη.

7.4 Δίοδος φωτοεκπομπής.

Ένας τύπος ημιαγωγικής διόδου με πολλές βιομηχανικές εφαρμογές είναι η **διο-**

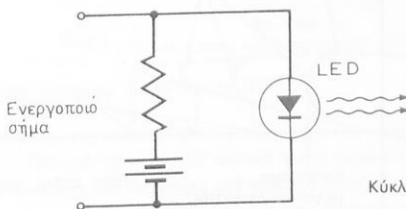
δος φωτοεκπομπής ή LED (Light Emitting Diode). Η δίοδος αυτή λειτουργεί κατά τρόπο αντίστροφο από τη φωτοδίοδο, δηλαδή μετατρέπει ηλεκτρική ενέργεια σε φωτεινή ενέργεια. Η εφαρμογή ηλεκτρικής ενέργειας «διεγείρει» τα αγωγά ηλεκτρόνια της δίοδου αυξάνοντας τη δυναμική τους ενέργεια. Με τη «διέγερση» αυτή, τα ηλεκτρόνια δεν αποκτούν ευσταθή ενεργειακή κατάσταση, αλλά σχεδόν αμέσως επανέρχονται στην αρχική τους ενεργειακή κατάσταση, εκπέμποντας φωτόνια με ενέργεια ίση προς τη διαφορά ενέργειας μεταξύ της «διεγερμένης» και της ευσταθούς ενεργειακής καταστάσεως. Η διαφορά αυτή είναι χαρακτηριστική του ημιαγωγικού υλικού και επιλέγεται έτσι, ώστε η ακτινοβολία των εκπεμπομένων φωτονίων να εμπίπτει στο ορατό φάσμα. Για την κατασκευή των LED χρησιμοποιούνται συνήθως σύνθετοι ημιαγωγοί, που αποτελούν συνδυασμούς III-V και II-VI του περιοδικού πίνακα των στοιχείων.

Η συνηθέστερη βιομηχανική εφαρμογή των LED (Ελ-η-ντι) συναντάται σε αριθμητικούς πίνακες διαφόρων μετρητών. Οι ενδείκτες αυτοί ονομάζονται «**άλφα-νουμέρικ**» (alphanumeric) και περιέχουν ένα αριθμό LED σε σχηματισμό σχάρας (4×7 , 5×7 ή 7×9 φωτεινών σημείων) ή 7 ευθύγραμμων τμημάτων, όπως φαίνεται στο σχήμα 7.4α. Ένας **αποκωδικοποιητής** (decoder) μετατρέπει τα ηλεκτρονικά σήματα που αντιστοιχούν στους διάφορους χαρακτήρες ή αριθμούς, σε ειδικά σήματα που ενεργοποιούν τις κατάλληλες LED και έτσι σχηματίζονται οι διάφοροι χαρακτήρες ή αριθμοί. Στο σχήμα 7.4β φαίνεται το κύκλωμα μιας δίοδου LED με το χαρακτηριστικό σύμβολό της.



Σχ. 7.4α.

Χρήση LED σε «άλφα - νουμέρικ» ενδείκτες.



Σχ. 7.4β.

Κύκλωμα εφαρμογής LED.

7.5 Χαρακτηριστικά του ελεγχόμενου ανορθωτή πυριτίου.

Στο πέμπτο κεφάλαιο περιγράφηκε η λειτουργία του ελεγχόμενου ανορθωτή πυριτίου (SCR). Το ηλεκτρονικό αυτό εξάρτημα έχει πάρα πολλές βιομηχανικές εφαρμογές σε κυκλώματα ελέγχου. Όπως το τρανζίστορ, έτσι και ο SCR έχει πολ-

λά χαρακτηριστικά που προδιαγράφουν τη λειτουργία του. Τα σημαντικότερα χαρακτηριστικά του περιγράφονται παρακάτω:

I_{fm} : Μέγιστη απότομη κύμανση του ρεύματος ορθής φοράς. Δηλαδή η μέγιστη τιμή ρεύματος ορθής φοράς κατά τη διάρκεια εναλλαγής.

I_{fom} : Η μέγιστη τιμή ρεύματος που μπορεί να εφαρμοσθεί στον SCR με την πύλη ανοικτή.

I_{gt} : Το απαιτούμενο ρεύμα σκανδάλης.

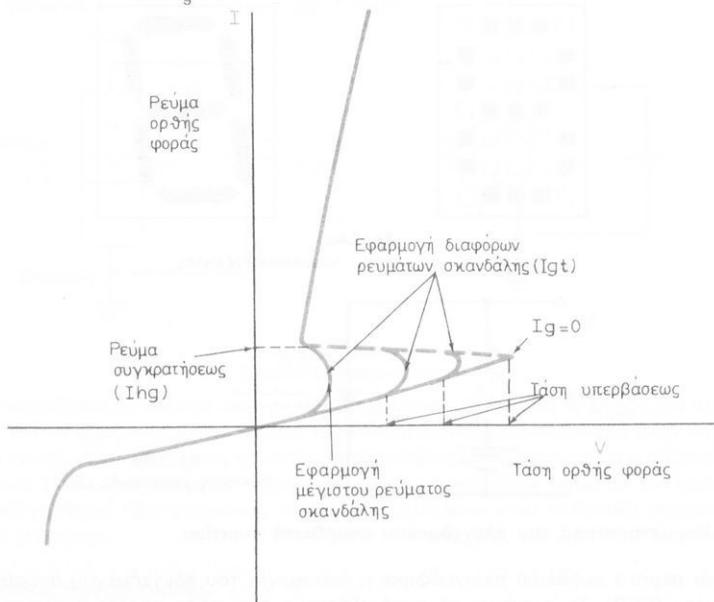
I_{hg} : Το **ρεύμα συγκρατήσεως** (holding current) που απαιτείται για τη λειτουργία του SCR.

V_{gt} : Η απαιτούμενη τάση σκανδάλης που εφαρμόζεται στην πύλη.

V_{fm} : Η μέγιστη τιμή τάσεως ορθής φοράς κατά τη διάρκεια εναλλαγής.

V_{gf} : Η μέγιστη τιμή τάσεως ορθής φοράς που εφαρμόζεται στην πύλη.

Στο σχήμα 7.5α φαίνεται η χαρακτηριστική καμπύλη του SCR. Όπως βλέπουμε, με την πύλη ανοικτή ($I_g = 0$), ο SCR χρειάζεται τη μέγιστη τάση υπερβάσεως για

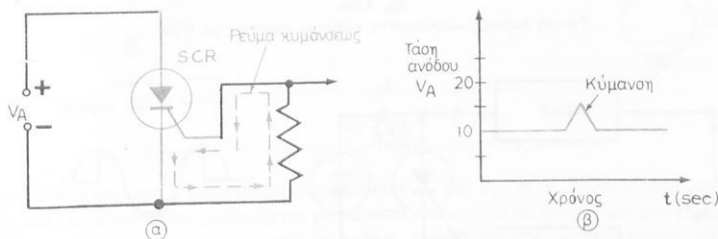


Σχ. 7.5α.

Χαρακτηριστική καμπύλη SCR.

να λειτουργήσει. Η τάση αυτή συνήθως κυμαίνεται μεταξύ 200V και 1000V. Όταν ο SCR τεθεί σε λειτουργία, η τάση του διατηρείται σε χαμηλά επίπεδα, μεταξύ 0,7 - 1,25V, ανάλογα με την τιμή ρεύματος ορθής φοράς. Όταν η τιμή του ρεύματος πέσει κάτω από μια ελάχιστη τιμή που αντιστοιχεί στο ρεύμα συγκρατήσεως (I_{hg}), διακόπτεται η λειτουργία του.

Ο κυριότερος παράγοντας που λαμβάνεται υπόψη για την επιλογή του SCR, είναι η ικανότητά του να αντιμετωπίζει απότομες αυξήσεις ή κυμάνσεις της τάσεως που εφαρμόζεται στην άνοδό του. Ας υποθέσουμε ότι μια σταθερή τάση 10 V εφαρμόζεται στον SCR, ενώ η πύλη δε συνδέεται με την τάση σκανδάλης, όπως φαίνεται στο σχήμα 7.5β (α). Επειδή δεν εφαρμόζεται τάση σκανδάλης, η κεντρική επαφή P-N του SCR είναι πολωμένη ανάστροφα. Η πύλη είναι θετική ως προς την κάθοδο και αρνητική ως προς την άνοδο. Αν παρουσιασθεί ξαφνικά κύμανση στην τάση ανόδου [σχ. 7.5β (β)] και διαρκέσει περισσότερο χρόνο από το χρόνο αποκρίσεως της πύλης, τα ηλεκτρόνια που φεύγουν από την κάθοδο δημιουργούν ρεύμα σκανδάλης στην πύλη και θέτουν σε λειτουργία τον SCR σε ακατάλληλη στιγμή πράγμα που μπορεί να επιφέρει την καταστροφή του. Για το λόγο αυτό, η ικανότητα του SCR να αντιμετωπίζει προβλήματα υπερτάσεως, αποτελεί σημαντικό κριτήριο στην επιλογή του για συγκεκριμένες εφαρμογές. Τελευταία, έχουν κατασκευασθεί SCR που μπορούν να αντιμετωπίζουν κυμάνσεις μεγέθους μερικών χιλιάδων βόλτ(!). Οι συνηθέστερες κυμάνσεις οφείλονται στους μετασχηματιστές κατά τη διάρκεια διακοπής-επαναλειτουργίας, ξαφνικές αλλαγές σε επαγωγικά φορτία, ή κατά τη διάρκεια της απότομης εφαρμογής ή διακοπής φορτίου στο κύκλωμα.



Σχ. 7.5β.

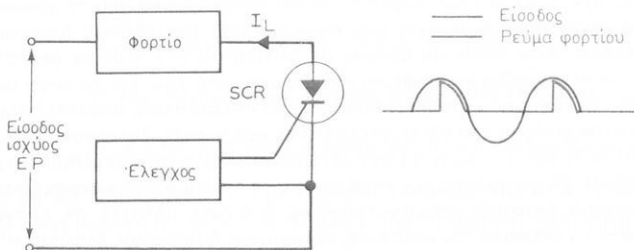
Αντιμέτωπη κυμάνσεων από τον SCR.

7.6 Κύκλωμα ελέγχου φάσεως με SCR.

Ο έλεγχος της ταχύτητας ηλεκτρικών μηχανών είναι ένα συχνό πρόβλημα στις βιομηχανίες. Παλαιότερα, για το σκοπό αυτό ερρησιμοποιείτο η λυχνία θύρατρον, η οποία πολωνόταν σε διάφορα επίπεδα τάσεως σκανδάλης και συμπεριφερόταν ως μεταβλητός ανορθωτής που έλεγχε την ταχύτητα των βιομηχανικών ηλεκτρικών μηχανών. Το μεγάλο μέγεθος της λυχνίας, αποτελούσε πρόβλημα με τις μικρές κυρίως ηλεκτρικές μηχανές. Η επινοήση του SCR έλυσε το πρόβλημα αυτό, σιγά - σιγά δε η εφαρμογή τους επεκτάθηκε και στις μεγάλες ηλεκτρικές μηχανές, σε σημείο μάλιστα οι SCR να έχουν πλήρως αντικαταστήσει τις λυχνίες θύρατρον στα κυκλώματα ελέγχου ταχύτητας ηλεκτρικών μηχανών.

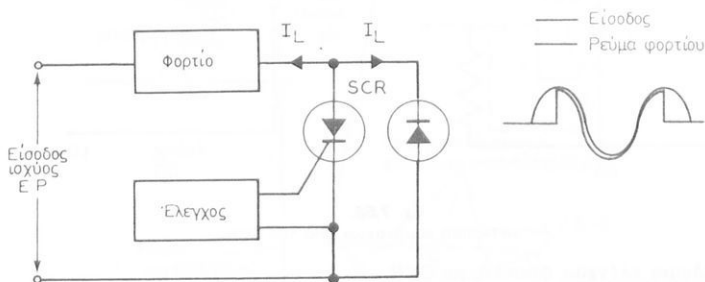
Ο έλεγχος της ταχύτητας μιας ηλεκτρικής μηχανής επιτυγχάνεται με το κύκλωμα **ελέγχου φάσεως** (phase control) της ισχύος ΕΡ με SCR. Η διαδικασία ελέγχου φάσεως επιτελείται με τη διακοπή και αποκατάσταση της ισχύος ΕΡ σε κατάλληλα σημεία του ημιτονοειδούς κύματος, που αντιπροσωπεύει την ισχύ ΕΡ.

Στο σχήμα 7.6α φαίνεται η γενική διάταξη του κυκλώματος ελέγχου φάσεως με SCR. Είναι φανερό ότι ο SCR ελέγχει το ρεύμα στη μια ημιπερίοδο και επιτρέπει την παροχή ισχύος προς το φορτίο μόνο κατά τη διάρκεια του δεύτερου τέταρτου του κάθε θετικού θετικού ημίκυκλου (κόκκινη περιοχή) του σήματος εισόδου. Για να συμπεριληφθεί και ο αρνητικός ημίκυκλος του σήματος εισόδου στην έξοδο χρησιμοποιείται άλλος ένας ανορθωτής σε παράλληλη σύνδεση με τον SCR όπως φαίνεται στο σχήμα 7.6β. Με το κύκλωμα αυτό εφαρμόζεται ολόκληρος ο αρνητικός ημίκυκλος του σήματος εισόδου στο φορτίο, όπως φαίνεται στο ίδιο σχήμα.



Σχ. 7.6α.

Γενική διάταξη κυκλώματος ελέγχου φάσεως με SCR.

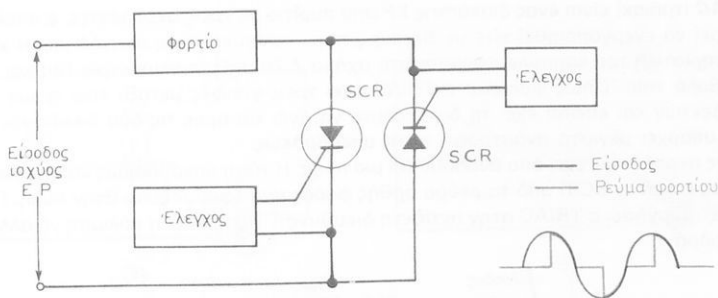


Σχ. 7.6β.

Έλεγχος φάσεως με SCR (μισός θετικός ημίκυκλος + ολόκληρος αρνητικός).

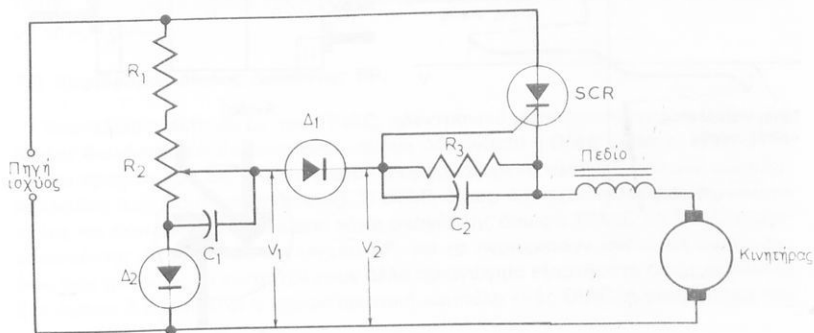
Μια χρήσιμη παραλλαγή του παραπάνω κυκλώματος για τον έλεγχο ταχύτητας μηχανών με μεταβολή της ισχύος από μηδέν μέχρι τη μέγιστη ισχύ, αποτελεί η διάταξη του σχήματος 7.6γ, στην οποία χρησιμοποιούνται δύο SCR σε παράλληλη σύνδεση. Ο έλεγχος αυτός λέγεται **πλήρους κύματος**, γιατί επιδρά και στους δύο ημίκυκλους ισχύος.

Τέλος, στο σχήμα 7.6δ φαίνεται το κύκλωμα ελέγχου ταχύτητας ηλεκτρικού κινητήρα που λειτουργεί με ονομαστική τιμή τάσεως γύρω στα 80 V. Το σήμα ελέγ-



Σχ. 7.6γ.

Έλεγχος φάσεως πλήρους κύματος με SCR.



Σχ. 7.6δ.

Εφαρμογή SCR σε κύκλωμα ελέγχου ταχύτητας κινητήρα.

χου προκύπτει από τη σύγκριση των τάσεων V_2 και V_1 . Η V_1 είναι η τάση αναφοράς και το μέγεθός της ρυθμίζεται με το ποτενοσιόμετρο R_2 στην τιμή που αντιστοιχεί στην επιθυμητή ταχύτητα του κινητήρα, ενώ η τάση V_2 μεταβάλλεται. Σκοπός του κυκλώματος ελέγχου είναι να διατηρήσει τη V_2 όσο το δυνατό πιο κοντά στη τιμή της τάσεως V_1 . Όταν η τάση V_2 υπερβεί την τιμή της τάσεως V_1 , ο κινητήρας περιστρέφεται με ταχύτητα μεγαλύτερη από την επιθυμητή. Η διόδος Δ_1 πολώνεται ανάστροφα ($V_2 \geq V_1$), με αποτέλεσμα ο SCR να παύσει να άγει. Η ταχύτητα του κινητήρα αρχίζει να πέφτει, ενώ παράλληλα η τάση V_2 μειώνεται. Μόλις η τάση V_2 πέσει κάτω από την τιμή της V_1 ($V_2 \leq V_1$), η διόδος Δ_1 πολώνεται με ορθή φορά και επαναφέρει στο κύκλωμα τον SCR. Με την αυξημένη παροχή ρεύματος στον κινητήρα η ταχύτητά του αρχίζει να αυξάνεται πάλι και η παραπάνω διαδικασία ελέγχου επαναλαμβάνεται συνεχώς.

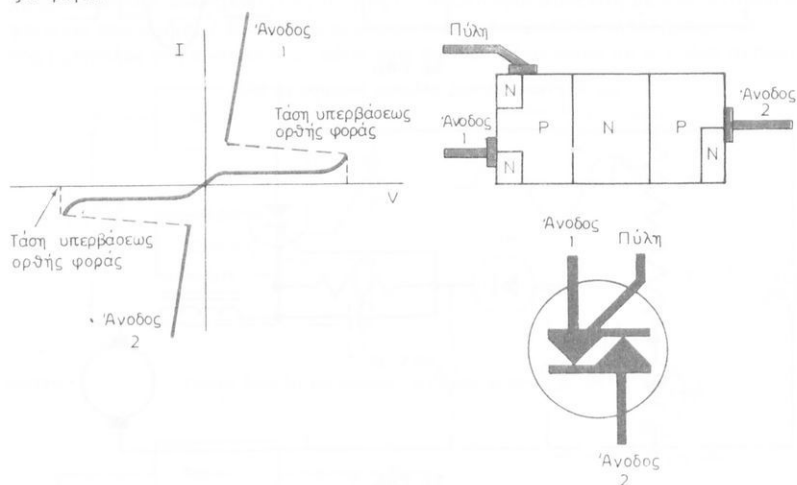
7.7 Αμφίδρομος ελεγχόμενος ανορθωτής πυριτίου.

Ο *αμφίδρομος ελεγχόμενος ανορθωτής* (bidirectional controlled rectifier) ή



TRIAC (τράιακ) είναι ένας διακόπτης ΕΡ από πυρίτιο με τρεις ακροδέκτες, ο οποίος μπορεί να ενεργοποιηθεί είτε με θετική είτε με αρνητική τάση σκανδάλης. Η χαρακτηριστική του καμπύλη φαίνεται στο σχήμα 7.7α μαζί τη γεωμετρία του και το σύμβολό του. Όπως φαίνεται ο TRIAC έχει τρεις επαφές μεταξύ των τριών ακροδεκτών και επειδή έχει τη δυνατότητα να άγει και προς τις δύο διευθύνσεις, δεν υπάρχει μέγιστη ανάστροφη τάση υπερβάσεως.

Ως ακροδέκτες έχει δύο ανόδους και μια πύλη. Η τάση υπερβάσεως καθορίζεται (όπως και στον SCR) από το ρεύμα ορθής φοράς που εφαρμόζεται στην πύλη. Για να λειτουργήσει ο TRIAC στην αντίθετη διεύθυνση, θα πρέπει η πόλωση να αλλάξει φορά.

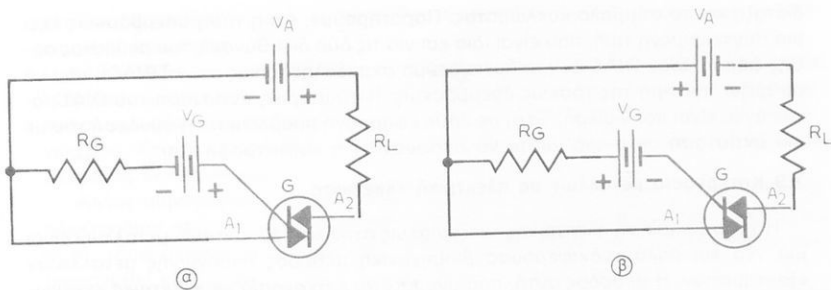


Σχ. 7.7α.

Χαρακτηριστική καμπύλη, γεωμετρία και σύμβολο TRIAC.

Στο σχήμα 7.7β παρουσιάζονται οι δύο δυνατές συνθήκες πόλωσης ενός TRIAC: στο μέρος (α) του σχήματος η πύλη του TRIAC έχει πολωθεί με θετική τάση και ο TRIAC άγει από την άνοδο 1 προς την άνοδο 2. Στο (β) μέρος η πύλη έχει πολωθεί με αρνητική τάση και ο TRIAC άγει από την άνοδο 2 προς την άνοδο 1. Και στις δύο περιπτώσεις η πολικότητα της ανόδου είναι αντίθετη προς την πολικότητα της τάσεως πύλης. Όταν εφαρμοσθεί τάση ΕΡ μεταξύ των δύο ανόδων, η πολικότητα των δύο αυτών ακροδεκτών εναλλάσσεται με τη συχνότητα της εφαρμοζόμενης τάσης. Ο έλεγχος της πύλης είναι αποδοτικός όταν η πολικότητα της πύλης εναλλάσσεται με την ίδια ακριβώς συχνότητα. Αυτό επιτυγχάνεται με εφαρμογή στην πύλη της ίδιας πηγής ΕΡ που εφαρμόζεται στις δύο ανόδους, με κατάλληλα μειωμένη τάση ώστε να μη ξεπεραστεί η μέγιστη επιτρεπόμενη τιμή.

Στις περισσότερες εφαρμογές των TRIAC προβλέπεται προστασία των ακροδεκτών από πιθανές απότομες κυμάνσεις που προέρχονται από την πηγή ΕΡ. Για το σκοπό αυτό καθώς και για την αποφυγή ανεξέλεγκτων «πυροδοτήσεων» του



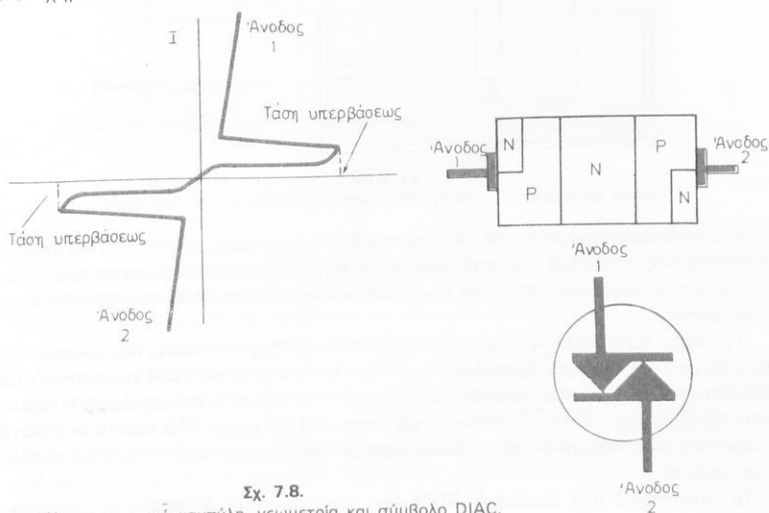
Σχ. 7.7β.

Πόλωση ορθής φοράς ανόδου 1 και 2 του TRIAC.

TRIAC, χρησιμοποιούνται αμφίδρομοι δίοδοι διακόπτες EP (DIAC) σε συνδυασμό με τους TRIAC.

7.8 Αμφίδρομος δίοδος διακόπτης EP.

Ένα, εξίσου χρήσιμο με τον TRIAC, ηλεκτρονικό εξάρτημα είναι ο **αμφίδρομος δίοδος διακόπτης EP** (bidirectional - diode AC switch) ή **DIAC** (ντάιακ). Ο DIAC άγει και προς τις δύο διευθύνσεις, όταν η εφαρμοζόμενη τάση EP ξεπερνά μια συγκεκριμένη τιμή (τάση υπερβάσεως). Ο DIAC, όμως, δεν έχει πρόσθετο ακροδέκτη πύλης και έτσι δεν ελέγχεται από τάση σκανδάλης όπως ο TRIAC. Οι DIAC χρησιμοποιούνται σε κυκλώματα ελέγχου EP, για να περιορίσουν απότομες διακυμάνσεις που μπορούν να καταστρέψουν άλλα ημιαγώγιμα εξαρτήματα όπως οι TRIAC. Στο σχήμα 7.8 φαίνεται η χαρακτηριστική καμπύλη ενός DIAC, η γεωμετρική του



Σχ. 7.8.

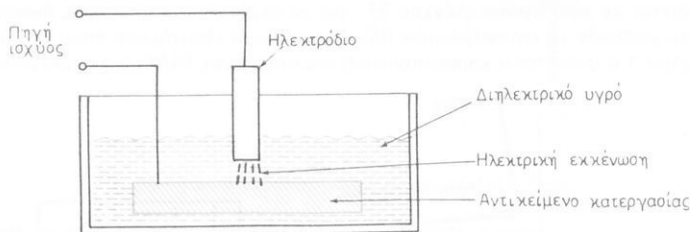
Χαρακτηριστική καμπύλη, γεωμετρία και σύμβολο DIAC.

διάταξη και το σύμβολο κυκλώματος. Παρατηρούμε, ότι η τάση υπερβάσεως έχει μια συγκεκριμένη τιμή, που είναι ίδια και για τις δύο διευθύνσεις του ρεύματος ορθής φοράς. Στον DIAC δεν υπάρχει ρεύμα σκανδάλης (όπως στον TRIAC), που να ρυθμίζει την τιμή της τάσεως υπερβάσεως. Η εσωτερική αντίσταση του DIAC, όταν άγει, είναι πολύ μικρή. Έτσι σε κάθε εφαρμογή προβλέπεται η σύνδεσή του με μια αντίσταση σε σειρά, ώστε να αποφευχθεί η καταστροφή του.

7.9 Κατεργασία μετάλλων με ηλεκτρική εκκένωση.

Η χρησιμοποίηση ηλεκτρικής εκκένωσης στην κατεργασία των μετάλλων είναι μια νέα και πολύ ενδιαφέρουσα βιομηχανική μέθοδος παραγωγής μεταλλικών εξαρτημάτων. Η μέθοδος αυτή, που ονομάζεται **κατεργασία με ηλεκτρική εκκένωση** (electrical discharge machining) ή **EDM**, χρησιμοποιεί τη θερμότητα που παράγεται από ηλεκτρική εκκένωση, για να αφαιρέσει υλικό από ένα κομμάτι μετάλλου.

Στο σχήμα 7.9α φαίνεται το σχηματικό διάγραμμα της βασικής διατάξεως της μεθόδου EDM. Μια πηγή ισχύος συνεχούς ρεύματος συνδέεται με το ηλεκτρόδιο και με το προς κατεργασία αντικείμενο. Το ηλεκτρόδιο παίζει ρόλο κοπτικού εργαλείου. Η πηγή ισχύος είναι ανάγκη να τροφοδοτήσει αρκετό ρεύμα για να δημιουργηθεί ηλεκτρικό τόξο μεταξύ του ηλεκτροδίου και του προς κατεργασία αντικείμενου. Το διηλεκτρικό υγρό μέσα στο οποίο είναι βυθισμένα τα αντικείμενα και το κάτω μέρος του ηλεκτροδίου λόγω των μονωτικών ιδιοτήτων του ρυθμίζει την ηλεκτρική εκκένωση. Αρχικά παρουσιάζει μεγάλη αντίσταση στη διέλευση ρεύματος. Μόλις όμως εφαρμοσθεί μια συγκεκριμένη **τάση διασπάσεως** (breakdown voltage), το διηλεκτρικό διασπάται και δημιουργείται ηλεκτρική εκκένωση.



Σχ. 7.9α.

Βασική διάταξη για την κατεργασία μετάλλου με ηλεκτρική εκκένωση.

Η αποτελεσματικότητα της μεθόδου EDM στην κατεργασία των μετάλλων εξαρτάται από το ρυθμό της κατεργασίας, το διηλεκτρικό, τη συχνότητα των εκκένωσης, την υπερτομή, το υλικό του ηλεκτροδίου και το υλικό του αντικείμενου κατεργασίας.

Ο ρυθμός (rate) κατεργασίας σχετίζεται με το βάθος της κοπής του υλικού, καθώς και με την ταχύτητα αφαιρέσεως υλικού. Κάθε συσκευή EDM χαρακτηρίζεται από ένα χρονοδιάγραμμα αφαιρέσεως υλικού, το οποίο μετράται σε ώρες. Η ποσότητα αφαιρέσεως υλικού συνήθως κυμαίνεται από 25 μέχρι 120 κυβικά εκατοστά υλικού την ώρα. Μεγαλύτερος ρυθμός αφαιρέσεως υλικού απαιτεί βέβαια υψηλότερο ρεύμα.

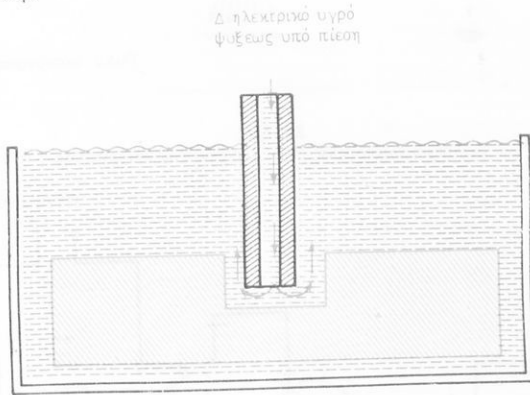
Το διηλεκτρικό στις συσκευές EDM έχει τρεις σκοπούς. Ρυθμίζει το ρεύμα εκ-

κενώσεως, προκαλεί ψύξη και καθαρίζει το αντικείμενο κατεργασίας από τα αποκομμένα σωματίδια.

Κάθε διηλεκτρικό προβάλλει μεγάλη αντίσταση στη διαπέραση ηλεκτρικής ενέργειας μέχρι ενός συγκεκριμένου ορίου εφαρμοζόμενης τάσεως (τάση διάσπασης), οπότε επέρχεται διάσπαση και διαπερνάται από ρεύμα με μορφή εκκενώσεως. Έτσι η επιλογή τού διηλεκτρικού καθορίζει αυτόματα την ποσότητα του ρεύματος εκκενώσεως.

Άλλος παράγοντας που ελέγχει τη ροή του ρεύματος είναι η απόσταση του ηλεκτροδίου από το αντικείμενο κατεργασίας· όσο μεγαλύτερη είναι η απόσταση αυτή, τόσο περισσότερη ηλεκτρική ενέργεια πρέπει να εφαρμοσθεί για να δημιουργηθεί εκκένωση.

Επειδή η ηλεκτρική εκκένωση παράγει μεγάλη θερμότητα, η ομαλή λειτουργία της συσκευής EDM απαιτεί την κυκλοφορία ενός μέσου ψύξεως γύρω από την επιφάνεια του κατεργαζόμενου αντικειμένου. Η ανάγκη αυτή καλύπτεται από το ίδιο το διηλεκτρικό υγρό, το οποίο διοχετεύεται υπό πίεση, μέσα από ένα εσωτερικό κανάλι του ηλεκτροδίου, στην επιφάνεια κατεργασίας. Η σχετική διάταξη φαίνεται στο σχήμα 7.9β.



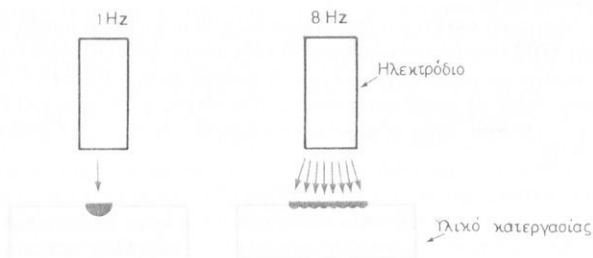
Σχ. 7.9β.

Ψύξη με διηλεκτρικό υγρό υπό πίεση.

Η εκτόξευση του διηλεκτρικού υγρού υπό πίεση και η ροή του πάνω στην επιφάνεια κατεργασίας, παρασύρει τα αποκομμένα σωματίδια, και έτσι η περιοχή της κατεργασίας καθαρίζεται αποτελεσματικά. Αν τα σωματίδια αυτά δεν απομακρυνθούν από το χώρο της εκκενώσεως, δημιουργούνται υψηλά ρεύματα εκκενώσεως, τα οποία καταστρέφουν τα κατεργαζόμενα αντικείμενα.

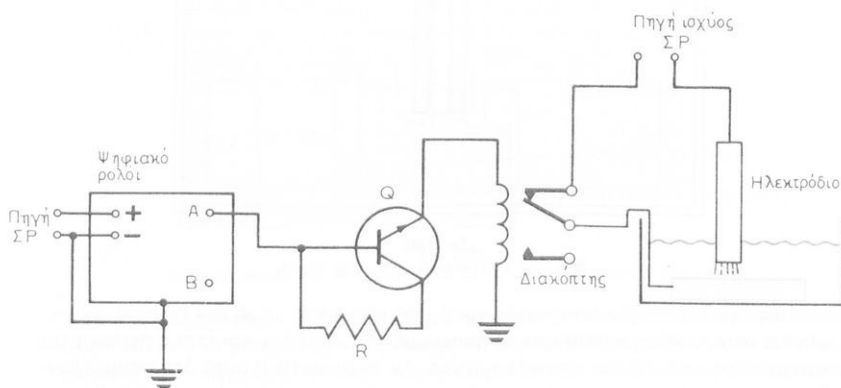
Ένα από τα σημαντικότερα πλεονεκτήματα της μεθόδου EDM στην κατεργασία των μετάλλων είναι ότι εξασφαλίζει μεγάλη ακρίβεια στις ανοχές κατεργασίας. Η ακρίβεια αυτή φθάνει μέχρι δύο χιλιοστά του εκατοστομέτρου, γι' αυτό και η μέθοδος έχει πολλές εφαρμογές στην κατασκευή εργαλείων υψηλής ακρίβειας. Γενικά χρησιμοποιείται και για μαζική παραγωγή μεταλλικών εξαρτημάτων μέσης ακρίβειας.

Η υψηλή ακρίβεια που παρέχει η μέθοδος EDM, επιτυγχάνεται με την επιλογή της κατάλληλης συχνότητας του τροφοδοτικού ισχύος. Η συχνότητα αυτή καθορίζει τον αριθμό των ηλεκτρικών εκκενώσεων ανά δευτερόλεπτο. Αν π.χ. χρησιμοποιηθεί συχνότητα ενός Hz, όλη η ενέργεια της εκκενώσεως εφαρμόζεται σε ένα σημείο στο κατεργαζόμενο υλικό και έτσι η κοπή γίνεται σε βάθος. Αν εφαρμοσθεί συχνότητα 8Hz, η ενέργεια της εκκενώσεως κατανέμεται σε οκτώ διαφορετικά σημεία του υλικού, με αποτέλεσμα να αφαιρούνται ίσες ποσότητες υλικού από περισσότερα σημεία με καλύτερο «φινίρισμα». Στο σχήμα 7.9γ φαίνεται παραστατικά η επίδραση της συχνότητας στην ακρίβεια της αφαίρεσεως του υλικού και στο σχήμα 7.9δ το κύκλωμα που ρυθμίζει τη συχνότητα των εκκενώσεων.



Σχ. 7.9γ.

Επίδραση συχνότητας στην ακρίβεια της κατεργασίας.



Σχ. 7.9δ.

Κύκλωμα ρυθμίσεως συχνότητας εκκενώσεων.

Ένας άλλος παράγοντας που χαρακτηρίζει την απόδοση της μεθόδου EDM είναι η λεγόμενη **υπερτομή** (overcut). Υπερτομή είναι η επιφάνεια εφαρμογής της εκκενώσεως στο κατεργαζόμενο υλικό, η οποία συνήθως υπερβαίνει τη διατομή του ηλεκτροδίου. Έτσι, οι τελικές διαστάσεις της κατεργασίας επηρεάζονται τόσο από

την υπερτομή όσο και από τη διατομή του ηλεκτροδίου.

Τέλος, σημαντικά συμβάλλει στην αποδοτικότητα της μεθόδου το υλικό που χρησιμοποιείται ως ηλεκτρόδιο. Η επιλογή του γίνεται ανάλογα με τον επιθυμητό ρυθμό κατεργασίας, την ποσότητα του υλικού που αφαιρείται και τον τύπο του υλικού που κατεργάζεται. Η επιλογή αυτή γενικά περιορίζεται σε υλικά που συνδυάζουν καλή αγωγιμότητα και πολύ υψηλό σημείο τήξεως, όπως είναι ο χαλκός, ο γραφίτης, ο ορείχαλκος κλπ.

Αγγλική Ορολογία

Amplification: ενίσχυση
Amplification factor: συντελεστής ενισχύσεως
Amplifier: ενισχυτής
Anode: άνοδος
Astable: ασταθής
Autotransformer: αυτομετασχηματιστής

Base: βάση
Base - pin: βάση με περόνες
Beam forming plates: πλακίδια σχηματισμού δέσμης
Beam - power pentode: πέντοδος ισχύος δέσμης
Bias: πόλωση
Bidirectional controlled rectifier: αμφίδρομος ελεγχόμενος ανορθωτής
Bidirectional - diode AC switch: αμφίδρομος - δίοδος διακόπτης ΕΡ
Bistable: διασταθής
Bipolar: διπολικός
Bleeder resistor: αντίσταση διαρροής
Breandorm voltage: τάση καταρρεύσεως (διασπάσεως)
Bridge circuit: κύκλωμα γέφυρας

Capacitance (interelectrode): χωρητικότητα (διηλεκτροδιακή)
Capacitor (trimmer): πυκνωτής (βοηθητικός)
Capacitor input filter Π - type: φίλτρο με πυκνωτή στην είσοδο σε σχήμα Π
Carriers: φορείς
Cascade connection: διαδοχική σύνδεση
Cathode: κάθοδος
Center - tapped: κεντρικής λήψεως
Cold cathode: ψυχρή κάθοδος
Collector: συλλέκτης
Common base amplifier: ενισχυτής κοινής βάσεως
Common collector amplifier: ενισχυτής κοινού συλλέκτη
Common emitter circuit: ενισχυτής κοινού εκπομπού
Comparator: συγκριτής
Conductor: αγωγός
Control circuit: κύκλωμα ελέγχου

Control grid: σχάρα ελέγχου
Converter: μετατροπέας
Coupling: ζεύξη
Current: ρεύμα
Current gain: κέρδος (απολαβή) ρεύματος
Crystal ovens: εστίες κρυστάλλου

Damping: απόσβεση
Decoder: αποκωδικοποιητής
Depletion area: περιχρή κατακενώσεως
Differential amplifier: διαφορικός ενισχυτής
Direct coupling: απ' ευθείας σύζευξη
Distortion: παραμόρφωση
Double - base diode: δίοδος διπλής βάσεως
Doping: πρόσμιξη
Drain: υποδοχή
Drooping resistor: αντίσταση πτώσεως

Electrical discharge machining: κατεργασία με ηλεκτρική εκκένωση
Electrons (free): ηλεκτρόνια (ελεύθερα)
Emission (thermionic): εκπομπή (θερμιονική)
Emitter: εκπομπός
Envelope: περίβλημα (λυχνίας)
Epitaxial diffusion system: επιταξιακό σύστημα διαχύσεως
Epitaxial layer: επιταξιακό στρώμα
Error signal: σήμα σφάλματος

Feedback circuit: κύκλωμα ανατροφοδοτήσεως
Field effect transistor: τρανζίστορ επιδράσεως πεδίου
Filament: νήμα
Filament voltage: τάση νήματος
Forward bias: πόλωση ορθής φοράς
Forward brealcover voltage: τάση υπερβάσεως ορθής φοράς
Forward current: ρεύμα ορθής φοράς
Frequency (cuttoff): συχνότητα (αποκοπής)
Frequency (resonant): συχνότητα συντονισμού
Full wave rectifier: ανορθωτής πλήρους κύματος
Full wave voltage doubler: διπλασιαστής τάσεως πλήρους κύματος

Gain: κέρδος (απολαβή)
Galvanometer: γαλβανόμετρο
Gate: πύλη
Gate - trigger voltage: τάση σκανδάλης - πύλης
Germanium: γερμάνιο
Grid: σχάρα
Grid voltage: τάση σχάρας

Half-wave rectification: ανόρθωση μισού κύματος
Half-wave voltage doubler: διπλασιαστής τάσεως μισού κύματος
High field emission: εκπομπή (ηλεκτρονίων) με ισχυρό ηλεκτρικό πεδίο
Holding current: ρεύμα συγκρατήσεως
Hole current: ρεύμα οπών
Holes: οπές
Hybrid circuit: υβριδικό κύκλωμα

Impedance: σύνθετη αντίσταση
Input impedance: σύνθετη αντίσταση εισόδου
Insulator: μονωτήρας
Ionifation (by collision): ιονισμός διά κρούσεως
Integrated circuit: ολοκληρωμένο κύκλωμα
Intrinsic standoff ratio: ενδογενής λόγος ισορροπίας
Inverter: αναστροφέας

Junction: επαφή

Key: κλειδί

Light dependent resistor: φωτοεξαρτόμενη αντίσταση
Light emitting diode: δίοδος φωτοεκπομπής

Majority carriers: πλειοψηφούντες φορείς
Mash: επιφάνεια επιλεκτικής καλύψεως
Mircoprocessor: μικροεπεξεργαστής
Minority carriers: μειοψηφούντες φορείς
Monostable: μονοσταθής
Multivibrator (one-shot): πολυδονητής (μιας βολής)

Ohmic contact: ωμική επαφή
Optical-analog: οπτικό - αναλογικός
Oscillator: ταλαντωτής
Output: έξοδος
Output impedance: σύνθετη αντίσταση εξόδου
Overcut: υπερτομή

Phase: φάση
Phase control: έλεγχος φάσεως
Phase inversion: αναστροφή φάσεως

Photoconductive: φωτοαγωγίσιμος
Photoconductor: φωτοαγωγός
Photocurrent: φωτόρευμα
Photodetector: φωτοανιχνευτής
Photodiode: φωτοδίοδος
Photons: φωτόνια
Photosensitivity: φωτοευαισθησία
Phototransistor: φωτοτρανζίστορ
Piezoelectric effect: πιεζοηλεκτρικό φαινόμενο
Plate: πλάκα (άνοδος)
Plate voltage: τάση ανόδου
Power gain: κέρδος ισχύος (απολαβή)
Power supply: τροφοδοτικό ισχύος
Power supply regulator: ρυθμιστής τροφοδοτικού ισχύος

Rectifier: ανορθωτής
Rectification: ανόρθωση
Reference voltage: τάση αναφοράς
Regulating circuit: κύκλωμα σταθεροποίησης
Regulating voltage: τάση ρυθμίσεως
Relaxation oscillator: ταλαντωτής χαλαρώσεως
Reverse bias: πόλωση ανάστροφης φοράς
Reverse current: ρεύμα ανάστροφης φοράς
Ripple: κυμάτωση

Saturation current: ρεύμα κόρου
Screen grid: προφυλακτική σχάρα
Seconday electrons: δευτερογενή ηλεκτρόνια
Secondary emission : δευτερογενής
Selenium: σελήνιο
Self bias: αυτοπόλωση
Semiconductor: ημιαγωγός
Side rods: ράβδος στηρίξεως (λυχνίας)
Silicon: πυρίτιο
Silicon controlled rectifier: ελεγχόμενος ανορθωτής πυριτίου

Slug tuned coil: κινητήρας αυτόματου συντονισμού
Socket assembly: πλαίσιο υποδοχής
Solid state: στερεά κατάσταση
Source: πηγή
Space charge: φορτίο χώρου
Square wave: κύμα τετραγωνικής μορφής
Starting voltage: τάση εκκινήσεως
Substrate: υπόστρωμα
Sypperessor grid: σχάρα καταστολής

Tank circuit : αποθηκευτικό κύκλωμα
Tap (center): λήψη (κεντρική)
Temperature coefficient (negative) : συντελεστής θερμοκρασίας (αρνητικός)
Time constont: χρονική σταθερά
Timing circuit: κύκλωμα χρονισμού

Transtomer: μετασχηματιστής
Transducer: μεταλλάκτης
Triac: αμφίδρομος ελεγχόμενος ανορθωτής πυριτίου
Trickler coil: πηνίο διεγέρσεως
Trigger circuit: κύκλωμα σκανδάλης
Triode: τριόδος
Tube: λυχνία
Tube shielding: προστασία λυχνιών

Unijunction oscillator: μονοεπαφιακός ταλαντωτής

Unipolar: μονοπολικός

Voltage divider: διαιρέτης τάσεως

Voltage doubler: διπλασιαστής τάσεως

Voltage gain: κέρδος (απολαβή) τάσεως

Voltage regulating tube: λυχνία ρυθμίσεως τάσεως

Voltage multiplier: πολλαπλασιαστής τάσεως

Wave generaty: γεννήτρια κύματος

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΠΡΩΤΟ

Εισαγωγή και ανασκόπηση

1.1 Εισαγωγή στα βιομηχανικά ηλεκτρονικά	3
1.2 Ακασκόπηση της θεωρίας των ημιαγωγών	3
1.3 Ανασκόπηση της θεωρίας των ηλεκτρονικών λυχνιών	9

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΔΕΥΤΕΡΟ

Ενισχυτές

2.1 Γενικά	15
2.2 Ενισχυτές με τρανζίστορ	15
2.2.1 Κυκλώματα κοινού εκπομπού	17
2.2.2 Άλλα κυκλώματα ενισχυτών	20
2.3 Ενισχυτές με λυχνίες	21
2.3.1 Ενισχυτικά κυκλώματα με τριόδους	21
2.3.2 Ενισχυτικά κυκλώματα τετρώδων και πεντόδων	23
2.3.3 Σύζευξη ενισχυτικών σταδίων	26
2.4 Τρανζίστορ επιδράσεως πεδίου	29

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΤΡΙΤΟ

Ταλαντωτές

3.1 Γενικά	33
3.2 Βασικοί ταλαντωτές LC	33
3.3 Ταλαντωτής Armstrong	37
3.4 Ταλαντωτής Hartley	38
3.5 Ταλαντωτής Colpitts	39
3.6 Ταλαντωτής κρυστάλλου	40
3.7 Μονοεπαφιακός ταλαντωτής	41

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΤΕΤΑΡΤΟ

Ολοκληρωμένα κυκλώματα

4.1 Γενικά	48
4.2 Δομή μονολιθικού κυκλώματος	50
4.2.1 Κατασκευή	51
4.2.2 Κατασκευαστικός κύκλος	52
4.2.3 Κατασκευή τρανζίστορ	52
4.2.4 Κατασκευή διόδων	53
4.2.5 Κατασκευή πυκνωτών και αντιστάσεως	54
4.3 Στοιχεία λεπτής επιστρώσεως	55
4.4 Υβριδικό κύκλωμα	55

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΠΕΜΠΤΟ

Κυκλώματα ανορθώσεως

5.1 Γενικά	56
5.2 Ημιαγωγήμη διόδος ως ανορθωτής	56
5.3 Κύκλωμα φίλτρου	58
5.4 Κύκλωμα ανορθώσεως πλήρους κύματος	59
5.5 Κύκλωμα διπλασιασμού τάσεως	62
5.6 Ανόρθωση σε πολυφασικά συστήματα	63
5.7 Ελεγχόμενος ανορθωτής πυριτίου (SCR)	65
5.8 Ανορθωτής σεληνίου	67

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΕΚΤΟ

Τροφοδοτικά ισχύος

6.1 Γενικά	69
6.2 Τροφοδοτικά ισχύος ΕΡ	69
6.3 Τροφοδοτικά ισχύος ΕΡ-ΣΡ	71
6.3.1 Τροφοδοτικά γραμμής	71
6.3.2 Τροφοδοτικά με μετασχηματιστή	71
6.4 Αντίσταση διαρροής	74
6.5 Ρυθμιστές τάσεως τροφοδοτικών ισχύος	75
6.6 Ρυθμιζόμενα τροφοδοτικά ισχύος με κύκλωμα ανατροφοδότησεως	79
6.7 Αναστροφείς και μετατροπείς	81

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΕΒΔΟΜΟ

Άλλα βιομηχανικά ηλεκτρονικά εξαρτήματα και κυκλώματα

7.1 Γενικά	83
7.2 Θερμίστορ	83
7.3 Φωτο-ελεγχόμενα στοιχεία	87
7.4 Δίοδος φωτοεκπομπής	88
7.5 Χαρακτηριστικά του ελεγχόμενου ανορθωτή πυριτίου	89
7.6 Κύκλωμα ελέγχου φάσεως με SCR	91
7.7 Αμφίδρομος ελεγχόμενος ανορθωτής πυριτίου	93
7.8 Αμφίδρομος διόδος διακόπτης ΕΡ	95
7.9 Κατεργασία μετάλλων με ηλεκτρική εκκένωση	96
Αγγλική Ορολογία	100

COPYRIGHT ΙΔΡΥΜΑΤΟΣ ΕΥΓΕΝΙΔΟΥ



0020558259

ΒΙΒΛΙΟΘΗΚΗ ΒΟΥΛΗΣ

Ψηφιοποιήθηκε από το Ινστιτούτο Εκπαιδευτικής Πολιτικής

Οι αυτόματες θύρες Ήρωνα του Αλεξανδρινού

