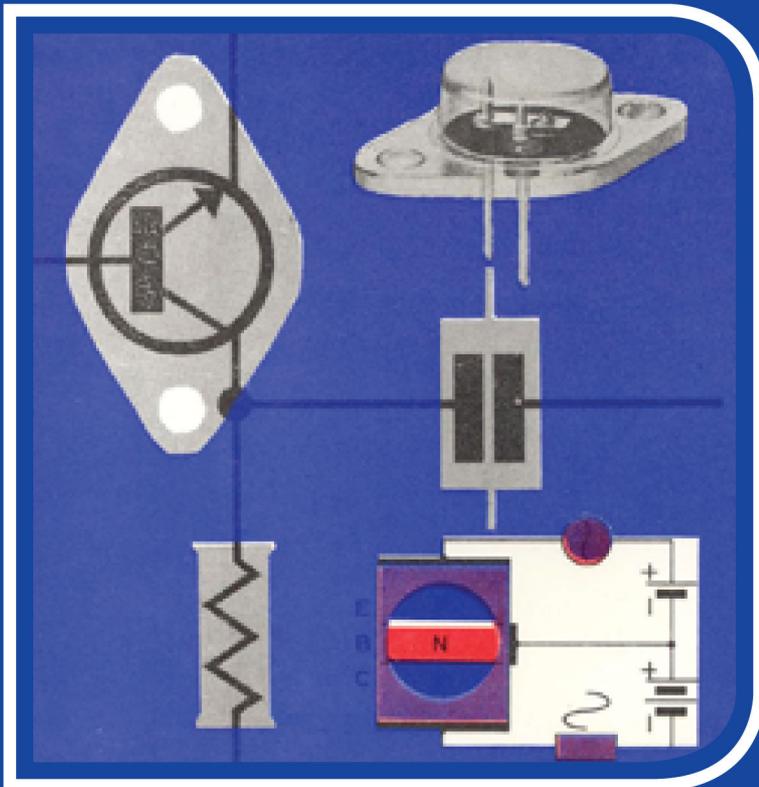


ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΟ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ

Σ. Κοντοράβδη

ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΟΥ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΟΥ Μ.Σ.





1954

ΙΔΡΥΜΑ ΕΥΓΕΝΙΔΟΥ
ΧΡΥΣΟΥΝ ΜΕΤΑΛΛΙΟΝ ΑΚΑΔΗΜΙΑΣ ΑΘΗΝΩΝ

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 γενναιοφρονα 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 την 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 150 τόμοι βιβλίων, που έχουν διατεθεί σε πολλά εκατομμύρια τεύχη, και καλύπτουν ανάγκες των Κατώτερων και Μέσων Τεχνικών Σχολών 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 εμφάνισης, 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 στην 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, είναι γραμμένα σε γλώσσα δημοτική με βάση την γραμματική του Τριανταφυλλίδη, ενώ όλα τα άλλα βιβλία είναι γραμμένα στην απλή καθαρεύουσα. Η γλωσσική επεξεργασία των βιβλίων γίνεται από φιλόλογους του Ιδρύματος και έτσι εξασφαλίζεται η ενιαία σύνταξη και ορολογία κάθε κατηγορίας βιβλίων.

Η ποιότητα του χαρτίου, 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.

Το Ίδρυμα θεώρησε ότι είναι υποχρέωσή του, σύμφωνα με το πνεύμα του ιδρυτή του, να θέσει στην διάθεση του Κράτους όλη αυτή την πείρα του των 20 ετών, αναλαμβάνοντας την έκδοση των βιβλίων και για τις νέες Τεχνικές και Επαγγελματικές Σχολές και τα νέα Τεχνικά και Επαγγελματικά Λύκεια, σύμφωνα με τα Αναλυτικά Προγράμματα του Κ.Ε.Μ.Ε.

ΕΠΙΤΡΟΠΗ ΕΚΔΟΣΕΩΝ ΙΔΡΥΜΑΤΟΣ ΕΥΓΕΝΙΔΟΥ

Χρυσόστομος Φ. Καβουνίδης, Διπλ. Μηχ. - Ηλ. ΕΜΠ, Επίτιμος Διοικητής Ο.Τ.Ε., Πρόεδρος.

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

Αλέξανδρος Σταυρόπουλος, Καθηγητής Α.Β.Σ. Πειραιώς.

Θεοδόσιος 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**.

Διατελέσαντα μέλη ή σύμβουλοι της Επιτροπής

Γεώργιος Κακριδής † (1955 - 1959) Καθηγητής ΕΜΠ, **Άγγελος Καλογεράς** † (1957 - 1970) Καθηγητής ΕΜΠ, **Δημήτριος Νιάνις** (1957 - 1965) Καθηγητής ΕΜΠ, **Μιχαήλ Σπετσιέρης** (1956 - 1959), **Νικόλαος Βασιώτης** (1960 - 1967), **Θεόδωρος Κουζέλης** (1968 - 1976) Μηχ.-Ηλ. ΕΜΠ, **Παναγιώτης Χατζηιωάννου** (1977 - 1982) Μηχ. Ηλ. ΕΜΠ, **Αλέξανδρος Ι. Παππάς** (1955 - 1983) Ομότιμος Καθηγητής ΕΜΠ.



Γ' ΤΑΞΗ ΤΕΧΝΙΚΟΥ ΛΥΚΕΙΟΥ

ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΟ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ

Σ. ΚΟΝΤΟΡΑΒΔΗ
ΔΙΕΥΘΥΝΤΗ ΜΕΣΗΣ ΤΕΧΝΙΚΗΣ ΣΧΟΛΗΣ
ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΟΥ-ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΟΥ Μ.Σ.

ΑΘΗΝΑ
1984



ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Το βιβλίο αυτό είναι εργαστηριακό βοήθημα. Η χρήση του προϋποθέτει την ύπαρξη οργανωμένου εργαστηριακού χώρου με τα απαραίτητα μέσα, δηλαδή με τα ανάλογα όργανα και συσκευές (ασκήσεις).

Οι πενήντα (50) ασκήσεις, που περιέχει, καλύπτουν μεγάλο μέρος των Ηλεκτρονικών εφαρμογών και στηρίζονται στις θεωρητικές γνώσεις, που θα έχουν οι μαθητές. Ο σκοπός της διεξαγωγής τους είναι κυρίως η εμπέδωση των θεωρητικών αυτών γνώσεων που παρέχει το μάθημα των Ηλεκτρονικών. Ακόμα συντελεί στην καλή γνωριμία με τα βασικά τουλάχιστον από τα τόσα πολλά σε αριθμό και ποικιλία ηλεκτρονικά όργανα, που η σωστή τους χρήση αυξάνει την τεχνική πείρα και τη δεξιότητα του μαθητή.

Η σειρά, με την οποίαν οι ασκήσεις θα πραγματοποιηθούν σε κάθε Τεχνικό Λύκειο, θα ρυθμισθεί από τον υπεύθυνο του Εργαστηρίου με οδηγό τη διδασκαλία του θεωρητικού μέρους του μαθήματος των Ηλεκτρονικών και σε συνάρτηση με τον εξοπλισμό και την οργάνωση του σχολικού Εργαστηρίου.

Πολλές από τις ασκήσεις αυτές απαιτούν πλήρες δώρο ή και τρίωρο για τη διεξαγωγή τους. Άλλες όμως είναι μικρές και θα μπορούσαν να γίνουν ανά δύο ή και ανά τρεις στην ίδια εργαστηριακή περίοδο. Εκείνο που πρέπει ιδιαίτερα να προσεχθεί είναι η σωστή και ολοκληρωμένη συμμετοχή των μαθητών στη διεξαγωγή των ασκήσεων. Όλοι οι μαθητές (όπως θα είναι χωρισμένοι σε ομάδες) θα πρέπει να χρησιμοποιούν προσωπικά ο καθένας τα όργανα και να προβαίνουν στις δέουσες μετρήσεις. Στο τέλος όλοι θα πρέπει να γράφουν μια πλήρη έκθεση με τις παρατηρήσεις και τα αποτελέσματα των μετρήσεων στο ειδικό «Τετράδιο Εργαστηριακών Ασκήσεων», απαραίτητο για κάθε μαθητή. Χωρίς αυτή τη διαδικασία η εργαστηριακή απασχόληση δεν θα ασφαλίσει την ουσιαστική κατοχύρωση των γνώσεων. Αντίθετα, η πρόγραμματισμένη και με μεθοδικό τρόπο διεξαγωγή των μετρήσεων και παρατηρήσεων, που ζητείται με κάθε άσκηση, θα θεμελιώσει τη γνώση, θα αναπτύξει την αγάπη του μαθητή για το σύνολο του μαθήματος, θα κεντρίσει το ενδιαφέρον για πειραματική πράξη, θα ενισχύσει τα ενδιαφέροντά του για κατασκευές και έρευνα και θα του δημιουργήσει αληθινή έφεση για μάθηση και πρόοδο.

ΑΣΚΗΣΗ 1

ΗΛΕΚΤΡΙΚΕΣ ΠΗΓΕΣ ΤΟΥ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟΥ – ΜΕΤΡΑ ΑΣΦΑΛΕΙΑΣ

1.1 Γενικά.

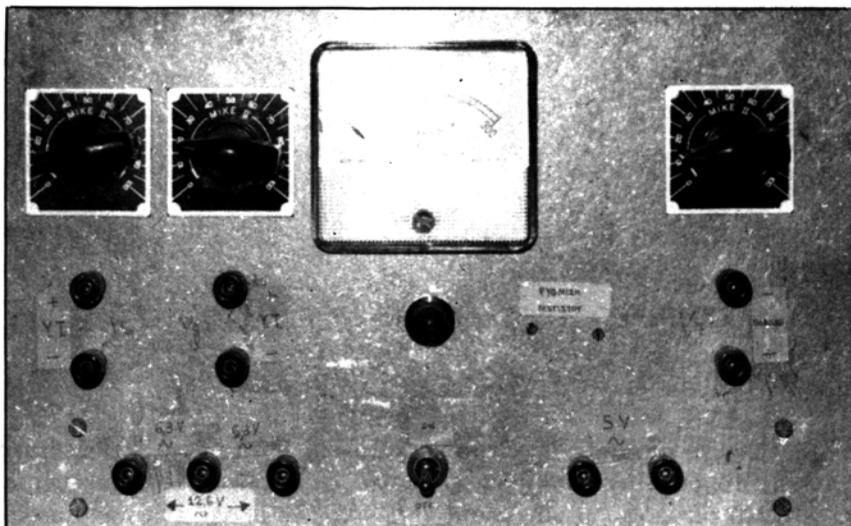
Για τη διεξαγωγή των ασκήσεων στο ηλεκτρονικό Εργαστήριο χρειάζονται διάφορες τάσεις. Το ίδιο εξάλλου συμβαίνει σε όλες τις ηλεκτρονικές συσκευές, οι οποίες, παρ' όλο που τροφοδοτούνται από το δίκτυο (220 βολτ, εναλλασσόμενο) εσωτερικά, στα διάφορα σημεία των κυκλωμάτων τους, χρειάζονται ποικίλες τάσεις συνεχούς μορφής ή και, σε σπάνιες περιπτώσεις, εναλλασσόμενης. Έτσι προκύπτει η ανάγκη των τροφοτικών συσκευών, οι οποίες από τα 220 βολτ του δικτύου της ΔΕΗ εξασφαλίζουν με κατάλληλη μετατροπή τις απαιτούμενες κάθε φορά συνεχείς τάσεις.

Τα τροφοδοτικά που χρησιμοποιούνται στα ηλεκτρονικά Εργαστήρια μπορούν να διακριθούν σε τροφοδοτικά υψηλής συνεχούς τάσεως (π.χ. ως 400 V) και σε τροφοδοτικά χαμηλής συνεχούς τάσεως (π.χ. ως 15 ή 30 ή 50 V). Η μελέτη των κυκλωμάτων τέτοιων τροφοδοτικών μπορεί να γίνει αργότερα, αφού πραγματοποιηθούν οι ασκήσεις 16, 17, 18 και 21 για την ανόρθωση και τη σταθεροποίηση των τάσεων. Στην άσκηση αυτή εξετάζεται η χρήση των τροφοδοτικών (αναγνώριση και χειρισμός των «κουμπιών») για την εξυπηρέτηση των ηλεκτρονικών ασκήσεων, που όλες τους σχεδόν χρειάζονται διαφορετικές τάσεις από τα 220 βολτ του δικτύου.

Στα σχήματα 1.1α, 1.1β, 1.1γ, 1.1δ, 1.1ε και 1.1στ φαίνονται οι προσόψεις αντιπροσωπευτικών τροφοδοτικών και σημειώνονται τα χαρακτηριστικά του καθενός. Όλα είναι ελληνικής κατασκευής και μάλιστα Εργαστηρίων Τεχνικών Σχολών, εκτός από το σχήμα 1.1ε, που είναι κατασκευή των ηλεκτρονικών Εργαστηρίων του κέντρου ερευνών ΔΗΜΟΚΡΙΤΟΣ.

Τα τροφοδοτικά εξασφαλίζουν κυρίως συνεχείς τάσεις, τις οποίες χρειάζονται τα ηλεκτρονικά κυκλώματα, είτε αυτά είναι κατασκευασμένα με λυχνίες είτε με τρανζίστορ. Παρέχουν επίσης ασφάλεια σε εκείνον που τα χρησιμοποιεί, γιατί πάντοτε χρησιμοποιούν στην είσοδό τους μετασχηματιστή, ο οποίος απομονώνει το δίκτυο (βλέπε άσκηση 35 στο βιβλίο ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΙΚΟ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ της Α' Τάξεως). Αυτό όμως δεν σημαίνει ότι, όταν δουλεύει κανείς με τάσεις που παίρνει από κάποιο τροφοδοτικό, δεν διατρέχει κανένα κίνδυνο. Ο κίνδυνος υπάρχει πάντοτε για όποιον δεν προσέχει, γιατί το κύκλωμα του τροφοδοτικού που χρησιμοποιεί μπορεί να μην είναι με επιμέλεια κατασκευασμένο ή μπορεί να έχει κάποια βλάβη.

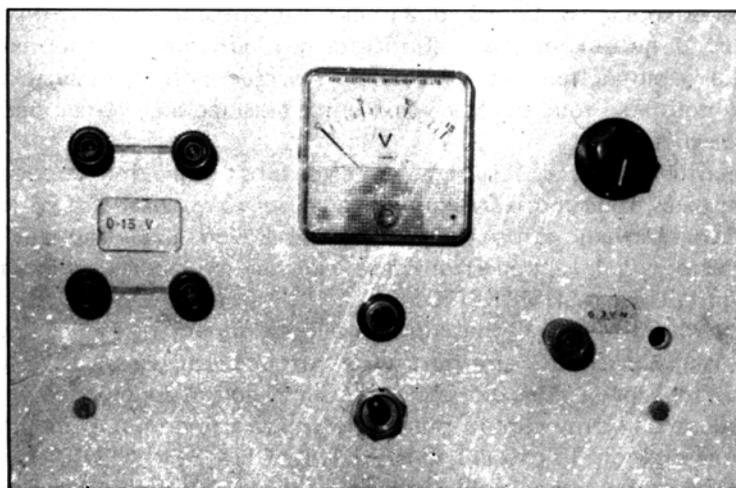
Επίσης, παρ' όλο που το τροφοδοτικό έχει μετασχηματιστή στην είσοδό του, που το απομονώνει από το δίκτυο, είναι πιθανό κατά την τροφοδότηση του κυ-



Σχ. 1.1α.

Τροφοδοτικό με τις ακόλουθες παροχές:

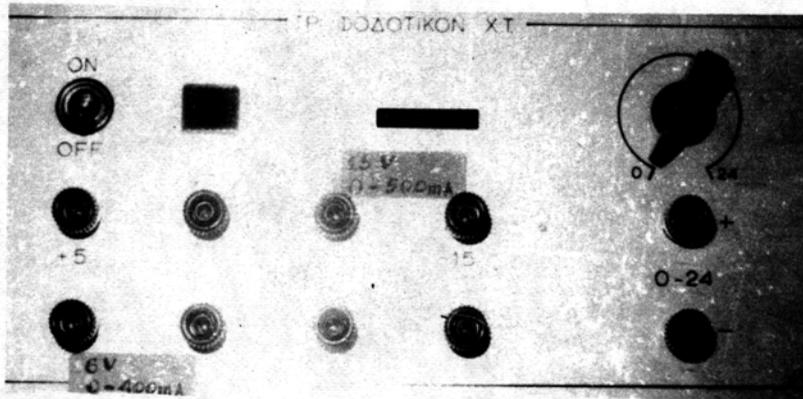
- α) 0 - 300 V/0,1 A. Συνεχής τάση που μπορεί να μεταβάλλεται από 0 ως 300 V με ρεύμα ως 0,1 A. Δύο παροχές. β) 0 - 100 V/10 mA. Συνεχής τάση ως 100 V με ρεύμα ως 10 mA. γ) 6,3 V/4 A. Εναλλασσόμενη σταθερή τάση 6,3 V με ρεύμα ως 4 A. δ) 12,6 V/4 A. Εναλλασσόμενη σταθερή τάση 12,6 V. ε) 5 V/6 A. Εναλλασσόμενη σταθερή τάση 5 V.



Σχ. 1.1β.

Τροφοδοτικό χαμηλής τάσεως:

- α) 0 - 15 V/0,5 A. Συνεχής σταθεροποιημένη τάση για κυκλώματα τρανζίστορ. β) 6,3 V /4 V. Εναλλασσόμενη σταθερή τάση 6,3 V.



Σχ. 1.1γ.

Τροφοδοτικό συνεχών χαμηλών τάσεων με παροχές:

- α) 5 V/0,5 A. Συνεχής σταθερή τάση 5 V. β) 6 V/0,4 A. Συνεχής σταθερή τάση 6 V. γ) 15 V/0,5 A. Συνεχής σταθερή τάση 15 V. δ) 0 - 24 V/0,3 A. Συνεχής τάση που μπορεί να μεταβάλλεται από 0 ως 24 V με ρεύμα ως 0,3 A.



Σχ. 1.16.

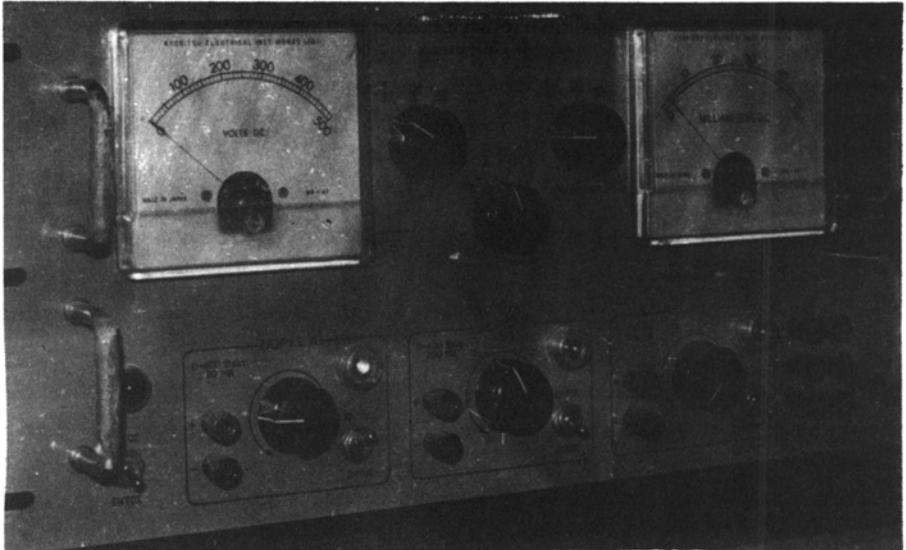
Τροφοδοτικό ποικίλων παροχών:

- α) 0 - 300 V, με μεταβολή ανά 1 V και με ρεύμα ως 0,2 A. β) 0 - 80 V/30 mA. Συνεχής τάση μέχρι 80 V για πολώσεις. γ) 6,3 V/3 A. Εναλλασσόμενη σταθερή τάση 6,3 V.

κλώματος κάποιας ασκήσεως να επικρατεί σε δύο σημεία του διαφορά δυναμικού, επικίνδυνα για τον άνθρωπο. Ας μην ξεχνάμε ότι τάσεις πάνω από 50 περίπου βόλτ θεωρούνται επικίνδυνες. Γι' αυτό λοιπόν, τόσο εδώ στο Εργαστήριο του σχολείου, όσο και στη δουλειά του ο καθένας έξω από αυτό, πρέπει πάντοτε να προσέχει όταν δουλεύει με συσκευές υπό τάση.

1.2 Εργασία.

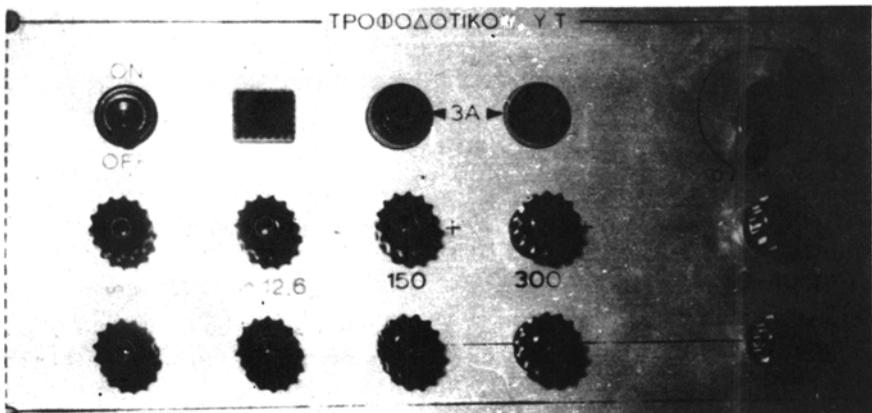
- 1) Να σχεδιασθούν οι προσόψεις των τροφοδοτικών που δίνονται στην άσκηση.



Σχ. 1.1ε.

Τροφοδοτικό πολλών παροχών:

- α) 0 - 400 V/50 mA. Συνεχής τάση που μπορεί να μεταβάλλεται από 0 - 400 V. β) 0 - 400 V/200 mA. Συνεχής τάση που μπορεί να μεταβάλλεται από 0 - 400 V. γ) 0 - 400 V/400 mA. Συνεχής τάση που μπορεί να μεταβάλλεται από 0 - 400 V. δ) 6,3 V /5 A. Εναλλασσόμενη τάση. ε) 12,6 V/5 A. Εναλλασσόμενη τάση.



Σχ. 1.1στ.

Τροφοδοτικό υψηλών τάσεων:

- α) 150 V/50 mA. Συνεχής σταθερή τάση. β) 300 V/50 mA. Συνεχής σταθερή τάση. γ) 0 - 400 V/300 mA. Συνεχής τάση που μπορεί να μεταβάλλεται από 0 ως 400 V με ρεύμα ως 0,3 A. δ) 6,3 V/3 A. Εναλλασσόμενη τάση. ε) 12,6 V/3 A. Εναλλασσόμενη τάση.

2) Να γραφούν τα χαρακτηριστικά κάθε τροφοδοτικού (οι τάσεις που δίνει το καθένα). Επάνω στις προσόψεις να σημειωθεί τι δουλειά κάνει το κάθε κουμπί.

3) Με βάση τα κατασκευαστικά σχέδια των τροφοδοτικών της ασκήσεως, που θα δοθούν από τον καθηγητή του Εργαστηρίου, να συμπληρωθούν όλα τα χαρακτηριστικά (μορφή και μέγεθος τάσεων και ρευμάτων).

4) Να επαληθευθούν τα χαρακτηριστικά κάθε τροφοδοτικού με μετρήσεις που θα γίνουν με βολτόμετρο, αφού τεθεί το τροφοτικό υπό τάση (σύνδεση στο δίκτυο).

Προσοχή: Οι μετρήσεις θα γίνουν αφού πρώτα ο καθηγητής των Εργαστηρίων εξετάσει τις απαντήσεις στις προηγούμενες ερωτήσεις και αφού εγκρίνει τη σύνδεση του τροφοδοτικού και των άλλων οργάνων της ασκήσεως.

ΑΣΚΗΣΗ 2

ΠΟΛΥΜΕΤΡΑ

2.1 Κύκλωμα βολτομέτρου για τη μέτρηση εναλλασσομένων τάσεων.

Τό πολύμετρο είναι ένα σύνθετο όργανο που χρησιμοποιείται για τη μέτρηση **τάσεων, εντάσεων, και αντιστάσεων**, είναι δηλαδή συνδυασμός βολτομέτρου, αμπερομέτρου και ωμομέτρου.

Στις ασκήσεις 20, 21 και 22 του βιβλίου σας ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΙΚΟ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ της Α΄ Τάξεως εξετάσθηκε αναλυτικά η λειτουργία των οργάνων αυτών και στην άσκηση 23 εξετάσθηκε και το πολύμετρο. Γι' αυτό μια επανάληψη των τεσσάρων αυτών ασκήσεων θα βοηθούσε ώστε να ξαναθυμηθεί ο μαθητής τις βασικές αρχές και έτσι να καταλάβει καλύτερα τη σημερινή άσκηση, που ολοκληρώνει τη μελέτη του πολυμέτρου.

Τα πολύμετρα μετράνε συνεχή και εναλλασσόμενα μεγέθη τάσεων και εντάσεων καθώς και αντιστάσεις. Στις ασκήσεις που αναφέρθήκαν προηγουμένως εξετάζονται όλες αυτές οι περιπτώσεις, εκτός από τη μέτρηση των εναλλασσομένων μεγεθών. Σε αυτή την άσκηση θα εξετασθεί η επέκταση του πολυμέτρου για μετρήσεις εναλλασσομένων τάσεων.

Ένα βασικό όργανο D' Arsonval (τέτοια έχουν όλα τά πολύμετρα) μπορεί να μετρήσει συνεχείς τάσεις, δεν μπορεί όμως να μετρήσει τάσεις εναλλασσόμενες. Για να γίνει μέτρηση εναλλασσόμενης τάσεως με τέτοιο όργανο, πρέπει πρώτα η προς μέτρηση εναλλασσόμενη τάση να ανορθωθεί, δηλαδή να μετατραπεί σε τάση συνεχής.

Στα κυκλώματα των πολυμέτρων η μετατροπή του εναλλασσόμενου σε συνεχές γίνεται μόνο κατά τη μέτρηση, χωρίς να επηρεάζεται η μορφή της μετρούμενης τάσεως στο κύκλωμα, η οποία παραμένει εναλλασσόμενη.

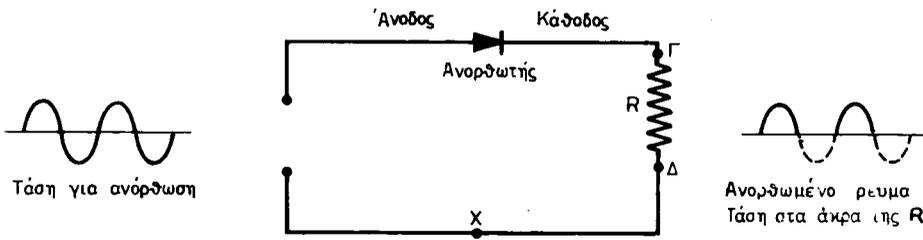
Η διαδικασία της ανορθώσεως εξετάζεται στις ασκήσεις 16 καί 17 αυτού του βιβλίου. Για να ολοκληρωθεί όμως η μελέτη του πολυμέτρου και μέχρις ότου γίνουν οι ασκήσεις αυτές, δίνονται μερικές πληροφορίες για τα κυκλώματα ανορθώσεως στα πολύμετρα.

Ένα απλό κύκλωμα ανορθώσεως παριστάνεται στο σχήμα 2.1α.

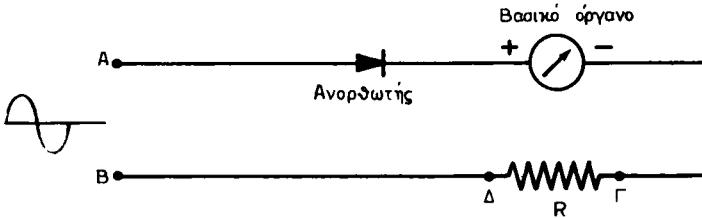
Ο ανορθωτής, που τα δύο του άκρα διακρίνονται σε **άνοδο** και **κάθοδο**, έχει την ακόλουθη ιδιότητα: Όταν εφαρμόζεται εναλλασσόμενη τάση στα σημεία Α - Β, επιτρέπει τη διέλευση ρεύματος κατά τη μία διεύθυνση, από την κάθοδο προς την άνοδο, αλλά όχι και αντίθετα, γιατί κατά την αντίθετη διεύθυνση παρουσιάζει πολύ μεγάλη αντίσταση. Το αποτέλεσμα από την κυκλοφορία του ρεύματος αυτού της

μιας ημιπεριόδου είναι η εμφάνιση τάσεως (πτώση τάσεως στην R) στα σημεία $\Gamma - \Delta$ με τη μορφή που φαίνεται στο σχήμα 2.1α' παραμένουν δηλαδή τα θετικά ημικύματα της τάσεως που εφαρμόζεται προς ανόρθωση στα σημεία $A - B$.

Αυτός ο τρόπος ανορθώσεως λέγεται απλή ανόρθωση και η μέση τιμή της τάσεως των παλμών (των θετικών ημικυμάτων), δηλαδή της **ανορθωμένης** τάσεως, είναι ανάλογη προς την τάση που επικρατεί στα σημεία $A - B$. Αν τώρα σε οποιοδήποτε σημείο του κυκλώματος (π.χ. στο σημείο X) παρεμβάλουμε ένα όργανο D' Arsonval, η βελόνα του θα αποκλίνει ανάλογα με τη μέση τιμή της ανορθωμέ-



Σχ. 2.1α.



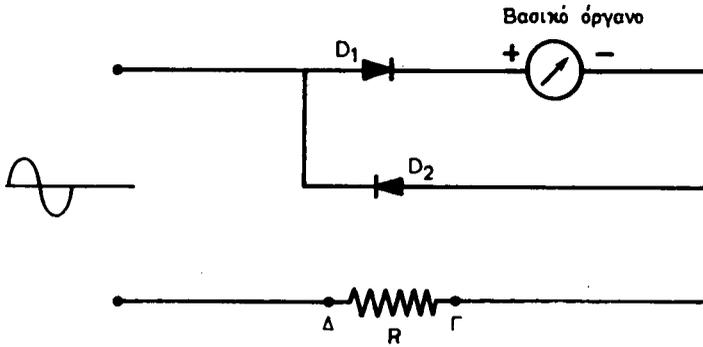
Σχ. 2.1β.

νης τάσεως. Έτσι λοιπόν η κλίμακα του βασικού οργάνου του πολυμέτρου μπορεί να βαθμονομηθεί και να δείχνει εναλλασσόμενες τάσεις (και μάλιστα την ενεργό τους τιμή), ενώ το όργανο διεγείρεται μόνο από τους θετικούς παλμούς της μετρούμενης εναλλασσόμενης τάσεως. Το απλούστερο κύκλωμα βολτομέτρου που μετρά εναλλασσόμενη τάση φαίνεται στο σχήμα 2.1β.

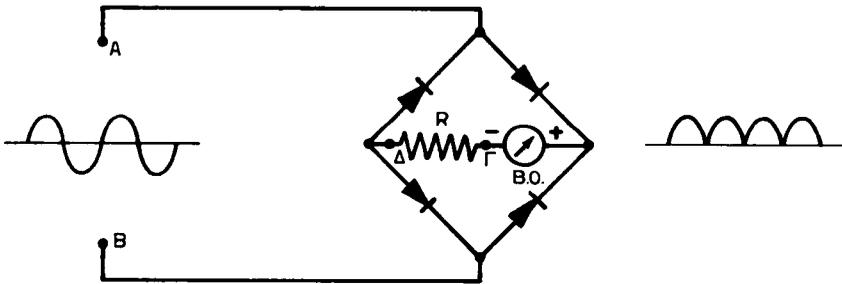
Στο κύκλωμα αυτό μπορεί να υπάρχει και δεύτερος ανορθωτής D_2 (σχ. 2.1γ). Το ρεύμα στο όργανο κυκλοφορεί πάλι μόνο κατά τη μία ημιπερίοδο, οπότε έχουμε απλή ανόρθωση. Ο δεύτερος ανορθωτής D_2 , επιτρέπει την ελεύθερη διέλευση του ρεύματος, εκτός οργάνου, κατά την αρνητική ημιπερίοδο και απλώς προστατεύει τον πρώτο ανορθωτή D_1 από τυχόν υπερβολική ανάστροφη τάση.

Ένα άλλο κύκλωμα ανορθώσεως που χρησιμοποιείται επίσης στα πολύμετρα είναι το κύκλωμα με γέφυρα (σχ. 2.1δ).

Τα κοινά πολύμετρα δεν διαθέτουν συνήθως κλίμακες για τη μέτρηση εναλλασσόμενων ρευμάτων, ενώ έχουν τις απαραίτητες κλίμακες για τη μέτρηση εναλλασ-



Σχ. 2.1γ.



Σχ. 2.1δ.

Πλήρης ή διπλή ανόρθωση με γέφυρα ανορθωτών.

Και τα δύο ημικύματα του εναλλασσόμενου ρεύματος περνάνε από το βασικό όργανο.

σομένων τάσεων. Ο λόγος είναι ότι η αντίσταση που παρουσιάζει ο ανορθωτής και το βασικό όργανο μπορεί να είναι πολύ μεγάλη σε σύγκριση με την αντίσταση του οποιουδήποτε κυκλώματος στο οποίο θέλουμε να μετρήσουμε το ρεύμα και επομένως δεν θα έχουμε σωστές μετρήσεις.

Φυσικά υπάρχουν βασικά όργανα ειδικής κατασκευής (όχι D' Arsonval) για μέτρηση σχετικά ισχυρών εναλλασσόμενων ρευμάτων απευθείας (δίχως ανορθωτή), αλλά δεν ενδιαφέρουν τους ηλεκτρονικούς, γιατί τα ρεύματα των ηλεκτρονικών κυκλωμάτων είναι μικρής εντάσεως. Αν πάλι χρειασθεί να μετρήσουμε εναλλασσόμενο ρεύμα σε ένα ηλεκτρονικό κύκλωμα, μπορούμε να μετρήσουμε την εναλλασσόμενη τάση στα άκρα μιας γνωστής αντιστάσεως του κυκλώματος και με το νόμο του $\Omega\mu$, που ισχύει και στο εναλλασσόμενο ρεύμα, να υπολογίσουμε την ένταση του ρεύματος.

Τα κοινά πολύμετρα παρέχουν συνήθως ακρίβεια 3 ως 5% και αυτό είναι αρκετά ικανοποιητικό στις μετρήσεις, π.χ. σε ένα εργαστήριο επισκευών. Φυσικά δεν πρέπει να ξεχνάμε πως η εκλογή της κατάλληλης κλίμακας του πολυμέτρου βελτιώνει την ακρίβεια της μετρήσεως, γιατί βέβαια δεν μπορεί κανείς να μετρά π.χ. στην κλίμακα των 250 V μια τάση 5 ή 10 V. Επίσης τα κοινά πολύμετρα είναι ακατάλληλα για μετρήσεις σε κυκλώματα που επικρατούν συχνότητες πάνω από τις λεγόμε-

νες Βιομηχανικές (π.χ. πάνω από τους 200 Hz). Για μεγαλύτερες συχνότητες χρησιμοποιούμε τα ηλεκτρονικά πολύμετρα.

Και στις μετρήσεις αντιστάσεων έχουμε επίσης ανάλογη ακρίβεια με τα κοινά πολύμετρα. Αν θέλουμε ακρίβεια μεγαλύτερη, πρέπει να χρησιμοποιούμε γέφυρες μετρήσεως αντιστάσεων.

2.2 Εργασία.

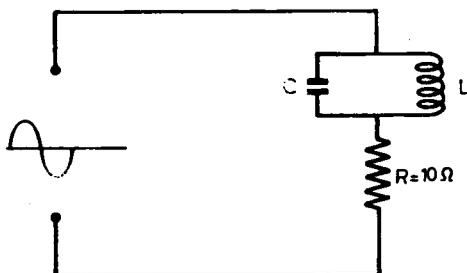
1) Να ανοιχθεί το πολύμετρο της ασκήσεως και με τη βοήθεια του σχεδίου κατασκευής του που θα δώσει ο καθηγητής των Εργαστηρίων, να σχεδιασθεί το κύκλωμα ανορθώσεως που διαθέτει για τη μέτρηση εναλλασσομένων τάσεων.

2) Τι τύπο ανορθωτή έχει και τι κύκλωμα χρησιμοποιεί; Απλής ή διπλής ανορθώσεως;

3) Να κλεισθεί το πολύμετρο και να σχεδιασθούν οι κλίμακες εναλλασσομένων μεγεθών (τάσεων ή και ρευμάτων) που μπορεί να μετρήσει.

4) Όταν η βελόνα του οργάνου σας δείχνει π.χ. 50 βολτ εναλλασσόμενο, ποια τιμή της εναλλασσόμενης τάσεως είναι; Μέγιστη, ενεργός ή μέση τιμή;

5) Στο κύκλωμα του σχήματος 2.2 κυκλοφορεί εναλλασσόμενο ρεύμα που το πολύμετρό μας δεν διαθέτει κλίμακα για να το μετρήσομε. Υποδείξτε τρόπο για έμμεση μέτρηση.



Σχ. 2.2.

6) Να μετρηθούν διάφορες εναλλασσόμενες τάσεις από πηγές που διαθέτει το Εργαστήριο. Οι μετρήσεις να γίνουν εκ περιτροπής από όλους τους μαθητές, για να αποκτήσουν όλοι ευχέρεια στη χρήση του πολυμέτρου.

7) Οι ίδιες τάσεις να μετρηθούν σε διαφορετικές κλίμακες του οργάνου (όχι σε μικρότερες φυσικά), για να διαπιστωθεί η διαφορά ενδείξεων κάθε φορά.

ΑΣΚΗΣΗ 3

ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΑ ΒΟΛΤΟΜΕΤΡΑ (Ηλεκτρονικά πολύμετρα)

3.1 Γενικά.

Σέ όλες σχεδόν τις μετρήσεις οι τεχνικοί χρησιμοποιούν κοινά πολύμετρα με όλα τα μειονεκτήματα που περιγράφονται στην προηγούμενη άσκηση. Στις περιπτώσεις όμως που απαιτείται ακρίβεια στις μετρήσεις, χρησιμοποιούνται ηλεκτρονικά βολτόμετρα. Οι ενδείξεις των ηλεκτρονικών βολτομέτρων ανταποκρίνονται στην πραγματική τιμή των μεγεθών που μετράμε.

Το ηλεκτρονικό βολτόμετρο είναι βασικά όμοιο με το πολύμετρο, εκτός από το ότι έχει μία ή περισσότερες ηλεκτρονικές λυχνίες ή κρυσταλλοδίοδους και τρανζίστορ ανάμεσα στους ακροδέκτες του και στο βασικό όργανο. Οι λυχνίες ή τα τρανζίστορ απομονώνουν το κύκλωμα του ηλεκτρονικού βολτομέτρου από το κύκλωμα στο οποίο μετράμε, πράγμα που εξασφαλίζει την ακρίβεια των μετρήσεων (βλέπε άσκηση 21 περί βολτομέτρων στο βιβλίο ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΙΚΟ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ). Επίσης τα ηλεκτρονικά βολτόμετρα ενεργούν σαν ενισχυτές και αυξάνουν την ευαισθησία του οργάνου.

Στην προηγούμενη άσκηση (Άσκηση 2 – Πολύμετρα), είδαμε ότι το κοινό πολύμετρο δεν εξυπηρετεί στις υψηλές συχνότητες, γιατί ο ανορθωτής του δεν παρουσιάζει σταθερότητα λειτουργίας. Το ηλεκτρονικό βολτόμετρο όμως, είτε δίοδο λυχνία διαθέτει είτε κρυσταλλοδίοδο, είναι κατάλληλο γι' αυτές τις περιπτώσεις. Ακόμη και παλιές κατασκευές ηλεκτρονικών βολτομέτρων με δίοδο λυχνία παλιού τύπου εξυπηρετούν ικανοποιητικά σε κυκλώματα με συχνότητες μέχρι δεκάδες MHz (Μεγάκυκλους).

Τα κύρια χαρακτηριστικά των ηλεκτρονικών βολτομέτρων είναι:

1) Μεγάλη αντίσταση εισόδου (εσωτερική αντίσταση). Στο συνεχές ρεύμα η αντίσταση αυτή είναι πάντοτε μεγαλύτερη από 10 MΩ και σε όργανα καλής ποιότητας φθάνει τα 50 και 100 MΩ. Στο εναλλασσόμενο ρεύμα η αντίσταση εισόδου είναι 1 - 2 MΩ για τα ηλεκτρονικά βολτόμετρα με λυχνίες (VTVM – Vacuum tube volt meter) και φθάνει τα 10 MΩ για τα ηλεκτρονικά βολτόμετρα με τρανζίστορ (SSVM – Solid state volt meter).

Τονίζεται, και αυτό έχει μεγάλη σημασία, ότι η αντίσταση εισόδου των ηλεκτρονικών βολτομέτρων είναι ίδια σε όλες τις κλίμακες τάσεων που διαθέτουν.

2) Μετράνε πολύ μικρές τάσεις διατηρώντας πάντοτε σταθερή τη μεγάλη αντίσταση εισόδου. Σύγχρονα ηλεκτρονικά βολτόμετρα με τρανζίστορ επιδράσεως πε-

δίου (FET – Field effect transistor) έχουν κλίμακες 0 - 5 mV και 0 - 5 μ A, πάντοτε με την ίδια αντίσταση εισόδου.

3) Το κύκλωμα στα ηλεκτρονικά βολτόμετρα προστατεύει τό βασικό όργανο σε περίπτωση που θα γίνει λανθασμένη σύνδεση.

4) Για να λειτουργήσουν τα ηλεκτρονικά βολτόμετρα, αν είναι με λυχνίες, πρέπει να συνδεθούν στο δίκτυο. Τα ηλεκτρονικά βολτόμετρα με τρανζίστορ λειτουργούν με μικρές μπαταρίες και σε αυτό πλεονεκτούν έναντι των ηλεκτρονικών βολτομέτρων με λυχνίες, γιατί μεταφέρονται και χρησιμοποιούνται ευκολότερα. Ακόμη, είναι μικρότερα σε μέγεθος και ελαφρύτερα.

5) Τα ηλεκτρονικά βολτόμετρα (πολύμετρα) χρησιμοποιούνται και για μετρήσεις αντιστάσεων και μάλιστα δίνουν ακριβή αποτελέσματα, γιατί έχουν παράλληλο κύκλωμα ωμομέτρου (βλέπε άσκηση 22 στο βιβλίο ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΙΚΟ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ της Α΄ τάξεως).

Στη συνέχεια δίνονται γενικές πληροφορίες και οδηγίες για την ορθή χρήση των ηλεκτρονικών βολτομέτρων. Δεν εξετάζεται η λειτουργία των κυκλωμάτων τους, γιατί δεν είναι ακόμη γνωστή η θεωρία των ηλεκτρονικών λυχνιών και των τρανζίστορ.

3.2 Οδηγίες χρήσεως ηλεκτρονικών βολτομέτρων με λυχνίες.

1) Μετά τη σύνδεση του ηλεκτρονικού βολτομέτρου στο δίκτυο πρέπει να περάσει ένα μικρό χρονικό διάστημα, μέχρι και 5 λεπτά, για να ζεσταθούν οι λυχνίες και να ισορροπήσει το κύκλωμά του.

2) Για την ακριβή μέτρηση πρέπει να γίνει προηγουμένως ρύθμιση της αποκλίσεως της βελόνας του οργάνου στην κλίμακα που θα χρησιμοποιηθεί για τη μέτρηση αυτή.

3) Η ρύθμιση του μηδενός (ο δείκτης του οργάνου ακριβώς στο μηδέν) γίνεται μετά τη θέρμανση και την ισορροπία του κυκλώματος με τη στροφή του ειδικού ρυθμιστή (ένα κουμπί που αντιστοιχεί σε ποτενσιόμετρο).

4) Για τη μέτρηση αντιστάσεων πρέπει να γίνεται:

α) Ρύθμιση του μηδενός με βραχυκύκλωμα των ακροδεκτών του οργάνου (μηδενική αντίσταση).

β) Ρύθμιση πλήρους αποκλίσεως του δείκτη (της βελόνας), όταν το κύκλωμα είναι ανοικτό (ακροδέκτες ελεύθεροι - άπειρη αντίσταση).

5) Μετά τη ρύθμιση πιθανόν ο δείκτης να μη σταθεροποιηθεί στο μηδέν, αλλά να δείχνει κάποια μικρή ένδειξη. Η ένδειξη αυτή δεν πρέπει να υπολογίζεται, γιατί εξαφανίζεται μόλις οι ακροδέκτες συνδεθούν για μέτρηση.

6) Ο κοινός ακροδέκτης (το –) πρέπει να συνδέεται στο κοινό αρνητικό (σασσί) του κυκλώματος που πρόκειται να γίνει η μέτρηση. Αν δεν συνδεθεί κανονικά, πιθανόν να γίνει λανθασμένη μέτρηση, γιατί το όργανο επηρεάζεται από την εναλλασσόμενη τάση του δικτύου μέσω της χωρητικότητας, η οποία δημιουργείται μεταξύ αυτού και του καλωδίου τροφοδοτήσεώς του.

7) Συνδέεται συνήθως πρώτα ο κοινός (αρνητικός) ακροδέκτης και έπειτα ο θετικός. Ο μαθητής δεν πρέπει να αγγίζει τα μεταλλικά άκρα των ακροδεκτων, αλλά να τους κρατά από τις μονώσεις.

8) Οι ενδείξεις των εναλλασσομένων τάσεων αναφέρονται σε ενεργές (ενδεικνυμένες) τιμές και ισχύουν μόνο για ημιτονοειδή μεγέθη.

Σημείωση. Αν το Εργαστήριο διαθέτει ηλεκτρονικό βολτόμετρο με τρανζίστορ, ο καθηγητής των Εργαστηρίων πρέπει να δώσει συμπληρωματικές πληροφορίες.

3.3 Εργασία.

1) Να σχεδιασθεί το καντράν (όλες οι κλίμακες) του ηλεκτρονικού βολτομέτρου της ασκήσεως.

2) Να αναφερθούν οι κλίμακες που διαθέτει το όργανο κατά κατηγορίες (Ωμ, Βολτ D.C, Βολτ A.C κλπ.).

3) Να τεθεί το όργανο υπό τάση (το φως στην πρίζα και ο διακόπτης εντός – ON) και να γίνει ρύθμιση, με βάση τις προηγούμενες οδηγίες, σε όλες τις κλίμακες των βολτ, με συνεχές και εναλλασσόμενο.

4) Από τις παροχές με συνεχές και εναλλασσόμενο που υπάρχουν στο Εργαστήριο να μετρηθούν τρεις διαφορετικές τάσεις από κάθε είδος.

5) Οι μετρήσεις της προηγούμενης ερωτήσεως να επαναληφθούν με κοινό πολύμετρο και να σχολιασθούν τυχόν διαφορές.

6) Να γίνει ρύθμιση της κλίμακας των Ωμ (ρύθμιση του μηδενός και ρύθμιση σέ πλήρη απόκλιση).

7) Να μετρηθούν τρεις αντιστάσεις με το ηλεκτρονικό βολτόμετρο και με κοινό πολύμετρο και να συγκριθούν οι τιμές των δύο μετρήσεων μεταξύ τους και με εκείνες που δίνουν τα χρώματα των αντιστάσεων. Να δικαιολογηθούν οι διαφορές.

8) Να εξηγηθεί, γιατί η κλίμακα των Ωμ στο ηλεκτρονικό όργανο έχει την ίδια φορά με τη κλίμακα των Βολτ.

9) Τα κοινά βολτόμετρα έχουν διαφορετικές αντιστάσεις (εσωτερικές αντιστάσεις) στις διάφορες κλίμακες. Τα ηλεκτρονικά βολτόμετρα έχουν την ίδια εσωτερική αντίσταση σε όλες τις κλίμακες. Τι συμπέρασμα βγαίνει για την ευαισθησία των κοινών βολτομέτρων και των ηλεκτρονικών βολτομέτρων στις διάφορες κλίμακές τους;

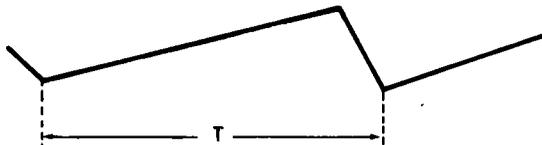
ΑΣΚΗΣΗ 4

ΠΑΛΜΟΓΡΑΦΟΣ

4.1 Μετρήσεις τάσεως, συχνότητας και διαφοράς φάσεως.

Προϋπόθεση για την επιτυχή διεξαγωγή της ασκήσεως αυτής είναι η καλή γνώση της ασκήσεως 47 του βιβλίου Ηλεκτρολογικό Εργαστήριο της Α΄ Τάξεως, την οποία θα ήταν σκόπιμο να επαναλάβουν οι μαθητές.

Οι κυματομορφές που εμφανίζονται στην οθόνη του παλμογράφου σχηματίζονται από ένα κινούμενο πάνω σε αυτή φωτεινό στίγμα. Η τροχιά του στίγματος στην οθόνη είναι η συνισταμένη δύο κινήσεων, μιας κατά τον κατακόρυφο άξονα και μιας κατά τον οριζόντιο. Η κατακόρυφη κίνηση οφείλεται σε εξωτερική τάση, ενώ η οριζόντια κίνηση οφείλεται σε μια τάση που παράγεται μέσα στον παλμογράφο από τη γεννήτρια σαρώσεως, όπως λέγεται, και της οποίας η κυματομορφή είναι αυτή του σχήματος 4.1.



Σχ. 4.1.

Η τάση αυτή, που κινεί περιοδικά και ισοταχώς το στίγμα από τα αριστερά προς τα δεξιά στην οθόνη του παλμογράφου και κατόπιν πάρα πολύ γρήγορα από δεξιά προς τα αριστερά, λέγεται **πριονωτή τάση σαρώσεως**.

Η συχνότητα f_{σ} της περιοδικής αυτής τάσεως ρυθμίζεται με τον επιλογέα της συχνότητας σαρώσεως (Sweep frequency selector ή Horizontal selector), ο οποίος επιδρά στο κύκλωμα της γεννήτριας σαρώσεως του παλμογράφου.

Σύμφωνα με όσα αναφέραμε, ο χρόνος που χρειάζεται για να κινηθεί το στίγμα από το αριστερό στο δεξιό άκρο της οθόνης μαζί με τον πολύ μικρότερο χρόνο της πάρα πολύ γρήγορης επιστροφής του στο αριστερό άκρο είναι η περίοδος T_{σ} της πριονωτής τάσεως και ισχύει η σχέση:

$$T_{\sigma} = \frac{1}{f_{\sigma}}$$

Έτσι λοιπόν, αν η περίοδος σαρώσεως T_{σ} είναι μεγαλύτερη από την περίοδο του σήματος που παρατηρούμε, στην οθόνη εμφανίζονται περισσότερα κύματα του σήματος αυτού.

Με ένα παλμογράφο μπορούμε να μετρήσουμε μια τάση, να βρούμε τη συχνότητα ενός περιοδικά μεταβαλλόμενου σήματος ή να βρούμε τη διαφορά φάσεως που έχουν δύο ημιτονικά σήματα της ίδιας συχνότητας. Για να κάνουμε αυτές τις μετρήσεις πρέπει να γνωρίζουμε πόσα βολτ αντιστοιχούν ανά εκατοστόμετρο κατά την κατακόρυφη μετακίνηση του στίγματος (για τη μέτρηση της τάσεως) ή πόσο χρόνο χρειάζεται το στίγμα για να μετακινηθεί κατά ένα εκατοστόμετρο οριζόντια (για τη μέτρηση της συχνότητας).

Αυτά τα δύο μεγέθη είναι σημειωμένα σε κάθε παλμογράφο σε ένα βαθμονομημένο ειδικό διαφανές πλαστικό κάλυμμα της οθόνης του. Αν δεν είναι σημειωμένα, μπορεί να γίνει βαθμονόμηση, όπως λέμε, του παλμογράφου αυτού κατά τον κατακόρυφο άξονα σε βολτ και κατά τον οριζόντιο άξονα σε δευτερόλεπτα ή σε κλάσματα του δευτερολέπτου.

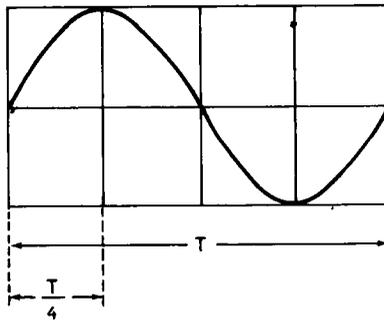
4.2 Βαθμονόμηση κατά τον κατακόρυφο άξονα.

Βαθμονόμηση του παλμογράφου κατά τον κατακόρυφο άξονα σημαίνει να βρούμε *πόσα βολτ* αντιστοιχούν σε κάθε εκατοστόμετρο στον άξονα αυτόν της οθόνης του παλμογράφου. Αυτό γίνεται με την εφαρμογή στην είσοδο του ενισχυτή κατακόρυφης αποκλίσεως (Vertical input) μιας γνωστής εναλλασσόμενης τάσεως μικρού μεγέθους. Με τη βοήθεια του κουμπιού που ρυθμίζει την απολαβή του ενισχυτή αυτού ρυθμίζουμε, ώστε το γνωστό σήμα να τοποθετηθεί σε ορισμένο αριθμό τετραγωνιδίων του κατακόρυφου άξονα. Με βάση τα τετραγωνίδια που αντιστοιχούν στη γνωστή τάση μπορούμε να ελέγξουμε οποιαδήποτε άλλη τάση μικρότερη ή μεγαλύτερη, αφού έχουμε καθορίσει πόσα βολτ αντιστοιχούν σε κάθε τετραγωνίδιο.

Γι' αυτή την περίπτωση, χωρίς κανένα σήμα στον ενισχυτή οριζόντιας αποκλίσεως, ο παλμογράφος δίνει μια κατακόρυφη ευθεία που το μήκος της είναι ανάλογο με το πλάτος από κορυφή σε κορυφή οποιασδήποτε μεταβαλλόμενης τάσεως που εφαρμόζεται στην είσοδο του ενισχυτή κατακόρυφης αποκλίσεως (Vertical input).

4.3 Βαθμονόμηση κατά τον οριζόντιο άξονα.

Βαθμονόμηση κατά τον οριζόντιο άξονα σημαίνει να βαθμολογήσουμε την οθόνη του παλμογράφου κατά τον άξονα αυτόν σε χρονικές μονάδες. Αυτό γίνεται αν ρυθμίσουμε τον παλμογράφο έτσι, ώστε η περίοδος T ενός σήματος γνωστής συχνότητας να περιλαμβάνεται σε ορισμένο αριθμό τετραγωνιδίων. Έτσι λοιπόν, αφού θα είναι γνωστός ο αριθμός των τετραγωνιδίων που αντιστοιχούν σε χρόνο ίσο με την περίοδο T , εύκολα βρίσκεται και ο χρόνος που αντιπροσωπεύει κάθε τετραγωνίδιο (σχ. 4.3) και ο οποίος θα αποτελεί το μέτρο συγκρίσεως για τις συχνότητες που θέλουμε να μετρήσουμε.

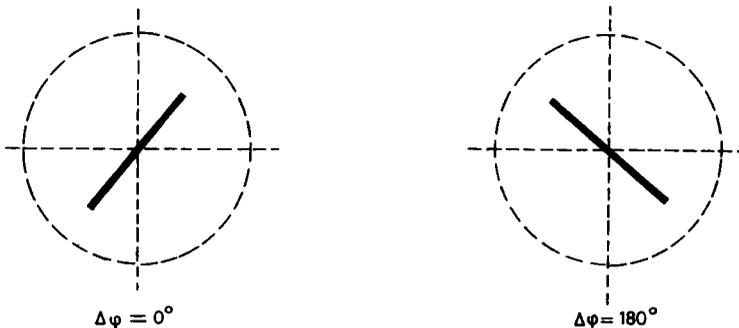


Σχ. 4.3.

4.4 Εύρεση της διαφοράς φάσεως.

Με τον παλμογράφο μπορούμε ακόμη να βρούμε τη διαφορά φάσεως που έχουν μεταξύ τους δύο ημιτονικά σήματα της ίδιας συχνότητας. Αυτό γίνεται ως εξής:

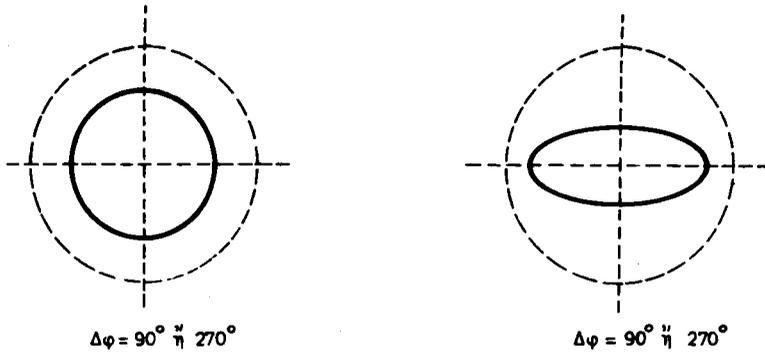
Διακόπτουμε πρώτα τη σάρωση με το σχετικό διακόπτη. Μετά τη διακοπή της σαρώσεως, οπότε στην οθόνη εμφανίζεται ένα φωτεινό στίγμα, εφαρμόζουμε στις εισόδους των δύο ενισχυτών του παλμογράφου τα δύο ισόσυχνα ημιτονικά σήματα, από τα οποία θέλουμε να μετρήσουμε τη διαφορά φάσεως. Ρυθμίζουμε τότε την κατακόρυφη και την οριζόντια ενίσχυση του παλμογράφου, ώστε στην οθόνη του να εμφανισθεί ή πλαγιαστή ευθεία ή έλλειψη ή κύκλος. Από τα σχήματα αυτά υπολογίζουμε τη διαφορά φάσεως μεταξύ των δύο ημιτονικών σημάτων, όπως φαίνεται στα σχήματα (4.4α, 4.4β και 4.4γ).



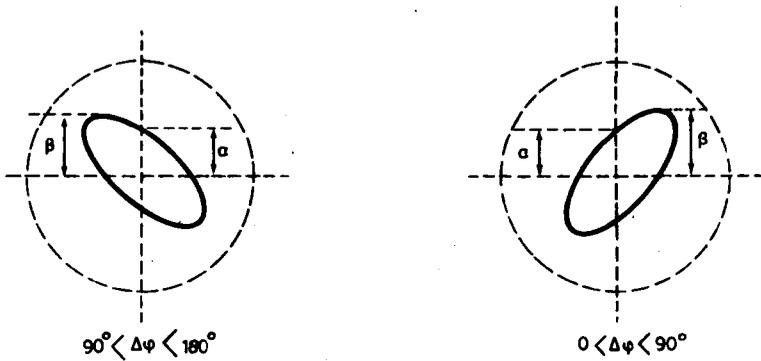
Σχ. 4.4α.

Για τις δύο τελευταίες περιπτώσεις η γωνία διαφοράς φάσεως ϕ δίνεται από τη σχέση:

$$\eta\mu \phi = -\frac{\alpha}{\beta}$$



Σχ. 4.4β.



Σχ. 4.4γ.

4.5 Μέτρηση συχνότητας.

Η συχνότητα ενός σήματος μπορεί να βρεθεί από την περίοδό του σύμφωνα με τη σχέση $f = 1/T$. Επίσης μπορεί να υπολογισθεί από τα σχήματα Λισαζού (Lissajous), που εμφανίζονται στην οθόνη του παλμογράφου, όταν συγκρίνουμε την άγνωστη συχνότητα με μια άλλη γνωστή. Τα σχήματα Λισαζού είναι σταθερά στην οθόνη μόνο αν οι συγκρινόμενες συχνότητες έχουν λόγο ακέραιο αριθμό.

Ο παλμογράφος πέρα από τις εφαρμογές του στον έλεγχο ηλεκτρονικών κυκλωμάτων, χρησιμοποιείται σε πολλές βιομηχανικές εφαρμογές, όπου τα διάφορα φυσικά φαινόμενα που εμφανίζονται εκεί, αφού τα μετατρέψουμε πρώτα σε ηλεκτρικές μεταβολές, μπορούν να παρατηρηθούν στην οθόνη.

4.6 Εργασία.

1) Να βαθμονομηθεί ο παλμογράφος σε βολτ κατά τον κατακόρυφο άξονα με μια γνωστή τάση που θα ορίσει ο καθηγητής των Εργαστηρίων, ο οποίος και θα ε-

λέγει το κύκλωμα συνδεσμολογίας αυτής της τάσεως πριν εφαρμοσθεί. Μια γνωστή μικρή τάση από τη γεννήτρια χαμηλών συχνοτήτων ή μια εναλλασσόμενη τάση 5 βολτ ή 6,3 βολτ από μετασχηματιστή μπορεί να χρησιμοποιηθεί γι' αυτή τη βαθμονόμηση. Υπενθυμίζουμε πάλι ότι η απόκλιση του στίγματος επάνω στην οθόνη (το μήκος της κατακόρυφης φωτεινής ευθείας) είναι ανάλογη με την τιμή της γνωστής τάσεως από κορυφή σε κορυφή.

2) Μετά τη βαθμονόμηση, να μετρηθεί η μεγαλύτερη τάση που δίνει στην έξοδο της η γεννήτρια χαμηλών συχνοτήτων στους 400 Hz.

3) Με τη γεννήτρια χαμηλών συχνοτήτων σε μια σταθερή συχνότητα, π.χ. 100 Hz, να βαθμονομηθεί σε χρονικές μονάδες ο παλμογράφος κατά τον οριζόντιο άξονα.

4) Να μετρηθεί, μετά τη βαθμονόμηση, η περίοδος ενός σήματος 500 Hz.

5) Να ρυθμισθεί ο παλμογράφος ώστε στην οθόνη του να εμφανίζεται στίγμα. Έπειτα να εφαρμοσθεί στην είσοδο του κατακόρυφου ενισχυτή (Vertical input) εναλλασσόμενη τάση 6,3 βολτ και να ρυθμισθεί το πλάτος της, ώστε να καλύπτει τα 2/3 περίπου της οθόνης (για να φαίνεται καλά). Με τη γεννήτρια χαμηλής συχνότητας τώρα να εφαρμοσθεί στην είσοδο του οριζόντιου ενισχυτή (Horizontal input) σήμα 50 Hz. Με σχετική ρύθμιση, αν χρειάζεται, πρέπει να εμφανισθεί στην οθόνη μια έλλειψη ή ένας κύκλος ή μια πλαγιαστή ευθεία.

6) Να μεταβληθεί η συχνότητα της γεννήτριας, ώστε να είναι ακέραιο πολλαπλάσιο (ή ακέραιο υποπολλαπλάσιο) των 50 Hz και να παρατηρηθούν τα σχήματα Λισαζού.

7) Ένα σήμα άγνωστης συχνότητας εφαρμόζεται στην είσοδο του κατακόρυφου ενισχυτή. Η γεννήτρια εσωτερικής σαρώσεως δίνει 500 Hz και στην οθόνη του παλμογράφου εμφανίζεται σταθερό σήμα 10 πλήρων κυμάτων. Να υπολογισθεί η άγνωστη συχνότητα.

ΑΣΚΗΣΗ 5

ΓΕΝΝΗΤΡΙΕΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΣΗΜΑΤΩΝ

5.1 Περιγραφή – Χειρισμός.

Η γεννήτρια ή ταλαντωτής σημάτων, που είναι ένα από τα πλέον απαραίτητα όργανα για το ηλεκτρονικό Εργαστήριο, παρέχει τάσεις ρυθμιζόμενου πλάτους σε διάφορες συχνότητες. Η μορφή των τάσεων (σημάτων) που παράγει μια γεννήτρια μπορεί να είναι ημιτονική (η πιο συνηθισμένη περίπτωση) ή να έχει οποιαδήποτε άλλη μορφή, ανάλογα με τις ανάγκες των εργαστηριακών εφαρμογών.

Έτσι στην έξοδο μιας γεννήτριας σημάτων μπορεί να δίνονται ημιτονικά, ορθογώνια ή τριγωνικά σήματα, σήματα άλλης συγκεκριμένης μορφής (π.χ. πριονωτής) κλπ.

Οι γεννήτριες σημάτων μπορούν να χωρισθούν στις εξής κατηγορίες:

α) Γεννήτριες χαμηλών ή ακουστικών συχνοτήτων.

Παράγουν ημιτονικά ή ορθογώνια σήματα στις συχνότητες της περιοχής των ακουστικών συχνοτήτων, δηλαδή 20 - 20 000 Hz. Σε μερικές συσκευές η κλίμακα των συχνοτήτων επεκτείνεται ως και τους 200 kHz ή και περισσότερο, δηλαδή πολύ πέρα από τις ακουστικές συχνότητες.

β) Γεννήτριες υψηλών συχνοτήτων ή ραδιοσυχνοτήτων.

Παράγουν μια τάση στις συχνότητες από 100 kHz μέχρι 40 MHz περίπου, για την εξυπηρέτηση ραδιοφωνικών συσκευών. Άλλες κατασκευές τέτοιων γεννητριών καλύπτουν περιοχή με υψηλότερες συχνότητες και φθάνουν ως τους 300 MHz.

γ) Γεννήτριες F.M - TV.

Παράγουν μια τάση με ειδική κυματομορφή στις συχνότητες των περιοχών V.H.F (Very high frequency - πολύ υψηλή συχνότητα) και U.H.F (Ultra high frequency - πάρα πολύ υψηλή συχνότητα), για την εξυπηρέτηση συσκευών FM και τηλεόρασης. Συνήθως η περιοχή συχνοτήτων στα Sweeper και Marker Generators - γεννήτριες σαρώσεως και σημειωτές, εκτείνεται ως τους 300 MHz.

δ) Γεννήτριες μικροκυμάτων, με συχνότητες στην περιοχή των Γιγακύκλων (GHz) για εργαστηριακά πειράματα και μετρήσεις.

ε) Γεννήτριες σημάτων πολύ χαμηλής συχνότητας, π.χ. από 0,01 Hz ως 1200 Hz, για εργαστηριακές μετρήσεις.

Οι χρήσεις των γεννητριών στα ηλεκτρονικά κυκλώματα είναι πάρα πολλές, όπως:

α) Εφαρμογή του σήματος που παράγουν σε βαθμίδες συσκευών που προσπαθούμε να επισκευάσουμε.

β) Συντονισμός και ευθυγράμμιση ραδιοφώνων.

γ) Συντονισμός κυκλωμάτων πομπών.

δ) Συντονισμός κυκλωμάτων τηλεόρασης.

ε) Έλεγχος και ρύθμιση ενισχυτών ακουστικών συχνοτήτων υψηλής πιστότητας (Hi - Fi, High Fidelity - υψηλή πιστότητα).

στ) Μέτρηση σύνθετης αντιστάσεως γραμμής μεταφοράς ενέργειας χαμηλής ή υψηλής συχνότητας.

ζ) Μέτρηση χρόνου και συχνότητας.

η) Έλεγχος διαφόρων ηλεκτρονικών κυκλωμάτων. Εδώ θα μπορούσαν να αναφερθούν πολυάριθμες περιπτώσεις, από ένα απλό κύκλωμα οποιασδήποτε ηλεκτρονικής συσκευής οικιακής χρήσεως ως ένα μεγάλο ηλεκτρονικό υπολογιστή.

Στην άσκηση αυτή περιγράφονται:

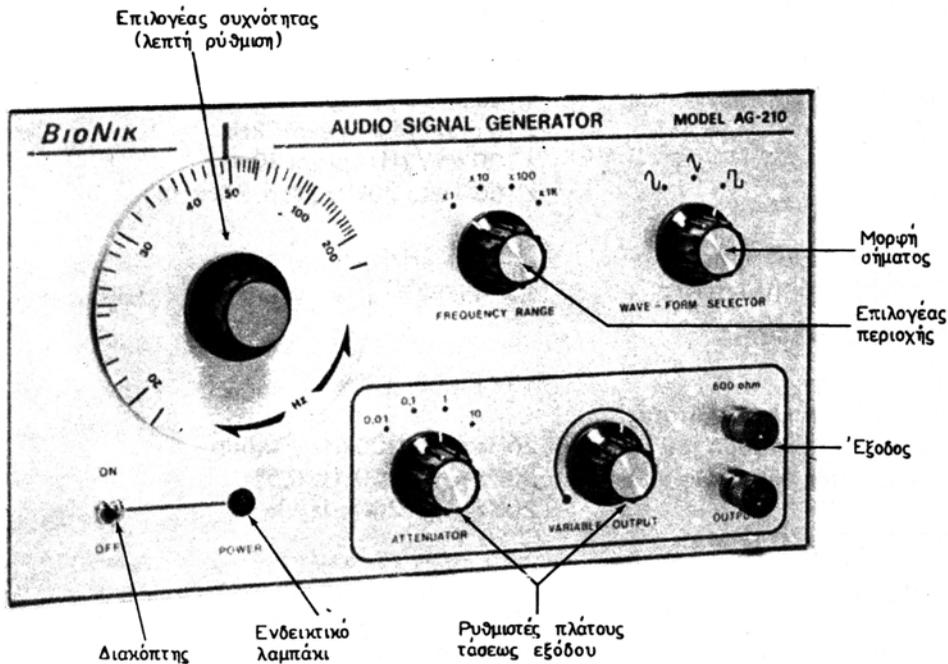
1) Οι γεννήτριες χαμηλών ή ακουστικών συχνοτήτων (Audio Frequency Generator) και

2) οι γεννήτριες υψηλών συχνοτήτων ή ραδιοσυχνοτήτων (Radio Frequency Generator). Δεν εξετάζουμε ακόμη τα κυκλώματά τους, αλλά μόνο το χειρισμό των κουμπιών τους και τη χρήση τους για την εξυπηρέτηση των άλλων ασκήσεων.

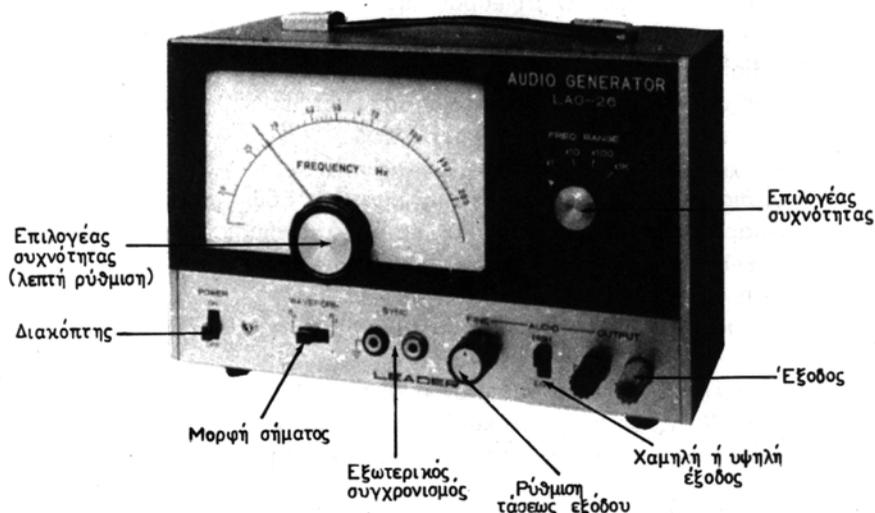
5.2 Γεννήτριες χαμηλών συχνοτήτων.

Σε κάθε σχολικό εργαστήριο είναι πιθανό να υπάρχει διαφορετικός τύπος τέτοιων γεννητριών. Όμως η λειτουργία όλων στηρίζεται στις ίδιες βασικές αρχές και οι χειρισμοί στη χρήση τους είναι σχεδόν ίδιοι σε όλους τους τύπους.

Στα επόμενα σχήματα 5.2α και 5.2β φαίνονται δύο γεννήτριες χαμηλών συχνο-



Σχ. 5.2α.



Σχ. 5.2β.

τήτων. Η μία είναι ελληνικής κατασκευής και η άλλη ξένης και είναι από τις γεννήτριες που χρησιμοποιούνται πιο πολύ στη χώρα μας.

Η ελληνικής κατασκευής γεννήτρια (σχ. 5.2α), έχει τα ακόλουθα χαρακτηριστικά, όπως τα δίνει η εταιρία που την κατασκευάζει:

| | |
|---------------------|--|
| Περιοχή συχνοτήτων: | x 1 από 20Hz μέχρι 200Hz x 10 από 200Hz μέχρι 2kHz x 100 από 2kHz μέχρι 20kHz x 1000 από 20kHz μέχρι 200kHz |
|---------------------|--|

| | |
|------------------------|-----------------------------------|
| Ακρίβεια συχνότητας: | $\pm (3\% + 2\text{Hz})$ |
| Σταθερότητα ταλαντωτή: | $\pm 50\text{ppm}/^\circ\text{C}$ |

ΗΜΙΤΟΝΙΚΟ ΣΗΜΑ

| | |
|--|--|
| Τάση εξόδου: | 10V R.M.S. $\pm 5\%$ |
| Χαρακτηριστικά συχνότητας (με σχέση τη στάθμη του 1kHz): | 20Hz μέχρι 200kHz $\pm 0,5\text{db}$ |
| Συντελεστής παραμορφώσεως: | 30Hz μέχρι 100kHz 0,5% 20Hz μέχρι 200kHz 1% |

ΤΕΤΡΑΓΩΝΙΚΟ ΣΗΜΑ

| | |
|-------------------|---|
| Τάση εξόδου: | 20V P-P ή και μεγαλύτερη |
| Χρόνος ανυψώσεως: | 20nS (στον 1kHz με μέγιστη έξοδο) |
| Χρόνος καθόδου: | 50nS (στον 1kHz με μέγιστη έξοδο) |
| Σχέση κύκλου: | 50% \pm (στον 1kHz με μέγιστη έξοδο) |
| Ποσοστό εξάρσεως: | 3% ή μικρότερο (στον 1kHz με μέγιστη έξοδο) |

ΤΡΙΓΩΝΙΚΟ ΣΗΜΑ

| | |
|---|--|
| Τάση εξόδου: | 10V R.M.S. \pm 5% |
| Χαρακτηριστικά συχνότητας (με σχέση τη στάθμη του 1kHz): | 20Hz μέχρι 200kHz \pm 0,5db |
| Γραμμικότητα: | 30Hz μέχρι 100kHz 1% 20Hz μέχρι 200kHz 1,5% |

ΓΕΝΙΚΑ

| | |
|-----------------------------|---|
| Σύνθετη αντίσταση εξόδου: | 600 Ω \pm 10% |
| Υποβιβαστής εξόδου: | 10V μέχρι 0,01V, 1/10 (20db) σε 4 κλίμακες |
| Ακρίβεια υποβιβαστή εξόδου: | \pm 1db |
| Απόκλιση συχνότητας: | 0,1% για μεταβολή τάσεως δικτύου \pm 10% |
| Μεταβολή τάσεως εξόδου: | \pm 0,5db για μεταβολή τάσεως δικτύου \pm 10% |

Η δεύτερη γεννήτρια χαμηλών συχνοτήτων είναι ιαπωνικής κατασκευής και έχει τα ακόλουθα χαρακτηριστικά:

| | |
|--------------------------------|--|
| Μορφή σημάτων: | ημιτονικά και ορθογώνια |
| Περιοχή συχνοτήτων: | 20Hz - 200kHz σε 4 κλίμακες |
| Ακρίβεια: | \pm 3% + 2Hz |
| Σύνθετη αντίσταση εξόδου: | 600 Ω |
| Σύνθετη αντίσταση εισόδου: | 10 k Ω |
| Μέγιστη ημιτονική τάση εξόδου: | 5V (ενεργός) |
| Μέγιστη τάση τετραγ. σημάτων: | 10V p.p. |
| Περιοχή ορθογωνίων σημάτων: | 20Hz - 20kHz |
| Παραμόρφωση: | μικρότερη από 0,5%, 200Hz - 20kHz μικρότερη από 1%, 20Hz - 200kHz |

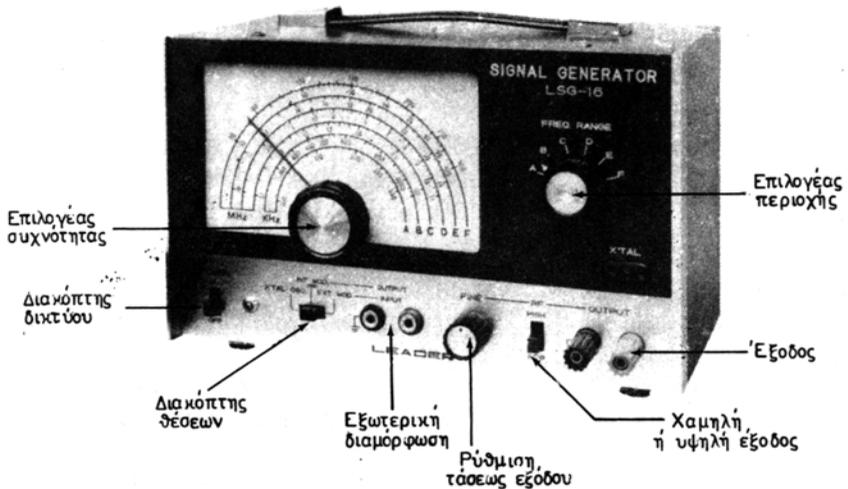
5.3 Γεννήτριες υψηλών συχνοτήτων.

Και στις γεννήτριες υψηλών συχνοτήτων υπάρχουν διάφοροι τύποι. Η λειτουργία τους όμως στηρίζεται στις ίδιες βασικές αρχές. Ο χειρισμός των διαφόρων τύπων είναι εύκολος, όταν κανείς ξέρει να χειρίζεται ένα τύπο. Οι διαφορές μεταξύ των κατασκευών διαφόρων εργοστασίων είναι μικρές.

Στα επόμενα σχήματα 5.3α και 5.3β φαίνονται δύο γεννήτριες υψηλών συχνοτήτων. Και οι δύο είναι ξένης κατασκευής, γιατί τέτοιες δεν κατασκευάζομε στη χώρα μας.

Τα χαρακτηριστικά της πρώτης γεννήτριας (σχ.5.3α) είναι τα ακόλουθα, όπως τα δίνει ο κατασκευαστής της:

| | |
|---------------------|---|
| Περιοχή συχνοτήτων: | 100kHz - 100MHz και μέχρι 300MHz με αρμονικές |
| Κλίμακες: | A 100 - 320kHz B 320 - 1100kHz C 1,05 - 3,3MHz D 3,2 - 11MHz |



Σχ. 5.3α.

Κλίμακες:

Ακρίβεια στις συχνότητες:
 Τάση εξόδου Υ.Σ.:
 Διαμόρφωση εσωτερική:
 Διαμόρφωση εξωτερική:
 Τάση χαμηλής συχνότητας
 για τη διαμόρφωση:
 Κρύσταλλος ταλαντωτή:

E 11 - 35MHz
 F 30 - 100MHz
 (90 - 300 MHz βαθμολογημένες αρμονικές)
 $\pm 1,5\%$
 100mV περίπου μέχρι τους 35MHz
 1kHz στο 30% και πάνω
 50Hz - 20kHz με τάση κάτω από 1V
 στον 1kHz, 1V μέγιστη, σταθερή
 για 1 - 15MHz

Τα χαρακτηριστικά της δεύτερης γεννήτριας υψηλών συχνοτήτων (σχ. 5.3β) είναι τα ακόλουθα:

Περιοχή συχνοτήτων:

120kHz - 130MHz
 και μέχρι 390MHz με αρμονικές

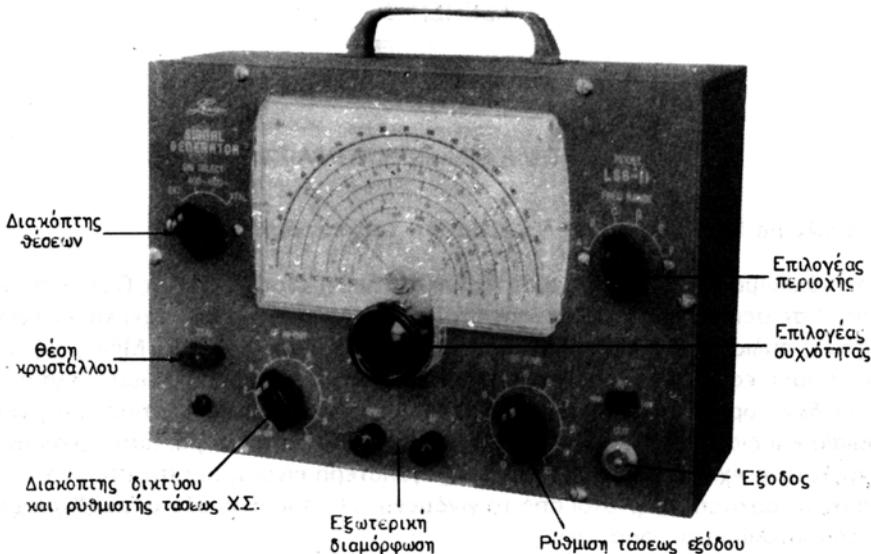
Κλίμακες:

A 120 - 320kHz
 B 320 - 1000kHz
 C 1 - 3,2MHz
 D 3,2 - 11MHz
 E 11 - 38MHz
 F 38 - 130MHz
 (120 - 390MHz με βαθμολογημένες αρμονικές)

Τάση εξόδου Υ.Σ.:
 Χαμηλές συχνότητες
 διαμορφώσεως:

πάνω από 100mV από 120kHz - 38MHz
 400 καί 1000Hz

| | |
|-------------------------------|------------|
| Κρύσταλλος ταλαντωτή: | 1 - 15MHz |
| Τάση εξόδου χαμ. συχνότητας: | 3 - 4V |
| Τάση εισόδου χαμ. συχνότητας: | 4V περίπου |



Σχ. 5.3β.

5.4 Εργασία.

1) Να σχεδιασθούν οι προσόψεις των γεννητριών που δίνονται στην άσκηση και να εξηγηθεί η δουλειά που κάνει το κάθε κουμπί.

2) Να γραφούν τα χαρακτηριστικά των γεννητριών της ασκήσεως. Δηλαδή, ποιά περιοχή συχνοτήτων καλύπτει κάθε μία, ποιες κυματομορφές σημάτων δίνει και ποιο είναι το μέγιστο πλάτος της τάσεως εξόδου που παρέχουν.

3) Ποια είναι η συχνότητα διαμορφώσεως στις γεννήτριες υψηλών συχνοτήτων της ασκήσεως; Τι εξυπηρετεί αυτή;

4) Να συνδεθεί η γεννήτρια ακουστικών συχνοτήτων στην είσοδο ενός ενισχυτή και να ακούσουν οι μαθητές τα σήματα σε όλη την κλίμακα των ακουστικών συχνοτήτων (20 - 20 000 Hz). Να σημειώσει ο κάθε μαθητής την περιοχή που μπορεί να ακούσει.

5) Να συνδεθεί η γεννήτρια υψηλών συχνοτήτων στη θέση της κεραίας ενός ραδιοφώνου και να γίνει λήψη σήματος υψηλής συχνότητας. Να διαπιστωθεί η ανάγκη της διαμορφώσεως των σημάτων υψηλών συχνοτήτων.

6) Με τη βοήθεια παλμογράφου να μετρηθεί στην έξοδο της γεννήτριας Χ.Σ. η μεγαλύτερη τάση που μπορεί αυτή να δώσει στους 1000 Hz.

7) Να χρησιμοποιηθεί παλμογράφος και γεννήτρια χαμηλών συχνοτήτων και με βάση όσα εξετάστηκαν στην προηγούμενη άσκηση (4) να μελετηθούν διάφορα σχήματα Lisajous.

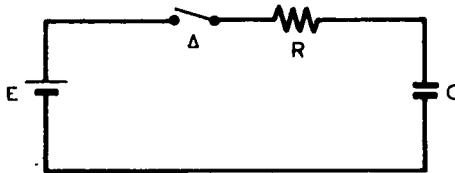
ΑΣΚΗΣΗ 6

ΣΤΑΘΕΡΑ ΧΡΟΝΟΥ

ΚΥΚΛΩΜΑ RC – ΚΥΚΛΩΜΑ RL

6.1 Κύκλωμα R - C. Φόρτιση - εκφόρτιση του πυκνωτή.

Στο κύκλωμα του σχήματος 6.1α έχουν συνδεθεί ένας πυκνωτής C και μία αντίσταση R σε σειρά με πηγή συνεχούς τάσεως E. Ο πυκνωτής δεν έχει κανένα φορτίο στους οπλισμούς του, εφ' όσον ο διακόπτης Δ είναι ανοικτός. Μόλις ο διακόπτης κλείσει, εφαρμόζεται απότομα η τάση της πηγής E στο κύκλωμα, αλλά ο πυκνωτής δεν φορτίζεται ακαριαία στην τάση αυτή της πηγής. Η φόρτισή του γίνεται βαθμιαία και διαρκεί επί ένα χρονικό διάστημα τόσο μεγαλύτερο, όσο μεγαλύτερη χωρητικότητα έχει ο πυκνωτής και όσο μεγαλύτερη είναι η αντίσταση. Ο χρόνος φορτίσεως δηλαδή, εξαρτάται από το γινόμενο R.C, που ονομάζεται **σταθερά χρόνου** του κυκλώματος φορτίσεως.



Σχ. 6.1α.

Συγκεκριμένα, έχει αποδειχθεί και επαληθεύεται πειραματικά ότι, αν η συνεχής τάση της πηγής που εφαρμόζεται απότομα στο κύκλωμα είναι E, τότε σε χρονικό διάστημα ίσο με το γινόμενο R.C η τάση στα άκρα του πυκνωτή θα φθάσει τα 0,632 ή 63,2% της E. Εφ' όσον η φόρτιση συνεχίζεται, στο επόμενο χρονικό διάστημα, ίσο πάλι με R.C, η τάση στα άκρα του πυκνωτή θα φθάσει στα 86,4% της E. Στο τρίτο χρονικό διάστημα R.C θα φθάσει στα 95% της E. Στο τέταρτο, στα 98,2% και στο πέμπτο, στα 99,4%.

Για την καλύτερη κατανόηση όσων αναφέραμε, θα δείξουμε ότι το γινόμενο R.C παριστάνει πραγματικά χρόνο, σε δευτερόλεπτα, όταν η αντίσταση R εκφράζεται σε ωμ και η χωρητικότητα C σε φαραντ:

Έχουμε:

$$R \cdot C = R \frac{Q}{V} = \frac{R \cdot I \cdot t}{V} = \frac{V}{V} \cdot t = t \text{ (δευτερόλεπτα)}$$

Σχετικά με το χρόνο φορτίσεως, παρατηρούμε ότι, όσο μεγαλύτερη είναι η χωρητικότητα του πυκνωτή τόσο μεγαλύτερο φορτίο δέχεται αυτός και επομένως απαιτείται περισσότερος χρόνος για τη διέλευση του μεγαλύτερου φορτίου από την αντίσταση. Και επίσης όσο μεγαλύτερη είναι η αντίσταση, τόσο περισσότερο χρόνο θέλουν τα φορτία για να περάσουν μέσα από αυτή.

Ας δεχθούμε τώρα ότι κατά τη φόρτιση στο κύκλωμα του σχήματος 6.1α και σε χρόνο ίσο προς $R.C$ η τάση στα άκρα του πυκνωτή φθάνει στα 63,2% της τάσεως E της πηγής. Έστω π.χ. ότι έχουμε:

$$E = 100V, R = 1 \text{ M}\Omega = 10^6 \Omega, C = 1 \mu\text{F} = 10^{-6} \text{ F}$$

$$\text{Άρα σταθερά χρόνου } R.C = 10^6 \cdot 10^{-6} = 1 \text{ δευτερόλεπτο.}$$

Συνεπώς, όταν κλείσει ο διακόπτης και αρχίσει η φόρτιση, σε χρονικό διάστημα 1" η τάση στα άκρα του C θα φθάσει στα 63,2 V. Αυτά τα 63,2 βολτ του πυκνωτή είναι σε σειρά με την πηγή και με αντίθετη πολικότητα από αυτή. Επομένως, όταν αρχίσει το δεύτερο δευτερόλεπτο, τα πράγματα συμβαίνουν σα να είχε η πηγή τάση:

$$100 - 63,2 = 36,8 \text{ βολτ}$$

και να φόρτιζε εξ αρχής τον πυκνωτή μέσα από την R , οπότε σε 1" η τάση στα άκρα του θα έφθανε πάλι στα 63,2% (ή 0,632) των 36,8 βολτ. Δηλαδή:

$$36,8 \times 0,632 = 23,2 \text{ βολτ}$$

Άρα η ολική τάση στα άκρα του πυκνωτή στο τέλος του δεύτερου δευτερολέπτου θα είναι:

$$63,2 + 23,2 = 86,4 \text{ βολτ}$$

Με τον ίδιο τρόπο σκεπτόμαστε και για τις επόμενες σταθερές χρόνου.

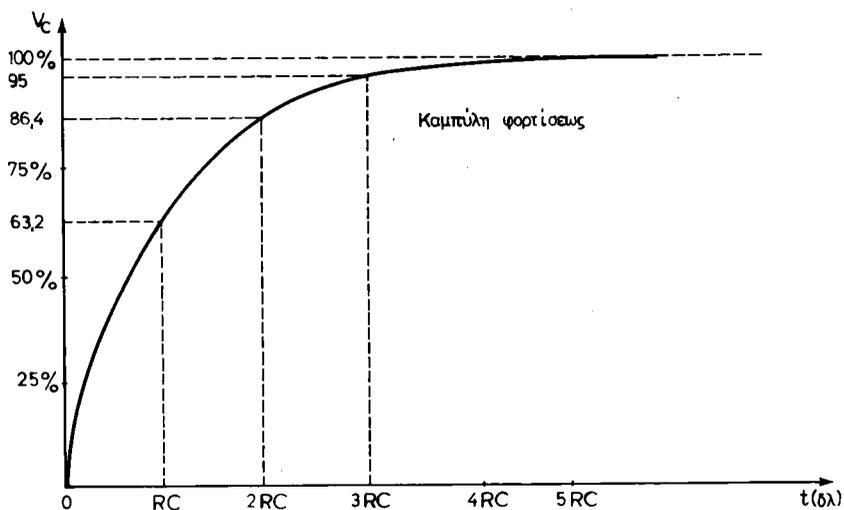
Στις εφαρμογές δεχόμαστε ότι σε χρονικό διάστημα ίσο με 5 σταθερές χρόνου ο πυκνωτής έχει στους οπλισμούς του τάση ίση με την τάση της πηγής, αφού για $5R.C$ η τάση του ισούται με τα 99,4% της τάσεως της πηγής.

Παρατηρούμε ακόμη ότι στην αρχή της φορτίσεως, τα μετακινούμενα φορτία είναι μεγάλα (το ρεύμα φορτίσεως ισχυρό), ενώ όσο η φόρτιση προχωρεί, οπότε ο πυκνωτής παρεμβάλλει στο κύκλωμα τη δική του αντίθετη τάση, το ρεύμα φορτίσεως μικραίνει. Τελικά, όταν ο πυκνωτής θα έχει στους οπλισμούς του τάση ίση με την τάση της πηγής (και με πολικότητα αντίθετη), η ροή του ρεύματος θα σταματήσει.

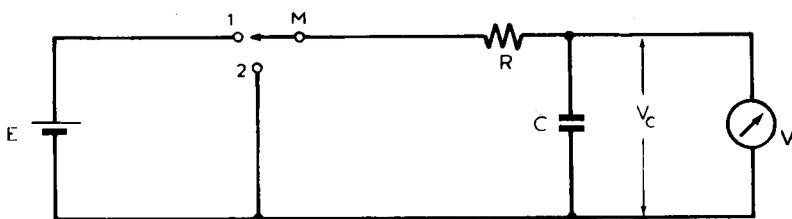
Αυτός είναι ο λόγος, για τον οποίο το ρεύμα που φορτίζει έναν πυκνωτή προπορεύεται ως προς την τάση που αποκαθίσταται (στο τέλος της φορτίσεως) στους οπλισμούς του.

Στο διάγραμμα του σχήματος 6.1β παριστάνεται γραφικά η διαδικασία φορτίσεως του πυκνωτή σε συνάρτηση με το χρόνο.

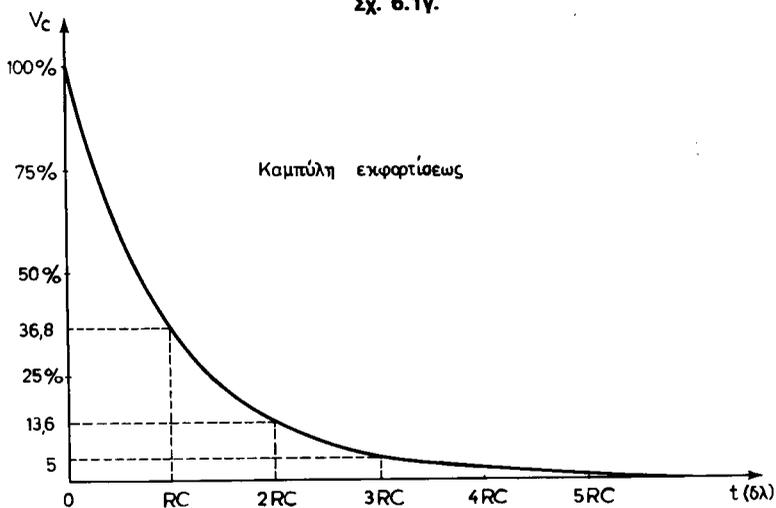
Αν ένας πυκνωτής C είναι ήδη φορτισμένος και συνδεθεί στα άκρα του μια αντίσταση, για να εκφορτισθεί μέσα από αυτή, η εκφόρτίσή του θα γίνει πάλι βαθμιαία και σε χρόνο τόσο μεγαλύτερο, όσο η χωρητικότητα και η αντίσταση έχουν τιμές μεγαλύτερες. Έστω π.χ. το κύκλωμα του σχήματος 6.1γ, όπου με το μεταγωγό M στη θέση 1 έχουμε φόρτιση και στη θέση 2 εκφόρτιση του C .



Σχ. 6.1β.



Σχ. 6.1γ.



Σχ. 6.1δ.

Αποδεικνύεται πάλι ότι, αν η τάση στους σπλισμούς του C είναι E και αρχίσει η εκφόρτισή του μέσα από την R, τότε σε χρόνο ίσο με τη σταθερά του χρόνου R.C η τάση του C θα υποβιβασθεί στα 36,8% (ή 0,368) της E. Στο επόμενο χρονικό διάστημα, ίσο πάλι προς R.C, η τάση του C θα φθάσει στα 13,6% της E. Στο τρίτο χρονικό διάστημα R.C θα φθάσει στα 5%, στο τέταρτο στα 1,8% και στο πέμπτο, στα 0,6% της E.

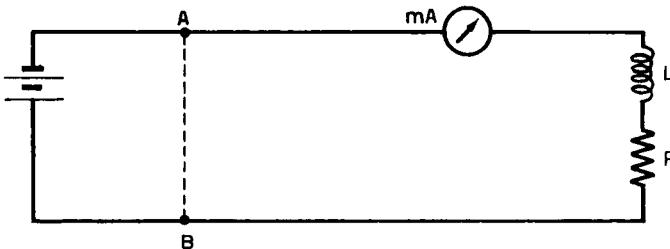
Θεωρούμε πάλι ότι σε χρονικό διάστημα ίσο με 5R.C ο πυκνωτής στα πρακτικά κυκλώματα έχει εκφορτισθεί.

Η πορεία της εκφορτίσεως του πυκνωτή δείχνεται από τη καμπύλη του σχήματος 6.1δ.

6.2 Β' Κύκλωμα R - L Το ρεύμα στο πηνίο.

Η αυτεπαγωγή L ενός πηνίου αντιτίθεται σε οποιαδήποτε μεταβολή του ρεύματος στο κύκλωμα που είναι συνδεδεμένο το πηνίο.

Αν π.χ. σε ένα κύκλωμα, όπως του σχήματος 6.2, με πηνίο και ωμική αντίσταση σε σειρά, εφαρμοσθεί συνεχής τάση, θα κυκλοφορήσει ένα ρεύμα που δίνεται από το νόμο του Ωμ.



Σχ. 6.2.

Εξαιτίας όμως του πηνίου, το ρεύμα αυτό δεν θα πάρει τη μέγιστη τιμή του αμέσως μόλις συνδεθεί το κύκλωμα στη πηγή. Και εδώ, όπως συμβαίνει με την τάση στον πυκνωτή, το **ρεύμα** φθάνει στα 63,2% της τελικής του τιμής σε χρόνο t που καθορίζεται από το λόγο L/R (σταθερά χρόνου, $t = L/R$).

Ο χρόνος φυσικά εκφράζεται σε δευτερόλεπτα, η αυτεπαγωγή L του πηνίου σε H (ανρύ) και η αντίσταση R σε Ωμ.

Γενικά ο χρόνος που χρειάζεται για να φθάσει το ρεύμα μέσα από το πηνίο τη μέγιστη τιμή του, ακολουθεί τον εκθετικό νόμο που ακολουθεί η τάση στον πυκνωτή και δίνεται από την καμπύλη του σχήματος 6.1β με τη διαφορά ότι ο κάθετος άξονας σε αυτή την περίπτωση θα εκφράζει το ρεύμα μέσα από το πηνίο.

Αν τώρα εξετασθεί η διαδικασία της εκφορτίσεως του κυκλώματος, δηλαδή, αν αποσυνδεθεί η πηγή και ενωθούν τα σημεία A - B (σχ. 6.2), παρατηρούμε ότι η ελάττωση του ρεύματος που είναι παράλληλη με την ελάττωση της τάσεως στα άκρα του πηνίου, γίνεται όπως η εκφόρτιση της τάσεως σε ένα κύκλωμα με πυκνωτή και αντίσταση. Και πάλι ο λόγος L/R καθορίζει το χρόνο που η τιμή του ρεύ-

ματος θα πέσει κατά 63,2%, της μέγιστης δηλαδή, στο 36,8%. Η μεταβολή αυτή εκφράζεται από την καμπύλη του σχήματος 6.1δ που δείχνει τη μεταβολή της τάσεως σε ένα πυκνωτή σε κύκλωμα R.C κατά την εκφόρτιση.

6.3 Εργασία.

Να σχεδιασθεί το πλήρες κύκλωμα της ασκήσεως και να σημειωθούν οι τιμές των εξαρτημάτων (σχ. 6.1γ με περισσότερους συνδυασμούς RC).

2) Να υπολογισθούν οι σταθερές χρόνου για όλους τους συνδυασμούς πυκνωτών και αντιστάσεων που υπάρχουν στο κύκλωμα.

3) Να γίνει συνδεσμολογία του κυκλώματος, όπως φαίνεται στο σχήμα 6.1β. Παράλληλα στον πυκνωτή να συνδεθεί ηλεκτρονικό βολτόμετρο. Στο σημείο αυτό τονίζεται το εξής: Για να είναι οι μετρήσεις που θα ληφθούν σύμφωνες με τους θεωρητικούς υπολογισμούς, πρέπει η εσωτερική αντίσταση του ηλεκτρονικού βολτομέτρου να είναι όσο το δυνατόν μεγαλύτερη σε σύγκριση με την R του κυκλώματος. Αν η εσωτερική αντίσταση του βολτομέτρου είναι μικρή, επηρεάζει σημαντικά την τιμή της R και οι μετρήσεις που λαμβάνονται διαφέρουν πολύ από τους θεωρητικούς υπολογισμούς, γιατί η σταθερά χρόνου μεταβάλλεται, όταν παράλληλα στον πυκνωτή συνδεθεί η σχετικά μικρή αντίσταση του βολτομέτρου.

Να τοποθετηθεί ο μεταγωγός M στη θέση 2. Ρυθμίζουμε τη πηγή E στην τάση π.χ. των 100 βολτ και παρακολουθούμε το δευτερολεπτοδείκτη ενός χρονομέτρου. Στην κατάλληλη στιγμή θέτουμε το μεταγωγό M στη θέση 1 και ταυτόχρονα αρχίζουμε να παρακολουθούμε την τάση φορτίσεως του πυκνωτή.

4) Θέτουμε το μεταγωγό M στη θέση 2. Έτσι ο C εκφορτίζεται μέσω της R. Αλλά για να είναι τέλεια η εκφόρτιση, βραχυκυκλώνουμε με ένα καλώδιο τους οπλισμούς του. Έτσι, με τον C εκφορτισμένο, μπορεί να αρχίσει νέα μέτρηση.

5) Παρακολουθούμε πάλι το χρονόμετρο και στην κατάλληλη στιγμή θέτουμε το μεταγωγό στη θέση 1 και ταυτόχρονα παρακολουθούμε την τάση φορτίσεως του C και το χρόνο. Μόλις συμπληρωθεί χρόνος ίσος με R.C, σημειώνουμε την τάση που επικρατεί στα άκρα του πυκνωτή.

6) Μετά θέτουμε το μεταγωγό στη θέση 2 και εκφορτίζουμε πάλι εντελώς τον πυκνωτή. Συνεχίζουμε με τον ίδιο τρόπο τις μετρήσεις για τα εξής πολλαπλάσια της σταθεράς χρόνου:

2R.C, 3R.C, 4R.C, 5R.C

7) Με όμοιο τρόπο να γίνουν μετρήσεις για όλους τους συνδυασμούς R.C του κυκλώματος. (Αν ο χρόνος 0,5R.C είναι πολύ μικρός για κάποιο συνδυασμό, να μη ληφθεί γι' αυτόν μέτρηση).

8) Να μελετηθεί η εκφόρτιση πυκνωτή μέσω αντιστάσεως ως εξής: Ο μεταγωγός στη θέση 1. Ρυθμίζουμε την τάση της πηγής, ώστε η τάση στα άκρα του C να φθάσει τα 100 βολτ. Μόλις η τάση στα άκρα του πυκνωτή φθάσει τα 100 βολτ, θέτουμε το μεταγωγό στη θέση 2 και ταυτόχρονα παρακολουθούμε την τάση εκφορτίσεως του C και τα δευτερόλεπτα που περνάνε. Όταν συμπληρωθεί χρόνος ίσος με 0,5R.C, σημειώνουμε την τάση που επικρατεί στα άκρα του πυκνωτή. (Αν ο χρόνος 0,5R.C είναι μικρός και είναι δύσκολο να μετρηθεί, αρχίζουμε με χρόνο R.C).

9) Ο μεταγωγός πάλι στη θέση 1. Περιμένουμε μέχρι που η τάση στα άκρα του C φθάσει στα 100 βολτ. Μόλις συμβεί αυτό, θέτουμε το μεταγωγό στη θέση 2 και ταυτόχρονα παρακολουθούμε τη τάση εκφορτίσεως του πυκνωτή και τα δευτερόλεπτα που περνάνε. Όταν συμπληρωθεί χρόνος ίσος με $R.C$, μειώνουμε τη τάση του πυκνωτή.

10) Συνεχίζουμε με τον ίδιο τρόπο τις μετρήσεις για πολλαπλάσια της σταθεράς χρόνου:

$2R.C, 3R.C, 4R.C, 5R.C$

για όλους τους συνδυασμούς $R.C$ του κυκλώματος.

11) Από τις μετρήσεις που ελήφθησαν να χαραχθούν δύο καμπύλες φορτίσεως (στο ίδιο σχεδιάγραμμα) και δύο καμπύλες εκφορτίσεως (και οι δύο σε άλλο σχεδιάγραμμα), όπως των σχημάτων 6.1β και 6.1δ.

12) Υπολογίστε τη σταθερά χρόνου κυκλώματος με $R = 500 \Omega$, $C = 40 \mu F$.

Το ίδιο για $R = 10\,000 \Omega$, $C = 1000 \mu F$ (σε μικροδευτερόλεπτα).

Το ίδιο για $R = 1 M\Omega$, $C_1 = 2 \mu F$, $C_2 = 1 \mu F$ (C_1 και C_2 συνδέονται παράλληλα).

13) Αν η τάση της πηγής του σχήματος 6.1β είναι: $E = 400 V$, πόση θα είναι η τάση V_C σε χρόνο $R.C, 2R.C, 3R.C, 4R.C, 5R.C$ κατά τη φόρτιση του πυκνωτή;

14) Αν το Εργαστήριο διαθέτει άσκηση RL να σχεδιασθεί το κύκλωμα και να σημειωθούν οι τιμές των εξαρτημάτων. Από τις τιμές RL να υπολογισθεί η σταθερά χρόνου του κυκλώματος.

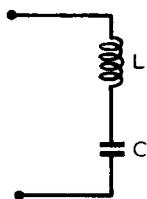
15) Να γίνουν μετρήσεις και να χαραχθούν οι καμπύλες του ρεύματος με το χρόνο κατά την εφαρμογή της τάσεως και κατά την εκφόρτιση του κυκλώματος μέσα από την R .

ΑΣΚΗΣΗ 7

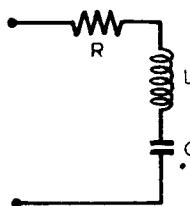
ΣΥΝΤΟΝΙΣΜΟΣ ΣΕΙΡΑΣ

7.1 Γενικά.

Το κύκλωμα του σχήματος 7.1α είναι κυμαινόμενο κύκλωμα σειράς. Επειδή το πηνίο έχει ωμική αντίσταση και ο πυκνωτής παρουσιάζει απώλειες, το κύκλωμα αυτό μπορεί να παρασταθεί με το ισοδύναμο κύκλωμα του σχήματος 7.1β, στο οποίο η αντίσταση R αντιπροσωπεύει την ωμική αντίσταση του πηνίου (την αντίστασή του δηλαδή στο συνεχές ρεύμα, που μπορεί να μετρηθεί με ωμόμετρο), αλλά και τις συνολικές αντιστάσεις απωλειών, που παρουσιάζουν ο πυκνωτής και το πηνίο κατά τη λειτουργία τους, όταν δηλαδή τροφοδοτούνται με εναλλασσόμενο ρεύμα. Τονίζεται ότι η αντίσταση R δεν είναι ξεχωριστά στο κύκλωμα, αλλά βρίσκεται ενσωματωμένη στο πηνίο (στα στοιχεία κατασκευής του πηνίου κατά κύριο λόγο) και στον πυκνωτή.



Σχ. 7.1α.
Κύκλωμα συντονισμού σειράς.



Σχ. 7.1β.
Ισοδύναμο κύκλωμα.

Τα χαρακτηριστικά του κυμαινόμενου κυκλώματος σειράς είναι:

α) Η πηγή που το τροφοδοτεί (ταλαντωτής Χ.Σ. ή Υ.Σ.) πρέπει να έχει μικρή εσωτερική αντίσταση. (Πηγή σταθερής τάσεως. Βλέπε άσκηση 26 στο Βιβλίο ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΙΚΟ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ Α΄ τάξεως «Προσαρμογή πηγής προς το φορτίο που τροφοδοτεί»).

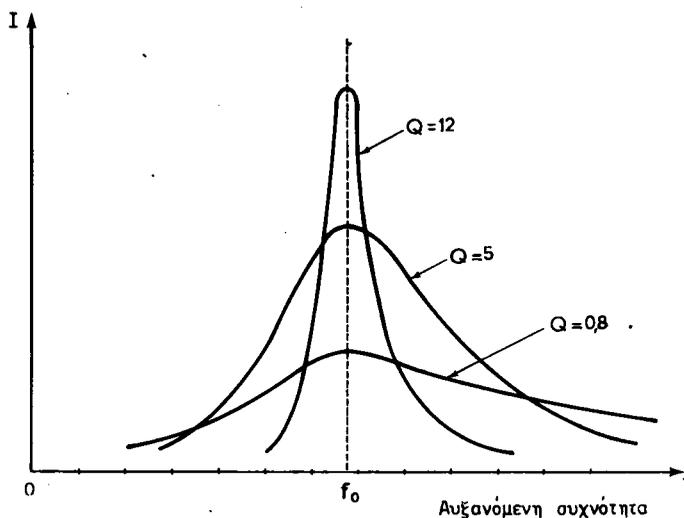
β) Όταν η συχνότητα του ταλαντωτή που τροφοδοτεί το κυμαινόμενο κύκλωμα μεταβάλλεται, παρατηρούμε ότι για χαμηλότερες συχνότητες η αντίσταση του κυκλώματος είναι μεγάλη (επειδή στις υψηλές συχνότητες προβάλλει μεγάλη αντίσταση ο πυκνωτής) καθώς και για υψηλότερες συχνότητες η αντίσταση του κυκλώματος είναι επίσης μεγάλη (επειδή στις υψηλές συχνότητες προβάλλει μεγάλη αντίσταση το πηνίο). Για κάποια ενδιάμεση συχνότητα, δηλαδή για τη συχνότητα συντονισμού, το όλο κύκλωμα παρουσιάζει ελάχιστη, καθαρά ωμική, αντίσταση.

γ) Κατά το συντονισμό η ένταση του ρεύματος φθάνει τη μέγιστη τιμή που μπορεί να λάβει σε αυτό το κύκλωμα (μέγιστη αγωγιμότητα του κυκλώματος).

δ) Κατά το συντονισμό επίσης, στα άκρα του πηνίου και στα άκρα του πυκνωτή επικρατούν τάσεις αντίθετες, οι οποίες, όταν ο πυκνωτής και το πηνίο είναι αρκετά καλής ποιότητας, είναι μεγαλύτερες από την τάση της πηγής (υπερτάσεις). Σε περιπτώσεις κυμαινόμενων κυκλωμάτων εξαιρετικά καλής ποιότητας, οι τάσεις αυτές μπορεί να γίνουν 200, 300 ή και περισσότερες φορές μεγαλύτερες από την τάση της πηγής που τροφοδοτεί το κύκλωμα.

Όστε κατά το συντονισμό του κυμαινόμενου κυκλώματος σειράς παρατηρούνται τα εξής φαινόμενα:

1) **Ελάχιστη αντίσταση**, η οποία ισούται με την ωμική αντίσταση του πηνίου και τις απώλειες γενικά του όλο κυκλώματος στο εναλλασσόμενο ρεύμα (επιδερμικό φαινόμενο και απώλειες του διηλεκτρικού). Οι αντιστάσεις αυτές (ωμική και αντιστάσεις απωλειών) αντιπροσωπεύονται από την αντίσταση R του ισοδύναμου κυκλώματος του σχήματος 7.1α.



Σχ. 7.1γ.

2) **Μέγιστο ρεύμα**. Αν η σταθερή τάση της πηγής που τροφοδοτεί το κύκλωμα είναι E η τιμή του ρεύματος κατά το συντονισμό θα δίνεται από τη σχέση:

$$I_{\text{συντ}} = \frac{E}{R}$$

3) **Υπερτάσεις V_L και V_C** στα άκρα του πηνίου και του πυκνωτή. Οι τάσεις αυτές έχουν το ίδιο μέτρο, αλλά είναι αντίθετες και αλληλοεξουδετερώνονται. Το πλάτος τους εξαρτάται από την ποιότητα των εξαρτημάτων C και L και ειδικότερα από το **συντελεστή ποιότητας** (ή συντελεστή υπερτάσεως) Q του κυμαινόμενου κυκλώματος. Ο συντελεστής αυτός ισούται:

$$Q = \frac{L\omega_0}{R} = \frac{1}{\omega_0 CR}$$

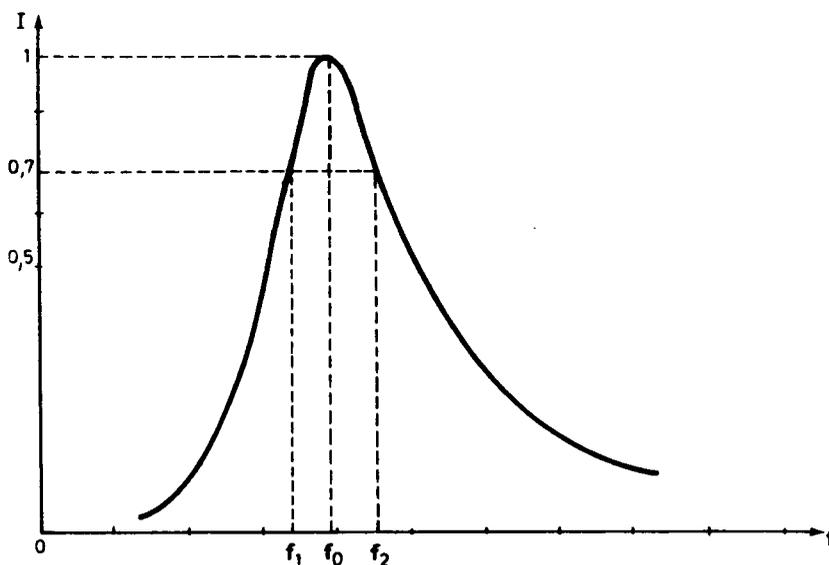
όπου $\omega_0 = 2\pi f_0$ ($f_0 = \eta$ συχνότητα συντονισμού). Από τη σχέση αυτή φαίνεται ότι όσο τό R (δηλαδή οι συνολικές απώλειες) του κυμαινόμενου κυκλώματος είναι μεγαλύτερες, τόσο ο συντελεστής ποιότητας είναι μικρότερος.

Ο αριθμός που εκφράζει το Q είναι καθαρός αριθμός.

Τέλος, η συχνότητα f_0 , στην οποία συντονίζει το κυμαινόμενο κύκλωμα, δίνεται από τη σχέση:

$$f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \quad (\text{σχέση Τόμσον})$$

4) Ο συντελεστής ποιότητας (Q) και η μορφή της καμπύλης συντονισμού. Ο συντελεστής ποιότητας του κυμαινόμενου κυκλώματος σειράς επηρεάζει σημαντικά τη μορφή της καμπύλης συντονισμού. Όσο ο συντελεστής αυτός είναι μεγαλύτερος, δηλαδή όσο μικρότερες είναι οι απώλειες (μικρότερο το R), τόσο η καμπύλη συντονισμού θα είναι οξύτερη και το κυμαινόμενο κύκλωμα θα έχει καλύτερη επιλογή. Στο σχήμα 7.1γ φαίνονται τρεις καμπύλες συντονισμού που αντιστοιχούν σε τρία διάφορα Q κυμαινόμενου κυκλώματος (καμπύλες των τιμών της εντάσεως του ρεύματος σε συνάρτηση με τη συχνότητα).



Σχ. 7.16.

Ο συντελεστής ποιότητας μπορεί να υπολογισθεί και από τις παρακάτω σχέσεις:

α) Από τη σχέση (σχ. 7.1δ):

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

Στη σχέση αυτή f_0 είναι η συχνότητα συντονισμού του κυμαινόμενου κυκλώματος. f_2 και f_1 είναι δύο συχνότητες που αντιστοιχούν σε σημεία της καμπύλης συντονισμού, για τα οποία η ένταση του ρεύματος έχει υποβιβασθεί στα 7/10 της εντάσεώς του κατά το συντονισμό.

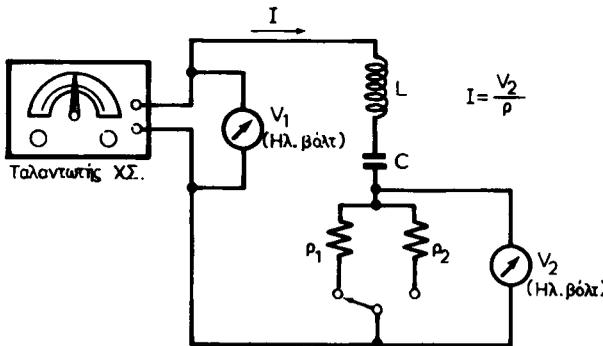
β) Από τη σχέση:

$$Q = \frac{V_L}{E} = \frac{V_C}{E}$$

Τονίζεται εδώ ότι οι καμπύλες συντονισμού του κυμαινόμενου κυκλώματος σειράς γενικά **δεν είναι συμμετρικές** (ο οριζόντιος άξονας των συχνοτήτων είναι σε γραμμική κλίμακα). Όπως φαίνεται και από τα σχήματα 7.1γ και 7.1δ, ο αριστερά κλάδος κάθε καμπύλης πέφτει περισσότερο απότομα από το δεξιό κλάδο.

Τα κυμαινόμενα κυκλώματα σειράς μπορούν να χρησιμοποιηθούν είτε στην περιοχή των χαμηλών συχνοτήτων (ως τους 20 000 Hz) είτε στην περιοχή των υψηλών (πάνω από 20 000 Hz).

Για ευκολία στη λήψη των μετρήσεων στο Εργαστήριο, στην άσκηση αυτή πρέπει να χρησιμοποιηθεί κύκλωμα που συντονίζει σε χαμηλή συχνότητα, π.χ. 700 Hz περίπου και γι' αυτό η πηγή τροφοδοτήσεως θα είναι ένας ταλαντωτής ημιτονικού σήματος χαμηλής συχνότητας (σχ. 7.1ε).



Σχ. 7.1ε.

Το πηνίο που χρησιμοποιείται έχει βέβαια ωμική αντίσταση (την αντίσταση που παρουσιάζει το σύρμα του, όταν μετρηθεί με ωμόμετρο), στο κύκλωμα όμως της ασκήσεως μπορεί να προστεθεί και μία από τις αντιστάσεις ρ_1 ή ρ_2 (σχ. 7.1ε). Οι αντιστάσεις αυτές έχουν διαφορετική τιμή και έχουν τεθεί σκόπιμα, ώστε όταν καθεμιά τους συνδέεται στο κύκλωμα, να αυξάνει με τεχνητό τρόπο τις απώλειες (το R) του κυκλώματος, δηλαδή να ελαττώνει το Q. Έτσι η ολική αντίσταση του κυκλώματος στο συντονισμό γίνεται $R + \rho$.

Από τις μετρήσεις που θα ληφθούν με κάθε αντίσταση θα χαραχθεί και καμπύλη συντονισμού διαφορετικής μορφής, που θα αντιστοιχεί σε διαφορετικό συντελεστή ποιότητας.

Παράλληλα στις αντιστάσεις ρ_1 ή ρ_2 συνδέεται το ηλεκτρονικό βολτόμετρο V_2 ,

οι ενδείξεις του οποίου, όταν διαιρούνται με τις ρ_1 ή ρ_2 κάθε φορά θα δίνουν την ένταση του ρεύματος I του κυκλώματος στις διάφορες συχνότητες. Δηλαδή:

$$I = \frac{V_2}{\rho}$$

Παράλληλα επίσης με τη πηγή τροφοδοτήσεως (τον ταλαντωτή Χ.Σ.) συνδέεται άλλο ηλεκτρονικό βολτόμετρο V_1 , το οποίο μετρά την τάση εξόδου του ταλαντωτή, την τάση δηλαδή που τροφοδοτεί το κύκλωμα σειράς.

Ο ταλαντωτής αυτός, σαν πηγή παροχής ηλεκτρικής ενέργειας, έχει κάποια εσωτερική αντίσταση. Επομένως, όταν παρέχει ρεύμα σε κύκλωμα που η αντίστασή του μεταβάλλεται θα έχει διαφορετικές εσωτερικές πτώσεις τάσεως και άρα η τάση στους πόλους του θα μεταβάλλεται, ενώ, για να είναι οι μετρήσεις σωστές, η τάση αυτή πρέπει να παραμένει σταθερή. Επομένως, κατά τη διεξαγωγή της ασκήσεως, όταν με τη μεταβολή της συχνότητας παρατηρείται μεταβολή της τάσεως V_1 , θά γίνεται πάντοτε **διόρθωση** της τάσεως αυτής, για να παραμένει σταθερή. Η διαδικασία αυτή ισοδυναμεί με τροφοδότηση του κυμαινόμενου κυκλώματος από πηγή σταθερής τάσεως.

Τέλος, αν το βολτόμετρο V_2 τοποθετηθεί παράλληλα στο πηνίο ή τον πυκνωτή, η τιμή τάσεως που θα δείχνει κατά το συντονισμό θα είναι μεγαλύτερη από την τάση της πηγής V_1 , θα δείχνει δηλαδή τις υπερτάσεις V_1 ή V_2 .

7.2 Εργασία.

1) Να πραγματοποιηθεί το κύκλωμα του σχήματος 7.1ε. Να συνδεθεί πρώτα η μικρότερη από τις αντιστάσεις (ρ_1). Η τάση του ταλαντωτή V_1 να τηρείται συνέχεια σταθερή στα 5 V. Να ληφθούν οι μετρήσεις της τάσεως V_2 για τις συχνότητες του Πίνακα 7.2.1 και να γίνουν οι αντίστοιχοι υπολογισμοί του ρεύματος. (Κατά τις μετρήσεις να προσδιορισθεί ακριβώς και να σημειωθεί η συχνότητα συντονισμού f_0).

2) Να συνδεθεί η αντίσταση ρ_2 και να ληφθούν μετρήσεις με τον ίδιο τρόπο για τις συχνότητες που είναι στο πίνακα της προηγούμενης ερωτήσεως. Από τις μετρήσεις των περιπτώσεων 1 και 2 να χαραχθούν δύο καμπύλες εντάσεως ρεύματος σε συνάρτηση με τη συχνότητα στο ίδιο σχεδιάγραμμα, όπως στο σχήμα 7.1γ.

3) Να συνδεθεί το ηλεκτρονικό βολτόμετρο V_2 στα άκρα του πηνίου L και να συνδεθεί η μικρότερη αντίσταση ρ . Μετά να συντονισθεί το κύκλωμα με μεταβολή της συχνότητας του ταλαντωτή και να σημειωθεί τότε η τάση V_L .

4) Να συνδεθεί η άλλη αντίσταση ρ και να σημειωθεί πάλι η τάση V_L κατά το συντονισμό. Να εξηγηθούν οι δύο μετρήσεις.

5) Να συνδεθεί το ηλεκτρονικό βολτόμετρο V_2 στα άκρα του πυκνωτή C και να επαναληφθεί η ίδια εργασία όπως στην περίπτωση 3.

6) Να υπολογισθεί το Q του κυμαινόμενου κυκλώματος στις δύο περιπτώσεις των αντιστάσεων ρ_1 και ρ_2 από τις σχέσεις:

$$Q = \frac{f_0}{f_2 - f_1} \quad \text{και} \quad Q = \frac{V_C}{E} = \frac{V_L}{E}$$

7) Από τις τιμές L και C και με τη σχέση του Τόμσον να υπολογισθεί η συχνότη-

τα συντονισμού του κυκλώματος και να συγκριθεί με τη συχνότητα συντονισμού που βρίσκεται από τις μετρήσεις.

8) Από τις μετρήσεις των περιπτώσεων 1 και 2 να υπολογισθεί η αντίσταση του κυμαίνόμενου κυκλώματος κατά το συντονισμό.

ΠΙΝΑΚΑΣ 7.2.1.

| Για $\rho = \rho_1$ | | | Για $\rho = \rho_2$ | | |
|---------------------|---------------|--------------------------|---------------------|---------------|--------------------------|
| f Hz | V_2 βολτ | $I = \frac{V_2}{\rho_1}$ | f Hz | V_2 βολτ | $I = \frac{V_2}{\rho_1}$ |
| 400 | | | 300 | | |
| 500 | | | 400 | | |
| 550 | | | 500 | | |
| 600 | | | 600 | | |
| 650 | | | 650 | | |
| 700 | | | 700 | | |
| 750 | | | 750 | | |
| 800 | | | 800 | | |
| 850 | | | 850 | | |
| 900 | | | 900 | | |
| 950 | | | 950 | | |
| 1000 | | | 1000 | | |
| 1200 | | | 1200 | | |
| 1500 | | | 1500 | | |
| | | | 1800 | | |
| | | | 2000 | | |
| | | | 2500 | | |
| | | | 3000 | | |

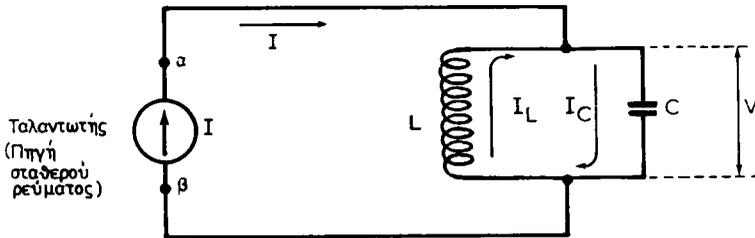
ΑΣΚΗΣΗ 8

ΠΑΡΑΛΛΗΛΟΣ ΣΥΝΤΟΝΙΣΜΟΣ

8.1 Γενικά.

Το κύκλωμα του σχήματος 8.1 είναι ένα κύκλωμα παράλληλου συντονισμού ή παράλληλο κυμαινόμενο κύκλωμα. Οι κύριες ιδιότητες του παράλληλου κυμαινόμενου κυκλώματος είναι οι εξής:

1) Η πηγή που το τροφοδοτεί (ταλαντωτής χαμηλής συχνότητας ή υψηλής συχνότητας), πρέπει να έχει όσο το δυνατό μεγαλύτερη εσωτερική αντίσταση (πηγή σταθερού ρεύματος). Υπενθυμίζεται ότι η «ιδανική» πηγή του ρεύματος παρέχει σταθερό ρεύμα, ανεξάρτητα από την τιμή της πολικής τάσεως και ανεξάρτητα από τις μεταβολές της καταναλώσεως. Στην περίπτωση του σχήματος 8.1, η ένταση του ρεύματος I θα παραμένει σταθερή, ανεξάρτητα από το γεγονός ότι η τάση στους πόλους α , β της πηγής θα μεταβάλλεται. (Βλέπε άσκηση 26 στο βιβλίο ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΙΚΟ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ της Α΄ τάξεως, «Προσαρμογή πηγής προς το φορτίο που τροφοδοτεί»).



Σχ. 8.1.

2) Όταν η συχνότητα του ταλαντωτή, που τροφοδοτεί το κυμαινόμενο κύκλωμα, μεταβάλλεται, παρατηρούμε ότι στις χαμηλότερες συχνότητες η αντίσταση του κυκλώματος είναι μικρή (επειδή στις χαμηλές συχνότητες προβάλλει μικρή αντίσταση ο κλάδος του πηνίου). Επίσης στις υψηλότερες συχνότητες η αντίσταση του κυκλώματος είναι μικρή (επειδή στις υψηλές συχνότητες προβάλλει μικρή αντίσταση ο κλάδος του πυκνωτή). Σε μία ενδιάμεση συχνότητα, δηλαδή στη συχνότητα συντονισμού, το παράλληλο κυμαινόμενο κύκλωμα παρουσιάζει μέγιστη αντίσταση.

3) Κατά το συντονισμό, αφού η αντίσταση του κυμαινόμενου κυκλώματος γίνει-

ται μέγιστη και το ρεύμα I έχει σταθερή ένταση, η τάση V (σχ. 8.1) στα άκρα του παράλληλου κυκλώματος θα είναι μέγιστη.

4) Κατά το συντονισμό επίσης, στον κλάδο του πηνίου και στον κλάδο του πυκνωτή κυκλοφορούν ρεύματα, τα οποία, όταν ο πυκνωτής και το πηνίο είναι αρκετά καλής ποιότητας, έχουν εντάσεις πολύ μεγαλύτερες από την ένταση του ρεύματος I (υπερεντάσεις).

Όστε κατά τον παράλληλο συντονισμό παρατηρούνται τα εξής φαινόμενα:

- α) Μέγιστη αντίσταση του κυκλώματος.
- β) Μέγιστη τάση στα άκρα του.
- γ) Υπερεντάσεις των ρευμάτων I_L και I_C στους δύο κλάδους του κυκλώματος (σχ. 8.1), οι οποίες είναι τόσο μεγαλύτερης τιμής, όσο η ποιότητα του κυμαινόμενου κυκλώματος είναι καλύτερη. Η ποιότητα αυτή εκφράζεται με το συντελεστή Q , ο οποίος ισούται με το πηλίκο της εντάσεως, που έχει το ρεύμα σε κάθε κλάδο κατά το συντονισμό, προς την ένταση του ρεύματος της πηγής I (σταθερής εντάσεως):

$$Q = \frac{I_L}{I} = \frac{I_C}{I} \quad (\text{Το } Q \text{ είναι καθαρός αριθμός})$$

Τέλος η συχνότητα f_0 , στην οποία συντονίζεται το κυμαινόμενο κύκλωμα, δίνεται από τη σχέση Τόμσον:

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

8.2 Ο συντελεστής ποιότητας Q και η μορφή της καμπύλης συντονισμού.

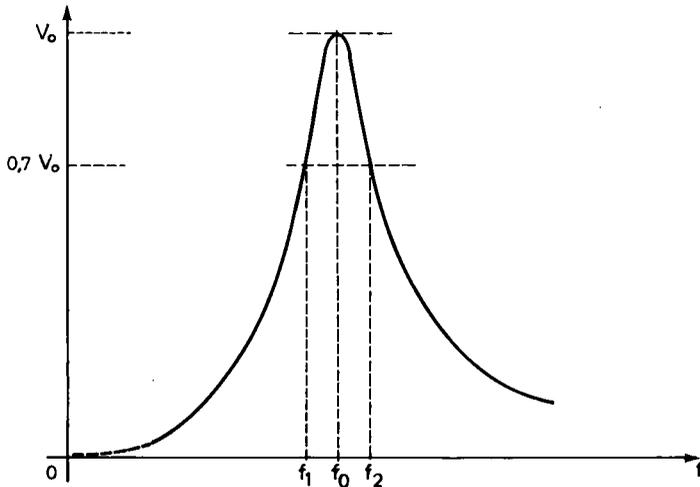
Ο συντελεστής ποιότητας του παράλληλου κυμαινόμενου κυκλώματος επηρεάζει σημαντικά τη μορφή της καμπύλης συντονισμού. Όσο ο συντελεστής αυτός είναι μεγαλύτερος, τόσο η καμπύλη συντονισμού είναι οξύτερη και το κυμαινόμενο κύκλωμα έχει καλύτερη επιλογή. Πράγματι, όταν η καμπύλη συντονισμού είναι γνωστή, μπορούμε να υπολογίσουμε από αυτή το Q με τη σχέση (σχ. 8.2):

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

όπου f_0 είναι η συχνότητα συντονισμού και f_2 και f_1 είναι οι συχνότητες που αντιστοιχούν σε δύο σημεία της καμπύλης συντονισμού, για τα οποία η τάση στα άκρα του παράλληλου κυκλώματος υποβιβάζεται στα 7/10 της τάσεως που επικρατεί κατά το συντονισμό.

Τέλος, παρατηρείται ότι οι καμπύλες συντονισμού στα παράλληλα κυμαινόμενα κυκλώματα δεν είναι συμμετρικές. Όπως φαίνεται και από το σχήμα 8.2, ο αριστερός κλάδος της καμπύλης κατεβαίνει περισσότερο απότομα από το δεξιό κλάδο.

Γενικά, όσο το Q του κυμαινόμενου κυκλώματος είναι μεγαλύτερο, τόσο περισσότερο συμμετρική είναι η καμπύλη αυτή.



Σχ. 8.2.

8.3 Περιγραφή του κυκλώματος και τρόπος λήψεως των μετρήσεων.

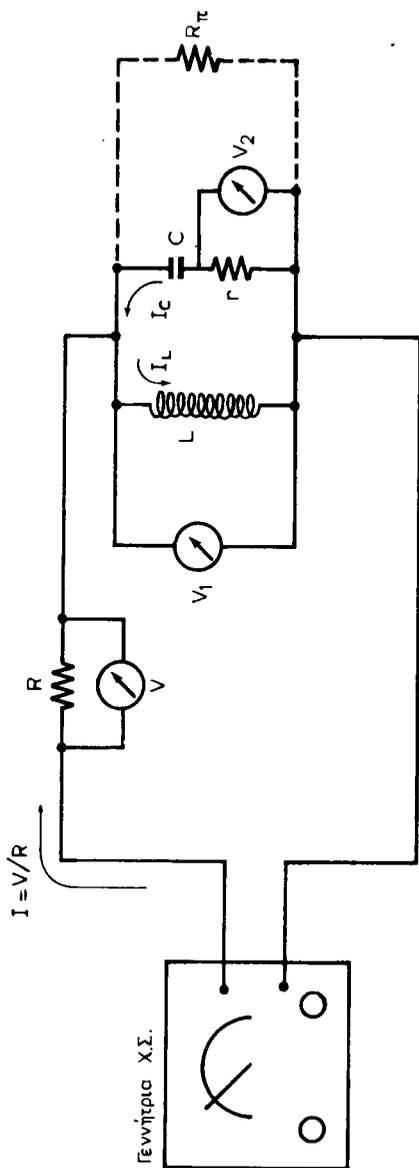
Στο σχήμα 8.3 παριστάνεται το κύκλωμα, το οποίο θα χρησιμοποιηθεί για τη λήψη των μετρήσεων. Το παράλληλο κυμαινόμενο κύκλωμα μπορεί να έχει ιδιοσυχνότητα συντονισμού είτε στην περιοχή των χαμηλών συχνοτήτων (ως τους 20 000 Hz) είτε στην περιοχή των υψηλών (πάνω από 20 000 Hz). Αυτό εξαρτάται από τις τιμές της αυτεπαγωγής και της χωρητικότητας. Για την ευκολία των μετρήσεων στην άσκηση αυτή πρέπει να χρησιμοποιείται κύκλωμα με ιδιοσυχνότητα συντονισμού χαμηλή, π.χ. 800 - 1000 Hz, οπότε σαν πηγή τροφοδοτήσεως εξυπηρετεί ένας ταλαντωτής χαμηλής συχνότητας (σχ. 8.3). Ο ταλαντωτής αυτός πρέπει να είναι πηγή σταθερού ρεύματος και για να γίνει αυτό στην πράξη, εργαζόμαστε ως εξής:

Σε σειρά με το κύκλωμα έχει συνθεθεί αντίσταση R και παράλληλα με αυτήν ηλεκτρονικό βολτόμετρο V . Για τη λήψη των μετρήσεων και τη χάραξη της καμπύλης συντονισμού, θα μεταβάλλεται η συχνότητα του ταλαντωτή. Τότε, όμως, θα μεταβάλλεται η αντίσταση του κυμαινόμενου κυκλώματος, άρα και η ένταση του ρεύματος I . Για να παραμένει η ένταση του ρεύματος αυτού σταθερή, θα ρυθμίζεται σε κάθε μέτρηση η τάση εξόδου του ταλαντωτή χαμηλής συχνότητας, έτσι ώστε να παραμένει σταθερή η ένδειξη του βολτομέτρου V . Με τον τρόπο αυτό θα είναι σταθερή και η ένταση του ρεύματος I , γιατί είναι:

$$I = \frac{V \text{ (σταθερή)}}{R \text{ (σταθερή)}}$$

Έτσι η πηγή τροφοδοτήσεως του κυμαινόμενου κυκλώματος (ο ταλαντωτής Χ.Σ.) ισοδυναμεί με πηγή σταθερού ρεύματος.

Παράλληλα προς το κυμαινόμενο κύκλωμα έχει συνδεθεί και άλλο ηλεκτρονικό



Σχ. 8.3.

Τα V_1 και V_2 είναι ηλεκτρονικά βολτόμετρα ή μιλιβολτόμετρα. Η τάση V πρέπει να είναι σταθερή σε όλη τη διάρκεια των μετρήσεων.

βολτόμετρο (V_1). Όταν η συχνότητα του ταλαντωτή μεταβάλλεται, θα μεταβάλλεται και η ένδειξη του βολτομέτρου αυτού, δηλαδή η τάση στα άκρα του κυμαινόμενου κυκλώματος. Η τάση αυτή, όταν διαιρεθεί με τη (σταθερή) ένταση του ρεύματος I , θα δίνει την αντίσταση Z του κυμαινόμενου κυκλώματος σε κάθε συχνότητα:

$$Z = \frac{V_1}{I}$$

Για τη μέτρηση της εντάσεως των ρευμάτων σε κάθε κλάδο, δηλαδή των ρευμάτων I_L και I_C , ακολουθείται η εξής μέθοδος:

Σε ένα κλάδο, π.χ. στο κλάδο C , παρεμβάλλεται μία μικρή αντίσταση r , λίγων ωm , όπως φαίνεται στο σχήμα 8.3, και παράλληλα με αυτή συνδέεται ηλεκτρονικό βολτόμετρο (όργανο V_2). Η μικρή αυτή αντίσταση δεν επηρεάζει σε αισθητό βαθμό τη συμπεριφορά του κυκλώματος.

Όταν, τώρα, η συχνότητα του ταλαντωτή μεταβάλλεται, η ένδειξη του βολτομέτρου V_2 , αν διαιρεθεί με την τιμή της r , θα δίνει την ένταση του ρεύματος στον κλάδο C για κάθε συχνότητα.

8.4 Μέθοδος υποβιβασμού του συντελεστή ποιότητας Q .

Ο συντελεστής ποιότητας Q του παράλληλου κυμαινόμενου κυκλώματος μπορεί να υπολογισθεί και από τη σχέση:

$$Q = \frac{L\omega_0}{R}$$

όπου ω_0 είναι η κυκλική συχνότητα συντονισμού ($= 2\pi f_0$) και R είναι η ολική αντίσταση απωλειών του κλάδου του πηνίου (υποτίθεται ότι ο πυκνωτής δεν έχει απώλειες).

Ο συντελεστής αυτός ποιότητας μπορεί να ελαττωθεί όταν, παράλληλα στο κυμαινόμενο κύκλωμα, συνδεθεί αντίσταση R_π (σχ. 8.3). Θα ελαττωθεί δε τόσο περισσότερο, όσο η τιμή της αντιστάσεως αυτής είναι μικρότερη. Άρα όσο μεγαλύτερη είναι η παράλληλη αντίσταση R_π , τόσο οξύτερη θα είναι η καμπύλη συντονισμού και τόσο καλύτερη επιλογή θα έχει το κυμαινόμενο κύκλωμα. Αποδεικνύεται ότι, όταν το κυμαινόμενο κύκλωμα παραλληλισθεί με αντίσταση R_π , ο συντελεστής ποιότητας αυτού γίνεται:

$$Q' = \frac{Q}{1 + \frac{R(1 + Q^2)}{R_\pi}}$$

όπου Q είναι ο συντελεστής ποιότητας του κυκλώματος χωρίς την αντίσταση R_π και R η ολική αντίσταση απωλειών, όπως αναφέρθηκε προηγουμένως.

8.5 Εργασία.

- 1) Να συνδεσμολογηθεί το κύκλωμα του σχήματος 8.3. Να συνδεθούν μόνο τα

ηλεκτρονικά βολτόμετρα V και V_1 . Το V_2 και η R_{π} να μη συνδεθούν. Να ρυθμισθεί η τάση εξόδου του ταλαντωτή Χ.Σ., ώστε το V να δείχνει τάση 1 βολτ σε όλη τη διάρκεια των μετρήσεων. Η αντίσταση R που είναι σε σειρά είναι γνωστή.

2) Για τις επόμενες συχνότητες f του ταλαντωτή να σημειώνεται η αντίστοιχη ένδειξη του V_1 : 300, 400, 500, 600, 700, 750, 800, 850, 900, 1000, 1200, 1500 Hz.

3) Να υπολογισθεί η σταθερή ένταση του ρεύματος I .

4) Να υπολογισθεί η αντίσταση Z του κυμαινόμενου κυκλώματος για κάθε συχνότητα f .

5) Να χαραχθούν οι καμπύλες:

α) Τάση V_1 - συχνότητες.

β) Αντίσταση Z - συχνότητες σε δύο χωριστά διαγράμματα.

6) Να συνδεθεί παράλληλα με το κυμαινόμενο κύκλωμα αντίσταση R_{π} , με γνωστή τιμή, και να γίνουν πάλι μετρήσεις της τάσεως V_1 για τις εξής συχνότητες: 300, 400, 500, 550, 600, 650, 700, 750, 800, 850, 900, 950, 1000, 1200, 1500, 2000, 3000, 4000, 5000 Hz.

7) Να υπολογισθεί η αντίσταση Z του κυμαινόμενου κυκλώματος για κάθε συχνότητα.

8) Να χαραχθεί η καμπύλη: τάση V_1 - συχνότητες στο ίδιο σχεδιάγραμμα με την αντίστοιχη καμπύλη της περιπτώσεως 5.

9) Να χαραχθεί επίσης η καμπύλη: αντίσταση Z - συχνότητες στο ίδιο σχεδιάγραμμα με την αντίστοιχη της ίδιας περιπτώσεως 5.

10) Να συνδεθεί παράλληλα με το κυμαινόμενο κύκλωμα άλλη αντίσταση R_{π} , με διαφορετική τιμή, και να ληφθούν νέες μετρήσεις της τάσεως V_1 για τις ίδιες συχνότητες.

11) Να υπολογισθεί πάλι η αντίσταση Z του κυμαινόμενου κυκλώματος για κάθε συχνότητα.

12) Να χαραχθούν πάλι οι καμπύλες: τάση V_1 - συχνότητες και αντίσταση Z - συχνότητες στο ίδιο σχεδιάγραμμα με τις αντίστοιχες της ίδιας περιπτώσεως 5.

13) Να αποσυνδεθεί η αντίσταση R_{π} και το βολτόμετρο V_1 . Να συνδεθεί ηλεκτρονικό βολτόμετρο (V_2) στα άκρα της γνωστής αντιστάσεως r και να μεταβληθεί η συχνότητα του ταλαντωτή, ώστε το V_2 να δείξει μέγιστο (συντονισμός).

14) Να υπολογισθεί η ένταση του ρεύματος I_C :

$$I_C = \frac{V_2}{r} \quad (\text{υπερένταση})$$

15) Να υπολογισθεί το Q από τη σχέση:

$$Q = \frac{I_C}{I}$$

16) Αν είναι γνωστά τα L , ω_0 και R (η αντίσταση απωλειών του πηνίου), να υπολογισθεί το Q και από τη σχέση:

$$Q = \frac{L\omega_0}{R}$$

και να συγκριθεί το αποτέλεσμα αυτό με εκείνο που βρέθηκε στη περίπτωση 15.

ΑΣΚΗΣΗ 9

ΘΕΡΜΙΟΝΙΚΗ ΕΚΠΟΜΠΗ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΩΝ – Η ΔΙΟΔΟΣ ΛΥΧΝΙΑ ΚΕΝΟΥ

9.1 Γενικά.

Όταν ένας μεταλλικός αγωγός θερμανθεί σε υψηλές θερμοκρασίες, τα ελεύθερα ηλεκτρόνια των ατόμων του κινούνται με μεγάλες ταχύτητες, συγκρούονται μεταξύ τους και μερικά από αυτά, αφού αποκτήσουν μεγάλη κινητική ενέργεια, εγκαταλείπουν το μέταλλο και βγαίνουν στο χώρο γύρω από αυτό. Συμβαίνει, δηλαδή, κάτι παρόμοιο με το βρασμό του νερού. Η έξοδος ηλεκτρονίων από ένα μέταλλο με αυτό τον τρόπο, λέγεται θερμική ή **θερμιονική εκπομπή**. Αυτή είναι και η βάση της λειτουργίας των ηλεκτρονικών λυχνιών.

Η πιο απλή ηλεκτρονική λυχνία έχει δύο μεταλλικά ηλεκτρόδια. Τό ένα, η **κάθοδος**, που θερμαίνεται και εκπέμπει ηλεκτρόνια και το άλλο, η **άνοδος**, που βρίσκεται σε θετικό δυναμικό και παίρνει τα ηλεκτρόνια που βγαίνουν από τη θερμαινόμενη κάθοδο. Τα δύο αυτά ηλεκτρόδια είναι τοποθετημένα σε κάποια απόσταση μεταξύ τους, μέσα σε ένα κλειστό αερόκενο σωλήνα, γυάλινο ή μεταλλικό. Μια τέτοια λυχνία με κάθοδο και άνοδο λέγεται **δίοδος λυχνία κενού**. Η θέρμανση της καθόδου μπορεί να γίνεται απευθείας, οπότε η λυχνία είναι αμέσου θερμάνσεως ή να γίνεται με βοηθητικό ηλεκτρόδιο, το **νήμα**, οπότε είναι εμμέσου θερμάνσεως.



Σχ. 9.1α.

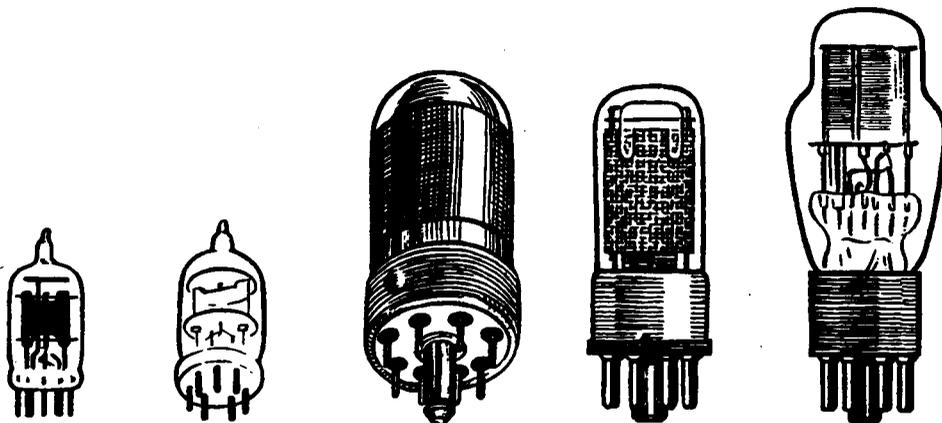
α) Δίοδος λυχνία αμέσου θερμάνσεως. Θεωρητικό σύμβολο. β) Δίοδος λυχνία εμμέσου θερμάνσεως. Θεωρητικό σύμβολο.

Στα σχήματα 9.1α και 9.1β φαίνονται:

α) Θεωρητικός συμβολισμός διόδων λυχνιών αμέσου και εμμέσου θερμάνσεως (σχ. 9.1α) και

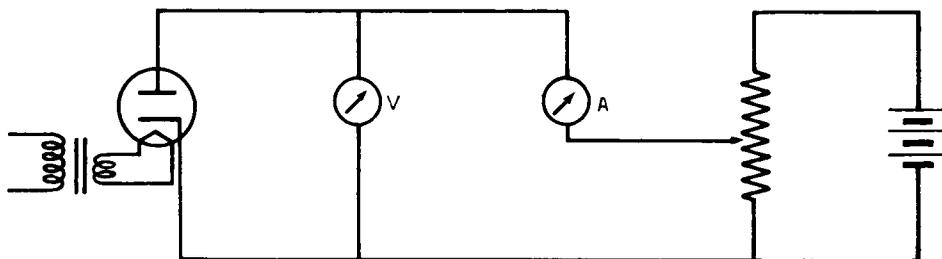
β) πραγματική εμφάνιση των λυχνιών διαφόρων τύπων (σχ. 9.1β).

Η ένταση του ρεύματος που κυκλοφορεί σε μια δίοδο λυχνία, εφ' όσον η κάθο-



Σχ. 9.1β.

Εξωτερική εμφάνιση λυχνιών διαφόρων τύπων.



Σχ. 9.1γ.

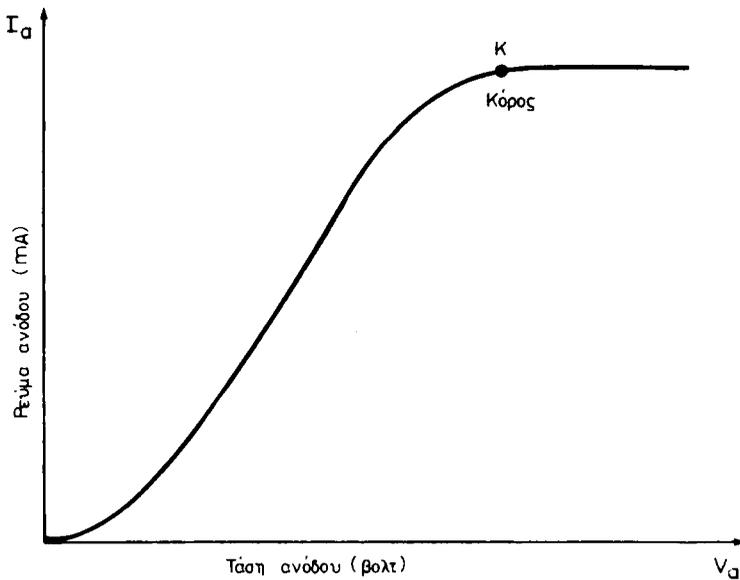
δός της θερμαίνεται κανονικά, εξαρτάται από την τάση ανόδου. Όσο πιο μεγάλη τάση εφαρμόζεται στην άνοδο, τόσο πιο μεγάλο ρεύμα κυκλοφορεί στο κύκλωμα της λυχνίας. Αυτό μπορεί να μετρηθεί με την πραγματοποίηση του κυκλώματος του σχήματος 9.1γ.

Στο κύκλωμα αυτό η τάση της πηγής εφαρμόζεται στην άνοδο της λυχνίας μέσω ποτενσιόμετρου, για να έχουμε τις απαιτούμενες κάθε φορά μεταβολές. Το βολτόμετρο παράλληλα στην άνοδο μετρά την τάση που εφαρμόζεται σε αυτή, ενώ το μιλλιαμπερόμετρο σε σειρά μετρά το αντίστοιχο ρεύμα. Η μορφή της χαρακτηριστικής καμπύλης μιας διόδου λυχνίας (καμπύλη που εκφράζει τις μεταβολές του ανοδικού ρεύματος, όταν μεταβάλλεται η ανοδική τάση), φαίνεται στο σχήμα 9.1δ.

Εννοείται ότι το ρεύμα κυκλοφορεί στο κύκλωμα της λυχνίας μόνον όταν η άνοδος είναι θετική. Όταν στην άνοδο (μετάξύ ανόδου - καθόδου) εφαρμοσθεί αρνητικό δυναμικό, δεν κυκλοφορεί ρεύμα, γιατί τα ηλεκτρόνια που βγαίνουν από τη θερμαινόμενη κάθοδο, απωθούνται από το αρνητικό δυναμικό της ανόδου.

Ο αριθμός των ηλεκτρονίων που βγαίνουν από την κάθοδο, όταν αυτή θερμαί-

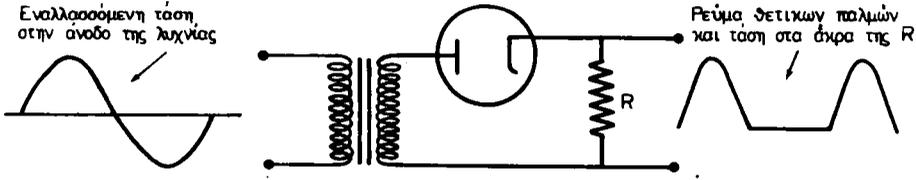
νεται, εξαρτάται, από τη θερμοκρασία και από το είδος του υλικού που είναι κατασκευασμένη. Τα υλικά από τα οποία κατασκευάζονται οι κάθοδοι των λυχνιών είναι το βολφράμιο, το θοριωμένο βολφράμιο και τα οξειδία σπανίων γαιών με τα οποία επικαλύπτεται η κάθοδος και δίνει περισσότερα ηλεκτρόνια σε χαμηλότερες θερμοκρασίες. Το τμήμα της χαρακτηριστικής λυχνίας της διόδου (σχ. 9.1δ) μετά από το Κ δείχνει ότι παρ' όλο που αυξάνεται η τάση στην άνοδο, δεν παρατηρείται αντίστοιχη αύξηση του ανοδικού ρεύματος. Σε αυτή την περίπτωση λέμε ότι η λυχνία έφθασε στον κόρο, δηλαδή, η κάθοδός της δεν μπορεί να δώσει περισσότερα ηλεκτρόνια. Ποτέ μια λυχνία δεν δουλεύει στον κόρο, αλλά στο ευθύγραμμο τμήμα της χαρακτηριστικής της. Ο κόρος μπορεί να διαπιστωθεί πειραματικά με υποθέρμανση της καθόδου. Με κανονική τάση στα νήματα και κανονική τάση στην άνοδο (όπως τα δίνει αυτά ο κατασκευαστής της λυχνίας) η λυχνία δουλεύει πολύ πριν από το σημείο Κ. Εξάλλου, συνεχής εργασία στον κόρο θα κατέστρεφε την κάθοδο της λυχνίας.



Σχ. 9.1δ.
Τάση ανόδου (βολτ).

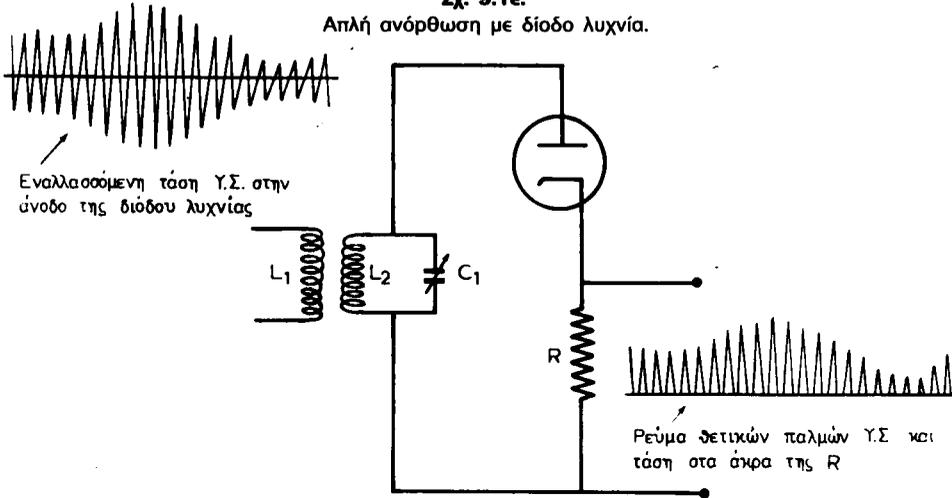
Η δίοδος λυχνία χρησιμοποιείται σε κυκλώματα ανορθώσεως ή φωράσεως. Η λειτουργία της ανορθώσεως και της φωράσεως είναι ίδια. Ανόρθωση είναι η μετατροπή εναλλασσομένων ρευμάτων σε συνεχή με την αποκοπή των αρνητικών ημιπεριόδων. Και στη φώραση πραγματοποιείται αποκοπή αρνητικών ημιπεριόδων των εναλλασσομένων μεγεθών, που εφαρμόζονται μεταξύ ανόδου - καθόδου μιας διόδου λυχνίας. Γενικά όμως η ανόρθωση αναφέρεται σε ισχυρά ρεύματα χαμηλών (βιομηχανικών) συχνοτήτων, ενώ η φώραση αναφέρεται σε ασθενή ρεύματα υψηλών συχνοτήτων. Με τον όρο φώραση ή αποδιαμόρφωση, ανάφερόμαστε στη διαδικασία εκείνη κατά την οποία ξεχωρίζουμε (αποκαλύπτουμε) την ακουστική συχνότητα από τη φέρουσα υψηλή.

Στα σχήματα 9.1ε και 9.1στ εξηγούνται καλύτερα η ανόρθωση και η φώραση. Λεπτομέρειες για την ανόρθωση και τη φώραση θα εξετασθούν αργότερα σε ι- διαίτερες ασκήσεις.



Σχ. 9.1ε.

Απλή ανόρθωση με δίοδο λυχνίας.



Σχ. 9.1στ.

Απλό κύκλωμα φώρασεως με δίοδο λυχνίας.

9.2 Εργασία.

1) Να πραγματοποιηθεί το κύκλωμα του σχήματος 9.1γ (εκτός από την υψηλή τάση στην άνοδο της λυχνίας).

2) Αφού κλειθεί ο καθηγητής και ελέγξει την ακρίβεια του κυκλώματος, να τροφοδοτηθεί η άνοδος με υψηλή τάση και να ληφθούν μετρήσεις του ανοδικού ρεύματος για μεταβολές της τάσεως ανόδου. Τα όρια της τάσεως στα οποία θα γίνουν μεταβολές θα ορισθούν από τον καθηγητή με βάση τον τύπο της δίοδου λυχνίας που χρησιμοποιείται στην άσκηση.

3) Οι μετρήσεις να καταχωρισθούν στον Πίνακα 9.2.1.

ΠΙΝΑΚΑΣ 9.2.1.

| V θερμ. νημάτων = ... βόλτ = σταθερή | |
|--------------------------------------|---------------------|
| V _a (βόλτ) | I _a (mA) |
| ----- | ----- |
| ----- | ----- |
| ----- | ----- |
| ----- | ----- |

4) Από τις τιμές των μεταβολών του ανοδικού ρεύματος, όταν μεταβάλλεται η ανοδική τάση της λυχνίας, να χαραχθεί η χαρακτηριστική καμπύλη αυτής σε σχετικό διάγραμμα, όπως εκείνο του σχήματος 9.1δ.

5) Αν η τάση θερμάνσεως της λυχνίας ελαττωθεί, τι επίδραση θα έχει αυτή η ελάττωση στην τιμή του ανοδικού ρεύματος;

6) Δείξτε τη μεταβολή του ρεύματος στην περίπτωση 5 με νέα (υποθετική) χαρακτηριστική καμπύλη στο ίδιο διάγραμμα με τη χαρακτηριστική, που βγήκε από τις μετρήσεις.

7) Από τη χαρακτηριστική καμπύλη της λυχνίας φαίνεται ότι όσο μεγαλώνει η τάση στην άνοδο μεγαλώνει και το ρεύμα, αλλά από ένα σημείο και μετά, παρά την αύξηση της τάσεως δεν παρουσιάζεται ανάλογη αύξηση και στο ρεύμα. Πώς εξηγείται το φαινόμενο αυτό;

8) Ποια κάθοδος θα έχει μεταβολές στο παρεχόμενο ρεύμα όταν δεν έχουμε σταθερότητα στην τάση θερμάνσεώς της (π.χ. εναλλασσόμενη τάση θερμάνσεως), εκείνη που έχει άμεσο ή εκείνη που έχει έμμεσο θέρμανση;

ΑΣΚΗΣΗ 10

ΤΡΙΟΔΟΣ ΛΥΧΝΙΑ

10.1 Γενικά.

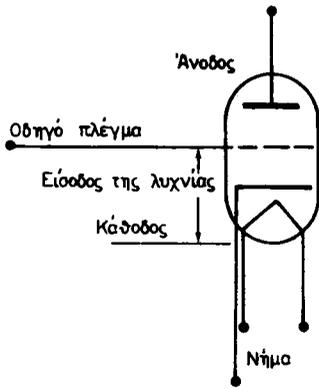
Η ανακάλυψη της διόδου λυχνίας έλυσε το πρόβλημα της ανορθώσεως εναλλασσομένων μεγεθών, της μετατροπής δηλαδή εναλλασσομένων ρευμάτων σε συνεχή. Η πρόσθεση ενός ακόμη ηλεκτροδίου μεταξύ καθόδου και ανόδου στη δίοδο λυχνία είχε σαν αποτέλεσμα την κατασκευή της τριόδου, με την οποία επιτεύχθηκε η ενίσχυση ηλεκτρικών μεγεθών και έτσι αναπτύχθηκαν η ραδιοφωνία, οι τηλεπικοινωνίες και όλες γενικά οι εφαρμογές των ηλεκτρονικών.

Στην τριόδο λυχνία, όπως και στη δίοδο, η κάθοδος, όταν θερμανθεί, εκπέμπει ηλεκτρόνια. Αυτά τα παίρνει η άνοδος, εφ' όσον είναι σε θετικό δυναμικό ως προς την κάθοδο. Ένα τρίτο ηλεκτρόδιο τώρα, το οποίο ονομάζεται **πλέγμα** ή **εσχάρα**, γιατί δεν είναι συμπαγές όπως η κάθοδος και η άνοδος, αλλά πλέγμα συρμάτινο ή σύρμα τυλιγμένο σε ελικοειδή μορφή γύρω από την κάθοδο, ρυθμίζει την κίνηση των ηλεκτρονίων αυτών στην πορεία τους από την κάθοδο προς την άνοδο. Το ρυθμίζει (εμποδίζει), με το φυσικό εμπόδιο που παρεμβάλλει στο δρόμο τους και με το αρνητικό, σε σχέση με την κάθοδο, δυναμικό στο οποίο βρίσκεται. Η κάθοδος θεωρείται ότι βρίσκεται σε δυναμικό μηδέν και λαμβάνεται σαν αρχή μετρήσεως όλων των δυναμικών των άλλων ηλεκτροδίων. Δηλαδή τα δυναμικά της ανόδου και του πλέγματος αναφέρονται πάντοτε ως προς την κάθοδο.

Το πλέγμα, επειδή είναι τοποθετημένο πιο κοντά στην κάθοδο, επηρεάζει σε πολύ πιο σημαντικό βαθμό την κυκλοφορία των ηλεκτρονίων από κάθοδο προς άνοδο, από ότι την επηρεάζει αυτή η ίδια η άνοδος με το θετικό δυναμικό της. Η θεωρητική σχεδίαση τριόδου λυχνίας καθώς και τομή της πραγματικής της όψεως φαίνονται στα σχήματα 10.1α και 10.1β.

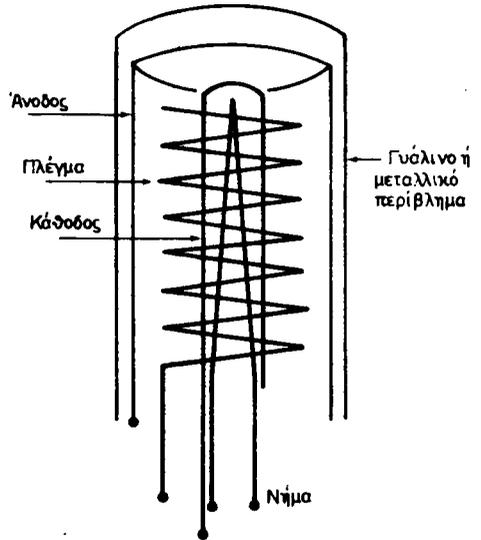
Το πλέγμα της τριόδου λυχνίας, σχεδόν πάντοτε, βρίσκεται σε αρνητικό δυναμικό σε σχέση με την κάθοδο. Έτσι το αρνητικό πλέγμα, παρ' όλο που οι αρνητικές τιμές του δυναμικού του είναι μικρές (π.χ. -3 βόλτ, -5 βόλτ κ.ο.κ.), οπωσδήποτε δυσκολεύει τα ηλεκτρόνια (που είναι αρνητικά φορτία) στην πορεία τους προς την άνοδο. Με αυτό τον τρόπο ρυθμίζεται το μέγεθος της εντάσεως του ρεύματος στο κύκλωμα της λυχνίας, γι' αυτό και το πλέγμα λέγεται **οδηγό πλέγμα**.

Και στην τριόδο λυχνία, όπως στη δίοδο, μπορεί να χαραχθεί η χαρακτηριστική καμπύλη, η οποία δείχνει τις μεταβολές του ανοδικού ρεύματος I_a σε σχέση με τις μεταβολές της ανοδικής τάσεως V_a , με τη διαφορά ότι εδώ μπορεί να χαραχθούν τόσες χαρακτηριστικές όσα και τα δυναμικά που δίνονται στο οδηγό πλέγμα. Έτσι



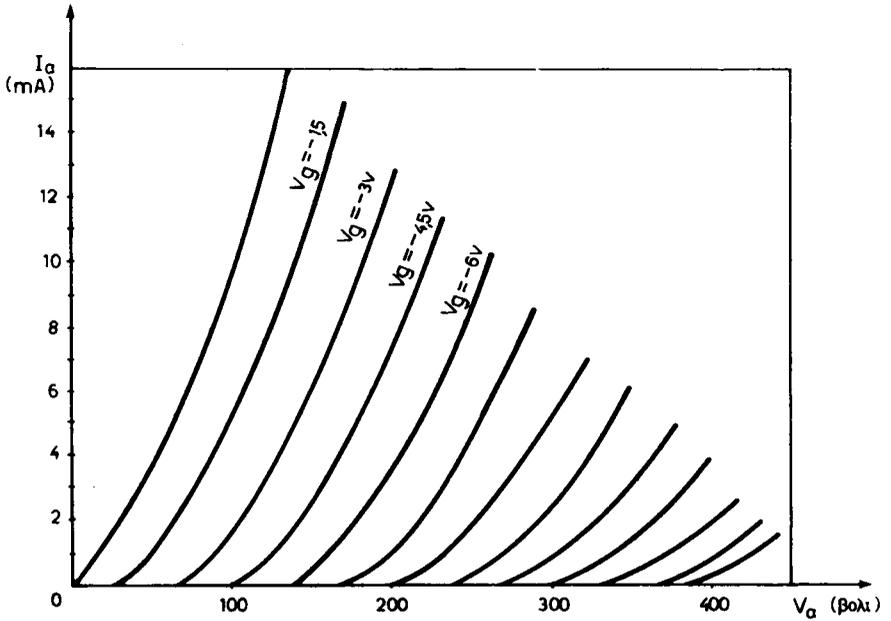
Σχ. 10.1α.

Θεωρητικό σχέδιο τριόδου λυχνίας.



Σχ. 10.1β.

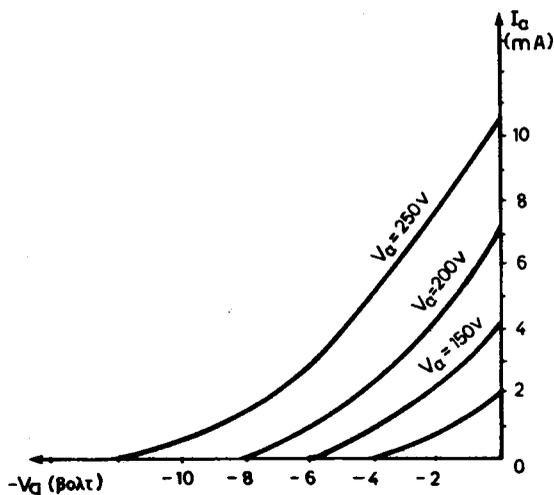
Πρακτικό σχέδιο τριόδου λυχνίας.



Σχ. 10.1γ.

χαράσσεται μια ομάδα (ένα σμήνος) χαρακτηριστικών, όπως φαίνονται στο σχήμα 10.1γ.

Για κάθε χαρακτηριστική καμπύλη η τάση του πλέγματος είναι ορισμένη και παραμένει σταθερή. Επίσης σε μία τριόδο λυχνία μπορεί να χαραχθούν, εκτός από τις προηγούμενες χαρακτηριστικές, οι οποίες λέγονται *χαρακτηριστικές ανόδου* της λυχνίας, και οι *χαρακτηριστικές πλέγματος*, που φαίνονται στο σχήμα 10.16.



Σχ. 10.16.

Οι χαρακτηριστικές αυτές δείχνουν τις μεταβολές του ανοδικού ρεύματος I_a σε σχέση με τις μεταβολές της αρνητικής τάσεως του οδηγού πλέγματος V_g . Εννοείται ότι για κάθε τέτοια χαρακτηριστική καμπύλη, η τάση της ανόδου είναι ορισμένη και παραμένει σταθερή, όπως σημειώνεται στο προηγούμενο διάγραμμα.

Η εσωτερική αντίσταση της τριόδου λυχνίας δίνεται από τη σχέση:

$$\rho = \frac{\Delta V_a}{\Delta I_a} \quad (\text{για ένα ορισμένο, σταθερό } V_g)$$

Από το σήνος των χαρακτηριστικών πλέγματος μιας τριόδου λυχνίας προσδιορίζεται ο συντελεστής ενισχύσεως αυτής. Ο συντελεστής ενισχύσεως συμβολίζεται με το γράμμα μ και είναι ένας σταθερός αριθμός για κάθε λυχνία, που εξαρτάται από τη γεωμετρική κατασκευή της. (Ο συμβολισμός με το μικρό ελληνικό γράμμα μ είναι διεθνής). Ο σταθερός αυτός αριθμός δηλώνει πόσες φορές μπορεί η τριόδος λυχνία να ενισχύσει ένα σήμα που εφαρμόζεται στην είσοδό της. Δίνεται από τη σχέση:

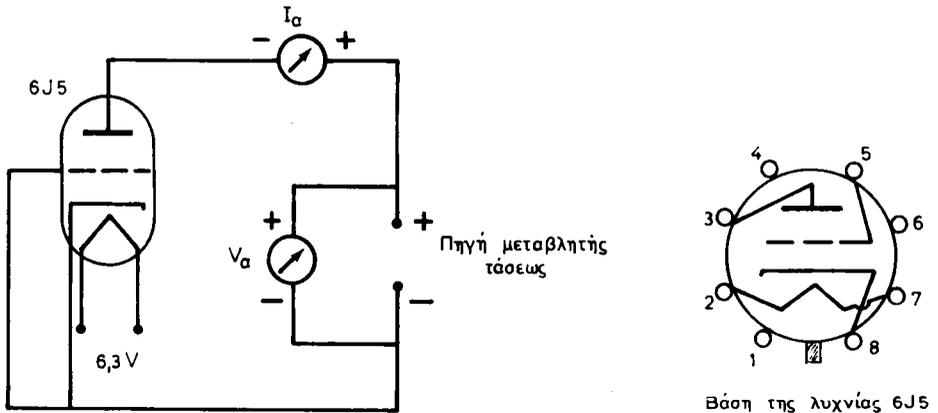
$$\mu = \frac{\Delta V_a}{\Delta V_g} \quad (\text{για ένα ορισμένο, σταθερό } I_a)$$

10.2 Εργασία.

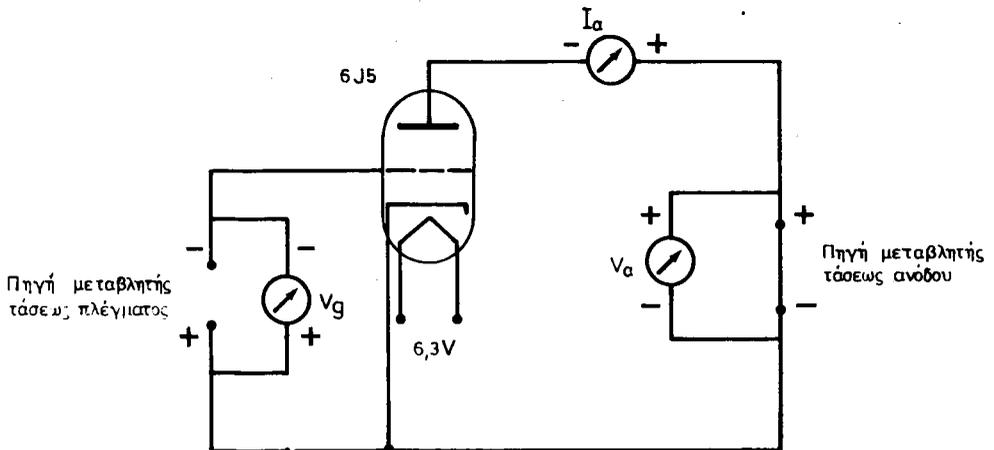
1) Να πραγματοποιηθεί το κύκλωμα (σχ. 10.2α). Για πηγή να χρησιμοποιηθεί

τροφοδοτικό μεταβλητής τάσεως. Το πλέγμα να συνδεθεί απευθείας στην κάθοδο, οπότε θα βρίσκεται σε δυναμικό μηδέν.

Με μεταβολή της ανοδικής τάσεως από 0 - 130 βολτ να ληφθούν μετρήσεις των αντιστοίχων μεταβολών του ανοδικού ρεύματος και να χαραχθεί η χαρακτηριστική ανόδου της λυχνίας για τάση πλέγματος $V_g = 0$ βολτ. Διαδοχικές τιμές ανοδικής τάσεως: 0, 10, 20, 30, 40, κ.ο.κ. ως 130 βολτ.



Σχ. 10.2α.



Σχ. 10.2β.

2) Να τροποποιηθεί το προηγούμενο κύκλωμα και να γίνει όπως στο σχήμα 10.2β. Να εφαρμοσθεί στο πλέγμα σταθερή αρνητική τάση $-1,5$ βολτ και να ληφθούν μετρήσεις ώστε να χαραχθεί στο ίδιο διάγραμμα νέα χαρακτηριστική ανόδου της λυχνίας για $V_g = -1,5$ βολτ. Τιμές ανοδικής τάσεως: 20, 30, 40, 50, 60,... 140 βολτ.

- 3) Το ίδιο να επαναληφθεί για τάσεις πλέγματος:
- −3 βολτ. Τιμές ανοδικής τάσεως: 40, 50, 60, 70, 80,... 160 βολτ.
 - −4,5 βολτ. Τιμές ανοδικής τάσεως: 60, 70, 80, 90, 100, 110,... 200 βολτ.
 - −6 βολτ. Τιμές ανοδικής τάσεως: 80, 100, 120, 140,...220 βολτ.
- 4) Όλες οι ενδείξεις των μετρήσεων να γραφούν στον Πίνακα 10.2.1.

ΠΙΝΑΚΑΣ 10.2.1.

| V_a (βολτ) | I_a (mA) | | | | |
|-----------------|--------------------|-----------------------|---------------------|-----------------------|---------------------|
| | $V_g = 0\text{ V}$ | $V_g = -1,5\text{ V}$ | $V_g = -3\text{ V}$ | $V_g = -4,5\text{ V}$ | $V_g = -6\text{ V}$ |
| 0 | | | | | |
| 10 | | | | | |
| 20 | | | | | |
| 30 | | | | | |
| 40 | | | | | |
| ... | | | | | |
| ... | | | | | |
| ... | | | | | |

5) Από τις προηγούμενες μετρήσεις να χαραχθούν στο ίδιο διάγραμμα οι χαρακτηριστικές ανόδου (V_a / I_a) της λυχνίας.

6) Εφαρμόζοντας σταθερή τάση στην άνοδο της λυχνίας, διαδοχικά 75, 100 και 140 βολτ, να μεταβάλλεται η τάση πλέγματος στις τιμές −1, −2, −3, −4, −5, −6, βολτ και να ληφθούν μετρήσεις για τις αντίστοιχες μεταβολές του ανοδικού ρεύματος I_a .

7) Όλες οι μετρήσεις της προηγούμενης ερωτήσεως να γραφούν στον Πίνακα 10.2.2.

ΠΙΝΑΚΑΣ 10.2.2.

| V_g (βολτ) | I_a | | |
|-----------------|---------------------|----------------------|----------------------|
| | $V_a = 75\text{ V}$ | $V_a = 100\text{ V}$ | $V_a = 140\text{ V}$ |
| 0 | | | |
| −1 | | | |
| −2 | | | |
| −3 | | | |
| −4 | | | |
| −5 | | | |
| −6 | | | |

8) Από τις μετρήσεις αυτές να χαραχθούν στο ίδιο διάγραμμα οι χαρακτηριστικές καμπύλες πλέγματος (I_a / V_g) της λυχνίας.

ΑΣΚΗΣΗ 11

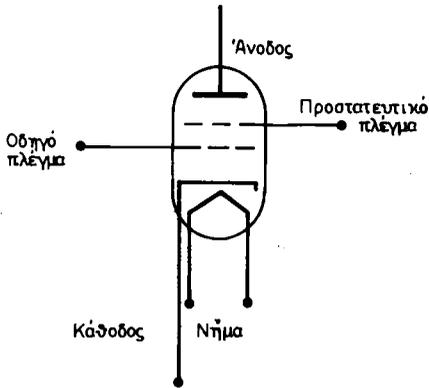
ΤΕΤΡΟΔΟΣ ΛΥΧΝΙΑ

ΚΑΙ ΛΥΧΝΙΑ ΙΣΧΥΟΣ ΚΑΤΕΥΘΥΝΟΜΕΝΗΣ ΔΕΣΜΗΣ

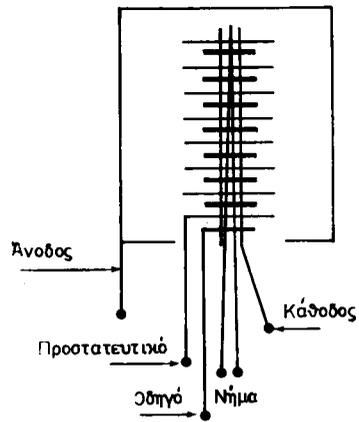
11.1 Γενικά.

Με την προσθήκη ενός πλέγματος στη γνωστή από την προηγούμενη άσκηση τρίοδο λυχνία προκύπτει ένας νέος τύπος, η τέτροδος, η λυχνία δηλαδή, των τεσσάρων ηλεκτροδίων. Η προσθήκη αυτή κρίθηκε αναγκαία, πρώτα για να εξασφαλισθεί μεγαλύτερη ενίσχυση (το μ μιας τριόδου φθάνει μέχρι και 100, ενώ το μ μιας τετρόδου μπορεί να περάσει και το 1000) και ύστερα γιατί η δημιουργούμενη χωρητικότητα μεταξύ οδηγού πλέγματος και ανόδου σε μια τρίοδο δεν επέτρεπε τη χρησιμοποίησή της σε κύκλωμα υψηλών συχνοτήτων.

Τα σχήματα 11.1α και 11.1β δείχνουν μια τέτροδο λυχνία.



Σχ. 11.1α.
Θεωρητικό σχέδιο τέτροδου λυχνίας.



Σχ. 11.1β.
Τομή τέτροδου λυχνίας.

Το νέο πλέγμα ονομάζεται **προστατευτικό**. Είναι τοποθετημένο μεταξύ οδηγού πλέγματος και ανόδου και έχει πάντοτε θετικό δυναμικό σε σχέση με την κάθοδο.

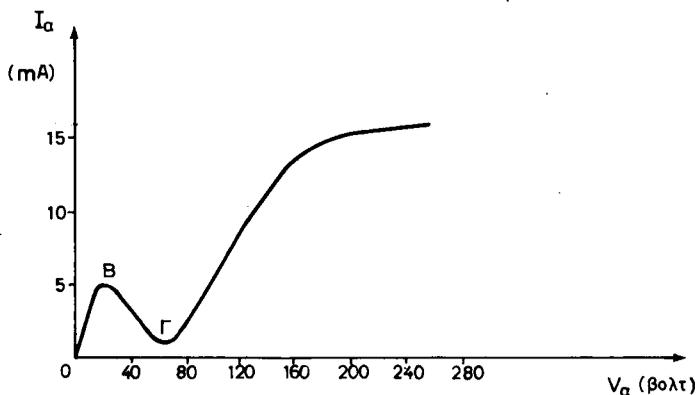
Το θετικό δυναμικό του προστατευτικού πλέγματος βοηθάει (έλκει), επειδή ει-

ναι πιο κοντά στην κάθοδο, ώστε τα ηλεκτρόνια αυτής να φθάσουν πιο γρήγορα στην άνοδο. Αυτή η επιτάχυνση όμως των ηλεκτρονίων δημιουργεί και ορισμένους περιορισμούς και δεν επιτρέπεται η χρησιμοποίηση μιας τέτοιας τετρώδου σε κυκλώματα ένισχύσεως.

Πράγματι στην τέτροδο τα ηλεκτρόνια από την κάθοδο φθάνουν με μεγάλη ταχύτητα στην άνοδο και χτυπούν επάνω σε αυτή με τόση ορμή, ώστε προκαλούν εξαγωγή νέων ηλεκτρονίων από το μέταλλο της ανόδου. Η εκπομπή ηλεκτρονίων από την άνοδο με τον τρόπο αυτό λέγεται **δευτερογενής εκπομπή**.

Τα ηλεκτρόνια που προέρχονται από τη δευτερογενή εκπομπή, ανάλογα με τις ταχύτητες που αποκτούν κατά την εξαγωγή τους, έλκονται από το θετικό δυναμικό του προστατευτικού πλέγματος και έτσι δημιουργείται η κυκλοφορία ενός αντίθετου ρεύματος από την άνοδο προς το προστατευτικό πλέγμα. Έτσι όμως ελαττώνεται το ρεύμα της ανόδου, παρ' όλο ότι η ανοδική τάση αυξάνεται.

Η χαρακτηριστική καμπύλη τάσεως-ρεύματος ανόδου μιας τετρώδου λυχνίας φαίνεται στο διάγραμμα του σχήματος 11.1γ.



Σχ. 11.1γ.

Χαρακτηριστική καμπύλη τάσεως ανόδου - ρεύματος, ανόδου τετρώδου λυχνίας.

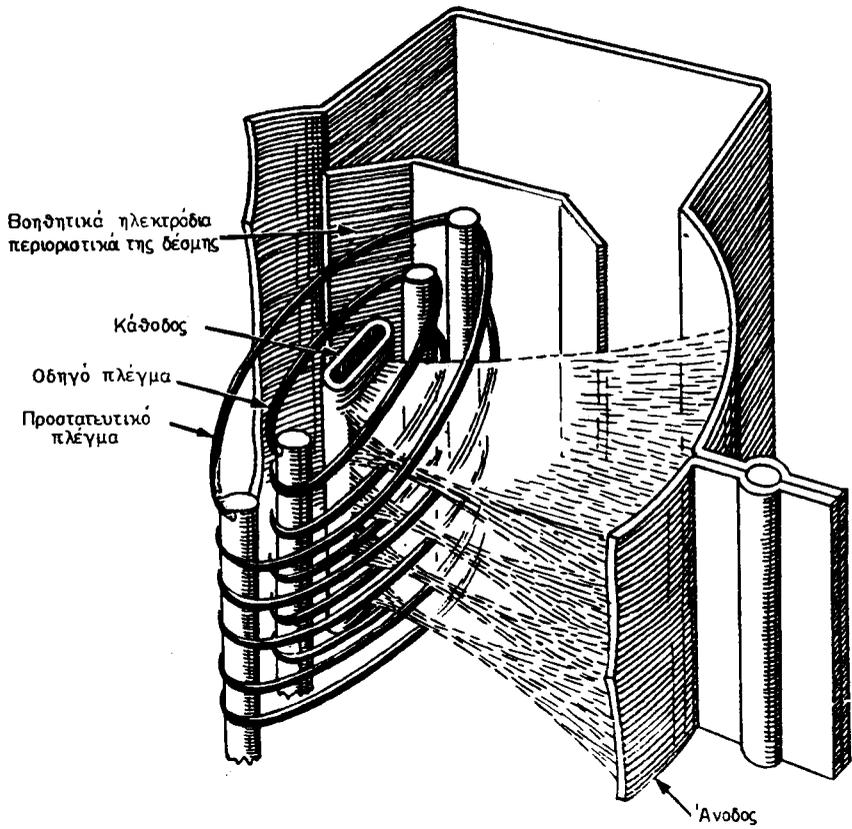
Το τμήμα ΒΓ της χαρακτηριστικής δείχνει την ελάττωση του ανοδικού ρεύματος, παρ' όλο που αυξάνεται η ανοδική τάση. Η λυχνία τότε παρουσιάζει το φαινόμενο της **αρνητικής αντιστάσεως** και, ενώ δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί σαν ενισχύτρια σε αυτή την περιοχή, χρησιμοποιείται σαν ταλαντώτρια.

Η δημιουργούμενη «κατάδυση» της χαρακτηριστικής, όπως λέγεται η πτώση της στο τμήμα ΒΓ, αντιμετωπίζεται με δύο τρόπους:

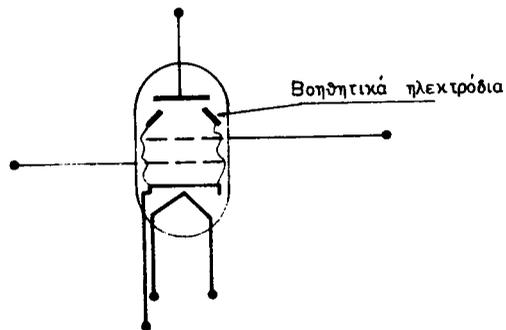
- α) Με την πέντοδο λυχνία που εξετάζεται στην επόμενη άσκηση και
- β) με τη λυχνία κατευθυνόμενης δέσμης.

Οι λυχνίες κατευθυνόμενης δέσμης είναι τέτροδοι (αν και μερικοί τεχνικοί τις κατατάσσουν στις πεντόδους) με ειδική κατασκευή και ειδική τοποθέτηση των πλεγμάτων. Το επόμενο σχήμα δείχνει μια τομή τετρώδου λυχνίας κατευθυνόμενης δέσμης και το σχηματισμό των ομάδων ηλεκτρονίων (σχήμα 11.1δ).

Το οδηγό και το προστατευτικό πλέγμα είναι έτσι τοποθετημένα, ώστε τα ηλε-



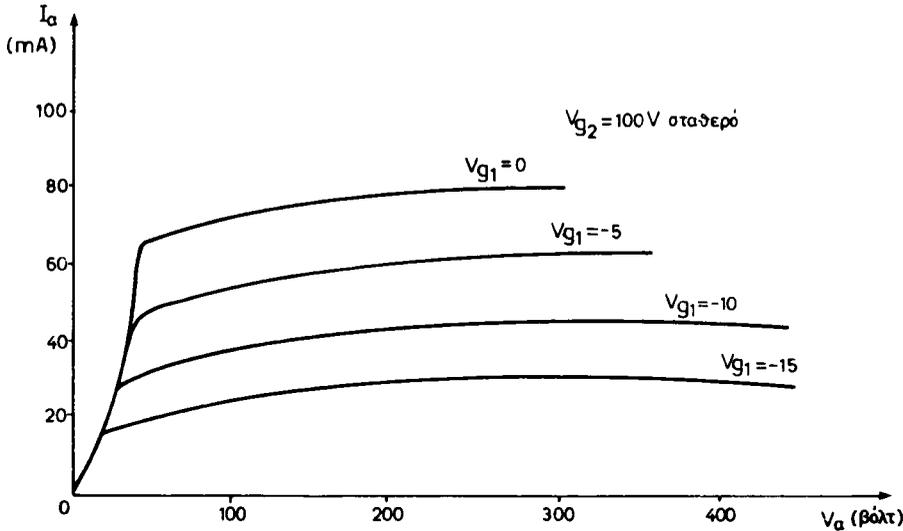
Σχ. 11.16.
Τομή λυχνίας κατευθυνόμενης δέσμης.



Σχ. 11.1ε.
Θεωρητικό σχέδιο λυχνίας κατευθυνόμενης δέσμης.

κτρόνια της καθόδου να δημιουργούν δέσμες στην πορεία τους προς την άνοδο. Για διευκόλυνση της λειτουργίας αυτής τοποθετούνται δύο βοηθητικά ηλεκτρόδια μεταξύ του προστατευτικού πλέγματος και της ανόδου, όπως φαίνεται στο σχήμα 11.1ε. Τα βοηθητικά αυτά ηλεκτρόδια (άνοδοι), συνδέονται με την κάθοδο και φέρουν το δυναμικό της καθόδου.

Οι χαρακτηριστικές ανόδου (τάσεως - ρεύματος) μιας λυχνίας κατευθυνόμενης δέσμης δεν παρουσιάζουν κατάδυση. Η μορφή τους φαίνεται στο διάγραμμα του σχήματος 11.1στ.



Σχ. 11.1στ.

Χαρακτηριστικές καμπύλες τάσεως - ρεύματος ανόδου λυχνίας κατευθυνόμενης δέσμης.

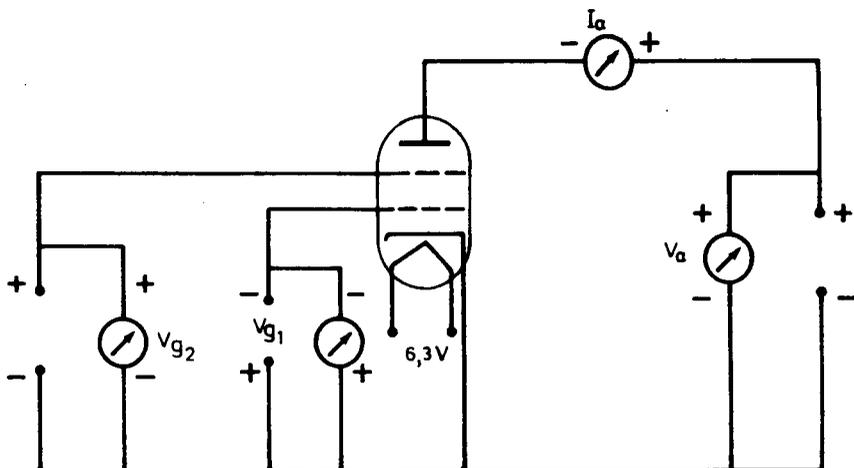
Οι λυχνίες κατευθυνόμενης δέσμης χρησιμοποιούνται πάντοτε στις εξόδους των ενισχυτών, γιατί είναι λυχνίες μεγάλης ευαισθησίας και μεγάλης αποδόσεως ισχύος στην έξοδό τους.

11.2 Εργασία.

1) Να πραγματοποιηθεί το κύκλωμα τετράδου λυχνίας του σχήματος 11.2.

2) Αφού ελεγχθεί το κύκλωμα από τον καθηγητή του Εργαστηρίου, να ληφθούν μετρήσεις των μεταβολών του ανοδικού ρεύματος I_a σε σχέση με τις μεταβολές της ανοδικής τάσεως V_a για δύο διαφορετικά δυναμικά του οδηγού πλέγματος της λυχνίας ($V_{g_1} = 0$ και -3 βολτ), με το προστατευτικό πλέγμα πάντοτε με σταθερό δυναμικό 100 βολτ. Οι τιμές της ανοδικής τάσεως να μεταβάλλονται από 20 ως 200 βολτ ανά 20 βολτ.

3) Όλες οι μετρήσεις να γραφούν στον Πίνακα 11.2.1.



Σχ. 11.2.

ΠΙΝΑΚΑΣ 11.2.1.

| Για $V_{g_1} = 100 \text{ V}$ (σταθερό) | | |
|---|-------------------------|--------------------------|
| V_a (βολτ) | I_a (mA) | |
| | $V_{g_2} = 0 \text{ V}$ | $V_{g_2} = -3 \text{ V}$ |
| 20 | | |
| 40 | | |
| 60 | | |
| 80 | | |
| ... | | |
| ... | | |
| ... | | |

4) Από τις μετρήσεις να χαραχθούν οι χαρακτηριστικές ανόδου (τάσεως - ρεύματος) της τετρόδου λυχνίας.

5) Να τοποθετηθεί στο σασσί της ασκήσεως λυχνία κατευθυνόμενης δέσμης, να συνδεσμοποιηθεί το κύκλωμα και να ληφθούν μετρήσεις, ώστε να χαραχθούν οι χαρακτηριστικές ανόδου για τάσεις οδηγού πλέγματος $V_g = 0, -3$ και -6 βολτ. Οι τιμές ανοδικής τάσεως μεταβάλλονται από 20 ως 240 βολτ ανά 20 βολτ.

6) Όλες οι μετρήσεις να γραφούν σε πίνακα, όπως στην ερώτηση 3.

7) Από τις μετρήσεις της προηγούμενης ερωτήσεως να χαραχθούν οι τρεις καμπύλες στο ίδιο διάγραμμα. Να συγκριθούν αυτές με εκείνες που χαραχθηκαν στην ερώτηση 4.

8) Για ποιες τιμές τάσεως της ανόδου παρουσιάζεται το φαινόμενο της καταδύσεως (βλέπε χαρακτηριστικές ερωτήσεως 4) και για ποιες τιμές αρχίζει να καταργείται αυτό;

ΑΣΚΗΣΗ 12

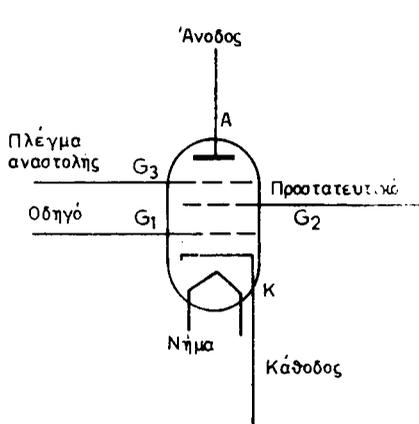
ΠΕΝΤΟΔΟΣ ΛΥΧΝΙΑ

12.1 Γενικά.

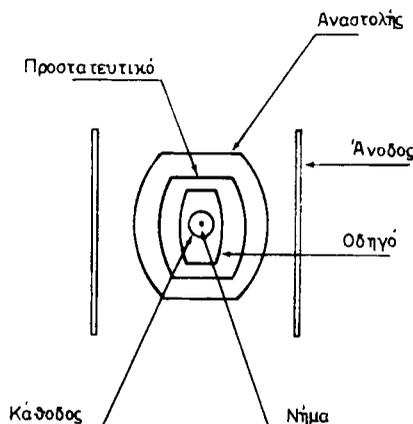
Στην τέτροδο λυχνία της προηγούμενης ασκήσεως είπαμε ότι το φαινόμενο της καταδύσεως της χαρακτηριστικής (εξ αιτίας της δευτερογενούς εκπομπής ηλεκτρονίων) μπορεί να καταργηθεί με τη χρησιμοποίηση πεντόδου λυχνίας. Η πέντοδος λυχνία έχει ένα πλέγμα περισσότερο από την τέτροδο. Έτσι στα δύο γνωστά πλέγματα, οδηγό και προστατευτικό, της τετρόδου, προστέθηκε ένα τρίτο πλέγμα, μεταξύ προστατευτικού και ανόδου, το οποίο λέγεται **πλέγμα αναστολής**. Το όνομά του δηλώνει και την εργασία που προσφέρει: Αναστέλλει τη μεγάλη ταχύτητα, με την οποία πηγαίνουν τα ηλεκτρόνια προς την άνοδο, και έτσι μειώνεται η δευτερογενής εκπομπή.

Το τρίτο αυτό πλέγμα, για να κάνει τη δουλειά για την οποία τοποθετήθηκε, πρέπει να βρίσκεται σε αρνητικό δυναμικό σε σχέση με την άνοδο. Συνήθως είναι στο δυναμικό της καθόδου (μηδέν) και στις περισσότερες περιπτώσεις είναι εσωτερικά συνδεδεμένο με την κάθοδο της λυχνίας. Στην πραγματικότητα και στην πέντοδο παρουσιάζεται δευτερογενής εκπομπή, με τη διαφορά ότι το πλέγμα αναστολής με το αρνητικό, σε σχέση με την άνοδο, δυναμικό του, δεν επιτρέπει κυκλοφορία αντίθετου ρεύματος, από την άνοδο προς το προστατευτικό, γιατί απωθεί τα ηλεκτρόνια της δευτερογενούς εκπομπής πάλι προς την άνοδο, από την οποία ξεκίνησαν.

Ο συμβολισμός της πεντόδου φαίνεται στο σχήμα 12.1α. Το σχήμα 12.1β δεί-



Σχ. 12.1α.



Σχ. 12.1β.

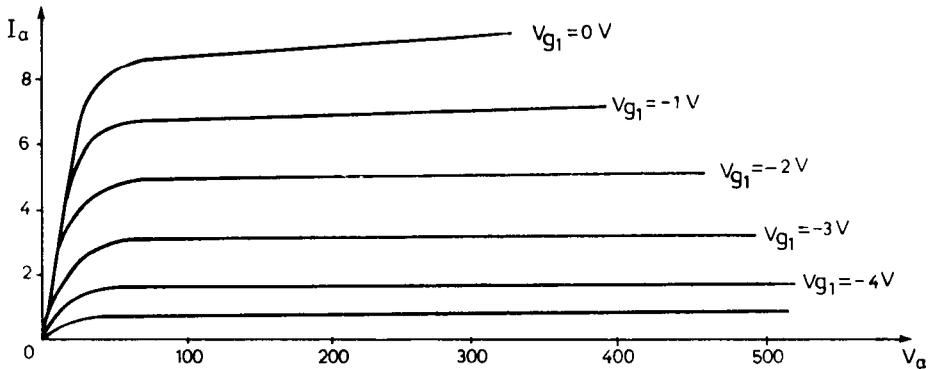
χνει οριζόντια τομή πεντόδου λυχνίας, στην οποία φαίνονται οι σχετικές θέσεις των ηλεκτροδίων.

Στην άσκηση αυτή εξετάζονται και οι ειδικές πέντοδοι λυχνίες μεταβλητής ενισχύσεως. Γενικά στις λυχνίες το οδηγό πλέγμα αποτελείται από ένα σύρμα τυλιγμένο σε σπειροειδή μορφή γύρω από την κάθοδο, με τις σπείρες του σε μικρές *ζ-σες* αποστάσεις μεταξύ τους. Μια τέτοια κατασκευή εξασφαλίζει μεγάλο συντελεστή ενισχύσεως, αλλά η χαρακτηριστική καμπύλη I_a/V_g είναι μεγάλης κλίσεως (κατέρχεται απότομα) και οδηγεί σύντομα σε δυναμικό αποκοπής. Υπενθυμίζεται ότι δυναμικό αποκοπής είναι το αρνητικό δυναμικό του οδηγού πλέγματος, για το οποίο δεν υπάρχει ρεύμα από κάθοδο σε άνοδο, παρ' όλο που η κάθοδος θερμαίνεται και η άνοδος βρίσκεται σε μεγάλο θετικό δυναμικό.

Στις λυχνίες **μεταβλητής ενισχύσεως** εξασφαλίζεται βαθμιαία προσέγγιση στο δυναμικό αποκοπής.

Στο σχήμα 12.1δ φαίνονται δύο χαρακτηριστικές I_a/V_g , μία κανονικής πεντόδου λυχνίας και μία επίσης πεντόδου λυχνίας, μεταβλητής όμως ενισχύσεως.

Οι χαρακτηριστικές ανόδου πεντόδου λυχνίας παριστάνονται στο σχήμα 12.1γ.

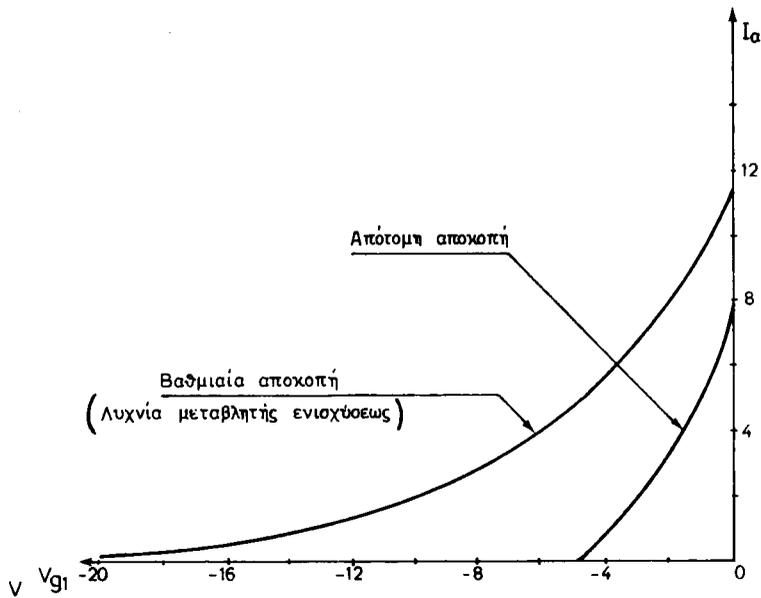


Σχ. 12.1γ.

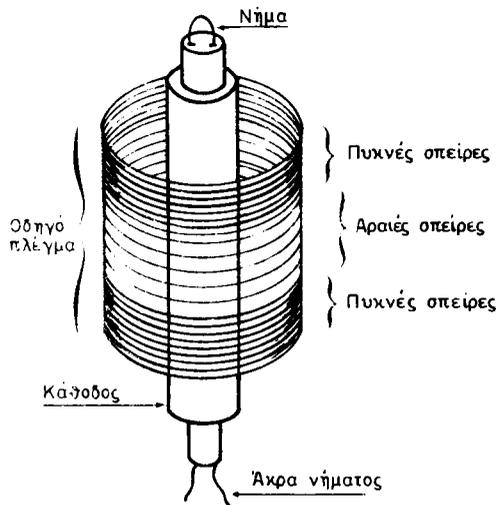
Σμήνος χαρακτηριστικών ανόδου πεντόδου λυχνίας.

Για να επιτύχομε τη βαθμιαία αυτή και όχι απότομη αποκοπή, το πλέγμα της λυχνίας κατασκευάζεται πυκνό στα άκρα και αραιό στο μέσο, όπως φαίνεται στο σχήμα 12.1ε.

Με την κατασκευή αυτή, όταν το δυναμικό του πλέγματος είναι αρκετά αρνητικό, τα ηλεκτρόνια στην πορεία τους από την κάθοδο προς την άνοδο δυσκολεύονται βέβαια πολύ να περάσουν από τα πυκνά άκρα, περνούν όμως από τη μέση και έτσι ο συντελεστής ενισχύσεως της λυχνίας μικραίνει. Όταν όμως το δυναμικό του πλέγματος γίνει λιγότερο αρνητικό, τα ηλεκτρόνια μπορούν και περνούν από όλα τα διάκενα του πλέγματος και έτσι ο συντελεστής μεγαλώνει. Οι λυχνίες λοιπόν που έχουν ένα τέτοιο πλέγμα είναι λυχνίες με μεταβλητό συντελεστή ενισχύσεως και εξυπηρέτησαν πολύ τους ραδιοφωνικούς δέκτες, πριν από την εφαρμογή των τρανζίστορ, γιατί με την ικανότητα της μεταβλητής ενισχύσεως σημάτων σε μεγάλα όρια, επιτυγχάνεται σταθερότητα της εντάσεως της φωνής στο μεγάφωνο, ό-



Σχ. 12.16.



Σχ. 12.1ε.

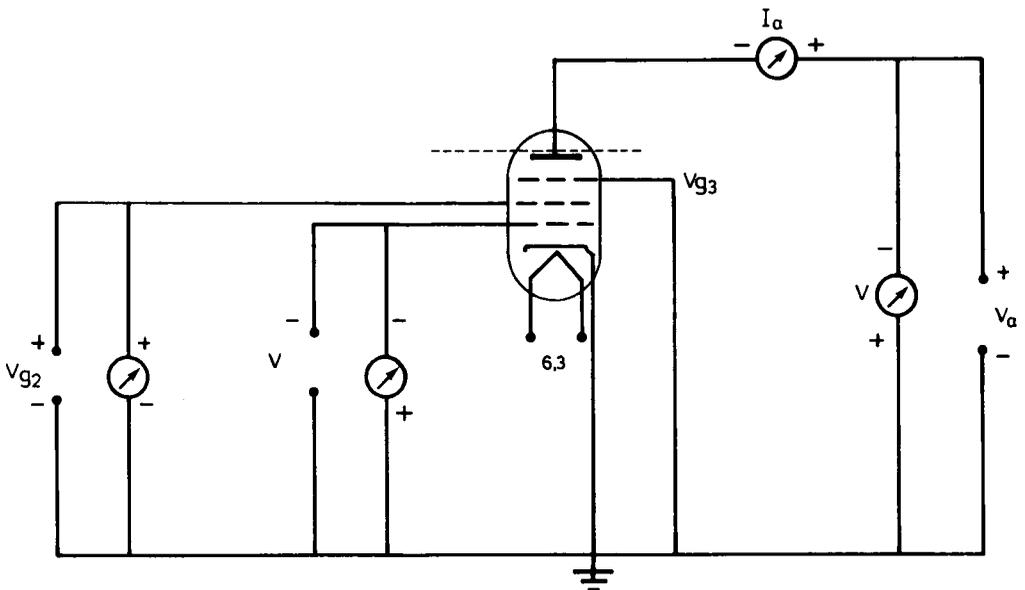
ταν τα σήματα που έρχονται στην κεραία του δέκτη δεν είναι σταθερής εντάσεως, πράγμα που συμβαίνει πάντοτε, κυρίως για τους μακρινούς σταθμούς.

12.2 Εργασία.

1) Να πραγματοποιηθεί το κύκλωμα πεντόδου λυχνίας του σχήματος 12.2.

2) Αφού ελεγχθεί το κύκλωμα από τον καθηγητή του Εργαστηρίου, να ληφθούν μετρήσεις των μεταβολών του ανοδικού ρεύματος I_a σε σχέση με τις μεταβολές της ανοδικής τάσεως V_a για τρία διαφορετικά δυναμικά του οδηγού πλέγματος της λυχνίας ($V_{g1} = 0, -3$ και -6 βολτ), με το προστατευτικό πλέγμα πάντοτε σε σταθερό θετικό δυναμικό 80 βολτ και το πλέγμα αναστολής σε μηδέν βολτ. Οι τιμές της ανοδικής τάσεως να μεταβάλλονται ως εξής:

$V_a = 0, 4, 8, 12, 16, 20, 40, 60, 80, 100$ κ.ο.κ.



Σχ. 12.2.

3) Όλες οι μετρήσεις να γραφούν στον Πίνακα 12.2.1.

4) Από τις μετρήσεις να χαραχθούν οι χαρακτηριστικές ανόδου (τάσεως - ρεύματος) της πεντόδου λυχνίας.

5) Με σταθερά τα δυναμικά ανόδου, προστατευτικού και πλέγματος αναστολής, σε τιμές 150, 80 και μηδέν βολτ αντίστοιχα, να ληφθούν μετρήσεις των μεταβολών του ανοδικού ρεύματος I_a , όταν μεταβάλλεται το αρνητικό δυναμικό του οδηγού πλέγματος ανά 1 βολτ από μηδέν ως 10 βολτ.

6) Οι μετρήσεις της προηγούμενης ερωτήσεως να επαναληφθούν για μια λυχνία μεταβλητής ενισχύσεως. Τα αποτελέσματα να γραφούν σε πίνακα παράλληλα με τα αποτελέσματα της ερωτήσεως 5.

7) Με τα αποτελέσματα των μετρήσεων των ερωτήσεων 5 και 6 να χαραχθούν οι χαρακτηριστικές V_g/I_a των δύο λυχνιών στο ίδιο σχεδιάγραμμα και να

σχολιασθούν οι μορφές που παρουσιάζουν.

8) Να χαραχθούν στο ίδιο διάγραμμα ανά μία χαρακτηριστική ανόδου **τριόδου, τετρόδου, λυχνίας κατευθυνόμενης δέσμης** και **πεντόδου** λυχνίας, να συγκριθούν και σχολιασθούν οι μορφές τους. (Οι καμπύλες αυτές θα δείχνουν απλώς τις μορφές των χαρακτηριστικών των παραπάνω λυχνιών και δεν θα είναι αποτέλεσμα μετρήσεων).

ΠΙΝΑΚΑΣ 12.2.1.

| Για $V_{g_2} = 80 \text{ V}$ (σταθερό) | | $V_{g_2} = 0 \text{ V}$ (σταθερό) | |
|--|-------------------------|-----------------------------------|--------------------------|
| V_a (βολτ) | I_a (mA) | | |
| | $V_{g_1} = 0 \text{ V}$ | $V_{g_1} = -3 \text{ V}$ | $V_{g_1} = -6 \text{ V}$ |
| 0 | | | |
| 4 | | | |
| 8 | | | |
| 12 | | | |
| 16 | | | |
| 20 | | | |
| 40 | | | |
| 60 | | | |
| 80 | | | |
| 100 | | | |
| 120 κ.ο.κ. | | | |

ΑΣΚΗΣΗ 13

ΗΜΙΑΓΩΓΟΙ – Η ΚΡΥΣΤΑΛΛΟΔΙΟΔΟΣ

13.1 Γενικά.

Η χρησιμοποίηση των ημιαγωγών στα ηλεκτρονικά κυκλώματα άλλαξε ουσιαστικά την κατασκευαστική πορεία των ηλεκτρονικών συσκευών. Οι ηλεκτρονικές λυχνίες συναντώνται ακόμη σε παλιές κυρίως συσκευές και έχουν παραμερισθεί από τις κρυσταλλοδιοδους και τα τρανζίστορ. Τα ημιαγωγά υλικά προτιμήθηκαν, γιατί παρουσιάζουν σοβαρά πλεονεκτήματα όπως:

- α) Είναι πολύ μικρά σε όγκο και βάρος.
- β) Δεν χρειάζονται θέρμανση· άρα δεν καταναλώνουν ενέργεια, όπως οι λυχνίες για τα νήματά τους, και η διάρκεια ζωής τους είναι σχεδόν απεριόριστη.
- γ) Δουλεύουν αμέσως μόλις το κύκλωμα τεθεί σε τάση και δεν χρειάζεται χρόνος, όπως στις λυχνίες, για τη θέρμανση της καθόδου για να κυκλοφορήσει ρεύμα.
- δ) Η ηλεκτρική ενέργεια που καταναλώνουν για την ίδια δουλειά με μια λυχνία είναι σαφώς μικρότερη από ότι στη λυχνία.
- ε) Στην περίπτωση των τρανζίστορ, δεν παρουσιάζουν μικροφώνισμούς, λόγω της στερεάς τους κατασκευής.
- στ) Η δαπάνη κατασκευής των κυκλωμάτων τους είναι μικρότερη από εκείνη των κυκλωμάτων με λυχνίες.

Ακόμη έχουν και άλλα πλεονεκτήματα που αναφέρονται στη λειτουργία και την απόδοση των κυκλωμάτων τους, τα οποία θα αναφερθούν στις αντίστοιχες ασκήσεις αργότερα.

Για την κατασκευή των κρυσταλλοδιοδων και των τρανζίστορ χρησιμοποιούνται ημιαγωγά υλικά, όπως το γερμάνιο και το πυρίτιο. Τα υλικά αυτά σε πολύ χαμηλές θερμοκρασίες τείνουν να γίνουν μονωτικά, ενώ στη θερμοκρασία του περιβάλλοντος συμπεριφέρονται σαν ημιαγωγοί.

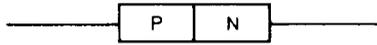
Η αγωγιμότητα των ημιαγωγών αυτών μπορεί να αυξηθεί αν προστεθεί μικρή ποσότητα πεντασθενούς στοιχείου, π.χ. αρσενικού, φωσφόρου, αντιμονίου κ.ά. Τότε ο ημιαγωγός παρουσιάζει αρκετά ελεύθερα ηλεκτρόνια και λέγεται ημιαγωγός τύπου N (Negative - αρνητικό). Αν αντί πεντασθενούς στοιχείου προστεθεί τρισθενές, π.χ. ίνδιο, βάριο, γάλλιο κ.ά., τότε ο ημιαγωγός παρουσιάζει ελεύθερα θετικά φορτία και λέγεται ημιαγωγός τύπου P (Positive - θετικό).

Η κρυσταλλοδιοδος σχηματίζεται από την ένωση ενός ημιαγωγού στοιχείου τύπου P με ένα τύπου N. Η άκρη του στοιχείου P είναι η άνοδος και η άκρη του στοιχείου N είναι η κάθοδος.

Το σύμβολο μιας κρυσταλλοδιόδου είναι:

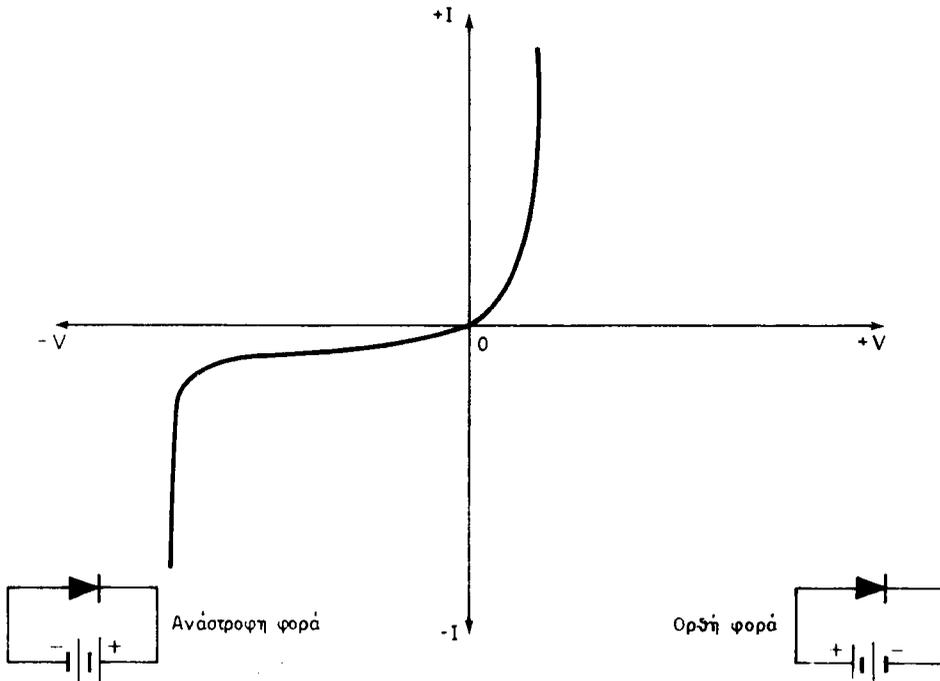


και τα στοιχεία που την απαρτίζουν είναι:



Όταν το μείον (-) της πηγής συνδέεται στην κάθοδο και το συν (+) στην άνοδο, η δίοδος είναι πολωμένη κατά την **ορθή φορά** (προωστική φορά). Αν η δίοδος συνδεθεί αντίθετα (το - στην άνοδο και το + στην κάθοδο), τότε η δίοδος πολώνεται κατά την **ανάστροφη φορά**. Στη δεύτερη περίπτωση κυκλοφορεί ένα πολύ μικρό ρεύμα που πρακτικά είναι μηδενικής εντάσεως.

Η ορθή και ανάστροφη πόλωση μιας κρυσταλλοδιόδου και το ρεύμα που κυκλοφορεί στις δύο αυτές περιπτώσεις φαίνονται στη χαρακτηριστική καμπύλη του σχήματος 13.1α.



Σχ. 13.1α.

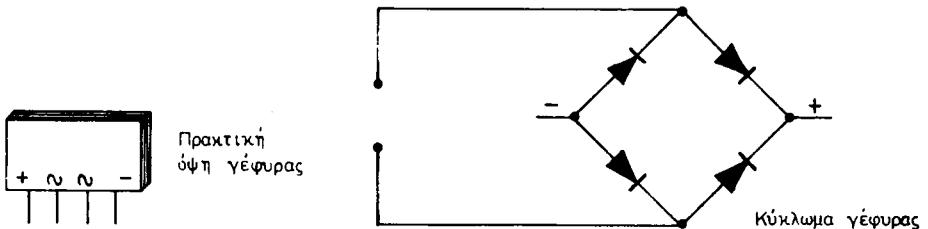
Ανάλογα με τον τρόπο που γίνεται η ένωση των στοιχείων P και N, οι κρυσταλλοδιόδοι χωρίζονται στις κατηγορίες: **Δίοδοι ακίδας** και **δίοδοι επαφής**.

Οι δίοδοι ακίδας παρουσιάζουν πολύ μικρή χωρητικότητα επαφής των στοιχείων και είναι κατάλληλες κυρίως σε κυκλώματα υψηλών συχνοτήτων. Δίοδοι ακίδας πυριτίου χρησιμοποιούνται ακόμη και στην περιοχή των μικροκυμάτων, ενώ

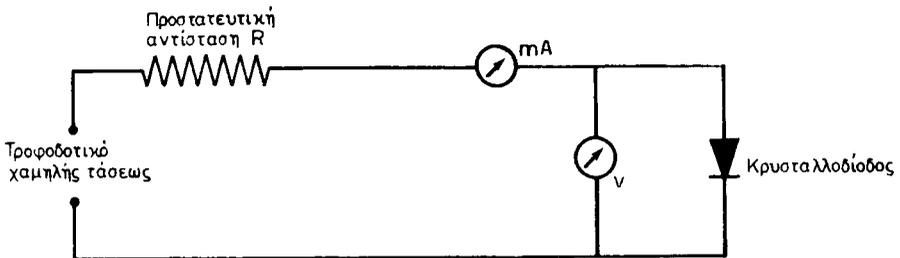
δίοδοι ακίδας γερμανίου με ακίδα από χρυσό χρησιμοποιούνται σε λεπτές κατασκευές κυκλωμάτων ηλεκτρονικών υπολογιστών.

Οι δίοδοι επαφής παρουσιάζουν μεγάλη χωρητικότητα επαφής και γι' αυτό δεν μπορεί να εξυπηρετήσουν στις υψηλές συχνότητες, εκτός από ειδικές κατασκευές, όπως η δίοδος σήραγγας (Tunnel) και η δίοδος μεταβλητής χωρητικότητας (Varicap). Εξυπηρετούν όμως πολύ σε όλες τις εφαρμογές ανορθώσεως για μικρά και μεγάλα ρεύματα. Συναντώνται σε κυκλώματα με ισχυρά ρεύματα, που μπορεί να φθάσουν και να περάσουν τα 100 A.

Η δίοδος πυριτίου (Silicon) χρησιμοποιείται περισσότερο, γιατί έχει μικρότερες διαστάσεις και γιατί μπορεί να παρέχει ρεύματα από μερικά mA μέχρι πολλές δεκάδες αμπέρ και με τάσεις πάνω από 1000 βολτ. Εννοείται ότι με παράλληλη ή σε σειρά σύνδεση διόδων από πυρίτιο μπορούμε να επιτύχομε παροχή πολύ ισχυρότερων ρευμάτων και αντοχή σε μεγαλύτερες τάσεις. Για καλύτερη εξυπηρέτηση και οικονομία χρόνου στην καλωδίωση και χώρου στις συσκευές, οι κρυσταλλοδίοδοι κατασκευάζονται ανά τέσσερις σε κύκλωμα γέφυρας, όπως φαίνεται στο σχήμα 13.1β.



Σχ. 13.1β.



Σχ. 13.2.

13.2 Εργασία.

1) Να πραγματοποιηθεί το κύκλωμα του σχήματος 13.2 με δίοδο γερμανίου.

Προσοχή: Ο ρυθμιστής της τάσεως εξόδου του τροφοδοτικού Χ.Τ. να τοποθετηθεί στο μηδέν, από όπου θα αρχίσουν και οι μετρήσεις.

2) Να αυξηθεί η τάση του τροφοδοτικού σιγά - σιγά, έως ότου το μιλλιαμπερόμετρο στο κύκλωμα δείξει ρεύμα 1 mA και να σημειωθεί η τάση που δείχνει το βολτόμετρο.

3) Να συνεχισθεί η αύξηση της τάσεως του τροφοδοτικού για τιμές ρεύματος που ορίζει ο Πίνακας 13.2.1 και να σημειωθούν οι αντίστοιχες τάσεις. Οι ενδείξεις του βολτομέτρου αρχίζουν από μερικά δέκατα του βολτ (περίπου 0,3 V) και φθάνουν ως 1,5 V περίπου.

ΠΙΝΑΚΑΣ 13.2.1.

| I (mA) | V (βολτ) |
|--------|----------|
| 1 | |
| 2 | |
| 3 | |
| 4 | |
| 5 | |
| 7 | |
| 10 | |
| 15 | |

4) Από τις μετρήσεις της προηγούμενης ερωτήσεως να χαραχθεί η χαρακτηριστική καμπύλη ορθής φοράς της κρυσταλλοδιόδου.

5) Στο κύκλωμα της ερωτήσεως 1 να αλλαχθούν οι πόλοι της πηγής.

Προσοχή: Και εδώ πρέπει πρώτα ο ρυθμιστής της τάσεως εξόδου του τροφοδοτικού να τοποθετηθεί στη μηδενική θέση. Να ληφθούν πάλι μετρήσεις και να συμπληρωθεί ο Πίνακας 13.2.2.

ΠΙΝΑΚΑΣ 13.2.2.

| V (βολτ) | I (μΑ) |
|----------|--------|
| 1 | |
| 2 | |
| 5 | |
| 10 | |
| 15 | |
| 20 | |
| 25 | |

6) Από τις μετρήσεις να χαραχθεί η χαρακτηριστική της κρυσταλλοδιόδου κατά την ανάστροφη φορά, στο ίδιο διάγραμμα.

7) Τα ίδια κυκλώματα και οι ίδιες μετρήσεις να γίνουν με ανορθωτή πυριτίου. Σε αυτόν, το ρεύμα κατά την ορθή φορά μπορεί να φθάσει ως τα 30 ή 50 mA. Η τάση στα άκρα του θα είναι πάλι μικρή, από 0,6 V ως 1,5 V περίπου. Κατά την αναστροφή φορά, η τάση μπορεί να φθάσει τα 50 V, ενώ το αναστροφο ρεύμα μόλις θα φθάσει τα ελάχιστα μικροαμπέρ.

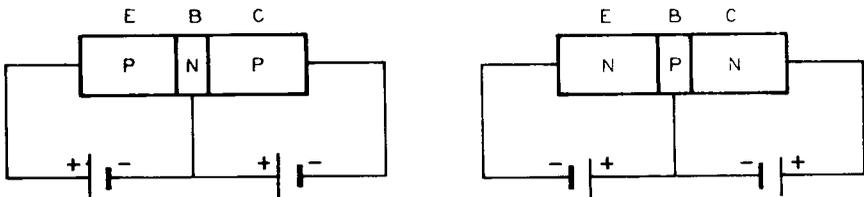
ΑΣΚΗΣΗ 14

ΤΡΑΝΖΙΣΤΟΡ – ΒΑΣΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ

14.1 Γενικά.

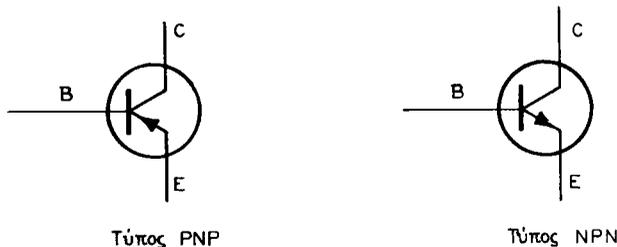
Αν ανάμεσα σε δύο ημιαγωγούς τύπου P τοποθετηθεί ένα λεπτό στρώμα ημιαγωγού τύπου N θα δημιουργηθεί το ηλεκτρονικό εκείνο εξάρτημα που ονομάζεται Τρανζίστορ. Το ίδιο εξάρτημα θα προκύψει και όταν ανάμεσα σε δύο ημιαγωγούς τύπου N τοποθετηθεί λεπτό στρώμα ημιαγωγού τύπου P. Στην πρώτη περίπτωση έχουμε τρανζίστορ PNP, ενώ στη δεύτερη έχουμε τρανζίστορ NPN (σχ. 14.1α).

Το μεσαίο λεπτό στρώμα λέγεται **βάση** (B - Base), ο ημιαγωγός αριστερά **εκπομπός** (E - Emitter) και ο δεξιός **συλλέκτης** (C - Collector). Μια βασική διαφορά μεταξύ των τρανζίστορ PNP και NPN είναι ότι στον τύπο PNP εφαρμόζεται αρνητική τάση στο συλλέκτη σε σχέση με τον εκπομπό, ενώ στον τύπο NPN εφαρμόζεται θετική (σχ. 14.1α).



Σχ. 14.1α.

Ο συμβολισμός των δύο τύπων τρανζίστορ είναι:



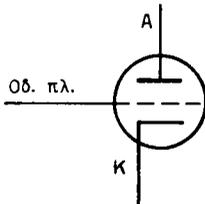
Η αντιστοιχία λυχνιών και τρανζίστορ είναι:

Κάθοδος — Εκπομπός

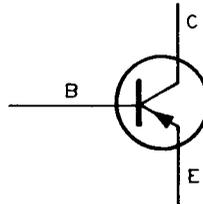
Οδηγό πλέγμα — Βάση

Άνοδος — Συλλέκτης

όπως φαίνεται στα σχήματα 14.1β και 14.1γ.



Σχ. 14.1β.



Σχ. 14.1γ.

Οι διαφορετικοί συμβολισμοί για τα τρανζίστορ PNP και NPN δείχνουν τη διαφορετική φορά του ρεύματος. Έτσι στον τύπο PNP το ρεύμα κινείται από το συλλέκτη προς τον εκπομπό, ενώ στον τύπο NPN το ρεύμα κινείται από τον εκπομπό προς το συλλέκτη. Δηλαδή, η διεύθυνση του συνεχούς ρεύματος στα τρανζίστορ είναι πάντοτε αντίθετη από τη φορά του βέλους του εκπομπού.

Τα δύο πρώτα γράμματα και στους δύο τύπους (PNP και NPN) δείχνουν τη σχετική πολικότητα της τάσεως που εφαρμόζεται στον εκπομπό και το συλλέκτη για κανονική λειτουργία. Έτσι σε ένα τρανζίστορ NPN ο εκπομπός έχει αρνητικό δυναμικό σε σχέση με το συλλέκτη και τη βάση (ή ο συλλέκτης έχει θετικό δυναμικό σε σχέση με τα δύο άλλα στοιχεία, τον εκπομπό και τη βάση). Στα τρανζίστορ τύπου PNP ο εκπομπός έχει θετικό δυναμικό σε σχέση με το συλλέκτη και τη βάση (ή ο συλλέκτης έχει αρνητικό δυναμικό σε σχέση με τον εκπομπό και τη βάση).

Τα χαρακτηριστικά των διαφόρων τρανζίστορ είναι κωδικοποιημένα με γράμματα και αριθμούς που δηλώνουν τη δουλειά για την οποία είναι κατασκευασμένο ένα τρανζίστορ. Έτσι έχουμε τον ακόλουθο πίνακα:

α) Το πρώτο γράμμα αναφέρεται στα υλικά κατασκευής, δηλαδή:

- A — τρανζίστορ γερμανίου
- B — τρανζίστορ πυριτίου
- C — τρανζίστορ από αρσενικούχο γάλλιο
- D — τρανζίστορ από αντιμονιούχο ίνδιο

β) Το δεύτερο γράμμα αναφέρεται στο είδος (τι δουλειά κάνει) του τρανζίστορ ή της κρυσταλλοδιόδου, δηλαδή:

- A — δίοδος
- B — Varicap
- C — τρανζίστορ ισχύος ακουστικής συχνότητας
- E — δίοδος Tunnel (σήραγγας)
- F — τρανζίστορ για υψηλές συχνότητες

- H – δίοδος μαγνητικής ευαισθησίας
 L – τρανζίστορ ισχύος υψηλών συχνοτήτων
 S – τρανζίστορ διακόπτης
 U – τρανζίστορ διακόπτης σε κυκλώματα ισχύος
 Y – δίοδος ανορθώσεως
 Z – δίοδος Zenner

γ) Το τρίτο γράμμα (αν υπάρχει) δηλώνει κατασκευή καλύτερης ποιότητας.

Τέτοιες κατασκευές προορίζονται κυρίως για κυκλώματα βιομηχανικής ή επαγγελματικής χρήσεως συνεχούς λειτουργίας.

δ) Ο αριθμός που ακολουθεί τα γράμματα αναφέρεται στη σειρά παραγωγής.

14.1.1 Συμβολισμός παραμέτρων (διαφόρων μεγεθών) τρανζίστορ.

| Πραγματικό μέγεθος | Σύμβολο |
|------------------------------|---------------------|
| Ρεύμα συλλέκτη | I_C ή I_c |
| Ρεύμα εκπομπού | I_E ή I_e |
| Ρεύμα βάσεως | I_B ή I_b |
| Τάση συλλέκτη | V_C ή V_c |
| Τάση εκπομπού | V_E ή V_e |
| Τάση βάσεως | V_B ή V_b |
| Ρεύμα από συλλέκτη προς βάση | I_{CB} ή I_{cb} |
| Τάση μεταξύ συλλέκτη βάσεως | V_{CB} ή V_{cb} |

Τα τρανζίστορ είναι εξαρτήματα που έχουν ιδιαίτερη ευπάθεια όταν τα χρησιμοποιούμε στην κατασκευή κυκλωμάτων. Μερικά σημεία που πρέπει να προσέχουμε όταν δουλεύουμε με τρανζίστορ είναι:

α) Κόβονται εύκολα οι ακροδέκτες τους. Αυτό συμβαίνει στα τρανζίστορ μικρής ισχύος, που οι ακροδέκτες τους είναι μικροί και εύκαμπτοι.

β) Έχουν μεγάλη ευαισθησία στις υψηλές θερμοκρασίες. Γι' αυτό χρησιμοποιούμε πάντοτε κολλητήρι μικρής ισχύος (15 - 25 βαττ) και προσέχουμε το τρανζίστορ να μην υπερθερμανθεί. Ένας πρακτικός τρόπος για να το προστατέψουμε όταν κάνουμε κολλήσεις είναι να κρατάμε τον ακροδέκτη του τρανζίστορ στο σημείο κολλήσεως με ένα μυτοσίμπιδιο, το οποίο έτσι απορροφά το μεγαλύτερο μέρος της θερμότητας που αναπτύσσεται με το κολλητήρι. Επίσης, όσο είναι δυνατό, δεν κόβουμε τους ακροδέκτες του, αλλά χρησιμοποιούμε όλο το μήκος τους που βοηθά στην ελάττωση της θερμότητας που αναπτύσσεται.

γ) Εφαρμογή μεγαλύτερης και με αντίθετη πολικότητα τάσεως στο συλλέκτη οδηγεί σε καταστροφή του τρανζίστορ.

δ) Όταν μετράμε αντιστάσεις στα τρανζίστορ, χρησιμοποιούμε τη μεγαλύτερη κλίμακα των $\omega\mu$ που παρέχει λιγότερο ρεύμα, και έτσι μειώνεται ο κίνδυνος καταστροφής τους από το μεγάλο ρεύμα που παρέχει η σήλη του ωμομέτρου στις μικρές κλίμακες.

ε) Κατά τη μέτρηση τάσεων πρέπει να προσέχομε, γιατί εύκολα γίνονται βραχυκυκλώματα, γιατί οι ακροδέκτες των τρανζίστορ είναι πολύ κοντά μεταξύ τους.

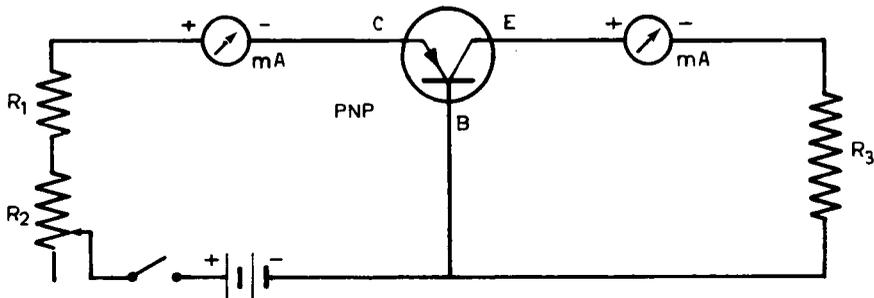
στ) Εκεί που χρειάζεται επίσης προσοχή είναι στην εφαρμογή μιας τάσεως διεγέρσεως με γεννήτρια σημάτων. Πρέπει πάντοτε να ξεκινάμε με πολύ μικρές τάσεις από την έξοδο της γεννήτριας. Αυτό θα το δούμε αργότερα στους ενισχυτές.

14.2 Εργασία.

1) Δίνονται 5 τρανζίστορ. Να αναγνωρισθούν τα βασικά χαρακτηριστικά τους και να σχεδιασθούν οι βάσεις τους.

2) Να πραγματοποιηθεί το κύκλωμα του σχήματος 14.2α:

Προσοχή: Πριν εφαρμοσθεί τάση να ρυθμίσετε: α) Την αντίσταση R_2 στη μέγιστη τιμή. β) Τα μιλλιαμπερόμετρα στη μεγαλύτερη περιοχή ρεύματος. γ) Βεβαιωθείτε για τη σωστή πολικότητα της πηγής και των οργάνων.



Σχ. 14.2α.

3) Αφού όλα τα ζητούμενα της προηγούμενης ερωτήσεως γίνουν σωστά και εγκριθούν από τον καθηγητή σας, να εφαρμόσετε τάση στο κύκλωμα και να μετρήσετε: α) Το ρεύμα στα κυκλώματα εκπομπού και συλλέκτη. β) Την τάση εκπομπού - βάσεως και συλλέκτη - βάσεως.

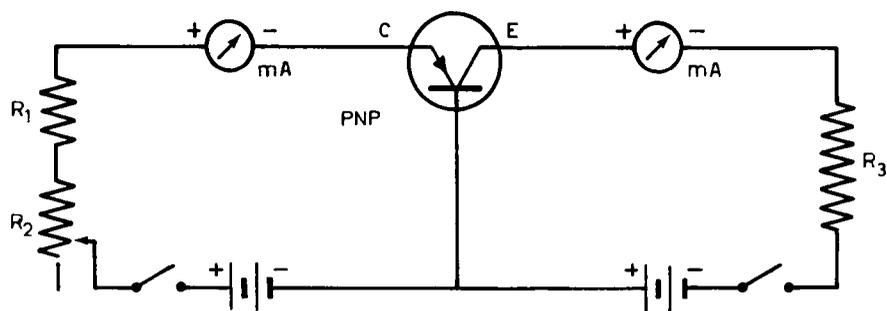
4) Τα αποτελέσματα των μετρήσεων να γραφούν στον Πίνακα 14.2.1.

ΠΙΝΑΚΑΣ 14.2.1.

| Τύπος τρανζίστορ | | Χαρακτηριστικά | |
|------------------------|-------------|----------------------|-------------|
| Εκπομπός - Βάση | | Συλλέκτης - Βάση | |
| Ρεύμα (mA) | Τάση (βολτ) | Ρεύμα (mA) | Τάση (βολτ) |
| | | | |

5) Να πραγματοποιηθεί το κύκλωμα του σχήματος 14.2β. Με την ίδια προσοχή όπως και στο προηγούμενο κύκλωμα να γίνουν οι ίδιες μετρήσεις και να γραφούν τα αποτελέσματα σε σχετικό πίνακα.

6) Στο κύκλωμα της ερωτήσεως 5, αφού διακόψετε το ρεύμα (ανοικτός διακό-



Σχ. 14 .2β.

πτης) να αντιστρέψετε την πολικότητα της μπαταρίας στο κύκλωμα του εκπομπού. Φυσικά πρέπει να αλλάξει και η συνδεσμολογία του μιλλιαμπερομέτρου. Να ρυθμίσετε την R_2 στην ελάχιστη (μηδενική) τιμή και να κάνετε τις ίδιες μετρήσεις, τις οποίες θα καταχωρίσετε σε σχετικό πίνακα.

7) Να αλλαχθεί το τρανζίστορ του κυκλώματος που ήταν τύπου PNP, με ένα άλλο τύπου NPN και να ξαναγίνουν όλες οι μετρήσεις. Οι ενδείξεις των μετρήσεων να γραφούν σε σχετικό πίνακα.

8) Συγκρίνετε τις συνδεσμολογίες που έχετε πραγματοποιήσει και σχολιάστε τα αποτελέσματα των μετρήσεων εξηγώντας σε ποιες περιπτώσεις είχαμε πόλωση ορθής φοράς.

9) Γράψετε τα χαρακτηριστικά των δύο τρανζίστορ που έχετε χρησιμοποιήσει στο κύκλωμα για τις μετρήσεις. Σχεδιάστε τις βάσεις τους.

ΑΣΚΗΣΗ 15

ΑΠΛΗ ΚΑΙ ΔΙΠΛΗ ΑΝΟΡΘΩΣΗ

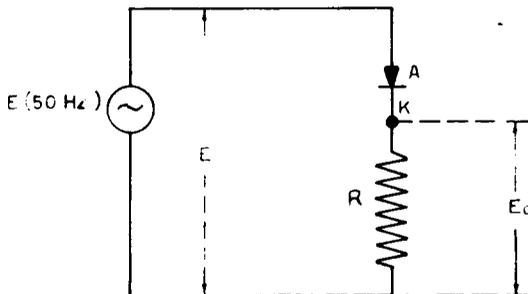
15.1 Γενικά.

Στην άσκηση αυτή θα μελετηθούν τα βασικά κυκλώματα ανορθώσεως της εναλλασσόμενης (ημιτονικής) τάσεως.

Στους ραδιοφωνικούς δέκτες, στους δέκτες τηλεοράσεως και γενικά σε όλες τις ηλεκτρονικές συσκευές που χρησιμοποιούν τρανζίστορ (ή λυχνίες) χρειάζονται **συνεχείς τάσεις**, οι οποίες εξασφαλίζονται από την τάση του δικτύου (220 V εναλλασσόμενο) με ανόρθωση. Το κύριο εξάρτημα για την ανόρθωση της εναλλασσόμενης τάσεως είναι ο ανορθωτής πυριτίου ή γερμανίου, που παρουσιάζει το φαινόμενο της μοναδικής (μονόπλευρης) αγωγιμότητας· δηλαδή, επιτρέπει στα ηλεκτρόνια να κυκλοφορούν μέσα από αυτόν μόνο σε μια κατεύθυνση, από την κάθοδο προς την άνοδο, και μάλιστα μόνο όταν η άνοδος γίνεται θετική σε σχέση με την κάθοδο. Παλιότερα, για τη λειτουργία της ανορθώσεως χρησιμοποιούνταν η δίοδος λυχνία, η οποία όμως έχει πια αντικατασταθεί από τους ανορθωτές πυριτίου ή γερμανίου, που έχουν σοβαρά πλεονεκτήματα σε σχέση με αυτή (δεν χρειάζονται θέρμανση, έχουν πολύ μικρό όγκο και βάρος, παρέχουν ισχυρότατα ρεύματα, αντέχουν σε αρκετά υψηλές τάσεις, έχουν μεγάλη διάρκεια ζωής, μικρό κόστος κλπ.).

15.2 Κύκλωμα απλής ανορθώσεως με αντίσταση.

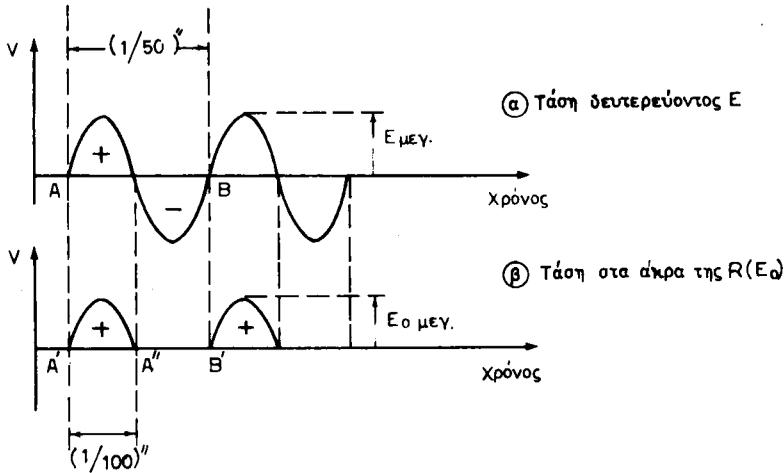
Στο κύκλωμα απλής ανορθώσεως του σχήματος 15.2α, έστω ότι μια εναλλασσόμενη (ημιτονική) τάση E , με συχνότητα 50 Hz, έχει εφαρμοσθεί στην είσοδό.



Σχ. 15.2α.

του. Αυτή η τάση (τάση εισόδου) αλλάζει πολικότητα κάθε $1/100$ του δευτερολέπτου. Κατά τη διάρκεια των θετικών της εναλλαγών η άνοδος Α γίνεται θετική σε σχέση με την κάθοδο Κ και διέρχεται ρεύμα μέσα από τον ανορθωτή Δ. Στη διάρκεια των αρνητικών εναλλαγών δεν κυκλοφορεί ρεύμα, επειδή η άνοδος γίνεται αρνητική σε σχέση με την κάθοδο.

Το ρεύμα που διέρχεται στις θετικές εναλλαγές προκαλεί μια πτώση τάσεως E_0 στην αντίσταση R, που είναι αντίσταση φόρτου συνδεδεμένη σε σειρά με τον ανορθωτή. Και επειδή οι μεταβολές του ρεύματος ακολουθούν τις μεταβολές της τάσεως που το δημιουργεί, η τάση εξόδου E_0 θα μεταβάλλεται όπως οι θετικές εναλλαγές της τάσεως εισόδου E, η οποία προκάλεσε το ρεύμα. Στο σχήμα 15.2β φαίνονται οι κυματομορφές των τάσεων εισόδου και εξόδου, E και E_0 . Η τάση εξόδου E_0 δεν είναι πια εναλλασσόμενη, αλλά συνεχής τάση με τη μορφή παλμών.



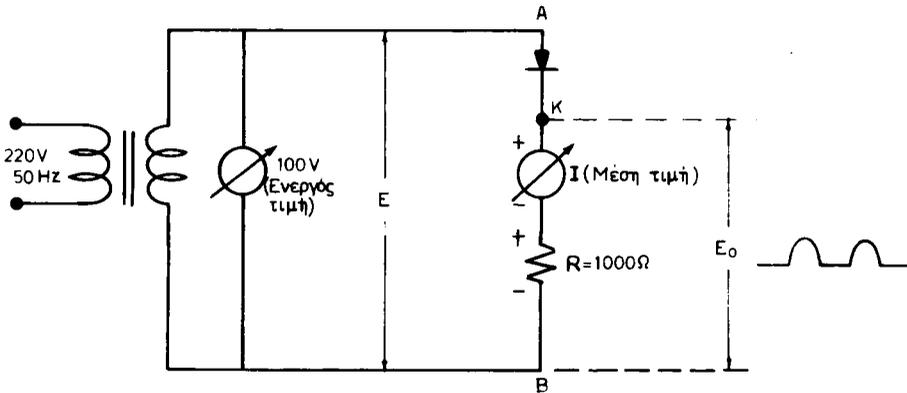
Σχ. 15.2β.

α) Κάθε πλήρες κύμα της τάσεως E διαρκεί από Α ως Β ($1/50$). β) Κάθε πλήρες κύμα της τάσεως E_0 διαρκεί από Α' ως Β' ($1/50$). Ο παλμός τάσεως από Α' ως Α'' διαρκεί ($1/100$). Το πλάτος της τάσεως E_0 είναι λίγο μικρότερο από το πλάτος της τάσεως E γιατί, όταν ο ανορθωτής είναι αγώγιμος, δημιουργείται πτώση τάσεως και μέσα σε αυτόν.

Ο ανορθωτής Δ επομένως μπορεί να παρομοιασθεί με βαλβίδα, που ανοίγει μόνο όταν η άνοδος Α γίνει θετική σε σχέση με την κάθοδο Κ. Βέβαια ο ανορθωτής, όταν είναι αγώγιμος, έχει μια εσωτερική αντίσταση που βρίσκεται σε σειρά με την αντίσταση φόρτου R. Επειδή όμως είναι πολύ μικρή σε σχέση με την R, μπορούμε να τη θεωρήσουμε αμελητέα. Γενικά η εσωτερική αντίσταση του ανορθωτή πρέπει να είναι όσο το δυνατόν πιο μικρή, για να απομένει στην έξοδο του κυκλώματος (στα άκρα της R) η μεγαλύτερη δυνατή τάση E_0 .

15.3 Πρακτικό κύκλωμα και υπολογισμοί.

Στο πρακτικό κύκλωμα απλής ανορθώσεως του σχήματος 15.3α έχει συνδεθεί



Σχ. 15.3α.

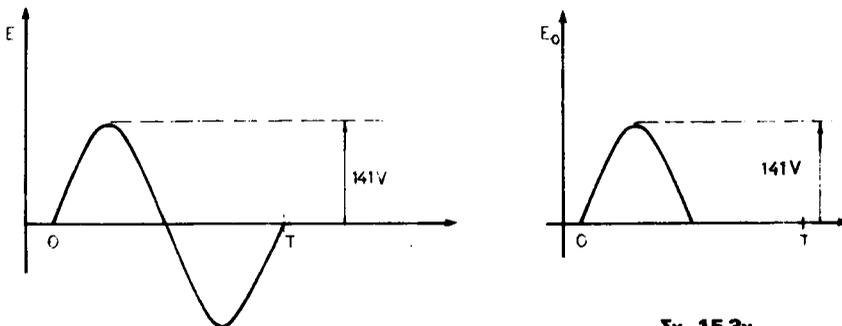
Στο κύκλωμα του σχήματος το βολτόμετρο είναι όργανο εναλλασσόμενου και δείχνει την ενεργό τιμή της τάσεως του δευτερεύοντος. Το αμπερόμετρο είναι όργανο συνεχούς (κινητού πλαισίου) δείχνει τη μέση τιμή του ημιανορθωμένου ρεύματος.

μετασχηματιστής M , που υποβιβάζει την τάση του δικτύου από 220 σε 100 V (ενεργός τιμή), όπως δείχνει το βολτόμετρο που έχει συνδεθεί στο δευτερεύον. Σε σειρά προς την αντίσταση R έχει συνδεθεί αμπερόμετρο I με συνεχές ρεύμα (όργανο με μόνιμο μαγνήτη). Όταν το κύκλωμα τροφοδοτηθεί με 220 V, από το όργανο αυτό θα διέρχονται οι παλμοί του ανορθωμένου ρεύματος και η βελόνα του θα αποκλίνει. Η τιμή που θα δείχνει τότε το αμπερόμετρο συνεχούς είναι η μέση τιμή του ανορθωμένου ρεύματος.

Με αυτά τα δεδομένα μπορούμε να κάνουμε τους ακόλουθους υπολογισμούς:

Η μέγιστη τιμή της εναλλασσόμενης τάσεως του δευτερεύοντος E θα είναι (σχ. 15.3β):

$$E_{\mu\epsilon\gamma} = 100 \times 1,41 = 141 \text{ V}$$



Σχ. 15.3γ.

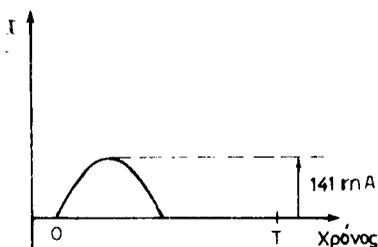
Σχ. 15.3β.

Δεχόμαστε τώρα ότι τόσο ο ανορθωτής Δ , όταν είναι αγωγίμος, όσο και το αμπερόμετρο έχουν τόσο μικρή εσωτερική αντίσταση, ώστε να μπορεί να θεωρηθεί αμελητέα. Άρα η πτώση τάσεως στα άκρα της R θα έχει τη μορφή του σχήματος

15.3γ και η μέγιστη τιμή της θα είναι επίσης 141 V, αφού θα έχει γίνει απλώς αποκοπή των αρνητικών ημικυμάτων της τάσεως E.

Αν είναι $R = 1000 \Omega$, το ρεύμα I θα έχει μέγιστη τιμή:

$$I_{\mu\epsilon\gamma} = \frac{141 \text{ V}}{1000 \Omega} = 0,141 \text{ A} = 141 \text{ mA}$$

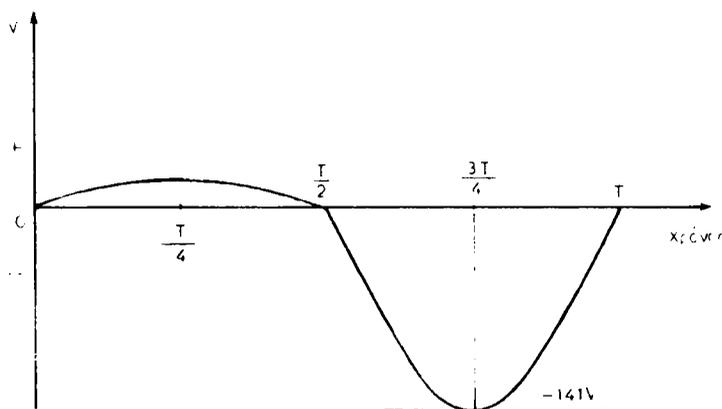


Σχ. 15.3δ.

Άρα η μέση τιμή του ρεύματος αυτού θα είναι (σχ. 15.3δ):

$$I_{\mu\epsilon\sigma\eta} = \frac{I_{\mu\epsilon\gamma}}{\pi} = \frac{141}{3,14} = 44,9 \text{ mA}$$

Αυτή την τιμή πρέπει να δείξει το αμπερόμετρο με συνεχές. Στην πράξη όμως, επειδή τόσο ο ανορθωτής όσο και το αμπερόμετρο έχουν μια μικρή εσωτερική αντίσταση, το αμπερόμετρο θα δείξει κάτι λιγότερο από 44,9 mA.



Σχ. 15.4.

Μορφή της τάσεως που επικρατεί στα άκρα του ανορθωτή (σημεία A,K - σχ. 15.3α). Κατά το χρονικό διάστημα 0 ως $T/2$ ο ανορθωτής είναι αγώγιμος, ενώ από $T/2$ ως T δεν είναι.

15.4 Η μέγιστη ανάστροφη τάση.

Κατά τις αρνητικές ημιπερίοδους της τάσεως E , στις οποίες ο ανορθωτής δεν είναι αγώγιμος, όλη η τάση του δευτερεύοντος του μετασχηματιστή επικρατεί μεταξύ ανόδου-καθόδου, με αρνητική την άνοδο σε σχέση με την κάθοδο (σχ. 15.3α).

Η τάση αυτή τη χρονική στιγμή $\frac{3T}{4}$ γίνεται μέγιστη (στό παράδειγμα, -1.41 V , σχ. 15.4) και λέγεται μέγιστη ανάστροφη (ή αρνητική) τάση. Ο ανορθωτής που χρησιμοποιούμε πρέπει να αντέχει στην τάση αυτή, αλλιώς θα καταστραφεί. Γι' αυτό οι κατασκευαστές, για κάθε τύπο ανορθωτή που κατασκευάζουν, καθορίζουν και το ποσοστό αντοχής του ανορθωτή σε ανάστροφη τάση.

15.5 Παλμογραφική παρατήρηση κυματομορφών.

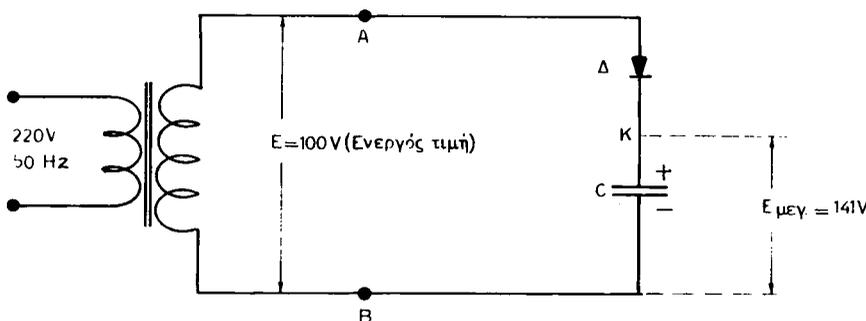
Αν τα άκρα A, B του κυκλώματος του σχήματος 15.3α τα οδηγήσουμε στα πλακίδια κατακόρυφης αποκλίσεως καθοδικού παλμογράφου, θα εμφανισθεί στην οθόνη του η κυματομορφή του σχήματος 15.3β.

Αν οδηγήσουμε τα άκρα K, B , θα εμφανισθεί η κυματομορφή του σχήματος 15.3γ.

Αν οδηγήσουμε τα άκρα A, K , θα εμφανισθεί η κυματομορφή του σχήματος 15.4. Παρατηρούμε ότι κατά το χρονικό διάστημα από 0 ως $T/2$, κατά το οποίο ο ανορθωτής είναι αγώγιμος, υπάρχει μια πολύ μικρή τάση μεταξύ ανόδου-καθόδου του ανορθωτή, όπως δείχνει η ελαφρή καμπύλωση της κυματομορφής.

15.6 Κύκλωμα απλής ανορθώσεως με πυκνωτή.

Στο κύκλωμα του σχήματος 15.6α έχει συνδεθεί πυκνωτής C σε σειρά με τον ανορθωτή. Στο σχήμα 15.6β έχει σχεδιασθεί πάλι η μορφή της τάσεως που επικρατεί στο δευτερεύον του μετασχηματιστή του κυκλώματος, δηλαδή μεταξύ A και B .

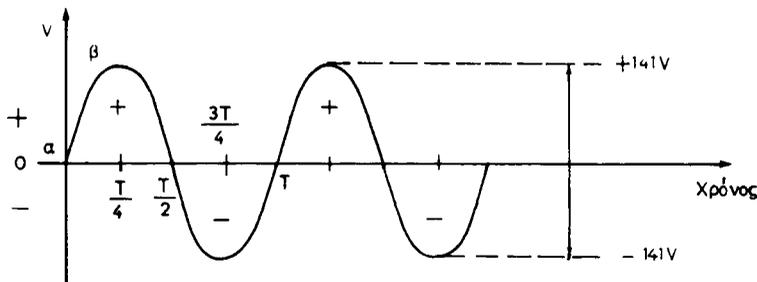


Σχ. 15.6α.

Στη θετική εναλλαγή της τάσεως αυτής, όταν δηλαδή το A γίνεται θετικό σε σχέση με το B , ο ανορθωτής είναι αγώγιμος και το ρεύμα του (θετικός παλμός

ρεύματος) φορτίζει τον πυκνωτή C με την πολικότητα που φαίνεται στο σχήμα 15.6α.

Ακριβέστερα ο πυκνωτής φορτίζεται στο χρονικό διάστημα από α ως β (σχ. 15.6β). Στην άλλη ημιπερίοδο (σημείο A αρνητικό σε σχέση με το B) ο ανορθωτής δεν είναι αγώγιμος και το κύκλωμα διακόπτεται. Επομένως, ο πυκνωτής συγκρατεί στους οπλισμούς του το φορτίο που πήρε, αφού δεν έχει τρόπο να εκφορτισθεί. Έχει δηλαδή στους οπλισμούς του συνεχή τάση, όπως η τάση μιας μπαταρίας.



Σχ. 15.6β.

15.6.1 Σε ποια τάση φορτίζεται ο πυκνωτής.

Έστω πάλι ότι η τάση στο δευτερεύον του μετασχηματιστή είναι $E = 100 \text{ V}$ (ε-νεργός τιμή). Δεχόμαστε ακόμη ότι η αντίσταση του δευτερεύοντος τυλίγματος και η εσωτερική αντίσταση του ανορθωτή (όταν αυτός είναι αγώγιμος) συναποτελούν μια συνολική πολύ μικρή αντίσταση R , που μπορούμε να τη θεωρήσουμε αμελητέα. Όταν τώρα το ρεύμα μέσα από τον ανορθωτή φορτίζει τον πυκνωτή C [στο χρονικό διάστημα που αντιστοιχεί από α ως β (σχ. 15.6β)], η φόρτιση αυτή γίνεται πολύ γρήγορα, επειδή η σταθερά χρόνου $R.C$ (βλέπε άσκηση 6) είναι πολύ μικρή. Μπορούμε επομένως να δεχθούμε ότι ο πυκνωτής σε αυτό το χρονικό διάστημα (δηλαδή στο μισό της θετικής εναλλαγής φορτίζεται στη μέγιστη τιμή της τάσεως του δευτερεύοντος ($E_{\mu\epsilon\gamma}$) και η τάση στα άκρα του θα γίνει:

$$E_{\mu\epsilon\gamma} = 100 \times 1,41 = 141 \text{ V}$$

Όστε το σημείο K (σχ. 15.6α) θα είναι θετικότερο από το B κατά 141 V (συνεχής τάση), οπότε ο ανορθωτής παύει να είναι αγώγιμος ακόμη και κατά τις θετικές εναλλαγές της τάσεως E του δευτερεύοντος. Και αυτό, γιατί κατά τις θετικές εναλλαγές η άνοδος A μπορεί να φθάσει το πολύ σε τάση +141 V σε σχέση με το B. Επειδή όμως και η κάθοδος K βρίσκεται ήδη σε δυναμικό +141 V σε σχέση με το B, συμπεραίνουμε ότι η άνοδος δεν γίνεται θετικότερη από την κάθοδο και επομένως ο ανορθωτής δεν θα γίνεται πια αγώγιμος.

15.6.2 Η μέγιστη ανάστροφη τάση.

Κατά τη χρονική στιγμή $\frac{3T}{4}$ (σχ. 15.6β), η τάση του δευτερεύοντος είναι τέτοια,

ώστε το σημείο A γίνεται κατά 141 V αρνητικότερο από το B. Αλλά και το B είναι ήδη αρνητικότερο κατά 141 V από το K, αφού ο C είναι φορτισμένος. Αυτές οι δύο τάσεις (του δευτερεύοντος και του πυκνωτή) είναι σε σειρά και προστίθενται. Επομένως το A θα είναι αρνητικότερο από το K κατά $141 + 141 = 282$ V.

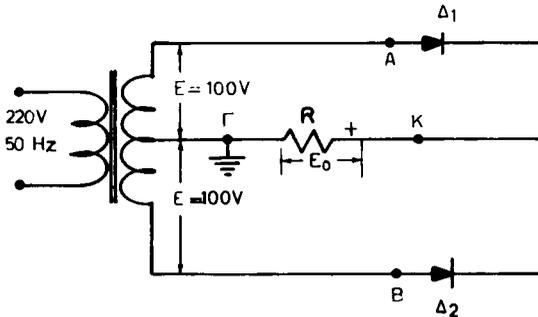
Δηλαδή, κατά τη χρονική στιγμή $\frac{3T}{4}$ η άνοδος A γίνεται αρνητικότερη από την κάθοδο K κατά 282 V ($= 2E_{\mu\epsilon\gamma}$). Τόση είναι η μέγιστη ανάστροφη τάση που επικρατεί στα άκρα του ανορθωτή.

15.6.3 Αντίσταση παράλληλα στον πυκνωτή.

Αν παράλληλα προς τον πυκνωτή (σχ. 15.6α) συνδεθεί αντίσταση, ο πυκνωτής θα εκφορτίζεται μέσω αυτής και η τάση του θα κατέρχεται κάτω από τη μέγιστη τιμή. Επομένως, σε κάθε θετική εναλλαγή της τάσεως του δευτερεύοντος η άνοδος θα γίνεται, για μικρό χρονικό διάστημα, θετικότερη από την κάθοδο, οπότε ο ανορθωτής θα γίνεται αγώγιμος και θα αναφορτίζει τον πυκνωτή.

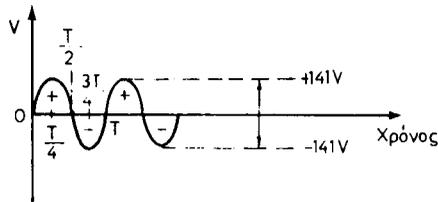
15.7 Το κύκλωμα διπλής ανορθώσεως με αντίσταση.

Στο σχήμα 15.7α παριστάνεται κύκλωμα διπλής ανορθώσεως, στο οποίο ως φορτίο έχει συνδεθεί αντίσταση. Το δευτερεύον τύλιγμα του μετασχηματιστή (από A ως B) έχει μεσαία λήψη Γ. Δηλαδή, ο αριθμός σπειρών από A ως Γ ισούται με τον αριθμό σπειρών από Γ ως B και επομένως οι τάσεις στα δύο τμήματα του δευτερεύοντος είναι ίσες. Π.χ. τάση A – Γ = 100 V (ενεργός τιμή) και τάση Γ – Δ = 100 V. Επομένως η τάση από A ως B = 200 V.

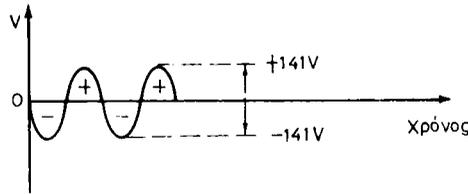


Σχ. 15.7α.

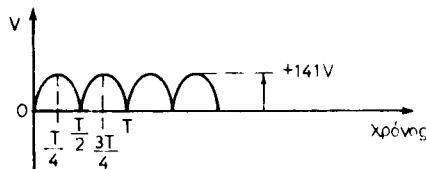
Στο κύκλωμα υπάρχουν δύο ανορθωτές, Δ_1 και Δ_2 , οι οποίοι είναι αγώγιμοι εναλλάξ, επειδή οι τάσεις που επικρατούν στις δύο ανόδους, A και B, βρίσκονται σε διαφορά φάσεως 180° μεταξύ τους ως προς το κοινό σημείο Γ (καμπύλες των σχημάτων 15.7β και 15.7γ) και επομένως, όταν ο ένας ανορθωτής είναι αγώγιμος, ο άλλος δεν είναι, και αντιστρόφως. Στην αντίσταση R, λοιπόν, θα εμφανίζονται και τα δύο ημικύματα ανορθωμένα, όπως φαίνεται στο σχήμα 15.7δ (παλμοί τάσεως με συχνότητα 100 Hz).



Σχ. 15.7β.
Τάση μεταξύ Α,Γ.



Σχ. 15.7γ.
Τάση μεταξύ Β,Γ.



Σχ. 15.7δ.
Τάση στα άκρα της R (E_p).

Η μέγιστη τιμή της ανορθωμένης αυτής τάσεως, αν θεωρήσουμε αμελητέα την πτώση τάσεως μέσα σε κάθε ανορθωτή, είναι:

$$E \times 1,41 = 100 \times 1,41 = 141 \text{ V}$$

15.7.1 Η μέγιστη ανάστροφη τάση.

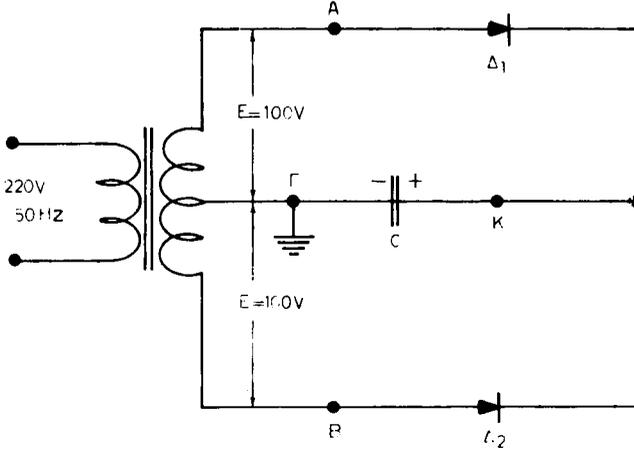
Στο σχήμα 15.7δ παρατηρούμε ότι κατά στη χρονική στιγμή $T/4$ η τάση του σημείου Κ (δηλαδή της καθόδου) σε σχέση με το Γ είναι $+141 \text{ V}$. Αλλά την ίδια χρονική στιγμή, η τάση του σημείου Β (δηλαδή της μιας ανόδου) σε σχέση με το Γ είναι -141 V (σχ. 15.7γ). Επομένως, η μεταξύ Β - Κ (ανόδου-καθόδου) τάση του ανορθωτή Δ_2 θα είναι $-141 - 141 = -282 \text{ V} = -2E_{\text{μεγ}}$.

Το ίδιο συμβαίνει και στη χρονική στιγμή $\frac{3T}{4}$ με τον ανορθωτή Δ_1 . Συμπεραίνουμε λοιπόν ότι στις χρονικές στιγμές $T/4$ ή $\frac{3T}{4}$, στις οποίες οι τάσεις στο δευτε-

ρεύον του μετασχηματιστή έχουν μέγιστες τιμές, η μεταξύ ανόδου-καθόδου τάση του ανορθωτή που δεν είναι αγώγιμος ισούται με $-2E_{\mu\epsilon\gamma}$.

15.7.2 Διπλή ανόρθωση με πυκνωτή.

Στο σχήμα 15.7ε φαίνεται το ίδιο κύκλωμα διπλής ανορθώσεως, στο οποίο όμως η αντίσταση έχει αντικατασταθεί με πυκνωτή.



Σχ. 15.7ε.

Ο πυκνωτής και πάλι (όπως στην απλή ανόρθωση), φορτίζεται στη μέγιστη τιμή της τάσεως κάθε τμήματος του δευτερεύοντος. Αν, π.χ., η τάση κάθε τμήματος είναι $E = 100 \text{ V}$ (ενεργός τιμή), ο πυκνωτής θα φορτισθεί σε τάση:

$$E_{\mu\epsilon\gamma} = 100 \times 1,41 = 141 \text{ V}$$

Δηλαδή, το σημείο Κ θα είναι θετικότερο από το Γ κατά 141 V. Και επειδή ο πυκνωτής δεν μπορεί να εκφορτισθεί, η τάση αυτή θα παραμείνει σταθερή στους σπλισμούς του (συνεχής τάση) και όπως εξηγήσαμε στην απλή ανόρθωση οι δύο ανορθωτές θα πάσουν πια να είναι αγώγιμοι.

15.7.3 Η μέγιστη ανάστροφη τάση στο κύκλωμα του σχήματος 15.7ε (διπλή ανόρθωση με πυκνωτή).

Όπως και στην περίπτωση της απλής ανορθώσεως με πυκνωτή, η μέγιστη ανάστροφη τάση που επικρατεί στα άκρα κάθε ανορθωτή στη διπλή ανόρθωση ισούται με:

$$-2E_{\mu\epsilon\gamma} = -141 \times 2 = -282 \text{ V}$$

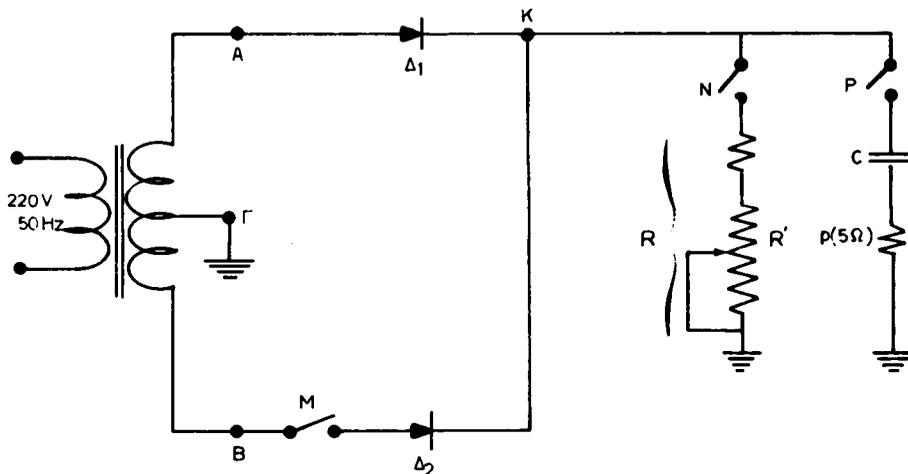
15.7.4 Αντίσταση παράλληλα προς τον πυκνωτή.

Αν παράλληλα προς τον πυκνωτή C (σχ. 15.7ε) συνδεθεί αντίσταση, ο πυκνω-

τής θα εκφορτίζεται μέσα από αυτή και γι' αυτό η τάση του θα πέφτει κάτω από τη μέγιστη τιμή. Επομένως, η άνοδος κάθε ανορθωτή θα γίνεται σε κάθε θετική εναλλαγή, για μικρό χρονικό διάστημα, θετικότερη από την κάθοδο, οπότε κάθε ανορθωτής θα γίνεται αγωγίμος και ο πυκνωτής θα αναφορτίζεται με παλμούς ρεύματος.

15.8 Εργασία.

1) Να συνδέσετε το κύκλωμα του σχήματος 15.8. Οι διακόπτες M και P ανοικτοί. Ο διακόπτης N κλειστός. Σημειώστε το είδος της ανορθώσεως.



Σχ. 15.8.

2) Τροφοδοτήστε το κύκλωμα. Με βολτόμετρο εναλλασσόμενου μετρήσετε και σημειώστε την τάση μεταξύ A-Γ (ενεργός τιμή). Να υπολογίσετε τη μέγιστη τιμή της τάσεως αυτής.

3) Με βολτόμετρο συνεχούς μετρήσετε την τάση στα άκρα της R (η R' στο μέγιστο). Σημειώστε πολικότητα. Το βολτόμετρο συνεχούς δείχνει τη μέση τιμή της τάσεως αυτής.

Αν θεωρηθεί αμελητέα η πώση τάσεως μέσα στον ανορθωτή, να επαληθεύσετε ότι η μέση τιμή που βρήκατε είναι ίση με $\frac{E_{\mu\epsilon\gamma}}{\pi}$, όπου η $E_{\mu\epsilon\gamma}$ υπολογίσθηκε προηγουμένως (περίπτωση 2).

4) Οδηγήστε τα άκρα της R προς την κατακόρυφη είσοδο παλμογράφου με κατάλληλο σάρωμα. Να σχεδιάσετε την κυματομορφή.

5) Με τους διακόπτες M και N ανοικτούς και τον P κλειστό, σημειώστε το είδος της ανορθώσεως.

6) Με βολτόμετρο συνεχούς μετρήσετε την τάση στα άκρα του πυκνωτή C. Συγκρίνετε την τιμή αυτή τάσεως με αυτήν που έχετε υπολογίσει στην περίπτωση 2.

7) Με το διακόπτη M ανοικτό και τους N και P κλειστούς, σημειώσετε το είδος της ανορθώσεως.

8) Αφού τώρα ο C εκφορτίζεται δια μέσου της R, τα φορτία του αναπληρώνονται με παλμούς ρεύματος. Οι παλμοί αυτοί περνούν μέσα από τη μικρή αντίσταση ρ και δημιουργούν ανάλογους παλμούς τάσεως.

Οδηγήστε τα άκρα της ρ στην κατακόρυφη είσοδο παλμογράφου και σχεδιάσετε παλμογραφήματα για διάφορες τιμές της R', από μέγιστη ως ελάχιστη. Έτσι έχετε την εικόνα του ρεύματος φορτίσεως του πυκνωτή.

9) Με τους διακόπτες M και N κλειστούς και τον P ανοικτό να σημειώσετε το είδος της ανορθώσεως.

10) Μετρήστε την τάση σε κάθε τμήμα του δευτερεύοντος με βολτόμετρο εναλλασσόμενου καθώς και την τάση από A ως B.

11) Μετρήστε με βολτόμετρο συνεχούς την τάση στα άκρα της R, με την R' στο μέγιστο. Το όργανο δείχνει τη μέση τιμή της τάσεως αυτής. Να επαληθεύσετε ότι η μέση αυτή τιμή ισούται τώρα με:

$$E_{\text{μέση}} = \frac{2E_{\text{μεγ}}}{\pi}$$

12) Οδηγήστε τα άκρα της R στην κατακόρυφη είσοδο παλμογράφου με σώρμα και σχεδιάστε το παλμογράφημα.

13) Με τους διακόπτες M και P κλειστούς και το N ανοικτό σημειώσετε το είδος της ανορθώσεως.

14) Με βολτόμετρο συνεχούς μετρήστε την τάση στα άκρα του C. Να επαληθεύσετε ότι η τιμή που βρήκατε ισούται με τη μέγιστη τιμή της τάσεως E.

15) Με τους διακόπτες M,P και N κλειστούς σημειώσετε το είδος της ανορθώσεως.

16) Οδηγήστε τα άκρα της ρ στην κατακόρυφη είσοδο παλμογράφου και σχεδιάστε παλμογραφήματα για ποικίλες τιμές της R', από μέγιστη ως ελάχιστη.

ΑΣΚΗΣΗ 16

ΚΥΚΛΩΜΑ ΑΝΟΡΘΩΣΕΩΣ ΜΕ ΓΕΦΥΡΑ

16.1 Γενικά.

Στην προηγούμενη άσκηση (15) εξετάσαμε τις περιπτώσεις απλής και διπλής ανορθώσεως. Στην άσκηση αυτή εξετάζονται τα χαρακτηριστικά ενός κυκλώματος ανορθώσεως της εναλλασσόμενης τάσεως του δικτύου στο οποίο χρησιμοποιούνται τέσσερις ανορθωτές σε συνδεσμολογία γνωστή με το όνομα «γέφυρα ανορθώσεως».

Τα κυκλώματα ανορθώσεως με γέφυρα συναντώνται πλέον και σε απλές συσκευές, γιατί παρουσιάζουν σοβαρά πλεονεκτήματα, όπως θα δούμε πιό κάτω. Στα κυκλώματα αυτά έχει γενικευθεί η χρήση των διόδων πυριτίου, γιατί έχουν πολύ μικρή εσωτερική αντίσταση κατά την αγωγήμη φορά του ρεύματος. Οι τέσσερις δίοδοι πυριτίου είναι κατασκευασμένες σε ένα εξάρτημα με τέσσερις ακροδέκτες.

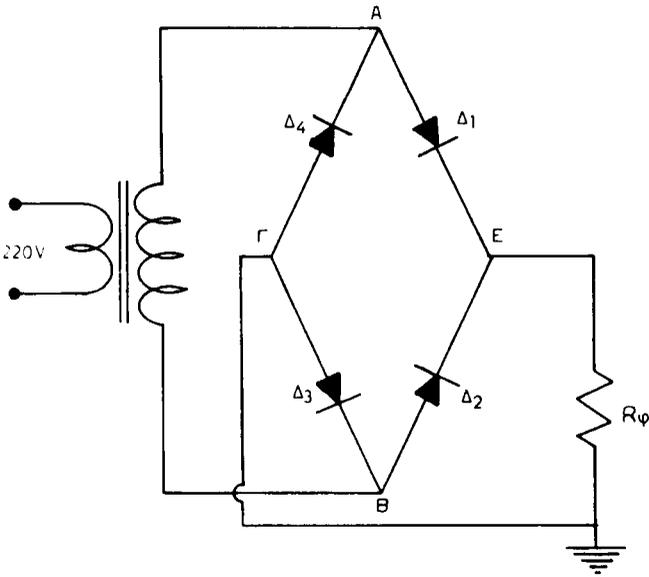
Στο σχήμα 16.1α, παριστάνεται το κύκλωμα ενός ανορθωτή με γέφυρα που τροφοδοτείται από το δευτερεύον τύλιγμα ενός μετασχηματιστή. Το δευτερεύον αυτό τροφοδοτεί τέσσερις διόδους πυριτίου Δ_1 , Δ_2 , Δ_3 και Δ_4 .

Το κύκλωμα λειτουργεί ως εξής: Ας υποθέσουμε ότι κατά τη διάρκεια της θετικής εναλλαγής (εναλλαγή 1, σχ. 16.1β) της ημιτονικής τάσεως εισόδου V_{AB} , το σημείο Α είναι θετικό σε σχέση με το Β. Τότε, η άνοδος της διόδου Δ_1 είναι θετική σε σχέση με την κάθοδό της και συνεπώς η Δ_1 γίνεται αγωγήμη. Η κάθοδος της Δ_3 , που συνδέεται στο σημείο Β, είναι αρνητική σε σχέση με την άνοδό της, συνεπώς και η Δ_3 γίνεται αγωγήμη. Είναι όμως φανερό ότι οι άλλες δίοδοι Δ_2 και Δ_4 , είναι πολωμένες αντίθετα (οι άνοδοι αρνητικές ως προς τις καθόδους) κατά τη διάρκεια της θετικής εναλλαγής. Συνεπώς οι Δ_2 και Δ_4 δεν είναι αγωγήμες.

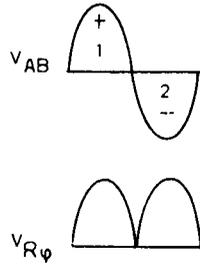
Στο σχήμα 16.1γ φαίνεται ότι κατά τη διάρκεια της θετικής αυτής εναλλαγής το ρεύμα κυκλοφορεί μόνο από τις διόδους Δ_1 και Δ_3 , οι οποίες φαίνονται συνδεδεμένες σε σειρά με την αντίσταση φόρτου R_{ϕ} . Δηλαδή, το ρεύμα κυκλοφορεί από την R_{ϕ} , από την Δ_1 , από το τύλιγμα ΑΒ και από την Δ_3 με την πολικότητα η οποία φαίνεται στο σχήμα (ηλεκτρονική φορά ρεύματος).

Στο σχήμα 16.1δ φαίνεται η εναλλαγή τάσεως θετικής φοράς, που εμφανίζεται στα άκρα της R_{ϕ} στη διάρκεια της εναλλαγής 1. Στη διάρκεια της αρνητικής εναλλαγής (εναλλαγή 2), οι δίοδοι Δ_1 και Δ_3 είναι αντίθετα πολωμένες (όχι αγωγήμη) και συνεπώς δεν είναι αγωγήμες. Αν οι άλλες δίοδοι Δ_2 και Δ_4 δεν υπήρχαν, το κύκλωμα θα ήταν απλής ανορθώσεως.

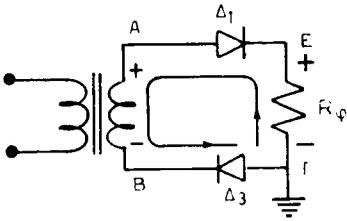
Στο σχήμα 16.1ε φαίνεται ότι κατά τη διάρκεια της αρνητικής εναλλαγής (εναλλαγή 2), όταν δηλαδή το σημείο Α είναι αρνητικό σε σχέση με το Β, η άνοδος της



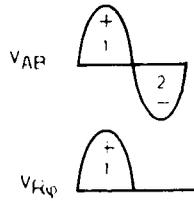
Σχ. 16.1α.



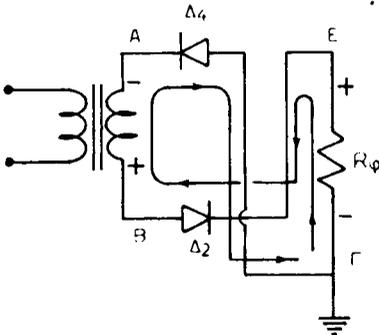
Σχ. 16.1β.



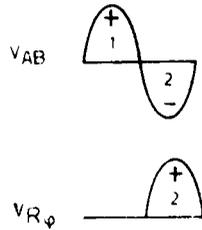
Σχ. 16.1γ.



Σχ. 16.1δ.

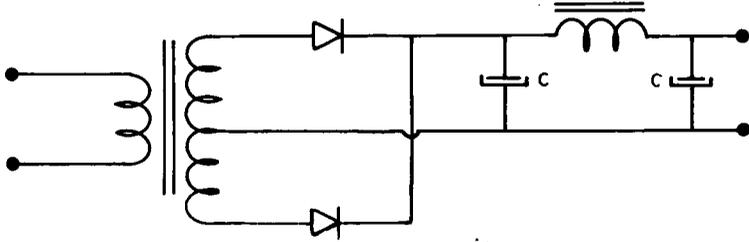


Σχ. 16.1ε.

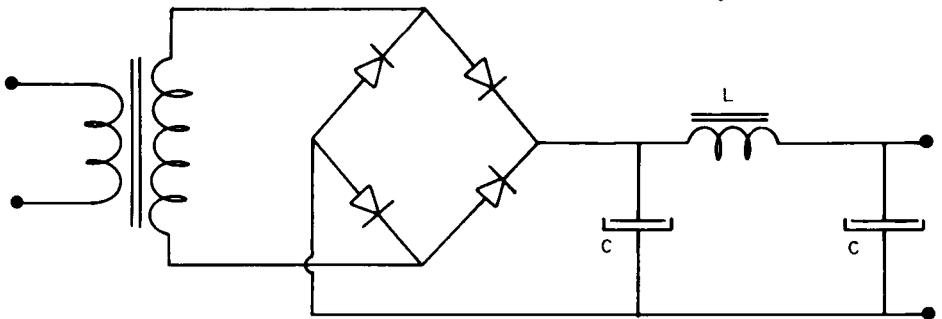


Σχ. 16.1στ.

δίοδου Δ_2 είναι θετική σε σχέση με την κάθοδό της και η κάθοδος της Δ_4 αρνητική σε σχέση με την άνοδο. Συνεπώς οι δίοδοι Δ_2 και Δ_4 είναι τώρα πολωμένες αγώγιμα, ενώ οι Δ_1 και Δ_3 είναι πολωμένες αντίθετα (όχι αγώγιμα). Επομένως, οι Δ_2 και Δ_4 επιτρέπουν τη διέλευση ρεύματος από την R_ϕ . Η πολικότητα της τάσεως που αναπτύσσεται στην R_ϕ είναι ίδια, όπως και όταν ήταν αγώγιμες οι Δ_1 και Δ_3 (σχ. 16.1στ).



Σχ. 16.1ζ.

Φίλτρο Π (C-L-C).

Σχ. 16.1η.

Όστε η δίοδος Δ_1 σε σειρά με τη Δ_3 ανορθώνει τη θετική εναλλαγή της ημιτονικής τάσεως εισόδου, ενώ η Δ_2 σε σειρά με τη Δ_4 ανορθώνει την αρνητική εναλλαγή. Συνεπώς το κύκλωμα ανορθώσεως με γέφυρα είναι κύκλωμα διπλής ανορθώσεως και παρουσιάζει τα εξής πλεονεκτήματα, όταν συγκριθεί με το συνηθισμένο κύκλωμα διπλής ανορθώσεως (σχ. 16.1ζ).

α) Δεν χρειάζεται διπλό τύλιγμα στο δευτερεύον του μετασχηματιστή.

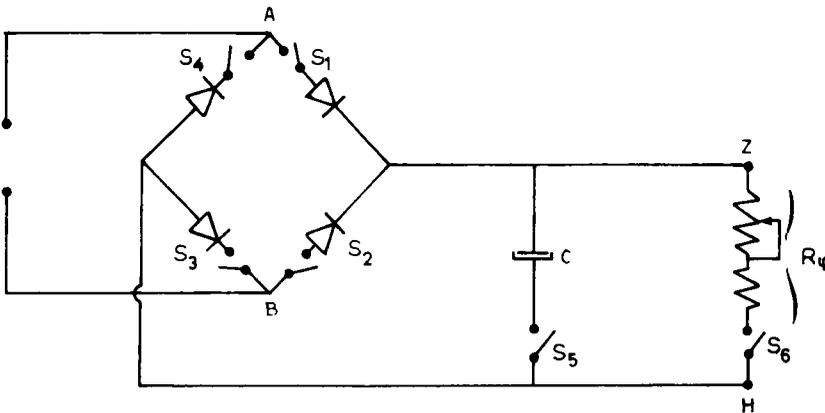
β) Όταν η Δ_1 είναι αγώγιμη (σχ. 16.1α), η Δ_2 δεν είναι (έχει - στην άνοδο και + στην κάθοδό της). Η αγώγιμη Δ_1 όμως, θεωρείται τότε ως βραχυκύκλωμα, συνεπώς, στα άκρα της Δ_2 που δεν είναι αγώγιμη, θα εφαρμόζεται όλη η τάση του δευτερεύοντος του μετασχηματιστή. Δηλαδή, η μέγιστη ανάστροφη τάση όταν η Δ_2 δεν άγει ισούται με το μέγιστο της τάσεως του δευτερεύοντος. Το ίδιο συμβαίνει και με τη μη αγώγιμη Δ_4 . Άρα στο κύκλωμα ανορθώσεως με γέφυρα, κάθε δίοδος υποφέρει μέγιστη αρνητική τάση ίση με τη μέγιστη τιμή της τάσεως του δευτερεύοντος του μετασχηματιστή, ενώ στο κύκλωμα διπλής ανορθώσεως κάθε δίοδος υποφέρει ανάστροφη τάση διπλάσια από τη μέγιστη τιμή τάσεως κάθε δευτερεύοντος του μετασχηματιστή.

Ένα μειονέκτημα του κυκλώματος ανορθώσεως με γέφυρα είναι το γεγονός ότι σε κάθε εναλλαγή το συνεχές ρεύμα του κυκλώματος πρέπει να περνά μέσα από δύο σε σειρά διόδους. Συνεπώς, η πτώση τάσεως κατά την αγωγή εναλλαγή στις δύο αυτές διόδους θα είναι μεγαλύτερη από ότι η πτώση τάσεως σε μια diode. Πάντως στις διόδους πυριτίου, όπως και στην αρχή αναφέραμε, η πτώση τάσεως είναι μικρή, γιατί έχουν μικρή εσωτερική αντίσταση.

Στα κυκλώματα ανορθώσεως με γέφυρα μπορεί να χρησιμοποιηθεί οποιοσδήποτε τύπος φίλτρου, όπως και στα άλλα κυκλώματα ανορθώσεως. Στο σχήμα 16.1η π.χ., παριστάνεται κύκλωμα φίλτρου τύπου Π.

16.2 Εργασία.

- 1) Να σχεδιασθεί από το σασσί της ασκήσεως το κύκλωμα.
- 2) Να συνδεσμοποιηθεί το κύκλωμα του σχήματος 16.2α. Όλοι οι διακόπτες, εκτός από τον S_5 να είναι κλειστοί. Να εφαρμοσθεί εναλλασσόμενη τάση στην είσοδο και να μετρηθεί το πλάτος της με βολτόμετρο εναλλασσόμενου.



Σχ. 16.2α.

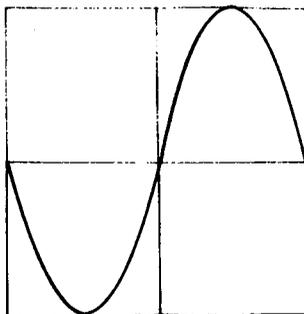
- 3) Από το αποτέλεσμα της μετρήσεως να υπολογισθεί σε ποια τάση θα φορτισθεί ο πυκνωτής C.

4) Με τους διακόπτες S_6 ανοικτό και S_5 κλειστό, να μετρηθεί η τάση στα άκρα του C (βολτόμετρο συνεχούς) και να συγκριθεί το αποτέλεσμα με την τιμή τάσεως που υπολογίσθηκε.

5) Να συνδέσετε τα σημεία A-B (σχ. 16.2α), στην είσοδο των πλακιδίων κατακόρυφης αποκλίσεως του παλμογράφου (το B στη γη του παλμογράφου και ο μεταγωγός σαρώσεως του παλμογράφου στη θέση Line Synchronization). Όλοι οι διακόπτες του κυκλώματος της ασκήσεως να είναι κλειστοί εκτός από τον S_5 .

Να ρυθμίσετε τη συχνότητα σαρώσεως του παλμογράφου, ώστε να εμφανισθούν τρία κύματα της τάσεως V_{AB} στην οθόνη. Ρυθμίσετε την κατακόρυφη ενίσχυση και την κατακόρυφη τοποθέτηση, ώστε το πλάτος των κυμάτων να πλη-

σιάζει, άνω και κάτω, το ορθογώνιο πλαίσιο της οθόνης. Μετά ρυθμίσετε την οριζόντια ενίσχυση περίπου στο μέγιστο και την οριζόντια τοποθέτηση, ώστε το μεσαίο κύμα να έχει μεγενθυθεί κατά πλάτος και να είναι συμμετρικό σε σχέση με τον κεντρικό κατακόρυφο άξονα της οθόνης (σχ. 16.2β). Να σχεδιασθεί το παλμογράφημα.



Σχ. 16.2β.

Κανένα από τα κουμπιά του παλμογράφου δεν πρέπει να ξαναρυθμισθεί μέχρι το τέλος της ασκήσεως.

6) Να συνδεθούν τώρα, τα σημεία Z - H στα πλακίδια κατακόρυφης αποκλίσεως του παλμογράφου (το H στη γη του παλμογράφου). Σχεδιάσετε το 2ο παλμογράφημα κάτω από το προηγούμενο 1ο.

7) Ανοίξτε τους διακόπτες S_2 και S_4 . Οι λοιποί παραμένουν όπως έχουν. Σχεδιάστε το 3ο παλμογράφημα.

8) Κλείστε τους διακόπτες S_2 και S_4 και ανοίξτε τους S_1 και S_3 . Σχεδιάστε το 4ο παλμογράφημα.

Όλα τα μέχρι τώρα παλμογραφήματα, καθώς και όλα τα επόμενα, πρέπει να σχεδιάζονται το ένα κάτω από το άλλο, ώστε να φαίνεται η φασική σχέση που έχει το καθένα με το αρχικό (1ο) παλμογράφημα.

9) Με τους διακόπτες S_1 , S_3 , S_5 και S_6 κλειστούς και τους S_2 , S_4 ανοικτούς, συνδέστε βολτόμετρο συνεχούς στην έξοδο (σημεία Z-H). Ρυθμίστε την αντίσταση εξόδου R_ϕ στο μέγιστο και στο ελάχιστο. Τι παρατηρείτε στην τάση εξόδου; Σχεδιάστε τα παλμογραφήματα.

10) Κλείστε όλους τους διακόπτες και σχεδιάστε παλμογραφήματα για τιμές της R_ϕ , μέγιστη και ελάχιστη.

ΑΣΚΗΣΗ 17

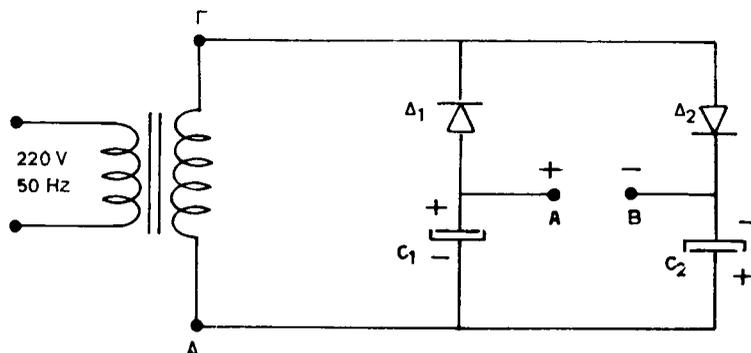
ΑΝΟΡΘΩΣΗ ΚΑΙ ΔΙΠΛΑΣΙΑΣΜΟΣ ΤΑΣΕΩΣ

17.1 Γενικά.

Στην άσκηση αυτή θα μελετηθεί η λειτουργία δύο ανορθωτικών κυκλωμάτων με διπλασιασμό τάσεως. Το ένα κύκλωμα διπλασιασμού τάσεως είναι με πλήρη (διπλή) ανόρθωση και το άλλο με απλή.

Τα κυκλώματα διπλασιασμού τάσεως (διπλασιαστές τάσεως) έχουν το μεγάλο πλεονέκτημα ότι μπορούν να παρέχουν διπλάσια περίπου συνεχή τάση από ένα κύκλωμα απλής ανορθώσεως, που τροφοδοτείται από την ίδια πηγή εναλλασσόμενης τάσεως (από το ίδιο δευτερεύον τύλιγμα ενός μετασχηματιστή τροφοδοτήσεως).

Στο σχήμα 17.1α φαίνεται το κύκλωμα διπλασιαστική τάσεως με διπλή ανόρθωση. Οι ανορθωτές Δ_1 και Δ_2 είναι δίοδοι πυριτίου. Η τάση για ανόρθωση και διπλασιασμό παρέχεται από ένα μόνο τύλιγμα δευτερεύοντος του μετασχηματιστή. Η συνεχής, ανορθωμένη (διπλάσια) τάση εξόδου εμφανίζεται στα σημεία A και B.



Σχ. 17.1α.

Το κύκλωμα λειτουργεί ως εξής: Στη θετική εναλλαγή της τάσεως στο δευτερεύον (σημείο Γ θετικό σε σχέση με το Δ), (σχ.17.1α), η άνοδος του ανορθωτή Δ_1 γίνεται θετική ως προς την κάθοδο. Ο ανορθωτής Δ_1 άγει και φορτίζει τον πυκνωτή C_1 στο μέγιστο της τάσεως του δευτερεύοντος και με την πολικότητα που σημειώνεται στο σχέδιο. Στη διάρκεια αυτής της θετικής εναλλαγής ο Δ_2 δεν άγει,

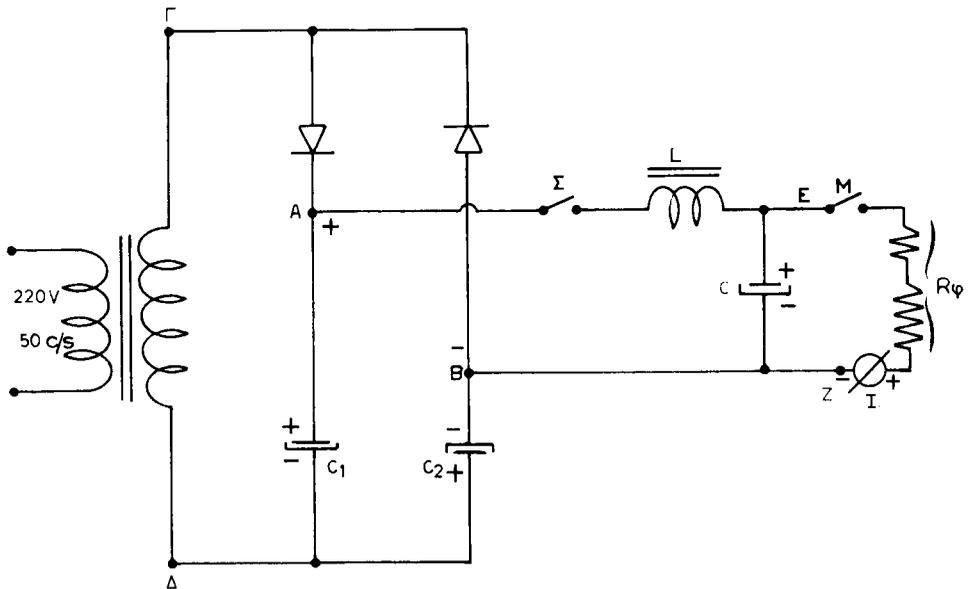
γιατί η κάθοδος του είναι θετική σε σχέση με την άνοδο. Στην αρνητική εναλλαγή της τάσεως στο δευτερεύον (σημείο Δ θετικό σε σχέση με το Γ), ο Δ₂ άγει και φορτίζει επίσης τον πυκνωτή C₂ στο μέγιστο της τάσεως δευτερεύοντος και με τη σημειούμενη πολικότητα. Τα δυναμικά των δύο πυκνωτών προστίθενται έτσι, ώστε μεταξύ των σημείων Α και Β επικρατεί τάση ίση με το διπλάσιο της μέγιστης τιμής της τάσεως δευτερεύοντος του μετασχηματιστή. Π.χ., αν με ένα βολτόμετρο εναλλασσόμενου μετρηθεί η τάση στο δευτερεύον του μετασχηματιστή και βρεθεί ίση με 100 βολτ (ενεργός τιμή), η συνεχής τάση μεταξύ Α και Β θα είναι:

$$100 \times 1,41 \times 2 = 282 \text{ βόλτ}$$

Η τάση αυτή εξόδου, για να χρησιμοποιηθεί και να εξυπηρετήσει σαν συνεχής τάση πρέπει να εξομαλυνθεί, να περάσει δηλαδή από φίλτρο πηνίου - πυκνωτή.

Στο σχήμα 17.1β φαίνεται το κύκλωμα διπλασιαστή τάσεως με διπλή ανόρθωση που έχει φίλτρο εξομαλύνσεως της τάσεως εξόδου (πηνίο L και πυκνωτή C).

Οι πυκνωτές C₁, C₂ και C είναι ηλεκτρολυτικοί. Ο πυκνωτής C πρέπει να αντέχει σε μεγαλύτερη (διπλάσια) τάση από όση οι C₁ και C₂. Η αντίσταση R_φ αντιπροσωπεύει το φορτίο του κυκλώματος.



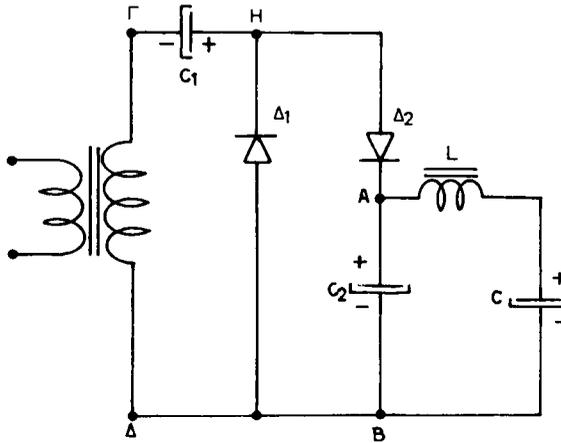
Σχ. 17.1β.

Στην περίπτωση που το ρεύμα στο φορτίο είναι μεγάλης εντάσεως, το φίλτρο πρέπει να περιλαμβάνει πηνίο, όπως στο σχήμα 17.1β. Αν όμως το ρεύμα του φορτίου είναι μικρής εντάσεως, π.χ. λίγα μιλλιαμπέρ, μπορεί αντί για πηνίο, να συνδεθεί απλή ωμική αντίσταση στο φίλτρο. Πάντως η κυμάτωση της τάσεως εξόδου έχει συχνότητα ίση με το διπλάσιο της συχνότητας του δικτύου, δηλαδή 100 Hz. Το επίσης μεγάλο πλεονέκτημα του κυκλώματος αυτού είναι ότι χρησιμοποιεί ένα

μόνο τύλιγμα δευτερεύοντος του μετασχηματιστή, και όχι δύο ίσα τυλίγματα, όπως το συνηθισμένο κύκλωμα διπλής ανορθώσεως.

Στο σχήμα 17.1γ φαίνεται το κύκλωμα ενός διπλασιαστή τάσεως απλής ανορθώσεως.

Το κύκλωμα λειτουργεί ως εξής: Ας υποθεθεί ότι ο ανορθωτής Δ_2 δεν έχει συνδεθεί στο κύκλωμα. Κατά την αρνητική εναλλαγή της τάσεως δευτερεύοντος του μετασχηματιστή (σημείο Γ αρνητικό ως το προς το Δ), ο ανορθωτής Δ_1 άγει και φορτίζει τον C_1 στο μέγιστο της τάσεως του δευτερεύοντος με τη σημειούμενη πολικότητα.



Σχ. 17.1γ.

Ας θεωρηθεί τώρα ότι συνδέεται ο ανορθωτής Δ_2 στο κύκλωμα. Ο πυκνωτής C_1 που μόλις έχει φορτισθεί, δρα σαν μια συστοιχία τάσεως σε σειρά με την τάση που παρέχει το δευτερεύον του μετασχηματιστή. Κατά τη θετική εναλλαγή του δευτερεύοντος (σημείο Γ θετικό ως προς το Δ), οι δύο σε σειρά πηγές (δευτερεύον και πυκνωτής C_1) προσθέτουν τις τάσεις τους, που φθάνουν σε μέγιστη τιμή ίση με το διπλάσιο της μέγιστης τιμής της τάσεως του δευτερεύοντος και με τη σημειούμενη πολικότητα (σημείο H θετικό, σημείο Δ αρνητικό), (σχ. 17.1γ). Με τέτοια πολικότητα τάσεως όμως ο ανορθωτής Δ_2 άγει και ο πυκνωτής C_2 φορτίζεται στο διπλάσιο της τάσεως κορυφής του δευτερεύοντος του μετασχηματιστή. Συνεπώς, ο ρόλος του ανορθωτή Δ_1 είναι να φορτίσει τον C_1 στο μέγιστο της τάσεως δευτερεύοντος (κατά την εναλλαγή με αρνητικό Γ , θετικό Δ), σε τρόπο ώστε ο Δ_2 να τροφοδοτηθεί με διπλάσια τάση κορυφής.

Η διπλάσια τάση στον πυκνωτή C_2 προκύπτει όταν άγει ο ανορθωτής Δ_2 , που άγει μόνο κατά τις θετικές εναλλαγές της τάσεως δευτερεύοντος (μόνο όταν το Γ γίνεται θετικό ως προς το Δ). Έτσι έχουμε διπλασιαστή τάσεως απλής ανορθώσεως και η κυμάτωση στο κύκλωμα αυτό έχει συχνότητα 50 Hz.

Παράδειγμα. Αν η τάση δευτερεύοντος, μεταξύ Γ και Δ είναι 100 βολτ, ο πυκνωτής C_1 θα φορτισθεί στο μέγιστο της τάσεως αυτής, δηλαδή:

$$100 \times 1,41 = 141 \text{ βολτ}$$

Ο πυκνωτής C_2 θα φορτισθεί στο διπλάσιο του μέγιστου, δηλαδή:

$$2 \times 141 = 282 \text{ βολτ}$$

Οι πυκνωτές C_2 και C πρέπει να αντέχουν σε τάση διπλάσια από εκείνη που αντέχει ο C_1 .

17.2 Εργασία.

1) Να συνδεσμοποιηθεί το κύκλωμα του σχήματος 17.1β. Να σημειωθούν: Η αναγραφόμενη τάση στο δευτερεύον του μετασχηματιστή και οι τάσεις εργασίας των ηλεκτρολυτικών πυκνωτών. Να υπολογισθεί σε ποιά τάση θα φορτισθεί ο C_1 και σε ποια τάση ο C_2 (χωρίς φορτίο).

2) Με το διακόπτη Σ ανοικτό, να τροφοδοτηθεί το κύκλωμα και να μετρηθούν οι τάσεις στα άκρα ΑΔ, ΒΔ και ΑΒ. Τα αποτελέσματα των μετρήσεων να γραφούν σε σχετικό πίνακα. (Προσοχή στην πολικότητα).

3) Με το διακόπτη Σ κλειστό και τον Μ ανοικτό (φορτίο εκτός), να γίνουν μετρήσεις και να συμπληρωθεί ο Πίνακας 17.2.1.

ΠΙΝΑΚΑΣ 17.2.1.

Μετρήσεις στο κύκλωμα του σχήματος 17.1β. Χωρίς φορτίο – Διακόπτης Μ ανοικτός

| Διακόπτης Σ ανοικτός | | Διακόπτης Σ κλειστός | |
|----------------------|-------------|----------------------|-------------|
| Σημεία ελέγχου | Τάση (βολτ) | Σημεία ελέγχου | Τάση (βολτ) |
| ΓΔ | | ΓΔ | |
| ΑΔ (C_1) | | ΑΔ (C_1) | |
| ΒΔ (C_2) | | ΒΔ (C_2) | |
| ΑΒ | | ΑΒ ΕΖ | |

4) Με το διακόπτη Σ κλειστό και τον Μ ανοικτό (όπως στην προηγούμενη ερώτηση), να συνδεθεί παλμογράφος (με σάρωμα) στα σημεία Α-Β και Ε-Ζ και να σχεδιασθούν οι κυματομορφές.

5) Με τους διακόπτες Σ και Μ κλειστούς (φορτίο εντός), να ληφθούν και να σχεδιασθούν τα παλμογραφήματα στα ίδια σημεία με μέγιστη και ελάχιστη αντίσταση

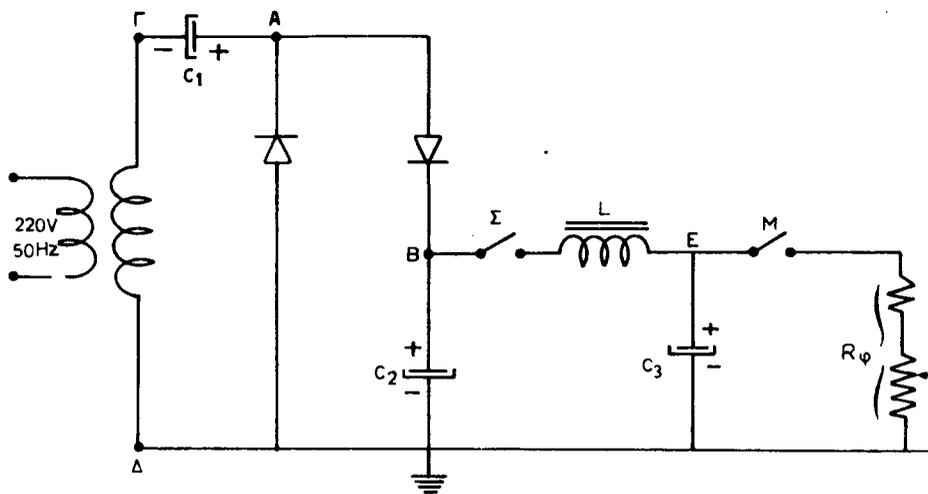
ΠΙΝΑΚΑΣ 17.2.2.

Μετρήσεις στο κύκλωμα του σχήματος 17.1β. Με φορτίο – Διακόπτες Μ και Σ κλειστοί

| Μέγιστη αντίσταση R_{ϕ} | | Ελάχιστη αντίσταση R_{ϕ} | |
|------------------------------|-------------|-------------------------------|-------------|
| Σημεία ελέγχου | Τάση (βολτ) | Σημεία ελέγχου | Τάση (βολτ) |
| ΑΔ (C_1) | | ΑΔ (C_1) | |
| ΒΔ (C_2) | | ΒΔ (C_2) | |
| ΑΒ | | ΑΒ | |
| ΕΖ | | ΕΖ | |

φορτίου R_{ϕ} . Επίσης να μετρηθούν οι τάσεις και γραφούν τα αποτελέσματα των μετρήσεων στον Πίνακα 17.2.2.

6) Να συνδεσμοποιηθεί το κύκλωμα του σχήματος 17.2. Ποια είναι η αναγραφόμενη τάση στο δευτερεύον του μετασχηματιστή και ποιες οι τάσεις εργασίας των ηλεκτρολυτικών πυκνωτών; Να υπολογισθεί σε ποια τάση θα φορτισθεί ο C_1 και σε ποια ο C_2 (χωρίς φορτίο).



Σχ. 17.2.

7) Με το διακόπτη Σ ανοικτό, να τροφοδοτηθεί το κύκλωμα και να μετρηθούν οι τάσεις στα άκρα ΑΓ, και ΒΔ. Τα αποτελέσματα των μετρήσεων να γραφούν στον Πίνακα 17.2.3.

ΠΙΝΑΚΑΣ 17.2.3.**Μετρήσεις στο κύκλωμα του σχήματος 17.2. Χωρίς φορτίο – Διακόπτης Μ ανοικτός**

| Σημεία ελέγχου | Τάση (βολτ) |
|----------------------|-------------|
| ΓΔ | |
| ΑΓ (C ₁) | |
| ΒΔ (C ₂) | |
| ΕΔ (C ₃) | |

8) Με το διακόπτη Σ κλειστό και τον Μ ανοικτό, να συνδεθεί παλμογράφος (με σάρωμα) στα σημεία ΕΔ και να σχεδιασθεί η κυματομορφή. Ακολουθώντας με κλειστό το διακόπτη Μ, να σχεδιασθούν πάλι παλμογραφήματα για μέγιστη και ελάχιστη αντίσταση φορτίου. Επίσης να μετρηθούν οι τάσεις και τα αποτελέσματα των μετρήσεων να γραφούν στον Πίνακα 17.2.4.

ΠΙΝΑΚΑΣ 17.2.4.**Μετρήσεις στο κύκλωμα του σχήματος 17.2. Με φορτίο – Διακόπτες Σ και Μ κλειστοί**

| Μέγιστη αντίσταση R _φ | | Ελάχιστη αντίσταση R _φ | |
|----------------------------------|-------------|-----------------------------------|-------------|
| Σημεία ελέγχου | Τάση (βολτ) | Σημεία ελέγχου | Τάση (βολτ) |
| ΑΓ (C ₁) | | ΑΓ (C ₁) | |
| ΒΔ (C ₂) | | ΒΔ (C ₂) | |
| ΕΔ (C ₂) | | ΕΔ (C ₃) | |

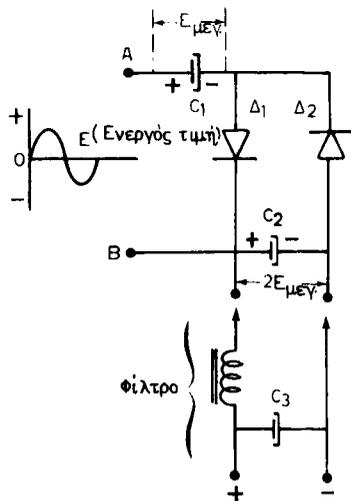
ΑΣΚΗΣΗ 18

ΚΥΚΛΩΜΑΤΑ ΠΟΛΛΑΠΛΑΣΙΑΣΜΟΥ ΤΑΣΕΩΣ

18.1 Γενικά.

Στην άσκηση αυτή εξετάζεται κύκλωμα ανορθώσεως, στο οποίο με κατάλληλη σύνδεση ημιαγωγών και πυκνωτών, επιτυγχάνεται συνεχής τάση στην έξοδο τριπλάσια, τετραπλάσια κλπ. από τη μέγιστη τιμή της εναλλασσόμενης τάσεως που εφαρμόζεται στην είσοδο.

Στο σχήμα 18.1α φαίνεται ένα γνωστό ήδη από την προηγούμενη άσκηση (17) κύκλωμα ανορθώσεως με διπλασιασμό τάσεως.



Σχ. 18.1α.

Κύκλωμα διπλασιασμού τάσεως.

Στο κύκλωμα αυτό ο πυκνωτής C_1 φορτίζεται στο μέγιστο ($E_{\text{μεγ}}$) της εναλλασσόμενης τάσεως που επικρατεί στα σημεία Α,Β. Ο άλλος πυκνωτής (C_2) φορτίζεται στο διπλάσιο του μέγιστου ($2E_{\text{μεγ}}$) της εναλλασσόμενης αυτής τάσεως. Αν π.χ. η εναλλασσόμενη τάση εισόδου που επικρατεί μεταξύ Α και Β έχει ενεργό τιμή 100 βολτ, ο C_1 θα φορτισθεί στην τάση: $100 \times 1,41 = 141$ βολτ, με την πο-

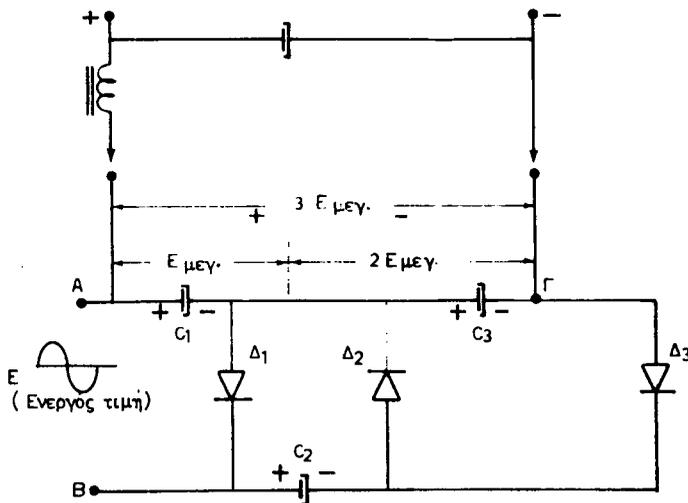
λικότητα που φαίνεται στο σχήμα 18.1α. Ο C_2 θα φορτισθεί στην τάση: $100 \times 1,41 \times 2 = 282$ βολτ και με την πολικότητα που φαίνεται στο ίδιο σχήμα.

Στο σχήμα 18.1β φαίνεται κύκλωμα τριπλασιασμού τάσεως, το οποίο προκύπτει όταν στα άκρα του ημιαγωγού Δ_2 του προηγούμενου κυκλώματος (σχ. 18.1α) συνδεθεί ένας ακόμη ημιαγωγός (Δ_3) με πυκνωτή (C_3) σε σειρά. Ο C_3 θα φορτισθεί επίσης στο διπλάσιο του μέγιστου ($2E_{\mu\epsilon\gamma}$) της τάσεως εισόδου, με την πολικότητα του σχήματος. Με αυτό τον τρόπο οι πυκνωτές C_1 και C_3 βρίσκονται σε σειρά και οι τάσεις τους προστίθενται. Συνεπώς η μεταξύ Α - Γ συνεχής τάση θα ισούται με:

$$E_{\mu\epsilon\gamma} + 2E_{\mu\epsilon\gamma} = 3E_{\mu\epsilon\gamma}$$

Δηλαδή μεταξύ Α - Γ λαμβάνεται το τριπλάσιο του μέγιστου της τάσεως εισόδου. Π.χ. για ενεργό τιμή της τάσεως εισόδου 100 βολτ, η συνεχής τάση μεταξύ Α - Γ θα είναι:

$$141 + 282 = 423 \text{ βολτ}$$

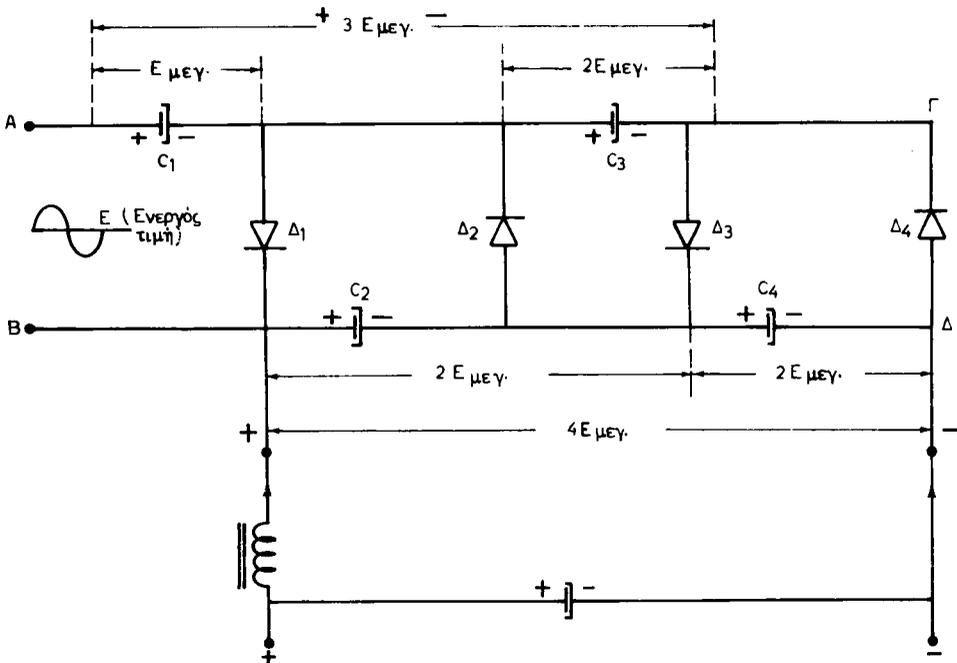


Σχ. 18.1β.

Κύκλωμα τριπλασιασμού τάσεως.

Στο σχήμα 18.1γ φαίνεται κύκλωμα τετραπλασιασμού τάσεως, το οποίο προκύπτει από το προηγούμενο (σχ. 18.1β), αν παράλληλα προς τον ημιαγωγό Δ_3 συνδεθεί ημιαγωγός Δ_4 με πυκνωτή C_4 σε σειρά. Ο C_4 θα φορτισθεί στο διπλάσιο του μέγιστου ($2E_{\mu\epsilon\gamma}$) της εναλλασσόμενης τάσεως εισόδου με την πολικότητα που φαίνεται στο σχήμα, σε τρόπο ώστε οι συνεχείς τάσεις των πυκνωτών C_2 και C_4 που είναι σε σειρά, να προστίθενται. Συνεπώς η μεταξύ Β - Δ συνεχής τάση θα ισούται με:

$$2E_{\mu\epsilon\gamma} + 2E_{\mu\epsilon\gamma} = 4E_{\mu\epsilon\gamma}$$



Σχ. 18.1γ.

Κύκλωμα τετραπλασιασμού τάσεως.

Δηλαδή, μεταξύ B - Δ λαμβάνεται το τετραπλάσιο του μέγιστου της εναλλασσόμενης τάσεως εισόδου. Αν π.χ. η ενεργός τιμή της τάσεως εισόδου είναι 100 βολτ, η συνεχής τάση μεταξύ B - Δ θα είναι:

$$282 + 282 = 564 \text{ βόλτ}$$

Ο πολλαπλασιασμός της συνεχούς τάσεως εξόδου μπορεί να συνεχισθεί με τον τρόπο αυτό, αν δηλαδή, παράλληλα προς τον ημιαγωγό Δ_4 συνδεθεί και άλλος ημιαγωγός με πυκνωτή σε σειρά κ.ο.κ. και να προκύψουν κυκλώματα πενταπλασιασμού, εξαπλασιασμού τάσεως κλπ.

Είναι φανερό το βασικό πλεονέκτημα του κυκλώματος αυτού, αφού με μετασχηματιστή μικρής σχετικά τάσεως δευτερεύοντος μπορούμε να εξασφαλίσουμε συνεχείς τάσεις εξόδου με πολύ μεγαλύτερη τιμή. Τονίζεται όμως ότι οι συνεχείς αυτές τάσεις εξόδου υπολογίζονται εδώ χωρίς φορτίο. Στην πράξη, όταν το κύκλωμα παρέχει ρεύμα σε κάποιο φορτίο, η συνεχής τάση εξόδου ελαττώνεται τόσο περισσότερο, όσο το παρεχόμενο ρεύμα έχει μεγαλύτερη ένταση.

Όπως φαίνεται και στα τρία προηγούμενα σχήματα (σχ. 18.1α, 18.1β και 18.1γ), στην έξοδο κάθε κυκλώματος μπορεί να συνδεθεί ένα συνηθισμένο φίλτρο με πηνίο και πυκνωτή για την εξομάλυνση της συνεχούς τάσεως εξόδου.

Όλοι οι ημιαγωγοί των κυκλωμάτων πολλαπλασιασμού τάσεως υποφέρουν μέγιστη αντίστροφη τάση (αρνητική τάση) ίση με $2E_{\text{μεγ}}$. Δηλαδή, για εναλλασσόμενη

τάση εισόδου με ενεργό τιμή, π.χ. 100 βόλτ, κάθε ημιαγωγός, όταν δεν είναι αγώγιμος, υποφέρει ανάστροφη τάση (– στην άνοδο και + στην κάθοδο):

$$100 \times 1,41 \times 2 = 282 \text{ βολτ}$$

Επομένως οι ημιαγωγοί πρέπει να είναι κατασκευασμένοι έτσι ώστε να αντέχουν σε τόση τάση.

18.2 Εργασία.

1) Να συνδεσμοποιηθεί το κύκλωμα του σχήματος 18.1γ δίχως το φίλτρο του πηνίου και του πυκνωτή, και να τροφοδοτηθεί με εναλλασσόμενη τάση 20 - 30 βολτ στην είσοδο.

2) Με βολτόμετρο εναλλασσόμενου μετρήσετε και σημειώσετε την τάση εισόδου. Υπολογίσετε τη μέγιστη τιμή της τάσεως εισόδου.

3) Με βολτόμετρο συνεχούς μετρήσετε και σημειώσετε τις τάσεις στα άκρα των πυκνωτών C_1 , C_2 , C_3 και C_4 . Συγκρίνετε τις τιμές των μετρήσεων με εκείνη που υπολογίσατε προηγούμενα ($E_{μεγ}$).

4) Με βολτόμετρο συνεχούς μετρήσετε και σημειώσετε τις τάσεις μεταξύ των σημείων Α - Γ και Β - Δ (σχ. 18.1γ).

5) Να μετρηθεί η μέγιστη ανάστροφη (αρνητική) τάση κάθε ημιαγωγού. Για τη μέτρηση αυτή θα χρησιμοποιηθεί ηλεκτρονικό βολτόμετρο με ενδείξεις P - P (Peak to Peak = από κορυφή σε κορυφή).

- Τοποθετήστε το μεταγωγό του ηλεκτρονικού βολτομέτρου στη θέση AC.
- Στρίψτε το μεταγωγό των κλιμάκων στην κλίμακα 50 βολτ (ενεργές τιμές).
- Παρατηρήσετε ότι στο «καντράν» του οργάνου, κάτω από την κλίμακα των 50 βολτ, υπάρχουν αντίστοιχες ενδείξεις P - P (κόκκινες υποδιαίρεσεις).
- Παρατηρήσετε ακόμη ότι στην πλήρη απόκλιση της κλίμακας των 50 βολτ (ενεργών) αντιστοιχεί τιμή της κλίμακας P - P: $50 \times 1,41 \times 2 = 141$ βόλτ.
- Συνδέστε τώρα το ηλεκτρονικό βολτόμετρο διαδοχικά στα άκρα των ημιαγωγών Δ_1 , Δ_2 , Δ_3 και Δ_4 (σχ. 18.1γ). Σε κάθε περίπτωση το όργανο θα μετρά τη μέγιστη ανάστροφη τάση που επικρατεί σε κάθε ημιαγωγό, όταν η ανάγνωση γίνεται στην κλίμακα P - P.
- Μετρήσετε και σημειώσετε τις τιμές των τάσεων αυτών: V_{Δ_1} , V_{Δ_2} , V_{Δ_3} και V_{Δ_4} .
- Ποια σχέση έχουν οι μετρούμενες τιμές αναστρόφων τάσεων με την τιμή της εναλλασσόμενης τάσεως εισόδου;

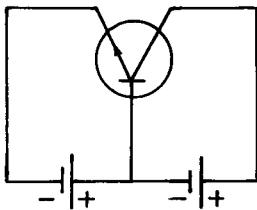
ΑΣΚΗΣΗ 19

ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΕΣ ΚΑΜΠΥΛΕΣ ΤΡΑΝΖΙΣΤΟΡ ΣΕ ΣΥΝΔΕΣΜΟΛΟΓΙΑ ΚΟΙΝΗΣ (ΓΕΙΩΜΕΝΗΣ) ΒΑΣΕΩΣ

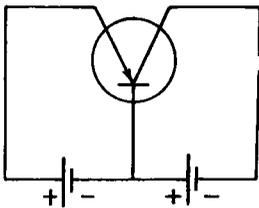
19.1 Γενικά.

Στην άσκηση αυτή εξετάζονται οι χαρακτηριστικές ιδιότητες που παρουσιάζει ένα τρανζίστορ όταν είναι συνδεσμοποιημένο με κύκλωμα κοινής ή γειωμένης βάσεως. Για τη μελέτη των ιδιοτήτων αυτών θα χρησιμοποιηθούν οι χαρακτηριστικές καμπύλες εισόδου (καμπύλες εκπομπού) και εξόδου (καμπύλες συλλέκτη), οι οποίες θα χαραχθούν ύστερα από μετρήσεις που θα γίνουν στην άσκηση αυτή.

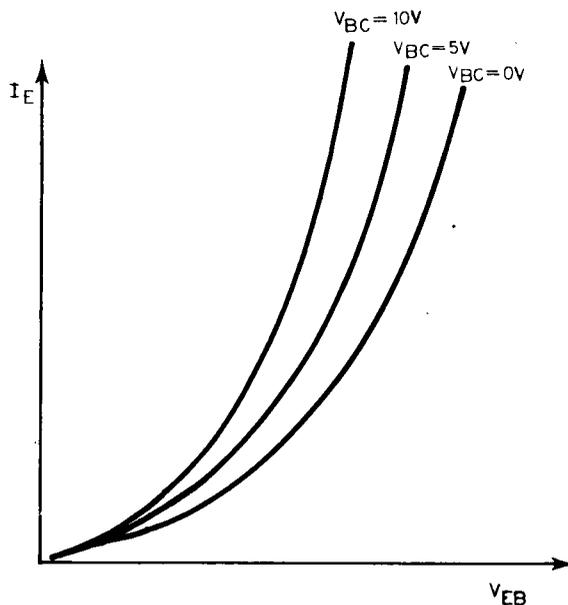
Το κύκλωμα τρανζίστορ κοινής βάσεως φαίνεται στο σχήμα 19.1α.



ή



Σχ. 19.1α.



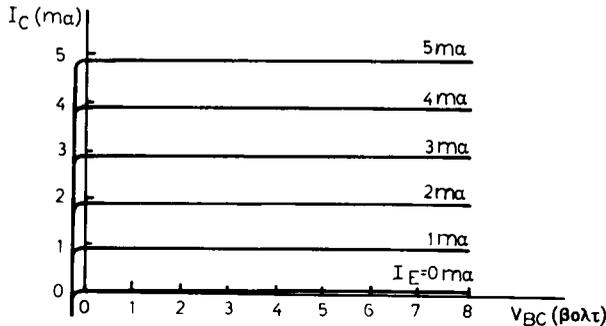
Σχ. 19.1β.

Οι χαρακτηριστικές εισόδου δείχνουν τις μεταβολές του ρεύματος εκπομπού I_E σε σχέση με τις μεταβολές της τάσεως εκπομπού - βάσεως V_{EB} και έχουν τη μορφή που φαίνεται στο διάγραμμα του σχήματος 19.1β.

Για να λειτουργήσει σε γραμμική περιοχή, το κύκλωμα του διοδικού τμήματος

εκπομπού - βάσεως πρέπει να είναι πολωμένο κατά την ορθή φορά και οι χαρακτηριστικές εισόδου σε αυτή την περίπτωση είναι όμοιες με εκείνες της διόδου με πόλωση ορθής φοράς. Για την περίπτωση που η τάση V_{BC} είναι μηδέν (ανοικτό κύκλωμα συλλέκτη), η χαρακτηριστική εισόδου είναι ίδια με τη χαρακτηριστική μιας τυπικής διόδου από το ίδιο υλικό (καμπύλη του σχήματος 19.1β για $V_{BC} = 0$). Όταν το κύκλωμα βάσεως - συλλέκτη πολωθεί κατά την ανάστροφη φορά, η χαρακτηριστική καμπύλη εισόδου μετατοπίζεται προς τα αριστερά, όπως φαίνεται στο διάγραμμα του σχήματος 19.1β (καμπύλες για $V_{BC} = 5\text{ V}$ ή 10 V).

Για να λειτουργήσει στη γραμμική περιοχή το κύκλωμα βάσεως - συλλέκτη πρέπει να πολωθεί κατά την ανάστροφη φορά, οπότε οι χαρακτηριστικές καμπύλες εισόδου έχουν τη μορφή που φαίνεται στο διάγραμμα του σχήματος 19.1γ.



Σχ. 19.1γ.

Κάθε καμπύλη του διαγράμματος αυτού δείχνει τις μεταβολές του I_C σε σχέση με τις μεταβολές της τάσεως V_{BC} για κάποια σταθερή τιμή του ρεύματος I_E . Η καμπύλη για $I_E = 0$ (ανοικτό το κύκλωμα του εκπομπού) αντιπροσωπεύει το ρεύμα διαρροής δια μέσου της ενώσεως βάσεως - συλλέκτη, αφού V_{BC} είναι η ανάστροφη τάση που εφαρμόζεται σε αυτό το τμήμα.

Καθώς το I_E αυξάνεται, το I_C αυξάνεται επίσης και πλησιάζει προς το I_E . Ας σημειωθεί ότι για $V_{BC} = 0$, το I_C είναι ακόμη σχεδόν ίσο με το I_E . Για να μηδενισθεί το ρεύμα του συλλέκτη I_C , πρέπει το διοδικό τμήμα βάσεως - συλλέκτη να πολωθεί κατά την ορθή φορά. Αυτό είναι μία από τις ιδιορρυθμίες της συνδεσμολογίας κοινής βάσεως και οφείλεται στο δυναμικό που δημιουργείται μεταξύ βάσεως - συλλέκτη.

Οι χαρακτηριστικές καμπύλες του συλλέκτη μπορεί να χωρισθούν σε τρεις περιοχές λειτουργίας, όπως φαίνεται στο διάγραμμα του σχήματος 19.1δ.

Η περιοχή 1 είναι η περιοχή κόρου, γιατί το I_C γίνεται μέγιστο, ενώ η V_{BC} είναι ελάχιστη. Η περιοχή 2 είναι η γραμμική και σε αυτήν εργάζεται το τρανζίστορ. Η περιοχή 3 είναι περιοχή αποκοπής, αφού το I_C είναι σχεδόν μηδέν για οποιαδήποτε τάση V_{BC} .

Οι χαρακτηριστικές καμπύλες μπορεί να χρησιμοποιηθούν για υπολογισμό των σταθερών λειτουργίας του τρανζίστορ. Π.χ. η στατική του αντίσταση σε κάποιο σημείο λειτουργίας υπολογίζεται από τη σχέση:

$$R_{\sigma} = \frac{V_{BE}}{I_E}$$

Η δυναμική του αντίστασης υπολογίζεται από τη σχέση:

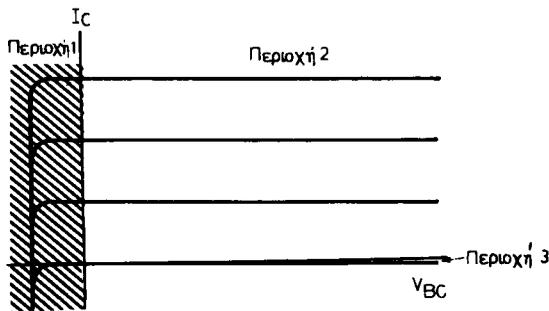
$$R_{\delta} = \frac{\Delta V_{BE}}{\Delta I_E}$$

Η απολαβή εναλλασσόμενου ρεύματος του τρανζίστορ (πάντοτε για κάποιο σημείο λειτουργίας του) δίνεται από τη σχέση:

$$A_i = \frac{\Delta I_C}{\Delta I_E} = \alpha$$

Τέλος η αντίσταση εξόδου του τρανζίστορ υπολογίζεται από τις χαρακτηριστικές του καμπύλες σύμφωνα με τη σχέση:

$$R_{εξ} = \frac{\Delta V_{BC}}{\Delta I_C}$$



Σχ. 19.16.

Τα χαρακτηριστικά γνωρίσματα του κυκλώματος ενισχυτή κοινής βάσεως είναι:

Μικρή αντίσταση εισόδου: 10 - 150 Ω.

Μεγάλη αντίσταση εξόδου: 10 kΩ - 1 MΩ.

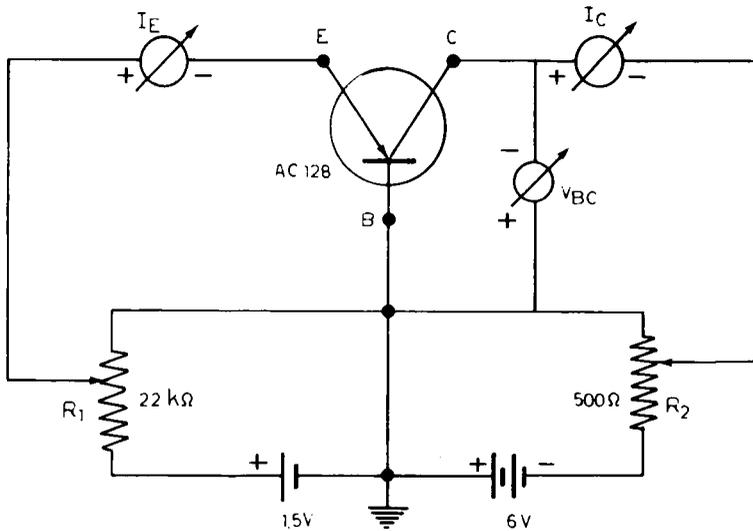
Ενίσχυση ρεύματος μικρότερη από τη μονάδα: 0,95 - 0,98.

Ενίσχυση ισχύος: 20 - 30 db.

Δεν υπάρχει διαφορά φάσεως μεταξύ σήματος εισόδου και ενισχυμένου σήματος στην έξοδο (διαφορά φάσεως 0°).

19.2 Εργασία.

1) Συνδέσετε το κύκλωμα του σχήματος 19.2. Σε αυτό, το ποτασιόμετρο R_1 ρυθμίζει την τάση εκπομπού - βάσεως (και επομένως το ρεύμα εκπομπού I_E) ενώ το R_2 ρυθμίζει την τάση βάσεως - συλλέκτη V_{BC} . Με το ποτασιόμετρο R_1 να ρυθμίσετε το ρεύμα $I_E = 2 \text{ mA}$ και να το κρατάτε σταθερό. Με το R_2 να μεταβάλλετε την τάση V_{BC} από 0 V ως - 5 V (ανά 1 V) και να πάρετε μετρήσεις του ρεύματος I_C .



Σχ. 19.2.
Κύκλωμα κοινής βάσεως.

Η ίδια εργασία να γίνει για $I_E = 3 \text{ mA}$ (σταθερό). Να χαράξετε τις δύο καμπύλες $I_C = f(V_{BC}) / I_E$ σταθερό.

2) Να ρυθμίσετε την $V_{BC} = -3 \text{ V}$ και να την κρατήσετε σταθερή. Μεταβάλλετε το I_E (στρέφοντας το R_1) από 0 ως 8 mA, ανά 2 mA και πάρετε μετρήσεις του I_C . Χαράξετε την καμπύλη $I_C = f(I_E) / V_{BC}$ σταθερό.

3) Κρατήσετε την τάση $V_{BC} = -3 \text{ V}$ σταθερή. Συνδέσετε μιλιβολτόμετρο συνεχούς μεταξύ βάσεως και εκπομπού. Στρέφοντας το R_1 , μεταβάλλετε την τάση V_{BE} από 0 ως $-0,15 \text{ V}$, ανά $0,03 \text{ V}$ και πάρετε μετρήσεις του I_E . Χαράξετε την καμπύλη $I_E = f(V_{BE}) / V_{BC}$ σταθερό.

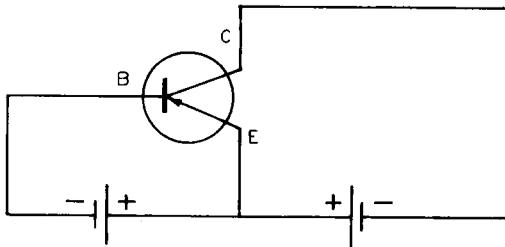
4) Να ρυθμίσετε το $I_E = 3 \text{ mA}$ και να το κρατήσετε σταθερό. Μεταβάλλετε την τάση V_{BC} από 0 V ως -5 V , ανά 1 V, και πάρετε μετρήσεις της τάσεως V_{BE} . Χαράξετε την καμπύλη $V_{BE} = f(V_{BC}) / I_E$ σταθερό.

ΑΣΚΗΣΗ 20

ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΕΣ ΚΑΜΠΥΛΕΣ ΤΡΑΝΖΙΣΤΟΡ ΣΕ ΣΥΝΔΕΣΜΟΛΟΓΙΑ ΚΟΙΝΟΥ (ΓΕΙΩΜΕΝΟΥ) ΕΚΠΟΜΠΟΥ

20.1 Γενικά.

Στην άσκηση αυτή θα εξετασθούν τα χαρακτηριστικά που παρουσιάζει ένα κύκλωμα τρανζίστορ σε συνδεσμολογία κοινού εκπομπού με τη χάραξη και μελέτη των χαρακτηριστικών του καμπυλών εισόδου και εξόδου. Τέτοιο κύκλωμα φαίνεται στο σχήμα 20.1α.



Σχ. 20.1α.

Η χαρακτηριστική καμπύλη εισόδου αυτού του κυκλώματος δείχνει τις μεταβολές του ρεύματος βάσεως I_B σε σχέση με τις μεταβολές της τάσεως V_{EB} που εφαρμόζεται μεταξύ εκπομπού και βάσεως. Η μορφή της καμπύλης αυτής φαίνεται στο σχήμα 20.1β.

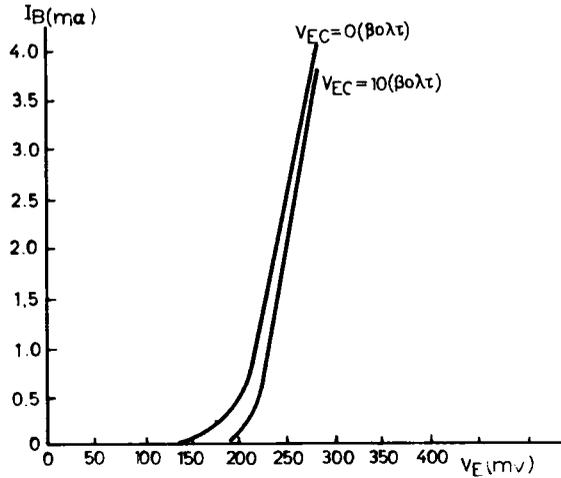
Για να λειτουργήσει στην περιοχή του ευθύγραμμου τμήματος της χαρακτηριστικής, το διοδικό τμήμα εκπομπός - βάση του τρανζίστορ πρέπει να πολωθεί κατά την ορθή φορά. (Για το τρανζίστορ PNP του σχήματος 20.1α, η βάση πρέπει να είναι αρνητική σε σχέση με τον εκπομπό). Γι' αυτό οι χαρακτηριστικές εισόδου του τρανζίστορ είναι όμοιες με εκείνες μιας κρυσταλλοδιόδου με πόλωση ορθής φοράς.

Στο κύκλωμα κοινού εκπομπού του σχήματος 20.1α το διοδικό τμήμα εκπομπός - βάση λειτουργεί με πολύ μικρή ένταση ρεύματος βάσεως και η δυναμική αντίστασή του είναι λίγο μεγαλύτερη από εκείνη του κυκλώματος κοινής βάσεως που εξετάσθηκε στην προηγούμενη άσκηση.

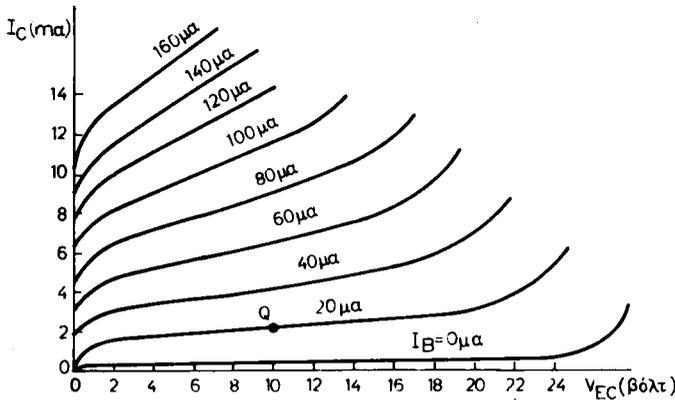
Το διοδικό τμήμα συλλέκτης - βάση πρέπει να πολώνεται κατά την ανάστροφη

φορά, οπότε οι χαρακτηριστικές που προκύπτουν έχουν τη μορφή των χαρακτηριστικών που φαίνονται στα σχήματα 20.1γ και 20.1δ.

Κάθε καμπύλη εκφράζει τις μεταβολές του I_C (ρεύμα συλλέκτη) σε σχέση με τις μεταβολές V_{EC} (τάση μεταξύ εκπομπού - συλλέκτη) για κάποια σταθερή τιμή του I_B (ρεύματος βάσεως). Η καμπύλη για ρεύμα $I_B = 0$ (διακοπή στη βάση), αντιπροσωπεύει το ρεύμα διαρροής I_{CE0} μεταξύ συλλέκτη - εκπομπού. Όταν το I_B αυξάνεται, το I_C αυξάνεται επίσης και γίνεται πολύ μεγαλύτερο από το I_B .



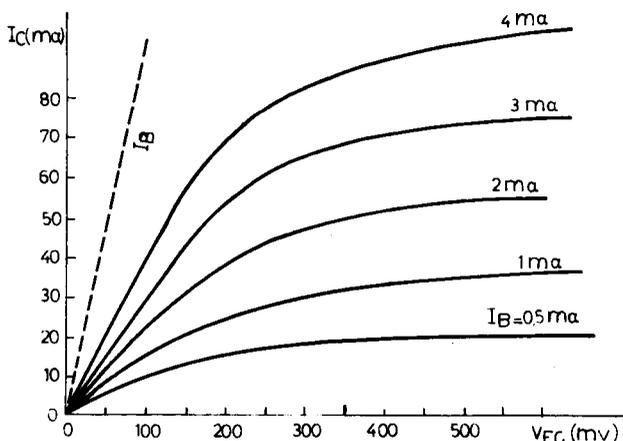
Σχ. 20.1β.



Σχ. 20.1γ.

Η ενίσχυση (απολαβή) συνεχούς, β_{dc} , είναι ο λόγος του ρεύματος εξόδου I_C προς το ρεύμα εισόδου I_B σε κάποιο σημείο λειτουργίας. Έτσι:

$$\beta_{dc} = \frac{I_C}{I_B}$$



Σχ. 20.16.

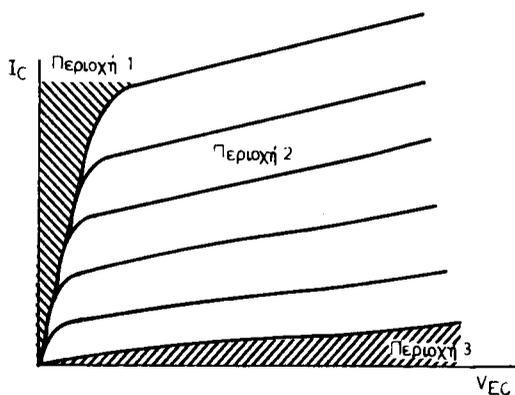
Για παράδειγμα, η ενίσχυση ρεύματος στο σημείο Q του σχήματος 20.1 γ είναι:

$$\beta_{dc} = \frac{2 \text{ mA}}{20 \mu\text{A}} = 100$$

Εδώ πρέπει να σημειωθεί ότι το β_{dc} εξαρτάται από την τάση V_{EC} . Συγκρινόμενες με τις καμπύλες του συλλέκτη στο κύκλωμα κοινής βάσεως, οι χαρακτηριστικές του συλλέκτη στο κύκλωμα που μελετάμε (κοινού εκπομπού), έχουν μεγαλύτερη κλίση, που σημαίνει ότι η αντίσταση εξόδου σε έναν ενισχυτή κοινού εκπομπού είναι χαμηλή.

Οι χαρακτηριστικές καμπύλες του συλλέκτη στο κύκλωμα κοινού εκπομπού μπορεί να χωρισθούν σε τρεις περιοχές λειτουργίας, όπως και στην περίπτωση του κυκλώματος με κοινή βάση.

Στο σχήμα 20.1ε, η περιοχή 1 είναι περιοχή κόρου, αφού το ρεύμα I_C είναι



Σχ. 20.1ε.

μέγιστο όταν η τάση V_{EC} είναι ελάχιστη. Η περιοχή 2 είναι η γραμμική περιοχή και σε αυτή δουλεύει κανονικά το τρανζίστορ. Η περιοχή 3 είναι περιοχή αποκοπής, αφού το I_C είναι σχεδόν μηδέν για οποιαδήποτε τιμή της τάσεως V_{EC} .

Οι χαρακτηριστικές καμπύλες μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τον υπολογισμό βασικών στοιχείων ενός ενισχυτή με τρανζίστορ κοινού εκπομπού σε διάφορα σημεία λειτουργίας. Η δυναμική αντίσταση εισόδου π.χ., υπολογίζεται από τις χαρακτηριστικές του σχήματος 20.1β, ως ο λόγος ΔV_{EB} προς ΔI_B γύρω από κάποιο σημείο. Έτσι η δυναμική αντίσταση εισόδου είναι:

$$R_{\delta} = \frac{\Delta V_{EB}}{\Delta I_B}$$

Η ενίσχυση ρεύματος (εναλλασσόμενου) του τρανζίστορ δίνεται από το λόγο της μεταβολής του ρεύματος εξόδου με την αντίστοιχη μεταβολή του ρεύματος εισόδου και ορίζεται ως β ή A_i , δηλαδή:

$$A_i = \beta = \frac{\Delta I_C}{\Delta I_B}$$

Εδώ πρέπει να σημειωθεί ότι το β εξαρτάται κυρίως από την τάση V_{EC} , όπως και το β στο συνεχές.

Η απολαβή ρεύματος β στο κύκλωμα κοινού εκπομπού συνδέεται με την απολαβή ρεύματος α σε κύκλωμα κοινής βάσεως με τη σχέση:

$$\alpha = \frac{\beta}{\beta + 1}$$

Τέλος, η αντίσταση εξόδου του τρανζίστορ είναι ο λόγος της μεταβολής της τάσεως εξόδου με την αντίστοιχη μεταβολή του ρεύματος εξόδου και δίνεται από τη σχέση:

$$R_{\epsilon\epsilon} = \frac{\Delta V_{EC}}{\Delta I_C}$$

Τα γενικά χαρακτηριστικά αυτού του κυκλώματος είναι:

Σύνθετη αντίσταση εισόδου μέτρια: 500 - 5000 Ω .

Σύνθετη αντίσταση εξόδου: 500 - 50 000 Ω .

Απολαβή τάσεως υψηλή: 500 - 1000.

Απολαβή ισχύος υψηλή (φθάνει τις 10 000): 25 - 45 db.

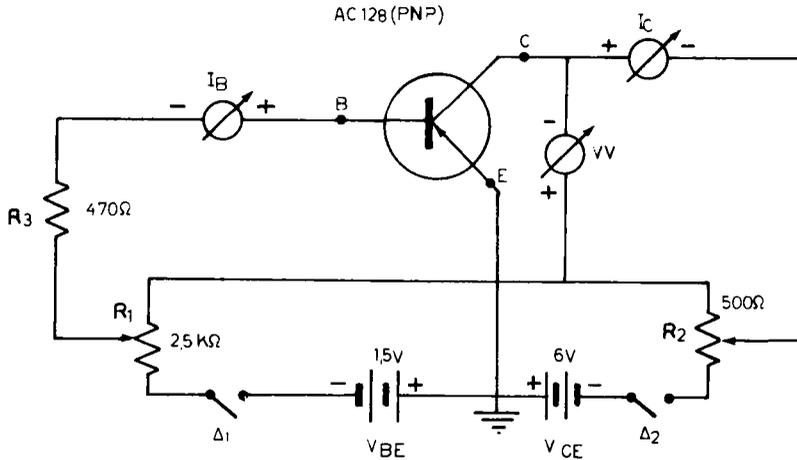
Απολαβή ρεύματος υψηλή: 50 - 100.

Η διαφορά φάσεως σημάτων εξόδου και εισόδου είναι 180°.

Είναι το κύκλωμα που χρησιμοποιείται περισσότερο γιατί, όπως σε όλα σχεδόν τα κυκλώματα με λυχνίες γειώνεται η κάθοδος, έτσι στα συνηθέστερα κυκλώματα με τρανζίστορ γειώνεται ο εκπομπός, που είναι αντίστοιχος της καθόδου.

20.2 Εργασία.

- 1) Να πραγματοποιηθεί το κύκλωμα κοινού εκπομπού (σχ. 20.2).



Σχ. 20.2.

Προσοχή: Τα ποτενσιόμετρα R_1 και R_2 να είναι στο μέγιστο πριν από την εφαρμογή τάσεως.

2) Κλείστε τους διακόπτες Δ_1 και Δ_2 . Η κλίμακα του οργάνου που μετρά το I_B να είναι στα 150 μA .

3) Με το ποτενσιόμετρο R_1 ρυθμίστε το ρεύμα I_B στα 40 μA .

4) Με το ποτενσιόμετρο R_2 να μεταβάλλετε την τάση V_{CE} από 0 - 4 V (ανά 1 V) και να σημειώσετε τις τιμές του ρεύματος I_C . Το I_B θα παραμένει σταθερό, 0 μA σε όλη τη διάρκεια των μετρήσεων.

5) Να στρέψετε το ποτενσιόμετρο R_2 στο μηδέν. Με το R_1 να ρυθμίσετε το I_B στα 60 μA . Εργασθείτε όπως στην προηγούμενη περίπτωση 4.

6) Με το R_1 να ρυθμίσετε το I_B στα 80 μA και να εργασθείτε όπως στην προηγούμενη περίπτωση. Χαράξτε τις καμπύλες μεταβολής του I_C με την τάση V_{CE} .

7) Να ρυθμίσετε με το R_2 την τάση $V_{CE} = 3 \text{ V}$ και να την κρατήσετε σταθερή. Να μεταβάλλετε με το R_1 το ρεύμα I_B από 0 - 120 μA (ανά 30 μA) και να πάρετε μετρήσεις του I_C . Χαράξτε καμπύλη μεταβολής του I_C και του I_B για $V_{CE} =$ σταθερό.

8) Να συνδέσετε βολτόμετρο συνεχούς μεταξύ βάσεως και εκπομπού. Να ρυθμίσετε με το R_2 την τάση $V_{CE} = 3 \text{ V}$ και να την κρατήσετε σταθερή σε όλη τη διάρκεια των μετρήσεων.

9) Με το R_1 να μεταβάλλετε το I_B από 0 - 60 μA ανά 10 μA και να πάρετε μετρήσεις της τάσεως V_{BE} . Χαράξτε καμπύλες.

10) Με το R_1 ρυθμίστε το $I_B = 50 \mu\text{A}$ και κρατήστέ το σταθερό. Στρέψτε το R_2 ώστε η τάση V_{CE} να μεταβάλλεται από 0 - 4 V (ανά 1 V) και πάρετε μετρήσεις της τάσεως V_{BE} . Χαράξτε καμπύλη.

ΑΣΚΗΣΗ 21

ΜΕΤΑΒΑΛΛΟΜΕΝΕΣ ΑΝΤΙΣΤΑΣΕΙΣ ΜΕ ΤΗΝ ΤΑΣΗ (V.D.R. - Voltage Dependent Resistors)

21.1 Γενικά.

Μεταβαλλόμενες αντιστάσεις με την τάση ή αντιστάσεις V.D.R., όπως λέγονται περισσότερο (από τα αρχικά των αγγλικών λέξεων Voltage Dependent Resistors), είναι οι ειδικές εκείνες αντιστάσεις των οποίων η τιμή μεταβάλλεται όταν μεταβληθεί η τάση που επικρατεί στα άκρα τους.

Φυσικά η μεταβολή της τιμής τους δεν γίνεται απεριόριστα· κυμαίνεται σε προκαθορισμένες τιμές για κάθε κατασκευή. Μεταβολή της τιμής μιας τέτοιας αντιστάσεως σε όρια π.χ. μεταξύ 1000 Ω και 10 000 Ω είναι συνηθισμένη.

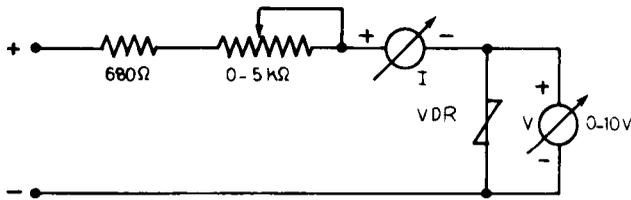
Όταν μία αντίσταση σύρματος (γραμμική) είναι συνδεδεμένη σε ένα κύκλωμα και η τάση στα άκρα της διπλασιασθεί, τότε, σύμφωνα με το νόμο του Ωμ, θα διπλασιασθεί και το ρεύμα. Στις αντιστάσεις V.D.R. που **δεν είναι γραμμικές**, όταν η τάση στα άκρα τους διπλασιασθεί το ρεύμα σε αυτές αυξάνεται περισσότερο από το διπλάσιο, πράγμα που σημαίνει ότι ελαττώθηκε η τιμή τους. Η V.D.R. 68B π.χ., με τάση 250 βολτ στα άκρα της διαρρέεται από ρεύμα 4 μιλλιαμπέρ. Όταν η τάση από 250 βολτ αυξηθεί στα 300 βολτ, το ρεύμα μέσα από την αντίσταση αυξάνεται στα 10 μιλλιαμπέρ. Δηλαδή, στο παράδειγμα αυτό, ενώ η τάση στα άκρα της V.D.R. 68B αυξήθηκε σε ποσοστό 20%, το ρεύμα για τη μεταβολή αυτή της τάσεως αυξήθηκε σε ποσοστό 150%.

Οι αντιστάσεις V.D.R. χρησιμοποιούνται ως σταθεροποιητήριες σε κυκλώματα που απαιτείται ορισμένη σταθερή τάση, όπως κυκλώματα ηλεκτρονόμων, οργάνων ακριβείας, τροφοτήσεως νημάτων λυχνιών σε δέκτες τηλεοράσεως κλπ.

21.2 Εργασία.

1) Να συνδεσμολογηθεί το κύκλωμα του σχήματος 21.2.

2) Η τάση της πηγής να αυξάνεται με τη ρυθμιστική αντίσταση, ώστε η τάση στα άκρα της V.D.R. να πάρει διαδοχικά τις τιμές που είναι σημειωμένες στον Πίνακα 21.2.1. Για κάθε τιμή της τάσεως στα άκρα της V.D.R. να μετρηθεί το ρεύμα στο κύκλωμα και οι τιμές να γραφούν στη σχετική στήλη του ίδιου πίνακα.



Σχ. 21.2.

ΠΙΝΑΚΑΣ 21.2.1.

| V (V.D.R.) (βολτ) | I (μικροαμπέρ ή μιλλιαμπέρ) | R (ωμ) |
|----------------------|--------------------------------|-----------|
| 1 | | |
| 2 | | |
| 3 | | |
| 4 | | |
| 5 | | |
| 6 | | |
| 7 | | |
| 8 | | |
| 9 | | |
| 10 | | |

3) Για κάθε ζεύγος τιμών τάσεως - ρεύματος να υπολογισθεί η τιμή της αντιστάσεως V.D.R. και να συμπληρωθεί η τρίτη στήλη του πίνακα.

4) Από τις παραπάνω τιμές να χαραχθεί σε σχετικό διάγραμμα η καμπύλη μεταβολής της αντιστάσεως, όταν μεταβάλλεται η τάση στα άκρα της. Οι τιμές της τάσεως να είναι στον οριζόντιο άξονα και της αντιστάσεως στον κατακόρυφο.

ΑΣΚΗΣΗ 22

Η ΔΙΟΔΟΣ ZENER

22.1 Γενικά.

Στην άσκηση 13 εξετάστηκαν τα χαρακτηριστικά των κρυσταλλοδιόδων. Η δίοδος Zener είναι και αυτή κρυσταλλοδίοδος με βασικές όμως διαφορές στα χαρακτηριστικά της από τις κοινές κρυσταλλοδιόδους. Το σύμβολό της φαίνεται στο σχήμα 22.1α.



Σχ. 22.1α.

Όταν είναι πολωμένη κατά την ορθή φορά, η δίοδος Zener είναι σαν κλειστός διακόπτης και το ρεύμα της αυξάνεται όταν αυξάνεται η τάση στα άκρα της. Όταν πολωθεί κατά την ανάστροφη φορά, παρουσιάζει ένα μικρό αντίθετο ρεύμα (λίγα μA) που παραμένει σταθερό παρά την αύξηση της πολώσεως. Το φαινόμενο αυτό συνεχίζεται μέχρι η πόλωση κατά την ανάστροφη φορά να φθάσει κάποια τιμή, που τη λέμε τάση Zener, οπότε για μια μικρή μεταβολή αυτής της τάσεως έχουμε μεγάλη μεταβολή στο ρεύμα.

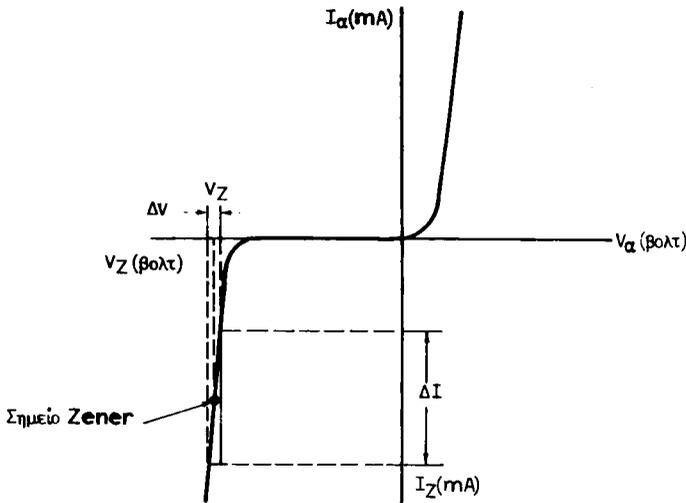
Όσο το ρεύμα περιορίζεται στα όρια κανονικής λειτουργίας από τα στοιχεία του κυκλώματος, η Zener εργάζεται κανονικά. Αν ελαττωθεί η ανάστροφη τάση πολώσεως, τότε η δίοδος Zener επανέρχεται στα αρχικά χαρακτηριστικά και διαρρέεται από το μικρό, σχεδόν σταθερό ρεύμα, που σε μερικά βιβλία αναφέρεται ως «ρεύμα κόρου». Το φαινόμενο αυτό μπορεί να επαναλαμβάνεται συνέχεια για να εξυπηρετήσει τη λειτουργία ειδικών κυκλωμάτων. Η χαρακτηριστική καμπύλη της δίοδου Zener φαίνεται στο σχήμα 22.1β.

Η δίοδος Zener χρησιμοποιείται κυρίως σε κυκλώματα σταθεροποίησης τάσεως. Ένα τέτοιο κύκλωμα φαίνεται στο σχήμα 22.1γ.

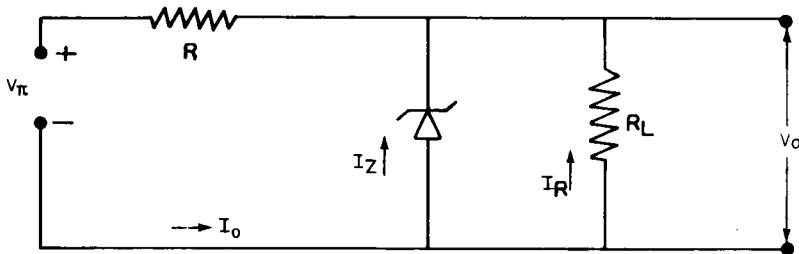
Στο κύκλωμα αυτό η Zener συνδέεται παράλληλα με το φορτίο R_L και διατηρεί σταθερή την τάση V_σ στην έξοδο με την εξής διαδικασία:

α) Όταν η τάση της πηγής V_π είναι σταθερή και μεταβάλλεται το ρεύμα στο φορτίο εξ αιτίας μεταβολής της αντιστάσεως του φορτίου, τα ρεύματα στο κύκλωμα δίνονται από τις σχέσεις:

$$I_Z = \frac{V_\sigma}{R_Z}, \quad I_L = \frac{V_\sigma}{R_L} \quad \text{καί} \quad I_o = I_Z + I_L$$



Σχ. 22.1β.



Σχ. 22.1γ.

Η τάση στα άκρα της R είναι ίση με $V_R = I_0 \cdot R$ και η τάση της πηγής $V_\pi = V_R + V_\sigma$.

Αν τώρα η V_π παραμένει σταθερή, και θέλομε να έχομε σταθερή V_σ στην έξοδο, πρέπει και η V_R να παραμένει σταθερή. Αυτό όμως εξαρτάται από τα ρεύματα I_Z και I_L . Άρα μία δίοδος Zener με τάση Zener $V_Z = V_\sigma$ παράλληλα στο φορτίο R_L **θα αντιδρά στις μεταβολές του ολικού ρεύματος**, αφού για οποιαδήποτε μικρή μεταβολή της τάσεως στα άκρα της (άκρα και της R_L) θα επιφέρει απότομη μεταβολή στο I_Z , με αποτέλεσμα το ολικό ρεύμα I_0 να παραμένει σταθερό με αντίστοιχη σταθερότητα της τάσεως στην έξοδο.

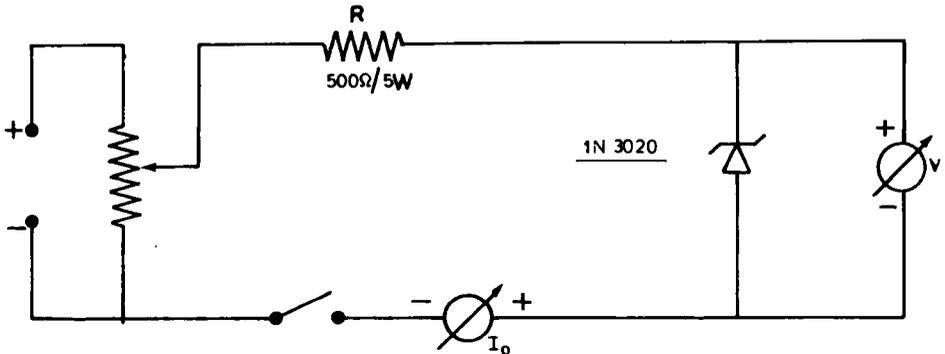
β) Στο ίδιο κύκλωμα (σχ. 22.1γ), μπορεί να έχομε σταθερό φορτίο R_L αλλά να μεταβάλλεται η τάση της πηγής V_π . Τότε, σε μία αύξηση π.χ. της V_π , παρουσιάζεται αύξηση της V_σ , αλλά τότε έχομε αμέσως αύξηση του ρεύματος I_Z στη δίοδο Zener και κατ' επέκταση αύξηση του ολικού ρεύματος I_0 , με συνέπεια την αύξηση της πτώσεως τάσεως στην R και τη σταθεροποίηση της V_σ στην έξοδο. Ανάλογο

φαινόμενο με αντίστροφη διαδικασία θα έχουμε όταν η τάση της πηγής V_{π} ελαττωθεί.

Η τιμή της R στο κύκλωμα αυτό σταθεροποιήσεως της τάσεως παίζει βασικό ρόλο και εξαρτάται από τα χαρακτηριστικά της διόδου Zener και τις συνθήκες μεταβολών της τάσεως της πηγής V_{π} και του ρεύματος στο φορτίο I_L .

22.2 Εργασία.

1) Να συνδεσμολογήσετε το κύκλωμα του σχήματος 22.2α. Ρυθμίστε το ποτενσιόμετρο ώστε η τάση στην είσοδο του κυκλώματος να είναι (μηδέν) 0 βολτ.



Σχ. 22.2α.

Με το όργανο (I_0) στη μικρότερη κλίμακα σε **συνεχές ρεύμα** και το διακόπτη του κυκλώματος κλειστό, να ελέγξετε αν υπάρχει ρεύμα και να σημειώσετε την ένδειξη.

2) Με προσοχή αυξήστε την τάση της πηγής, ώστε στα άκρα της Zener να έχετε 1 βολτ. Μετρήσετε τότε το ρεύμα I_0 .

3) Αυξήστε την τάση στα άκρα της Zener με τη σειρά που είναι σημειωμένη στον Πίνακα 22.2.1 και λάβετε τις αντίστοιχες τιμές ρεύματος.

ΠΙΝΑΚΑΣ 22.2.1.

Αντίστροφη πόλωση

| V_{π} (βολτ) | I_Z (mA) | R_Z ($\omega\mu$) |
|------------------|------------|-----------------------|
| 0 | | |
| 1 | | |
| 4 | | |
| 6 | | |
| 7 | | |
| 8 | | |
| 8,5 | | |
| 9 | | |
| 9,1 | | |
| 9,2 | | |

Να συνεχίσετε ανά ένα δέκατο του βολτ, ως την τάση 11,5 βολτ. Ελέγχετε σε κάθε μέτρηση το μιλλιαμπερόμετρό σας και αλλάζετε κλίμακα όταν χρειάζεται.

4) Από τις τιμές τάσεως και ρεύματος να υπολογίσετε για κάθε περίπτωση την τιμή της R της διόδου Zener και να συμπληρώσετε τον πίνακα της προηγούμενης ερωτήσεως.

5) Με νεκρό το κύκλωμα (ο διακόπτης ανοικτός) να αντιστραφεί η διόδος. Να γίνουν πάλι μετρήσεις και υπολογισμοί και να συμπληρωθεί ο Πίνακας 22.2.2. (1-διες μετρήσεις με πόλωση ορθής φοράς).

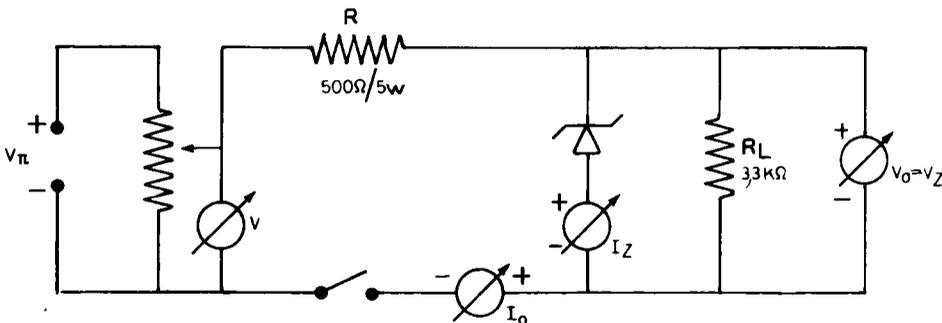
ΠΙΝΑΚΑΣ 22.2.2.

Πόλωση ορθής φοράς

| V_{π} (βολτ) | I_Z (mA) | R_Z ($\omega\mu$) |
|------------------|------------|-----------------------|
| 0 | | |
| 0,1 | | |
| 0,2 | | |
| 0,3 | | |
| 0,4 | | |
| 0,5 | | |
| 0,52 | | |
| 0,54 | | |
| 0,56 | | |

6) Από τα αποτελέσματα των μετρήσεων των ερωτήσεων 3 και 5 να χαραχθεί σε σχετικό διάγραμμα η χαρακτηριστική καμπύλη της διόδου Zener της ασκήσεως (καμπύλη μεταβολών ρεύματος σε σχέση με τις μεταβολές της τάσεως). Να σημειωθεί πάνω στην καμπύλη η περιοχή Zener.

7) Να συνδεσμολογήσετε το κύκλωμα του σχήματος 22.2β. Με τις οδηγίες που δόθηκαν για τις μετρήσεις στο προηγούμενο κύκλωμα της πρώτης ερωτήσεως, πραγματοποιήστε μετρήσεις ως εξής: Όταν το ρεύμα I_Z φθάσει τα 10 μιλλιαμπερ σημειώστε τις τάσεις V_{π} , V_Z και το ρεύμα I_0 . Στη συνέχεια, παρακολουθήστε και



Σχ. 22.2β.

σημειώστε την περιοχή μεταβολής της τάσεως της πηγής, κατά την οποία η τάση στα άκρα του φορτίου παραμένει σταθερή. Για την περίπτωση της σταθεροποιή-

σεως λάβετε τις τιμές των I_Z και I_0 . Τα αποτελέσματα των μετρήσεων να γραφούν στον Πίνακα 22.2.3.

ΠΙΝΑΚΑΣ 22.2.3.

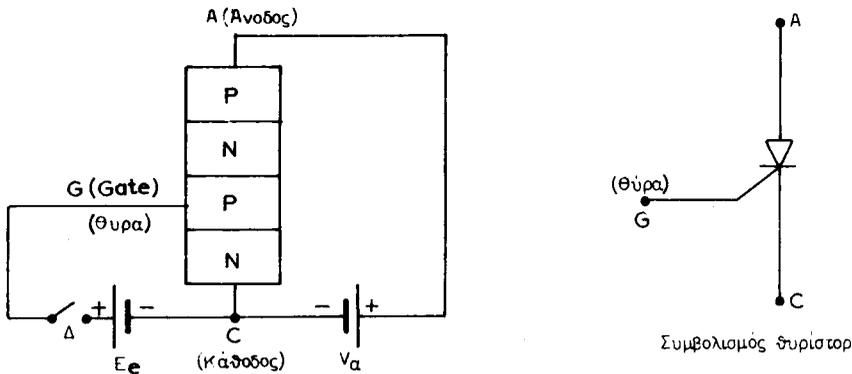
| Όρια σχετικής σταθερότητας | V_Z (βολτ) | I_Z (mA) | I_0 (mA) | V_{π} (βολτ) |
|----------------------------|--------------|------------|------------|------------------|
| | | 10 | | |
| V_{π} (μεγ.) | | | | |
| V_{π} (ελαχ.) | | | | |

ΑΣΚΗΣΗ 23

ΘΥΡΙΣΤΟΡ «SCR» (SILICON CONTROLLED RECTIFIER)

23.1 Γενικά.

Το θυρίστορ (σχ. 23.1α) είναι ένας ημιαγωγός με τέσσερις ζώνες P - N - P - N και συμπεριφέρεται όπως και η λυχνία θύρατρον. Η θύρατρον είναι μία τρίοδος ή τέτροδος λυχνία που περιέχει ατμούς υδραργύρου ή άλλου αερίου. Όταν η τάση μεταξύ ανόδου - καθόδου, σε μία τέτοια λυχνία, φθάσει σε κάποια ορισμένη τιμή το αέριο ιονίζει. Μετά τον ιονισμό το πλέγμα παύει να δρα όπως στις λυχνίες κενού και η λειτουργία της θύρατρον είναι εντελώς διαφορετική. Οι λυχνίες θύρατρον χρησιμοποιήθηκαν στο παρελθόν σε ρυθμιζόμενες ανορθωτικές διατάξεις και στην παραγωγή πριονωτών κυμάτων για τους παλμογράφους και την τηλεόραση. Σήμερα έχουν αντικατασταθεί από τα θυρίστορ.



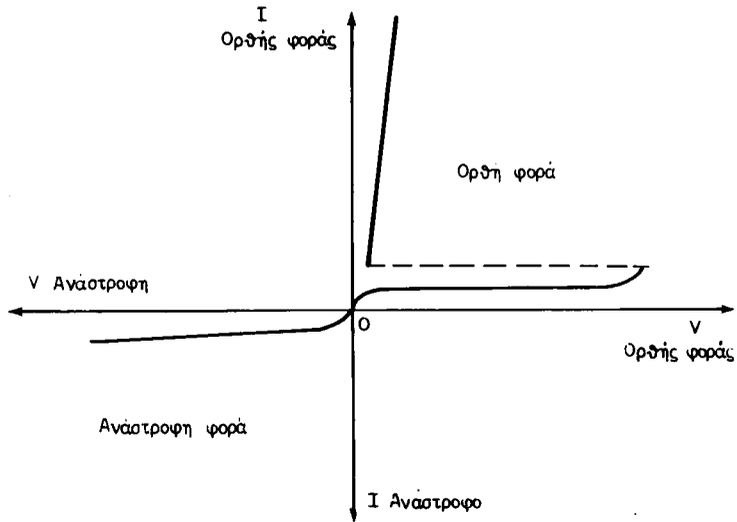
Σχ. 23.1α.

Κύκλωμα SCR με συνεχή δυναμικά.

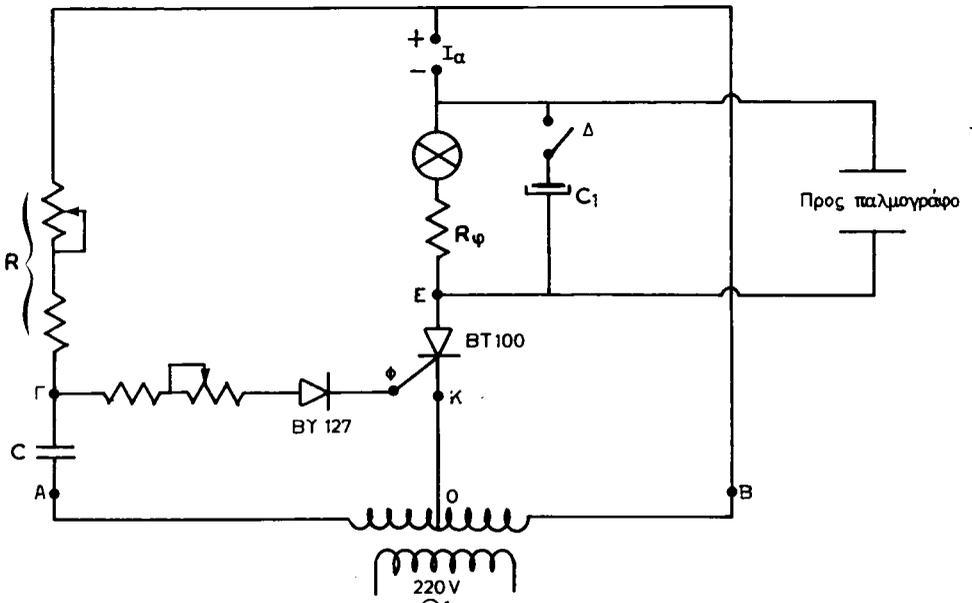
Το θυρίστορ πλεονεκτεί από τη θύρατρον, γιατί έχει όλα τα χαρακτηριστικά των ημιαγωγών και ακόμα γιατί παρέχει μεγάλα ρεύματα ως και εκατοντάδες αμπέρ με υψηλή ανάστροφη τάση ως και 1000 βολτ. Χρησιμοποιείται κυρίως για ανόρθωση ισχυρών εναλλασσομένων ρευμάτων και μπορεί να εργασθεί σε υψηλές θερμοκρασίες.

Ακόμη, το θυρίστορ διαφέρει από τη θύρατρον στο ρεύμα πλέγματος I_G (ρεύμα αγωγιμότητας - μερικά μιλλιαμπέρ) που απαιτείται για την έναρξη λειτουργίας του (σχ. 23.1β).

Στο κύκλωμα του σχήματος 23.1γ επιτυγχάνεται ρυθμιζόμενη ανόρθωση της εναλλασσόμενης τάσεως με θυρίστωρ. Σε αυτό προκαλείται μεταβολή της φάσεως στην τάση ανόδου - καθόδου (V_{OB}) σε σχέση με την τάση θύρας (Gate) - καθόδου (V_{OD}) από $0^\circ - 180^\circ$ ανάλογα με την τάση στην αντίσταση R (σχ. 23.1δ).

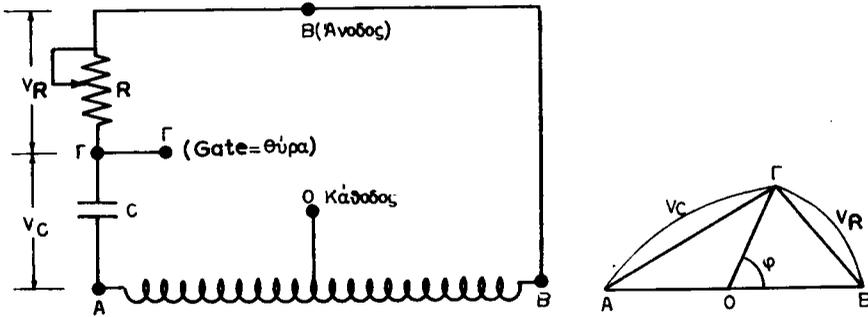


Σχ. 23.1β.

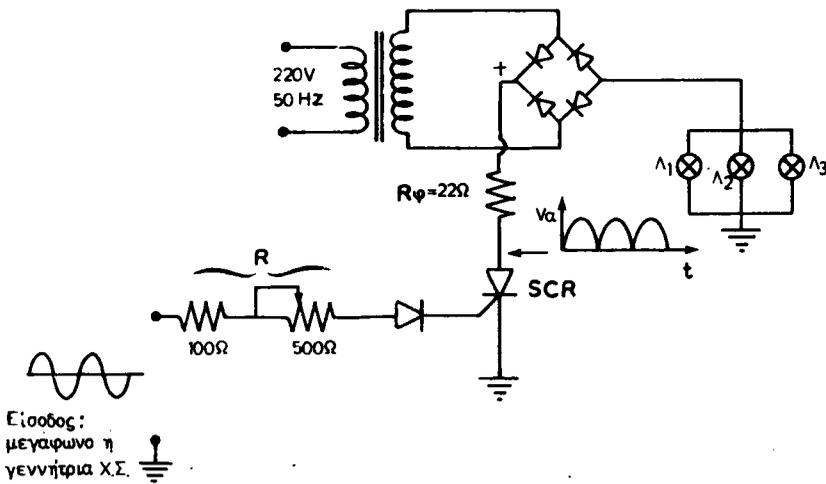


Σχ. 23.1γ.
Ανόρθωση με θυρίστωρ.

Στο κύκλωμα του σχήματος 23.1γ αν συνδεσμοποιηθεί σε σειρά με την αντίσταση R_{ϕ} ένας κινητήρας συνεχούς έχουμε τη δυνατότητα να ρυθμίζουμε την ταχύτητα περιστροφής του.



Σχ. 23.16.



Σχ. 23.1ε.

Μία απλή εφαρμογή του θυρίστορ (SCR) σε κύκλωμα ανορθώσεως φαίνεται στο σχήμα 23.1ε. Στο κύκλωμα αυτό ρυθμίζεται η ένταση των λαμπτήρων Λ_1 , Λ_2 και η Λ_3 ανάλογα με το πλάτος της τάσεως εισόδου στη θύρα του SCR. Λόγω της γέφυρας ανορθώσεως στο θυρίστορ μεταβάλλεται η τάση ανόδου με συχνότητα 100 Hz. Αν η τάση Χ.Σ. στην είσοδο του θυρίστορ είναι θετική και έχει πλάτος ικανό να προκαλέσει ρεύμα αγωγιμότητας στο θυρίστορ και ταυτόχρονα η στιγμιαία τιμή του παλμού τάσεως ανόδου είναι μεγαλύτερη από 5 βολτ, το θυρίστορ άγει και οι λαμπτήρες ανάβουν.

Το θυρίστορ σταματά την αγωγιμότητα και οι λαμπτήρες σβήνουν, όταν η τιμή της τάσεως ανόδου ελαττώνεται λόγω παλμού τάσεως της γέφυρας (φωτορρυθμικά κυκλώματα).

23.2 Εργασία.

1) Στο κύκλωμα του σχήματος 23.1γ να συνδέσετε σε σειρά με την R_{ϕ} μιλλι-αμπερόμετρο στην κλίμακα των 50 μιλλιαμπέρ, ο διακόπτης Δ εκτός (OFF). Να ρυθμίσετε τον παλμογράφο για να παρέχει στίγμα και να παρατηρήσετε, όταν μεταβάλλεται η R , τη διαφορά φάσεως των σημείων ανάλογα με την τιμή της R . Να καταγράψετε τα αντίστοιχα παλμογραφήματα και τις ενδείξεις του μιλλιαμπερομέ-τρου. Από τις ενδείξεις αυτές και από τη φωτεινότητα του λαμπτήρα να διαπιστώ-σετε τη διαφορά φάσεως στις διάφορες θέσεις της R .

2) Να ρυθμίσετε τόν παλμογράφο ώστε να παρέχει σάρωση στη θέση LINE και να συνδεσμολογήσετε την κατακόρυφη είσοδο αυτού στα άκρα της R_{ϕ} : αφού μεταβάλλετε την R να σχεδιάσετε τα παλμογραφήματα πάνω στην R_{ϕ} . Τοποθε-τήσετε το διακόπτη Δ εντός (ON) και σημειώσετε τα παλμογραφήματα πάνω στην R_{ϕ} , την τάση στα άκρα της και το I_{α} και εξηγήσετε όλες αυτές τις ενδείξεις.

3) Στη διάταξη με τον κινητήρα συνδεσμολογήσετε σε σειρά μιλλιαμπερόμετρο συνεχούς και τροφοδοτήσετε τη διάταξη (διακόπτης Δ εκτός). Μεταβάλλοντες την R σημειώσετε το ελάχιστο ρεύμα λειτουργίας του. Σημειώσετε την επίδραση της μεταβολής της R στο ρεύμα και την ταχύτητα του κινητήρα και σχολιάσετε την όλη λειτουργία του κυκλώματος.

4) Στην είσοδο του ρυθμιστικού (σχ. 23.1ε) οδηγήσετε χαμηλή συχνότητα 20 Hz και τροφοδοτήσετε το κύκλωμα. Αφού αυξήσετε το πλάτος της τάσεως ει-σόδου, παρατηρήσετε τους λαμπτήρες. Λάβετε παλμογραφήματα στα άκρα των λαμπτήρων και του θυρίστορ. Σχεδιάσετε και εξηγήσετε τη μορφή των παλμογρα-φημάτων αυτών.

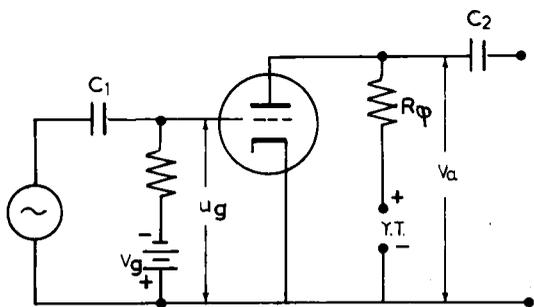
ΑΣΚΗΣΗ 24

ΕΝΙΣΧΥΣΗ ΕΝΑΛΛΑΣΣΟΜΕΝΗΣ ΤΑΣΕΩΣ ΜΕ ΤΡΙΟΔΟ ΛΥΧΝΙΑ

24.1 Γενικά.

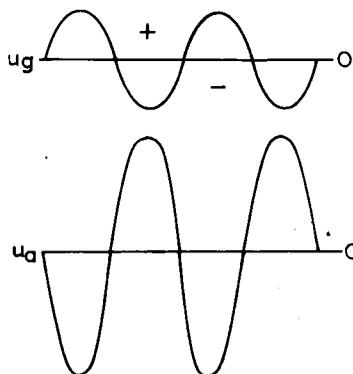
Στους ενισχυτές εναλλασσόμενης τάσεως με τρίοδο λυχνία, ένα σήμα μεταβαλλόμενης τάσεως εισάγεται στο πλέγμα της ενισχύτριας λυχνίας. Το σήμα αυτό ενισχύεται και εμφανίζεται με μεγαλύτερο πλάτος στην άνοδο της λυχνίας.

Στο σχήμα 24.1α παριστάνεται το κύκλωμα μιας τριόδου που έχει συνδεσμοποιηθεί σαν ενισχύτρια. Μία εναλλασσόμενη τάση U_g οδηγείται από τον πυκνωτή C_1 στο πλέγμα της λυχνίας. Το πλέγμα είναι πολωμένο, δηλαδή έχει ένα συνεχές δυναμικό, από την πηγή V_g με τέτοια πολικότητα, ώστε να είναι αρνητικό σε σχέση με την κάθοδο. Μία αντίσταση φόρτου έχει συνδεθεί μεταξύ άνοδου και του συν της υψηλής τάσεως (Υ.Τ).



Σχ. 24.1α.

Τρίοδος ενισχύτρια εναλλασσόμενης τάσεως.

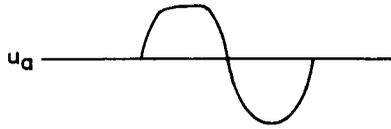


Σχ. 24.1β.

Κυματομορφές τάσεων πλέγματος και άνοδου της ενισχύτριας λυχνίας.

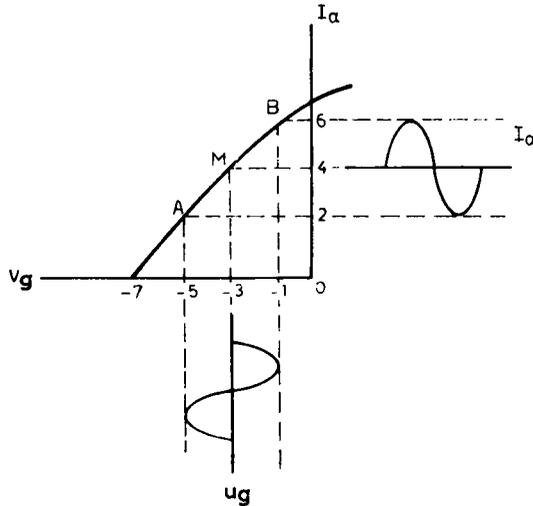
Οι μεταβολές της τάσεως άνοδου U_a (ως προς την κάθοδο) είναι αποτέλεσμα των μεταβολών της τάσεως πλέγματος U_g . Στο σχήμα 24.1β φαίνεται το ημιτονικό σήμα εισόδου U_g που δρα στο πλέγμα και η κυματομορφή του σήματος U_a που εμφανίζεται στην άνοδο. Η τάση αυτή U_a είναι ενισχυμένη και, χωρίς καμιά παραμόρφωση, αναπαραγωγή του σήματος εισόδου U_g . Δηλαδή η λυχνία ενίσχυσε το σήμα εισόδου (μεγάλωσε το πλάτος του) χωρίς να το παραμορφώσει.

Αντίθετα στο σχήμα 24.1γ φαίνεται η κυματομορφή μιας ανοδικής τάσεως, η



Σχ. 24.1γ.

Κυματομορφή παραμορφωμένου σήματος ανόδου.



Σχ. 24.1δ.

Χαρακτηριστική V_g/I_α της τριόδου ενισχύτριας με ανοδική αντίσταση φόρτου.

οποία όμως έχει υποστεί παραμόρφωση από την ενισχύτρια λυχνία. Το θετικό ημίκυμα της τάσεως έχει κάπως ισοπεδωθεί (αποκορυφωθεί).

Στους ενισχυτές γενικά έχει μεγάλη σημασία το ενισχυμένο σήμα να είναι δίχως παραμορφώσεις. Για να συμβαίνει αυτό, πρέπει η ενισχύτρια να εργάζεται στο ευθύγραμμο τμήμα της χαρακτηριστικής V_g/I_α (τάσεως πλέγματος - ρεύματος ανόδου). Στο σχήμα 24.1δ το ευθύγραμμο τμήμα της χαρακτηριστικής V_g/I_α είναι το AB. Το σημείο M είναι το μέσον του. Ας υποθέσουμε ότι η τάση V_g παίρνει τις τιμές $V_g = -5, -3, -1$ βολτ και ότι οι αντίστοιχες τιμές του ανοδικού ρεύματος είναι $I_\alpha = 2, 4, 6$ μιλλιαμπέρ. (Οι τιμές αυτές αντιστοιχούν στα σημεία A, M και B).

Για να έχουμε ενίσχυση χωρίς παραμορφώσεις, η λυχνία έχει πολωθεί στα -3 βολτ, δηλαδή στο μέσον του ευθύγραμμου τμήματος. Το σημείο αυτό πολώσεως ονομάζεται **σημείο λειτουργίας** της λυχνίας. Το μέγιστο πλάτος U_g που μπορεί να εισαχθεί στο πλέγμα της λυχνίας, και το οποίο μπορεί να ενισχυθεί δίχως να παραμορφωθεί, είναι ένα σήμα 4 βολτ από κορυφή σε κορυφή (P.P. - Peak to Peak). Έτσι, αν το σημείο λειτουργίας είναι στα -3 βολτ, το δυναμικό του πλέγματος της λυχνίας θα μεταβάλλεται μεταξύ των ορίων -5 και -1 βολτ. Τότε το ρεύμα ανόδου I_α θα μεταβάλλεται ακολουθώντας πιστά τις μεταβολές του σήματος που

εφαρμόζεται στο πλέγμα. Το ίδιο θα μεταβάλλεται και η ανοδική τάση που προκύπτει από τις μεταβολές του ανοδικού ρεύματος.

Αν τὸ σήμα εισόδου U_g έχει πλάτος μεγαλύτερο από 4 βολτ (από κορυφή σε κορυφή), π.χ. αν είναι 10 βολτ P - P, τότε θα έχουμε παραμόρφωση τόσο στη θετική όσο και στην αρνητική εναλλαγή του σήματος εισόδου. Κατά την αρνητική εναλλαγή η λυχνία θα οδηγηθεί σε αποκοπή (στο σχημα 24.1 δ φαίνεται ότι η τάση αποκοπής της λυχνίας είναι - 7 βολτ). Κατά δε τη θετική εναλλαγή το ρεύμα ανόδου θα υποστεί παραμόρφωση προς τα δεξιά του σημείου Β.

Επομένως είναι φανερό ότι οι συνθήκες λειτουργίας μιας ενισχύτριας λυχνίας πρέπει να έχουν ρυθμισθεί κατάλληλα, ώστε να ενισχύονται χωρίς παραμορφώσεις τα σήματα εισόδου.

Η απολαβή Α (Amplification) μιας βαθμίδας ενισχύσεως εναλλασσόμενης τάσεως μπορεί να υπολογισθεί πειραματικά, αν συγκρίνουμε την εναλλασσόμενη τάση εξόδου U_a με την εναλλασσόμενη τάση U_g .

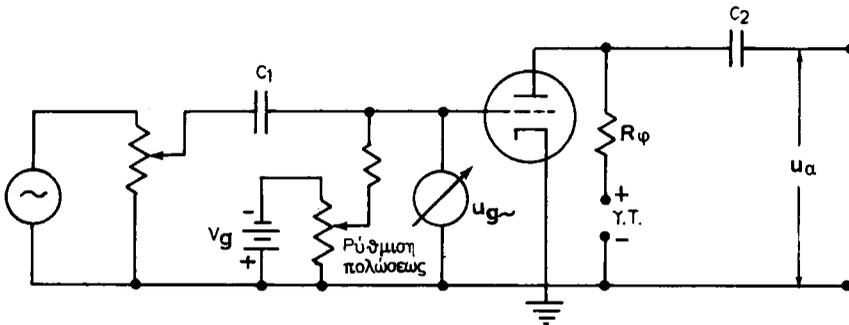
$$\text{Η απολαβή δίνεται από τη σχέση: } A = \frac{U_a}{U_g}$$

Συνεπώς η απολαβή βρίσκεται, όταν μετρήσουμε τις εναλλασσόμενες τάσεις εισόδου και εξόδου και αντικαταστήσουμε τις τιμές που θα προκύψουν από τις μετρήσεις στην παραπάνω σχέση.

Στην εργασία που ακολουθεί θα παρατηρήσουμε πρώτα στον παλμογράφο τα αποτελέσματα της ενισχύσεως ενός σήματος από μία τρίοδο λυχνία και θα μετρήσουμε την απολαβή της βαθμίδας. Στη συνέχεια θα παρατηρήσουμε πώς προκαλείται παραμόρφωση του σήματος κατά την ενίσχυση, γιατί η ενισχύτρια δεν έχει την κατάλληλη πόλωση.

24.2 Εργασία.

- 1) Να συνδεσμοποιηθεί το κύκλωμα του σχήματος 24.2.



Σχ. 24.2.

- 2) Τροφοδοτήσετε το νήμα της λυχνίας (6,3 βολτ), το πλέγμα της (- 4 βολτ) και την άνοδό της (+ 200 βολτ).

- 3) Ρυθμίσετε την τάση του εναλλασσόμενου (ημιτονικού) σήματος εισόδου U_g

ώστε να είναι 3 βολτ από κορυφή σε κορυφή μεταξύ πλέγματος - καθόδου (περίπου 1,1 βολτ ενεργά). Οδηγήσετε αυτό το σήμα εισόδου σε παλμογράφο και αφού το παρατηρήσετε σχεδιάσετε τη μορφή του.

4) Μετρήσετε την εναλλασσόμενη τάση U_a . Οδηγήστε την στον παλμογράφο και σχεδιάσετε την κυματομορφή της (από κορυφή σε κορυφή).

5) Να κρατήσετε συνέχεια την τάση εισόδου στα 3 βολτ P - P και να μεταβάλλετε την πόλωση της λυχνίας σε τιμές γύρω από τα ± 4 βολτ. Για κάθε τιμή πόλωσης παρατηρείτε στον παλμογράφο και μετράτε την τάση εξόδου U_a σημειώνοντας την τιμή της από κορυφή σε κορυφή. Σημειώσετε αν η τάση εξόδου είναι ή δεν είναι παραμορφωμένη.

6) Να υπολογίσετε την απολαβή της βαθμίδας.

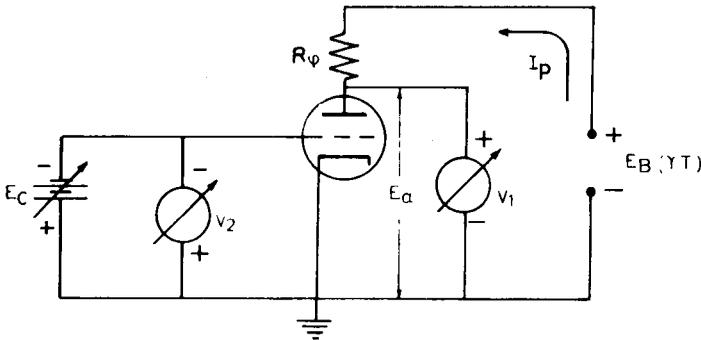


ΑΣΚΗΣΗ 25

ΕΝΙΣΧΥΣΗ ΣΥΝΕΧΟΥΣ ΤΑΣΕΩΣ ΜΕ ΤΡΙΟΔΟ ΛΥΧΝΙΑ (Ενισχύτρια αμέσου συζεύξεως)

25.1 Γενικά.

Ενισχυτής συνεχούς τάσεως (ή ενισχυτής αμέσου συζεύξεως) ονομάζεται η ενισχυτική βαθμίδα, η οποία μετατρέπει μικρές μεταβολές συνεχούς τάσεως σε μεταβολές συνεχούς τάσεως με μεγαλύτερο πλάτος. Το κύκλωμα του σχήματος 25.1α δείχνει ένα τέτοιο ενισχυτή.



Σχ. 25.1α.

Η πηγή E_B παρέχει σταθερή τάση για την τροφοδότηση της ανόδου. Η πηγή E_C , που τροφοδοτεί το πλέγμα, μπορεί να μεταβάλλει την τάση της, ώστε να φανεί στο κύκλωμα της ανόδου το αποτέλεσμα της ενισχυτικής δράσεως της λυχνίας. Όπως είναι φανερό, το κύκλωμα του σχήματος 25.1α διαφέρει από τη συνδεσμολογία για τη λήψη στατικών χαρακτηριστικών της τριόδου (άσκηση 10) στο εξής:

Το κύκλωμα του σχήματος 25.1α έχει μεταξύ της λυχνίας και του συν (+) της υψηλής τάσεως μια αντίσταση, τη λεγόμενη αντίσταση φόρτου (R_ϕ). Όταν από τη λυχνία διέρχεται ρεύμα, διέρχεται επίσης και από την αντίσταση φόρτου. Για κάθε τιμή της τάσεως πλέγματος, αντιστοιχεί μια τιμή της εντάσεως του ρεύματος ανόδου της λυχνίας, το οποίο δημιουργεί μεταξύ ανόδου - καθόδου μία πτώση τάσεως, έστω την E_a .

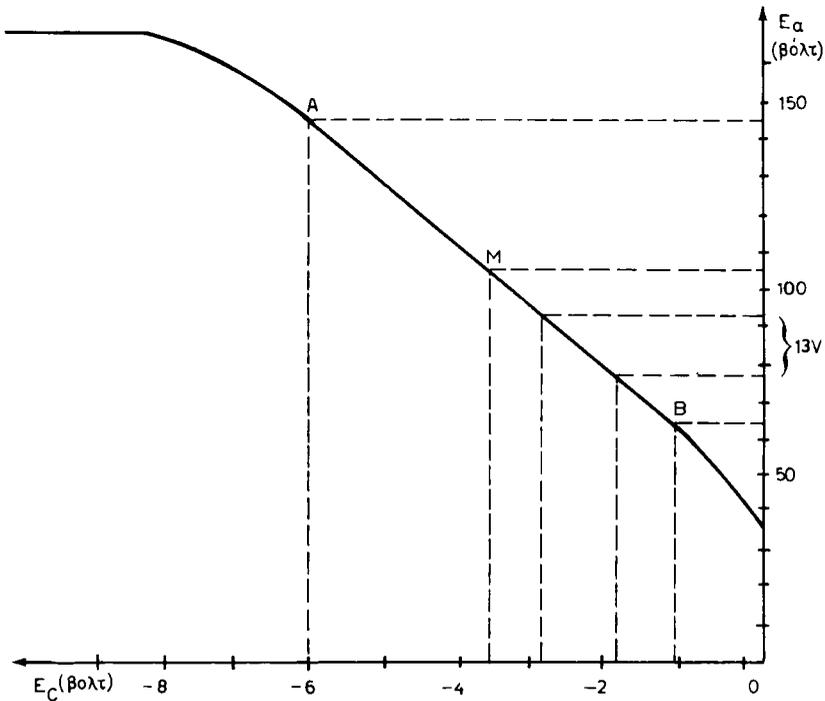
Αν εφαρμόσουμε τον κανόνα του Κίρκωφ, θα έχουμε:

$$E_B = E_a + R_\phi \cdot I_a \quad \text{Άρα:} \quad E_a = E_B - R_\phi \cdot I_a$$

Δηλαδή, η μεταξύ ανόδου - καθόδου τάση είναι ίση με την τάση της πηγής μείον την πτώση τάσεως στην αντίσταση φόρτου.

Αν η τάση πλέγματος E_C γίνει περισσότερο αρνητική, το ρεύμα δια μέσου της λυχνίας θα ελαττωθεί και η πτώση τάσεως στην αντίσταση φόρτου ($R_\phi \cdot I_a$) θα ελαττωθεί επίσης. Άρα η τάση E_a θα αυξηθεί (η τάση της πηγής E_B θεωρείται σταθερή). Επίσης, αν η τάση E_C γίνει λιγότερο αρνητική, το I_a θα αυξηθεί και η E_a θα ελαττωθεί. Το πόσο θα μεταβληθεί η E_a , για μια ορισμένη μεταβολή της τάσεως πλέγματος E_C , εξαρτάται από τις χαρακτηριστικές της λυχνίας, από το μέγεθος της R_ϕ και από την τάση της πηγής E_B . Πάντως ένας ενισχυτής με συνεχή τάση πρέπει να έχει **σταθερή απολαβή σε όλη την περιοχή της λειτουργίας του**. Δηλαδή, μία μεταβολή της τάσεως πλέγματος κατά 1 βολτ θα πρέπει να προκαλεί την ίδια μεταβολή της ανοδικής τάσεως, είτε η μεταβολή τάσεως πλέγματος γίνεται μεταξύ -3 ως -4 βολτ, είτε γίνεται μεταξύ -1 ως -2 βολτ.

Αυτή η περιοχή της λυχνίας που λειτουργεί γραμμικά, μπορεί να καθορισθεί πειραματικά για μια ορισμένη ενισχυτική βαθμίδα, αν χαράξουμε τη χαρακτηριστική καμπύλη που δείχνει τις μεταβολές της ανοδικής τάσεως E_a όταν έχουμε μεταβολές του πλέγματος E_C με την αντίσταση φόρτου R_ϕ συνδεδεμένη στο κύκλωμα. Το ευθύγραμμο τμήμα της χαρακτηριστικής αυτής ορίζει την περιοχή λειτουργίας της λυχνίας, για την οποία η απολαβή της βαθμίδας είναι σταθερή.



Σχ. 25.1β.

Στο σχήμα 25.1β φαίνεται η καμπύλη E_a/E_C μιας ενισχυτικής βαθμίδας με συνεχή τάση και με αντίσταση φόρτου R_ϕ . Όπως φαίνεται, το τμήμα AB είναι αρκετά ευθύγραμμο και η λυχνία λειτουργεί σε αυτή την περιοχή. Η απολαβή της βαθμίδας είναι σταθερή. Στην περιοχή του τμήματος AB π.χ., παρατηρούμε ότι μεταβολή της τάσεως πλέγματος κατά 1 βολτ προκαλεί μεταβολή της τάσεως ανόδου κατά 13 βολτ. Παρατηρούμε ακόμη ότι οι τάσεις πλέγματος στα σημεία A, M και B είναι αντίστοιχα $-6,1$, $-3,7$ και $-1,2$ βολτ, οι δε αντίστοιχες τάσεις ανόδου είναι $+145$, $+105$ και $+65$ βολτ. Η απολαβή ενός ενισχυτή με συνεχή τάση (όταν λειτουργεί στο ευθύγραμμο τμήμα της χαρακτηριστικής του δίνεται από τη σχέση:

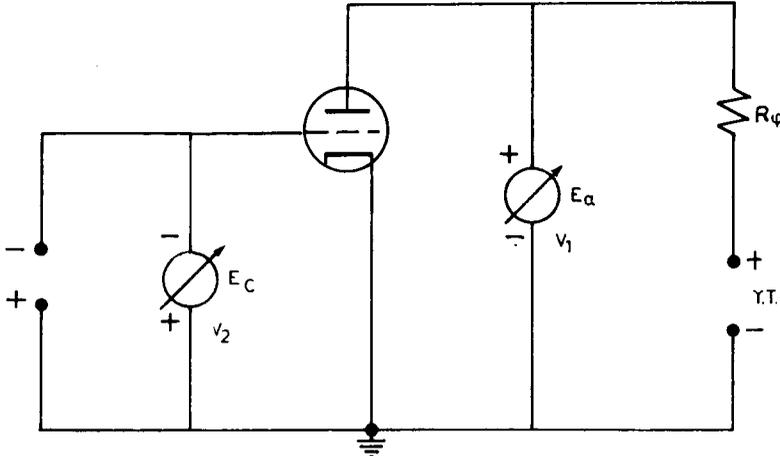
$$\text{Απολαβή } A = \frac{\Delta E_a}{\Delta E_C}$$

όπου ΔE_a είναι η μεταβολή της ανοδικής τάσεως που αντιστοιχεί στη μεταβολή της τάσεως πλέγματος ΔE_C . Η απολαβή της βαθμίδας στο παράδειγμά μας, σύμφωνα με την καμπύλη του σχήματος 25.1β είναι:

$$\text{Απολαβή } A = \frac{13}{1} = 13$$

25.2 Έργασία.

1) Να συνδεσμολογηθεί το κύκλωμα του σχήματος 25.2. Τα όργανα V_1 και V_2 μετρώνε αντίστοιχα την ανοδική τάση E_a και την τάση του πλέγματος E_C .



Σχ. 25.2.

2) Να εφαρμοσθεί τάση θερμάνσεως (6,3 βολτ) και υψηλή τάση στην άνοδο. Η τάση της πηγής να παραμένει σταθερή στα 200 βολτ σε όλη τη διάρκεια των μετρήσεων.

3) Να δοθούν στο πλέγμα οι τιμές τάσεως E_C του Πίνακα 25.2.1 και να μετρηθούν οι τιμές τάσεως ανόδου που έχουμε κάθε φορά.

ΠΙΝΑΚΑΣ 25.2.1.

| | | | | | | | | | | |
|-------|---|----|----|----|----|----|--------|----|-----|------|
| E_C | 0 | -1 | -2 | -3 | -4 | -5 | κ.ο.κ. | ως | -20 | βολτ |
| E_a | | | | | | | | | | |

4) Να χαραχθεί η καμπύλη E_a / E_C , όπως στο σχήμα 25.1β.

5) Να προσδιορισθούν τα σημεία A και B που ορίζουν το ευθύγραμμο τμήμα της καμπύλης, καθώς και το σημείο M (μέσον). Σημειώσετε στον Πίνακα 25.2.2 τις αντίστοιχες τιμές των τάσεων E_a / E_C .

ΠΙΝΑΚΑΣ 25.2.2.

| | Σημείο A | Σημείο B | Σημείο M |
|-------|----------|----------|----------|
| E_C | | | |
| E_a | | | |

6) Να υπολογισθεί η απολαβή της ενισχυτικής βαθμίδας.

ΑΣΚΗΣΗ 26

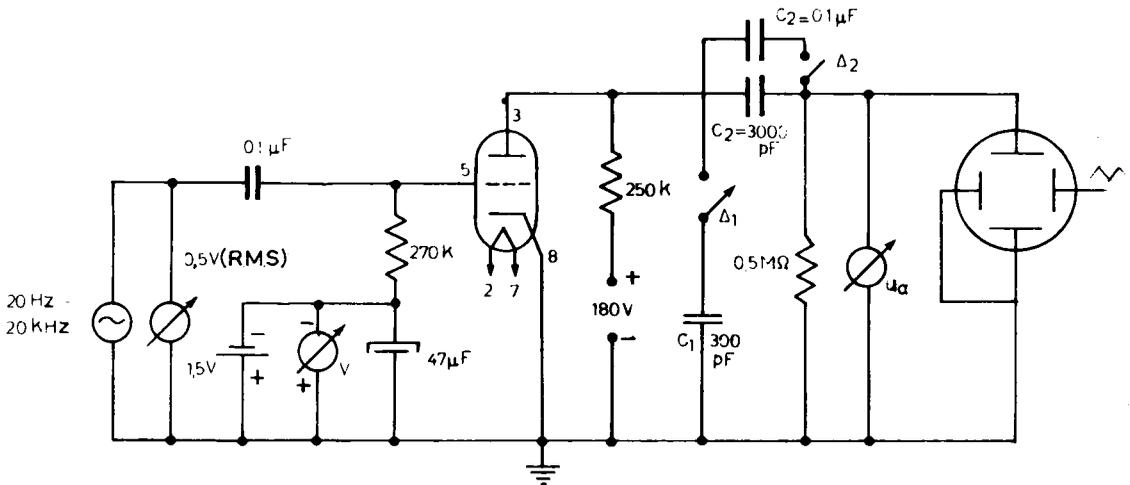
ΚΑΜΠΥΛΗ ΑΠΟΚΡΙΣΕΩΣ ΕΝΙΣΧΥΤΗ ΧΑΜΗΛΩΝ ΣΥΧΝΟΤΗΤΩΝ (Επίδραση χωρητικοτήτων της βαθμίδας)

26.1 Γενικά.

Στην άσκηση αυτή μελετάται η επίδραση των χωρητικοτήτων μιας βαθμίδας ενισχύσεως τάσεως χαμηλών συχνοτήτων (Χ.Σ.) στην ενισχυτική ικανότητα της βαθμίδας.

Συγκεκριμένα εξετάζεται η επίδραση των εξής χωρητικοτήτων:

α) Της χωρητικότητας του πυκνωτή συζεύξεως C_2 (σχ. 26.1).



Σχ. 26.1.

β) Της παρασιτικής χωρητικότητας ανόδου - καθόδου της ενισχυτικής βαθμίδας (λυχνίας).

Για την καλύτερη παρατήρηση και ερμηνεία του φαινομένου η μεν χωρητικότητα του πυκνωτή συζεύξεως μειώνεται σε 3000 pF (για να γίνει κατανοητή η επίδρασή της στην αποκοπή των χαμηλών συχνοτήτων της περιοχής των ακουστικών), η δε παρασιτική χωρητικότητα επαυξάνεται με την προσθήκη του πυκνωτή C_1 με χωρητικότητα 300 pF (για να γίνει κατανοητή η επίδρασή της στην αποκοπή των υψηλών συχνοτήτων της περιοχής των ακουστικών).

26.2 Εργασία.

1) Νά πραγματοποιηθεί το κύκλωμα του σχήματος 26.1. Να τροφοδοτηθεί η

βαθμίδα με τάση θερμάνσεως 6,3 βολτ, υψηλή τάση 180 βολτ και τάση πολώσεως $-1,5$ βολτ. Όλες οι τάσεις αυτές να κρατηθούν σταθερές σε όλη τη διάρκεια των μετρήσεων.

2) Με τον διακόπτη Δ_1 ανοικτό και τον Δ_2 κλειστό (κανονικές τιμές χωρητικότητων) να δοθεί σήμα από γεννήτρια Χ.Σ. και να διεγερθεί η βαθμίδα με τις συχνότητες που είναι στον Πίνακα 26.2.1. Η τάση διεγέρσεως να κρατηθεί σταθερή στις αλλαγές των συχνοτήτων περίπου στην τιμή του 0,5 βολτ και να μετρηθούν για κάθε συχνότητα οι τιμές της τάσεως εξόδου. Να συμπληρωθεί η στήλη U_a του πίνακα. Από τις τιμές της U_a και τη σταθερή τάση διεγέρσεως να υπολογισθεί, για κάθε συχνότητα, η απολαβή A και να συμπληρωθεί η τρίτη στήλη του πίνακα.

ΠΙΝΑΚΑΣ 26.2.1.

Σταθερή τάση διεγέρσεως = 0,5 βολτ

| F (Hz) | U_a (βολτ) | $A = U_a/U_g$ |
|--------|--------------|---------------|
| 20 | | |
| 50 | | |
| 100 | | |
| 200 | | |
| 500 | | |
| 800 | | |
| 1000 | | |
| 1500 | | |
| 2000 | | |
| 3000 | | |
| 4000 | | |
| 5000 | | |
| 8000 | | |
| 10000 | | |
| 15000 | | |
| 20000 | | |
| | | |
| | | |

3) Με τους διακόπτες Δ_1 και Δ_2 ανοικτούς, να επαναληφθεί όλη η προηγούμενη εργασία.

4) Με τους διακόπτες Δ_1 και Δ_2 κλειστούς, να επαναληφθεί για τρίτη φορά η ίδια εργασία.

5) Να χαραχθούν σε σχετικό διάγραμμα, με λογαριθμική κλίμακα συχνοτήτων, οι τρεις καμπύλες της ενισχύσεως που κάνει η βαθμίδα στις διάφορες συχνότητες.

6) Από τη μορφή που παρουσιάζουν οι καμπύλες, να γίνουν παρατηρήσεις για την επίδραση των χωρητικότητων στην απολαβή κατά τις διάφορες συχνότητες.

ΑΣΚΗΣΗ 27

ΕΥΘΕΙΑ ΦΟΡΤΟΥ

(Χάραξη και πειραματική επαλήθευση των δεδομένων της)

27.1 Γενικά.

Ο συντελεστής ενισχύσεως (το μ) μιας λυχνίας ορίζει την ικανότητα της λυχνίας να ενισχύει μιά μεταβολή τάσεως που δρα στο πλέγμα της. Ο συντελεστής αυτός έχει μια σταθερή τιμή, που υπολογίζεται από τις στατικές χαρακτηριστικές της λυχνίας:

$$\mu = \frac{\Delta V_a}{\Delta V_g}, \quad \text{για } I_a \text{ σταθερό}$$

και δείχνει τα βολτ, που πρέπει να μεταβληθεί η τάση ανόδου, όταν η τάση πλέγματος έχει μεταβληθεί κατά 1 βολτ, ώστε το ανοδικό ρεύμα να παραμείνει σταθερό.

Αν π.χ. η τάση πλέγματος μιας λυχνίας γίνει αρνητικότερη κατά 1 βολτ (οπότε το ανοδικό ρεύμα θα ελαττωθεί), για να επανέλθει η ένταση του ρεύματος στην προηγούμενη τιμή της, θα πρέπει να μεταβληθεί (να αυξηθεί) η τάση ανόδου με ορισμένα βολτ. Ο αριθμός αυτός των βολτ ισούται με το συντελεστή ενισχύσεως μ της λυχνίας. Αν πάλι η τάση πλέγματος γίνει θετικότερη (δηλαδή, λιγότερο αρνητική) κατά 1 βολτ (οπότε το ανοδικό ρεύμα θα αυξηθεί), για να επανέλθει η ένταση του ρεύματος στην προηγούμενη τιμή της, θα πρέπει να ελαττωθεί η ανοδική τάση στον ίδιο αριθμό βολτ.

Στον υπολογισμό αυτό του συντελεστή ενισχύσεως η λυχνία είναι μόνη, χωρίς αντίσταση φόρτου. Όταν όμως συνδεθεί μια τέτοια αντίσταση στην άνοδό της, θα πρέπει να χαράξουμε την ευθεία φόρτου για να διαπιστώσουμε **την ενισχυτική ικανότητα της όλης βαθμίδας, την απολαβή.**

Αν π.χ. μια λυχνία έχει $\mu = 40$, όταν συνδεθεί με αντίσταση φόρτου, θα δώσει μια απολαβή της όλης βαθμίδας μικρότερη από 40, περίπου 28 ως 30, με ομαλές συνθήκες λειτουργίας. Η ευθεία φόρτου μιας βαθμίδας χαράσσεται πάνω στο σμήνος των χαρακτηριστικών ρεύματος ανόδου - τάσεως ανόδου της λυχνίας. Για τη χάραξή της θεωρούμε τις εξής δύο ακραίες περιπτώσεις λειτουργίας της βαθμίδας:

α) Αν σε μια ορισμένη αντίσταση φόρτου R και με ορισμένη τάση πηγής E η λυχνία βρισκόταν σε αποκοπή, τι ρεύμα θα κυκλοφορούσε στο κύκλωμα; Ποια η διαφορά δυναμικού στα άκρα της λυχνίας και ποια στα άκρα της αντιστάσεως φόρτου;

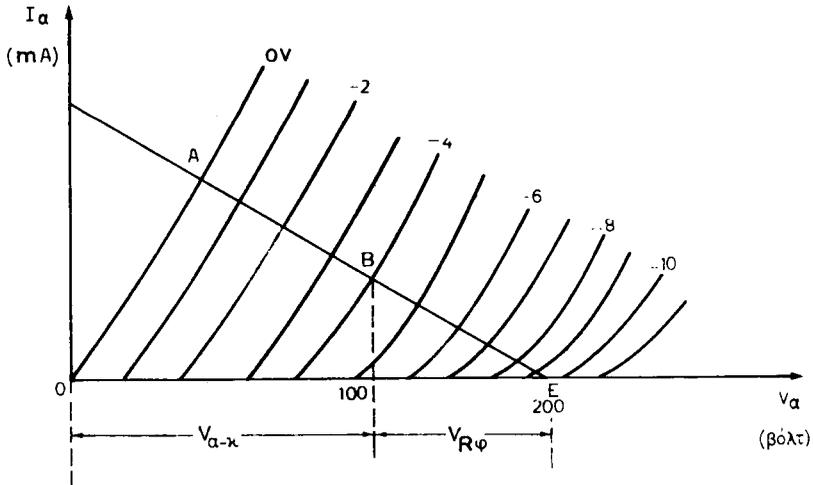
Αφού η λυχνία βρίσκεται σε αποκοπή, η ένταση του ρεύματος είναι μηδέν, η τάση ανόδου - καθόδου ισούται με την τάση της πηγής E και η τάση στα άκρα της αντιστάσεως φόρτου είναι μηδέν.

β) Ποια θα μπορούσε να είναι η μέγιστη ένταση του ρεύματος ανόδου;

Αφού η αντίσταση φόρτου είναι σταθερή, ενώ η αντίσταση της λυχνίας είναι μεταβλητή, η ελάχιστη δυνατή αντίσταση της λυχνίας είναι μηδέν και συνεπώς η μέγιστη ένταση του ανοδικού ρεύματος βρίσκεται αν διαιρεθεί η τάση της πηγής E με την αντίσταση φόρτου R_{ϕ} :

$$I_{\mu\epsilon\gamma} = \frac{E}{R_{\phi}}$$

Η πτώση τάσεως μεταξύ ανόδου - καθόδου της λυχνίας είναι σε αυτή την περίπτωση μηδέν. Τα ενδιάμεσα σημεία μεταξύ των δύο αυτών ακραίων περιπτώσεων αποτελούν την ευθεία φόρτου.



Σχ. 27.1.

V_{a-k} = τάση ανόδου - καθόδου. $V_{R_{\phi}}$ = τάση στα άκρα της αντιστάσεως φόρτου.

Στο σχήμα 27.1 φαίνεται ένα σμήνος χαρακτηριστικών τριόδου λυχνίας, πάνω στις οποίες έχει χαραχθεί μια ευθεία φόρτου. Για τη χάραξη της ακολουθούμε την εξής πορεία:

1) Για κάθε τύπο λυχνίας ο κατασκευαστής παρέχει το σμήνος των χαρακτηριστικών τάσεως ανόδου - ρεύματος ανόδου. Πάνω στον άξονα τάσεως του σμήνους αυτού ορίζομε ένα σημείο που αντιστοιχεί στην τάση E της πηγής τροφοδοτήσεως. Το σημείο αυτό ανταποκρίνεται στην άκρεια περίπτωση της αποκοπής της λυχνίας.

2) Στον άξονα του ρεύματος ορίζομε ένα άλλο σημείο, που αντιστοιχεί στη μέγιστη ένταση του ρεύματος:

$$I_{μεγ} = \frac{E}{R_{\phi}}$$

3) Συνδέομε με ευθεία γραμμή τα δύο σημεία. Αυτή είναι η ευθεία φόρτου. Από την ευθεία αυτή μπορούν να εξαχθούν τα ακόλουθα χρήσιμα συμπεράσματα (σχ. 27.1):

Το μέσον της ευθείας είναι (περίπου) το σημείο Β, στο οποίο τέμνει τη χαρακτηριστική για τάση πλέγματος -4 βολτ. (Θεωρούμε το σχήμα της ευθείας από 0 βολτ μέχρι την τάση αποκοπής, δηλαδή από Α ως Ε). Η κάθετος που άγεται από το Β στον οριζόντιο άξονα, τον τέμνει περίπου στα 108 βολτ. Αυτό σημαίνει ότι, όταν το πλέγμα έχει τάση -4 βολτ, η τάση μεταξύ ανόδου - καθόδου της λυχνίας θα είναι 108 βολτ. Η τάση που απομένει ($200 - 108 = 92$ βολτ) θα είναι η διαφορά δυναμικού που αναπτύσσεται στην αντίσταση φόρτου.

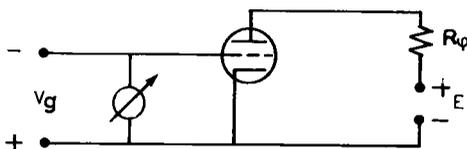
Παρατηρούμε ακόμη ότι η καμπύλη που αντιστοιχεί σε τάση πλέγματος -10 βολτ, συναντά την ευθεία φόρτου σε σημείο που αντιστοιχεί σε μηδενικό ανοδικό ρεύμα. Δηλαδή, η τάση αποκοπής της λυχνίας, για τάση $E = 200$ βολτ, είναι -10 βολτ. Η αντίσταση φόρτου δέν μπορεί να ρυθμίσει την τάση αποκοπής, γιατί αυτή εξαρτάται μόνο από την τάση E , όπως φαίνεται από τη γραφική κατασκευή (σχ. 27.1). Αν η τάση E γινόταν 100 βολτ, η τάση αποκοπής θα ήταν -4 βολτ, όπως φαίνεται στο ίδιο σχήμα.

Η απολαβή Α της βαθμίδας μπορεί να υπολογισθεί αν θεωρήσουμε μια μεταβολή της τάσεως πλέγματος U_g κατά μήκος της ευθείας φόρτου και φέρομε αντίστοιχη μεταβολή της τάσεως ανόδου - καθόδου U_a . Η αποβολή, τότε, θα ισούται:

$$A = \frac{U_a}{U_g}$$

27.2 Εργασία.

1) Συνδεσμολογήσετε το κύκλωμα του σχήματος 27.2. Δυναμικά και R_{ϕ} θα δοθούν από το Εργαστήριο, γιατί θα είναι ανάλογα με τη λυχνία που χρησιμοποιείται.



Σχ. 27.2.

2) Ρυθμίστε την τάση του πλέγματος σε 0 βολτ (ενώστετε το πλέγμα με την κάθοδο). Μετρήστε με ηλεκτρονικό βολτόμετρο συνεχούς την τάση ανόδου - καθόδου. Σημειώστε το αποτέλεσμα και την πολικότητα του οργάνου. Επίσης μετρήστε την τάση στα άκρα της R_{ϕ} . Σημειώστε αποτέλεσμα και πολικότητα.

3) Συνδέστε το ηλεκτρονικό βολτόμετρο στα άκρα της λυχνίας. Ρυθμίστε αρ-

γα το δυναμικό του πλέγματος σε τιμές συνεχώς αρνητικότερες μέχρι που το ηλεκτρονικό βολτόμετρο δείξει την τάση της πηγής (220 βολτ). Πόση είναι, τότε, η τάση αποκοπής και πόση η πτώση τάσεως στα άκρα της R_{ϕ} ;

4) Χαράξετε την ευθεία φόρτου στο σμήνος χαρακτηριστικών που διαθέτει το εργαστήριο για τις ενδείξεις της προηγούμενης ερωτήσεως. Συγκρίνετε τις μετρήσεις των ερωτήσεων 2 και 3 με τα αποτελέσματα που δίνει η ευθεία φόρτου.

5) Συνδέσετε, τώρα, αντίσταση φόρτου μεγαλύτερη από την προηγούμενη και μεγαλύτερη τάση πηγής E . Ρυθμίστε την τάση του πλέγματος $V_g = 0$ βολτ. Μετρήστε την τάση μεταξύ ανόδου - καθόδου και την τάση στα άκρα της R_{ϕ} .

6) Αυξήστε αργά προς τα αρνητικά την τάση του πλέγματος, μέχρι να αποκοπεί η λυχνία. Πόση είναι, τότε, η τάση ανόδου - καθόδου; Πόση η τάση στα άκρα της R_{ϕ} και πόση η τάση αποκοπής;

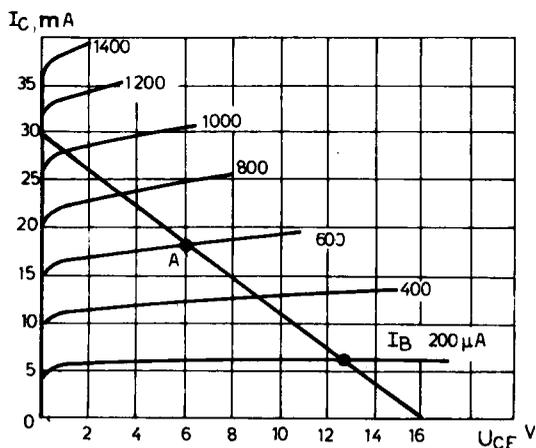
7) Χαράξετε νέα ευθεία φόρτου σε άλλο διάγραμμα χαρακτηριστικών. Να συγκρίνετε τις μετρήσεις των ερωτήσεων 5 και 6 με τα αποτελέσματα που δίνει η ευθεία φόρτου.

ΑΣΚΗΣΗ 28

ΠΟΛΩΣΗ ΤΩΝ ΤΡΑΝΖΙΣΤΟΡ

28.1 Γενικά.

Όπως στις λυχνίες, έτσι και στα τρανζίστορ, για να είναι σωστά υπολογισμένη η λειτουργία τους, πρέπει πρώτα να χαράξουμε την ευθεία φόρτου επάνω στις χαρακτηριστικές V_C / I_C (τάσεως συλλέκτη - ρεύματος συλλέκτη). Αφού χαραχθεί η ευθεία φόρτου, πρέπει επάνω σε αυτήν να ορισθεί το σημείο λειτουργίας, που μπορεί να βρίσκεται στο μέσο περίπου των γραμμικών τμημάτων των χαρακτηριστικών (π.χ. σημείο A, σχ. 28.1α), ώστε να μην δημιουργείται παραμόρφωση κατά την ενισχυτική λειτουργία του τρανζίστορ.



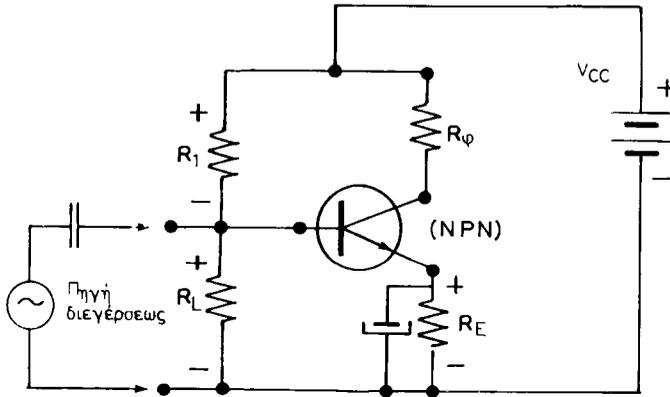
Σχ. 28.1α.

Για να εξασφαλισθεί αυτό το επιθυμητό σημείο λειτουργίας, εφαρμόζεται μία κατάλληλη συνεχής τάση μεταξύ εκπομπού - βάσεως του τρανζίστορ που ονομάζεται πόλωση.

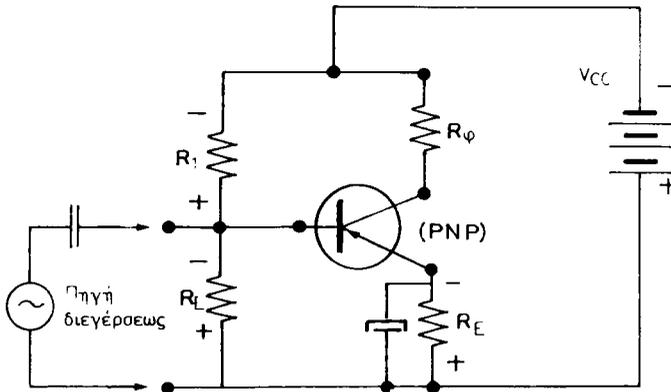
Πόλωση επομένως είναι η συνεχής τάση που εφαρμόζεται μεταξύ της βάσεως και του εκπομπού ενός τρανζίστορ για να εξασφαλισθούν οι κατάλληλες συνθήκες λειτουργίας του.

Στις βασικές συνδεσμολογίες των τρανζίστορ έχουμε πόλωση ορθής φοράς στο

κύκλωμα εκπομπού - βάσεως και πόλωση ανάστροφης φοράς στο κύκλωμα συλλέκτη - βάσεως. Στα κυκλώματα των προηγούμενων ασκήσεων στα οποία μελετήσαμε τα τρανζίστορ, είδαμε ότι για την πόλωση χρησιμοποιούσαμε ξεχωριστές πηγές για τη βάση και το συλλέκτη. Στην πράξη όμως, στα κυκλώματα ενισχυτών, δεκτών και λοιπών ηλεκτρονικών συσκευών, προσπαθούμε ώστε η τροφοδότηση των τρανζίστορ με συνεχείς τάσεις να εξασφαλίζεται από μια μόνο πηγή με κατάλληλα κυκλώματα κατανομής. Π.χ. στα κυκλώματα των σχημάτων 28.1β και 28.1γ φαίνεται το πώς με κατάλληλο διαιρέτη τάσεως (αντιστάσεις R_1 , R_2), σε συνδυασμό και με την αντίσταση εκπομπού R_E , εξασφαλίζεται η πόλωση του τρανζίστορ από μια μόνο πηγή (V_{CC}).



Σχ. 28.1β.



Σχ. 28.1γ.

Στο σχήμα 28.1β το κύκλωμα εκπομπού - βάσεως του τρανζίστορ τύπου NPN είναι πολωμένο κατά την ορθή φορά, δηλαδή η βάση έχει θετικό δυναμικό σε σχέση με τον εκπομπού και το κύκλωμα συλλέκτη - βάσεως είναι πολωμένο κατά την ανάστροφη φορά, δηλαδή ο συλλέκτης έχει θετικό δυναμικό σε σχέση με τη βάση.

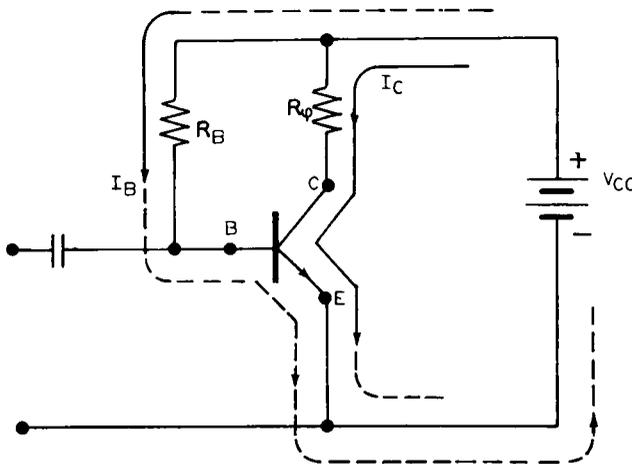
Στο σχήμα 28.1γ το τρανζίστορ είναι τύπου PNP και, επειδή η πηγή είναι συνδεδεμένη με αντίθετη πολικότητα από ό,τι το κύκλωμα του σχήματος 28.1β, οι πολώσεις είναι αντίθετες. Η λειτουργία όμως των δύο κυκλωμάτων και τα αποτελέσματα είναι τα ίδια, όπως εξ άλλου είδαμε στις μετρήσεις στα κυκλώματα των ασκήσεων 20 και 21.

Στα κυκλώματα με τρανζίστορ παρουσιάζεται πρόβλημα σταθερότητας της πολώσεως εξ αιτίας των μεταβολών της θερμοκρασίας. Λόγω μεταβολής της θερμοκρασίας, παρουσιάζεται μεταβολή στο αντίθετο ρεύμα διαρροής του συλλέκτη I_{CO} , που έχει σαν συνέπεια μια υπολογίσιμη μεταβολή στο ρεύμα I_C του συλλέκτη. Στη θερμοκρασία δωματίου (περίπου 25°C) η τιμή του ρεύματος I_{CO} είναι λίγα μικροαμπέρ για τρανζίστορ γερμανίου μικρής ισχύος, ενώ για τα τρανζίστορ πυριτίου, πάλι μικρής ισχύος, είναι λίγα νανοαμπέρ. Έτσι, ενώ στα τρανζίστορ γερμανίου το ρεύμα διαρροής αποτελεί κάποιο πρόβλημα, στα τρανζίστορ πυριτίου το αμελούμε.

Ένας άλλος παράγοντας που επηρεάζει τη σταθερότητα στην πόλωση των τρανζίστορ είναι η μεταβολή της τάσεως μεταξύ βάσεως - εκπομπού V_{BE} εξ αιτίας πάλι των μεταβολών της θερμοκρασίας. Η τάση V_{BE} ελαττώνεται περίπου 2,5 mV για κάθε βαθμό αύξησης της θερμοκρασίας, τόσο στα τρανζίστορ γερμανίου όσο και στα τρανζίστορ πυριτίου (η θερμοκρασία σε βαθμούς Κελσίου).

Στα τρανζίστορ γερμανίου, η επίδραση του I_{CO} είναι πολύ μεγαλύτερη από εκείνη που προκαλούν οι μεταβολές της τάσεως V_{BE} , πάλι λόγω μεταβολής της θερμοκρασίας. Γι' αυτό σε παρόμοια περίπτωση αγνοούμε την επίδραση της V_{BE} .

Στα τρανζίστορ πυριτίου όμως, το ρεύμα I_{CO} είναι τόσο μικρό, ώστε οι μεταβολές της τάσεως V_{BE} , εξ αιτίας των μεταβολών της θερμοκρασίας, είναι εκείνες που μας απασχολούν.



Σχ. 28.16.

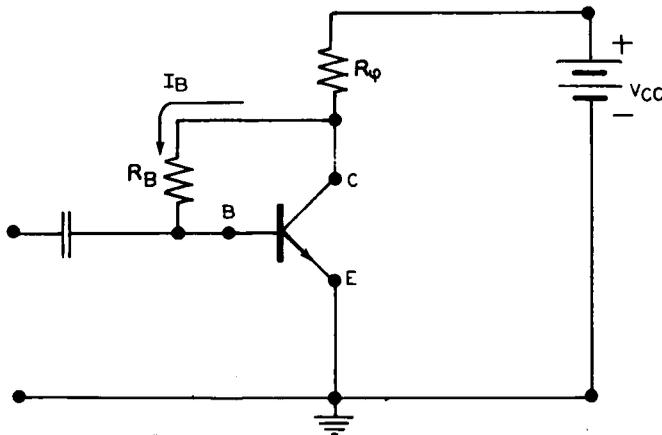
Μια πολύ απλή συνδεσμολογία πολώσεως φαίνεται στο κύκλωμα του σχήματος 28.1δ. Ως πηγή χρησιμεύει η V_{CC} , η οποία διαμέσου της αντιστάσεως R_B (μεγάλης τιμής) και της αντιστάσεως επαφής βάσεως - εκπομπού (που έχει μικρή τιμή) παρέχει ένα μικρό ρεύμα βάσεως I_B .

Είναι τώρα γνωστό ότι για τα τρανζίστορ γερμανίου η τάση βάσεως - εκπομπού είναι περίπου: $V_{BE} = 0,15$ βολτ, ενώ για τα τρανζίστορ πυριτίου: $V_{BE} = 0,65$ βολτ. Επομένως (αν η V_{CC} είναι π.χ. 9 βολτ), θα έχουμε: $V_{CC} = I_B \cdot R_B + V_{BE}$ και $V_{CC} = I_B \cdot R_B$, αφού η V_{BE} είναι τόσο μικρότερη από την V_{CC} ώστε μπορεί να παραλειφθεί. Άρα και

$$I_B = \frac{V_{CC}}{R_B}$$

Η τελευταία αυτή σχέση δείχνει ότι με αυτή τη μέθοδο πολώσεως το ρεύμα βάσεως I_B είναι σταθερό, επειδή η πηγή V_{CC} παρέχει σταθερή τάση και η αντίσταση R_B είναι όχι μόνο σταθερή αλλά και έχει και πολύ μεγάλη τιμή.

Το κύκλωμα του σχήματος 28.1ε δείχνει μια διαφορετική μέθοδο πολώσεως, στην οποία η αντίσταση R_B συνδέεται μεταξύ του συλλέκτη και της βάσεως (και όχι μεταξύ του θετικού πόλου της πηγής και της βάσεως, όπως στο κύκλωμα του σχήματος 28.1δ): Με τη μέθοδο αυτή πολώσεως κρατείται σταθερό το ρεύμα του συλλέκτη I_C σε κάθε μεταβολή, προερχόμενη από οποιαδήποτε αιτία.

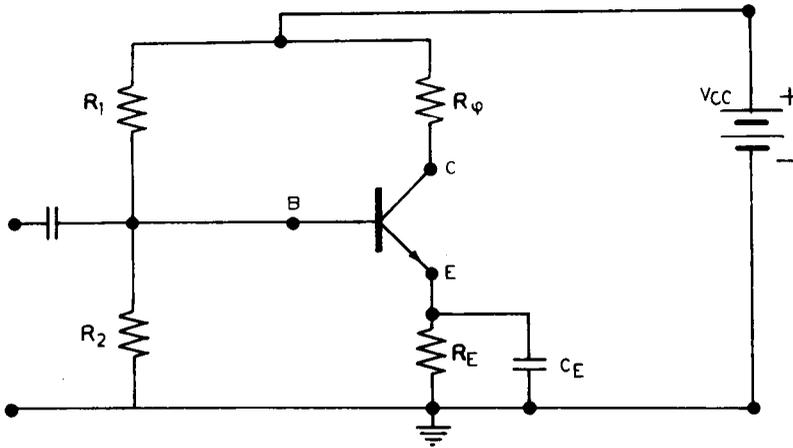


Σχ. 28.1ε.

Πραγματικά, στο κύκλωμα του σχήματος 28.1ε υπάρχει αρνητική ανάδραση διαμέσου της R_B . Έτσι, αν π.χ. το I_C τείνει να αυξηθεί, η τάση συλλέκτη - εκπομπού θα ελαττωθεί. Επομένως και το ρεύμα I_B θα ελαττωθεί, με αποτέλεσμα να ελαττωθεί και το I_C και να ξαναπάρει την αρχική τιμή του.

Μια άλλη μέθοδος πολώσεως, που συνήθως εφαρμόζεται και παρέχει καλή σταθερότητα στο ρεύμα του συλλέκτη φαίνεται στο κύκλωμα του σχήματος 28.1στ.

Σε αυτό οι αντιστάσεις R_1 , R_2 αποτελούν ένα διαιρέτη τάσεως, μέσα από τον οποίο το διερχόμενο ρεύμα έχει ένταση μεγάλη, συγκρινόμενη με την ένταση του ρεύματος βάσεως. Έτσι το συνεχές δυναμικό της βάσεως κρατείται σταθερό. Η αντίσταση εκπομπού R_E δημιουργεί αρνητική ανάδραση με συνεχές ρεύμα με την πτώση τάσεως στα άκρα της. Η σταθερότητα του ρεύματος του συλλέκτη εξα-

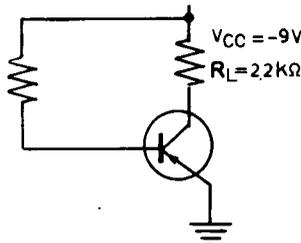


Σχ. 28.1στ.

σφαλίζεται με τον ακόλουθο τρόπο: Αν το ρεύμα εκπομπού I_E τείνει να αυξηθεί, η τάση του εκπομπού σε σχέση με τη γη θα αυξηθεί. Και επειδή η τάση της βάσεως σε σχέση με τη γη μένει σταθερή, η τάση βάσεως - εκπομπού (δηλαδή η πόλωση) θα ελαττωθεί, με αποτέλεσμα να επανέλθει στην αρχική του τιμή το ρεύμα εκπομπού (και επομένως και το ρεύμα του συλλέκτη).

28.2 Εργασία.

1) Στο κύκλωμα του σχήματος 28.2α να μετρηθεί το ρεύμα διαρροής του τρανζίστορ I_{CO} (για τη μέτρηση αυτή πρέπει να είναι ανοικτό το τμήμα της βάσεως).

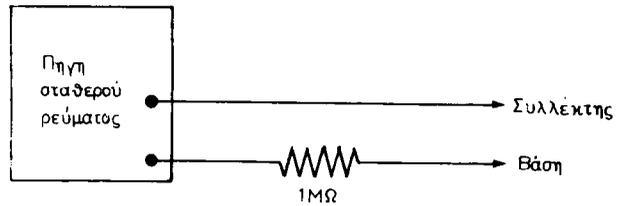


Σχ. 28.2α.

2) Στο ίδιο κύκλωμα να μετρηθούν οι τιμές του I_C για μεταβολές του I_{CO} . Για τη μέτρηση αυτή να συνδεθεί πηγή σταθερού ρεύματος στα άκρα συλλέκτη - βάσεως (σχ. 28.2β) και να αντισταθμίζεται κάθε φορά το I_{CO} . Το I_{CO} κυκλοφορεί αντίθετα από το I_B , αλλά το αποτέλεσμα εξ αιτίας του I_{CO} είναι αύξηση του I_C . Η συνδεσμολογία της πηγής σταθερού ρεύματος (τροφοδοτικό του εργαστηρίου) πρέπει να γίνει με την πολικότητα του σχήματος 28.2α για να έχουμε αύξηση στο

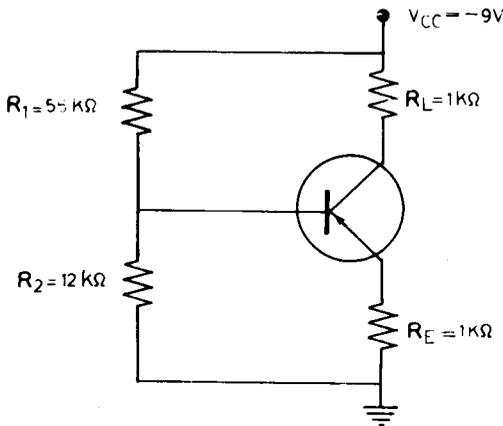
ΠΙΝΑΚΑΣ 28.2.1.

| I_{CO} (μA) | I_C |
|----------------------|-------|
| 0 | |
| 10 | |
| 20 | |
| 30 | |
| 40 | |
| 50 | |

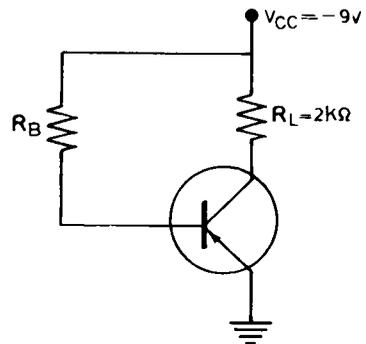


Σχ. 28.2β.

ρεύμα συλλέκτη. Το τροφοδοτικό πρέπει να αντισταθμίσει κάθε φορά μία από τις τιμές του I_{CO} του Πίνακα 28.2.1, ενώ παράλληλα θα λαμβάνεται η τιμή του I_{CO} .



Σχ. 28.2γ.



Σχ. 28.2δ.

3) Με το κύκλωμα του σχήματος 28.2γ να επαναληφθούν οι μετρήσεις που έγιναν στην προηγούμενη ερώτηση και να καταχωρηθούν σε σχετικό πίνακα.

4) Στο κύκλωμα του σχήματος 28.2γ αλλάξετε την R_1 με $3\text{ k}\Omega$ και την R_2 με $1\text{ k}\Omega$ και κάνετε τις ίδιες μετρήσεις.

5) Σε σχετικό διάγραμμα δείξετε τις μεταβολές του I_C λόγω μεταβολών του I_{CO} για τις πρώτες μετρήσεις της ερωτήσεως 2.

6) Στο κύκλωμα του σχήματος 28.2δ να υπολογισθεί η τιμή της R_B για $I_C = 1\text{ mA}$ και $I_{CO} = 0$.

7) Τι τιμή θα λάβει το I_C όταν βραχυκυκλωθεί η R_L στο κύκλωμα του σχήματος 28.2δ;

ΑΣΚΗΣΗ 29

ΕΝΙΣΧΥΤΗΣ ΤΡΑΝΖΙΣΤΟΡ ΚΟΙΝΟΥ (ΓΕΙΩΜΕΝΟΥ) ΕΚΠΟΜΠΟΥ

29.1 Γενικά.

Το κύκλωμα του σχήματος 29.1α είναι το πιο απλό κύκλωμα ενισχυτικής βαθμίδας τρανζίστορ με γειωμένο εκπομπό. Τα χαρακτηριστικά ενός τέτοιου κυκλώματος μελετήθηκαν στην άσκηση 20 και είναι:

Σύνθετη αντίσταση εισόδου μέτρια: 500 - 5000 Ω.

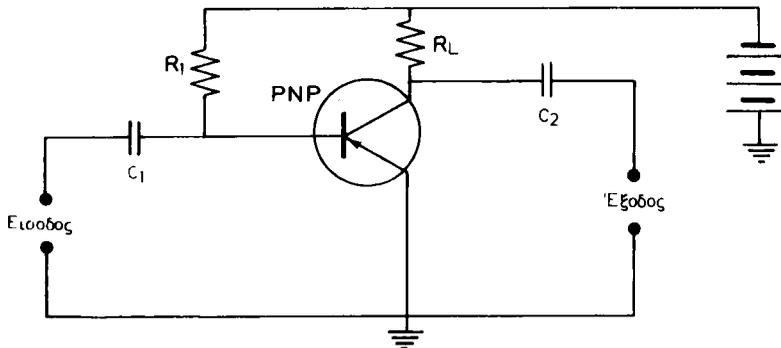
Σύνθετη αντίσταση εξόδου: 500 - 50 000 Ω.

Μεγάλη απολαβή τάσεως: 500 - 1000.

Μεγάλη απολαβή ισχύος μέχρι και 10 000: 25 - 45 db.

Μεγάλη απολαβή ρεύματος: 50 - 100.

180° διαφορά φάσεως μεταξύ σημάτων εξόδου - εισόδου.



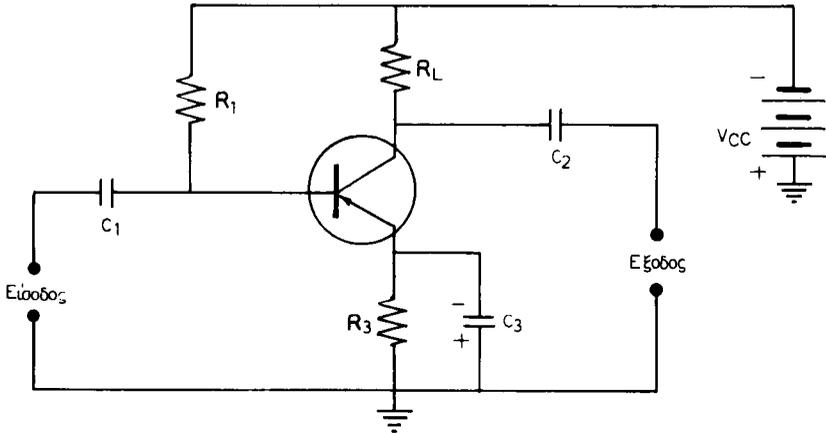
Σχ. 29.1α.

Χρησιμοποιείται περισσότερο γιατί, όπως σε όλα σχεδόν τα κυκλώματα με λυχνίες γειώνεται η κάθοδος, στα πιο συνηθισμένα κυκλώματα με τρανζίστορ γειώνεται ο εκπομπός, που είναι αντίστοιχος της καθόδου.

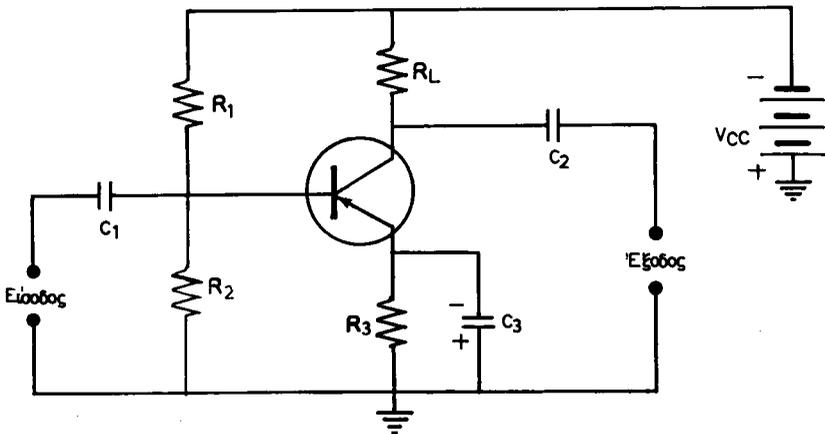
Επίσης, στην προηγούμενη άσκηση 28, είδαμε ότι ένα τέτοιο κύκλωμα δεν παρουσιάζει σταθερότητα στην πόλωση. Το επόμενο όμως κύκλωμα (σχ. 29.1β) που γειώνει τον εκπομπό μέσω της αντιστάσεως R_3 , έχει σταθερότητα στην πόλωση και χρησιμοποιείται στην πράξη. Υπενθυμίζεται ότι η αντίσταση R_3 βοηθά τη σταθερότητα της πόλωσης, που μπορεί να διαταραχθεί από μικρές διακυμάνσεις του ρεύματος συλλέκτη λόγω αυξήσεως της θερμοκρασίας και αλλαγής των χαρακτη-

ριστικών του τρανζίστορ. Δηλαδή, μια αύξηση του ρεύματος συλλέκτη προκαλεί πώση τάσεως στην R_3 . Η τάση αυτή είναι αντίθετης πολικότητας με την πώλωση ορθής φοράς που υπάρχει στο κύκλωμα βάσεως - εκπομπού και ελαττώνει το ρεύμα βάσεως. Στη συνέχεια, αυτό ελαττώνει το ρεύμα συλλέκτη (το ρεύμα συλλέκτη ελέγχεται από το ρεύμα βάσεως και αντίστροφα). Ο πυκνωτής C_3 σταθεροποιεί την όλη κατάσταση με τον παραλληλισμό της R_3 για τα εναλλασσόμενα ρεύματα.

Το προηγούμενο κύκλωμα μπορεί να βελτιωθεί και να εξασφαλίσει καλύτερη σταθερότητα πλώσεως, και κατ' επέκταση σταθερότητα στο σημείο λειτουργίας της ενισχυτικής βαθμίδας, αν τροποποιηθεί όπως το σχήμα 29.1γ.



Σχ. 29.1β.

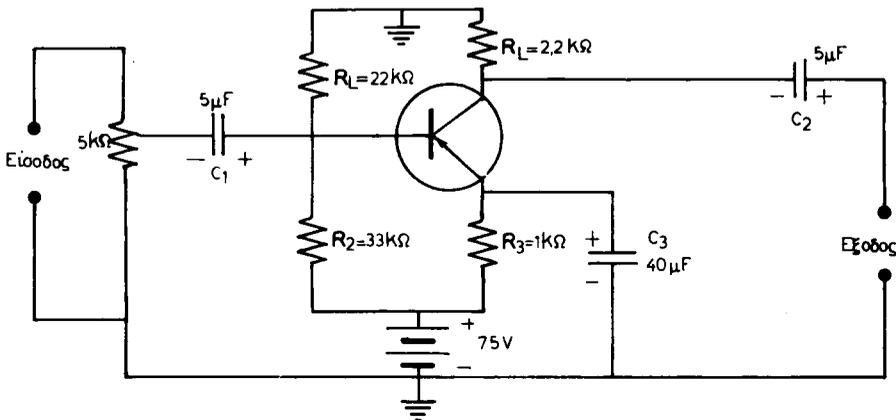


Σχ. 29.1γ.

Σε αυτό οι αντιστάσεις R_1 και R_2 , με κατάλληλες τιμές, αποτελούν ένα διαιρέτη τάσεως με τον οποίο (σε συνδυασμό και με την τάση στα άκρα της R_3) μπορούμε να ρυθτίσουμε τη θέση του σημείου λειτουργίας.

Ένα ακόμη κύκλωμα ενισχυτή τρανζίστορ με γειωμένο εκπομπό που χρησιμοποιείται στην πράξη για ενίσχυση Χ.Σ. φαίνεται στο σχήμα 29.16.

Σε αυτό: α) Ο πυκνωτής C_1 είναι μεγάλος, γιατί η αντίσταση εισόδου του τρανζίστορ είναι μικρή. Με τις τιμές αυτές έχουμε μικρή απώλεια ενέργειας στο κύκλωμα εισόδου. β) Και ο C_2 είναι μεγάλος, γιατί η αντίσταση εισόδου της επόμενης βαθμίδας είναι μικρή. γ) Οι αντιστάσεις R_1 και R_2 εξασφαλίζουν την κατάλληλη πόλωση. δ) Η R_3 και ο C_3 εξασφαλίζουν τη σταθερότητα της πολώσεως από επιδράσεις λόγω μεταβολών στο ρεύμα συλλέκτη, εξ αιτίας μεταβολών της θερμοκρασίας και των χαρακτηριστικών του τρανζίστορ.



Σχ. 29.16.

Η αντίσταση εισόδου ενός κυκλώματος ενισχυτή με γειωμένο εκπομπό υπολογίζεται ως ο λόγος της τάσεως εισόδου προς το ρεύμα εισόδου. Δηλαδή:

$$Z_{\epsilon\iota\sigma} = \frac{U_{\epsilon\iota\sigma}}{i_{\epsilon\iota\sigma}}$$

Άρα μπορούμε να την προσδιορίσουμε με μετρήσεις των δύο αυτών μεγεθών.

Η αντίσταση εξόδου $Z_{\epsilon\zeta}$ μπορεί επίσης να υπολογισθεί ως ο λόγος της τάσεως εξόδου προς το ρεύμα εξόδου. Ένας πρακτικός τρόπος για τον προσδιορισμό αυτής είναι ο ακόλουθος: Μετράμε πρώτα την τάση εξόδου στα άκρα εξόδου του ενισχυτή χωρίς φορτίο· στη συνέχεια συνδέουμε στην έξοδο ένα ροοστάτη και με ηλεκτρονικό βολτόμετρο παράλληλα σε αυτόν ρυθμίζουμε, μέχρι να επιτύχουμε τη μισή τιμή της τάσεως εξόδου που βρήκαμε χωρίς φορτίο. Η αντίσταση του τμήματος του ροοστάτη, για την οποία έχουμε τη μισή τιμή, είναι η σύνθετη αντίσταση εξόδου του ενισχυτή.

Ο ενισχυτής κοινού (γειωμένου) εκπομπού είναι ένας ενισχυτής τάσεως, ρεύματος και ισχύος. Η ενίσχυση που μπορεί να κάνει για τα μεγέθη αυτά προσδιορίζεται πειραματικά με τον ακόλουθο τρόπο:

α) Απολαβή τάσεως:
$$A = \frac{U_{\alpha}}{U_{\epsilon\iota\sigma}}$$

Με γεννήτρια Χ.Σ. στην είσοδο δίνουμε σήμα 1000 Hz και παρατηρούμε με παλμογράφο το σήμα εξόδου στο κύκλωμα του συλλέκτη, ενώ αυξάνουμε σιγά - σιγά την τάση του σήματος εισόδου. Πριν αρχίσει η παραμόρφωση του σήματος εξόδου, μετράμε τα δύο μεγέθη και από το λόγο τους υπολογίζουμε την απολαβή τάσεως.

β) Απολαβή ισχύος:
$$A_{\text{ισχ.}} = \frac{P_{\alpha}}{P_{\epsilon\iota\sigma}}$$

$$\eta \quad P_{\alpha} = \frac{U_{\alpha}^2}{R_{\alpha}} \quad \text{και} \quad \eta \quad P_{\epsilon\iota\sigma} = \frac{U_{\epsilon\iota\sigma}^2}{R_{\epsilon\iota\sigma}}$$

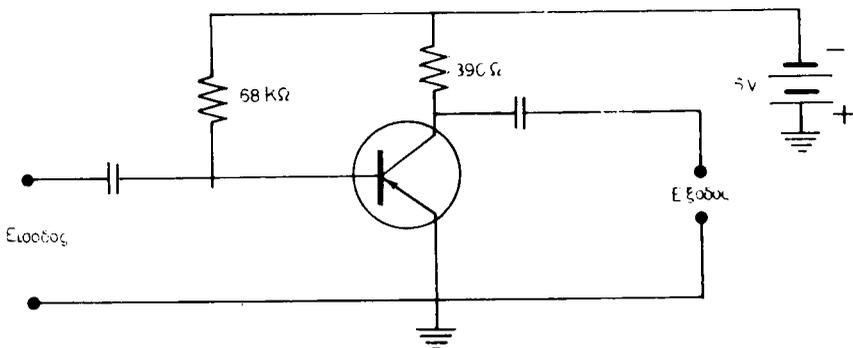
πράγμα που σημαίνει ότι, εκτός από τις τάσεις, πρέπει να ξέρομε και τις σύνθετες αντιστάσεις εισόδου και εξόδου του κυκλώματος.

Η απολαβή ισχύος σε db όπως συνήθως εκφράζεται, δίνεται από τη σχέση:

$$\text{db} = 10 \log_{10} \frac{P_{\alpha}}{P_{\epsilon\iota\sigma}}$$

29.2 Εργασία.

1) Συνδεσμολογήστε το κύκλωμα του σχήματος 29.2α του ενισχυτή κοινού εκπομπού και αφού μετρήσετε τις τάσεις στην έξοδο και την είσοδο, υπολογίστε



Σχ. 29.2α.

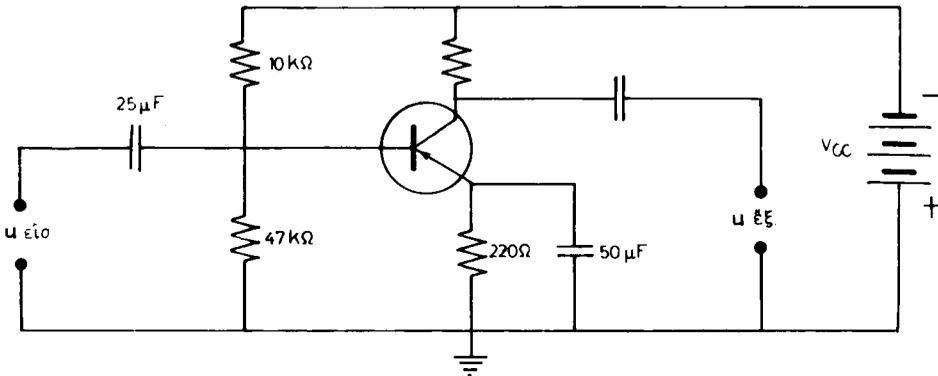
την ενίσχυση που κάνει. Για να πάρετε τις μετρήσεις χρησιμοποιήστε γεννήτρια Χ.Σ. στους 1000 Hz και παλμογράφο στην έξοδο. Το σήμα της γεννήτριας να αρχίσει από πολύ μικρό πλάτος και οι μετρήσεις να γίνουν όταν η τιμή του γίνει τέτοια, ώστε το σήμα στην έξοδο που παρατηρούμε στον παλμογράφο, να μην περάσει την τιμή που αρχίζουν οι παραμορφώσεις.

2) Να συνδεσμοποιηθεί μιλλιαμπερόμετρο στο κύκλωμα του συλλέκτη (πάντοτε διακόπουμε την πηγή για την παρεμβολή οργάνων) και να μετρηθεί το ρεύμα του συλλέκτη I_C . Στο ίδιο κύκλωμα να μετρηθούν ακόμη οι τάσεις V_{BE} μεταξύ βάσεως - εκπομπού και V_{CE} μεταξύ συλλέκτη - εκπομπού.

3) Οι ίδιες μετρήσεις I_C και V_{BE} , V_{CE} να επαναληφθούν αφού πρώτα θερμανθεί λίγο το τρανζίστορ. Η θέρμανση μπορεί να γίνει με την προσέγγιση μιας λάμπας 40 - 60 βαττ για λιγότερο από ένα λεπτό.

4) Πού οφείλονται οι διαφορές στις μετρήσεις των ερωτήσεων 2 και 3;

5) Να βελτιωθεί το προηγούμενο κύκλωμα και να πάρει τη μορφή του σχήματος 29.2β. Να γίνουν σε αυτό τώρα οι μετρήσεις των τάσεων V_{BE} , V_{CE} και του ρεύματος I_C σε κανονική λειτουργία και ύστερα από μικρή θέρμανση του τρανζίστορ.



Σχ. 29.2β.

6) Να σχολιασθούν τα αποτελέσματα των μετρήσεων αυτών μεταξύ τους και σε σύγκριση με τις μετρήσεις των ερωτήσεων 2 και 3.

7) Να μετρηθεί η αντίσταση εξόδου του κυκλώματος.

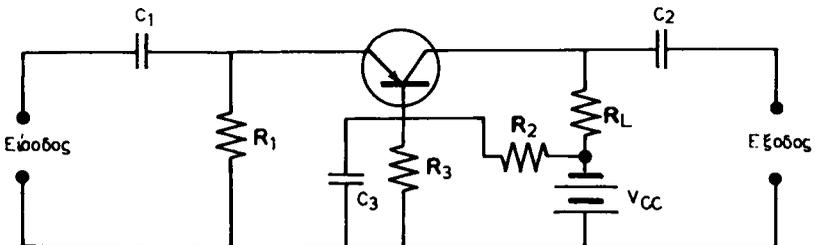
ΑΣΚΗΣΗ 30

ΕΝΙΣΧΥΤΗΣ ΤΡΑΝΖΙΣΤΟΡ ΚΟΙΝΗΣ (ΓΕΙΩΜΕΝΗΣ) ΒΑΣΕΩΣ

30.1 Γενικά.

Τα χαρακτηριστικά του κυκλώματος ενός τρανζίστορ σε συνδεσμολογία κοινής βάσεως μελετήθηκαν στην άσκηση 19. Ξαναθυμίζουμε τα βασικά από αυτά:

- Μικρή αντίσταση εισόδου 30 - 300 Ω (μικρότερη από όλες τις άλλες συνδεσμολογίες).
- Μεγάλη αντίσταση εξόδου 300 kΩ - 3 MΩ (μεγαλύτερη από όλες τις άλλες συνδεσμολογίες).
- Μεγάλη απολαβή τάσεως.
- Μικρή απολαβή ρεύματος (μικρότερη από τη μονάδα).
- Μεγάλη απολαβή ισχύος (20 - 30 db).
- Η ενισχυμένη τάση στην έξοδο είναι συμφασική με την τάση στην είσοδο (Μηδενική διαφορά φάσεως).



Σχ. 30.1α.

Στο κύκλωμα του σχήματος 30.1α φαίνεται συνδεσμολογία ενισχυτή τρανζίστορ με γειωμένη βάση, από τις συνηθισμένες που συναντάμε στην πράξη.

Η πόλωση σε αυτό το κύκλωμα εξασφαλίζεται μέσω των αντιστάσεων R_2 και R_3 . Ο πυκνωτής C_3 παραλληλίζει την R_3 και σταθεροποιεί την πόλωση. Ο C_1 οδηγεί το σήμα, που θέλουμε να ενισχύσουμε, στον εκπομπό. Το ενισχυμένο σήμα λαμβάνεται από το συλλέκτη μετά τον πυκνωτή C_2 .

Η απολαβή τάσεως προσδιορίζεται από τα στοιχεία του κυκλώματος με τα χαρακτηριστικά του ίδιου του τρανζίστορ πρώτα και δίνεται από τη σχέση:

$$A_v = \frac{U_{εξ}}{U_{εισ}}$$

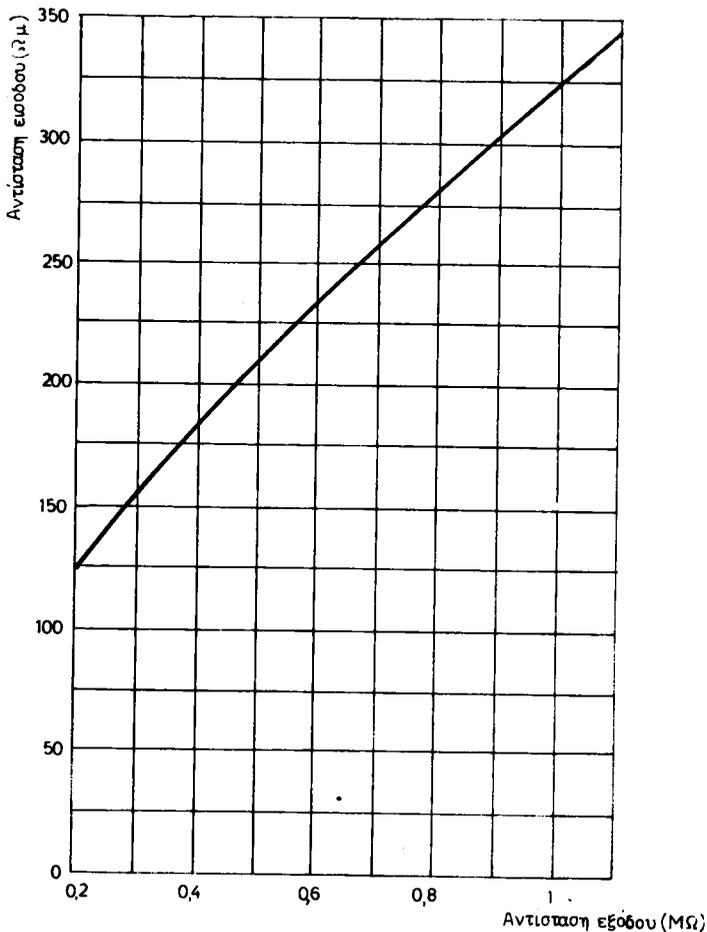
Για τη μέτρηση των δύο τάσεων ισχύουν όσα είπαμε στην προηγούμενη άσκηση για τον ενισχυτή τρανζίστορ με κοινό εκπομπό (άσκηση 29).

Η απολαβή ισχύος δίνεται από τη σχέση:

$$A_{\text{ισχύος}} = 10 \log \frac{P_{\text{εξ}}}{P_{\text{εισ}}} \quad \text{σε db}$$

Γενικά, η σύνθετη αντίσταση εισόδου στα τρανζίστορ είναι μικρή, ενώ η σύνθετη αντίσταση εξόδου είναι μεγάλη. Οι τιμές των αντιστάσεων εισόδου και εξόδου δεν είναι σταθερές, αλλά μεταβάλλονται με τα στοιχεία κάθε κυκλώματος.

Στο διάγραμμα του σχήματος 30.1β φαίνεται η χαρακτηριστική των μεταβολών της αντιστάσεως εισόδου προς την αντίσταση εξόδου σε έναν ενισχυτή τρανζίστορ κοινής βάσεως.



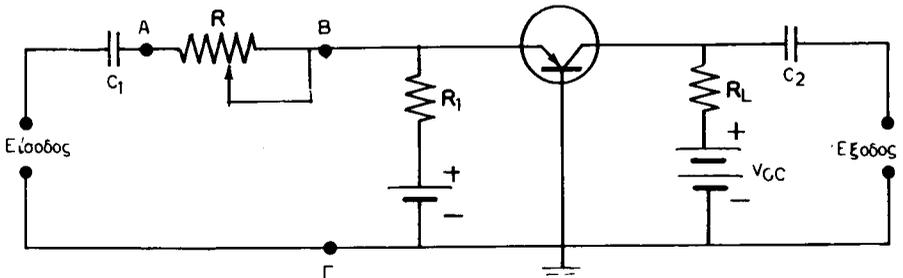
Σχ. 30.1β.

Μεταβολές αντιστάσεως εισόδου σε σχέση με την αντίσταση εξόδου φορτίου σε τρανζίστορ 2N77 όταν δουλεύει σε θερμοκρασία περιβάλλοντος με τάση συλλέκτη - 4 βολτ και έχει ρεύμα συλλέκτη 0,7 mA.

Η καμπύλη αυτή δείχνει τις μεταβολές της αντιστάσεως εξόδου (φορτίου) από 200 kΩ ως 1,2 MΩ για μεταβολές της αντιστάσεως εισόδου από 100 ως 350 Ωμ.

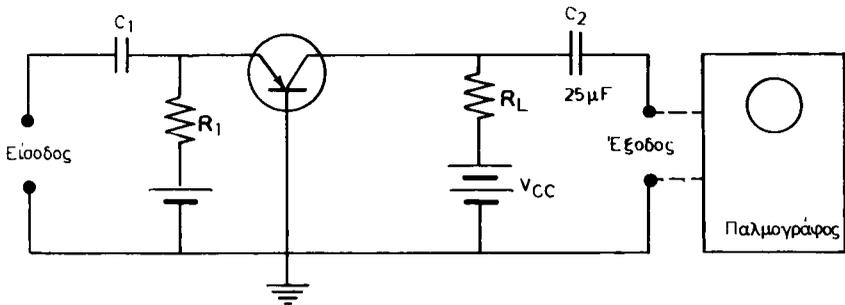
Η αντίσταση εισόδου σε κύκλωμα ενισχυτή κοινής βάσεως μπορεί να προσδιορισθεί με την ακόλουθη μέθοδο:

Στο κύκλωμα του σχήματος 30.1γ μια γεννήτρια δίνει σήμα στην είσοδο. Ρυθμίζουμε τη μεταβλητή αντίσταση R , ώστε η τάση στα σημεία Β-Γ να είναι το μισό της τάσεως στα σημεία Α-Γ. Για τη συνθήκη αυτή μετράμε την R και η τιμή της μας δίνει την αντίσταση εισόδου του κυκλώματος.



Σχ. 30.1γ.

Η συνδεσμολογία γειωμένης βάσεως χρησιμοποιείται κυρίως σε κυκλώματα υψηλών συχνοτήτων, ενώ σπάνια συναντάται σε κυκλώματα χαμηλών συχνοτήτων.



Σχ. 30.2.

30.2 Εργασία.

1) Να συνδεσμολογηθεί το κύκλωμα του σχήματος 30.2 και αφού μετρηθούν οι τάσεις στην έξοδο και στην είσοδο, να υπολογισθεί η απολαβή τάσεως του ενισχυτή. Με τον παλμογράφο ελέγχουμε, πριν από τις μετρήσεις των τάσεων, ώστε το σήμα στην έξοδο να μη φθάνει τα όρια των παραμορφώσεων.

2) Να παρεμβληθεί ροοστάτης στην είσοδο (σχ. 30.1γ) και να μετρηθεί η αντίσταση εισόδου.

3) Με τον τρόπο που περιγράφεται στην προηγούμενη άσκηση (29), να μετρηθεί η αντίσταση εξόδου του κυκλώματος.

4) Από τα αποτελέσματα των μετρήσεων και των υπολογισμών, που έγιναν στις τρεις προηγούμενες ερωτήσεις, να υπολογισθεί η απολαβή ισχύος του ενισχυτή.

5) Με παλμογράφο στην είσοδο και την έξοδο του κυκλώματος να επαληθευθεί η μηδενική διαφορά φάσεως μεταξύ των τάσεων εξόδου και εισόδου.

ΑΣΚΗΣΗ 31

ΕΝΙΣΧΥΤΗΣ ΤΡΑΝΖΙΣΤΟΡ ΚΟΙΝΟΥ (ΓΕΙΩΜΕΝΟΥ) ΣΥΛΛΕΚΤΗ

31.1 Γενικά.

Στο κύκλωμα - ενισχυτή τρανζίστορ με κοινό συλλέκτη, το σήμα στην είσοδο εφαρμόζεται μεταξύ βάσεως - συλλέκτη και το σήμα στην έξοδο μετρείται μεταξύ εκπομπού - συλλέκτη. Δηλαδή, ο συλλέκτης είναι το κοινό ηλεκτρόδιο για την είσοδο και την έξοδο.

Τα χαρακτηριστικά ενός τέτοιου κυκλώματος είναι:

- Μεγάλη αντίσταση εισόδου: 20 - 500 kΩ .
- Μικρή αντίσταση εξόδου: 50 - 1000 Ω .
- Απολαβή τάσεως μικρότερη από τη μονάδα.
- Απολαβή ρεύματος σχετικά μεγάλη: 25 - 50 .
- Απολαβή ισχύος σχετικά μικρή: 10 - 20 db, μικρότερη από την απολαβή ισχύος που δίνουν οι συνδεσμολογίες κοινής βάσεως και κοινού εκπομπού, που εξετάσαμε στις δύο προηγούμενες ασκήσεις .
- Μηδενική διαφορά φάσεως μεταξύ τάσεως εξόδου και τάσεως εισόδου (όπως και στο κύκλωμα κοινής βάσεως).

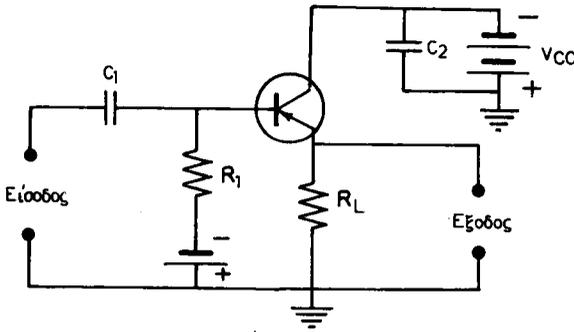
Από τα χαρακτηριστικά αυτά βλέπουμε ότι: α) Η συνδεσμολογία κοινού συλλέκτη αντιστοιχεί στη συνδεσμολογία ενισχυτή καθόδου στα κυκλώματα με λυχνίες και β) παρουσιάζει τα αντίθετα χαρακτηριστικά από το κύκλωμα ενισχυτή με κοινή βάση.

Στο κύκλωμα του σχήματος 31.1α το προς ενίσχυση σήμα οδηγείται από τον πυκνωτή C_1 στη βάση. Η αντίσταση φορτίου R_L συνδέεται στον εκπομπό και το σήμα εξόδου το παίρνουμε στην R_L , δηλαδή στον εκπομπό. Ο πυκνωτής C_2 σταθεροποιεί την τάση του συλλέκτη γειώνοντας τα εναλλασσόμενα ρεύματα.

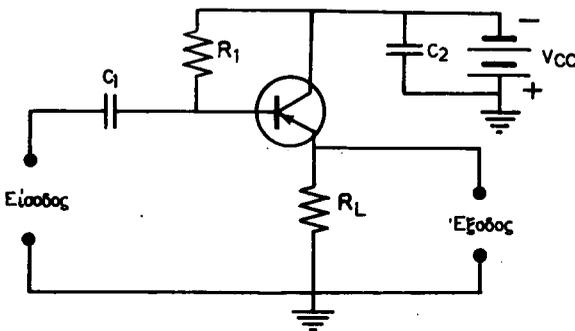
Τα κυκλώματα στα σχήματα 31.1α και 31.1β είναι ίδια. Η διαφορά τους είναι μόνο στην πόλωση, δηλαδή στο σχήμα 31.1α έχουμε ξεχωριστή πηγή πολώσεως, ενώ στο σχήμα 31.1β η πόλωση εξασφαλίζεται από την κοινή πηγή V_{CC} μέσω της R_1 .

Τα σήματα εξόδου και εισόδου είναι συμφασικά και το γεγονός αυτό εξηγείται ως εξής:

Κατά την αρνητική ημιπερίοδο του σήματος εισόδου το ρεύμα της βάσεως του τρανζίστορ PNP αυξάνεται, οπότε και τα ρεύματα εκπομπού - συλλέκτη αυξάνονται. Η στιγμιαία τάση U_a του εκπομπού που δίνεται από το γινόμενο $i_a R_L$ γίνεται αρνητικότερη από ό,τι ήταν πριν. Άρα η τάση στην έξοδο (στον εκπομπό) ακολου-



Σχ. 31.1α.



Σχ. 31.1β.

θαι τις μεταβολές της τάσεως βάσεως. Το ίδιο φυσικά γίνεται και στη θετική ημιπερίοδο του σήματος εισόδου, οπότε η τάση εκπομπού γίνεται θετικότερη.

Το κύκλωμα ενισχυτή κοινού συλλέκτη με τη μεγάλη αντίσταση εισόδου και τη μικρή αντίσταση εξόδου εξυπηρετεί, όταν απαιτείται, προσαρμογή τέτοιων αντιστάσεων.

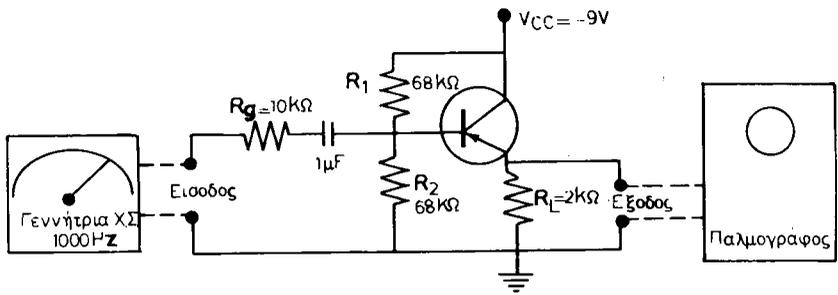
31.2 Εργασία.

1) Να συνδεσμοποιηθεί το κύκλωμα του σχήματος 31.2 και να μετρηθούν οι τάσεις στην έξοδο και την είσοδο. Από τις τιμές τους να υπολογισθεί η απολαβή τάσεως του ενισχυτή. (Δίνουμε πρώτα σήμα με τη γεννήτρια, παρατηρούμε στον παλμογράφο για να μη φτάσουμε σε παραμόρφωση και μετά κάνουμε τις μετρήσεις).

2) Κρατήστε σταθερή την τάση εισόδου (σήμα από τη γεννήτρια), μεταβάλλετε τη συχνότητα για τις τιμές του Πίνακα 31.2.1 και λάβετε μετρήσεις της ενισχυμένης τάσεως στην έξοδο. Συμπληρώστε τη στήλη U_a του πίνακα.

3) Από τις τιμές της U_a στις διάφορες συχνότητες και τη σταθερή U_a να υπολογισθεί η απολαβή A του ενισχυτή και να συμπληρωθεί η τρίτη στήλη του πίνακα.

4) Να χαραχθεί η καμπύλη αποκρίσεως του ενισχυτή (Απολαβή A στις διάφο-



Σχ. 31.2.

ΠΙΝΑΚΑΣ 31.2.1.

| $U_g = \text{σταθερή} = \dots \text{βολτ}$ | | |
|--|-------------------|----------------------|
| f (Hz) | U_α (βολτ) | $A = u_\alpha / u_g$ |
| 20 | | |
| 50 | | |
| 80 | | |
| 100 | | |
| 150 | | |
| 200 | | |
| 500 | | |
| 1000 | | |
| 2000 | | |
| 5000 | | |
| 10.000 | | |
| 15.000 | | |
| 20.000 | | |

ΠΙΝΑΚΑΣ 31.2.2.

Πίνακας των χαρακτηριστικών που παρουσιάζουν οι διάφορες συνδεσμολογίες των τρανζιστορ

| Μεγέθη | Συνδεσμολογίες | | |
|------------------------|-----------------|-----------------|---------------|
| | Κοινού εκπομπού | Κοινού συλλέκτη | Κοινής βάσεως |
| Αντίσταση εισόδου | | | |
| Αντίσταση εξόδου | | | |
| Απολαβή τάσεως | | | |
| Απολαβή ισχύος | | | |
| Φασική διαφορά σημάτων | | | |

ρες συχνότητες). Οι συχνότητες να αναγράφονται στον οριζόντιο άξονα και σε λογαριθμική κλίμακα. Με βάση την καμπύλη αποκρίσεως αποφανθείτε για την ποιότητα του ενισχυτή.

5) Στον Πίνακα 31.2.2 καταχωρήσετε συγκριτικά στοιχεία των ενισχυτών τρανζίστορ: α) Κοινού εκπομπού, β) κοινής βάσεως και γ) κοινού συλλέκτη.

ΑΣΚΗΣΗ 32

ΕΝΙΣΧΥΤΕΣ ΙΣΧΥΟΣ

32.1 Γενικά.

Με τους ενισχυτές ισχύος επιδιώκομε την εξασφάλιση μιας ικανοποιητικής για κάθε περίπτωση ισχύος, για να την εκμεταλλευτούμε στο φορτίο.

Όταν πρόκειται για ενισχυτικά συγκροτήματα για χαμηλές συχνότητες και ραδιοφωνικούς δέκτες, η τελική βαθμίδα είναι πάντοτε ενισχυτής ισχύος και το φορτίο είναι το μεγάφωνο.

Ενισχυτές ισχύος συναντώνται και στα κυκλώματα πομπών καθώς και στα κυκλώματα βιομηχανικών ηλεκτρονικών κλπ. Στις διάφορες αυτές περιπτώσεις έχομε και τα κατάλληλα κυκλώματα. Τα κυκλώματα αυτά εξαρτώνται από την τάξη λειτουργίας του ενισχυτή.

Οι τάξεις λειτουργίας των ενισχυτών βασικά είναι οι εξής τρεις: Α, Β, και Γ. Η τάξη Γ συναντάται σε κυκλώματα πομπών και σε ρυθμιστικά κυκλώματα βιομηχανικών ηλεκτρονικών. Στους ενισχυτές χαμηλών συχνοτήτων, στους οποίους μας ενδιαφέρει η πιστότητα στην απόδοσή τους, χρησιμοποιούμε την τάξη Α σε απλά κυκλώματα με μια βαθμίδα και την τάξη Β σε κυκλώματα, στα οποία συνεργάζονται δύο βαθμίδες. Επίσης συναντάται συχνά και η τάξη ΑΒ, που είναι μια ενδιάμεση κατάσταση λειτουργίας των ενισχυτών μεταξύ των τάξεων Α και Β. Στα διαγράμματα του σχήματος 32.1α φαίνονται οι τάξεις Α, Β και ΑΒ, που χρησιμοποιούμε στους ενισχυτές ισχύος για χαμηλές συχνότητες.

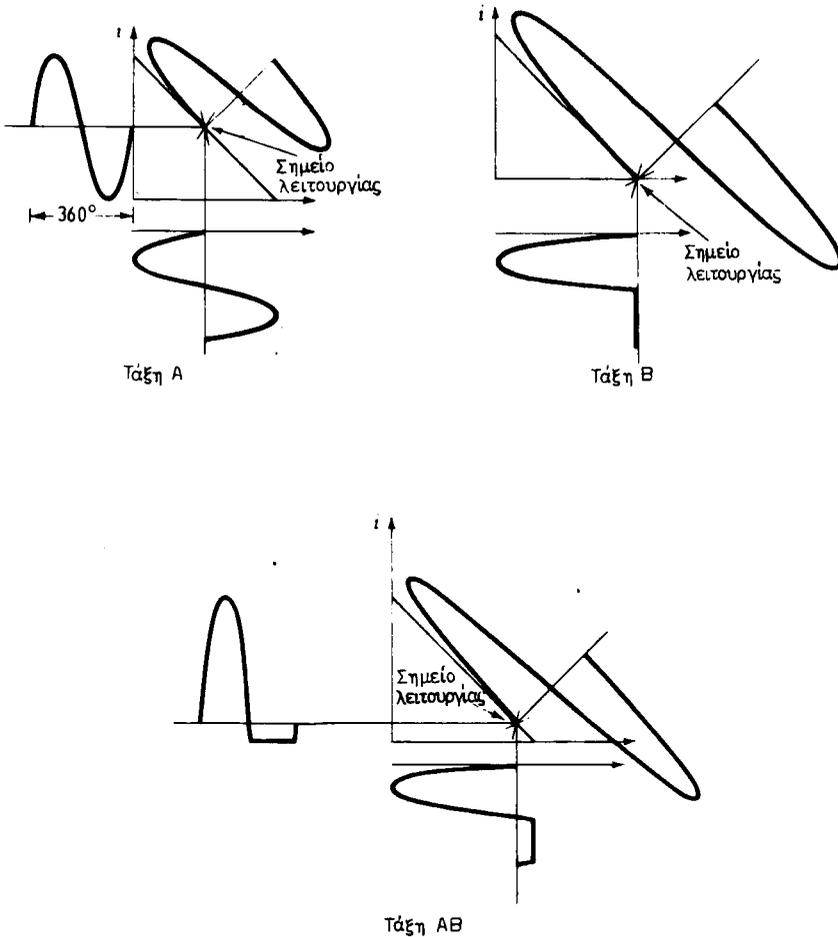
Στα διαγράμματα αυτά:

α) Στην τάξη Α, το σήμα εισόδου εμφανίζεται ενισχυμένο στην έξοδο χωρίς καμία αλλαγή στη μορφή του, γιατί δουλεύομε στη μέση της δυναμικής χαρακτηριστικής με κανονική πόλωση και κανονική διέγερση.

β) Στην τάξη Β έχομε στην έξοδο μόνο το μισό σήμα εισόδου, δηλαδή το θετικό παλμό, γιατί η βαθμίδα είναι πολωμένη σε δυναμικό αποκοπής και φυσικά αυτό σημαίνει παραμόρφωση.

γ) Στην τάξη ΑΒ έχομε στην έξοδο λίγο περισσότερο από το μισό της τάσεως εισόδου, δηλαδή και εδώ εμφανίζεται παραμόρφωση.

Οι τάξεις Β και ΑΒ χρησιμοποιούνται πολύ στους ενισχυτές ισχύος, γιατί παρέχουν μεγαλύτερο βαθμό απόδοσης. Οι ενισχυτές που δουλεύουν στις τάξεις αυτές αποτελούνται από δυο βαθμίδες, οι οποίες συνεργάζονται με τέτοιο τρόπο, που η μία συμπληρώνει την άλλη και οι δυο μαζί εξασφαλίζουν στην έξοδο πιστή αναπαραγωγή της διεγέρσεως. Κυκλώματα τέτοιων ενισχυτών εξετάζονται στις δύο επόμενες ασκήσεις.



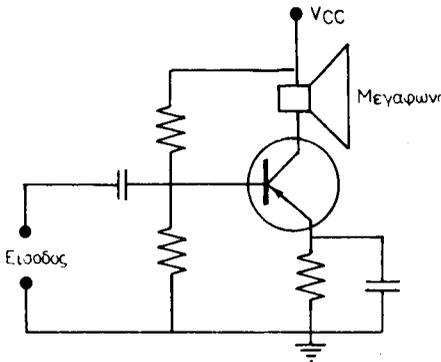
Σχ. 32.1α.

Σε βαθμίδες ισχύος, από τις οποίες ζητάμε μικρή ισχύ στην έξοδο, όπως π.χ. στα μικρά ραδιόφωνα με τρανζίστορ και στους μικρούς ενισχυτές στα ηλεκτρόφωνα, χρησιμοποιούμε απλά κυκλώματα με ένα τρανζίστορ που δουλεύει σε τάξη A.

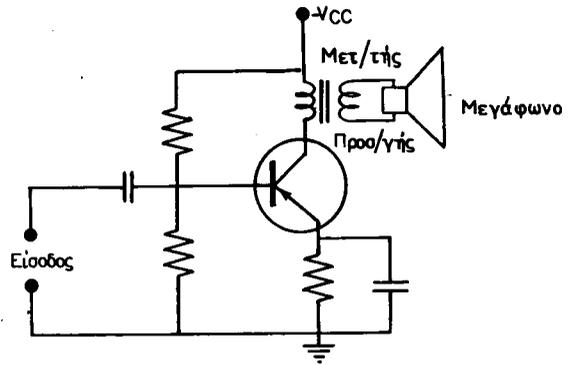
Στα κυκλώματα των σχημάτων 32.1β και 32.1γ φαίνονται δυο συνδεσμολογίες ενισχυτών ισχύος με μια απλή βαθμίδα.

Το κύκλωμα του σχήματος 32.1β χρησιμοποιείται σε ενισχυτές με μικρή ισχύ στην έξοδο, π.χ. 50 - 100 mW (τόση ισχύ δίνουν όλα τα μικρά ραδιόφωνα). Επίσης σε αυτό το κύκλωμα το μεγάφωνο έχει μεγάλη αντίσταση γι' αυτό και συνδέεται απ' ευθείας χωρίς μετασχηματιστή. Στο κύκλωμα του σχήματος 32.1γ το μεγάφωνο έχει μικρή αντίσταση και ο μετασχηματιστής εξασφαλίζει την προσαρμογή.

Βασικά σε έναν ενισχυτή ισχύος επιδιώκουμε να πάρουμε στην έξοδο όσο το δυνατό μεγαλύτερη ισχύ εναλλασσόμενης μορφής, σε σχέση με την ισχύ που καταναλώνουμε και που την παρέχουν οι πηγές συνεχούς. Τη μετατροπή της συνεχούς



Σχ. 32.1β.



Σχ. 32.1γ.

σε εναλλασσόμενη μορφή την επιτυγχάνουμε με το σήμα εισόδου, το οποίο προκαλεί την κυκλοφορία εναλλασσομένων ρευμάτων και την εμφάνιση εναλλασσομένων τάσεων, άρα και εναλλασσόμενης ισχύος. Το πόσο μεγαλύτερο ποσοστό εναλλασσόμενης ισχύος θα εξασφαλίσουμε σε ένα συγκεκριμένο κύκλωμα εξαρτάται: α) Από την τάξη λειτουργίας που δουλεύουμε και β) από την προσαρμογή του κυκλώματος (προσαρμογή εξόδου τρανζίστορ και μεγαφώνου-φορτίου).

Στην τάξη Α στην πράξη η απόδοση είναι 20 - 25%, ενώ στην τάξη Β φτάνουμε το 50%.

32.2 Εργασία.

1) Να συνδεσμοποιηθεί το κύκλωμα του σχήματος 32.2. Να ρυθμίσετε τη μεταβλητή αντίσταση R για να έχετε ρεύμα στο συλλέκτη $I_C = 0,5 \text{ A}$. Με γεννήτρια χαμηλών συχνοτήτων οδηγήσετε σήμα 1000 Hz στην είσοδο. Το πλάτος του σήματος στην είσοδο να είναι τέτοιο, ώστε να μην παραμορφώνεται το σήμα στην έξοδο. Την παραμόρφωση στο σήμα εξόδου την παρατηρούμε με παλμογράφο στα σημεία Α - Β.

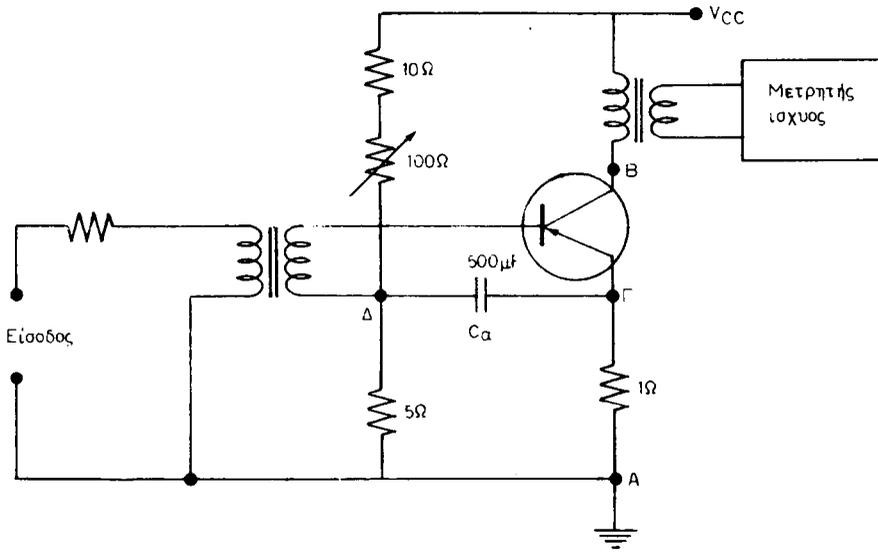
Μετρήσετε την τάση στην έξοδο (μέγιστη τιμή πριν από την παραμόρφωση) και την αντίστοιχη τάση στην είσοδο. Υπολογίστε την ενίσχυση τάσεως του ενισχυτή και σχολιάστε την τιμή της.

2) Στο ίδιο κύκλωμα: α) Μετρήσετε την τάση στα άκρα του πυκνωτή C_a , σημεία Γ - Δ. β) Αποσυνδέσετε τον C_a και ρυθμίστε την τάση εξόδου της γεννήτριας, ώστε να επικρατεί η ίδια τάση στα σημεία Γ - Δ. γ) Μετρήσετε το ρεύμα (εναλλασσόμενο) στον εκπομπό και τη βάση. δ) Υπολογίστε την απολαβή ρεύματος του ενισχυτή.

3) Με τον πυκνωτή C_a στο κύκλωμα μετρήσετε την ισχύ εισόδου και την ισχύ εξόδου και υπολογίστε την απολαβή ισχύος.

4) Ποιος ο ρόλος του πυκνωτή C_a στο κύκλωμα;

5) Υπολογίστε την κατανάλωση ισχύος στο τρανζίστορ ($V_{CC} \cdot I_C$) και προσδιορίσετε το βαθμό αποδόσεως της βαθμίδας.



Σχ. 32.2.

6) Να υποδείξετε τρόπο με τον οποίο μπορούμε να ορίσουμε την κατάσταση προσαρμογής του κυκλώματος.

ΑΣΚΗΣΗ 33

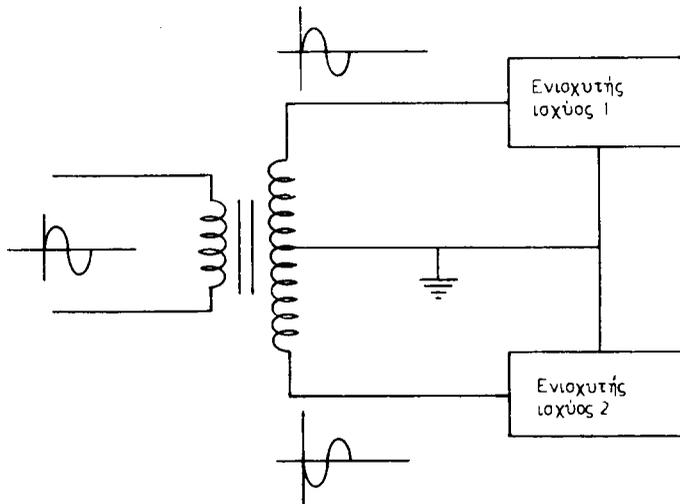
ΕΝΙΣΧΥΤΕΣ ΙΣΧΥΟΣ ΜΕ ΣΥΜΜΕΤΡΙΚΗ ΕΞΟΔΟ PUSH - PULL

33.1 Γενικά.

Όπως είδαμε στην προηγούμενη άσκηση (32), όταν δουλεύουμε έναν ενισχυτή σε τάξη Β, το σήμα που εφαρμόζεται στην είσοδό του βγαίνει παραμορφωμένο στην έξοδό του, αφού μόνο η μια ημιπερίοδος (η θετική) ενισχύεται, ενώ η άλλη (η αρνητική) αποκόπτεται.

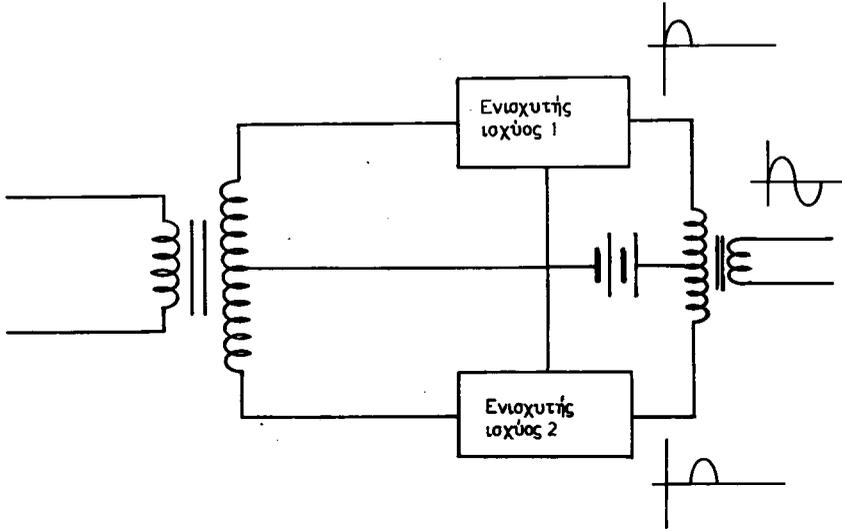
Στην τάξη Β έχουμε αύξηση (διπλασιασμό) της αποδόσεως και συμφέρει να την χρησιμοποιούμε. Για να αντιμετωπίσουμε όμως το πρόβλημα της παραμορφώσεως που προκαλείται από την αποκοπή της αρνητικής ημιπεριόδου του σήματος που θέλουμε να ενισχύσουμε, δουλεύουμε με δυο βαθμίδες οι οποίες τροφοδοτούνται με σήματα που έχουν ίδιο πλάτος, αλλά με διαφορά φάσεως 180° .

Στο κύκλωμα του σχήματος 33.1α ο μετασχηματιστής εισόδου έχει συμμετρικό δευτερεύον (δύο τυλίγματα με αντίθετη περιέλιξη, γειωμένη η μέση του όλου τυλίγματος) και οδηγεί στις εισόδους των δύο βαθμίδων του ενισχυτή ισχύος δύο σήματα με διαφορά φάσεως 180° . Τα τυλίγματα έχουν τον ίδιο αριθμό σπειρών και παρέχουν τάσεις με το ίδιο πλάτος.



Σχ. 33.1α.

Τα σήματα αυτά με διαφορά φάσεως 180° ενισχυόμενα, αποδίδονται στην έξοδο των δύο βαθμίδων όπου υπάρχει κατάλληλος μετασχηματιστής. Ο μετασχηματιστής εξόδου έχει συμμετρικό πρωτεύον και απλό δευτερεύον (αντίθετα από το μετασχηματιστή εισόδου) και δίνει το ενισχυμένο σήμα με δύο παλμούς, έναν από κάθε βαθμίδα. Οι δύο παλμοί βγαίνουν από τις δύο βαθμίδες που ενισχύουν τα δύο σήματα, τα οποία διαφέρουν μεταξύ τους κατά 180° . Στο σχήμα 33.1β φαίνεται η όλη διαδικασία.



Σχ. 33.1β.

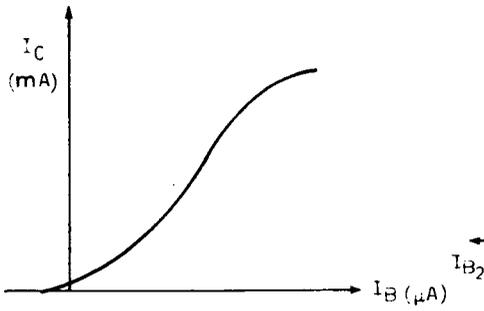
Στο κάθε μισό πρωτεύον τύλιγμα έχουμε από ένα θετικό παλμό με διαφορά φάσεως μεταξύ τους 180° . Στο δευτερεύον, που τροφοδοτεί το μεγάφωνο, έχουμε πλήρη αναπαραγωγή του σήματος εισόδου.

Το κύκλωμα που περιγράψαμε είναι ενισχυτής ισχύος με συμμετρική έξοδο και περισσότερο αναφέρεται σαν κύκλωμα Push - Pull (Push = σπρώχνω, Pull - τραβώ), γιατί όταν η μια βαθμίδα εργάζεται και δίνει το θετικό παλμό, η άλλη βρίσκεται σε αποκοπή (πόλωση σε τάξη Β). Όταν έρχεται ο αρνητικός παλμός και προκαλεί αποκοπή στην πρώτη βαθμίδα, εργάζεται η δεύτερη.

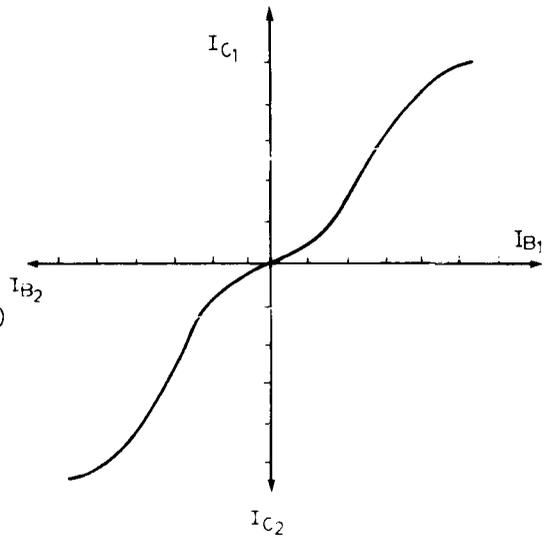
Γραφικά η διαδικασία της συνεργασίας των δύο βαθμίδων φαίνεται στα σχήματα 33.1γ, 33.1δ και 33.1ε.

Στο σχήμα 33.1γ φαίνεται η δυναμική χαρακτηριστική της μιας βαθμίδας. Η δυναμική χαρακτηριστική καμπύλη των δύο βαθμίδων που συνεργάζονται προκύπτει από τη συνένωση των χαρακτηριστικών των δύο βαθμίδων που δουλεύουν με διαφορά φάσεως 180° (σχ. 33.1δ). Στο σχήμα 33.1ε φαίνεται η κυματομορφή εξόδου της διατάξεως των δύο βαθμίδων, όταν στην εισόδό τους εμφανίζεται ημιτονικό σήμα (υποτίθεται ότι τα δύο τρανζίστορ έχουν ακριβώς τα ίδια χαρακτηριστικά).

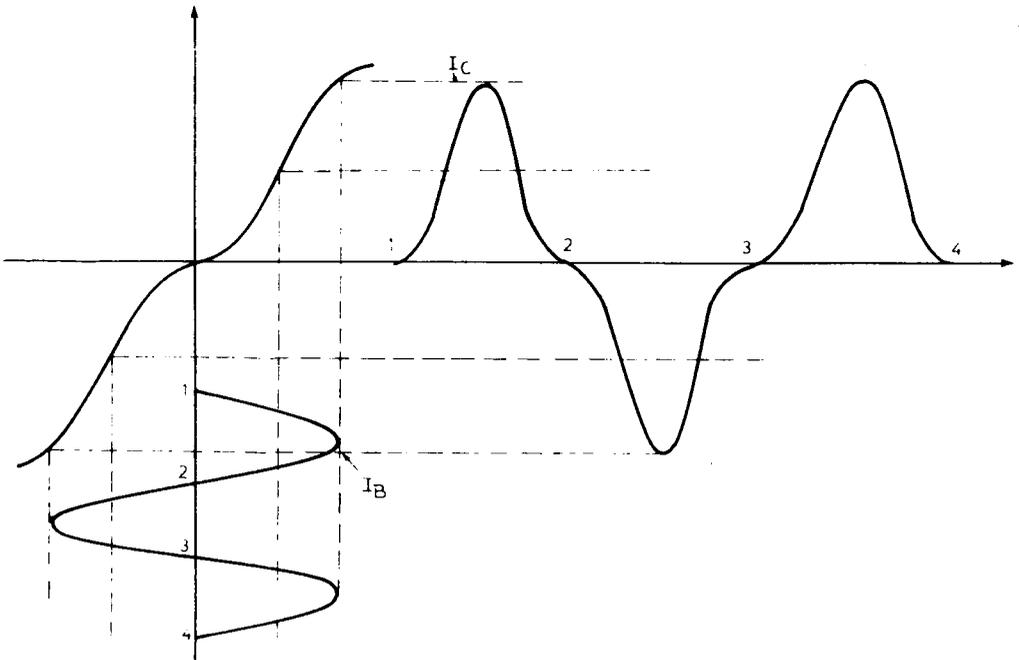
Από τα διαγράμματα (σχ. 33.1δ και 33.1ε) βλέπουμε ότι στα σημεία συνενώ-



Σχ. 33.1γ.



Σχ. 33.1δ.

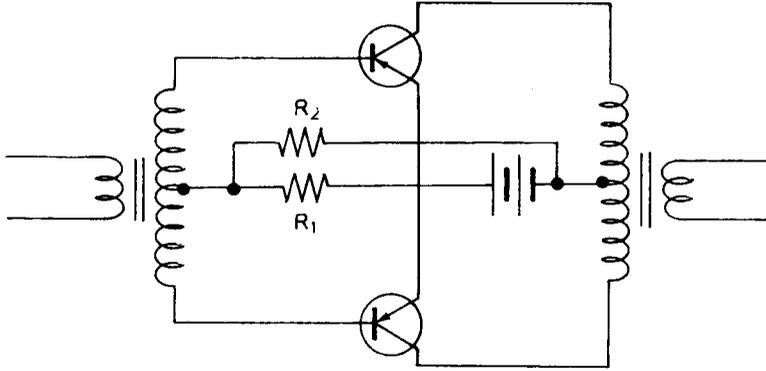


Σχ. 33.1ε.

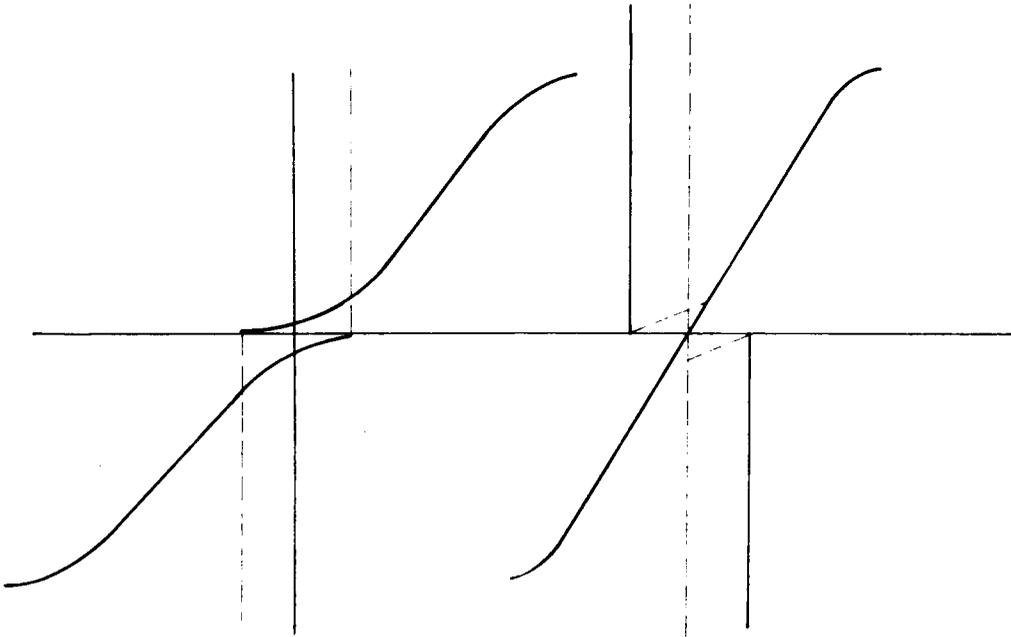
σεως των δύο χαρακτηριστικών παρουσιάζεται παραμόρφωση. Η παραμόρφωση διασταυρώσεως, όπως λέγεται, περιορίζεται με την εφαρμογή μιας μικρής πολώσεως στα τρανζίστορ του ενισχυτή Push - Pull.

Ένα κύκλωμα ενισχυτή Push - Pull με μικρή πόλωση ορθής φοράς μεταξύ βάσεων - εκπομπού φαίνεται στο κύκλωμα του σχήματος 33.1στ.

Οι αντιστάσεις R_1 και R_2 αποτελούν ένα διαιρέτη τάσεως. Η τάση στα άκρα της R_1 είναι και η τάση πολώσεως των δύο τρανζίστορ που περιορίζει την παραμόρφωση διασταυρώσεως.



Σχ. 33.1στ.



Σχ. 33.1ζ.

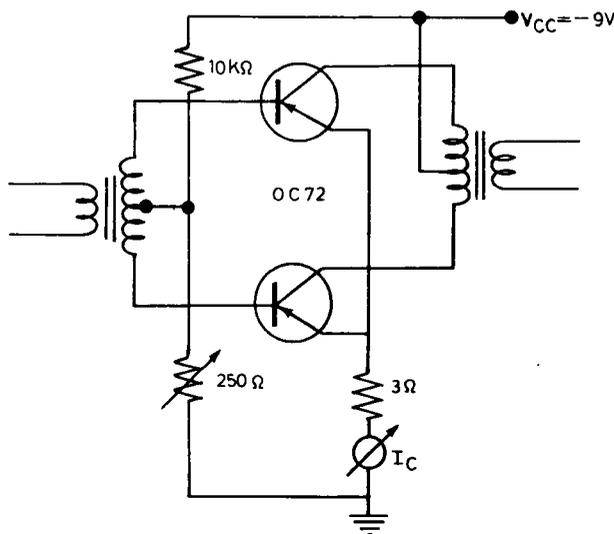
Σχ. 33.1η.

Στο σχήμα 33.1ζ φαίνεται η δυναμική χαρακτηριστική των δύο συνεργαζομένων τρανζίστορ για μηδενική πόλωση και στο σχήμα 33.1η η τελική δυναμική

χαρακτηριστική που παρουσιάζουν οι δύο βαθμίδες, όταν εφαρμόζεται μικρή πόλωση και αποκόπτονται τα καμπύλα τμήματα.

33.2 Εργασία.

- 1) Να συνδεσμοποιηθεί το κύκλωμα του σχήματος 33.2.



Σχ. 33.2.

2) Με γεννήτρια χαμηλών συχνοτήτων να εφαρμοσθεί σήμα 1000 Hz στην είσοδο (πρωτεύον μετασχηματιστή εισόδου).

3) Με παλμογράφο να παρατηρηθεί η φασική διαφορά στα σήματα εισόδου και εξόδου στις δυο βαθμίδες του κυκλώματος.

4) Να μετρηθεί η ισχύς στην έξοδο και να συγκριθεί με εκείνη που δίνει ο κατασκευαστής για κάθε τρανζίστορ.

5) Με σήμα σταθερού πλάτους στην είσοδο, μεταβάλλετε τη συχνότητα της γεννήτριας και μετράτε για κάθε συχνότητα, που αναφέρεται στον Πίνακα 33.2.1, την τάση εξόδου (στο δευτερεύον του μετασχηματιστή εξόδου). Συμπληρώσετε τη σχετική στήλη (U_a) του Πίνακα 33.2.1.

6) Να υπολογίσετε την ισχύ εξόδου $P_a = \frac{u_a^2}{R_L}$ (λάβετε $R_L = 30 \Omega$), για κάθε

U_a και να συμπληρώσετε την τρίτη στήλη του πίνακα.

7) Χαράξτε την καμπύλη P_a (βάττ)/f (Hz) και σχολιάστε τη μορφή της.

ΠΙΝΑΚΑΣ 33.2.1.

| $u_a = \text{σταθερή} = \dots \text{βολτ}$ | | |
|--|--------------|---|
| f (Hz) | u_a (βολτ) | $P_a = \frac{u_a^2}{R_L} (R_L = 30 \Omega)$ |
| 20 | | |
| 50 | | |
| 100 | | |
| 200 | | |
| 500 | | |
| 1000 | | |
| 2000 | | |
| 5000 | | |
| 10.000 | | |
| 20.000 | | |

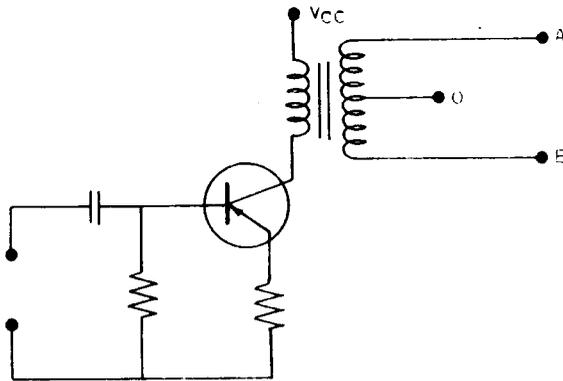
ΑΣΚΗΣΗ 34

ΚΥΚΛΩΜΑΤΑ ΑΝΑΣΤΡΟΦΗΣ ΦΑΣΕΩΣ

34.1 Γενικά.

Στους ενισχυτές ισχύος με συμμετρική έξοδο (Push - Pull), που εξετάσαμε στην προηγούμενη άσκηση (33), είδαμε ότι απαραίτητη προϋπόθεση λειτουργίας τους είναι η διαφορά φάσεως που πρέπει να έχουν τα σήματα εισόδου στις δύο συνεργαζόμενες βαθμίδες οι οποίες αποτελούν το κύκλωμα Push - Pull. Τα σήματα εισόδου πρέπει ακόμη να έχουν και το ίδιο πλάτος.

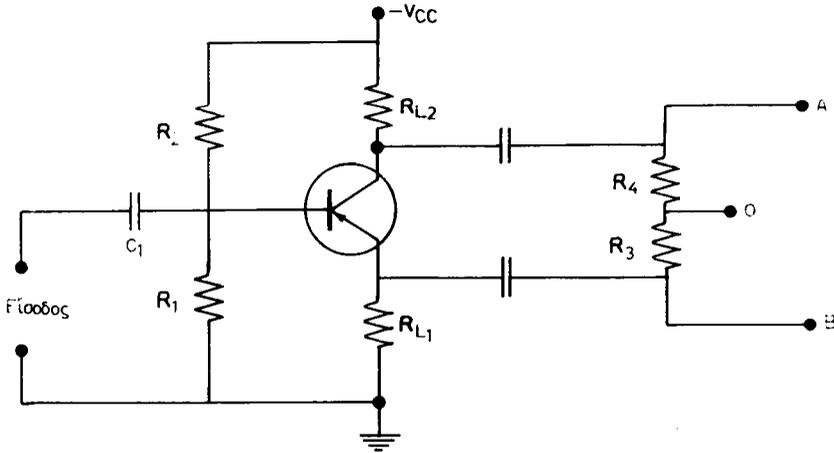
Η πιο απλή συνδεσμολογία για να εξασφαλίσουμε και τις δύο αυτές προϋποθέσεις, δηλαδή ίδιο πλάτος και διαφορά φάσεως 180° , είναι αυτή που φαίνεται στο σχήμα 34.1α.



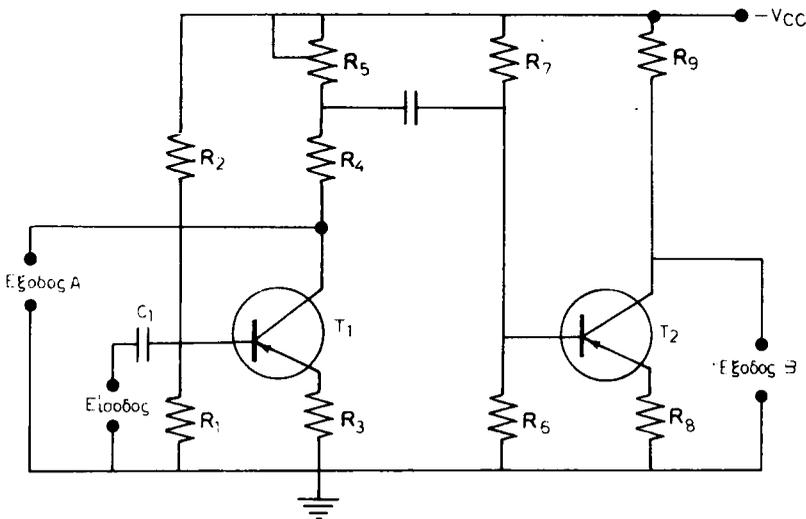
Σχ. 34.1α.

Τα μειονεκτήματα όμως που παρουσιάζει ο μετασχηματιστής, όπως το μεγάλο κόστος και κυρίως ή όχι καλή καμπύλη αποκρίσεως για τις χαμηλές συχνότητες της περιοχής των ακουστικών που θέλουμε να ενισχύσουμε, οδήγησαν στη χρησιμοποίηση άλλων κυκλωμάτων (σχ. 34.1β και 34.1γ).

Με τη συνδεσμολογία αυτή (σχ. 34.1β) παίρνουμε σήμα από το συλλέκτη και από τον εκπομπό που διαφέρουν μεταξύ τους κατά 180° . Με κατάλληλες τιμές στις αντιστάσεις φορτίου R_{L1} και R_{L2} εξασφαλίζουμε και το ίδιο πλάτος. Οι τιμές των R_{L1} και R_{L2} εξαρτώνται από τα ρεύματα συλλέκτη και εκπομπού.



Σχ. 34.1β.



Σχ. 34.1γ.

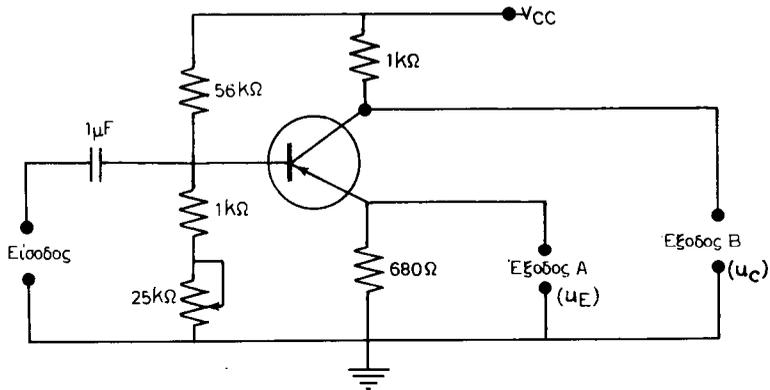
Στο σχήμα 34.1γ χρησιμοποιούμε δύο βαθμίδες, από τις εξόδους των οποίων, Α και Β, παίρνουμε τα δύο σήματα που θέλουμε. Το σήμα εισόδου εφαρμόζεται στη βάση της πρώτης βαθμίδας (T_1), ενισχύεται και το παίρνουμε στο συλλέκτη με διαφορά φάσεως 180° . Το σήμα εξόδου αυτής της βαθμίδας, διαμοιράζεται στις αντιστάσεις R_4 και R_5 που αποτελούν το φορτίο. Με τη ρύθμιση της R_5 δίνουμε στη βάση της δεύτερης βαθμίδας (T_2) το κατάλληλο πλάτος (σήμα) για να πάρουμε στην έξοδο πλάτος ίσο με εκείνο που έχουμε στην έξοδο της πρώτης βαθμίδας.

Στην πράξη συναντώνται πολλές παραλλαγές των βασικών αυτών κυκλωμάτων.

34.2 Εργασία.

1) Να συνδεσμολογηθεί το κύκλωμα του σχήματος 34.1α (με μετασχηματιστή αναστροφής φάσεως). Με γεννήτρια χαμηλών συχνοτήτων στην είσοδο, να εφαρμοσθεί σταθερό σήμα στη συχνότητα των 1000 Hz και να παρατηρηθούν με παλμογράφο τα σήματα στις δύο εξόδους. Να ελεγχθούν: α) Η διαφορά φάσεως μεταξύ τους και β) το πλάτος τους.

2) Να συνδεσμολογηθεί το κύκλωμα του σχήματος 34.2. Με γεννήτρια στους 1000 Hz να διεγερθεί η είσοδος και να μετρηθεί το πλάτος των U_E και U_C . Να ελεγχθούν οι τιμές τους, όταν μεταβάλλεται η ρυθμιστική αντίσταση στο κύκλωμα της βάσεως.



Σχ. 34.2.

3) Με παλμογράφο να διαπιστωθεί η διαφορά φάσεως που παρουσιάζουν οι τάσεις U_E και U_C .

ΠΙΝΑΚΑΣ 34.2.1.

| $u_g = \text{σταθερή} = \dots \text{βολτ}$ | | | | |
|--|--------------|--------------|-----------|-----------|
| f (Hz) | u_E (βολτ) | u_C (βολτ) | ΑΠΟΛΑΒΗ Α | ΑΠΟΛΑΒΗ Β |
| 20 | | | | |
| 50 | | | | |
| 100 | | | | |
| 200 | | | | |
| 500 | | | | |
| 1.000 | | | | |
| 2.000 | | | | |
| 5.000 | | | | |
| 8.000 | | | | |
| 10.000 | | | | |
| 15.000 | | | | |
| 18.000 | | | | |
| 20.000 | | | | |

4) Με σταθερή την τάση εισόδου (τάση που δίνει η γεννήτρια), να μεταβάλλετε τη συχνότητα στις τιμές του Πίνακα 34.2.1. Λάβετε τις τιμές των U_E και U_C για κάθε μεταβολή της συχνότητας και συμπληρώσετε τις σχετικές στήλες του πίνακα.

5) Υπολογίσετε την απολαβή για κάθε περίπτωση (για τις δύο εξόδους Α και Β) και συμπληρώσετε τις δύο τελευταίες στήλες του πίνακα.

6) Χαράξτε τις καμπύλες αποκρίσεως για τις τάσεις (απολαβή) που έχετε από τις δύο εξόδους της βαθμίδας.

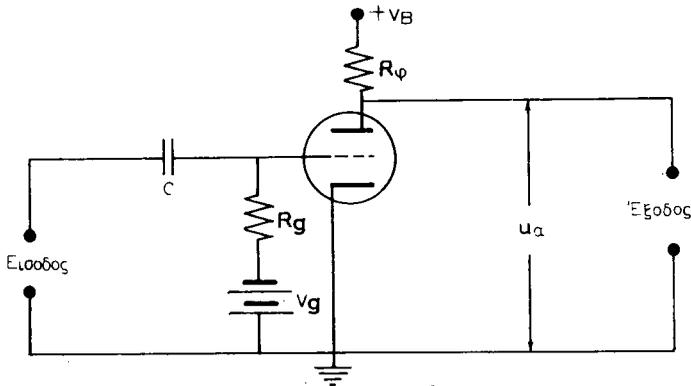
7) Ποια σχέση πρέπει να υπάρχει στις δύο καμπύλες και πώς μπορεί να εξασφαλισθεί;

ΑΣΚΗΣΗ 35

ΕΝΙΣΧΥΤΗΣ ΣΕ ΤΑΞΗ Α

35.1 Γενικά.

Στο σχήμα 35.1α φαίνεται το κύκλωμα μιας λυχνίας ενισχυτικής τάσεως. Η λυχνία είναι τρίοδος και το φορτίο της είναι αντίσταση R_{ϕ} , συνδεδεμένη μεταξύ ανόδου και πηγής. Υπάρχει επίσης μια αντίσταση πλέγματος R_g , συνδεδεμένη σε σειρά με την πηγή πολώσεως V_g . Ο πυκνωτής C οδηγεί το σήμα εισόδου U_{γ} στο πλέγμα της λυχνίας.



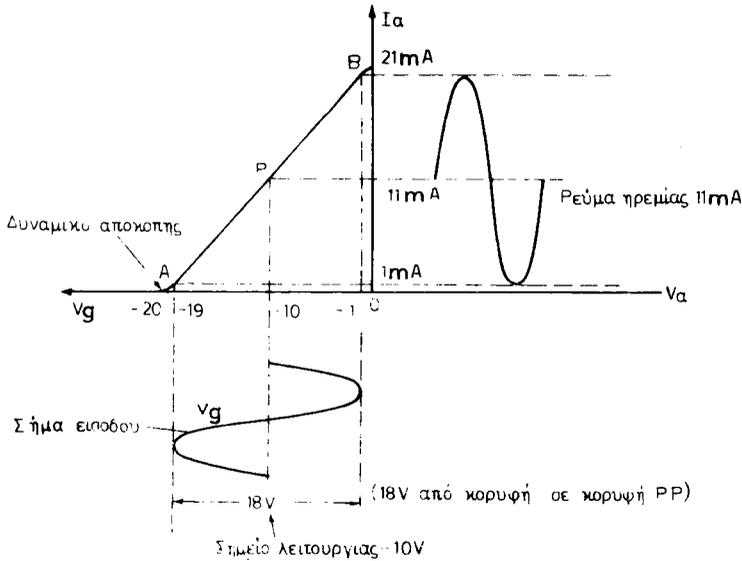
Σχ. 35.1α.

Η τάξη λειτουργίας της ενισχυτικής βαθμίδας εξαρτάται από την πόλωση V_g . Ένας ενισχυτής λέμε ότι εργάζεται σε τάξη Α όταν έχει τέτοια πόλωση στο πλέγμα, ώστε με την επιβολή της διεγέρσεως να κυκλοφορεί ρεύμα ανόδου χωρίς διακοπή σε όλη τη διάρκεια της διεγέρσεως.

Οι ενισχυτές τάσεως χαμηλής συχνότητας δουλεύουν πάντοτε σε τάξη Α (βλέπε Άσκηση 32, Ενισχυτές ισχύος).

Η πόλωση V_g του πλέγματος καθορίζει το σημείο λειτουργίας της ενισχυτικής λυχνίας. Έστω, π.χ. η χαρακτηριστική V_g/I_a (τάσεως πλέγματος - ρεύματος ανόδου) της λυχνίας (σχ. 35.1β).

Η καμπύλη αυτή δείχνει ότι η πόλωση της λυχνίας έχει ρυθμισθεί στα -10 βολτ και ότι το πλάτος του σήματος εισόδου μεταβάλλεται γύρω από το δυναμικό αυτό. Το σημείο λειτουργίας αντιστοιχεί σε πόλωση -10 βολτ.



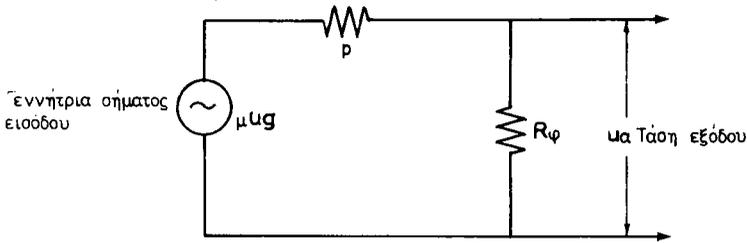
Σχ. 35.1β.

Το ευθύγραμμο τμήμα της χαρακτηριστικής καμπύλης είναι μεταξύ A και B. Στο σημείο A η τάση πλέγματος καθόδου είναι -19 βολτ και το ρεύμα ανόδου 1 mA. Στο σημείο B η τάση πλέγματος - καθόδου είναι -1 βολτ και το ρεύμα ανόδου 21 mA. Το σημείο λειτουργίας P της λυχνίας έχει εκλεγεί στη μέση του ευθύγραμμου τμήματος της χαρακτηριστικής V_g / I_a , στο σημείο αυτό αντιστοιχεί ρεύμα ανόδου 11 mA.

Αν δεν υπάρχει σήμα στην είσοδο, η τάση πλέγματος - καθόδου (πόλωση) είναι -10 βολτ και το ρεύμα ανόδου 11 mA. Το ρεύμα αυτό λέγεται «ρεύμα ηρεμίας» της λυχνίας. Αν, όμως, εφαρμοσθεί στο πλέγμα ημιτονικό σήμα πλάτους, π.χ. 18 βολτ P-P (Peak to Peak = από κορυφή σε κορυφή), το σήμα αυτό μεταβάλλει το δυναμικό πλέγματος - καθόδου από -10 ως -1 βολτ στη θετική εναλλαγή και από -10 ως -19 βολτ στην αρνητική. Το ανοδικό ρεύμα της λυχνίας μεταβάλλεται τότε ημιτονικά μεταξύ 1 και 21 mA.

Αν το πλάτος του σήματος εισόδου είναι μεγαλύτερο από 20 βολτ (P-P), η λυχνία θα βρίσκεται σε αποκοπή στο τμήμα εκείνο της αρνητικής εναλλαγής του σήματος εισόδου, στο οποίο το δυναμικό πλέγματος - καθόδου γίνεται αρνητικότερο από -20 βολτ. Και επειδή η περίπτωση να δουλεύει η λυχνία σε αποκοπή **δεν πρέπει να παρουσιάζεται σε ενισχυτή τάξεως A**, γι' αυτό το πλάτος του σήματος εισόδου πρέπει να περιορίζεται, το πολύ, σε 20 βολτ P-P. Ακόμη για να μη δημιουργείται παραμόρφωση στα καμπύλα τμήματα της χαρακτηριστικής V_g / I_a , το πλάτος του σήματος εισόδου περιορίζεται στα -18 βολτ (P-P).

Το ισodύναμο κύκλωμα μιας τριόδου ενισχυτριάς (σχ. 35.1γ) περιλαμβάνει γεννήτρια με σήμα πλάτους μ . U_g , την εσωτερική αντίσταση ρ της λυχνίας και την αντίσταση φόρτου R_ϕ σε σειρά με την ρ . U_g είναι η τάση του σήματος που εφαρμόζεται στο πλέγμα της λυχνίας και μ είναι ο συντελεστής ενισχύσεως. Η τά-



Σχ. 35.1γ.

ση εξόδου λαμβάνεται στα άκρα της αντιστάσεως φόρτου R_ϕ και ισούται με:

$$\text{Τάση εξόδου } U_\alpha = \frac{R_\phi}{\rho + R_\phi} \mu \cdot U_g$$

Συνεπώς η απολαβή A της λυχνίας, η οποία δίνεται από το λόγο:

$$A = \frac{U_\alpha}{U_g}$$

βρίσκεται αν στον αριθμητή αντικατασταθεί το U_α :

$$\text{Απολαβή } A = \frac{\frac{R_\phi}{\rho + R_\phi} \mu \cdot u_g}{u_g} = \frac{\mu \cdot R_\phi}{\rho + R_\phi}$$

(Βασική σχέση υπολογισμού της απολαβής σε τρίοδο λυχνία).

Αν ο αριθμητής και ο παρονομαστής του δεύτερου μέλους διαιρεθούν με την R_ϕ θα έχουμε:

$$A = \frac{\mu}{\frac{\rho}{R_\phi} + 1} \quad (1)$$

Είναι φανερό ότι το κύκλωμα στο δευτέρο μέλος της (1) θα είναι τόσο μεγαλύτερο (και η απολαβή τόσο μεγαλύτερη), όσο ο παρονομαστής $(\frac{\rho}{R_\phi} + 1)$ είναι μικρότερος, δηλαδή όσο μεγαλύτερη είναι η αντίσταση φόρτου R_ϕ σε σύγκριση με την εσωτερική αντίσταση ρ της λυχνίας. Η R_ϕ όμως δεν μπορεί να αυξηθεί σε πολύ μεγάλες τιμές, γιατί τότε η τάση ανόδου - καθόδου της λυχνίας ελαττώνεται και δημιουργείται παραμόρφωση του σήματος εξόδου.

Η σχέση (1) δείχνει επίσης ότι όσο μεγαλύτερος είναι ο συντελεστής ενισχύσεως μ , τόσο μεγαλύτερη είναι η ενίσχυση (απολαβή) της βαθμίδας.

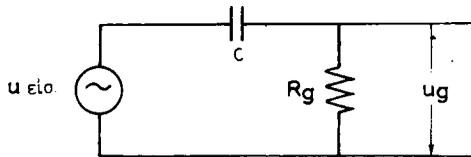
Τα ηχητικά κύματα μετατρέπονται σε μεταβαλλόμενες ηλεκτρικές τάσεις (τάσεις σημάτων χαμηλής συχνότητας) με τη βοήθεια του μικροφώνου. Η ακουστική πε-

ριοχή των σημάτων αυτών είναι από 20 ως 16 000 Hz. Η ενίσχυση τάσεως χαμηλής συχνότητας γίνεται με ενισχυτικές διατάξεις που εργάζονται σε τάξη Α.

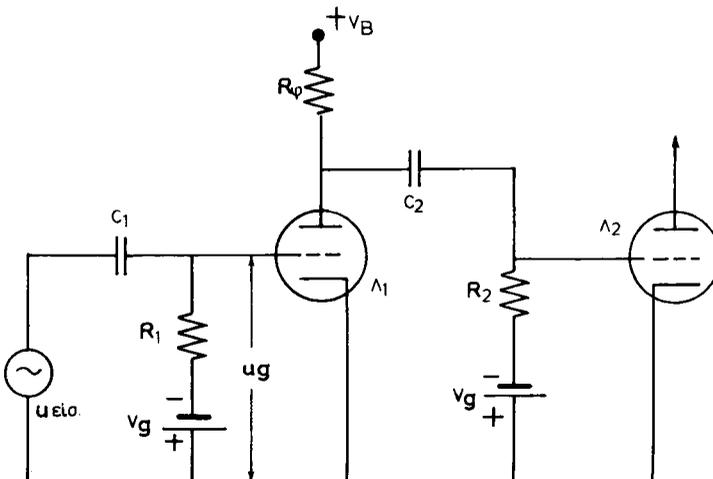
Τα σήματα εναλλασσόμενης τάσεως, τα οποία πρόκειται να ενισχυθούν, οδηγούνται στη βαθμίδα ενίσχυσεως συνήθως μέσω πυκνωτή. Στο αρχικό κύκλωμα της ασκήσεως η τάση του σήματος εισόδου εφαρμόζεται στα στοιχεία C και R_g που είναι σε σειρά. Το σήμα, που εφαρμόζεται στο πλέγμα της λυχνίας, είναι το U_g , δηλαδή η τάση που αναπτύσσεται στην R_g . Είναι φανερό ότι ο C και η R_g σχηματίζουν ένα διαιρέτη της εναλλασσόμενης τάσεως του σήματος εισόδου και ότι η U_g είναι μικρότερη από την $U_{εισ}$, εξαιτίας της πτώσεως τάσεως πάνω στο C. Η τάση U_g εξαρτάται από την τιμή της αντιστάσεως R_g και της χωρητικής αντίστασεως X_C του πυκνωτή C και δίνεται από τη σχέση:

$$u_g = \frac{R_g}{\sqrt{R_g^2 + X_C^2}} \cdot U_{εισ}$$

Η χωρητική αντίσταση του πυκνωτή $X_C = 1/C\omega$, εξαρτάται από τη συχνότητα του σήματος εισόδου και από τη χωρητικότητά του C. Όταν το σήμα εισόδου είναι χαμηλής συχνότητας (π.χ. 100 Hz ή 40 Hz), η αντίσταση του πυκνωτή είναι μεγάλη και συνεπώς απομένει μικρό πλάτος σήματος U_g για να οδηγηθεί στο πλέγμα της λυχνίας. Αντίθετα, όταν το σήμα εισόδου είναι υψηλής σχετικά συχνότητας (π.χ. πλάτος από 1000 Hz και άνω), η αντίσταση του C είναι μικρή και η πτώση τάσεως του σήματος εισόδου στα άκρα του είναι ασήμαντη. Συνεπώς, σχεδόν ολόκληρο το σήμα εισόδου οδηγείται στο πλέγμα της λυχνίας (σχ. 35.1δ).

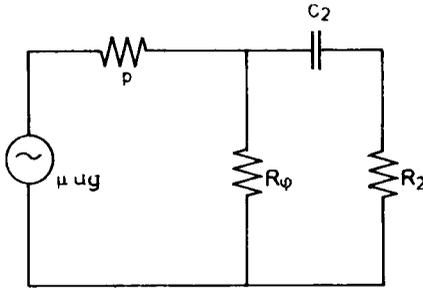


Σχ. 35.1β.

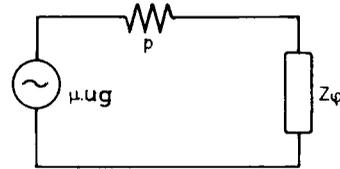


Σχ. 35.1ε.

Στο κύκλωμα του σχήματος 35.1ε η λυχνία Λ_1 είναι ενισχύτρια τάσεως ακουστικών συχνοτήτων. Το ακουστικό σήμα οδηγείται πρώτα στην είσοδο της Λ_1 , μέσω του C_1 και της R_1 . Η τάση U_g του σήματος αυτού που δρα στο πλέγμα της Λ_1 , ενισχύεται και εμφανίζεται στα άκρα της ανοδικής αντιστάσεως R_ϕ . Ακολουθώντας οδηγείται μέσω των C_2 και R_2 στο πλέγμα της επόμενης λυχνίας Λ_2 .



Σχ. 35.1στ.



Σχ. 35.1ζ.

Το ισodύναμο, σε σχέση με το εναλλασσόμενο ρεύμα, κύκλωμα της λυχνίας Λ_1 πρέπει τώρα να περιλαμβάνει την R_ϕ παράλληλα στα στοιχεία C_2 , R_2 (σχ. 35.1στ). Η R_ϕ είναι η αντίσταση φόρτου της Λ_1 για το συνεχές. Η ολική αντίσταση φόρτου Z_ϕ για το εναλλασσόμενο ρεύμα αποτελείται από την R_ϕ παράλληλα στον κλάδο C_2R_2 (σχ. 35.1ζ).

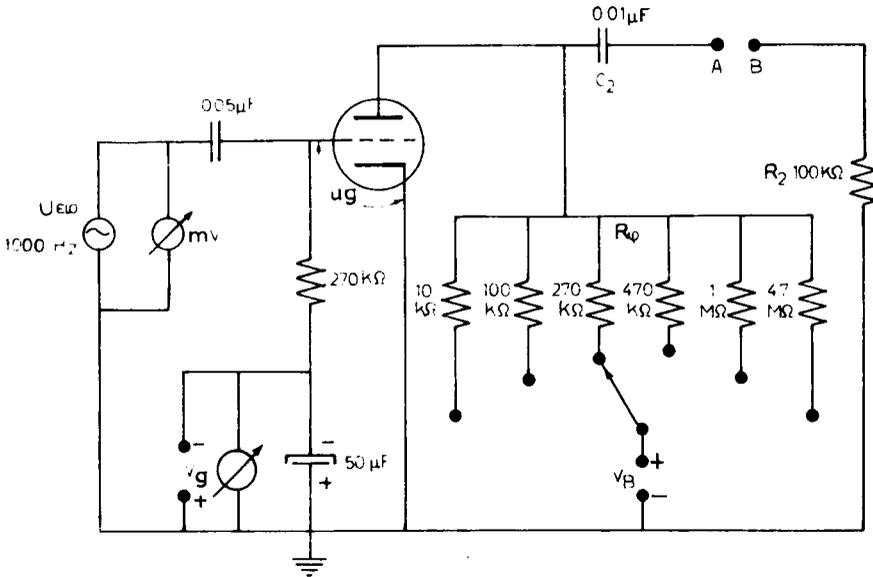
Αν ο κλάδος C_2R_2 έχει αντίσταση $Z_2 = 10$ ή περισσότερες φορές μεγαλύτερη της R_ϕ , η αντίσταση φόρτου στο συνεχές (R_ϕ) και η ολική αντίσταση στο εναλλασσόμενο (Z_ϕ) θεωρούνται πρακτικά ίσες. Άρα για να υπολογίσουμε την ενίσχυση της βαθμίδας, θα πρέπει να λάβουμε υπ' όψη μόνο την R_ϕ . Αν όμως η Z_2 είναι μικρότερη από $10R_\phi$, θα πρέπει στον υπολογισμό της ενισχύσεως να λάβουμε σαν ολική αντίσταση φόρτου την Z_ϕ , που είναι ισodύναμη με τις R_ϕ και Z_2 όταν συνδέονται παράλληλα. Η Z_ϕ θα είναι τότε, μικρότερη και από την R_ϕ και η ενίσχυση θα είναι μικρότερη από ό,τι θα ήταν με αντίσταση φόρτου μόνον την R_ϕ .

Τέλος ένα σημαντικό χαρακτηριστικό μιας ενισχυτικής βαθμίδας με λυχνία είναι η σχέση μεταξύ της πολικότητας των σημάτων εισόδου και εξόδου, δηλαδή η σχετική διαφορά τάσεως μεταξύ των δύο αυτών σημάτων. Στην άσκηση αυτή θα διαπιστωθεί με συνδεσμολογία παλμογράφου ότι τα σήματα εισόδου και εξόδου μιας ενισχυτικής βαθμίδας στη τάξη Α διαφέρουν κατά 180° .

35.2 Εργασία.

1) Να συνδεσμολογηθεί το κύκλωμα του σχήματος 35.2. Πρώτη αντίσταση φόρτου R_ϕ 10.000 Ω. Τάση θερμάνσεως 6,3 βολτ, τάση πολώσεως -16 βολτ, τάση πηγής $V_B = 100$ βολτ.

Με γεννήτρια χαμηλής συχνότητας να τροφοδοτηθεί η είσοδος της λυχνίας με σήμα συχνότητας 1000 Hz και πλάτους 0,18 βολτ RMS (ενεργός τιμή). Η τάση αυτή ελέγχεται από ηλεκτρονικό μιλιβολτόμετρο. Να βρεθεί η τιμή της τάσεως εξόδου (P-P).



Σχ. 35.2.

2) Οδηγήστε τα σημεία Α - γη στα κατακόρυφα πλακίδια παλμογράφου και παρατηρήστε και σχεδιάστε το παλμογράφημα του σήματος εξόδου.

3) Μετρήστε και καταγράψτε τη συνεχή τάση μεταξύ ανόδου-καθόδου της λυχνίας.

4) Όλες οι προηγούμενες παρατηρήσεις και μετρήσεις να γίνουν για κάθε μια από τις αντιστάσεις φόρτου R_{ϕ} του κυκλώματος.

5) Αφού χρησιμοποιήσετε τη σχέση:

$$\text{Απολαβή } A = \frac{U_a}{U_g}$$

να υπολογίσετε την ενίσχυση της βαθμίδας για κάθε αντίσταση φόρτου. Γράψετε ένα πλήρες υπόδειγμα υπολογισμού.

6) Βραχυκυκλώστε μεταξύ τους τα σημεία Α και Β και συνδέστε αντίσταση $R_{\phi} = 10 \text{ k}\Omega$. Οι τάσεις της λυχνίας θα παραμείνουν οι ίδιες.

Με παλμογράφο παρατηρήστε την κυματομορφή της τάσεως εξόδου (μεταξύ των σημείων Α και γη, και με ηλεκτρονικό βολτόμετρο μετρήστε την τάση εξόδου, στα σημεία Β και γη. Οι παρατηρήσεις και μετρήσεις να συνεχισθούν για όλες τις τιμές αντιστάσεως φόρτου R_{ϕ} . Να συγκριθούν οι μετρήσεις αυτές με τις μετρήσεις της περιπτώσεως 4.

ΑΣΚΗΣΗ 36

ΟΠΤΙΚΟΣ ΕΝΙΣΧΥΤΗΣ Ή ΕΝΙΣΧΥΤΗΣ ΕΙΚΟΝΑΣ(VIDEO AMPLIFIER)

36.1 Γενικά.

Οπτικός ενισχυτής ονομάζεται μια ειδική βαθμίδα, που έχει τη δυνατότητα να ενισχύει περιοχή συχνοτήτων από 0 Hz (συνεχές) ως 5 MHz ή και περισσότερο. Επειδή στην περιοχή αυτή των συχνοτήτων ανήκουν οι συχνότητες εικόνας της τηλεόρασης, οι ενισχυτές αυτοί ονομάζονται και ενισχυτές εικόνας. Ο ενισχυτής της εικόνας ενισχύει το πλάτος (τάσεως ή ρεύματος ή και των δύο) χωρίς να παραμορφώνει τη μορφή του σήματος. Τέτοιους ενισχυτές συναντάμε σε πομπούς τηλεόρασης (στο τμήμα του διαμορφωτή) καθώς και σε όλους τους δέκτες τηλεόρασης στους οποίους ο ενισχυτής εικόνας είναι μετά το φωρατή του σήματος της εικόνας.

Για να επιτύχομε ενίσχυση από 0 (μηδέν) Hz πρέπει να χρησιμοποιήσομε ενισχυτές συνεχούς. Συναντάμε τέτοιου είδους ενισχυτές στα κυκλώματα των πομπών και στους δέκτες καλής ποιότητας. Στους κοινούς δέκτες χρησιμοποιούμε ενισχυτές εικόνας με γραμμική ενίσχυση, η οποία αρχίζει από 20 - 25 Hz, όση δηλαδή είναι και η μικρότερη συχνότητα διαμορφώσεως του πομπού.

Αλλά και για τη συχνότητα αυτή των 20 ή 25 Hz είναι δύσκολο, να επιτύχομε γραμμική ενίσχυση και να αποφύγομε τις παραμορφώσεις (μετατοπίσεις) φάσεως, τις οποίες εισάγει ο πυκνωτής συζεύξεως C_{σ} σε συνδυασμό με την αντίσταση πλέγματος R_g της επόμενης βαθμίδας (σχ. 36.1α).

Μια λύση για την επέκταση προς τις χαμηλές συχνότητες είναι να χρησιμοποιήσομε μεγαλύτερες τιμές για τα R_g και C_{σ} . Αλλά και πάλι φθάνομε σε ένα όριο, όταν η σταθερά χρόνου $R_g \cdot C_{\sigma}$ περάσει τα 0,5s, που αντιστοιχεί σε συχνότητα 3,2 Hz περίπου. Υπολογισμός με τη σχέση:

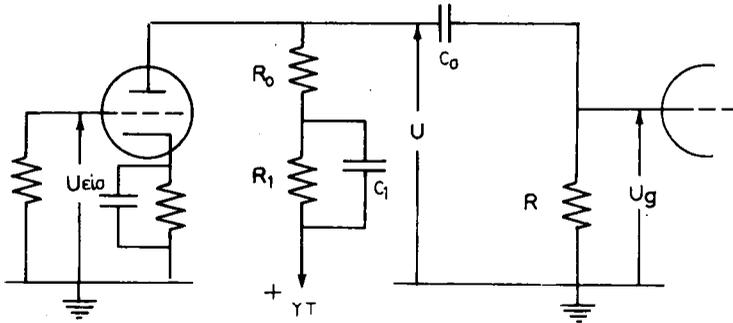
$$f_x = \frac{1}{2\pi R_g \cdot C_{\sigma}}$$

Για τη βελτίωση της καμπύλης αποκρίσεως προς τις πολύ χαμηλές αυτές συχνότητες υπάρχει και η μέθοδος της τοποθετήσεως σε σειρά με το ανοδικό κύκλωμα μιας αντιστάσεως R_1 και ενός πυκνωτή C_1 (σχ. 36.1α). Οι τιμές των C_1 είναι από 10 ως 20 μF και της R_1 από 1 - 10 k Ω .

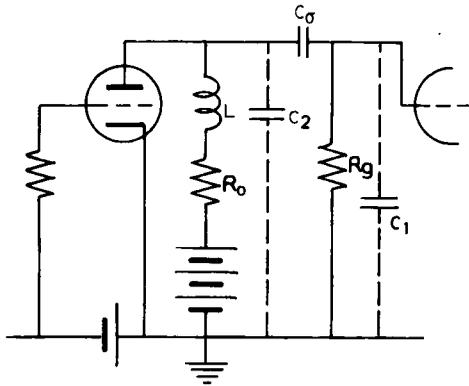
Επειδή τα στοιχεία R_1 και C_1 είναι εκείνα που επηρεάζουν τη μορφή της καμπύλης στις Χ.Σ., η σχέση που δίνει τη χαμηλότερη συχνότητα σε ένα ενισχυτή με τέτοιο κύκλωμα, γίνεται:

$$f_x = \frac{1}{2\pi R_1 \cdot C_1}$$

Στις υψηλές συχνότητες επιδρούν στην απόκριση των συχνοτήτων οι παρασιτικές χωρητικότητες του κυκλώματος και υποβιβάζουν την απολαβή (άσκηση 26).



Σχ. 36.1α.



Σχ. 36.1β.

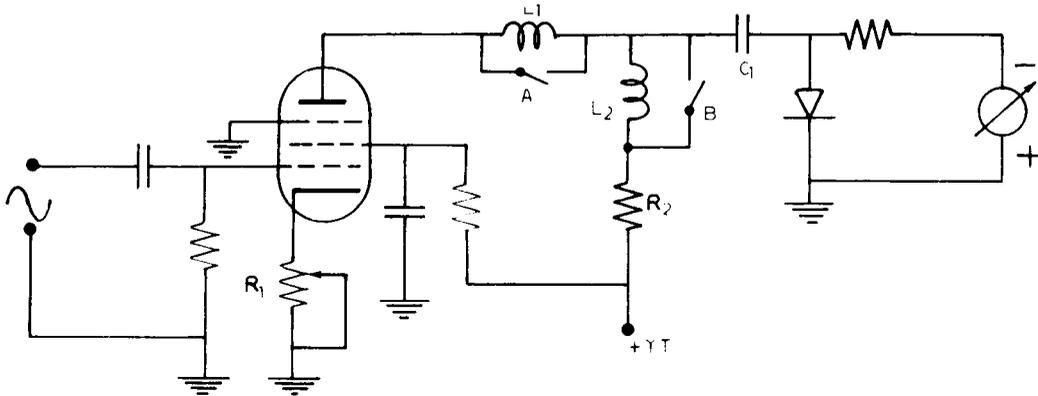
Για τη βελτίωση στις Υ.Σ. τοποθετούνται πηνία με αυτεπαγωγή 100 - 1000 μH , είτε σε σειρά με την αντίσταση φόρτου, είτε σε σειρά με τον πυκνωτή συζεύξεως ή και στις δυο θέσεις. Οι αυτεπαγωγές αυτές συντονίζουν με τους πυκνωτές C_2 και C_0 (σχ. 36.1β) σε μια συχνότητα μεγαλύτερη από την ανώτερη συχνότητα της περιοχής. Έτσι πετυχαίνουμε επέκταση της καμπύλης αποκρίσεως προς τις Υ.Σ. και γραμμικότητα της ενισχύσεως σε ολόκληρο το τμήμα της καμπύλης από τη μέση περιοχή και πάνω.

Στο κύκλωμα του σχήματος 36.1β, η αντίσταση R_g είναι τόσο μεγάλη σε σχέση με την R_0 , ώστε ουσιαστικά η $R_{o\lambda}$ να έχει την τιμή της R_0 . Η τιμή της αυτεπαγωγής L δίνεται από τη σχέση $L = \eta \cdot C_0 \cdot R_0$, όπου R_0 η αντίσταση φόρτου, C_0 το

άθροισμα των C_1 και C_2 και η είναι μια κατασκευαστική σταθερά, που κυμαίνεται από 0,2 ως 0,7.

36.2 Εργασία.

1) Να συνδεσμοποιηθεί το κύκλωμα του σχήματος 36.2. Να συνδεθούν γεννήτρια Χ.Σ. στην είσοδο του κυκλώματος και ηλεκτρονικό βολτόμετρο συνεχούς στην έξοδο. Οι διακόπτες Α και Β να είναι στη θέση ΕΝΤΟΣ και ο ροοστάτης R_1 περίπου στη μέση της διαδρομής του.



Σχ. 36.2.

2) Με τη γεννήτρια Χ.Σ., που οι συχνότητες φθάνουν μέχρι και 200 kHz, να οδηγήσετε στην είσοδο τις συχνότητες που αναφέρονται στον Πίνακα 36.2.1 με σταθερή τάση 0,1 βολτ και να λάβετε τις αντίστοιχες ενδείξεις στο όργανο εξόδου.

ΠΙΝΑΚΑΣ 36.2.1.

| $u_g = \text{σταθερή} = 0,1 \text{ βολτ}$ | |
|---|--------------|
| f (Hz) | u_a (βολτ) |
| 20 | |
| 50 | |
| 100 | |
| 300 | |
| 1.000 | |
| 3.000 | |
| 10.000 | |
| 30.000 | |
| 100.000 | |

3) Αντικαταστήσετε τη γεννήτρια Χ.Σ. με γεννήτρια Υ.Σ. συντηρουμένων κυμάτων. Και πάλι με τάση εισόδου 0,1 βολτ να λάβετε τις ενδείξεις του βολτομέτρου εξόδου για τις συχνότητες του Πίνακα 36.2.2.

ΠΙΝΑΚΑΣ 36.2.2.

| $u_g = 0,1$ βολτ σταθερό | | | |
|--------------------------|--------------|---------------------------|--|
| f (kHz) | u_a (βολτ) | u_a με διακόπτη Α ΕΚΤΟΣ | u_a με διακόπτες Α ΕΝΤΟΣ Β ΕΚΤΟΣ |
| 300 | | | |
| 1.000 | | | |
| 2.000 | | | |
| 3.500 | | | |
| 4.000 | | | |
| 4.500 | | | |
| 5.000 | | | |
| 5.500 | | | |

4) Για τις συχνότητες της ερωτήσεως 3 λάβετε και πάλι τις τάσεις εξόδου αφού τοποθετήσετε το διακόπτη Α στη θέση ΕΚΤΟΣ. Καταχωρήσετε τις μετρήσεις στη σχετική στήλη του προηγούμενου πίνακα.

5) Επαναλάβετε την ίδια εργασία με τους διακόπτες Α - ΕΝΤΟΣ και Β - ΕΚΤΟΣ και συμπληρώσετε την τελευταία στήλη του πίνακα. Η επίδραση των πηνίων στις Χ.Σ. είναι αμελητέα, γι' αυτό δεν κάνομε μετρήσεις για τις Χ.Σ.

6) Χαράξετε τις τρεις καμπύλες των περιπτώσεων 2, 3 και 4 στο ίδιο διάγραμμα.

ΑΣΚΗΣΗ 37

ΤΑΛΑΝΤΩΤΕΣ ΥΨΗΛΩΝ ΣΥΧΝΟΤΗΤΩΝ

37.1 Γενικά.

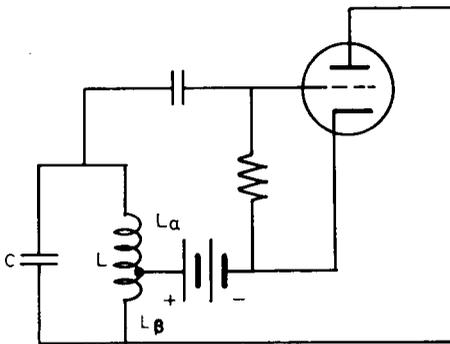
Ο ταλαντωτής είναι μια διάταξη παραγωγής κυμάνσεων υψηλών συχνοτήτων. (Κύκλωμα ταλαντωτή χαμηλών συχνοτήτων εξετάζεται στην άσκηση 38). Είναι η πρώτη και βασική βαθμίδα σε ένα πομπό. Βαθμίδα ταλαντώτρια υπάρχει και σε κάθε δέκτη. Ο τοπικός ταλαντωτής σε ένα δέκτη παράγει μια υψηλή συχνότητα, η οποία συμβάλλει με τη συχνότητα που εκπέμπει ο πομπός του σταθμού που πιάνουμε και μας δίνουν τη συχνότητα εκείνη στην οποία είναι συντονισμένα να δουλεύουν τα κυκλώματα Μέσης Συχνότητας του δέκτη.

Το κύκλωμα ενός ταλαντωτή είναι κύκλωμα ενισχυτή, στον οποίο, με κατάλληλη συνδεσμολογία, έχουμε επιβάλλει θετική ανάδραση για την έναρξη και τη συντήρηση των ταλαντώσεων. Ένα κύκλωμα ταλαντωτή περιλαμβάνει:

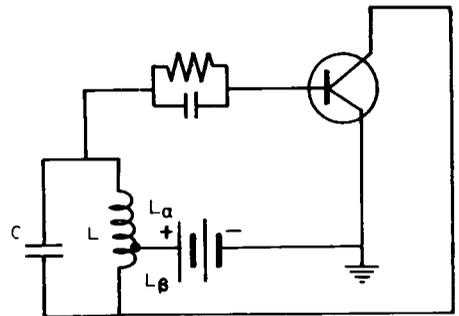
α) Μια λυχνία ή ένα τρανζίστορ συνδεσμολογημένα σε ενισχυτική διάταξη.

β) Τα στοιχεία προσδιορισμού των ταλαντώσεων που είναι το πηνίο L και ο πυκνωτής C . Τα στοιχεία αυτά μπορεί να είναι συνδεσμολογημένα στην έξοδο του ενισχυτή ως φορτίο ή στην είσοδό του και

γ) το κύκλωμα αναδράσεως.



Σχ. 37.1α.



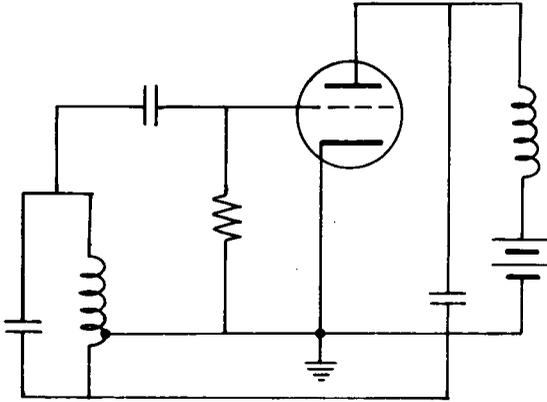
Σχ. 37.1β.

Κυκλώματα Hartley με τροφοδότηση σειράς.

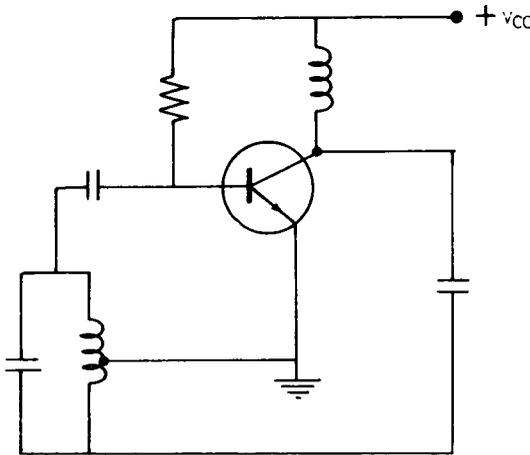
Στα σχήματα 37.1α και 37.1β φαίνονται κυκλώματα ταλαντώσεων Hartley. Το σχήμα 37.1α είναι με λυχνία και το σχήμα 37.1β με τρανζίστορ.

Το τμήμα L_B του πηνίου L είναι το στοιχείο με το οποίο εξασφαλίζουμε τη θετική ανάδραση και με αυτή τη συντήρηση των ταλαντώσεων.

Τα ίδια κυκλώματα Hartley, αλλά με παράλληλη τροφοδότηση φαίνονται στα σχήματα 37.1γ και 37.1δ.



Σχ. 37.1γ.

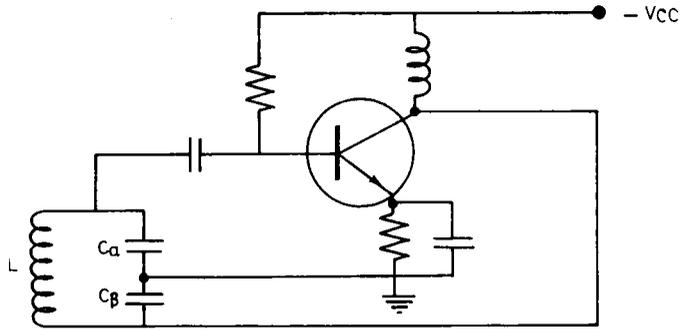


Σχ. 37.1δ.

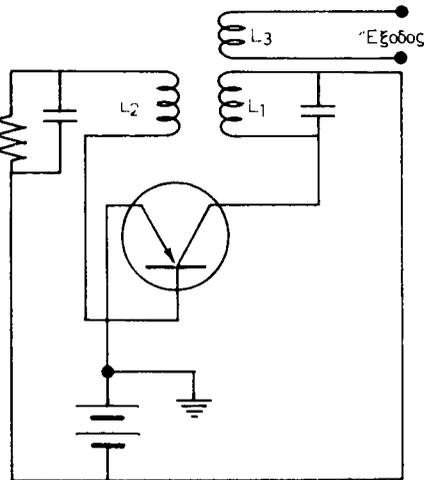
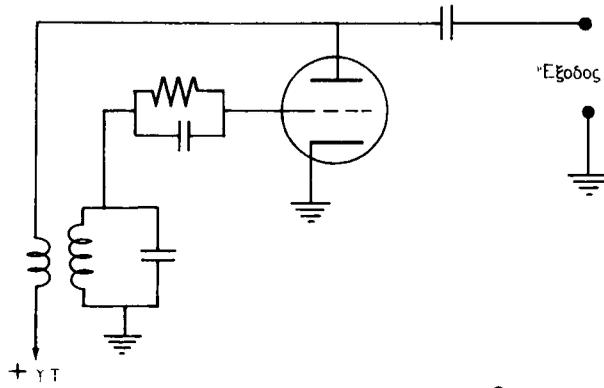
Κυκλώματα Hartley με παράλληλη τροφοδότηση.

Στο σχήμα 37.1ε φαίνεται συνδεσμολογία ταλαντωτή Colpitts. Η ανάδραση στο κύκλωμα αυτό γίνεται με τον ίδιο τρόπο όπως στα κυκλώματα Hartley όχι όμως από το πηνίο, αλλά από τον πυκνωτή, ο οποίος χωρίζεται σε δύο τμήματα. Το τμήμα C_B έχει τέτοια τιμή ώστε η ανάδραση που γίνεται από αυτό να συντηρεί τις ταλαντώσεις.

Μια άλλη συνδεσμολογία που χρησιμοποιείται στα κυκλώματα τοπικού ταλαντωτή στους δέκτες είναι το κύκλωμα Meissner (σχ. 37.1στ). Σε αυτό το κύκλωμα η



Σχ. 37.1ε.
Κύκλωμα ταλαντωτή Colpitts.



Σχ. 37.1στ.
Κυκλώματα Meissner.

ανάδραση γίνεται με το πηνίο L_2 που βρίσκεται σε σύζευξη με το L_1 . Το ξεχωριστό πηνίο αναδράσεως L_2 παρέχει τη δυνατότητα μεταβλητής συζεύξεως, δηλαδή δυνατότητα ελέγχου και ρυθμίσεως του ποσοστού αναδράσεως με αποτέλεσμα την καλύτερη λειτουργία του κυκλώματος των ταλαντώσεων.

37.2 Εργασία.

1) Να συνδεσμολογηθεί το κύκλωμα του σχήματος 37.1γ. Κύκλωμα Hartley με λυχνία σε παράλληλη τροφοδότηση. Να παρεμβληθεί μιλλιαμπερόμετρο στο κύκλωμα του πλέγματος και να διαπιστωθούν οι ταλαντώσεις από το ρεύμα πλέγματος. Οι ταλαντώσεις διαπιστώνονται και με το άναμα ενός μικρού λαμπτήρα από αυτούς που χρησιμοποιούμε στους φακούς. Ο λαμπτήρας θα ανάβει, όταν έχομε ταλαντώσεις, αν στα άκρα του κολλήσομε ένα μικρό καλώδιο τυλιγμένο σε 4 - 5 σπείρες και πλησιάσομε τις σπείρες στο πηνίο του κυκλώματος.

2) Να γίνει διαπίστωση των ταλαντώσεων και στα άλλα κυκλώματα της ασκήσεως με διάταξη Colpitts και Meissner.

3) Οδηγήσετε την έξοδο του ταλαντωτή σας (όποιο κύκλωμα θέλετε) στα πλακίδια κατακόρυφης αποκλίσεως παλμογράφου. Ο παλμογράφος να ρυμισθεί για να παρέχει στίγμα. Στα πλακίδια οριζόντιας αποκλίσεως οδηγήσετε το σήμα από μια γεννήτρια ταλαντώσεων. Αν μεταβάλλετε τη συχνότητα της γεννήτριας θα έχετε στον παλμογράφο διάφορα σχήματα Lissajous. Από τα σχήματα αυτά προσδιορίσετε τη συχνότητα που παράγει το κύκλωμα της ασκήσεως.

4) Από τα στοιχεία L και C της ασκήσεως, υπολογίσετε με τη σχέση του Τόμσον την παραγόμενη συχνότητα. Ελέγξτε τους υπολογισμούς σας συγκρίνοντας το αποτέλεσμα με εκείνο που είχατε στην προηγούμενη ερώτηση.

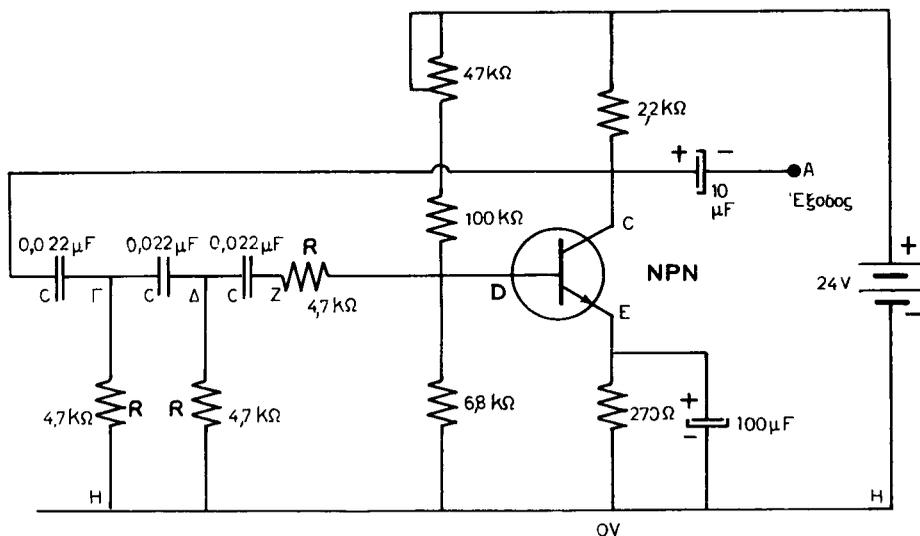
5) Εξηγήσετε πώς εξασφαλίζεται η θετική ανάδραση σέ κάθε ένα από τα κυκλώματα που χρησιμοποιήσατε στην άσκηση.

ΑΣΚΗΣΗ 38

ΤΑΛΑΝΤΩΤΗΣ RC (ΜΕ ΜΕΤΑΘΕΣΗ ΦΑΣΕΩΣ)

38.1 Γενικά.

Το κύκλωμα του σχήματος 38.1 είναι ένας ταλαντωτής με μετάθεση φάσεως, που παράγει σήμα χαμηλής συχνότητας ημιτονικής μορφής. Η συχνότητα των ταλαντώσεων που παράγονται ορίζεται από το δικτύωμα των τριών πυκνωτών και των τριών αντιστάσεων C και R.



Σχ. 38.1.

Το κύκλωμα του ταλαντωτή με μετάθεση φάσεως.

Η αντίσταση 2200Ω είναι η αντίσταση φόρτου του τρανζίστορ. Οι αντιστάσεις $147\ 000 \Omega$ ($100\ 000 + 47\ 000$) Ω , 6800Ω και 270Ω εξασφαλίζουν την πόλωση της βάσεως. Οι τρεις πυκνωτές C ($= 22\ 000 \mu\text{F}$) και οι τρεις αντιστάσεις R ($= 4700 \Omega$) δημιουργούν συνολική μετάθεση φάσεως κατά 180° . Επειδή και στο τρανζίστορ έχουμε αντιστροφή φάσεως 180° στις τάσεις εισόδου - εξόδου (τρανζίστορ κοινού εκπομπού), εξασφαλίζεται έτσι η θετική («εν φάσει») ανάδραση και συντηρούνται οι ταλαντώσεις.

Η συχνότητα των ταλαντώσεων δίνεται με καλή προσέγγιση από τον τύπο:

$$f = \frac{1}{2\pi\sqrt{6 R \cdot C}}$$

38.2 Εργασία.

- 1) Να γίνει αναγνώριση του κυκλώματος (σχ. 38.1).
- 2) Να υπολογισθεί η συχνότητα των ταλαντώσεων με χρήση του τύπου που έχει δοθεί ($R = 4700 \ \Omega$, $C = 22.000 \ \mu\text{F}$).
- 3) Να συνδεθούν τα άκρα Α και Η στην κατακόρυφη είσοδο παλμογράφου. Να παρατηρηθεί η κύμανση που παράγει ο ταλαντωτής με κατάλληλη ρύθμιση της ασφάλειας του παλμογράφου.
- 4) Να μετρηθεί με τον παλμογράφο (σχήματα Lissajous) η συχνότητα των ταλαντώσεων που παράγονται. Για το σκοπό αυτό ο παλμογράφος να ετοιμασθεί ώστε να βγάζει στίγμα στην οθόνη του. Στις δύο εισόδους του (κατακόρυφη, οριζόντια) να οδηγηθούν:
 - α) Η κύμανση του κυκλώματος.
 - β) Το σήμα από μια γεννήτρια γνωστής χαμηλής συχνότητας.
- 5) Στα σημεία Α - Η μετρείται η τάση εξόδου με ηλεκτρονικό βολτόμετρο AC. Στα σημεία Γ - Η, Δ - Η και Ζ - Η μετρούνται οι εναλλασσόμενες τάσεις, καθώς εξασθενούν στο δικτύωμα R - C.

ΑΣΚΗΣΗ 39

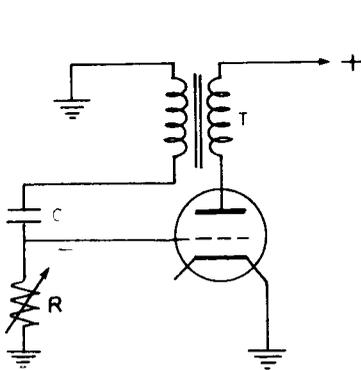
ΤΑΛΑΝΤΩΤΗΣ ΦΡΑΓΜΟΥ (BLOCKING OSCILLATOR)

39.1 Γενικά.

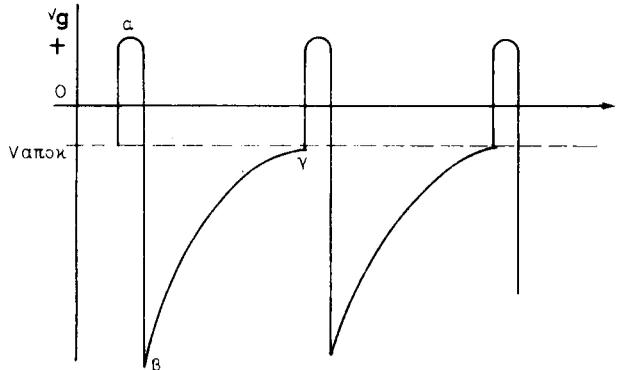
Ο ταλαντωτής φραγμού είναι ένας τύπος αυτοδιεγερμένου ταλαντωτή. Η θετική ανάδραση γίνεται με τον ίδιο τρόπο όπως και στον ταλαντωτή Meissner (άσκηση 37).

Οι βασικές διαφορές μεταξύ του ταλαντωτή φραγμού και του ταλαντωτή Meissner είναι ότι η κυματομορφή εξόδου του πρώτου δεν είναι ημιτονική και ότι η συχνότητα λειτουργίας του ορίζεται από τις τιμές των R και C (σχ. 39.1α).

Όταν τροφοδοτηθεί το κύκλωμα του σχήματος 39.1α η αρχική ανάπτυξη του ανοδικού ρεύματος δημιουργεί ένα μεταβαλλόμενο μαγνητικό πεδίο στο πρωτεύον του μετασχηματιστή T , το οποίο αναπτύσσει στο δευτερεύον τύλιγμα μια τάση μεγάλου πλάτους.



Σχ. 39.1α.



Σχ. 39.1β.

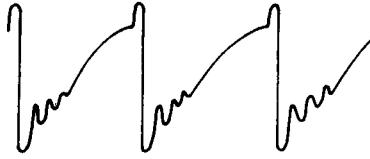
Αν συνδεσμολογήσουμε το δευτερεύον με τέτοιο τρόπο, ώστε η τάση που αναπτύσσεται να οδηγεί το πλέγμα σε θετικά δυναμικά σε σχέση με την κάθοδο, τότε ο πυκνωτής C τείνει να φορτισθεί στην τάση αυτή (σημείο α , σχ. 39.1β).

Όταν το πλέγμα είναι σε θετικά δυναμικά, επιτρέπει μια επιπλέον αύξηση του ανοδικού ρεύματος, μέχρι το σημείο, που εξαιτίας της πτώσεως τάσεως στα άκρα του πρωτεύοντος, η ανοδική τάση γίνεται τόσο μικρή, ώστε να μη μπορεί να μεγαλώσει άλλο το ανοδικό ρεύμα. Έτσι το ανοδικό ρεύμα φθάνει μέχρι μια σταθερή τιμή.

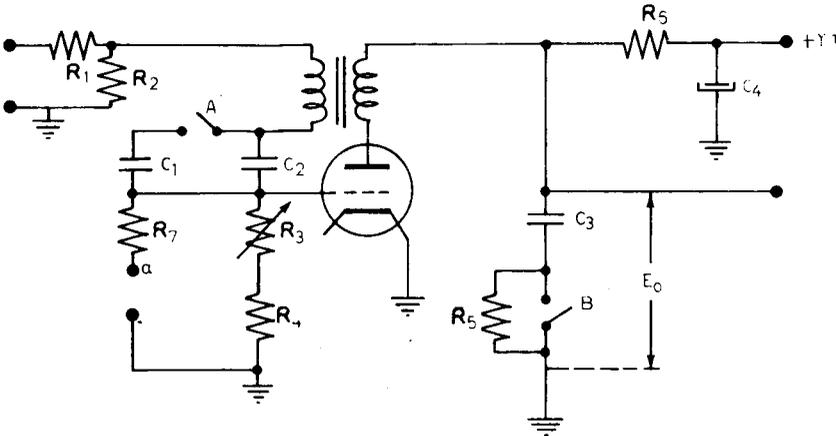
Όταν όμως το ανοδικό ρεύμα πάρει σταθερή τιμή, το μαγνητικό πεδίο του πρωτεύοντος παύει να μεταβάλλεται πλέον και επομένως δεν έχουμε ανάπτυξη τάσεως εξ επαγωγής στο δευτερεύον. Και αφού δεν αναπτύσσεται τάση στο δευτερεύον και το πλέγμα της λυχνίας δεν φθάνει σε θετικά δυναμικά, ο πυκνωτής C αρχίζει να εκφορτίζεται από την αντίσταση R, οπότε αυτή διαρρέεται από ρεύμα που δημιουργεί στα άκρα της μια τάση με πολικότητα (σχ. 39.1α). Το πλέγμα με τον τρόπο αυτό γίνεται αρνητικό, και μάλιστα με δυναμικό πολύ πέρα από την αποκοπή, οπότε το ανοδικό ρεύμα διακόπτεται (σημείο β, σχ. 39.1β).

Η εκφόρτιση του πυκνωτή (διαδρομή β - γ, σχ. 39.1β) διαρκεί μια χρονική περίοδο που ορίζεται από τα στοιχεία C και R του κυκλώματος. Όταν η τάση στα άκρα της αντιστάσεως φθάσει την τάση αποκοπής (σημείο γ), η λυχνία αρχίζει να άγει και από αυτή τη στιγμή επαναλαμβάνεται η όλη λειτουργία.

Τα κυκλώματα του ταλαντωτή φραγμού περιλαμβάνουν μια αντίσταση πτώσεως της τάσεως σε σειρά με το πρωτεύον, για τον περιορισμό του ανοδικού ρεύματος. Επίσης μια αντίσταση παράλληλα στο πρωτεύον τύλιγμα για τον περιορισμό των αποσβενυμένων ταλαντώσεων που δημιουργούνται με μικρό πλάτος, αλλά με μεγαλύτερη συχνότητα (σχ. 39.1γ).



Σχ. 39.1γ.



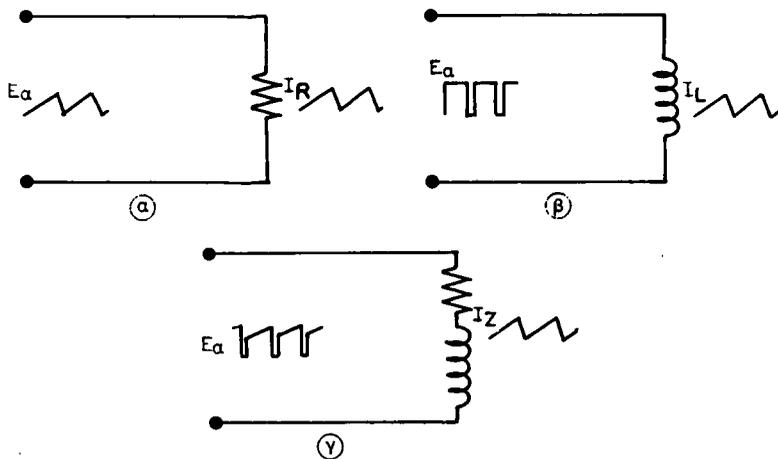
Σχ. 39.1δ.

Στο κύκλωμα ταλαντωτή φραγμού (σχ. 39.1δ), οι αντιστάσεις R_3 και R_4 κατέχουν τη θέση της αντιστάσεως R στο σχήμα 39.1α. Επίσης οι πυκνωτές C_1 και C_2 κατέχουν τη θέση του C στο σχήμα 39.1α. Η αντίσταση R_6 τοποθετείται για τον

περιορισμό του ανοδικού ρεύματος. Ο πυκνωτής C_2 φορτίζεται όταν η λυχνία δεν είναι αγωγίμη και εκφορτίζεται μόλις αυτή αρχίσει να άγει. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα τη δημιουργία πριονωτής κυμάνσεως στα άκρα του. Η πριονωτή αυτή κύμανση είναι κατάλληλη για να χρησιμοποιηθεί σαν τάση σαρώσεως στους καθοδικούς σωλήνες ηλεκτροστατικής εκτροπής, όχι όμως και στους σωλήνες ηλεκτρομαγνητικής εκτροπής, που είναι σε γενική σχεδόν χρήση στους δέκτες τηλεοράσεως και στους οποίους χρειάζεται πριονωτή κύμανση ρεύματος.

Αν τα πηνία εκτροπής, που χρησιμοποιούνται στους καθοδικούς σωλήνες των δεκτών τηλεοράσεως, δρούσαν ως καθαρές ωμικές αντιστάσεις, θα ήταν δυνατό να παραχθεί σε αυτά ένα ρεύμα πριονωτής μορφής, όταν θα εφαρμόζοταν στα άκρα τους πριονωτή τάση. Η διαδικασία αυτή φαίνεται στο σχήμα 39.1ε, όπου η πριονωτή τάση E_0 που εφαρμόζεται στα άκρα της R προκαλεί τη δημιουργία ρεύματος I_R πριονωτής μορφής. Όμως εξαιτίας της αυτεπαγωγής των πηνίων εκτροπής δεν εμφανίζεται ρεύμα πριονωτής μορφής όταν εφαρμόσουμε πριονωτή τάση. Αν πάλι τα πηνία εκτροπής παρουσίαζαν μόνο καθαρή αυτεπαγωγή θα είχαμε σε αυτά ρεύμα πριονωτής μορφής αν εφαρμόζαμε τάση ορθογωνίων παλμών (σχ. 39.1ε).

Στην πράξη όμως είναι αδύνατον να κατασκευαστούν πηνία εκτροπής χωρίς ωμική αντίσταση. Όλα τα πηνία έχουν αυτεπαγωγή L και ωμική αντίσταση R_L , οι οποίες θεωρούνται ότι είναι συνδεδεμένες σε σειρά (σχ. 39.1ε).



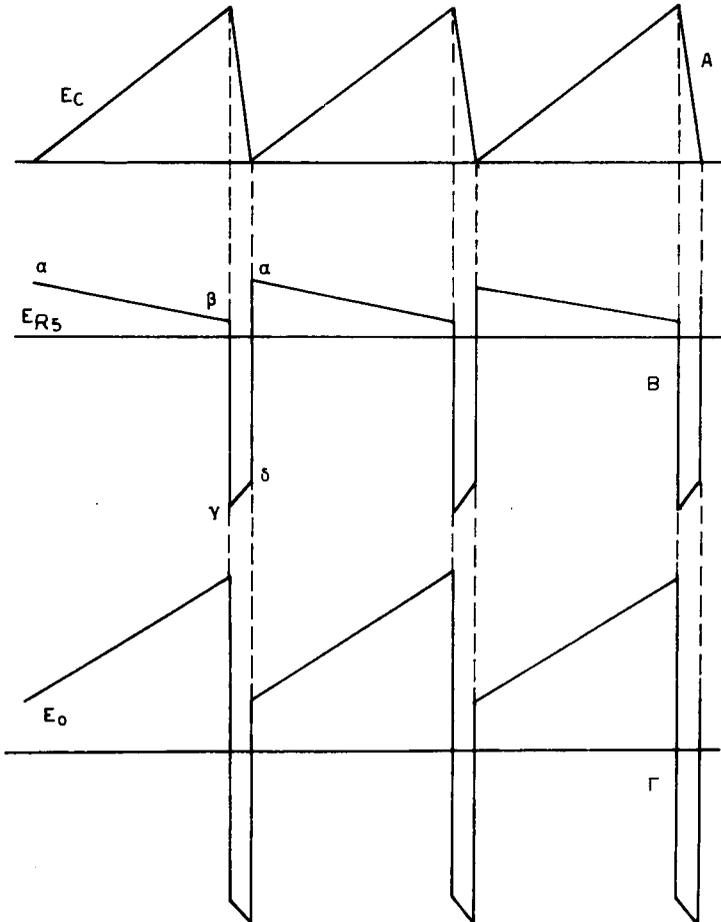
Σχ. 39.1ε.

Επειδή λοιπόν, το κύκλωμα περιέχει αναπόφευκτα αυτεπαγωγή και ωμική αντίσταση, η τάση που απαιτείται για την παραγωγή ρεύματος πριονωτής μορφής δεν πρέπει να είναι, ούτε πριονωτή, ούτε ορθογώνια, αλλά να έχει μορφή τραπεζοειδή, που περιέχει ταυτόχρονα στοιχεία τόσο από πριονωτή όσο και από ορθογώνια κυματομορφή.

Ένα κύκλωμα για παραγωγή τάσεως με τραπεζοειδή μορφή είναι του σχήματος 39.1δ. Σε αυτό ο πυκνωτής C_3 φορτίζεται από την R_6 . Μια δεύτερη αντίσταση R_5

είναι σε σειρά με τον C_3 και από αυτή περνάνε τα ρεύματα φορτίσεως και εκφορτίσεως του C_3 . Η αντίσταση R_5 έχει σχετικά μικρή τιμή και η επίδρασή της στο χρόνο φορτίσεως και εκφορτίσεως του C_3 είναι αμελητέα.

Όταν η λυχνία είναι σε αποκοπή και ο C_3 φορτίζεται, κινούνται ηλεκτρόνια από το σασσί και την R_5 προς τον αρνητικό οπλισμό του C_3 και από το θετικό οπλισμό και την R_6 προς το + της Υ.Τ. Όταν η λυχνία άγει, ηλεκτρόνια εγκαταλείπουν τον αρνητικό οπλισμό του C_3 και κινούνται μέσα από την R_5 προς το σασσί και συνέχεια από τη λυχνία (κάθοδος - άνοδος) προς το θετικό οπλισμό του C_3 . Η κίνηση αυτή αναπτύσσει μια πριονωτή τάση E_C στα άκρα του C_3 , όπως φαίνεται στο σχήμα 39.1στ. Τα ρεύματα φορτίσεως και εκφορτίσεως του C_3 όπου περνούν από την R_5 αναπτύσσουν στα άκρα της μια τάση όπως στο σχήμα 39.1στ. Στη φόρτιση του C_3 η διεύθυνση κινήσεως των ηλεκτρονίων είναι τέτοια, ώστε το άνω άκρο της R_5 να γίνεται θετικό ως προς το σασσί· αντίθετα στην εκφόρτιση του C_3 το ίδιο σημείο γίνεται αρνητικό ως προς το σασσί (σχ. 39.1δ).



Σχ. 39.1στ.

Στην αρχή κάθε κύκλου φορτίσεως - εκφορτίσεως, το ρεύμα φορτίσεως είναι μέγιστο και η τάση στα άκρα της R_5 παίρνει μια μέγιστη τιμή (σχ. 39.1στ, σημείο α). Καθώς η φόρτιση του C_3 συνεχίζεται, το ρεύμα περιορίζεται και η τάση E_{R_5} ελαττώνεται (σημείο β).

Επίσης, στην αρχή του χρόνου εκφορτίσεως, το ρεύμα είναι και πάλι μέγιστο και μια μεγάλη αρνητική τάση αναπτύσσεται στα άκρα της R_5 (σχ. 39.1στ, σημείο γ). Με το χρόνο το ρεύμα εκφορτίσεως μικραίνει και η τάση E_R ελαττώνεται (σημείο δ). Όταν η λυχνία παύει να είναι αγώγιμη, ο C_3 αρχίζει πάλι να φορτίζεται και η τάση στα άκρα της R_5 φθάνει τη μέγιστη τιμή (σημείο α) και έτσι συμπληρώνεται ένας κύκλος.

Όπως φαίνεται στο σχήμα 39.1δ, η τάση εξόδου E_0 αναπτύσσεται στα άκρα των C_3 και R_5 που είναι σε σειρά. Άρα σε κάθε στιγμή η E_0 ισούται με το αλγεβρικό άθροισμα των E_C και E_{R_5} . Το άθροισμα αυτό δίνεται γραφικά στο σχήμα 39.1στ, στο οποίο φαίνεται η τραπεζοειδής κυματομορφή που προκύπτει.

Ένα από τα πλεονεκτήματα του ταλαντωτή φραγμού, το οποίο συντελεί ώστε να προτιμάται στα περισσότερα κυκλώματα τηλεόρασεως ως ταλαντωτής σαρώσεως, είναι η ευκολία με την οποία συγχρονίζεται. Ο συγχρονισμός είναι δυνατό να γίνει αν εφαρμόσουμε στην είσοδο ένα θετικό παλμό, ή αν συνδέσουμε την είσοδό του στην έξοδο ενός διευκρινιστή. Με τον πρώτο τρόπο επιτυγχάνεται συγχρονισμός στα κυκλώματα κατακόρυφης σαρώσεως, ενώ με το δεύτερο επιτυγχάνεται συγχρονισμός στα κυκλώματα οριζόντιας σαρώσεως, όπου ο ταλαντωτής φραγμού εργάζεται σχεδόν πάντοτε σε συνδυασμό με το κύκλωμα Α.Ρ.Σ. (Αυτόματη ρύθμιση συχνότητας).

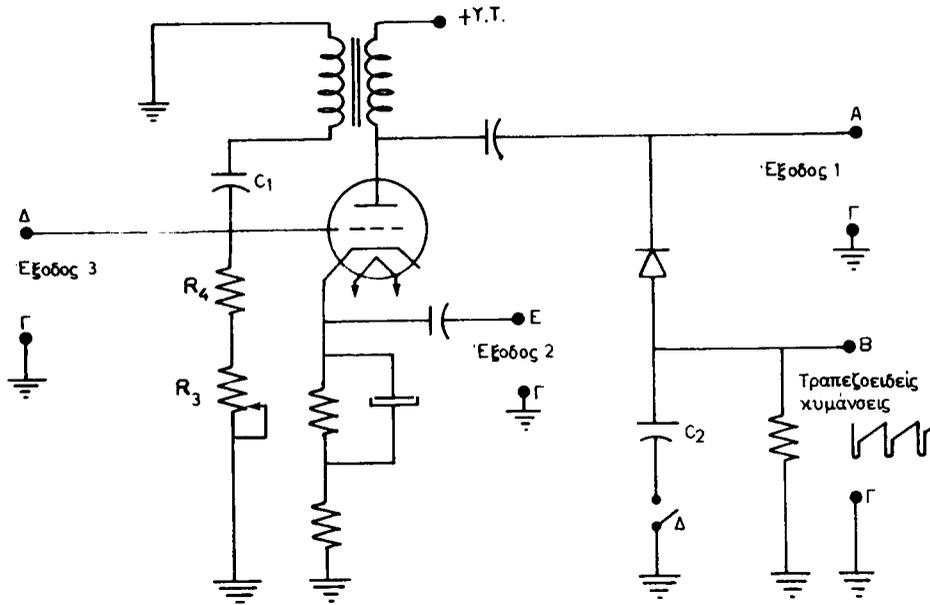
39.2 Εργασία.

1) Τροφοδοτήσετε το κύκλωμα του σχήματος 39.2α. Ο διακόπτης Δ εντός. Συνδέσετε παλμογράφο στα σημεία Α - Γ, Ε - Γ και Δ - Γ, διαδοχικά, σχεδιάσετε τα αντίστοιχα παλμογραφήματα και εξηγήσετε τη μορφή τους.

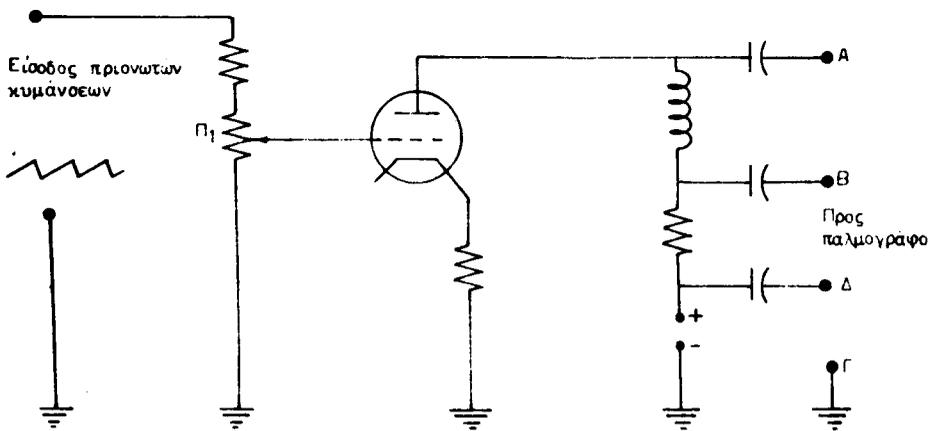
2) Με τον παλμογράφο συνδεσμοποιημένο στα ίδια σημεία ρυθμίσετε την R_3 στις διάφορες θέσεις και σχεδιάσετε τα αντίστοιχα παλμογραφήματα.

3) Με το διακόπτη Δ εντός, συνδέσετε τον παλμογράφο στα σημεία Α - Γ και Β - Γ και σχεδιάσετε τα παλμογραφήματα. Αν αυξηθεί η τιμή της R_3 παρατηρήσετε και σχεδιάσετε τα παλμογραφήματα στα σημεία Β - Γ.

4) Τροφοδοτήσετε το κύκλωμα του σχήματος 39.2β και οδηγήσετε στην είσοδό του πριονωτή κύμανση από διάταξη πριονωτών κυμάτων. Λάβετε παλμογραφήματα στα σημεία Α - Β, Β - Δ και Α - Γ και σχεδιάσετε τη μορφή τους. Μετάβαλετε τη θέση του ποτενσιομέτρου Π_1 , και λάβετε πάλι τα ίδια παλμογραφήματα, σχεδιάσετέ τα και εξηγήσετε τη μορφή τους.



Σχ. 39.2α:



Σχ. 39.2β.

ΑΣΚΗΣΗ 40

ΚΥΚΛΩΜΑΤΑ ΔΙΑΦΟΡΙΣΕΩΣ ΚΑΙ ΟΛΟΚΛΗΡΩΣΕΩΣ

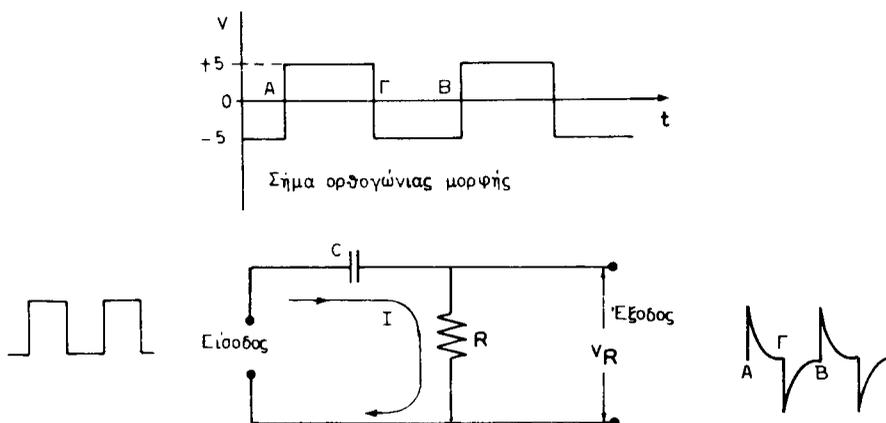
40.1 Γενικά.

Ονομάζεται κύκλωμα διαφορίσεως το κύκλωμα εκείνο, στην έξοδο του οποίου η τάση είναι ανάλογη προς την ταχύτητα μεταβολής της τάσεως εισόδου. Κύκλωμα ολοκληρώσεως ονομάζεται εκείνο, στην είσοδο του οποίου η τάση είναι ανάλογη με το «ολοκλήρωμα» της τάσεως εισόδου.

Τα κυκλώματα διαφορίσεως και ολοκληρώσεως έχουν πολλές εφαρμογές. Χρησιμοποιούνται και στους δέκτες τηλεοράσεως, για το διαχωρισμό των παλμών συγχρονισμού γραμμών και πλαισίων.

40.2 Το κύκλωμα διαφορίσεως.

Στο σχήμα 40.2α φαίνεται ένα κύκλωμα διαφορίσεως. Έστω ότι στο κύκλωμα αυτό εφαρμόζεται μεταβαλλόμενη τάση με ορθογώνια μορφή. Ένας πλήρης παλμός της τάσεως αυτής διαρκεί από Α ως Β.

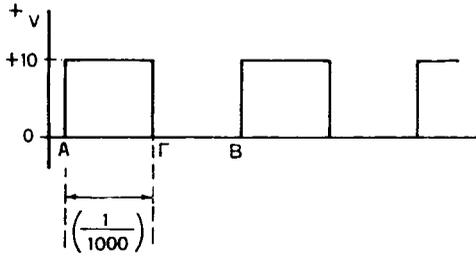


Σχ. 40.2α.

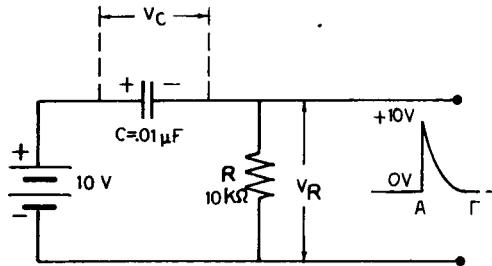
Για να γίνουν οι συλλογισμοί που ακολουθούν απλούστεροι, θα μεταθέσουμε τη στάθμη αναφοράς 0 βολτ κατά 5 βολτ προς τα κάτω. Με αυτό τον τρόπο η τάση

ορθογώνιας μορφής θα είναι αυτή που φαίνεται στο σχήμα 40.2β.

Παρατηρούμε λίγο πριν από το σημείο A (σχ. 40.2β) ότι η τάση που εφαρμόζεται είναι 0 βολτ. Στο A υψώνεται απότομα (κατακόρυφα) στη στάθμη των 10 V και διατηρείται σταθερή στα 10 βολτ στο χρονικό διάστημα από A ως Γ (έστω π.χ. επί $1/1000$ του δευτερολέπτου). Είναι, δηλαδή, σαν να τροφοδοτείται το κύκλωμα επί $1/1000$ του δευτερολέπτου με πηγή συνεχούς τάσεως 10 βόλτ. Τη χρονική στιγμή Γ η τάση της πηγής πέφτει πάλι απότομα στα 0 βολτ και παραμένει 0 βολτ μέχρι τη χρονική στιγμή B. Και στη συνέχεια ο κύκλος επαναλαμβάνεται.



Σχ. 40.2β.



Σχ. 40.2γ.

Αυτή την ορθογώνια τάση οδηγούμε στην είσοδο του κυκλώματος CR του σχήματος 40.2α και εξετάζουμε ποια θα είναι η μορφή της τάσεως στην έξοδο στα άκρα της αντιστάσεως R.

Στη χρονική στιγμή A η τάση εισόδου από 0 βολτ υψώνεται κατακόρυφα στα 10 βολτ. Τη στιγμή αυτή που γίνεται απότομη μεταβολή της τάσεως εισόδου, ο πυκνωτής C προβάλλει αμελητέα αντίσταση, το ρεύμα I έχει τη μέγιστη τιμή του και ολόκληρη η τάση των 10 βολτ εμφανίζεται στα άκρα της R. Αφού η πηγή παρέχει 10 βολτ, ο C θα φορτίζεται μέσω της R και μέσω της πηγής, όπως αν είχαμε στην είσοδο του κυκλώματος πηγή με συνεχή τάση 10 V. Ο πυκνωτής όμως φορτίζεται με την πολικότητα του σχήματος 40.2γ (αντίθετη από την πολικότητα της πηγής). Επομένως, η τάση που συγκεντρώνεται στους οπλισμούς του θα αφαιρείται από τα 10 βολτ της πηγής. Όταν π.χ. η τάση στα άκρα του C γίνει 1 βολτ η τάση που θα απομείνει στα άκρα της R θα είναι $10 - 1 = 9$ βολτ.

Όταν ο C φορτισθεί στα 2 βολτ, η τάση V_R θα γίνει $10 - 2 = 8$ βολτ κ.ο.κ.

Όταν τελικά, ο πυκνωτής φορτισθεί στην τάση της πηγής (όταν, δηλαδή, $V_C = 10\text{ V}$), η τάση στα άκρα της R θα είναι 0.

Η τάση όμως της πηγής κρατείται στα 10 βολτ μόνο από A ως Γ. Το ερώτημα είναι: Θα προφθάσει ο C να φορτισθεί στα 10 βόλτ στο ίδιο χρονικό διάστημα;

Είναι γνωστό από την άσκηση «Σταθερά χρόνου» (άσκηση 6), ότι πυκνωτής C όταν φορτίζεται από πηγή συνεχούς τάσεως μέσω αντιστάσεως R χρειάζεται χρονικό διάστημα ίσο με 5 σταθερές χρόνου για να συγκεντρώσει στους οπλισμούς του τάση ίση *πρακτικά* με την τάση της πηγής που τον φορτίζει.

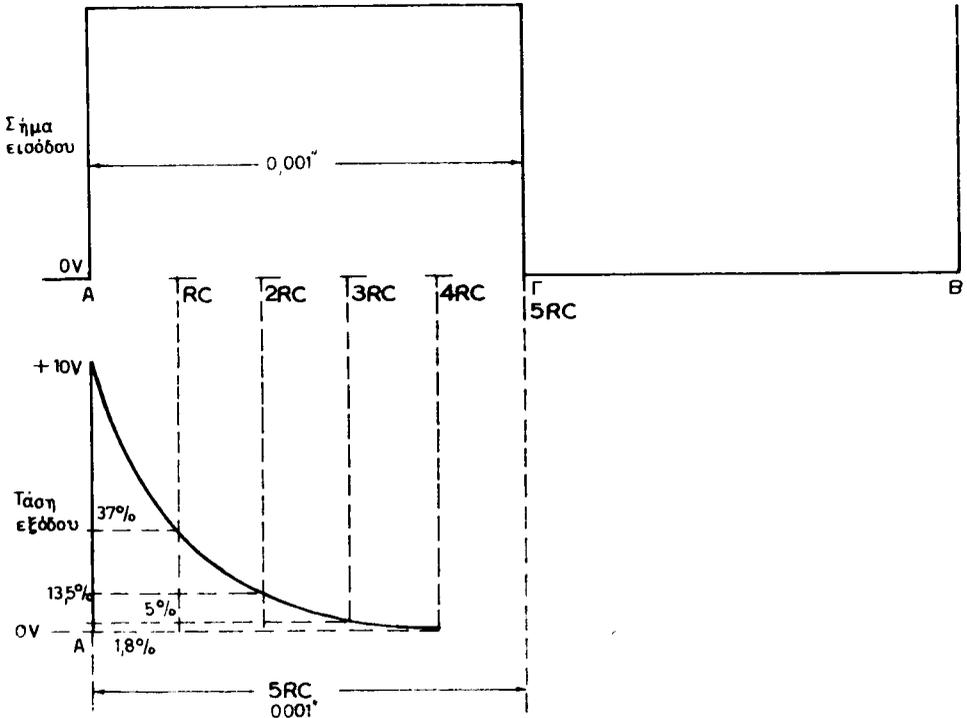
Άρα, αν ο χρόνος από A ως Γ ισούται με 5 (τουλάχιστον) σταθερές χρόνου, ο C κατά τή χρονική στιγμή Γ θα έχει συγκεντρώσει τα 10 βολτ της πηγής στους οπλισμούς του, η ροή του ρεύματος στο κύκλωμα θα σταματήσει και επομένως η τάση στα άκρα της R θα μηδενισθεί.

Παράδειγμα (σχ. 40.26).

Έστω ότι η συχνότητα των ορθογωνίων παλμών της πηγής είναι 500 Hz. Συνεπώς ο χρόνος από A ως B = $\frac{1}{500}$ "

Χρόνος από A ως Γ = $\frac{1}{1000}$ " = 0,001"

Έστω ότι C = 10.000 μF και R = 20.000 Ω .



Σχ. 40.26.

Τάση πηγής (εισόδου) και τάση εξόδου για το χρονικό διάστημα από A ως Γ.

Υπολογισμός: Μια σταθερά χρόνου $RC = 10\,000 \cdot 10^{-12} \cdot 20\,000 = 2 \cdot 10^{-4} = 0,0002''$

5 σταθερές χρόνου $= 5 \cdot 0,0002 = 0,001''$.

Δηλαδή, 5 σταθερές χρόνου διαρκούν όσο και το μισό της τάσεως εισόδου (από Α ως Γ, σχ. 40.2δ).

Τώρα, όπως είναι γνωστό, σε χρόνο $RC = 0,0002''$, θα είναι $V_C = 0,63 \cdot 10 = 6,3 \text{ V}$.

Άρα η τάση $V_R = 10 - 6,3 = 3,7 \text{ V}$.

Σέ χρόνο $2RC = 2 \cdot 0,0002''$, θα είναι $V_C = 8,65 \text{ V}$.

Άρα $V_R = 10 - 8,65 = 1,35 \text{ V}$.

Με όμοιο τρόπο: Σε $3RC$, $V_R = 0,5 \text{ V}$

Σε $4RC$, $V_R = 0,18 \text{ V}$

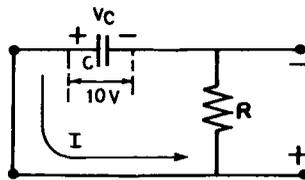
Σε $5RC (= 5 \cdot 0,0002'' = 0,01'')$, $V_R = 0,07 \text{ V} \approx 0 \text{ V}$.

Δηλαδή, σε 5 σταθερές χρόνου η τάση V_R θα έχει πρακτικά μηδενισθεί.

Στο χρονικό διάστημα από Γ ως Β, η τάση της πηγής είναι 0 βολτ. Η μόνη πηγή που υπάρχει τότε στο κύκλωμα είναι ο πυκνωτής, ο οποίος έχει τάση 10 βολτ στους οπλισμούς του, με πολικότητα όμως, αντίθετη από την προηγούμενη πολικότητα της πηγής. Θα αρχίσει λοιπόν ο C να εκφορτίζεται μέσω της R και μέσω της πηγής (θεωρούμε αμελητέα την εσωτερική αντίσταση), με ρεύμα εκφορτίσεως αντίθετο και επομένως η τάση V_R θα έχει αντίθετη πολικότητα από ό,τι στη φόρτιση.

Η εκφόρτιση γίνεται ως εξής: Μόλις τη χρονική στιγμή Γ, η τάση της πηγής γίνει 0 βολτ, ολόκληρα τα 10 βολτ του πυκνωτή θα επικρατήσουν απότομα στα άκρα της R. Το σημείο «πλην» θα είναι στο άνω άκρο της R και το «συν» στο κάτω (σχ. 40.2ε). Όπως είναι γνωστό, σε χρόνο εκφορτίσεως RC , η τάση V_C θα είναι:

$$V_C = 0,37 \cdot 10 \text{ V} = 3,7 \text{ V}$$



Σχ. 40.2ε.

Ισοδύναμο κύκλωμα για το χρονικό διάστημα από Γ ως Β.

Άρα στα άκρα της R θα επικρατεί η ίδια τάση $V_R = -3,7 \text{ V}$.

Το ίδιο θα είναι: Σε $2RC$, $V_R = -1,35 \text{ V}$

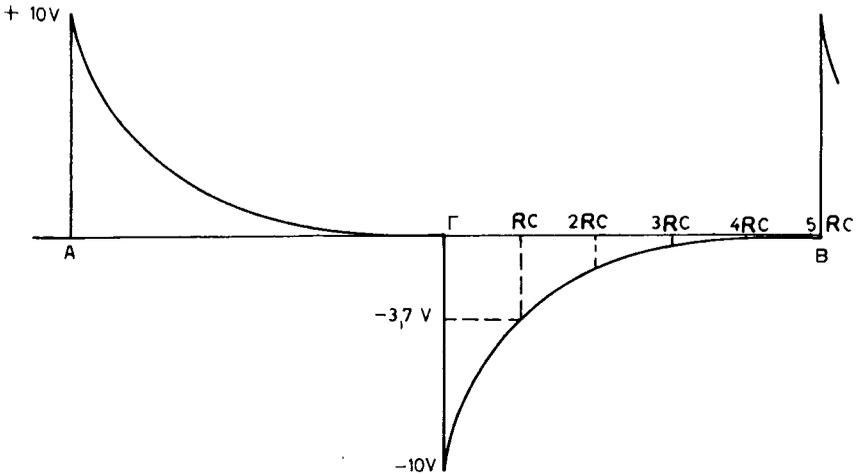
Σε $3RC$, $V_R = -0,5 \text{ V}$

Σε $4RC$, $V_R = -0,18 \text{ V}$

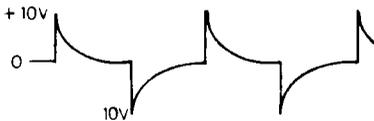
Σε $5RC$, $V_R = -0,07 \text{ V} \approx 0 \text{ V}$.

Δηλαδή, σε χρόνο $5RC$ ο πυκνωτής θα έχει εκφορτισθεί πλήρως (πρακτικά) μέσω της R και της πηγής.

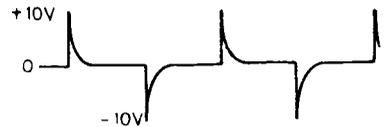
Στη συνέχεια η τάση της πηγής γίνεται πάλι απότομα 10 βολτ και ο κύκλος επαναλαμβάνεται (σχ. 40.2στ). Σε όλη αυτή τη διαδικασία φορτίσεως και εκφορτίσεως υποθέσαμε ότι η πηγή έχει μηδενική (ή αμελητέα) εσωτερική αντίσταση. Γιατί, αν έχει εσωτερική αντίσταση, π.χ. $\rho = 2000 \Omega$, αυτή θα προστίθεται στην R , οπότε η σταθερά χρόνου θα περιλαμβάνει αντίσταση $(\rho + R)$ και συνεπώς ο χρόνος φορτίσεως και εκφορτίσεως θα είναι διαφορετικός από εκείνον που υπολογίσαμε με μόνη την R . Ο πυκνωτής, τότε, δεν θα φορτίζεται ούτε θα εκφορτίζεται πλήρως, όπως είχαμε υπολογίσει. Γι' αυτό η πηγή των τετραγωνικών παλμών του κυκλώματος διαφορίσεως πρέπει να έχει αμελητέα εσωτερική αντίσταση (τουλάχιστον αμελητέα σε σύγκριση με την R , να είναι δηλαδή $\rho \ll R$). Άρα: Στο κύκλωμα διαφορίσεως η πηγή πρέπει να είναι **πηγή σταθερής τάσεως**.



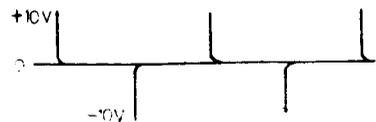
Σχ. 40.2στ.



Σχ. 40.2ζ.



Σχ. 40.2η.

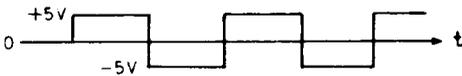


Σχ. 40.2θ.

Σταθερά χρόνου πολύ μικρή σε σχέση με την περίοδο του σήματος εισόδου. Τέλεια διαφόριση.

Αν τα R και C στο προηγούμενο παράδειγμα ελαττωθούν (με συχνότητα πηγής πάλι 500 Hz), πλήρης φόρτιση και εκφόρτιση του C θα γίνεται, σε μικρότερο χρόνο, γιατί η σταθερά χρόνου θα έχει ελαττωθεί, οπότε η τάση V_R θα έχει τις μορφές που φαίνονται στα σχήματα 40.2ζ, 40.2η και 40.2θ. Για πολύ μικρό RC , η V_R θα έχει τη μορφή λεπτών αιχμών (σχ. 40.2θ). Λέμε τότε ότι η διαφόριση είναι τέλεια.

Αν πάλι τα R και C αυξηθούν, η σταθερά χρόνου θα αυξηθεί επίσης, οπότε ούτε η φόρτιση ούτε η εκφόρτιση θα είναι πλήρης. Τότε η V_R θα έχει τη μορφή που δείχνουν τα σχήματα 40.2ι και 40.2ια και η διαφόριση θα είναι ατελής.



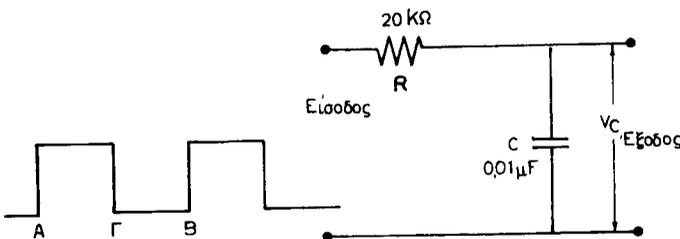
Σχ. 40.2ι.

Σχ. 40.2ια.
Όχι τέλεια διαφόριση.

Έτσι με μικρή σταθερά χρόνου πετυχαίνουμε τέλεια διαφόριση, μετατρέπουμε, δηλαδή, τους τετραγωνικούς παλμούς σε παλμούς λεπτών αιχμών.

40.3 Το κύκλωμα ολοκληρώσεως.

Έστω τώρα το κύκλωμα ολοκληρώσεως (σχ. 40.3α). Σε αυτό πάλι μια πηγή τετραγωνικών παλμών τροφοδοτεί κύκλωμα RC . Έστω ότι είναι $R = 20\ 000\ \Omega$, $C = 10\ 000\ \mu\text{F}$. Η τάση εξόδου V_C λαμβάνεται στα άκρα του C .



Σχ. 40.3α.

Πάλι τη χρονική στιγμή A , στην οποία η τάση της πηγής δεχόμαστε ότι υψώνεται κατακόρυφα, ο πυκνωτής αποτελεί σχεδόν βραχυκύκλωμα και άρα $V_C = 0$

βολτ. Ακολούθως, ο πυκνωτής φορτίζεται μέσω της R και της πηγής και, ως γνωστόν, σε χρόνο $= RC$ θα είναι: $V_C = 0,63 \cdot 10 = 6,3 \text{ V}$.

Σε $2RC$ θα είναι: $V_C = 8,65 \text{ V}$

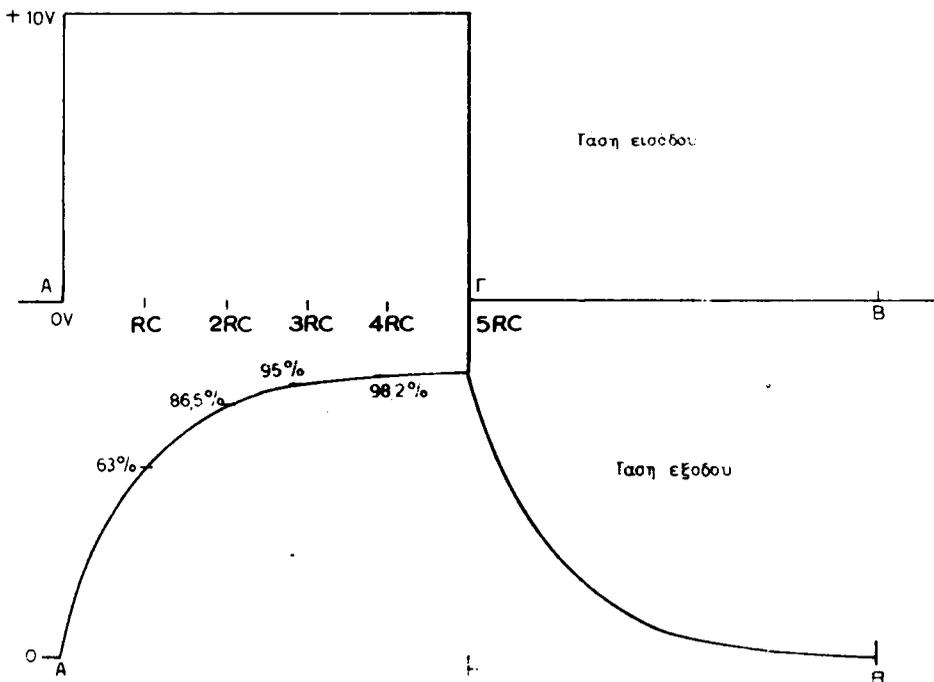
Σε $3RC$ θα είναι: $V_C = 9,5 \text{ V}$

Σε $4RC$ θα είναι: $V_C = 9,82 \text{ V}$

Σε $5RC$ θα είναι: $V_C = 9,93 \approx 10 \text{ V}$.

Δηλαδή, στο τέλος της ημιπεριόδου (χρονική στιγμή Γ), ο πυκνωτής θα είναι (πρακτικά) φορτισμένος στην τάση της πηγής (10 V).

Τη στιγμή Γ η τάση της πηγής γίνεται απότομα 0 βόλτ. Τότε η μόνη πηγή που απομένει στο κύκλωμα είναι ο φορτισμένος C , ο οποίος εκφορτίζεται μέσω της R και της πηγής και, όπως φαίνεται στο σχήμα 40.3β, στη χρονική στιγμή B θα έχει εκφορτισθεί.



Σχ. 40.3β.

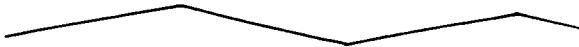
Αν τώρα η σταθερά χρόνου RC αυξηθεί αρκετά, ο πυκνωτής ούτε να φορτισθεί ούτε να εκφορτισθεί θα προλαβαίνει, οπότε η τάση εξόδου V_C θα έχει τις μορφές που φαίνονται στα σχήματα 40.3γ, 40.3δ και 40.3ε. Παρατηρούμε τότε, ότι οι καμπύλες φορτίσεως και εκφορτίσεως γίνονται περισσότερο ευθύγραμμες, μέχρι να γίνουν σχεδόν ευθείες, όταν η σταθερά χρόνου RC γίνει αρκετά μεγάλη. Τότε λέμε ότι έχουμε τέλεια ολοκλήρωση.



Σχ. 40.3γ.



Σχ. 40.3β.



Σχ. 40.3α.

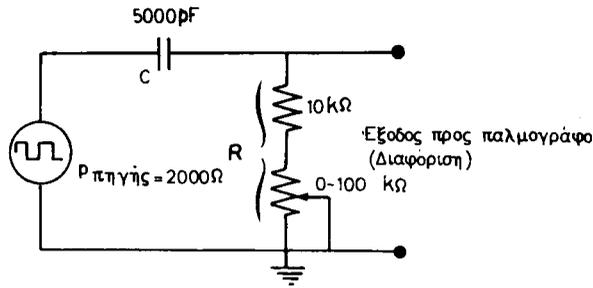
Σταθερά χρόνου πολύ μεγάλη σε σχέση με την περίοδο του σήματος εισόδου. Τέλεια ολοκλήρωση.

Παρατηρούμε ότι η σταθερά χρόνου του κυκλώματος μπορεί να αυξηθεί, όταν αυξηθεί η R . Ωστε, όταν η R αυξάνεται, τα τμήματα στις καμπύλες φορτίσεως και εκφορτίσεως γίνονται περισσότερο ευθύγραμμα. Σε αυτή την περίπτωση, αν η πηγή έχει εσωτερική αντίσταση ρ , αυτή προστίθεται στην R (αφού είναι σε σειρά) και ο πυκνωτής φορτίζεται πραγματικά μέσω της αντιστάσεως $(\rho + R)$. Δηλαδή, η σταθερά χρόνου αυξάνεται ακόμη περισσότερο και επομένως οι καμπύλες φορτίσεως - εκφορτίσεως γίνονται ακόμη περισσότερο ευθύγραμμες (δηλαδή, η ολοκλήρωση γίνεται τελειότερη). Συνεπώς, η μεγάλη εσωτερική αντίσταση της πηγής κάνει τελειότερη την ολοκλήρωση. Αλλά πηγή μεγάλης εσωτερικής αντιστάσεως είναι πηγή σταθερού ρεύματος. Άρα: **στο κύκλωμα ολοκληρώσεως, η πηγή πρέπει να είναι πηγή σταθερού ρεύματος.**

40.4 Εργασία.

α) Κύκλωμα διαμορφώσεως.

1) Να συνδεσμοποιηθεί το κύκλωμα του σχήματος 40.4α. Η γεννήτρια χαμηλών συχνοτήτων παρέχει ορθογώνιους παλμούς. Ο παλμογράφος ρυθμίζεται κά-



Σχ. 40.4α.

Θε φορά στην κατάλληλη συχνότητα σαρώσεως, ώστε να εμφανίζονται 2 ως 4 κύματα του σήματος εξόδου στην οθόνη του. (Ο καθηγητής του Εργαστηρίου θα σας δώσει την ρ της γεννήτριας).

Οδηγήσετε την έξοδο της γεννήτριας Χ.Σ. στον παλμογράφο και διαπιστώσετε ότι το σήμα εξόδου της έχει ορθογώνια μορφή. Ακολουθώντας συνδέσετε τον παλμογράφο στην έξοδο του κυκλώματος διαφορίσεως.

2) Για συχνότητες του σήματος εισόδου: $f = 1000 \text{ Hz}$, $f = 5000 \text{ Hz}$ και $f = 100 \text{ Hz}$, να ληφθούν ποικίλα παλμογραφήματα για διάφορες τιμές του ροοστάτη R.

- Για ποια συχνότητα έχουμε τελειότερη διαφόριση, δηλαδή λεπτές αιχμές τάσεως εξόδου;
- Στην περίπτωση, κατά την οποία παρουσιάζονται λεπτές αιχμές, ποια η σταθερά χρόνου του κυκλώματος; $R_{\text{ολ}} = (\rho + R)$ και $R_{\text{ολ}} \cdot C = \dots$ δευτερόλεπτα.
- Ποια η περίοδος του σήματος εισόδου;

$$\text{περίοδος} = \frac{1}{f} = \dots \text{ δευτερόλεπτα}$$

- Είναι η σταθερά χρόνου **πολύ μικρότερη** από την περίοδο του σήματος εισόδου;

3) Ρυθμίστε τη συχνότητα της γεννήτριας σε 500 Hz. Υπολογίστε το χρόνο μιας ημιπεριόδου:

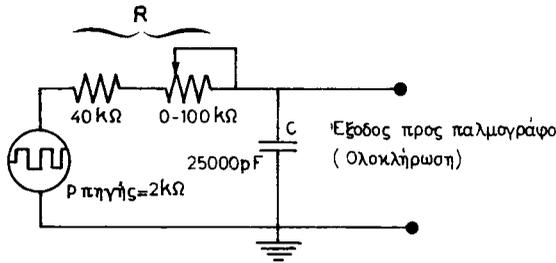
$$T/2 = \dots \text{ δευτερόλεπτα}$$

Ακολουθώντας, ρυθμίστε την R, ώστε στο παλμογράφημα να φαίνονται πλήρεις φορτίσεις και εκφορτίσεις του πυκνωτή, όπως στο σχήμα 40.2δ. Όταν επιτύχετε τη συνθήκη αυτή, από τα R, C του κυκλώματος υπολογίστε τη σταθερά χρόνου και πολλαπλασιάσετε επί 5, δηλαδή $5 \cdot RC = \dots$ δευτερόλεπτα (λάβετε $R_{\text{ολ}} = \rho + R$).

Ο χρόνος αυτός είναι ίσος με εκείνον της μιας ημιπεριόδου που υπολογίσατε πριν;

β) Κύκλωμα διαφορίσεως.

4) Να συνδεσμοποιηθεί το κύκλωμα του σχήματος 40.4β. Για συχνότητες 300, 1000 και 2000 Hz, να ληφθούν ποικίλα παλμογραφήματα για διάφορες τιμές του ροοστάτη R.



Σχ. 40.4β.

Για ποια συχνότητα έχετε τελειότερη ολοκλήρωση, δηλαδή σχεδόν ευθείες της τάσεως εξόδου; Σημειώσετε $f = \dots$ Hz. Στην περίπτωση αυτή, ποια είναι η σταθερά χρόνου του κύκλωματος; Λάβετε $R_{ολ} = \rho + R$. Υπολογίστε: $R_{ολ} \cdot C = \dots$ δευτερόλεπτα.

Ποια η περίοδος του σήματος εισόδου; Υπολογίστε: περίοδος $= 1/f = \dots$ δευτερόλεπτα.

Είναι η σταθερά χρόνου **πολύ μεγαλύτερη** από την περίοδο του σήματος εισόδου;

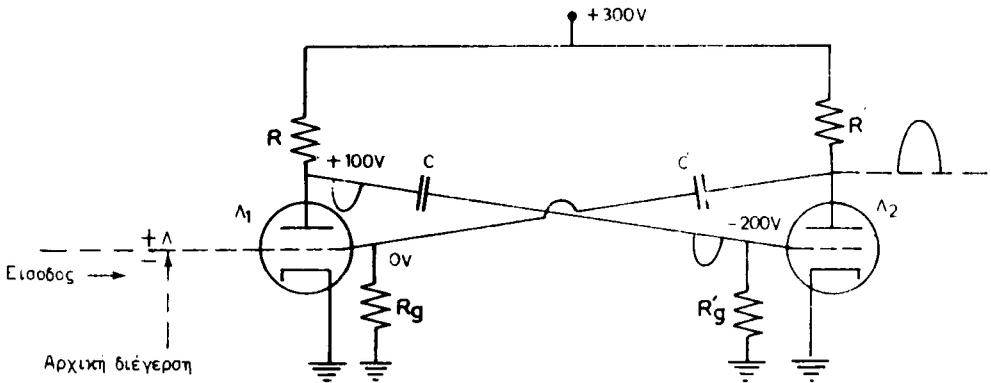
ΑΣΚΗΣΗ 41

ΑΥΤΟΔΙΕΓΕΙΡΟΜΕΝΟΣ ΠΟΛΥΔΟΝΗΤΗΣ

41.1 Γενικά.

Ο αυτοδιεγειρόμενος πολυδονητής είναι ένα συμμετρικό κύκλωμα με δύο ενισχυτικές βαθμίδες (με λυχνίες ή τρανζίστορ).

Εξετάζουμε πρώτα έναν αυτοδιεγειρόμενο πολυδονητή με λυχνίες. Στο σχήμα 41.1α φαίνεται ένα τέτοιο κύκλωμα.



Σχ. 41.1α.

Οι δύο λυχνίες του είναι συνδεσμολογημένες σαν ενισχύτριες που έχουν για ανωδικά φορτία ωμικές αντιστάσεις ($R - R'$). Η λυχνία Λ_2 είναι συζευγμένη με την Λ_1 με τον πυκνωτή C . Το κύκλωμα αυτό παράγει ταλαντώσεις μόνο του (αυτοα-λαντώνεται) και γι' αυτό έχει ονομασθεί αυτοδιεγειρόμενος πολυδονητής.

Η λειτουργία του είναι η εξής:

Όταν το κύκλωμα τεθεί σε λειτουργία, τα δυναμικά στα διάφορα ηλεκτρόδια των δύο λυχνιών δεν παίρνουν αμέσως μια σταθερή τιμή. Οποσδήποτε θα υπάρχουν μικρές μεταβολές τάσεως, τόσο στα πλέγματα όσο και στις ανόδους. Έστω π.χ. ότι σε κάποια χρονική στιγμή A εμφανίζεται στο πλέγμα της Λ_1 μια μικρή μεταβολή της τάσεως, όπως δείχνει το σχήμα 41.1α. Η μεταβολή αυτή μπορεί να είναι μόνο μερικά μικροβόλτ, θα ενισχυθεί όμως από την Λ_1 και θα εμφανισθεί στην άνοδό της ενισχυμένη και με αντιστροφή της φάσεώς της κατά 180° . Από την άνο-

δο της Λ_1 , με τον πυκνωτή C , θα διαβιβασθεί ως αρνητικός παλμός τάσεως στο πλέγμα της Λ_2 και αφού ενισχυθεί πάλι, θα εμφανισθεί στην άνοδο της Λ_2 με νέα αναστροφή της φάσεώς της κατά 180° ακόμη. Από την άνοδο της Λ_2 , μέσω του πυκνωτή C' , θα διαβιβασθεί ως θετικός παλμός τάσεως στο πλέγμα της Λ_1 και αφού ενισχυθεί πάλι, θα εμφανισθεί στην άνοδο της Λ_1 με αναστροφή της φάσεώς της κατά 180° , για να οδηγηθεί πάλι με τον πυκνωτή C στο πλέγμα της Λ_2 ως αρνητικός παλμός τάσεως κ.ο.κ.

Παρατηρούμε δηλαδή ότι ο πολύ μικρός αρχικός παλμός τάσεως, που είχε εμφανισθεί στο πλέγμα της λυχνίας Λ_1 στη χρονική στιγμή A , ενισχύεται διαδοχικά από τις δύο λυχνίες και οδηγείται στο πλέγμα της καθεμιάς πάντοτε με την ίδια πολικότητα. Δηλαδή στο πλέγμα της Λ_1 οδηγείται πάντοτε θετικός παλμός και στο πλέγμα της Λ_2 οδηγείται πάντοτε αρνητικός παλμός με πλάτος που διαρκώς μεγαλώνει.

Με αυτές τις αλληπάλληλες ενισχύσεις, έρχεται μια χρονική στιγμή B , στην οποία το πλέγμα της Λ_2 (δηλαδή ο δεξιά οπλισμός του πυκνωτή C) γίνεται τόσο αρνητικό ως προς την κάθοδό της, ώστε η λυχνία αυτή να βρεθεί σε άποκοπή και το πλέγμα της Λ_1 λαμβάνει προς στιγμή θετική τιμή ως προς την κάθοδό της για να σταθεροποιηθεί σύντομα σε δυναμικό μηδέν.

Έτσι, η μεν λυχνία Λ_1 είναι σταθερά αγωγή με δυναμικό πλέγματος μηδέν, η δε Λ_2 είναι μη αγωγή (βρίσκεται σε αποκοπή) με δυναμικό πλέγματος πολύ αρνητικό σε σχέση με την κάθοδό της (και συνεπώς σε σχέση με τη γη).

Όλες αυτές οι διαδοχικές ενισχύσεις της αρχικής μικρής μεταβολής της τάσεως στο πλέγμα της Λ_1 , που κατέληξαν στο να καταστήσουν αγωγή την Λ_1 και μη αγωγή την Λ_2 , συμβαίνουν σε πολύ μικρό χρονικό διάστημα. Δηλαδή η διάρκεια από τη χρονική στιγμή A ως τη χρονική στιγμή B είναι πολύ μικρή, μερικά εκατομμυριοστά του δευτερολέπτου (μικροδευτερόλεπτα).

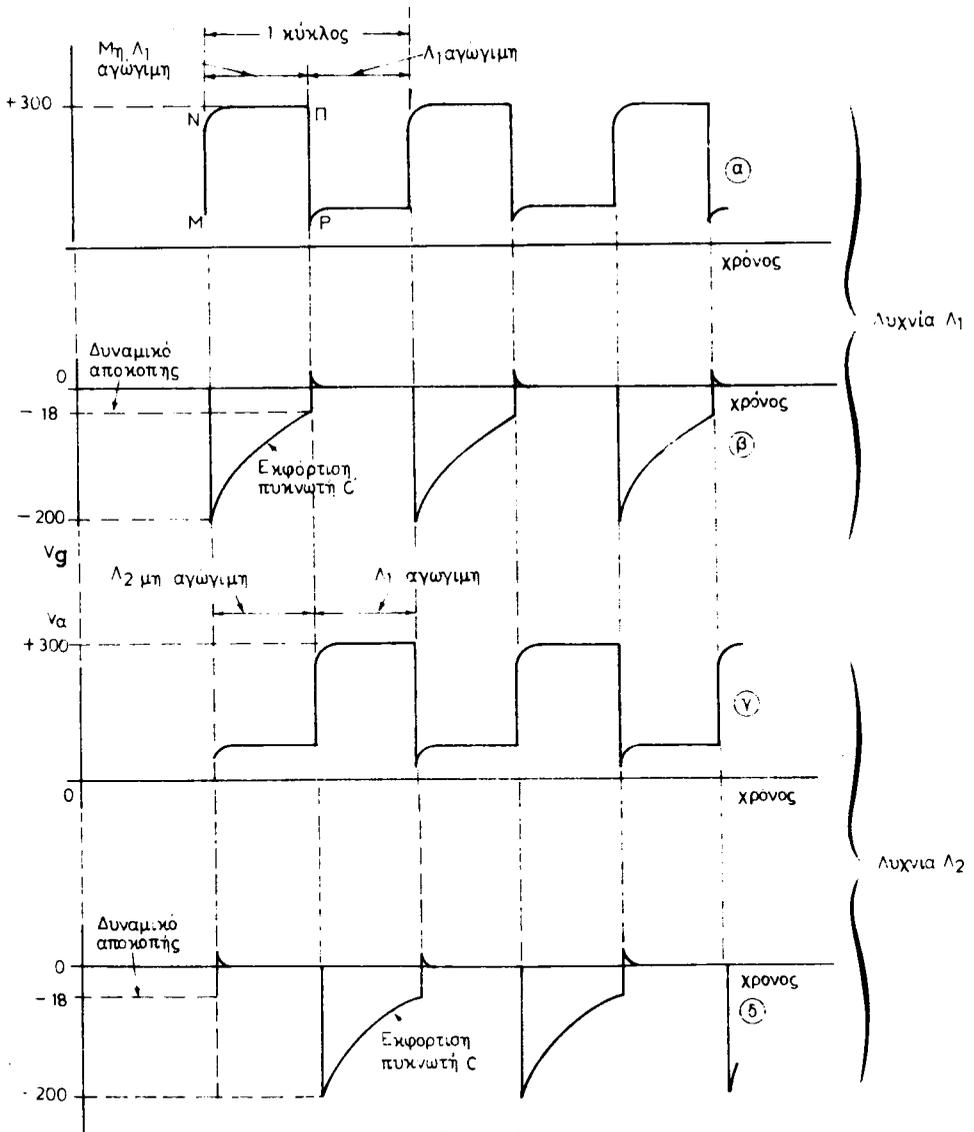
Στο σχήμα 41.1β φαίνονται τα δυναμικά που επικρατούν αντίστοιχα στις ανόδους και στα πλέγματα των λυχνιών Λ_1 και Λ_2 .

Παρατηρούμε ότι, όταν μία λυχνία δεν είναι αγωγή, στην άνοδό της επικρατεί η τάση της πηγής τροφοδοτήσεως (+ 300 V). Πρέπει επίσης να παρατηρηθεί ότι τα τμήματα της τάσεως ανόδου $M-N$ και $P-P$, που φαίνονται στο σχήμα 41.1β κατακόρυφα, έχουν στην πραγματικότητα μια πολύ μικρή κλίση, όπως φαίνεται στο σχήμα 41.1γ.

Η κλίση αυτή αντιστοιχεί στη διάρκεια των λίγων μικροδευτερολέπτων από τη χρονική στιγμή A της αρχικής θετικής μεταβολής στο πλέγμα της μιας λυχνίας, ως τη στιγμή B , στην οποία η λυχνία αυτή γίνεται σταθερά αγωγή. Παρατηρούμε δηλαδή ότι οι παλμοί της τάσεως ανόδου στους αυτοδιεγείρομενους πολυδομητές δεν έχουν καθαρά ορθογώνια μορφή, αλλά τα ανερχόμενα και κατερχόμενα τμήματά τους έχουν πάντα μια ανεπαίσθητη κλίση.

Η συχνότητα των ταλαντώσεων σε ένα αυτοδιεγείρομενο πολυδομητή εξαρτάται κυρίως από τις τιμές των πυκνωτών C και C' και των αντιστάσεων R_g και R_g' . Όσο οι πυκνωτές αυτοί είναι μεγαλύτεροι (ή οι αντιστάσεις είναι μεγαλύτερες), τόσο η συχνότητα των ταλαντώσεων είναι χαμηλότερη. Συνήθως οι πυκνωτές είναι ίσοι μεταξύ τους, το ίδιο και οι αντιστάσεις πλεγμάτων και ανόδων.

Δηλαδή είναι: $C = C'$, $R = R'$, $R_g = R_g'$. Επίσης οι λυχνίες είναι ίδιες.

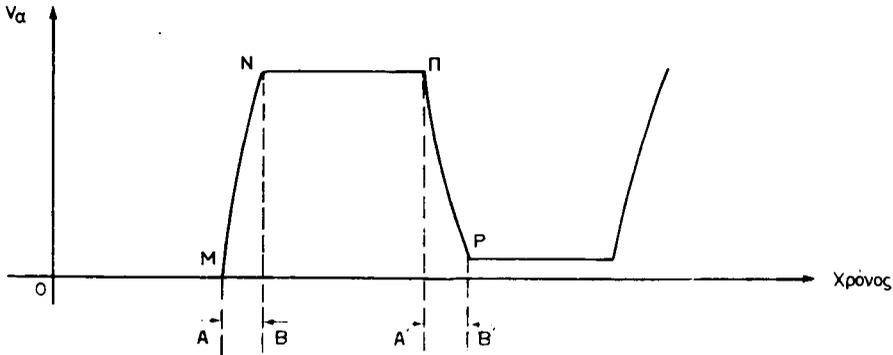


Σχ. 41.1β.

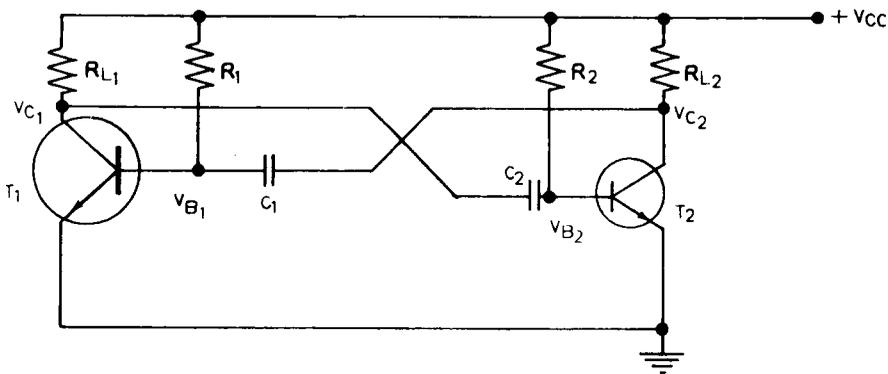
Μορφές των τάσεων που επικρατούν στις ανόδους και στα πλέγματα των λυχνιών Λ_1 και Λ_2 αντίστοιχα. Η τάση (α) επικρατεί μεταξύ ανόδου-γης της λυχνίας Λ_1 . Η τάση (β) επικρατεί στα αντίστοιχα χρονικά διαστήματα μεταξύ πλέγματος-γης της ίδιας λυχνίας. Το ίδιο, η τάση (γ) επικρατεί μεταξύ ανόδου-γης και η τάση (δ) μεταξύ πλέγματος-γης της λυχνίας Λ_2 .

Η αγωγιμότητα ή μη αγωγιμότητα κάθε λυχνίας διαρκεί τόσο χρόνο, όσος χρειάζεται για να εκφορτισθεί ο πυκνωτής ανόδου της άλλης λυχνίας από την τάση των -200 βολτ ως την τάση αποκοπής (-18 βολτ).

Έτσι με πυκνωτές π.χ. $1 \mu\text{F}$ και αντιστάσεις πλεγμάτων $1 \text{ M}\Omega$, η συχνότητα των ταλαντώσεων είναι τόσο χαμηλή, ώστε μπορούμε να τις βλέπουμε στις διαδοχικές αποκλίσεις των δεικτών δύο μιλλιαμπερομέτρων που είναι συνδεδεμένα στις ανόδους. Αν όμως είναι $C = C' = 1000 \mu\text{F}$ και $R_g = R'_g = 100.000 \Omega$, η συχνότητα



Σχ. 41.1γ.



Σχ. 41.16.

των ταλαντώσεων είναι μεγάλη και μπορούμε τότε να δούμε τις ταλαντώσεις αυτές στην οθόνη ενός παλμογράφου.

Ένα κύκλωμα αυτοδιεγειρόμενου πολυδονητή με τρανζίστορ φαίνεται στο σχήμα 41.16. Η λειτουργία του είναι ακριβώς όμοια με εκείνη που εξετάσαμε στο κύκλωμα με λυχνίες.

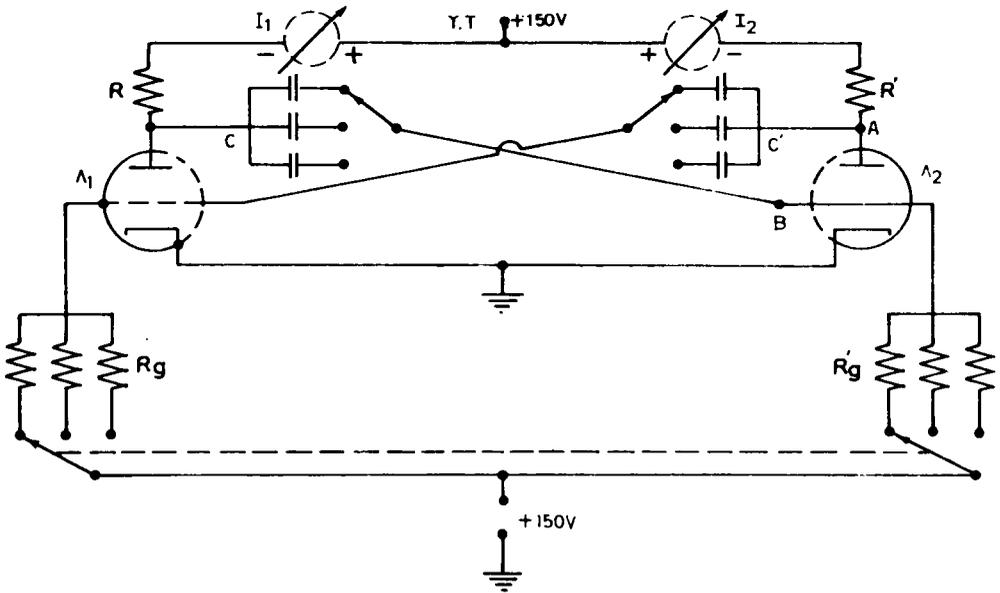
Στη χρονική διάρκεια $t_0 - t_1$ το τρανζίστορ T_1 εργάζεται με συνθήκες κόρου και η τάση του συλλέκτη V_{C1} είναι σχεδόν μηδενική. Την ίδια χρονική περίοδο το τρανζίστορ T_2 βρίσκεται σε αποκοπή και η τάση V_{C2} είναι ίση με την τάση της πηγής. Το δυναμικό V_{B1} στη βάση της βαθμίδας T_1 σε όλη αυτή τη χρονική διάρκεια είναι λίγο μεγαλύτερο από το μηδέν και διατηρεί την T_1 αγώγιμη. Το δυναμικό της βάσεως V_{B2} της βαθμίδας T_2 , επειδή ρυθμίζεται από την εκφόρτιση του C_2 , είναι αρνητικό και διατηρεί την T_2 σε αποκοπή. Η αποκοπή της T_2 συνεχίζεται ως τη στιγμή t_1 οπότε ο εκφορτιζόμενος πυκνωτής C_2 φέρνει το δυναμικό της βάσεως V_{B2} στο μηδέν. Τη στιγμή αυτή η T_2 γίνεται αγώγιμη, ο πυκνωτής C_2 φορτίζεται μέσω της R_{L1} στο δυναμικό της πηγής, ενώ αρχίζει η εκφόρτιση του C_1 μέσω της R_1 και η λειτουργία της βαθμίδας T_2 αποκόπτεται. Δηλαδή, η κατάσταση

λειτουργίας των δύο βαθμίδων άλλαξε και νέα αλλαγή θα γίνει, όταν ο C_1 εκφορτιζόμενος θα φέρει το δυναμικό V_{B_1} στο μηδέν.

41.2 Εργασία.

1) Να συνδεσμοποιηθεί το κύκλωμα του σχήματος 41.2α. Να συνδεθούν οι πυκνωτές συζεύξεως (C, C') με τις μεγαλύτερες τιμές και τα μιλλιαμπερόμετρα στις ανόδους. Να εξακριβωθεί από τις αποκλίσεις των δεικτών των δύο οργάνων, πότε αρχίζει και πότε λήγει κάθε πλήρης κύκλος εναλλαγής. Ακολουθώντας να μετρηθεί με τη βοήθεια ρολογιού με δευτερολεπτοδείκτη ο αριθμός των πλήρων εναλλαγών σε χρονικό διάστημα 30" ή 1 λεπτού. Ποια η συχνότητα του πολυδονητή; Ποια η περίοδος κάθε πλήρους κύματος;

2) Να συνδεθεί ηλεκτρονικό βολτόμετρο συνεχούς πρώτα στα σημεία A - γη (σχ. 41.2α) και μετά στα σημεία B - γη του κυκλώματος. Και στις δύο περιπτώσεις να παρατηρηθεί και να περιγραφεί η χαρακτηριστική απόκλιση της βελόνας του οργάνου. Να σημειωθούν τα δυναμικά ανόδου και πλέγματος που δείχνει το όργανο.



Σχ. 41.2α.

3) Αφού διακοπεί η Y.T., να αποσυνδεθούν από το κύκλωμα τα μιλλιαμπερόμετρα και να συνδεθούν οι πυκνωτές συζεύξεως με τις μικρότερες τιμές. Να οδηγηθεί προς παλμογράφο η έξοδος του κυκλώματος (σημεία A - γη, σχ. 41.2α).

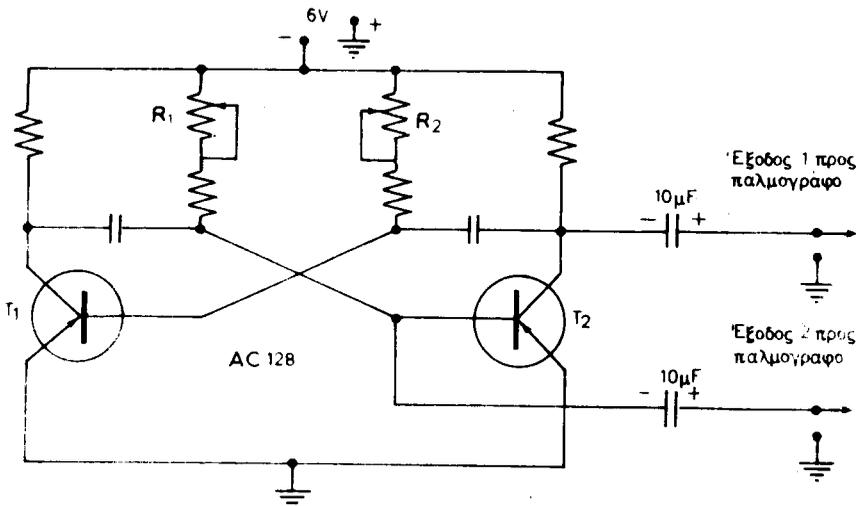
Αφού συνδεθεί πάλι η Y.T., να ρυθμισθεί το σάρωμα του παλμογράφου, ώστε

να εμφανισθούν στην οθόνη του δύο κύματα. Να σχεδιασθούν οι κυματομορφές.

4) Να συνδεθεί ένα από τα πλέγματα των λυχνιών του κυκλώματος στον παλμογράφο (σημεία Β - γη) και να ρυθμισθεί πάλι το σάρωμα (αν χρειάζεται), ώστε να εμφανισθούν στην οθόνη δύο κύματα. Να σχεδιασθούν πάλι οι κυματομορφές.

5) Να μετρηθεί η συχνότητα των ταλαντώσεων του πολυδονητή με τους ίδιους πυκνωτές, ως εξής: Στα πλακίδια κατακόρυφης αποκλίσεως του παλμογράφου να οδηγηθεί η έξοδος του πολυδονητή (σημείο Α). Στα πλακίδια οριζόντιας αποκλίσεως να συνδεθεί ταλαντωτής Χ.Σ. ημιτονικού σήματος. Ο παλμογράφος να ρυθμισθεί ώστε να παρέχει στίγμα (όχι σάρωμα). Ακολούθως να μεταβάλλεται η συχνότητα της γεννήτριας Χ.Σ., μέχρι να εμφανισθεί στην οθόνη ένας κλειστός βρόχος. Τότε η συχνότητα του πολυδονητή θα είναι η ίδια με τη συχνότητα της γεννήτριας.

6) Να συνδεσμοποιηθεί το κύκλωμα του σχήματος 41.2β. **Προσοχή** στην πολικότητα της τάσεως.

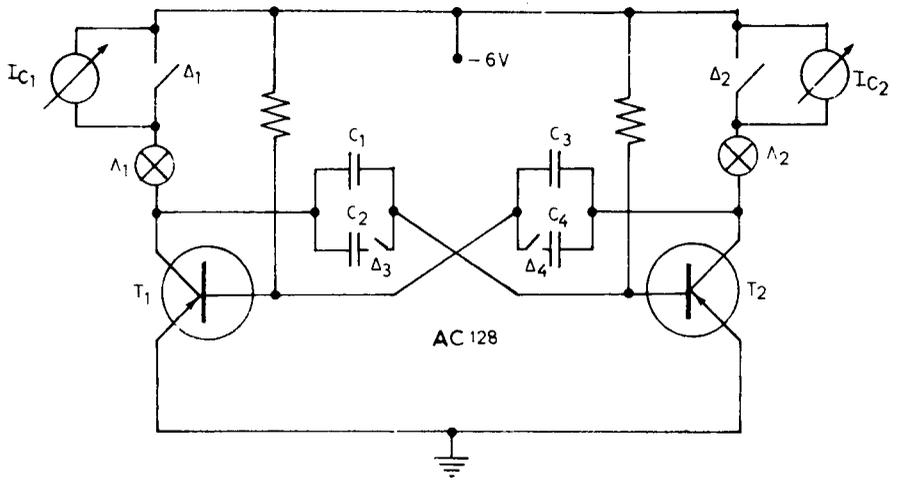


Σχ. 41.2β.

Οδηγήστε την έξοδο 1 στον παλμογράφο και αφού ρυθμίσετε το ροοστάτη R_1 παρατηρήσετε και σχεδιάσετε τα παλμογραφήματα. Επαναλάβετε την ίδια εργασία όταν μεταβάλλετε την R_2 .

7) Μεταφέρετε την έξοδο 2 στην είσοδο του παλμογράφου και επαναλάβετε την ίδια εργασία με την περίπτωση 6.

8) Τροφοδοτήσετε το κύκλωμα του σχήματος 41.2γ. Όλοι οι διακόπτες Δ_1 , Δ_2 , Δ_3 και Δ_4 στη θέση OFF. Τοποθετήστε τα μιλιαμπερόμετρα I_{C_1} και I_{C_2} στην κλίμακα των 50 A και παρατηρήσετε τη συχνότητα με την οποία ανάβουν οι λαμπτήρες L_1 και L_2 . Κλείστε τον Δ_3 (ON), παρατηρήσετε και σχολιάσετε την αλλαγή. Το ίδιο να επαναληφθεί και με το διακόπτη Δ_4 κλειστό (ON).



Σχ. 41.2γ.

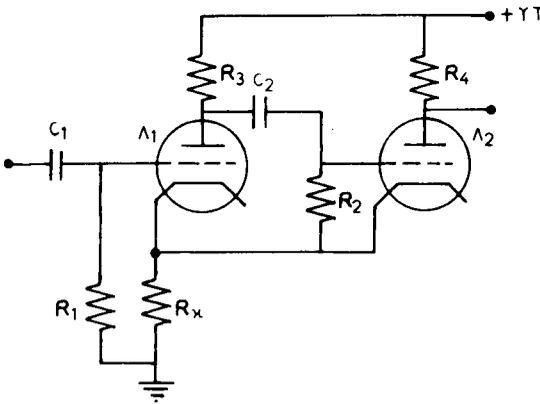
ΑΣΚΗΣΗ 42

ΠΟΛΥΔΟΝΗΤΗΣ ΜΙΑΣ ΒΟΛΗΣ Ή ΜΙΑΣ ΣΤΑΘΕΡΗΣ ΚΑΤΑΣΤΑΣΕΩΣ

42.1 Γενικά.

Το κύκλωμα του σχήματος 42.1α δείχνει ένα πολυδονητή μιας σταθερής καταστάσεως με λυχνίες.

Το κύκλωμα αυτό παράγει ένα πλήρη κύκλο μιας συχνότητας που ορίζεται από τα στοιχεία που το συνθέτουν και εφ' όσον διεγερθεί εξωτερικά από θετικό παλμό. Βασικά πρόκειται για ένα ενισχυτή δύο βαθμίδων με αντιστάσεις και πυκνωτές που η μια βαθμίδα του είναι αγώγιμη ενώ η άλλη είναι σε αποκοπή.



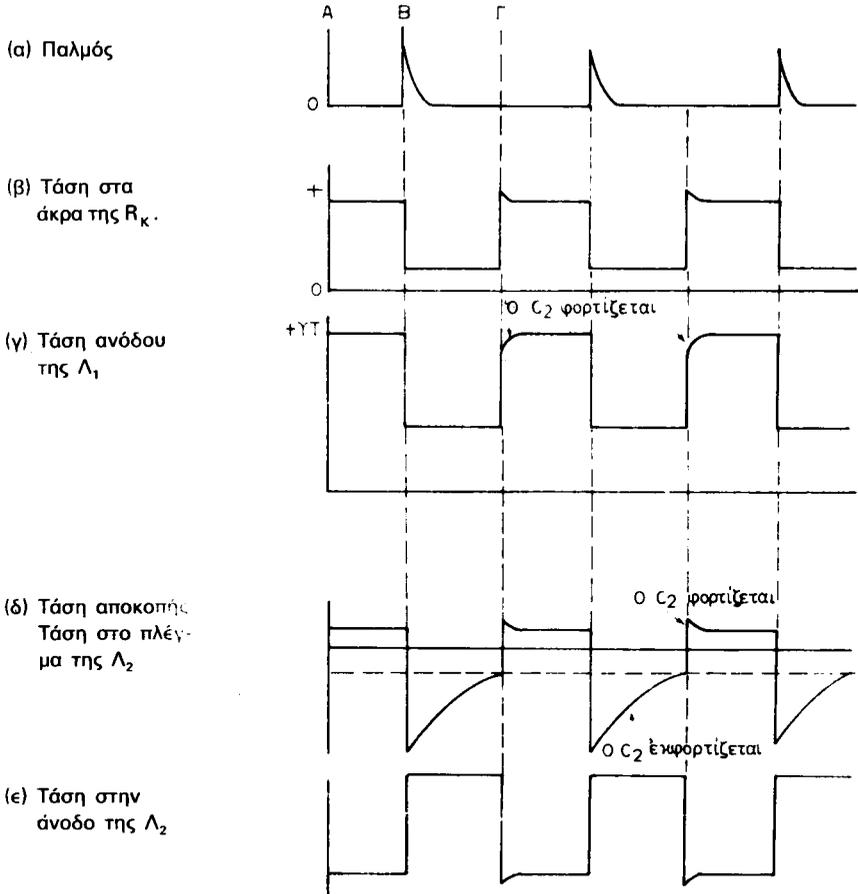
Σχ. 42.1α.

Η ισορροπία του κυκλώματος εξασφαλίζεται με κατάλληλη πόλωση των λυχνιών. Έτσι η πόλωση της Λ_2 είναι 0 (μηδέν) βολτ, γιατί το πλέγμα της είναι συνδεδεμένο στην κάθοδό της μέσω της R_2 και από την R_2 δεν περνά ρεύμα με κανονικές συνθήκες. Το ανοδικό ρεύμα της Λ_2 περνά μέσα από τη κοινή αντίσταση καθόδου R_k . Η πώση τάσεως στην R_k είναι αρκετή για να οδηγήσει τη βαθμίδα Λ_1 σε αποκοπή. Υπενθυμίζεται ότι είναι αδύνατο μια λυχνία να πολωθεί σε δυναμικό αποκοπής, για οποιαδήποτε τιμή της αντιστάσεως καθόδου της. Έτσι η Λ_1 θα γίνει αγώγιμη μόνο αν η πόλωσή της γίνει μικρότερη από την τάση αποκοπής της. Αυτό το κατορθώνουμε με την εφαρμογή θετικού παλμού στο πλέγμα της Λ_1 ή αν οδηγήσομε σε αποκοπή την Λ_2 .

Η όλη λειτουργία του κυκλώματος εξηγείται γραφικά στο σχήμα 42.1β.

α) Η L_1 βρίσκεται μόνιμα σε αποκοπή εξαιτίας της πτώσεως τάσεως στην R που αναπτύσσεται από το ρεύμα ανόδου της L_2 [σχ. 42.1β(α) - χρόνος A].

β) Από την L_2 περνά μεγάλο ανοδικό ρεύμα, γιατί είναι πολωμένη σε δυναμικό 0 [σχ. 42.1β(δ) - χρόνος A].



Σχ. 42.1β.

γ) Η άνοδος της L_1 είναι στο δυναμικό της πηγής. Ο C_2 φορτίζεται σε τάση ίση με εκείνη που επικρατεί μεταξύ ανόδου - καθόδου της L_1 .

δ) Αν ένας θετικός παλμός με αρκετό πλάτος, που να μπορεί να οδηγήσει το πλέγμα της L_1 σε δυναμικό μικρότερο από το δυναμικό αποκοπής, εφαρμοσθεί στο πλέγμα της L_1 , η βαθμίδα αυτή αρχίζει να άγει.

ε) Μόλις η L_1 γίνει αγώγιμη η ανοδική της τάση υποβιβάζεται. Ο υποβιβασμός αυτός δια του C_2 εμφανίζεται στο πλέγμα της L_2 σαν μια τάση που αυξάνεται αρνητικά.

ζ) Η τάση αυτή που αυξάνεται αρνητικά υποβιβάζει τό I_{α_2} .

η) Η πώση τάσεως στην R υποβιβάζεται επιτρέποντας έτσι την αύξηση του I_{α_1} .

θ) Το πλέγμα της Λ_2 γίνεται περισσότερο αρνητικό.

ι) Η όλη εναλλαγή ($\epsilon - \theta$) επαναλαμβάνεται έως ότου η Λ_2 αποκοπεί, ενώ η Λ_1 θα είναι αγωγή με το μέγιστο δυνατό ρεύμα. Η μεταβίβαση της αγωγιμότητας από την Λ_2 στην Λ_1 γίνεται σχεδόν ακαριαία.

Το κύκλωμα παραμένει με την Λ_1 αγωγή και την Λ_2 σε αποκοπή στη χρονική διάρκεια από Β - Γ (σχ. 42.1β), ενώ ο C_2 εκφορτίζεται μέσω των R_2 , R_K , πηγής και R_3 , έως ότου η τάση στα άκρα του φθάσει την ανοδική τάση της Λ_1 .

Όταν όμως εκφορτίζεται ο C_2 η αρνητική τάση στο πλέγμα της Λ_2 υποβιβάζεται και η λυχνία γίνεται αγωγή μόλις η τάση αυτή γίνει θετικότερη από την τάση αποκοπής [σχ. 42.1β(δ) - χρόνος Γ].

ια) Το ανοδικό ρεύμα της Λ_2 διαρρέει την R_K αυξάνοντας έτσι την τάση καθόδου της Λ_1 και υποβιβάζοντας το ανοδικό της ρεύμα.

ιβ) Ο υποβιβασμός του ανοδικού ρεύματος της Λ_1 επιτρέπει την αύξηση της ανοδικής τάσεως της Λ_1 .

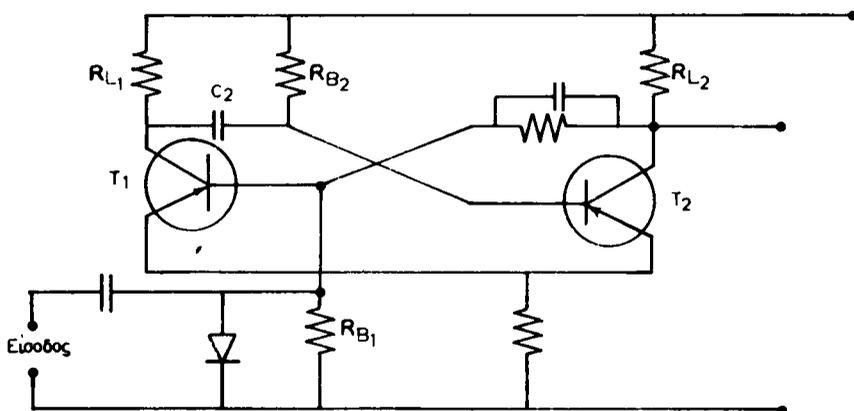
ιγ) Η αύξηση αυτή της ανοδικής τάσεως, μεταφέρεται με τον C_2 στο πλέγμα της Λ_2 αυξάνοντας έτσι το ανοδικό της ρεύμα.

ιδ) Η όλη εναλλαγή καταστάσεων (ια - ιγ) επαναλαμβάνεται έως ότου η Λ_1 αποκοπεί και η Λ_2 γίνει αγωγή με το μέγιστο δυνατό ρεύμα. Η μεταβίβαση αγωγιμότητας από την Λ_1 στην Λ_2 πραγματοποιείται σε χρόνο πρακτικά αμελητέο.

Το όλο κύκλωμα έχει επανέλθει τώρα στην αρχική του κατάσταση ισορροπίας και θα παραμείνει σε αυτή έως ότου ένας άλλος θετικός παλμός φθάσει στην είσοδο και κάνει την Λ_1 αγωγή.

Όταν στην είσοδο του πολυδονητή μιας σταθερής καταστάσεως εφαρμοσθεί θετικός παλμός αρκετού πλάτους, ώστε να καταστήσει την Λ_1 αγωγή, από την άνοδο της Λ_2 παίρνουμε θετικό παλμό του οποίου το πλάτος εξαρτάται από την τιμή της R_4 , η δε διάρκειά του από τη σταθερά χρόνου των στοιχείων $C_2 R_2$. Αν οι τιμές των $C_2 R_2$ αυξηθούν η διάρκεια του θετικού παλμού αυξάνει.

Στο σχήμα 42.1γ φαίνεται κύκλωμα πολυδονητή μιας βολής με τρανζίστορ.



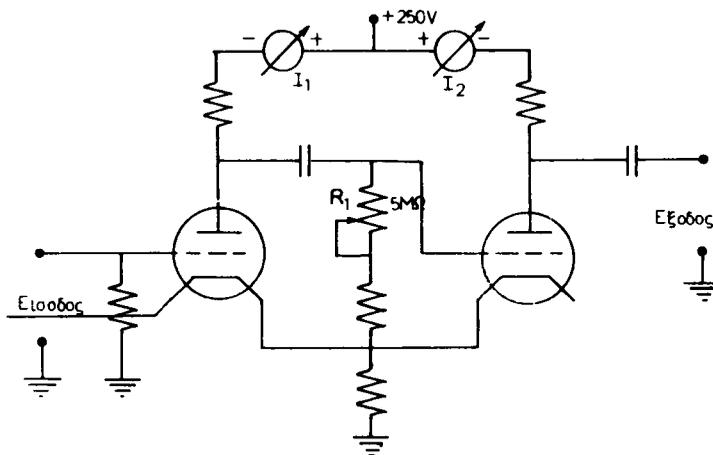
Σχ. 42.1γ.

Η λειτουργία του είναι η ίδια με εκείνη που περιγράψαμε με λυχνίες. Όταν δεν υπάρχει διέγερση η βαθμίδα T_1 είναι σε αποκοπή, ενώ η T_2 σε αγωγιμότητα. Όταν οδηγηθεί αρνητικός παλμός στην είσοδο της T_1 ανατρέπεται η προηγούμενη κατάσταση και η βαθμίδα T_1 γίνεται αγωγή ενώ αποκόπτεται η T_2 .

Η προσωρινή αυτή κατάσταση του κυκλώματος είναι ίση με χρόνο t , που εξαρτάται από τη σταθερά χρόνου των στοιχείων R_{B_2} C_2 και από την τάση V_{CC} . Μετά το κύκλωμα επανέρχεται στην αρχική κατάσταση και στην έξοδό του έχουμε ένα τετραγωνικό παλμό.

42.2 Εργασία.

1) Να συνδεσμολογηθεί το κύκλωμα του σχήματος 42.2α. Σημειώστε τις ενδείξεις των δύο μιλλιαμπερομέτρων, τα οποία συνδέονται σε σειρά με τις ανόδους των δύο λυχνιών. Ποια από τις δύο λυχνίες είναι αγωγή και γιατί;



Σχ. 42.2α.

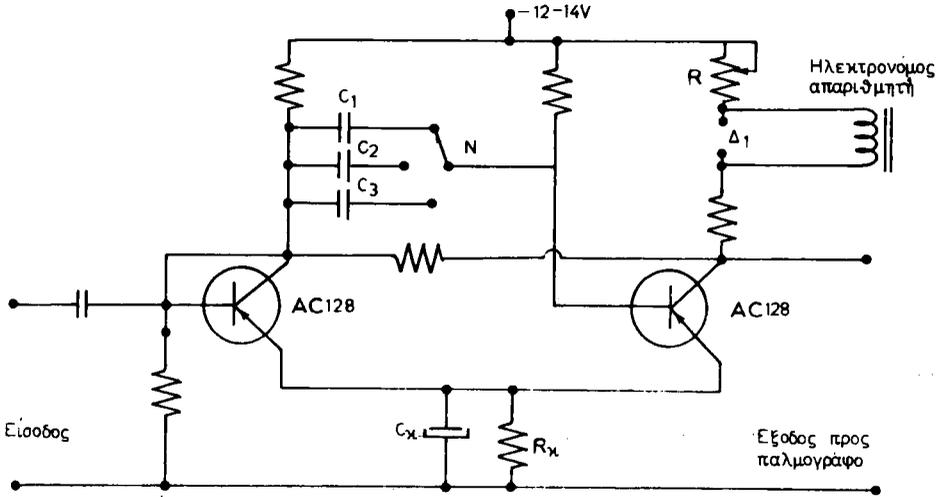
2) Συνδέσετε στην είσοδο χειριστήριο με τη βοήθεια του οποίου παράγονται ο-ξείς θετικοί παλμοί. Εφαρμόσετε με στιγμιαία πίεση του χειριστηρίου ένα θετικό παλμό στην είσοδο. Παρατηρήσετε τις ενδείξεις των δύο μιλλιαμπερομέτρων και κάνετε σύγκριση με τις προηγούμενες. Περιμένετε λίγο και παρατηρήσετε τα δύο όργανα. Τι συμπεραίνετε;

Επαναλάβετε τον ίδιο κύκλο εργασίας με διαφορετική τιμή αντίστασης R_1 .

3) Συνδέστε στην είσοδο γεννήτρια τετραγωνικών παλμών σε μια συχνότητα περίπου 100 Hz. Στην έξοδο της διατάξεως να συνδεθεί παλμογράφος, με σάρωση περίπου 50 Hz. Να σχεδιασθούν τα παλμογραφήματα εξόδου της ασκήσεως.

4) Μεταβάλλετε την αντίσταση $R_1 = 5 \text{ M}\Omega$ και λάβετε παλμογραφήματα για τις διάφορες θέσεις της. Δικαιολογήστε τη μορφή τους.

5) Να συνδεσμολογηθεί το κύκλωμα (σχ. 42.2β) με τρανζίστορ. Συνδέστε στη θέση Δ_1 μιλλιαμπερόμετρο και στην είσοδο χειριστήριο. Παρατηρήσετε τις εναλ-



Σχ. 42.2β.

λαγές καταστάσεων του μονοδονητή για κάθε παλμό στην είσοδο.

6) Συνδέσετε στη θέση Δ_1 τηλεφωνικό καταμετρητή και καταγράψτε τους παλμούς εισόδου, ρυθμίζοντας ταυτόχρονα την αντίσταση R ώστε ο καταμετρητής να είναι ευαίσθητος.

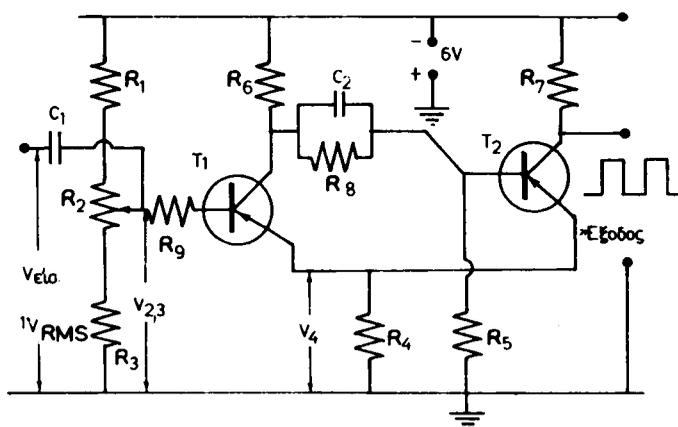
7) Συνδέσετε στην είσοδο γεννήτρια τετραγωνικών παλμών και στην έξοδο παλμογράφο. Για τις διάφορες θέσεις του μεταγωγού λάβετε και σχεδιάστε παλμογραφήματα εξόδου.

ΑΣΚΗΣΗ 43

ΚΥΚΛΩΜΑ ΣΚΑΝΔΑΛΙΣΜΟΥ ΣΜΙΤ (SCHMITT)

43.1 Γενικά.

Το κύκλωμα Σμιτ (Schmitt) του σχήματος 43.1α παρέχει στην έξοδό του ορθογώνιους παλμούς με σταθερό πλάτος, όταν στην είσοδό του εφαρμοσθεί διέγερση (σήμα) μεγαλύτερη από ένα ορισμένο πλάτος. Το κύκλωμα αυτό λειτουργεί περίπου όπως ο πολυδονητής μιας βολής.



Σχ. 43.1α.

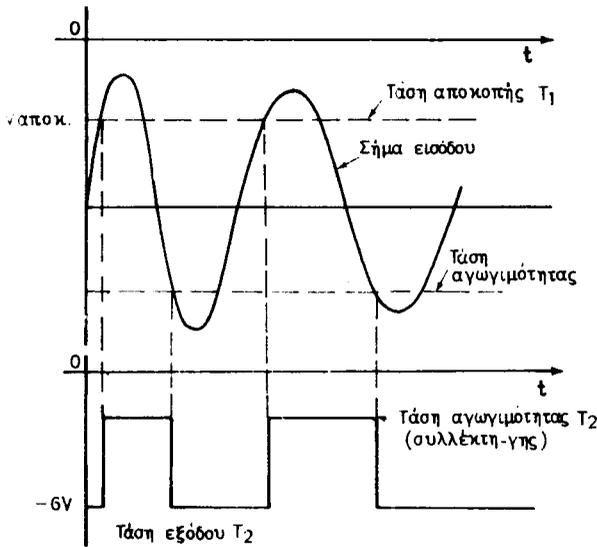
Κύκλωμα σκανδαλισμού Σμιτ.

Αν στην είσοδο του κυκλώματος δεν εφαρμοσώμε σήμα, άγει το τρανζίστορ T_2 , οπότε, εξαιτίας της αγωγιμότητάς του, δημιουργείται πτώση τάσεως (V_4) στην R_4 και γίνεται μη αγωγίμο το τρανζίστορ T_1 .

Αν στην είσοδο οδηγηθεί τάση διεγέρσεως μεγαλύτερη από την τάση αποκοπής του T_1 ($V_{\text{αποκ}} = V_4 - V_{2,3}$), το τρανζίστορ T_1 άγει και οδηγείται στον κόρο, όσο η τάση διεγέρσεως αυξάνεται.

Η ισχυρή αγωγιμότητα του T_1 προκαλεί πτώση τάσεως στην R_4 (V_4), αρκετή για να πολώσει στην αποκοπή το T_2 , οπότε η τάση του συλλέκτη του T_2 θα ανέβει (προς τα αρνητικά) στην τάση της πηγής -6 V (σχ. 43.1β).

Όταν η τάση διεγέρσεως τείνει προς τα θετικά δυναμικά, το τρανζίστορ T_1 γίνε-



Σχ. 43.1β.

ται λιγότερο αγωγή, οπότε η πώση τάσεως στην R_4 (V_4) ελαττώνεται και αυξάνεται (γίνεται αρνητικότερο) το δυναμικό του συλλέκτη του T_1 . Επομένως αυξάνεται (γίνεται αρνητικότερο) και το δυναμικό της βάσεως του T_2 .

Αν το δυναμικό της τάσεως διεγέρσεως γίνει ακόμη θετικότερο, θα γίνει τότε αγωγή το T_2 με ταυτόχρονη απότομη αποκοπή του T_1 . Η τάση εξόδου του T_2 θα γίνει φυσικά λιγότερη από -6 V .

Η επόμενη διέγερση - σκανδαλισμός του σήματος εισόδου θα προκαλέσει με τον ίδιο τρόπο νέο ορθογώνιο παλμό εξόδου κ.ο.κ. Οι παλμοί αυτοί εξόδου θα έχουν σταθερό πλάτος.

Με το ποτενσιόμετρο R_2 ρυθμίζουμε την τάση αγωγιμότητας του T_1 .

Το κύκλωμα Σμιτ χρησιμοποιείται π.χ. στους ηλεκτρονικούς υπολογιστές, για τη μετατροπή μη περιοδικών παλμών σε ορθογώνιους της ίδιας συχνότητας και με σταθερό πλάτος.

43.2 Εργασία.

1) Να συνδεσμοποιηθεί το κύκλωμα του σχήματος 43.1α. Προσοχή στην πολικότητα της τάσεως. Οδηγήστε ημιτονική τάση 1 βολτ, 1000 Hz από γεννήτρια Χ.Σ. στην είσοδο του κυκλώματος και την έξοδό του οδηγήσετέ την σε παλμογράφο. Παρατηρήσετε τα παλμογραφήματα εξόδου μεταβάλλοντας το R_2 . Σχεδιάσετέ τα και εξηγήσετέ τη μορφή τους.

2) Μεταβάλλετε την τάση εξόδου της γεννήτριας Χ.Σ. και υπολογίσετέ πόση είναι η τάση σκανδαλισμού του κυκλώματος. Την τάση εισόδου, να τη μετράτε με ηλεκτρονικό βολτόμετρο.

ΑΣΚΗΣΗ 44

ΓΡΑΜΜΕΣ ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ Υ.Σ. (LECHER)

44.1 Γενικά.

Η γραμμή μεταφοράς είναι ένα σύστημα δύο παραλλήλων αγωγών των οποίων οι ιδιότητες (αντίσταση, χωρητικότητα και αυτεπαγωγή), είναι κατά μήκος ομοιόμορφα μοιρασμένες.

Στην πράξη χρησιμοποιούνται οι ακόλουθοι δύο τύποι γραμμών μεταφοράς:

α) Η γραμμή παραλλήλων αγωγών. Αποτελείται από δύο όμοιους παράλληλους αγωγούς.

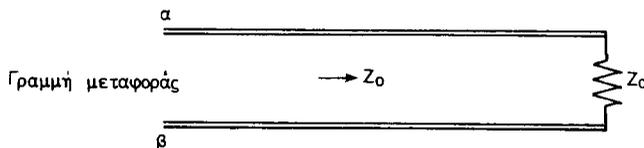
β) Η ομοαξονική γραμμή. Στην ομοαξονική γραμμή ο εσωτερικός αγωγός είναι τοποθετημένος ομοαξονικά προς τον εξωτερικό αγωγό. Ο εξωτερικός αγωγός αποτελεί ταυτόχρονα και θωράκιση.

Οι γραμμές μεταφοράς χρησιμοποιούνται για τη μεταφορά ενέργειας υψηλής συχνότητας (H.F). Πρέπει να μεταφέρουν την ενέργεια χωρίς παραμορφώσεις και με τη μικρότερη δυνατή απώλεια.

Για τη μεταφορά ενέργειας χωρίς παραμορφώσεις οι γραμμές δεν πρέπει να εμφανίζουν ανακλάσεις, γι' αυτό έχει μεγάλη σημασία η χαρακτηριστική σύνθετη αντίσταση που παρουσιάζουν.

Η απώλεια ενέργειας σε μια γραμμή μεταφοράς εκφράζεται από το **συντελεστή εξασθενήσεώς της**.

Χαρακτηριστική σύνθετη αντίσταση είναι εκείνη η αντίσταση (εναλλασσόμενου) που εμφανίζει η γραμμή σε κάθε σημείο της όταν δεν παρουσιάζονται ανακλάσεις ενέργειας.



Σχ. 44.1α.

Η γραμμή δεν εμφανίζει ανακλάσεις αν τερματίζεται στη χαρακτηριστική της Z_0 (σχ. 44.1α).

Η χαρακτηριστική σύνθετη αντίσταση μπορεί να μετρηθεί με τη διάταξη του σχήματος 44.1β. Στη διάταξη αυτή η μεταβλητή αντίσταση R ρυθμίζεται έως ότου

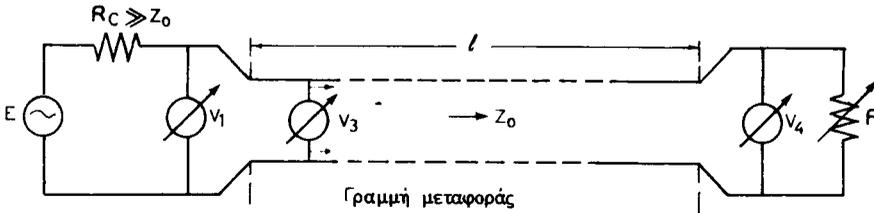
εμφανισθεί στο όργανο V_3 μία τάση χωρίς αυξομειώσεις. (Το όργανο V_3 κινείται κατά μήκος της γραμμής μεταφοράς).

Η τιμή της αντιστάσεως R για την οποία συμβαίνει αυτό, είναι ίση με τη χαρακτηριστική αντίσταση της γραμμής Z_0 ($Z_0 = R$).

Η χαρακτηριστική σύνθετη αντίσταση για κάθε γραμμή παρουσιάζει μια τιμή που εξαρτάται από τις διαστάσεις της γραμμής και από τις ηλεκτρικές μαγνητικές ιδιότητες του συστήματος αγωγών και δίνεται από τη σχέση:

$$Z_0 = 276 \log \frac{D}{r}$$

όπου D η απόσταση μεταξύ των αγωγών της γραμμής και r η ακτίνα των αγωγών της γραμμής.



Σχ. 44.1β.

Στην πράξη η τιμή της Z_0 κυμαίνεται από 50 ως 600 Ω .

Συντελεστής εξασθένσεως καλείται ο λόγος της τάσεως στο τέλος της γραμμής μεταφοράς V_2 με την τάση στην είσοδό της V_1 . Ο ανά μέτρο συντελεστής εξασθένσεως α (σε decibels) παρέχεται από τη σχέση:

$$\alpha = \frac{1}{l} 20 \log \frac{V_2}{V_1}$$

όπου l το μήκος της γραμμής μεταφοράς.

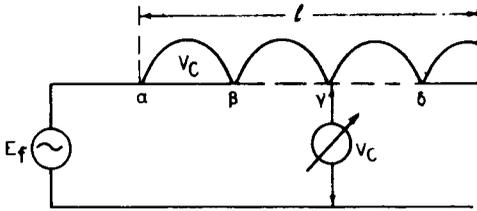
Ο συντελεστής εξασθένσεως γραμμής εξαρτάται από την ωμική αντίσταση των αγωγών, τις διηλεκτρικές απώλειες μεταξύ αυτών και τις απώλειες από ακτινοβολία. Οι απώλειες αυτές αυξάνουν με την αύξηση της συχνότητας.

Ταχύτητα διαδόσεως καλείται η ταχύτητα με την οποία διαδίδεται η ηλεκτρομαγνητική ενέργεια μέσω γραμμής μεταφοράς. Η ταχύτητα διαδόσεως καθορίζεται από τις ποσότητες μ και ϵ του μονωτικού υλικού το οποίο περιβάλλει τους αγωγούς.

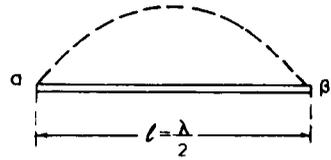
μ = μαγνητική διαπερατότητα, ϵ = διηλεκτρική σταθερά.

Η απόσταση μεταξύ δύο διαδοχικών ελαχίστων (ή μεγίστων) ενός στάσιμου κύματος στη γραμμή που δεν είναι τερματισμένη, είναι ίση με το μισό του μήκους κύματος της τάσεως μετρήσεως. Σε αυτό στηρίζεται η ακόλουθη μέτρηση (σχ. 44.1γ).

Χρησιμοποιείται όπως και προηγουμένως ένας ταλαντωτής E εναλλασσόμενης τάσεως V_C και το κινούμενο βολτόμετρο V_C . Το κινούμενο όργανο σε δύο



Σχ. 44.1γ.



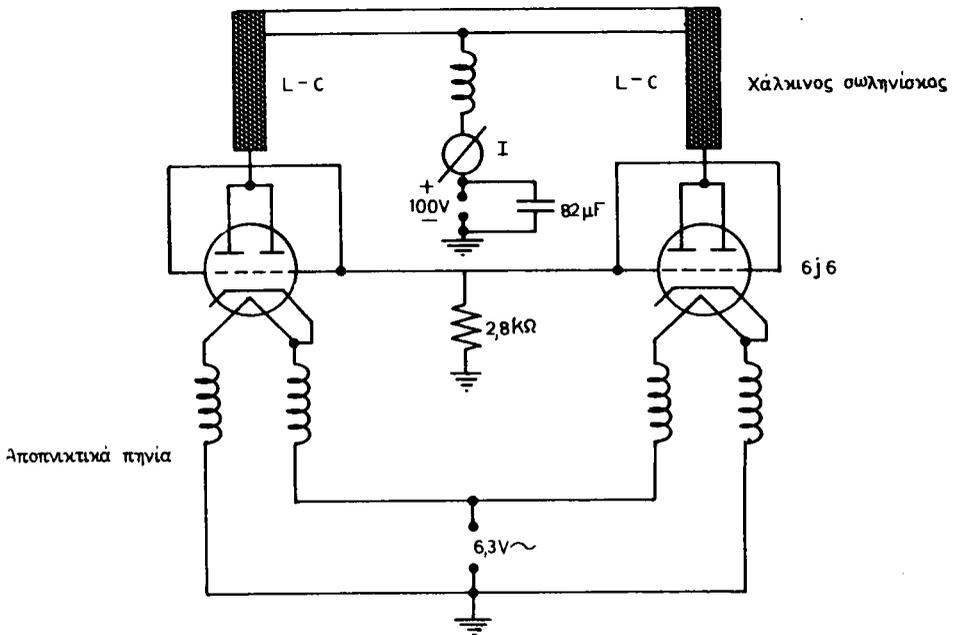
Σχ. 44.1δ.

διαδοχικές θέσεις θα έχει την ίδια ένδειξη και η ταχύτητα διαδόσεως U θα είναι (σχ. 44.1δ):

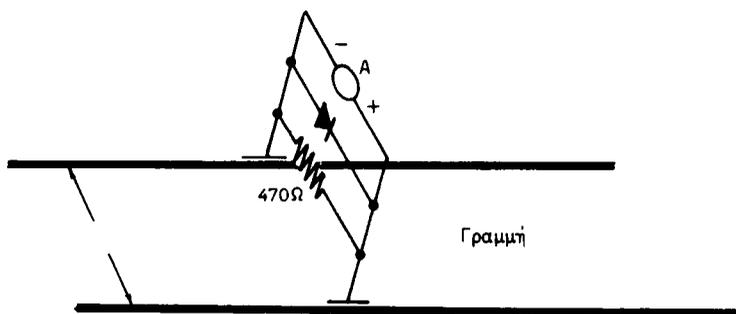
$$U = \frac{\lambda}{f} = \frac{2l}{f}$$

44.2 Εργασία.

1) Να συνδεσμοποιηθεί το κύκλωμα της ασκήσεως (σχ. 44.2α) για την παραγωγή ταλαντώσεων U.H.F (300 - 350 MHz). Να τροφοδοτηθεί με τα κατάλληλα δυναμικά, το ρεύμα I να μην υπερβεί τα 20 mA.



Σχ. 44.2α.



Σχ. 44.2β.

Να τροφοδοτηθεί (επαγωγικά) η γραμμή Lecher. [Γραμμή δύο παραλλήλων αγωγών ανοικτή στο τέρμα της (σχ. 44.2β)].

2) Όταν δεν έχουμε προσαρμογή κατά μήκος της γραμμής δημιουργούνται στάσιμα κύματα από την ανάκλαση ενέργειας. Να μετακινηθεί το όργανο κατά μήκος της γραμμής και να σημειωθούν οι αποστάσεις ανάμεσα σε διαδοχικές ελάχιστες ενδείξεις.

Το όργανο αποτελείται από ένα μικροαμπερόμετρο A συνεχούς (0 - 100 mA). Αυτό βρίσκεται σε χωρητική σύζευξη με τη γραμμή, γιατί πραγματοποιεί μέτρηση ρεύματος. Η δίοδος, που είναι παράλληλα, πραγματοποιεί στοιχειώδη φώραση οπότε το όργανο A μετρά τη μέση τιμή του ημιανορθωμένου ρεύματος.

3) Να υπολογισθεί το μήκος κύματος λ της κυμάνσεως που παράγει ο ταλαντωτής. Το μήκος κύματος θα είναι:

$$\lambda = 2 \times \text{απόσταση μεταξύ δύο ελαχίστων (m)}$$

Στη συνέχεια να υπολογισθεί η συχνότητα των ταλαντώσεως:

$$f = \frac{c}{\lambda} \text{ msec/m}$$

$c = 300\,000 \text{ km/s} = 10^8 \text{ m/sec} = \text{ταχύτητα του φωτός.}$

4) Τι αποτελέσματα μπορεί να δώσουν τα στάσιμα κύματα κατά μήκος ενός καλωδίου τροφοδοτήσεως της κεραίας δέκτη τηλεοράσεως;

5) Να υπολογισθεί η χαρακτηριστική αντίσταση της γραμμής από τη σχέση:

$$Z_0 = 276 \log \frac{D}{r}, \text{ όταν δίνεται: } D = 5,5 \text{ cm και } r = 0,2 \text{ cm.}$$

ΑΣΚΗΣΗ 45

ΠΟΜΠΟΣ ΣΥΝΤΗΡΟΥΜΕΝΩΝ ΚΥΜΑΤΩΝ

45.1 Γενικά.

Στο σχήμα 45.1 φαίνεται το κύκλωμα απλού μικρού πομπού συντηρουμένων κυμάτων. Στον πομπό αυτό χρησιμοποιείται μια μόνο λυχνία ισχύος, ως ταλαντώτρια με κρύσταλλο χαλαζίου. Ο κρύσταλλος εξασφαλίζει τη σταθερότητα της συχνότητας του πομπού.

Ο συντονισμός επιτυγχάνεται με διαδοχικές ρυθμίσεις των δύο μεταβλητών πυκνωτών (100 μF), με τις οποίες προσπαθούμε να επιτύχουμε τη μικρότερη δυνατή απόκλιση της βελόνας του μιλλιαμπερομέτρου I.

Σε σειρά με την κάθοδο της λυχνίας έχει συνδεθεί χειριστήριο. Όταν η λαβή του πιεστηρίου πιεσθεί, το κύκλωμα της λυχνίας αποκαθίσταται και έχουμε ταλαντώσεις, ενώ, όταν η λαβή απελευθερωθεί, το κύκλωμα διακόπτεται και οι ταλαντώσεις παύουν.

45.2 Εργασία.

1) Συνδέσετε το μιλλιαμπερόμετρο και το χειριστήριο στο κύκλωμα του πομπού και τροφοδοτήστε τον με την τάση του δικτύου. Πιέσετε το χειριστήριο. Το κύκλωμα έχει αποκατασταθεί και το μιλλιαμπερόμετρο I δείχνει κυκλοφορία ρεύματος (ανόδου και προστατευτικού πλέγματος). Πιέζοντας συνέχεια τη λαβή του χειριστηρίου, στρέψετε διαδοχικά και κατ' επανάληψη τους δύο μεταβλητούς πυκνωτές (100 μF), ώστε η απόκλιση της βελόνας του μιλλιαμπερομέτρου I να γίνει η μικρότερη δυνατή. Τότε ο πομπός έχει συντονισθεί. Σημειώστε την ένδειξη του μιλλιαμπερομέτρου. Σημειώστε τη συχνότητα του κρυστάλλου, η οποία είναι και συχνότητα ταλαντώσεως του πομπού.

2) Με διάταξη συμβολής και βαθμονομημένη γεννήτρια υψηλών συχνοτήτων μετρήσετε και σημειώστε τη συχνότητα των παραγομένων ταλαντώσεων.

3) Συνδέσετε επαγωγικά την έξοδο του πομπού με τα κατακόρυφα πλακίδια παλμογράφου, του οποίου έχετε ρυθμίσει τη συχνότητα σαρώσεως στη μεγαλύτερη περιοχή (15 000 - 200 000 kHz). Με αυτό τον τρόπο πρέπει να εμφανισθεί στην οθόνη του παλμογράφου ένας αριθμός κυμάτων του σήματος εξόδου του πομπού. Μπορείτε να ρυθμίσετε το συντονισμό του πομπού μεταβάλλοντας τους δύο μεταβλητούς πυκνωτές και να παρατηρήσετε το πλάτος του σήματος εξόδου στην οθόνη του παλμογράφου.

ΑΣΚΗΣΗ 46

ΔΙΟΔΟΣ VARACTOR Ή VARICAP (Δίοδος μεταβλητής χωρητικότητας)

46.1 Γενικά.

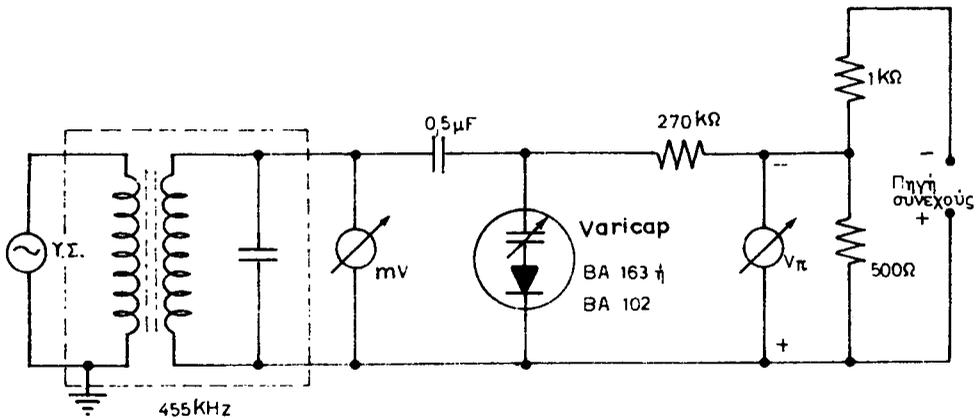
Η δίοδος Varactor ή Varicap είναι δίοδος επαφής. Η λειτουργία της στηρίζεται στη μεταβολή της ζώνης φραγμού (χωρητικότητα επαφής) όταν μεταβάλλεται η τάση πολώσεως της διόδου.

Η χωρητικότητα επαφής έχει μέγιστη τιμή για την ελάχιστη τιμή της τάσεως πολώσεως της διόδου στην ανάστροφη φορά και ελάχιστη για τη μέγιστη τιμή της τάσεως πολώσεως, πάλι στην ανάστροφη φορά (αύξηση της αποστάσεως των οπλισμών του ισοδύναμου πυκνωτή).

Η δίοδος Varactor έχει ευρεία εφαρμογή στους συντονισμούς κυμαινομένων κυκλωμάτων και στη διαμόρφωση. Στην πρώτη περίπτωση συναντάται στις βαθμίδες εισόδου της τηλεοράσεως (Tuner) και στα ραδιόφωνα αυτοκινήτων Α.Μ. και F.Μ. με πλήκτρα. Στη δεύτερη περίπτωση συναντάται στους διαμορφωτές F.Μ.

46.2 Εργασία.

1) Να συνδεσμοποιηθεί το κύκλωμα του σχήματος 46.2, με το οποίο θα γίνει η διαπίστωση μεταβολής της χωρητικότητας της διόδου Varicap όταν μεταβάλλεται η τάση πολώσεως.



Σχ. 46.2.

2) Ρυθμίσετε την τάση τροφοδοτήσεως (συνεχής τάση) στο μηδέν και με τη βοήθεια μιας γεννήτριας Υ.Σ. σημειώσετε τή συχνότητα συντονισμού του κυμαίνόμενου κυκλώματος (μετασχηματιστής Μ.Σ.). Για τη συχνότητα αυτή το μιλιβολτόμετρο στην κλίμακα των 300 μιλιβόλτ θα δείξει μέγιστη απόκλιση.

3) Μεταβάλλετε την τάση τροφοδοτήσεως ανά μισό βολτ και σημειώσετε πάλι τις νέες συχνότητες συντονισμού του κυκλώματος. Να συμπληρωθεί η στήλη συχνοτήτων του Πίνακα 46.2.1.

ΠΙΝΑΚΑΣ 46.2.1.

| V_{π} (βολτ) | f_0 (kHz) |
|------------------|-------------|
| 0 | |
| - 0,5 | |
| - 1 | |
| - 1,5 | |
| - 2 | |
| - 2,5 | |
| - 3 | |
| - 3,5 | |
| - 4 | |
| - 4,5 | |
| - 5 | |

4) Σε σχετικό διάγραμμα να χαραχθεί η καμπύλη μεταβολών της συχνότητας, όταν μεταβάλλεται η τάση της πηγής τροφοδοτήσεως (V_{π}/f_0).

ΑΣΚΗΣΗ 47

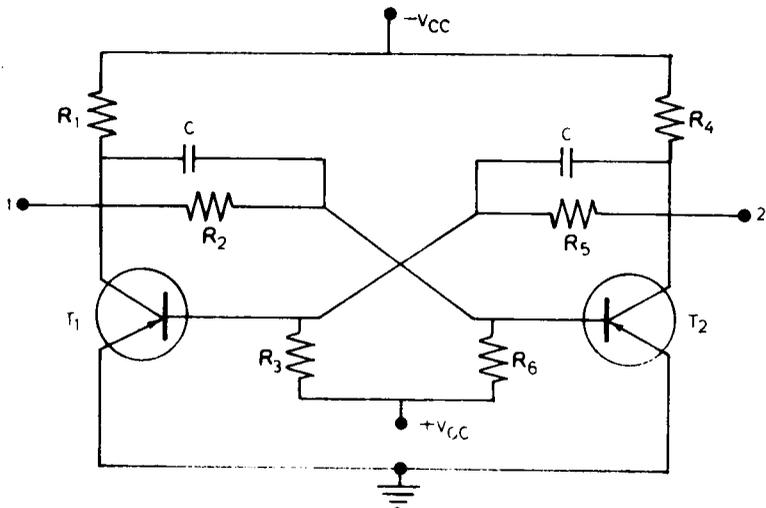
ΠΟΛΥΔΟΝΗΤΗΣ ΔΙΠΛΗΣ ΣΤΑΘΕΡΗΣ ΚΑΤΑΣΤΑΣΕΩΣ (FLIP - FLOP)

47.1 Γενικά.

Ο πολυδονητής διπλής σταθερής καταστάσεως ή, όπως συνηθίζεται περισσότερο να λέγεται, πολυδονητής Flip - Flop, είναι ένα συμμετρικό κύκλωμα με δύο βαθμίδες (με λυχνίες ή τρανζίστορ), από τις οποίες η μία παράμενει αγώγιμη και η άλλη μη αγώγιμη. Η κατάσταση στην οποία βρίσκεται το κύκλωμα, δηλαδή με τη μια βαθμίδα αγώγιμη και την άλλη μη αγώγιμη, ανατρέπεται και έχουμε αλλαγή στην αγωγιμότητα ή μη των βαθμίδων μόνο με εξωτερικό παλμό διεγέρσεως. Από τη λειτουργία αυτή του κυκλώματος βγαίνει και το όνομα του **πολυδονητή διπλής σταθερής καταστάσεως** (Bistable Multivibrator).

Επίσης ένα τέτοιο κύκλωμα συναντάται με τις ονομασίες:

- α) Κύκλωμα σκανδάλης (Trigger Circuit).
 - β) Κύκλωμα Eggle - Jordan (από τα ονόματα των δύο ερευνητών που πρώτοι τό μελέτησαν).
 - γ) Κύκλωμα της κλίμακας των δύο (Scale of two Circuit), επειδή υποδιπλασιάζει στην έξοδό του τη συχνότητα των παλμών εισόδου.
 - δ) Διαδικό κύκλωμα (Binary Circuit).
- Στο σχήμα 47.1 φαίνεται ένα κύκλωμα πολυδονητή Flip - Flop. (Με το όνομα



Σχ. 47.1.

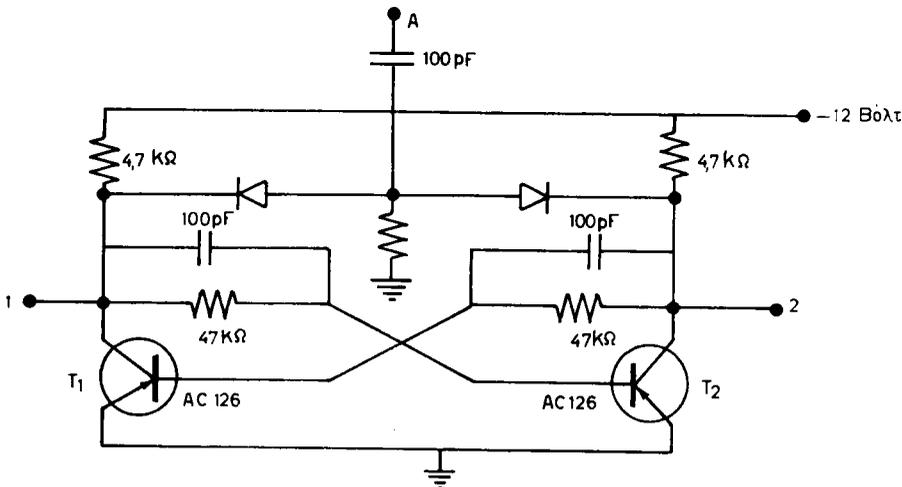
αυτό θα το αναφέρομε στη συνέχεια ή απλά Flip - Flop, γιατί αυτό έχει έπικρατήσει περισσότερο).

Το κύκλωμα αυτό έχει δύο ενισχυτικές βαθμίδες με τρανζίστορ που έχουν γειωμένο τον εκπομπό. Η έξοδος της μιας βαθμίδας είναι συνδεδεμένη με την είσοδο της άλλης. Όταν η πρώτη βαθμίδα T_1 είναι αγώγιμη, η άλλη, η T_2 , βρίσκεται σε αποκοπή. Σε αυτή την κατάσταση η έξοδος 1 του κυκλώματος είναι κοντά στο δυναμικό γειώσεως ενώ η έξοδος 2 είναι στο $-V_{CC}$. Η δεύτερη κατάσταση στην οποία μπορεί να βρεθεί το κύκλωμα είναι να άγει η βαθμίδα T_2 και η βαθμίδα T_1 να είναι σε αποκοπή. Για τη δεύτερη αυτή περίπτωση στις εξόδους 1 και 2 έχουμε τα αντίθετα αποτελέσματα.

Το Flip - Flop χρησιμοποιείται πολύ στα ψηφιακά συστήματα, γιατί με τις δύο σταθερές καταστάσεις που παρουσιάζει εξυπηρετεί στο δυαδικό αριθμητικό σύστημα.

47.2 Εργασία.

1) Να συνδεσμοποιηθεί το κύκλωμα του σχήματος 47.2α. Ελέγξτε τη λειτουργία του κυκλώματος με γείωση των βάσεων των τρανζίστορ T_1 και T_2 . Με αυτό τον τρόπο αλλάζετε τις συνθήκες πολώσεως και προκαλείτε αλλαγή της σταθερής καταστάσεως του κυκλώματος.



Σχ. 47.2α.

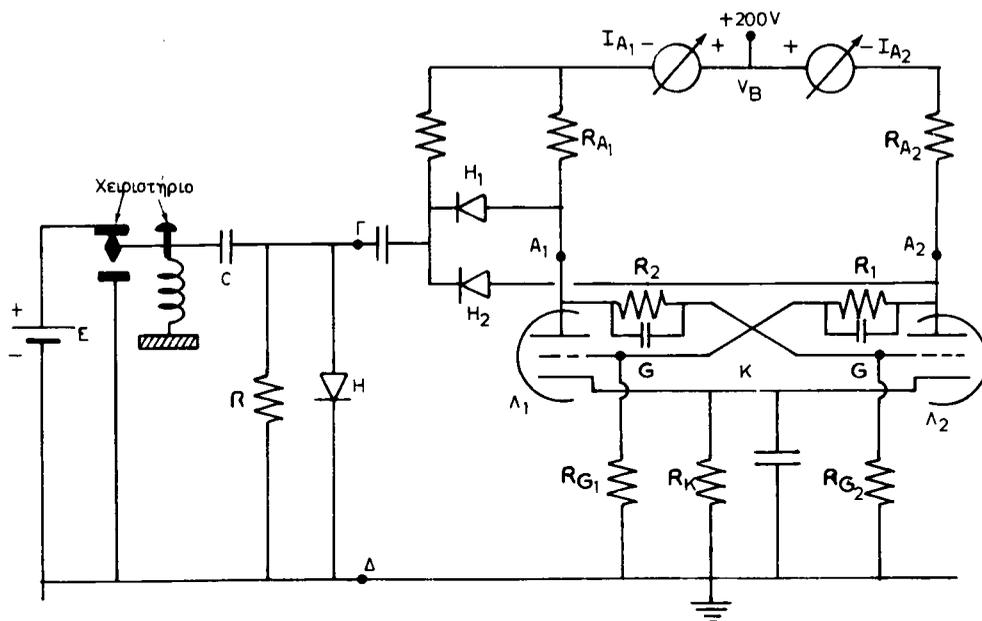
2) Να μετρήσετε τα συνεχή δυναμικά στα διάφορα σημεία του κυκλώματος όταν αυτό βρίσκεται σε μια σταθερή κατάσταση.

3) Να οδηγήσετε τετραγωνικό σήμα 1000 Hz στην είσοδο A και να παρατηρήσετε τις κυματομορφές στις εξόδους.

4) Να ελαττώσετε το σήμα εισόδου και να προσδιορίσετε το μικρότερο πλάτος με το οποίο μπορείτε να έχετε αλλαγή καταστάσεως στη λειτουργία των βαθμίδων.

5) Να συνδεσμοποιηθεί το κύκλωμα του σχήματος 47.2β και να γίνουν όλες οι μετρήσεις που αναφέρονται στις προηγούμενες ερωτήσεις.

Το κύκλωμα αυτό, με λυχνίες, παρέχει τη δυνατότητα να γίνουν πιο εύκολα όλες οι μετρήσεις και να παρατηρηθούν καλύτερα τα φαινόμενα. Επίσης το χειριστήριο διευκολύνει τη ρύθμιση του πλάτους και της συχνότητας των παλμών διεγέρσεως.



Σχ. 47.2β.

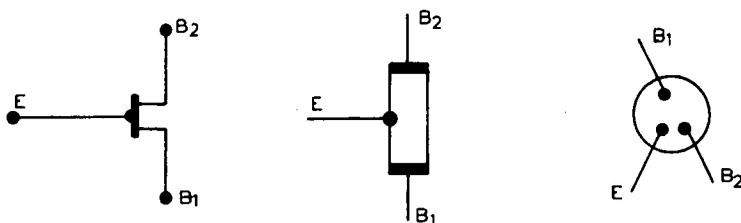
ΑΣΚΗΣΗ 48

ΤΡΑΝΖΙΣΤΟΡ UNIJUNCTION (Δίοδος επαφής με διπλή βάση)

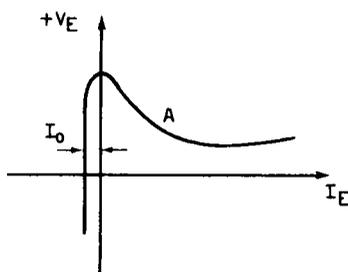
48.1 Γενικά.

Το τρανζίστορ Unijunction που αναφέρεται και ως δίοδος επαφής με διπλή βάση είναι μια κατασκευή από δύο ημιαγωγούς επαφής p - η και έχει τρεις ακροδέκτες (σχ. 48.1α).

Η χαρακτηριστική ρεύματος - τάσεως έχει μια περιοχή αρνητικής αντιστάσεως και η αρχή λειτουργίας του βασίζεται στις μεταβολές αυτής της αντιστάσεως (σχ. 48.1β).



Σχ. 48.1α.



Σχ. 48.1β.

Στη χαρακτηριστική αυτή παρατηρούμε ότι ένα πολύ μικρό και πρακτικά σταθερό αντίθετο ρεύμα I_0 κυκλοφορεί στην ένωση p - η. Μιά σημαντική αύξηση της τάσεως στην ένωση p - η προκαλεί αγώγιμη κατάσταση σε αυτή την περιοχή. Οι φορείς διαχύσεως στον ημιαγωγό μειώνουν την αντίσταση διασποράς και η πτώση

τάσεως στην ένωση ελαττώνεται και φθάνομε· έτσι σε ακόμη μεγαλύτερο ύψος παλμού σκανδαλισμού στην ένωση p - η. Αυτή η σταδιακά επιταχυνόμενη εξέλιξη φαίνεται στο τμήμα A της χαρακτηριστικής ρεύματος - τάσεως, που είναι περιοχή αρνητικής αντιστάσεως.

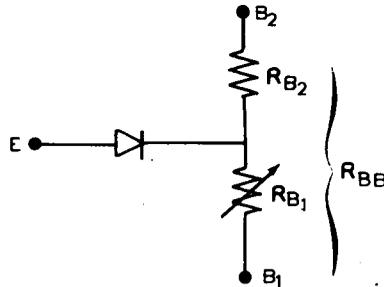
Η αντίσταση διασποράς, που είναι η αντίσταση μεταξύ των βάσεων B_1 και B_2 , συμβολίζεται ως R_{BB} και μπορούμε να τη μετρήσουμε με ένα Ωμόμετρο.

Δίοδοι με διπλή βάση (Uhiunction) χρησιμοποιούνται σε κυκλώματα όπως: Πολυδονητές, μετρητές παλμών, θυρίστορ για την εκκίνηση των κυκλωμάτων τους, ανορθώσεως και αυτοματισμού, παλμοδοτικά για την παραγωγή πριονωτών τάσεων κλπ.

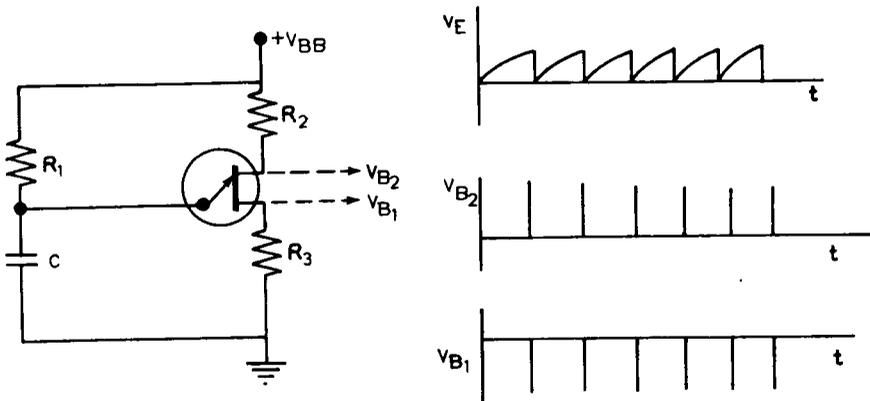
Παρουσιάζουν τα εξής χαρακτηριστικά:

- Μεγάλη αντίσταση εισόδου.
- Μικρή αντίσταση εξόδου.
- Μπορούν να δώσουν παλμούς σε μεγάλη ποικιλία συχνοτήτων.
- Μειονεκτούν στο ότι η ταχύτητα εναλλαγής είναι μικρή.
- Καταναλώνουν μεγάλη ενέργεια.

Τα δύο τελευταία χαρακτηριστικά (μειονεκτήματα) περιορίζουν και τη χρησιμοποίησή τους. Το συνηθισμένο λάθος στη συνδεσμολογία τρανζίστορ Uhiunction σε κύκλωμα γίνεται στην πολικότητα. **Πρέπει να θυμόμαστε ότι ο ακροδέκτης B_2 συνδέεται πάντοτε στο +.**



Σχ. 48.1γ.

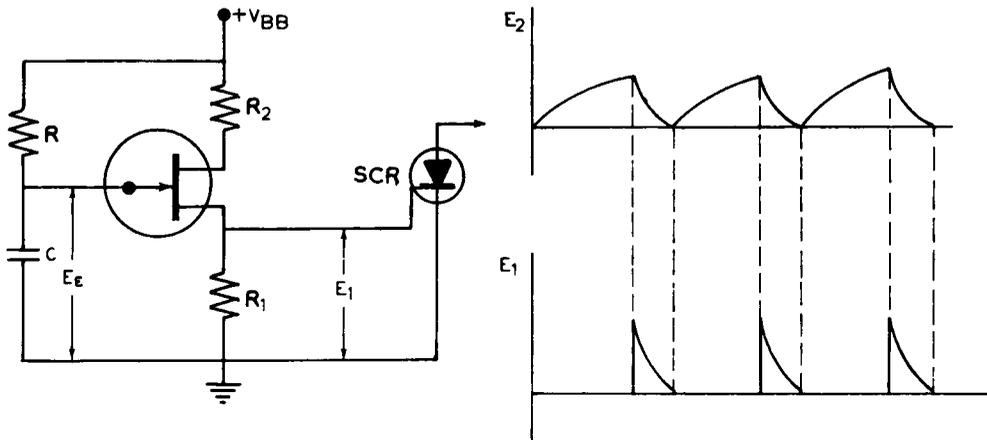


Σχ. 48.1δ.

Στο σχήμα 48.1γ φαίνεται το ισοδύναμο κύκλωμα ενός τρανζίστορ Unionction. Η R_1 είναι μεταβλητή. Όταν δεν άγει η Unionction, η R_1 έχει μεγάλη ωμική τιμή (2 - 4 k Ω) και όταν άγει μικραίνει πολύ και παίρνει τιμές κάτω από 50 Ω .

Στο σχήμα 48.1δ φαίνεται μια συνδεσμολογία Unionction και η μορφή των τάσεων στους ακροδέκτες της.

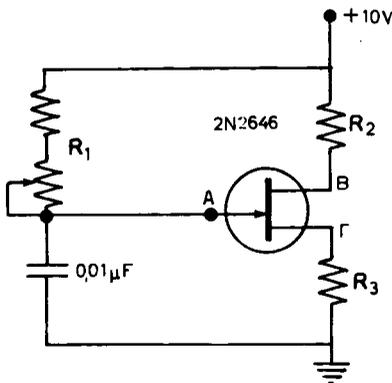
Στο σχήμα 48.1ε φαίνεται ένα κύκλωμα με Unionction που τροφοδοτεί θυρίστορ (κύκλωμα σκανδάλης) και οι μορφές των τάσεων σε αυτό.



Σχ. 48.1ε.

48.2 Εργασία.

1) Να συνδεσμολογηθεί το κύκλωμα του σχήματος 48.2. Ρυθμίσετε την R_1 περίπου στη μέση και παρατηρήσετε στον παλμογράφο τις μορφές των κυμάτων στο σημείο A. Ρυθμίσετε τον παλμογράφο για δύο κύκλους των κυμάτων που παρατηρούνται.



Σχ. 48.2.

2) Προσδιορίσετε την περιοχή των συχνοτήτων σκανδαλισμού του κυκλώματος, όταν μεταβάλλεται η R_1 . Γι' αυτό χρησιμοποιήσετε βαθμονομημένο παλμογράφο ή γεννήτρια σημάτων Χ.Σ. για σύγκριση.

3) Ποιο στοιχείο του κυκλώματος αποφασίζει την τιμή της χαμηλότερης συχνότητας;

4) Ποια είναι η μεγαλύτερη συχνότητα που μπορεί να δώσει το κύκλωμα;

5) Με την R_1 στη θέση που το κύκλωμα δίνει την υψηλότερη συχνότητα, παρατηρήσετε και σχεδιάσετε την κυματομορφή στο σημείο Β.

6) Το ίδιο να γίνει και για το σημείο Γ.

7) Σχεδιάστε τις κυματομορφές που παρατηρήσατε στα σημεία Α, Β και Γ. Η σχεδίαση να γίνει όπως στο παράδειγμα του σχήματος 48.1δ για να φαίνεται η σχέση μεταξύ τους και με το χρόνο.

8) Αντικαταστήσετε τον πυκνωτή C_1 στο κύκλωμα, με ένα μικρότερο, π.χ. 0,001 μF . Παρατηρήσετε τις κυματομορφές μετά την αντικατάσταση του C_1 και σχολιάσετε τις διαφορές από τις προηγούμενες.

ΑΣΚΗΣΗ 49

ΤΡΑΝΖΙΣΤΟΡ ΕΠΙΔΡΑΣΕΩΣ ΠΕΔΙΟΥ (FET)

49.1 Γενικά.

Όπως στην πέντοδο λυχνία (άσκηση 12) ελέγχουμε τη ροή των ηλεκτρονίων από την κάθοδο στην άνοδο με την επίδραση ηλεκτρικού πεδίου (διάφορα δυναμικά στα ηλεκτρόδια της λυχνίας), έτσι και στα τρανζίστορ FET ρυθμίζουμε τη ροή των φορέων πλειονότητας μεταξύ των ηλεκτροδίων του με την επίδραση ηλεκτρικού πεδίου. Το ρεύμα στα FET δημιουργείται από τους φορείς πλειονότητας, γι' αυτό και τα τρανζίστορ αυτού του είδους αναφέρονται σαν μονοπολικά τρανζίστορ (Unipolar) σε αντίθεση με τα διπολικά (Bipolar), στα οποία το ρεύμα δημιουργείται από φορείς πλειονότητας και μειονότητας.

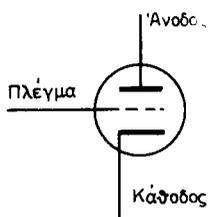
Τα ηλεκτρόδια ενός τρανζίστορ FET είναι:

α) Πηγή, σύμβολο S από το Source. Παίζει το ρόλο καθόδου μιας λυχνίας κενού.

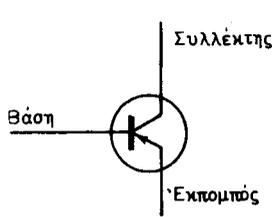
β) Άνοδος, σύμβολο D από το Drain. Αντιστοιχεί στην άνοδο μιας λυχνίας.

γ) Πύλη, σύμβολο G από το Gate. Αντιστοιχεί στο οδηγό πλέγμα των λυχνιών.

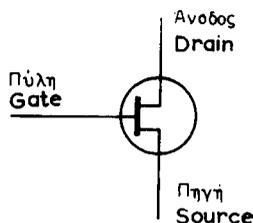
Στα σχήματα 49.1α, 49.1β και 49.1γ φαίνονται συγκριτικοί συμβολισμοί λυχνίας κενού, απλού τρανζίστορ και τρανζίστορ FET.



Σχ. 49.1α.



Σχ. 49.1β.



Σχ. 49.1γ.

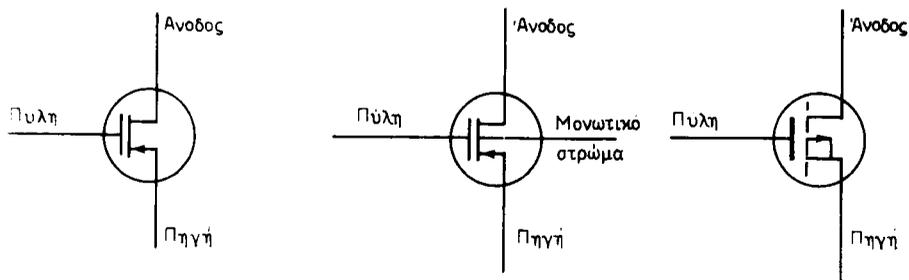
Οι έρευνες για την κατασκευή των FET ξεκίνησαν από πολύ παλιά και έγιναν πριν από εκείνες για τα κοινά τρανζίστορ. Ολοκληρώθηκαν όμως αργότερα. Η προσπάθεια προς την κατεύθυνση αυτή έγινε με βασικό σκοπό την κατασκευή τρανζίστορ με μεγάλη αντίσταση εισόδου, όπως εκείνη που παρουσιάζεται στις πέντοδους λυχνίες. Υπενθυμίζεται ότι τα κοινά τρανζίστορ παρουσιάζουν μικρή αντίσταση εισόδου. Πράγματι ένα FET παρουσιάζει τα ίδια χαρακτηριστικά με μια πέντοδο λυχνία.

Συναντώνται δύο είδη τρανζίστορ επιδράσεως πεδίου:

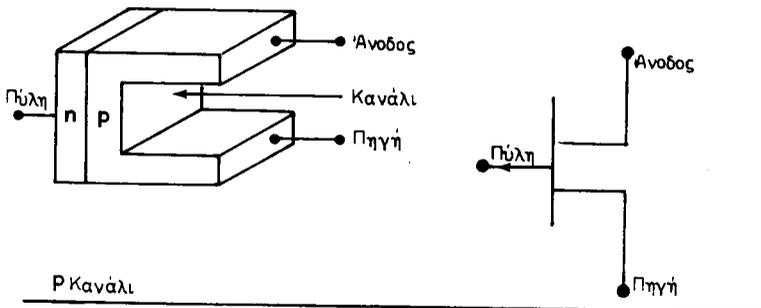
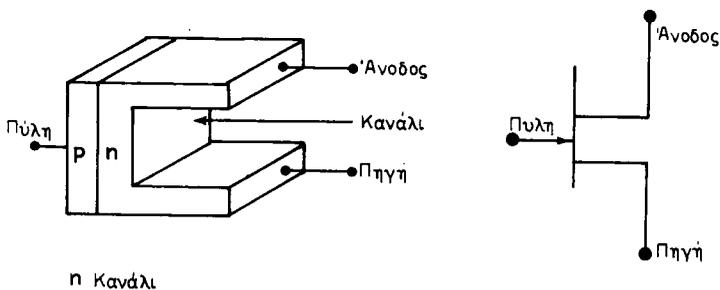
α) Τα Junction FET (JFET) ή απλά FET, στα οποία η πύλη ενεργεί μέσα από μια ένωση p - n.

β) Τα FET με πύλη που ενεργεί μέσα από μια μονωτική στρώση (Insulated Gate). Αυτά είναι τα IGFET που ονομάζονται επίσης τρανζίστορ μετάλλου - οξειδίου ημιαγωγού. (Metal Oxide Semiconductor - Transistor) και συντετμημένα με τα αρχικά τους MOS, MOST ή πιο συνηθισμένα MOSFET.

Ο συμβολισμός των MOSFET φαίνεται στο σχήμα 49.1δ.



Σχ. 49.1δ.

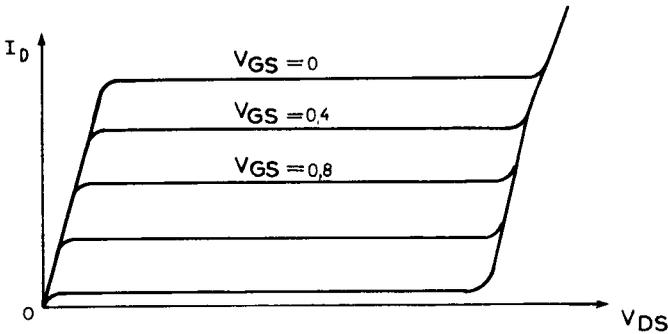


Σχ. 49.1ε.

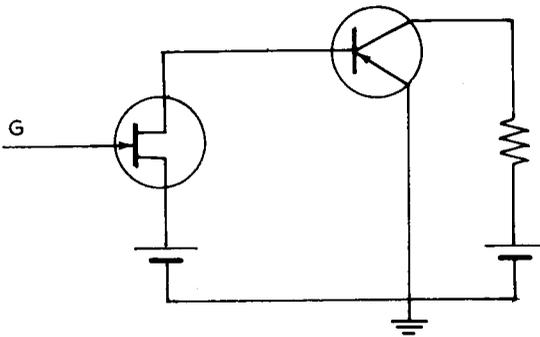
Και τα τρία είδη είναι p καναλιού. Με αντίστροφα βέλη θα είναι η καναλιού. Όταν ο ακροδέκτης του μονωτικού στρώματος συνδέεται εξωτερικά έχουμε τέτρωδο. Στα περισσότερα MOSFET υπάρχει εσωτερική σύνδεση από την κατασκευή του τρανζίστορ και συνδέονται ως τρίοδοι.

Γενικά στα FET έχουμε τους τύπους p καναλιού και η καναλιού (σχ. 49.1ε). Η λειτουργία των κυκλωμάτων με τους δύο τύπους και τα αποτελέσματα είναι τα ίδια, η διαφορά τους είναι στην πολικότητα των τάσεων που εφαρμόζουμε και επομένως στα αντίθετα ρεύματα.

Τα MOSFET κατασκευάζονται ευκολότερα στον τύπο p καναλιού. Ο τύπος αυτός έχει περισσότερες εφαρμογές. Η απολαβή σε ένα MOSFET με απομονωμένη πύλη μπορεί να είναι μεταξύ 100 - 600. Η πόλωση εξασφαλίζεται με μια αντίσταση στο κύκλωμα του ηλεκτροδίου της πηγής (Source), όπως στην κάθοδο των λυχνιών. Οι χαρακτηριστικές καμπύλες των μεταβολών του ρεύματος I_D όταν μεταβάλλεται η τάση της ανόδου V_{DS} , με την τάση V_{GS} σταθερή, είναι όμοιες με τις χαρακτηριστικές ανόδου των πεντόδων λυχνιών (σχ. 49.1στ).



Σχ. 49.1στ.



Σχ. 49.1ζ.

Τα χαρακτηριστικά των FET είναι:

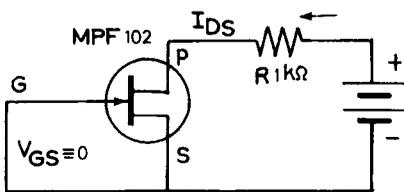
- Μεγάλη αντίσταση εισόδου.
- Μικρότερος θόρυβος από τα κοινά (διπολικά) τρανζίστορ.

– Σχετικά μικρό γινόμενο απολαβής και εύρους ζώνης.

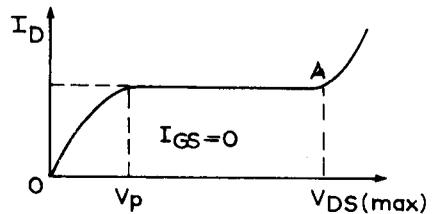
Χρησιμοποιούνται σε βιομηχανικά ηλεκτρονικά, σε ψηφιακές διατάξεις κλπ. Επίσης συναντώνται σε βολτόμετρα καλής ποιότητας και σε συσκευές μετρήσεως ηλεκτροστατικών πεδίων. Συνδυασμός FET με κοινό τρανζίστορ δίνει κύκλωμα με μεγάλη αντίσταση εισόδου που δεν δέχεται επιδράσεις στο ρεύμα, όταν μεταβάλλεται η θερμοκρασία (σχ. 49.1ζ).

49.2 Εργασία.

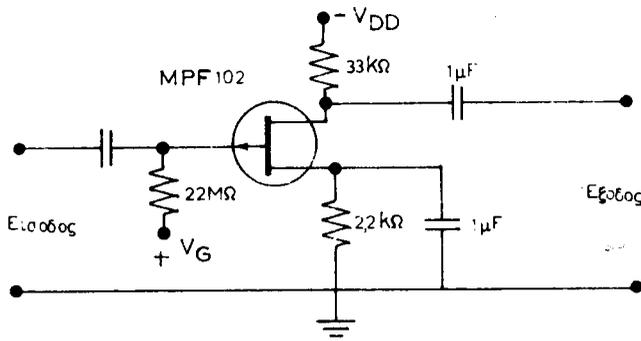
1) Να συνδεσμολογηθεί το κύκλωμα του σχήματος 49.2α. Το I_{GS} σε αυτό το κύκλωμα είναι μηδέν. Ρυθμίσετε την τάση στα άκρα της αντιστάσεως $1\text{ k}\Omega$, ώστε από μηδέν να αυξάνεται μέχρι που το I_D θα αρχίσει να σταθεροποιείται. Το σημείο για το οποίο γίνεται αυτό μας δίνει το V_p (σχ. 49.2β, γόνατο της καμπύλης).



Σχ. 49.2α.



Σχ. 49.2β.



Σχ. 49.2γ.

2) Για τρεις τιμές V_{DS} μεγαλύτερες από την V_p λάβετε μετρήσεις των V_1 (στα άκρα της αντιστάσεως $1\text{ k}\Omega$ και του I_{DS}). Οι ίδιες μετρήσεις να γίνουν και για τρεις τιμές της V_{DS} μικρότερες της V_p . Τα αποτελέσματα να γραφούν σε σχετικό πίνακα.

3) Με αύξηση της V_{DS} μπορείτε να φθάσετε στο σημείο που τελειώνει ο κόρος (σημείο A στην καμπύλη, σχ. 49.2β). Αυτό είναι το $V_{DS(max)}$ που δεν πρέπει να το ξεπερνάμε.

4) Να συνδεσμολογηθεί το κύκλωμα του σχήματος 49.2γ.

5) Ελέγξτε όλα τα δυναμικά του κυκλώματος. Προσοχή όταν κάνετε μετρήσεις στην πύλη. Το στρώμα μονώσεως στην πύλη είναι πάρα πολύ λεπτό και καταστρέφεται εύκολα από υπερβολική τάση. Ρυθμίστε ώστε η συνεχής τάση στην άνοδο (Drain) να είναι -6 βολτ.

6) Με το κύκλωμα σταθεροποιημένο εφαρμόσετε σήμα στην είσοδο και μετρήσετε την τάση στην έξοδο. Υπολογίστε την απολαβή του κυκλώματος.

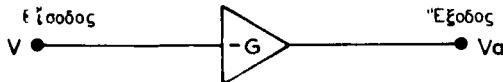
ΑΣΚΗΣΗ 50

ΤΕΛΕΣΤΙΚΟΣ ΕΝΙΣΧΥΤΗΣ (OPERATIONAL AMPLIFIER)

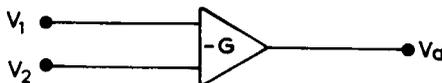
50.1 Γενικά.

Ο τελεστικός ενισχυτής είναι ένας ενισχυτής με άμεση σύζευξη, ο οποίος λόγω θετικής ανασυζεύξεως που εφαρμόζεται στο κύκλωμά του κάνει μεγάλη απολαβή.

Στο σχήμα 50.1α φαίνεται το σύμβολο ενός τέτοιου ενισχυτή, όπου V είναι η τάση εισόδου, V_a είναι η τάση εξόδου και G είναι η απολαβή (από το Gain). Το σημείο $-$ δηλώνει το αντίθετο σημείο που έχει η τάση στην έξοδο σε σχέση με την τάση στην είσοδο.



Σχ. 50.1α.



Σχ. 50.1β.

Όταν έχουμε τελεστικό ενισχυτή με δύο εισόδους, αυτός ενισχύει τη διαφορά των τάσεων που εφαρμόζονται στις εισόδους του (σχ. 50.1β).

Η τάση V_a στην έξοδο για το κύκλωμα αυτό είναι: $V_a = -G (V_1 - V_2)$.

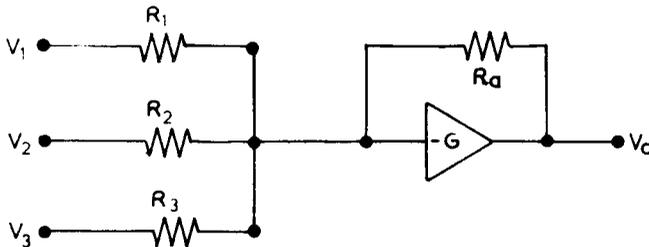
Τα χαρακτηριστικά των τελεστικών ενισχυτών είναι:

- Πάρα πολύ μεγάλη απολαβή (φθάνει το 10^8).
- Πολύ μεγάλη αντίσταση εισόδου (πρακτικά θεωρείται άπειρη).
- Πολύ μικρή αντίσταση εξόδου (πρακτικά θεωρείται μηδέν).
- Πολύ μικρό ρεύμα εισόδου (πρακτικά θεωρείται μηδέν).
- Μεγάλο εύρος συχνοτήτων που ενισχύονται ομοιόμορφα.

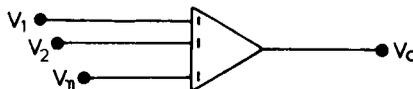
Ο τελεστικός ενισχυτής αποτελεί το βασικότερο κύκλωμα των αναλογικών υπολογιστών. Με κατάλληλες συνδεσμολογίες τελεστικών ενισχυτών μπορούμε να

κάνομε τις τέσσερεις βασικές αριθμητικές πράξεις ή ακόμη εξαγωγή τετραγωνικής ρίζας, παραγωγή συναρτήσεων, διαφόριση, ολοκλήρωση κλπ.

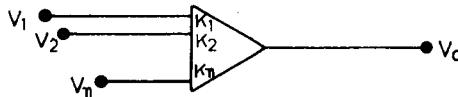
Π.χ. το κύκλωμα του σχήματος 50.1γ θα μας δώσει στην έξοδό του μια τάση ίση με το άθροισμα των τάσεων εισόδου.



Σχ. 50.1γ.



Σχ. 50.1δ.



Σχ. 50.1ε.

Με αύξηση των αντιστάσεων στο κύκλωμα εισόδου μπορούμε να κάνομε άθροιση περισσότερων τάσεων. Το συμβολικό διάγραμμα για ένα αθροιστή φαίνεται στο σχήμα 50.1δ.

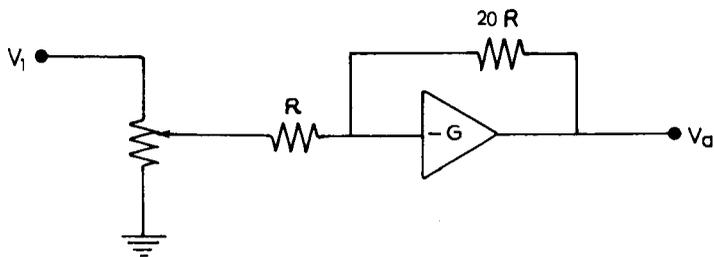
Όταν ένα τέτοιο κύκλωμα κάνει και ενίσχυση, ο συμβολισμός του είναι όπως στο σχήμα 50.1ε όπου το K είναι ο συντελεστής ενισχύσεως.

Στην πρόσθεση βάλαμε διάφορες αντιστάσεις στην είσοδο, που οι τιμές τους καθορίζουν τις τιμές των τάσεων. Στο εμπόριο όμως δεν υπάρχουν όλες οι τιμές των αντιστάσεων που θέλομε κάθε φορά. Γι' αυτό χρησιμοποιούμε ποτενσιόμετρα με τα οποία μπορούμε να πάρομε ακριβώς όποια τιμή αντιστάσεως χρειαζόμαστε.

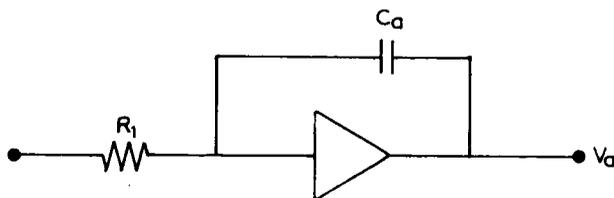
Όταν χρησιμοποιούμε τελεστικό ενισχυτή με διάταξη ποτενσιόμετρου για να κάνομε και ενίσχυση, το συμβολικό του διάγραμμα γίνεται όπως του σχήματος 50.1στ.

Από το κύκλωμα αυτό έχομε $V_a = -20 V_1 = -K V_1$, όπου $1 < K \leq 20$, δηλαδή το κύκλωμα αυτό κάνει πολλαπλασιασμό.

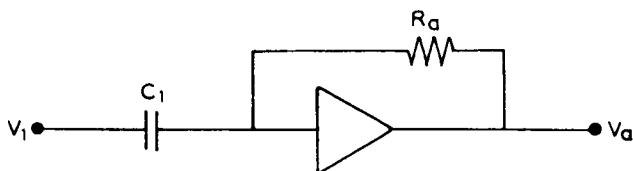
Στο σχήμα 50.1ζ έχομε τελεστικό ενισχυτή με ανασύζευξη μέσω του πυκνωτή



Σχ. 50.1στ.



Σχ. 50.1ζ.



Σχ. 50.1η.

C_a . Η τάση V_a στην έξοδο αυτού του κυκλώματος είναι ίση με το ολοκλήρωμα της τάσεως εισόδου επί μία σταθερά $-\frac{1}{R_1 C_a}$.

Το ίδιο κύκλωμα με περισσότερες αντιστάσεις στην είσοδό του μας δίνει ένα αθροιστικό ολοκληρωτή. Αν αντιστραφούν τα στοιχεία του κυκλώματος του σχήματος 50.1ζ και στην είσοδο βάλομε χωρητική αντίσταση C_1 και αν η ανασύζευξη γίνει μέσω ωμικής αντιστάσεως R_a τότε έχουμε ένα κύκλωμα διαφορίσεως (σχ. 50.1η).

Στο κύκλωμα αυτό η τάση εξόδου V_a είναι ίση με την παράγωγο της τάσεως εισόδου επί μία σταθερά RC_1 , δηλαδή:

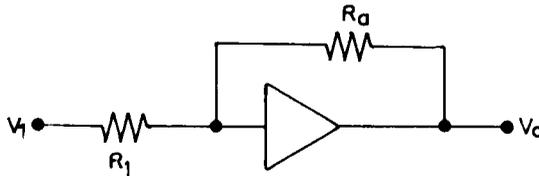
$$V_a = -RC_1 \frac{dV_1}{dt}$$

Αν και σε αυτό το κύκλωμα συνδέσουμε στην είσοδο περισσότερους πυκνωτές (χωρητικές αντιστάσεις), θα έχουμε:

$$V_a = -R_1 C_1 \frac{dV_1}{dt} - R_2 C_2 \frac{dV_2}{dt} \dots R_v C_v \frac{dV_v}{dt}$$

Ο τελεστικός ενισχυτής χρησιμοποιείται επίσης σαν αναστροφέας (Invertor). Δηλαδή, τον χρησιμοποιούμε σε κυκλώματα στα οποία θέλουμε η τάση στην έξοδο να έχει αντίθετο σημείο από την τάση στην είσοδο. Πραγματικά το απλό κύκλωμα του σχήματος 50.1ι κάνει αλλαγή σημείου, και, έτσι στην έξοδο έχουμε (σχ. 50.1θ):

$$V_a = -\frac{R_a}{R_1} \cdot V_1 \quad \text{και αν} \quad R_a = R_1, \quad \text{τότε} \quad V_a = -V_1$$



Σχ. 50.1θ.

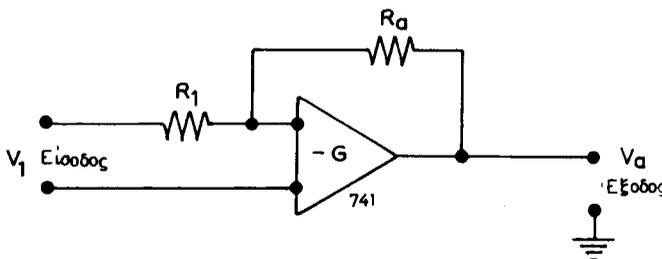
Ο τελεστικός ενισχυτής είναι ένα από τα πιο τέλεια ηλεκτρονικά κατασκευάσματα. Με τα χαρακτηριστικά λειτουργίας που παρουσιάζει εξυπηρετεί πλήθος από εφαρμογές. Η κατασκευή του σε ολοκληρωμένα κυκλώματα πλησιάζει τον ιδανικό ενισχυτή με μόνο μειονέκτημα ότι παρουσιάζει δυσκολίες στο εύρος των συχνοτήτων που ενισχύει ομοιόμορφα.

50.2 Εργασία.

1) Να πραγματοποιηθεί το κύκλωμα του σχήματος 50.2α. Σε αυτό η τάση στην έξοδο είναι:

$$V_a = -\frac{R_a}{R_1} \cdot V_1$$

Με $R_a = 10 R_1$ να επαληθευθεί πειραματικά η σχέση.

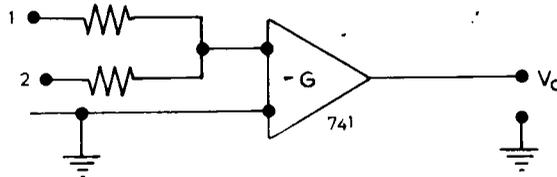


Σχ. 50.2α.

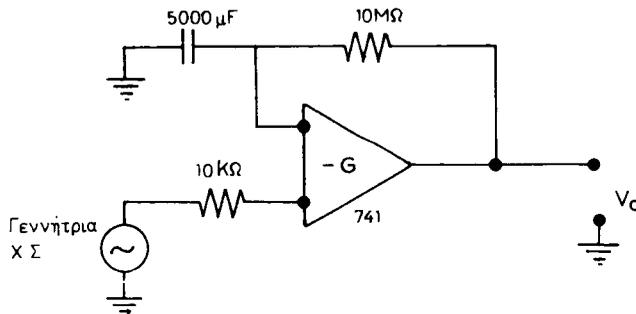
2) Στο κύκλωμα της προηγούμενης ερωτήσεως με $R_a = R_1$ να μετρηθούν οι τάσεις εισόδου και εξόδου και με παλμογράφο να διαπιστωθεί η διαφορά σημείου μεταξύ τους (κύκλωμα αναστροφέα).

3) Να πραγματοποιηθεί το κύκλωμα του σχήματος 50.2β.

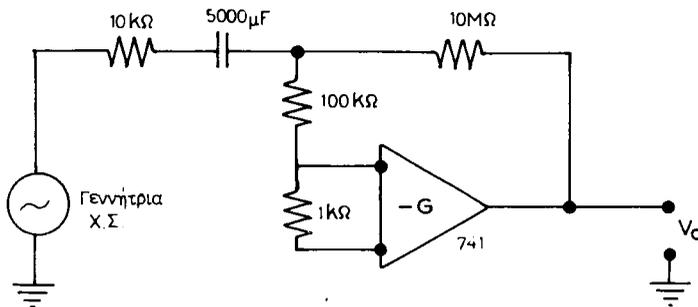
Να εφαρμόσετε στις εισόδους 1 και 2 δύο διαφορετικές τάσεις, π.χ. 1 και 2 βόλτ. Να ελέγξετε στην έξοδο το άθροισμά τους.



Σχ. 50.2β.



Σχ. 50.2γ.



Σχ. 50.2δ.

4) Να πραγματοποιηθεί το κύκλωμα του σχήματος 50.2γ.

Με τη γεννήτρια Χ.Σ. να δοθεί μια μικρή τάση στην είσοδο. Με σταθερή την τάση εισόδου να μετρηθεί η τάση στην έξοδο και να υπολογισθεί η απολαβή. Επίσης να ληφθούν μετρήσεις της τάσεως εξόδου για όλη την περιοχή συχνοτήτων που παρέχει η γεννήτρια. Να χαραχθεί η σχετική καμπύλη και να σχολιασθεί η μορφή της.

5) Η ίδια εργασία να γίνει και με το κύκλωμα του σχήματος 50.2δ και να συγκριθούν τα αποτελέσματα.

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

ΑΣΚΗΣΗ 1

Ηλεκτρικές πηγές του εργαστηρίου – Μέτρα ασφάλειας

| | |
|------------------|---|
| 1.1 Γενικά | 1 |
|------------------|---|

ΑΣΚΗΣΗ 2

Πολύμετρα

| | |
|--|---|
| 2.1 Κύκλωμα βολτομέτρου για τη μέτρηση εναλλασσομένων τάσεων | 6 |
|--|---|

ΑΣΚΗΣΗ 3

Ηλεκτρονικά βολτόμετρα

(Ηλεκτρονικά πολύμετρα)

| | |
|---|----|
| 3.1 Γενικά | 10 |
| 3.2 Οδηγίες χρήσεως ηλεκτρονικών βολτομέτρων με λυχνίες | 11 |
| 3.3 Εργασία | 12 |

ΑΣΚΗΣΗ 4

Παλμογράφος

| | |
|--|----|
| 4.1 Μετρήσεις τάσεως, συχνότητας και διαφοράς φάσεως | 13 |
| 4.2 Βαθμονόμηση κατά τον κατακόρυφο άξονα | 14 |
| 4.3 Βαθμονόμηση κατά τον οριζόντιο άξονα | 14 |
| 4.4 Εύρεση διαφοράς φάσεως | 15 |
| 4.5 Μέτρηση συχνότητας | 16 |
| 4.6 Εργασία | 16 |

ΑΣΚΗΣΗ 5

Γεννήτριες παραγωγής σημάτων

| | |
|---|----|
| 5.1 Περιγραφή – Χειρισμός | 18 |
| 5.2 Γεννήτριες χαμηλών συχνοτήτων | 19 |
| 5.3 Γεννήτριες υψηλών συχνοτήτων | 21 |
| 5.4 Εργασία | 23 |

ΑΣΚΗΣΗ 6

Σταθερά χρόνου

Κύκλωμα RC – Κύκλωμα RL

| | |
|--|----|
| 6.1 Κύκλωμα R - C. Φόρτιση - εκφόρτιση του πυκνωτή | 24 |
| 6.2 Β' Κύκλωμα R - L. Το ρεύμα στο πηνίο | 27 |
| 6.3 Εργασία | 28 |

ΑΣΚΗΣΗ 7

Συντονισμός σειράς

| | |
|-------------------|----|
| 7.1 Γενικά | 30 |
| 7.2 Εργασία | 34 |

ΑΣΚΗΣΗ 8**Παράλληλος συντονισμός**

| | |
|--|----|
| 8.1 Γενικά | 36 |
| 8.2 Ο συντελεστής ποιότητας Q και η μορφή της καμπύλης συντονισμού | 37 |
| 8.3 Περιγραφή του κυκλώματος και τρόπος λήψεως των μετρήσεων | 38 |
| 8.4 Μέθοδος υποβιβασμού του συντελεστή ποιότητας Q | 40 |
| 8.5 Εργασία | 40 |

ΑΣΚΗΣΗ 9**Θερμονική εκπομπή ηλεκτρονίων – Η δίοδος λυχνία κενού**

| | |
|-------------------|----|
| 9.1 Γενικά | 42 |
| 9.2 Εργασία | 45 |

ΑΣΚΗΣΗ 10**Τρίοδος λυχνία**

| | |
|--------------------|----|
| 10.1 Γενικά | 47 |
| 10.2 Εργασία | 49 |

ΑΣΚΗΣΗ 11**Τέτροδος λυχνία και λυχνία ισχύος κατευθυνόμενης δέσμης**

| | |
|--------------------|----|
| 11.1 Γενικά | 52 |
| 11.2 Εργασία | 55 |

ΑΣΚΗΣΗ 12**Πέντοδος λυχνία**

| | |
|--------------------|----|
| 12.1 Γενικά | 57 |
| 12.2 Εργασία | 60 |

ΑΣΚΗΣΗ 13**Ημιαγωγοί – Η κρυσταλλοδίοδος**

| | |
|--------------------|----|
| 13.1 Γενικά | 62 |
| 13.2 Εργασία | 64 |

ΑΣΚΗΣΗ 14**Τρανζίστορ – Βασικά χαρακτηριστικά**

| | |
|--------------------|----|
| 14.1 Γενικά | 66 |
| 14.2 Εργασία | 69 |

ΑΣΚΗΣΗ 15**Απλή και διπλή ανόρθωση**

| | |
|--|----|
| 15.1 Γενικά | 71 |
| 15.2 Κύκλωμα απλής ανορθώσεως με αντίσταση | 71 |
| 15.3 Πρακτικό κύκλωμα και υπολογισμοί | 72 |
| 15.4 Η μέγιστη ανάστροφη τάση | 75 |
| 15.5 Παλμογραφική παρατήρηση κυματομορφών | 75 |
| 15.6 Κύκλωμα απλής ανορθώσεως με πυκνωτή | 75 |
| 15.6.1 Σε ποια τάση φορτίζεται ο πυκνωτής | 76 |
| 15.6.2 Η μέγιστη ανάστροφη τάση | 76 |
| 15.6.3 Αντίσταση παράλληλα στον πυκνωτή | 77 |

| | |
|--|----|
| 15.7 Το κύκλωμα διπλής ανόρθωσης με αντίσταση | 77 |
| 15.7.1 Η μέγιστη ανάστροφη τάση | 78 |
| 15.7.2 Διπλή ανόρθωση με πυκνωτή | 79 |
| 15.7.3 Η μέγιστη ανάστροφη τάση στο κύκλωμα του σχήματος 15.7ε (διπλή ανόρθωση με πυκνωτή) | 79 |
| 15.7.4 Αντίσταση παράλληλα προς τον πυκνωτή | 79 |
| 15.8 Εργασία | 80 |

ΑΣΚΗΣΗ 16

Κύκλωμα ανόρθωσης με γέφυρα

| | |
|--------------------|----|
| 16.1 Γενικά | 82 |
| 16.2 Εργασία | 85 |

ΑΣΚΗΣΗ 17

Ανόρθωση και διακλασιασμός τάσεως

| | |
|--------------------|----|
| 17.1 Γενικά | 87 |
| 17.2 Εργασία | 90 |

ΑΣΚΗΣΗ 18

Κυκλώματα πολλαπλασιασμού τάσεως

| | |
|--------------------|----|
| 18.1 Γενικά | 93 |
| 18.2 Εργασία | 96 |

ΑΣΚΗΣΗ 19

Χαρακτηριστικές καμπύλες τρανζίστορ σε συνδεσμολογία κοινής (γειωμένης) βάσεως

| | |
|--------------------|----|
| 19.1 Γενικά | 97 |
| 19.2 Εργασία | 99 |

ΑΣΚΗΣΗ 20

Χαρακτηριστικές καμπύλες τρανζίστορ σε συνδεσμολογία κοινού (γειωμένου) εκπομπού

| | |
|--------------------|-----|
| 20.1 Γενικά | 101 |
| 20.2 Εργασία | 104 |

ΑΣΚΗΣΗ 21

Μεταβαλλόμενες αντιστάσεις με την τάση

(V.D.R. — Voltage Dependent Resistors)

| | |
|--------------------|-----|
| 21.1 Γενικά | 106 |
| 21.2 Εργασία | 106 |

ΑΣΚΗΣΗ 22

Η δίοδος Zener

| | |
|--------------------|-----|
| 22.1 Γενικά | 108 |
| 22.2 Εργασία | 110 |

ΑΣΚΗΣΗ 23

Θυρίστορ «SCR» (Silicon Controlled Rectifier)

| | |
|--------------------|-----|
| 23.1 Γενικά | 113 |
| 23.2 Εργασία | 116 |

ΑΣΚΗΣΗ 24**Ενίσχυση εναλλασσόμενης τάσεως με τρίοδο λυχνία**

| | |
|--------------------|-----|
| 24.1 Γενικά | 117 |
| 24.2 Εργασία | 119 |

ΑΣΚΗΣΗ 25**Ενίσχυση συνεχούς τάσεως με τρίοδο λυχνία**

(Ενισχύτρια αμέσου συζεύξεως)

| | |
|--------------------|-----|
| 25.1 Γενικά | 121 |
| 25.2 Εργασία | 123 |

ΑΣΚΗΣΗ 26**Καμπύλη αποκρίσεως ενισχυτή χαμηλών συχνοτήτων**

(Επίδραση χωρητικοτήτων της βαθμίδας)

| | |
|--------------------|-----|
| 26.1 Γενικά | 125 |
| 26.2 Εργασία | 125 |

ΑΣΚΗΣΗ 27**Ευθεία φόρτου**

(Χάραξη και πειραματική επαλήθευση των δεδομένων της)

| | |
|--------------------|-----|
| 27.1 Γενικά | 127 |
| 27.2 Εργασία | 129 |

ΑΣΚΗΣΗ 28**Πόλωση των τρανζίστορ**

| | |
|--------------------|-----|
| 28.1 Γενικά | 131 |
| 28.2 Εργασία | 135 |

ΑΣΚΗΣΗ 29**Ενισχυτής τρανζίστορ κοινού (γειωμένου) εκπομπού**

| | |
|--------------------|-----|
| 29.1 Γενικά | 137 |
| 29.2 Εργασία | 140 |

ΑΣΚΗΣΗ 30**Ενισχυτής τρανζίστορ κοινής (γειωμένης) βάσεως**

| | |
|--------------------|-----|
| 30.1 Γενικά | 142 |
| 30.2 Εργασία | 144 |

ΑΣΚΗΣΗ 31**Ενισχυτής τρανζίστορ κοινού (γειωμένου) συλλέκτη**

| | |
|--------------------|-----|
| 31.1 Γενικά | 146 |
| 31.2 Εργασία | 147 |

ΑΣΚΗΣΗ 32**Ενισχυτές ισχύος**

| | |
|--------------------|-----|
| 32.1 Γενικά | 150 |
| 32.2 Εργασία | 152 |

ΑΣΚΗΣΗ 33**Ενισχυτές ισχύος με συμμετρική έξοδο
Push - Pull**

| | |
|--------------------|-----|
| 33.1 Γενικά | 154 |
| 33.2 Εργασία | 158 |

ΑΣΚΗΣΗ 34**Κυκλώματα αναστροφής φάσεως**

| | |
|--------------------|-----|
| 34.1 Γενικά | 160 |
| 34.2 Εργασία | 162 |

ΑΣΚΗΣΗ 35**Ενισχυτής σε τάξη Α**

| | |
|--------------------|-----|
| 35.1 Γενικά | 164 |
| 35.2 Εργασία | 168 |

ΑΣΚΗΣΗ 36**Οπτικός ενισχυτής ή ενισχυτής εικόνας (Video Amplifier)**

| | |
|--------------------|-----|
| 36.1 Γενικά | 170 |
| 36.2 Εργασία | 172 |

ΑΣΚΗΣΗ 37**Ταλαντώσεις υψηλών συχνοτήτων**

| | |
|--------------------|-----|
| 37.1 Γενικά | 174 |
| 37.2 Εργασία | 177 |

ΑΣΚΗΣΗ 38**Ταλαντωτής RC (Με μετάθεση φάσεως)**

| | |
|--------------------|-----|
| 38.1 Γενικά | 178 |
| 38.2 Εργασία | 179 |

ΑΣΚΗΣΗ 39**Ταλαντωτής φραγμού (Blocking Oscillator)**

| | |
|--------------------|-----|
| 39.1 Γενικά | 180 |
| 39.2 Εργασία | 184 |

ΑΣΚΗΣΗ 40**Κυκλώματα διαφορίσεως και ολοκληρώσεως**

| | |
|------------------------------------|-----|
| 40.1 Γενικά | 186 |
| 40.2 Το κύκλωμα διαφορίσεως | 186 |
| 40.3 Το κύκλωμα ολοκληρώσεως | 191 |
| 40.4 Εργασία | 193 |

ΑΣΚΗΣΗ 41**Αυτοδιεγερόμενος πολυδονητής**

| | |
|--------------------|-----|
| 41.1 Γενικά | 196 |
| 41.2 Εργασία | 200 |

ΑΣΚΗΣΗ 42**Πολυδονητής μιας βολής ή μιας σταθερής καταστάσεως**

| | |
|--------------------|-----|
| 42.1 Γενικά | 203 |
| 42.2 Εργασία | 206 |

ΑΣΚΗΣΗ 43**Κύκλωμα σκανδαλισμού Σμιτ (Schmitt)**

| | |
|--------------------|-----|
| 43.1 Γενικά | 208 |
| 43.2 Εργασία | 209 |

ΑΣΚΗΣΗ 44**Γραμμές μεταφοράς Υ.Σ. (Lecher)**

| | |
|--------------------|-----|
| 44.1 Γενικά | 210 |
| 44.2 Εργασία | 212 |

ΑΣΚΗΣΗ 45**Πομπός συντηρουμένων κυμάτων**

| | |
|--------------------|-----|
| 45.1 Γενικά | 214 |
| 45.2 Εργασία | 214 |

ΑΣΚΗΣΗ 46**Δίοδος Varactor ή Varicap****(Δίοδος μεταβλητής χωρητικότητας)**

| | |
|--------------------|-----|
| 46.1 Γενικά | 216 |
| 46.2 Εργασία | 216 |

ΑΣΚΗΣΗ 47**Πολυδονητής διπλής σταθερής καταστάσεως (Flip - Flop)**

| | |
|--------------------|-----|
| 47.1 Γενικά | 218 |
| 47.2 Εργασία | 219 |

ΑΣΚΗΣΗ 48**Τρανζίστορ Unijunction****(Δίοδος επαφής με διπλή βάση)**

| | |
|--------------------|-----|
| 48.1 Γενικά | 221 |
| 48.2 Εργασία | 223 |

ΑΣΚΗΣΗ 49**Τρανζίστορ επιδράσεως πεδίου (FET)**

| | |
|--------------------|-----|
| 49.1 Γενικά | 225 |
| 49.2 Εργασία | 228 |

ΑΣΚΗΣΗ 50**Τελεστικός ενισχυτής (Operational Amplifier)**

| | |
|--------------------|-----|
| 50.1 Γενικά | 230 |
| 50.2 Εργασία | 233 |