

ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΣΕΡΡΩΝ

ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΙΑΣ

Ηλεκτρονικός ρυθμιστής ταχύτητας

ΕΙΣΗΓΗΤΗΣ
Πασχαλέρης Βασίλειος

ΦΟΙΤΗΤΕΣ
Γεωργίου Θεόδωρος
Κατσιρντή Άννα

ΣΕΡΡΕΣ 2008

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

	Σελ.
1.ΕΙΣΑΓΩΓΗ:	
ΓΕΝΙΚΑ ΓΙΑ ΤΗΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΚΑΙ ΣΚΟΠΟΣ ΤΗΣ	1
2.ΤΑ ΔΙΑΦΟΡΑ ΣΤΑΔΙΑ ΤΟΥ ΚΙΤ:	
2.1 ΕΙΣΟΔΟΣ , ΟΛΟΚΛΗΡΩΤΗΣ , ΑΠΟΜΟΝΩΤΗΣ , ΕΞΟΔΟΣ	2-4
2.2 ΑΝΑΔΡΑΣΗ ΚΑΙ ΣΚΟΠΟΣ ΤΗΣ	7-8
2.3 ΟΛΙΚΗ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ ΤΗΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ	8
2.4 Η ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΚΑΙ ΠΩΣ ΕΠΙΤΕΥΧΘΗΚΕ	9-10
2.5 ΑΝΤΙΔΡΑΣΗ ΣΕ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΛΟΓΙΚΕΣ ΑΛΛΑΓΕΣ ΥΓΡΑΣΙΑΣ , ΘΟΡΥΒΟΥ , ΚΡΑΔΑΣΜΩΝ	11
2.6 ΑΣΦΑΛΕΙΑ ΤΗΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ	11
2.7 ΚΟΣΤΟΣ	12
3.ΠΑΡΑΡΤΗΜΑΤΑ:	
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 1:	
3.1 ΓΕΝΙΚΑ ΓΙΑ ΤΑ ΤΡΑΝΖΙΣΤΟΡ (ΙΣΤΟΡΙΑ)	13-15
3.1.1 ΤΙ ΔΟΥΛΕΙΑ ΚΑΝΕΙ ΤΟ ΤΡΑΝΖΙΣΤΟΡ	16-18
3.1.2 ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ ΤΩΝ ΤΡΑΝΖΙΣΤΟΡ	18-23
3.1.3 ΤΥΠΟΙ ΤΡΑΝΖΙΣΤΟΡ	23-27
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 2:	
3.2 ΤΙ ΔΟΥΛΕΙΑ ΚΑΝΕΙ ΤΟ ΖΕΥΓΟΣ DARLINGTON	28
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 3:	
3.3 ΘΕΩΡΙΑ ΓΙΑ ΠΥΚΝΩΤΕΣ , ΑΝΤΙΣΤΑΣΕΙΣ , ΔΙΟΔΟΥΣ	29

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 4:

3.4 ΚΩΔΙΚΑΣ ΧΡΩΜΑΤΩΝ ΑΝΤΙΣΤΑΣΕΩΝ	30
3.5 ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	31

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Γενικά για την κατασκευή και σκοπός της

Η εύκολη αυτή κατασκευή επιτρέπει τον έλεγχο της ταχύτητας σε μικρές συσκευές και σε παιχνίδια που κινούνται με μπαταρίες . Η μεταβολή της ταχύτητας γίνεται δυνατή με την ανάλογη ρύθμιση του ποτενσιόμετρου R_4 .

Ένα τυπωμένο κύκλωμα ή η τοποθέτηση των ηλεκτρονικών εξαρτημάτων σε διάτρητη πλακέτα από βακελίτη κάνει τη συσκευή περισσότερο εύχρηστη . Η υποδοχή των εξαρτημάτων θα είναι ένα μικρό πλαστικό κουτί , στο εξωτερικό μέρος του οποίου θα υπάρχουν οι υποδοχές εισόδου και εξόδου και το ρυθμιστικό ποτενσιόμετρο .

Επίσης η συγκεκριμένη κατασκευή συνδυάζει θεωρία ηλεκτροτεχνίας και ηλεκτρικών μηχανών . Θεωρία ηλεκτροτεχνίας γιατί περιλαμβάνει τρανζίστορ , αντιστάσεις , πυκνωτές και θεωρία ηλεκτρικών μηχανών γιατί μετατρέπει την ηλεκτρική ενέργεια σε μηχανική ενέργεια .

Ακόμη επιτρέπει λειτουργία ολοκληρωτή , απομονοτή και ανάδρασης .

2.1 ΕΙΣΟΔΟΣ , ΟΛΟΚΛΗΡΩΤΗΣ , ΑΠΟΜΟΝΩΤΗΣ , ΕΞΟΔΟΣ

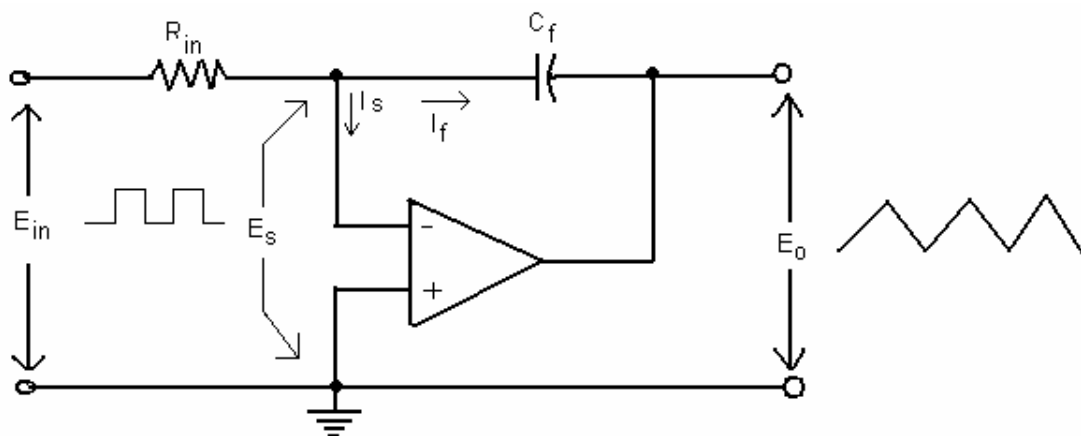
α) Είσοδος

Στην είσοδο του κυκλώματος χρησιμοποιήσαμε για τροφοδοσία μία μπαταρία των 9 Volt .

β) Ολοκληρωτής

Σύμφωνα με τις βασικές ιδιότητες των κυκλωμάτων με ιδανικούς τελεστικούς ενισχυτές (Τ.Ε.) που εκμεταλλευόμαστε και για την επίλυση κυκλωμάτων με Τ.Ε., είναι ότι τα εισερχόμενα ρεύματα στους δύο ακροδέκτες εισόδου του Τ.Ε. είναι μηδενικά . Κι ως εκ τούτου , το ρεύμα στον κλάδο ανάδρασης είναι και προσπαθεί να παραμείνει ίσο με το ρεύμα εισόδου που δημιουργείται από την εφαρμογή της τάσης εισόδου .

Ο ολοκληρωτής είναι ένα κύκλωμα με Τ.Ε. Το κύκλωμα του ολοκληρωτή φαίνεται στο παρακάτω σχήμα .



Ολοκληρωτής

Επίσης είναι γνωστό ότι όταν σταθερό ρεύμα I διέρχεται από έναν πυκνωτή , τότε η τάση στα άκρα του πυκνωτή θα αυξάνεται γραμμικά με ρυθμό . Έτσι η τάση εξόδου θα εξαρτάται από το ρεύμα ανάδρασης . Επομένως η έξοδος του ολοκληρωτή είναι η ολοκλήρωση της εισόδου .

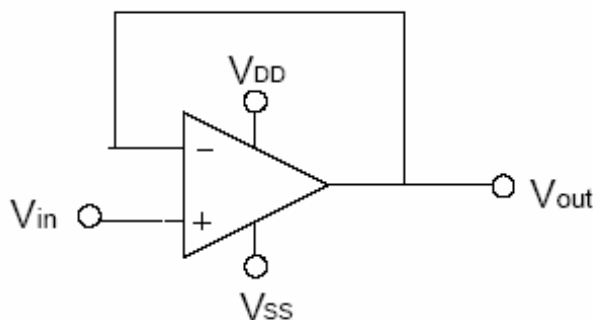
Αν στην είσοδο του ολοκληρωτή εφαρμόσουμε μία σταθερή τάση, τότε η έξοδος θα είναι μία γραμμική (τάση ράμπας), που θα αυξάνεται ή θα ελαττώνεται ανάλογα με την πολικότητα της τάσεως εισόδου.

Αν η τάση εισόδου είναι ένα τετραγωνικό σήμα, τάση εξόδου θα είναι ένα τριγωνικό σήμα, κι αν η τάση εισόδου είναι ένα ημιτονικό σήμα η έξοδος θα είναι ένα συνημιτονικό σήμα. Δηλαδή, υπάρχει στην έξοδο μία μετατόπιση φάσης κατά 90° της τάσης εισόδου.

Ένα βασικό μειονέκτημα του ολοκληρωτή είναι ότι στις dc εισόδους ο ολοκληρωτής λειτουργεί σαν ενισχυτής ανοιχτού βρόχου (αφού ο πυκνωτής στο dc συμπεριφέρεται ως ανοιχτό κύκλωμα) κι έχει πολύ μεγάλο κέρδος, θεωρητικά άπειρο, με αποτέλεσμα με μία πολύ μικρή τάση εισόδου να στέλνει την έξοδο στον κόρο.

γ) Απομωνοτής

Ο απομωνοτής (buffer) χρησιμοποιείται σε περιπτώσεις που είναι επιθυμητή η ύπαρξη υψηλής αντίστασης εισόδου .



Συνδεσμολογία απομωνοτή

Στο παραπάνω σχήμα , εξαιτίας της άπειρης αντίστασης που έχουμε υποθέσει ότι υπάρχει μεταξύ μη αναστρέφουσας και αναστρέφουσας εισόδου ισχύουν βασικά δύο σχέσεις : κατά πρώτον ότι η τάση εισόδου μεταφέρεται στην έξοδο , δηλαδή

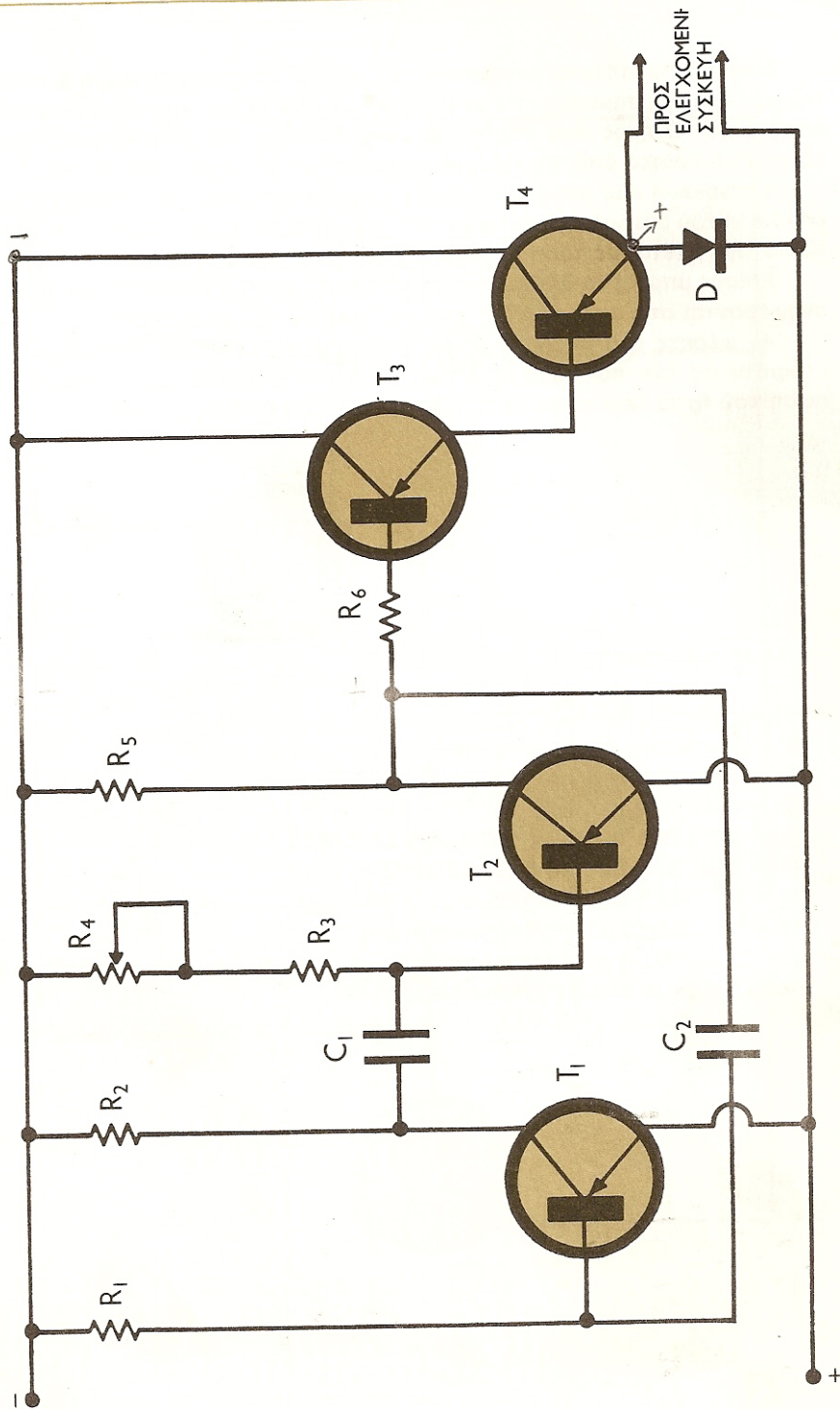
$V_{out}=V_{in}$ αφού δεν υπάρχει ροή ρεύματος μεταξύ των δύο εισόδων του τελεστικού ενισχυτή και κατά δεύτερον ότι η άπειρη αντίσταση μεταξύ των δύο εισόδων του τελεστικού γίνεται αντίσταση εισόδου του συστήματος . Η σύνθετη αντίσταση εισόδου του ενισχυτή αυτού είναι πολύ υψηλή , πολλαπλάσια της αντίστοιχης αντίστασης ανοιχτού βρόχου , η οποία μπορεί να είναι και πάνω από 100 MΩ . Η έξοδος ακολουθεί την είσοδο για ένα εύρος τιμών τάσης που καθορίζεται από τα όρια αρνητικού και θετικού κορεσμού της τάσης εξόδου . Το μέγιστο ρεύμα εξόδου καθορίζεται από το ρεύμα βραχυκύκλωσης του τελεστικού ενισχυτή ενώ η σύνθετη αντίσταση εξόδου είναι αρκετά μικρή , συνήθως πολύ μικρότερη από 100 Ω . Κάποιες φορές , οι κατασκευαστές προσφέρουν τελεστικούς ενισχυτές με ενσωματωμένη ολική ανάδραση για την χρήση τους μόνο ως ακολουθητής τάσης . Τέτοιες μονάδες έχουν , συνήθως , ειδική σχεδίαση για πολύ υψηλή αντίσταση εισόδου . Ουσιαστικά λοιπόν , ο ακολουθητής τάσης είναι ένας μετασχηματιστής σύνθετης αντίστασης .

δ) Έξοδος

Στην έξοδο της κατασκευής έχουμε μία δίοδο που ρυθμίζει μία σταθερή τάση εξόδου . Στον πίνακα που ακολουθεί υπάρχουν οι τιμές της τάσης και του ρεύματος στην έξοδο όπως μετρήθηκαν με βολτόμετρο και αμπερόμετρο .

$V_{max} = 3,6 \text{ Volt}$
$V_{min} = 0,7 \text{ Volt}$
$I_{max} = 14 \text{ mA}$
$I_{min} = 11 \text{ mA}$

ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΟΣ ΡΥΘΜΙΣΤΗΣ ΤΑΧΥΤΗΤΑΣ



2.2 ΑΝΑΔΡΑΣΗ ΚΑΙ ΣΚΟΠΟΣ ΤΗΣ

Κατά την ανατροφοδότηση ή ανάδραση είναι τμήμα της τάσης ή του ρεύματος της εξόδου του ενισχυτή ή και ο συνδιασμός αυτών επιστρέφει και προστίθεται στην είσοδο αυτού μετά το σήμα εισόδου .

Η τάση ή το ρεύμα της ανατροφοδότησης είναι δυνατόν να αυξάνει ή να ελαττώνει την ενίσχυση . Εάν έχουμε αύξηση της ενίσχυσης η μέθοδος καλείται θετική ανάδραση . Εάν έχουμε μείωση της ενίσχυσης η μέθοδος καλείται αρνητική ανάδραση .

Τα πλεονεκτήματα της ανάδρασης είναι :

1) Βελτίωση της σταθερότητας του κέρδους δηλαδή ελάττωση της μεταβολής της ενίσχυσης οι οποίες προκαλούνται από τις τάσεις τροφοδοσίας και την παλαιώση των τρανζίστορ .

2) Ελάττωση της παραμόρφωσης λόγω μη γραμμικής λειτουργίας σε οποιαδήποτε στάθμη εξόδου του ενισχυτή .

3) Ελάττωση του θορύβου προς το σήμα όταν αυτός δεν προέρχεται από το σήμα εισόδου αλλά από την βαθμίδα ενισχύσεως .

4) Δυνατότητα ρυθμίσεως της σύνθετης αντίστασης εισόδου και εξόδου, ώστε να έχουμε προσαρμογή με την πηγή του σήματος και το φορτίο εξόδου .

5) Δυνατότητα ρυθμίσεως της καμπύλης αποκρίσεως

Με την ανάδραση θέλουμε να επιτύχουμε μείωση της παραμόρφωσης συχνότητας και φάσης , βελτίωση της επιλεκτικότητας ενός ενισχυτή και μετατροπή του ενισχυτή σε ταλαντωτή .

Τα μειονεκτήματα της ανάδρασης είναι :

1) Μείωση της ενίσχυσης ανά βαθμίδα με αποτέλεσμα να χρησιμοποιούμε περισσότερες βαθμίδες για την επίτευξη της αυτής συνολικής ενίσχυσης .

2) Η τάση του ενισχυτή να ταλαντώνεται σε μερικές συχνότητες εκτός των συχνοτήτων λειτουργίας του ενισχυτή .

Η θετική ανάδραση προκαλεί αστάθεια ενίσχυσης με αποτέλεσμα να δημιουργούνται ταλαντώσεις και να δημιουργείται έξοδος στην βαθμίδα όταν δεν εφαρμόζετε σήμα εισόδου .

2.3 ΟΛΙΚΗ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ ΤΗΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ

Η κατασκευή συμπεριφέρεται ως εξής:

Στην είσοδο του κυκλώματος έχουμε για τροφοδοσία μία μπαταρία τάσης 9 Volt .Μετά από εκεί έχουμε τον ολοκληρωτή. Στη συνέχεια έχουμε τον απομωνοτή (buffer) . Ενδιάμεσα στον ολοκληρωτή και τον απομωνοτή έχουμε τον πυκνωτή C_2 που λειτουργεί ως ανάδραση στο κύκλωμα και ασφαλίζει σταθερότητα στην κατασκευή . Στη συνέχεια μετά τον απομωνοτή υπάρχει η έξοδος του συστήματος .

Η κατασκευή λειτουργεί με γραμμικό ποτενσιόμετρο . Η κατασκευή επιτρέπει τον έλεγχο της ταχύτητας σε μικρά παιχνίδια (π.χ. μοτοράκι , ρομπότ κ.α.) ή σε μικρές συσκευές που κινούνται με μπαταρίες .

2.4 Η ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΚΑΙ ΠΩΣ ΕΠΙΤΕΥΧΘΗΚΕ

Για την επίτευξη αυτής της κατασκευής (ηλεκτρονικός ρυθμιστής ταχύτητας) χρησιμοποιήθηκαν τα παρακάτω υλικά κατασκευής .

Υλικά κατασκευής :

Οι παρακάτω αντιστάσεις :

$$R_1 = 10 \text{ K}\Omega , \quad R_2 = 47 \text{ K}\Omega , \quad R_3 = 33 \text{ K}\Omega ,$$

$$R_4 = 100 \text{ K}\Omega \text{ γραμμικό ποτενσιόμετρο ,}$$

$$R_5 = 10 \text{ K}\Omega , \quad R_6 = 10 \text{ K}\Omega$$

Οι παρακάτω πυκνωτές :

$$C_1 = 0.33 \text{ }\mu\text{F πολυεστέρα} , \quad C_2 = 0.33 \text{ }\mu\text{F πολυεστέρα}$$

Τα παρακάτω τρανζίστορ :

$$T_1 = \text{BC 178 ή BC 262 ή 2SA565}$$

$$T_2 = \text{BC 178 ή BC 262 ή 2SA565}$$

$$T_3 = \text{BC 178 ή BC 262 ή 2SA565}$$

$$T_4 = \text{BC 304 ή BC 287 ή BC 160 / 6}$$

Η παρακάτω δίοδος :

$$D = \text{Δίοδος 10 D4 ή αντίστοιχη}$$

$$\text{Τροφοδοσία} = \text{Μπαταρία 9V}$$

Πέρα από τα υλικά κατασκευής για την δημιουργία της κατασκευής χρησιμοποιήσαμε και κάποια εργαλεία τα οποία είναι τα εξής :

Εργαλεία κατασκευής :

1. Ηλεκτρικό κολλητήρι 40 ή 50 Watt
2. Μία σειρά από κατσαβίδια
3. Πένσα
4. Κόφτης
5. Καλάι
6. Πολύμετρο
7. Τυποποιημένη πλακέτα

Αφού προμηθευτήκαμε τα παραπάνω υλικά και εργαλεία της κατασκευής προχωρήσαμε στην επίτευξη της κατασκευής σύμφωνα με το παρακάτω βοηθητικό σχήμα :



2.5 ΑΝΤΙΔΡΑΣΗ ΣΕ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΛΟΓΙΚΕΣ ΑΛΛΑΓΕΣ ΥΓΡΑΣΙΑΣ , ΘΟΡΥΒΟΥ , ΚΡΑΔΑΣΜΩΝ

Η κατασκευή αλλάζει συμπεριφορά ανάλογα με τον χώρο στον οποίο βρίσκετε δηλαδή ανάλογα με την θερμοκρασία , υγρασία και άλλα χαρακτηριστικά του χώρου στον οποίο βρίσκετε .

Τα τρανζίστορ τα οποία χρησιμοποιήσαμε για την κατασκευή , αλλά και γενικώς τα τρανζίστορ είναι πολύ ευαίσθητα στην θερμοκρασία . Δεν αντέχουν στις αυξήσεις της θερμοκρασίας και για αυτόν τον λόγο η λειτουργία τους περιορίζεται ανάμεσα σε ορισμένες μόνο θερμοκρασίες .

Όσο για τον θόρυβο , η κατασκευή δεν κάνει κάποιο ιδιαίτερο θόρυβο .

Κραδασμοί στην κατασκευή δεν υπάρχουν λόγω του πυκνωτή C₂ που λειτουργεί ως ανάδραση στο κύκλωμα και του ασφαλίζει σταθερότητα .

2.6 ΑΣΦΑΛΕΙΑ ΤΗΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ

Η κατασκευή είναι αρκετά ασφαλής . Δεν υπάρχει φόβος να υπάρξει κάποιο ατύχημα . Άλλωστε η τάση που του έχουμε δώσει για τροφοδοσία είναι αρκετά μικρή , είναι μόλις 9 Volt . Επίσης περιβάλλετε από ένα πλαστικό περίβλημα και δεν υπάρχει φόβος να καταστραφεί η κατασκευή . Επίσης λόγω της χαμηλής τάσης δεν χρειάζεται γείωση .

2.7 ΚΟΣΤΟΣ ΤΗΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ

Ο παρακάτω πίνακας μας δείχνει πόσο κόστισε το κάθε εξάρτημα της κατασκευής μας ξεχωριστά :

R1	0,45 €
R2	1,00 €
R3	0,60 €
R4	1,75 €
R5	0,45 €
R6	0,45 €
C1	1,50 €
C2	1,50 €
T1	1,50 €
T2	1,50 €
T3	1,50 €
T4	2,00 €
D (δίοδος)	0,50 €
Μπαταρία	1,50 €
Κουτί κατασκευής	10,50 €
Πλακέτα	2,50 €
Στηρίγματα πλακέτας	1,00 €
ΣΥΝΟΛΟ	30,20 €

Τα υλικά της κατασκευής κόστισαν 30,20 € . Επίσης ο κόπος και ο χρόνος που κάναμε να το φτιάξουμε το κύκλωμα δεν ανταμείβετε. Σύμφωνα με όλα αυτά το κόστος της κατασκευής φτάνει στα 40 € .

3.1 ΓΕΝΙΚΑ ΓΙΑ ΤΑ ΤΡΑΝΖΙΣΤΟΡ (ΙΣΤΟΡΙΑ)

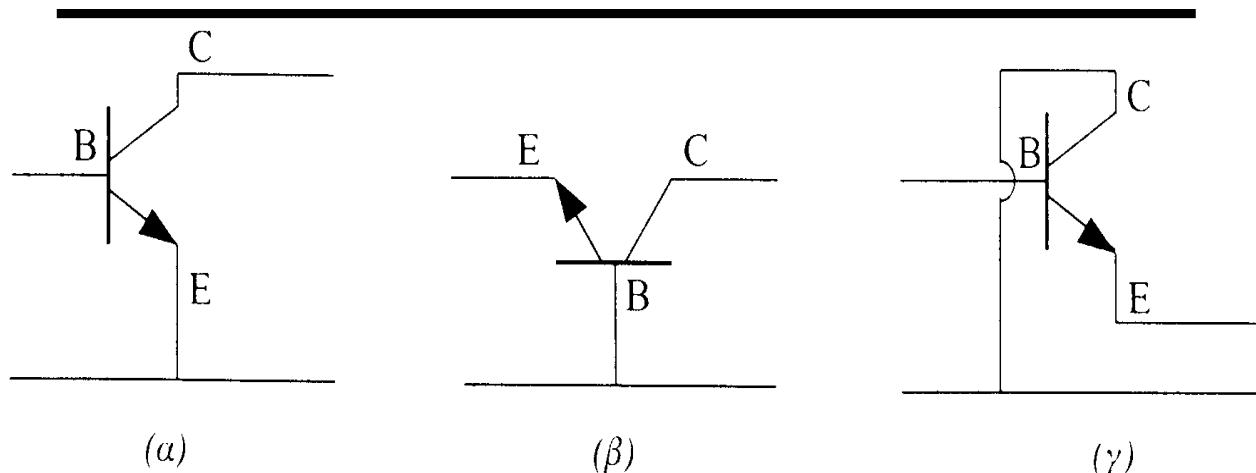
Είναι πολύ διδακτική η ιστορία για το πως οι Η.Π.Α. πήραν αμέσως μετά την ανακάλυψη του τρανζίστορ στα εργαστήρια τους το 1948 από τους Bardeen, Bardain και Shockley, την πρωτοβουλία (που εξελίχτηκε σε κυριαρχία στον δυτικό κόσμο) από τις Ευρωπαϊκές βιομηχανίες που κατείχαν τότε την πρωτοκαθεδρία στην ηλεκτρονική βιομηχανία. Ο νεωτερισμός του τρανζίστορ με τα μεγάλα πλεονεκτήματα του (σμίκρυνση, αξιοπιστία, μειωμένη ισχύ λειτουργίας, αυξημένο χρόνο λειτουργίας), έμελλε να αποτελέσει την αρχή για μία σειρά από άλλους νεωτερισμούς, που προκάλεσαν πραγματική επανάσταση στα ηλεκτρονικά των υπολογιστών, στα διαστημικά ηλεκτρονικά, στα όργανα μετρήσεων και στα ηλεκτρονικά για πλατύ κοινό (ραδιοφωνία-τηλεόραση).

Το διπολικό τρανζίστορ επαφής (Bipolar Junction Transistor, BJT) είναι κρύσταλλος ημιαγωγού με τρεις περιοχές προσμίξεων τύπου p ή n στην σειρά που δημιουργούν δύο εσωτερικές επαφές pn. Η μεσαία περιοχή ονομάζεται βάση (base) και οι άλλες δύο ονομάζονται εκπομπός (emitter) και συλλέκτης (collector). Υπάρχουν τρανζίστορ pnp και npn με αντίστοιχο συμβολισμό .

Για την κανονική λειτουργία του, το τρανζίστορ πρέπει να πολωθεί κατάλληλα με εξωτερικές πηγές τάσης. Η επαφή βάσης-συλλέκτη πρέπει να είναι ανάστροφα πολωμένη, ενώ η επαφή βάσης εκπομπού πρέπει να πολωθεί ορθά .

Για τη συνδεσμολογία του τρανζίστορ σε κύκλωμα πρέπει ο ένας από τους τρεις ακροδέκτες να είναι κοινός στην είσοδο και στην έξοδο. Έτσι προκύπτουν τρεις τρόποι συνδεσμολογίας .

- α) συνδεσμολογία κοινού εκπομπού (common emitter, CE),
- β) συνδεσμολογία κοινής βάσης (common base, CB),
- γ) συνδεσμολογία κοινού συλλέκτη (common collector. CC).



Συνδεσμολογίες τρανζίστορ *npn*, α) CE, β) CB, γ) CC

Ένα τρανζίστορ λειτουργεί σωστά αν έχει τα κατάλληλα και σωστά χαρακτηριστικά κέρδους (ικανότητα να ενισχύει), δε διασπάται από τις τάσεις λειτουργία διατηρεί τη διαρροή ρευμάτων μέσα στα όρια των ανοχών. Οι δοκιμές μπορούν να γίνουν με εμπορικές συσκευές (curve tracers), ή με γεννήτρια και παλμογράφο.

Είναι επίσης δυνατόν να δοκιμασθεί αν ένα τρανζίστορ είναι ανοικτό ή βραχυκυκλωμένο μόνο με ωμόμετρο. Οι απλές δοκιμές με ωμόμετρο δείχνουν επίσης και αν έχει σημαντική διαρροή. Γνωρίζοντας ότι το τρανζίστορ έχει δύο επαφές *pn*, μία μεταξύ βάσης εκπομπού και μία μεταξύ βάσης – συλλέκτη ο έλεγχος του γίνεται μετρώντας την ωμική αντίσταση μεταξύ των συνδυασμών (BE), (EC) και (CB) και με τις δύο πολικότητες ακροδεκτών. Η αντίσταση ορθής φοράς κυμαίνεται συνήθως από 20 Ω μέχρι 500 Ω σε διάφορους τύπους τρανζίστορ ενώ τυπικές τιμές για την ανάστροφη αντίσταση είναι από 10 kΩ ως και 10 MΩ. Η αντίσταση μεταξύ συλλέκτη και εκπομπού πρέπει να είναι πολύ μεγάλη (άπειρη) αφού δεν υπάρχει εσωτερική επαφή *pn* μεταξύ αυτών των δύο ακροδεκτών. Ακόμη, υπάρχουν στο εμπόριο και ειδικά όργανα ελέγχου. Τα όργανα αυτά εξετάζουν το ρεύμα διαρροής κι άλλες ποσότητες.

Ο απλούστερος έλεγχος ενός τρανζίστορ , που βρίσκεται σε κύκλωμα, είναι η μέτρηση των τάσεων των ακροδεκτών σε σχέση με τη γη. Για παράδειγμα, η μέτρηση των τάσεων των ακροδεκτών συλλέκτη V_c κι εκπομπού V_e είναι μια καλή αρχή. Η διαφορά πρέπει να είναι μεγαλύτερη από 1 V και μικρότερη από την τάση της πηγής V_{cc} . Αν η ένδειξη του οργάνου είναι μικρότερη από 1 V, το τρανζίστορ είναι βραχυκυκλωμένο. Αν είναι ίση με V_{cc} το τρανζίστορ είναι σε ανοικτό κύκλωμα .

3.1.1 ΤΙ ΔΟΥΛΕΙΑ ΚΑΝΕΙ ΤΟ ΤΡΑΝΖΙΣΤΟΡ

Το τρανζίστορ έχει πολλές εφαρμογές , αλλά μόνο δύο βασικές λειτουργίες : την μεταγωγή (λειτουργία ως διακόπτη) και τη διαμόρφωση — το τελευταίο συχνά χρησιμοποιείται για την επίτευξη της ενίσχυσης .

Υπό μια απλούστερη μορφή , το τρανζίστορ λειτουργεί όπως το ντίμμερ (dimmer) στο καθιστικό δωμάτιό σας . Αν πατήσετε το κουμπί στο ντίμμερ , το φως ανάβει , αν το πατήσετε ξανά , το φως σβήνει . Άρα είναι ένας διακόπτης . Αν περιστρέψετε το κουμπί μπρος – πίσω το φως γίνεται εντονότερο , αμυδρό . Άρα είναι ένας διαμορφωτής . Για να καταλάβετε την ενίσχυση , σκεφτείτε το εξής : Με μια σχετική απλή προσπάθεια από μέρους σας να περιστρέψετε το κουμπί από την μικρότερη στην μεγαλύτερη του θέση , μεταφράζεται σε μια πολύ εντυπωσιακότερη αντίδραση από το φως — όλο το δωμάτιο ακτινοβολεί με φως ! Άρα είναι ένας ενισχυτής .

Το ντίμμερ και το τρανζίστορ ελέγχουν τη ροή του ρεύματος , είτε μέσα από ένα λαμπτήρα είτε από μια συσκευή . Και τα δύο συμπεριφέρονται σαν διακόπτης — on/off — και ως ένας διαμορφωτής / ενισχυτής — high / low (από μεγάλη σε χαμηλή θέση) . Η σημαντικότερη διαφορά είναι ότι το τρανζίστορ λειτουργεί εκατομμύρια φορές γρηγορότερα . Είναι προσαρτημένο σε μια άλλη ηλεκτρική πηγή (προέλευση) — ένα σήμα ραδιοφώνου σε μια κεραία για παράδειγμα , μια φωνή από ένα μικρόφωνο ή ένα ψηφιακό σήμα σε ένα σύστημα υπολογιστή ή ακόμη σε άλλο τρανζίστορ .

Τα τρανζίστορ κατασκευάζονται από ημιαγωγούς όπως το πυρίτιο (Si) ή το γάλλιο – αρσενίδιο (GaAs – gallium arsenide). Τα υλικά αυτά μεταφέρουν τον ηλεκτρισμό σχετικά εύκολα — αλλά όχι και τόσο ώστε να ονομάζονται αγωγοί , όπως σε χάλκινους αγωγούς , αλλά όχι αρκετά για να ονομαστούν μονωτικά , όπως ένα κομμάτι γυαλί . Γι' αυτό το λόγο πήραν και το όνομά τους : ημιαγωγοί . Το « μαγικό » που μπορεί να πραγματοποιεί το τρανζίστορ είναι η ικανότητα του να ελέγχει την ίδια του την ημιαγωγιμότητα , δηλαδή να συμπεριφέρεται σαν αγωγός όταν χρειαστεί ή σαν μονωτικό (μη αγώγιμο) σε άλλες περιπτώσεις .

Οι ημιαγωγοί διαφέρουν στον τρόπο που συμπεριφέρονται ηλεκτρικώς . Τοποθετώντας ένα λεπτό κομμάτι ημιαγωγού , ενός τύπου ανάμεσα σε δύο μέρη ενός άλλου τύπου έχει τρομακτικά αποτελέσματα : ένα μικρό ρεύμα στο κεντρικό κομμάτι είναι ικανό να ελέγχει τη ροή του ρεύματος ανάμεσα στα άλλα δύο . Το μικρό αυτό ρεύμα στο κεντρικό κομμάτι είναι η ουσία που τροφοδοτείται από μια κεραία ή για παράδειγμα από ένα άλλο τρανζίστορ . Ακόμη και αν το ρεύμα εισόδου είναι ασθενές , όπως ραδιοφωνικά σήματα που έχουν ταξιδέψει μεγάλες αποστάσεις , το τρανζίστορ μπορεί να ελέγχει ένα ισχυρό ρεύμα από ένα άλλο κύκλωμα μέσα από το ίδιο . Με αποτέλεσμα το ρεύμα μέσα από την « εξωτερική πλευρά » του τρανζίστορ να μιμείται την συμπεριφορά του ρεύματος από την « εσωτερική πλευρά » . Το αποτέλεσμα είναι μία ισχυρή ενισχυμένη έκδοση του ασθενούς ραδιοφωνικού σήματος .

ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΤΟΥ ΤΡΑΝΖΙΣΤΟΡ ΣΑΝ ΔΙΑΚΟΠΤΗΣ.

Ο διακόπτης είναι εξάρτημα που έχει δύο καταστάσεις λειτουργίας την ανοικτή και την κλειστή. Όταν είναι ανοικτός (εκτός, OFF) έχει εξαιρετικά υψηλή (άπειρη) αντίσταση, ενώ όταν είναι κλειστός (αγώγιμος, εντός, ON) έχει εξαιρετικά χαμηλή αντίσταση. Ένας συμβατικός διακόπτης απαιτεί μηχανική ενέργεια για την αλλαγή από την μία κατάσταση στην άλλη. Ένα ρελέ (ηλεκτρονόμος) είναι διακόπτης που χρησιμοποιεί ηλεκτρομαγνητική ενέργεια για την παροχή της κίνησης από τη μία κατάσταση στην άλλη. Το ρελέ και ο συμβατικός διακόπτης έχουν πολλά μειονεκτήματα όπως: Υπάρχει εκκένωση τόξου μεταξύ των επαφών, η αναπήδηση των επαφών, η φυσική φθορά στα κινούμενα μέρη και ο σχετικά αργός χρόνος λειτουργίας.

ΤΟ ΤΡΑΝΖΙΣΤΟΡ ΩΣ ΕΝΙΣΧΥΤΗΣ.

Για να λειτουργήσει το τρανζίστορ ως ενισχυτής πρέπει να είναι πολωμένο στην ενεργό περιοχή .

Η λειτουργία του τρανζίστορ ως ενισχυτή επηρεάζεται σημαντικά από την τιμή του ρεύματος πόλωσης .

3.1.2 ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ ΤΩΝ ΤΡΑΝΖΙΣΤΟΡ

Υπάρχουν πολλοί τύποι τρανζίστορ. Τα τρανζίστορ μπορούν να ταξινομηθούν:

α) Ανάλογα με το υλικό από το οποίο κατασκευάζονται. Υπάρχουν π.χ. τα τρανζίστορ γερμανίου και τα τρανζίστορ πυριτίου. Τα περισσότερα τρανζίστορ είναι πυριτίου.

β) Ανάλογα με τη μέθοδο που κατασκευάζονται, μπορούμε να βρούμε μεγάλη ποικιλία τύπων τρανζίστορ επαφής.

γ) Ανάλογα με τον αριθμό των ακροδεκτών, υπάρχουν τρανζίστορ που έχουν τρεις ακροδέκτες και άλλα με τέσσερις.

δ) Ανάλογα με την κατανάλωση ισχύος, τα τρανζίστορ χωρίζονται σε τρανζίστορ χαμηλής ισχύος (κατανάλωση ισχύος περίπου μέχρι 50 mW), σε τρανζίστορ μέσης ισχύος (μέχρι μερικές εκατοντάδες mW) και σε τρανζίστορ υψηλής ισχύος (κατανάλωση ισχύος 1 W και ακόμα μεγαλύτερη).

Σ ένα τρανζίστορ μπορεί να παρουσιαστούν πολλές βλάβες. Επειδή το τρανζίστορ αποτελείται από δύο επαφές, η υπέρβαση κάποιου περιορισμού διάσπασης, μέγιστου ρεύματος ή μέγιστης ισχύος μπορεί να καταστρέψει μια από τις δύο ή και τις δύο επαφές. Οι βλάβες μπορεί να είναι βραχυκυκλώματα, ανοικτά κυκλώματα, μεγάλα ρεύματα διαρροής κ.α.

Στη συγκεκριμένη κατασκευή χρησιμοποιήσαμε τρανζίστορ πυριτίου , ακουστικών συχνοτήτων μικρής ισχύος , που συνήθως οι ημιαγωγοί αυτοί χρησιμοποιούνται σε συσκευές γενικής χρήσεως .

Αναγνώριση ακροδεκτών τρανζίστορ

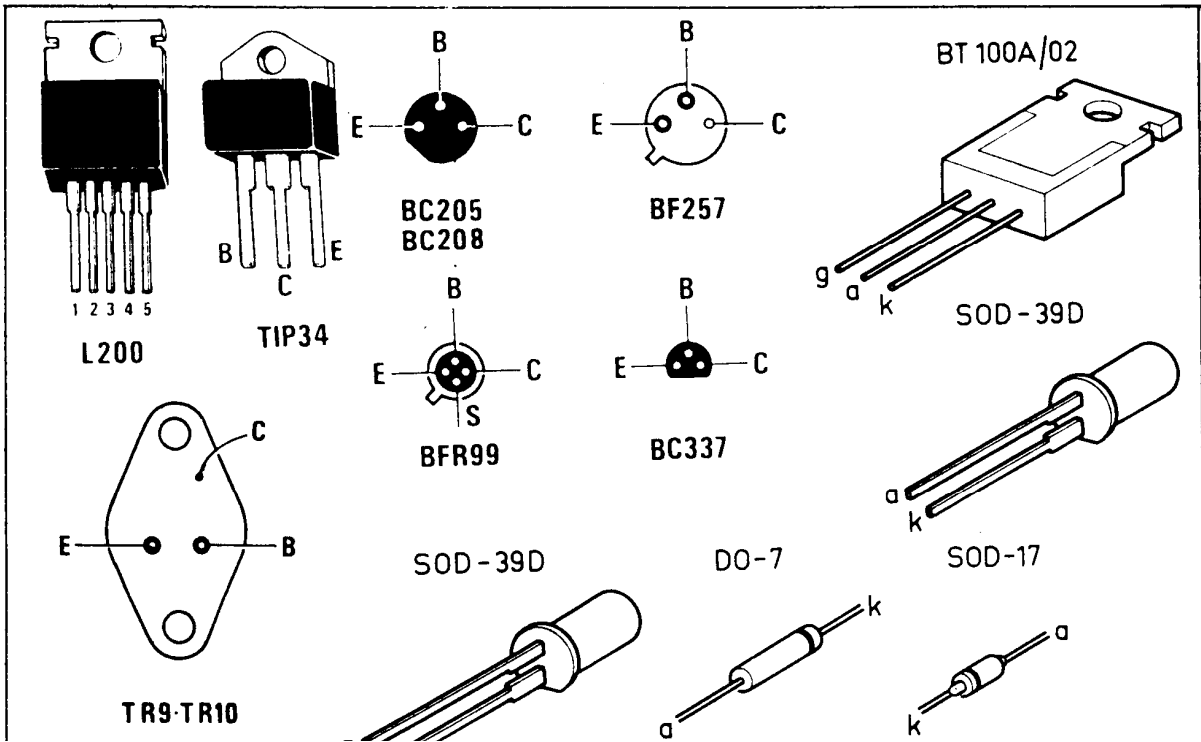
Τα τρανζίστορ είναι γνωστό ότι έχουν τρεις ακροδέκτες (εκτός από τα τρανζίστορ ισχύος π.χ. 2N3055 στα οποία ο τρίτος ακροδέκτης είναι το μεταλλικό κέλυφος) που αντιστοιχούν στον εκπομπό, τη βάση και το συλλέκτη. Υπάρχουν μερικοί γενικοί κανόνες για το συμβολισμό των ακροδεκτών των τρανζίστορ που θα αναφέρουμε, αλλά επειδή ο αριθμός των τρανζίστορ που κυκλοφορούν στην αγορά είναι μεγάλος υπάρχει ένα βιβλίο αντιστοιχιών που περιέχει τα χαρακτηριστικά και τη θέση των ακροδεκτών πάνω στο κέλυφος (Data book). Μπορούμε να ξέρουμε όμως τη θέση των ακροδεκτών από την εξωτερική εμφάνιση των τρανζίστορ. Έτσι αυτά μπορούν να :

Α) Έχουν μία τελεία στο σώμα τους. Η τελεία αυτή δείχνει τον ακροδέκτη του συλλέκτη, οπότε ο πιο μακρινός ακροδέκτης είναι ο εκπομπός και στη μέση η βάση.

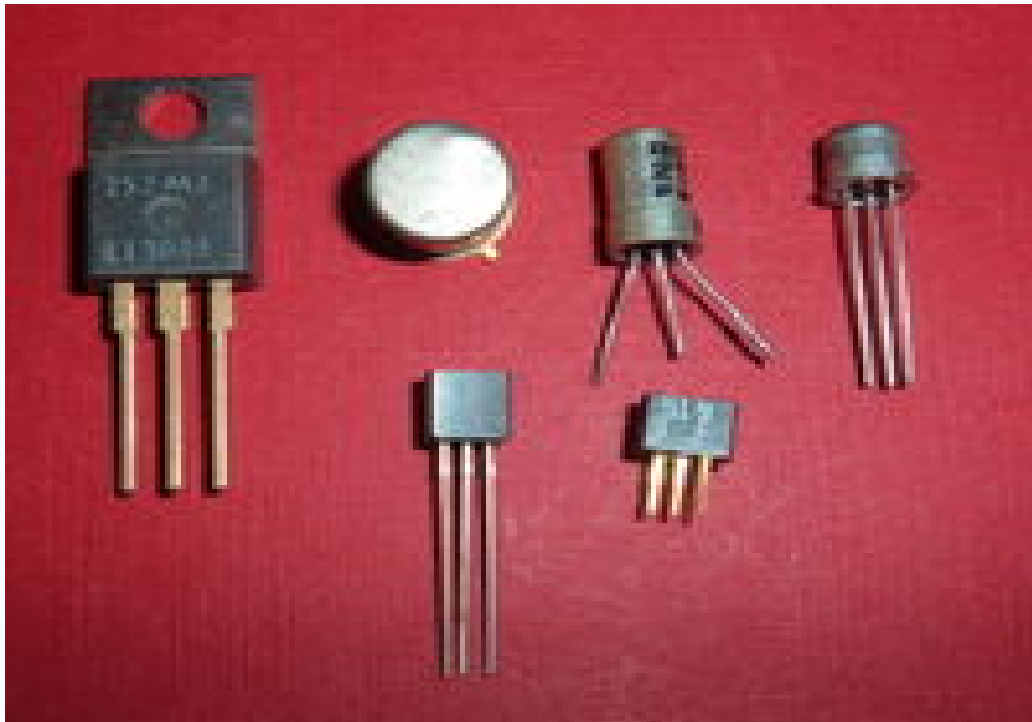
Β) Έχουν μια προεξοχή στο σώμα τους. Η προεξοχή αυτή δείχνει τον ακροδέκτη του εκπομπού, οπότε ο πιο μακρινός ακροδέκτης είναι ο συλλέκτης και στη μέση η βάση.

Γ) Στα τρανζίστορ ισχύος το μεταλλικό περίβλημα είναι πάντα ο συλλέκτης και οι δύο ακροδέκτες ο εκπομπός και η βάση. Αυτοί αν δε γράφουν τίποτα (συνήθως υπάρχουν τα σύμβολα E, B), μπορούμε με ένα ωμόμετρο να βρούμε τη βάση.

Το ωμόμετρο είναι όργανο που χρησιμοποιείται για την απ'ευθείας μέτρηση ωμικών αντιστάσεων . Το ιδιαίτερο χαρακτηριστικό του είναι ότι μέσα στο όργανο υπάρχει πάντα και μία ηλεκτρική πηγή (ξηρό στοιχείο) για την παραγωγή ρεύματος που θα περάσει μέσα από την προς μέτρηση αντίσταση . Πριν από κάθε μέτρηση πρέπει να γίνεται ο μηδενισμός του οργάνου .



Τρανζίστορ του εμπορίου και αναγνώριση ακροδεκτών



Διάφοροι τύποι τρανζίστορ

Το τρανζίστορ (transistor) είναι μία ημιαγωγική διάταξη στερεάς κατάστασης, που έχει διάφορες εφαρμογές στην ηλεκτρονική, μερικές εκ των οποίων είναι η ενίσχυση, η σταθεροποίηση τάσης, η διαμόρφωση συχνότητας, η λειτουργία ως διακόπτης και ως μεταβλητή ωμική αντίσταση. Το τρανζίστορ μπορεί, ανάλογα με την τάση με την οποία πολώνεται, να ρυθμίζει τη ροή του ρεύματος που απορροφά από συνδεδεμένη πηγή τάσης. Τα τρανζίστορ κατασκευάζονται είτε ως ξεχωριστά ηλεκτρονικά εξαρτήματα, είτε ως μέρη κάποιου ολοκληρωμένου κυκλώματος.

ΕΥΡΩΠΑΪΚΟΣ ΚΩΔΙΚΑΣ

Οι δίοδοι και τα τρανζίστορ χαρακτηρίζονται με κώδικα γραμμάτων και αριθμών σύμφωνα με αυτόν τον κώδικα. Το πρώτο γράμμα μας δίνει το υλικό κατασκευής του ημιαγωγού: A: Γερμάνιο ή άλλο υλικό με ενεργειακό χάσμα από 0,6 έως 1eV B: Πυρίτιο ή άλλο υλικό με ενεργειακό χάσμα από 1 μέχρι και 1,3eV C: Αρσενικούχο Γάλλιο πάνω από 1,3eV D: Αντιμονιούχο Ίνδιο ή άλλο υλικό με ενεργειακό χάσμα μικρότερο από 0,6eV R: Υλικά άλλων χημικών ενώσεων (π.χ. θειούχο κάδμιο)

Το δεύτερο γράμμα δείχνει τη βασική εφαρμογή που έχει ο ημιαγωγός:

A: Δίοδος μικρής ισχύος(διακόπτης,φωράτρια,μίκτρια) B: Δίοδος μεταβλητής χωρητικότητας(Varicap) C: Τρανζίστορ ακουστικών συχνοτήτων μικρής ισχύος D: Τρανζίστορ ακουστικών συχνοτήτων μεγάλης ισχύος E: Δίοδος Tunnel F: Τρανζίστορ υψηλών συχνοτήτων μικρής ισχύος L: Τρανζίστορ υψηλών συχνοτήτων μεγάλης ισχύος N: Φωτοζεύκτης(optocoupler) P: Φωτοτρανζίστορ Q: Δίοδος LED R: Ημιαγωγοί ελέγχου και διακόπτες μικρής ισχύος (Triac, Thyristor) S: Τρανζίστορ για εφαρμογές διακόπτη T: Ημιαγωγοί ελέγχου και διακόπτες μεγάλης ισχύος U: Τρανζίστορ ισχύος για εφαρμογές διακόπτη X: Δίοδος ειδικής χρήσης Y: Δίοδος ανόρθωσης Z: Δίοδος σταθεροποίησης τάσης Zener

Το τρίτο γράμμα, εάν υπάρχει, ακολουθείται από δύο αριθμούς και μας δείχνει ότι πρόκειται για ημιαγωγό που χρησιμοποιείτε σε βιομηχανικές και επαγγελματικές συσκευές. Το γράμμα αυτό είναι από τα τελευταία του αλφαβήτου(Z, Y, X, κ.λ.π.). Το γράμμα αυτό δεν έχει κάποια ιδιαίτερη σημασία. Εάν δεν υπάρχει τρίτο γράμμα αλλά μετά τα δυο γράμματα ακολουθούν τρεις αριθμοί οι ημιαγωγοί αυτοί χρησιμοποιούνται σε συσκευές γενικής χρήσης. Οι αριθμοί μας δείχνουν την σειρά

καταχώρησης του ημιαγωγού.

Παραδείγματα ημιαγωγών ευρωπαϊκού κώδικα:
BC547→Τρανζίστορ πυριτίου A.F(ακουστικής συχνότητας)
χαμηλής ισχύος CQ513→Δίοδος LED αρσενικούχου γαλλίου
(GaAs)

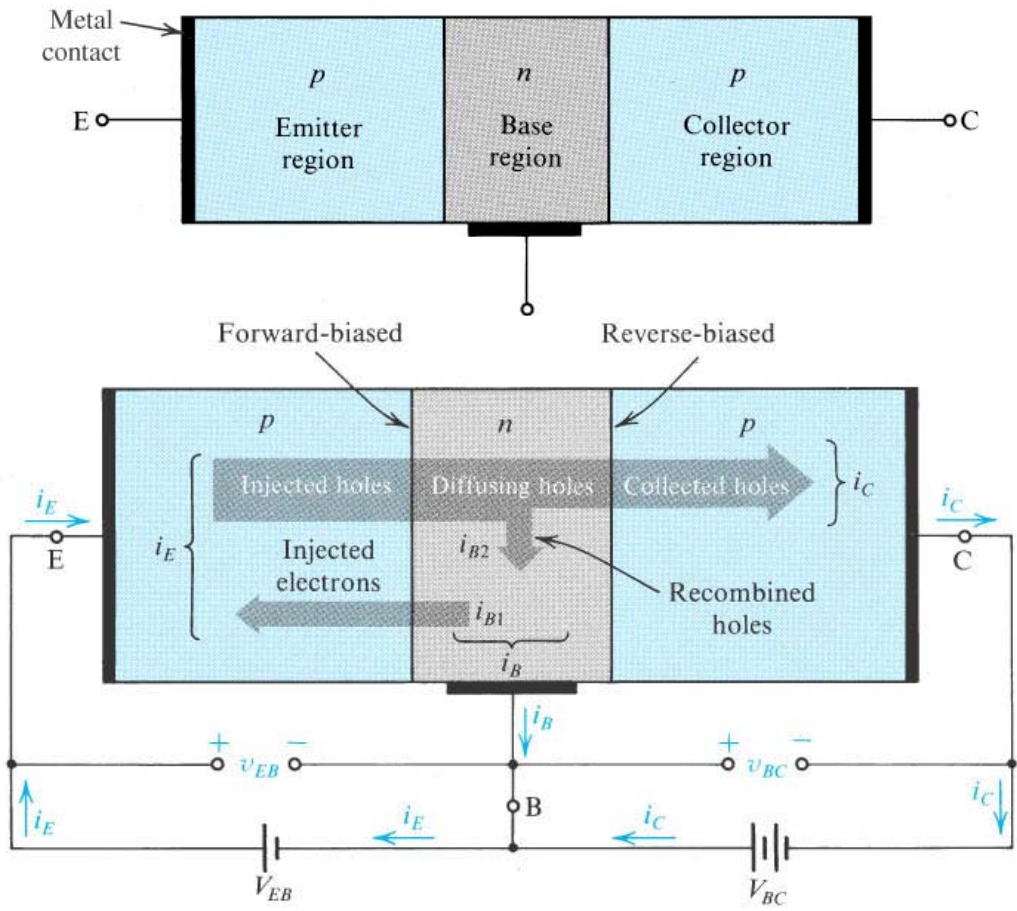
3.1.3 ΤΥΠΟΙ ΤΡΑΝΖΙΣΤΟΡ

α) Τρανζίστορ PNP

Η τάση πολώσεως εκπομπού – βάσεως προκαλεί κίνηση οπών από τον εκπομπό προς τη βάση . Οι περισσότερες οπές διαπερνούν την λεπτή βάση και εισέρχονται στην περιοχή του συλλέκτη και συμπληρώνονται από ηλεκτρόνια λόγω του αρνητικού δυναμικού του συλλέκτη . Τα ηλεκτρόνια στη συνέχεια διαπερνούν τη βάση και εισέρχονται στον εκπομπό και έλκονται υπό του θετικού δυναμικού στον συσσωρευτή . Κάθε ηλεκτρόνιο που εγκαταλείπει τον εκπομπό αφήνει πίσω του μία οπή . Όλες οι οπές κινούνται από τον εκπομπό προς τον συλλέκτη . Λίγες οπές οι οποίες μετακινήθηκαν από τον εκπομπό στη βάση συμπληρώνονται από ηλεκτρόνια τα οποία οφείλονται στο αρνητικό δυναμικό της βάσης . Το ρεύμα συλλέκτη εξαρτάται από την τάση πολώσεως εκπομπού – βάσεως . Αύξηση ή μείωση της τάσης αυτής συντελεί σε αύξηση ή μείωση του ρεύματος συλλέκτη .



Συμβολισμός τρανζίστορ pnp



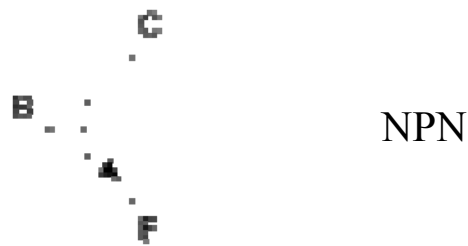
Τα ρεύματα του τρανζίστορ pnp στην ενεργό περιοχή.

β) Τρανζίστορ NPN

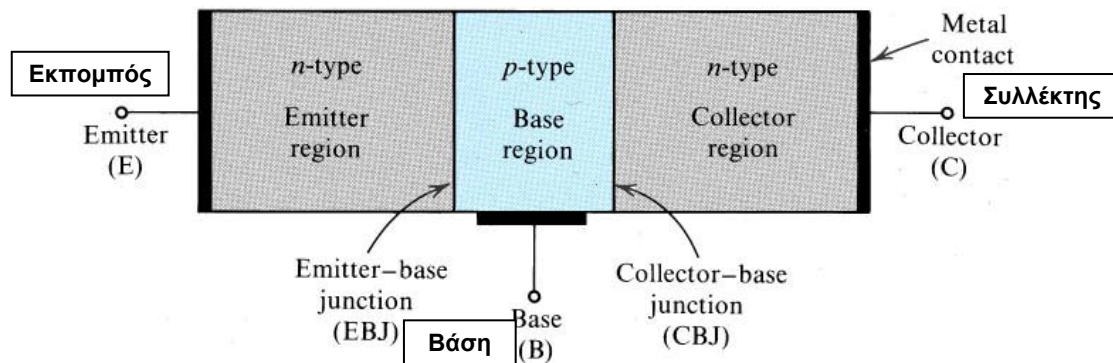
Η αρνητική τάση από τον εκπομπό αναγκάζει τα ηλεκτρόνια να κινηθούν προς την περιοχή της βάσεως. Η βάση είναι τόσο λεπτή ώστε τα ηλεκτρόνια λόγω της ταχύτητας διαπερνούν αυτή και εισέρχονται στην περιοχή του συλλέκτη. Έτσι το 95-99% των ηλεκτρονίων διαπερνούν την βάση προς τον συλλέκτη, ενώ το 1-5% αυτών έλκονται από την θετική τάση της βάσης, δημιουργώντας ένα μικρό ρεύμα βάσης. Τα ηλεκτρόνια από τον συλλέκτη έλκονται από το θετικό δυναμικό εις την πηγή, δημιουργώντας αυτό το ρεύμα συλλέκτη. Κάθε ηλεκτρόνιο εγκαταλείποντας τον συλλέκτη αφήνει πίσω του μια οπή. Αυτές οι οπές αναγκάζονται να κινηθούν σε αντίθετη διεύθυνση από την τάση του συλλέκτη. Έτσι διαπερνούν το λεπτό στρώμα της

βάσης και εισέρχονται στον εκπομπό . Για κάθε οπή που εισέρχεται στον εκπομπό αντιστοιχεί ένα ηλεκτρόνιο το οποίο αναχωρεί από τον εκπομπό με κατεύθυνση τον συλλέκτη .

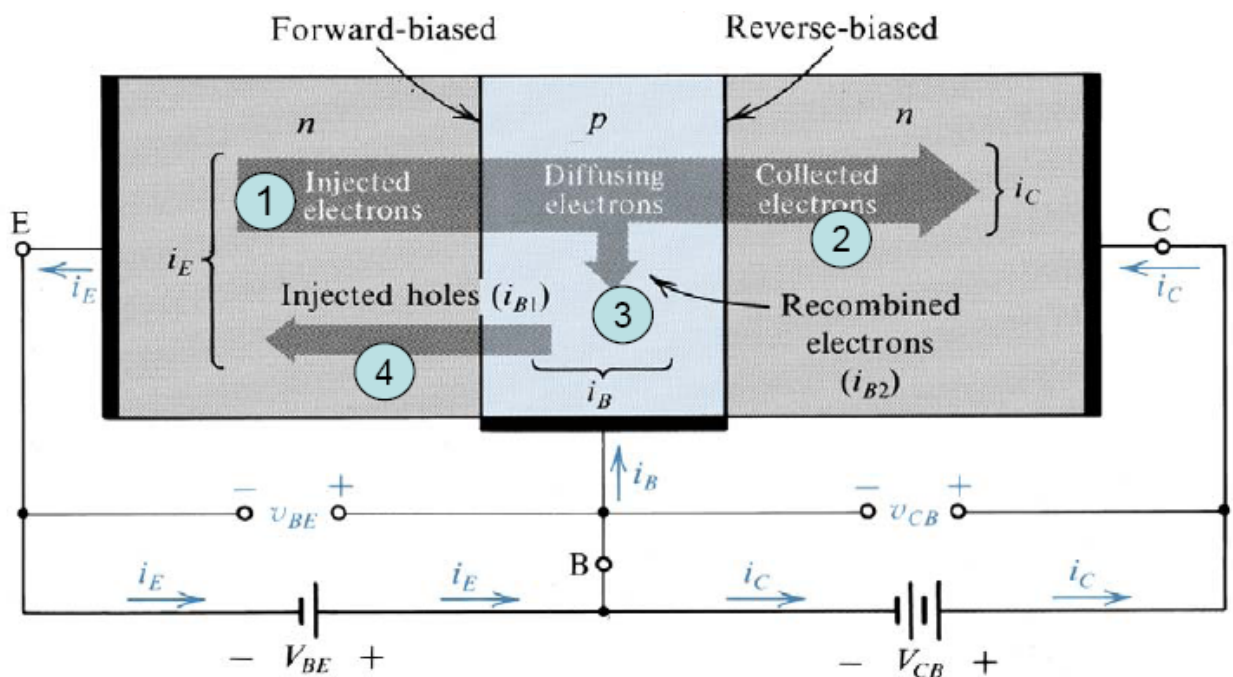
Η ορθή πόλωση εκπομπού – βάσεως ελέγχει το ποσό του ρεύματος του συλλέκτη . Για αυξομειώσεις της τάσης V_{BE} έχουμε αντίστοιχη αυξομείωση του ρεύματος I_c .



Συμβολισμός τρανζίστορ npn

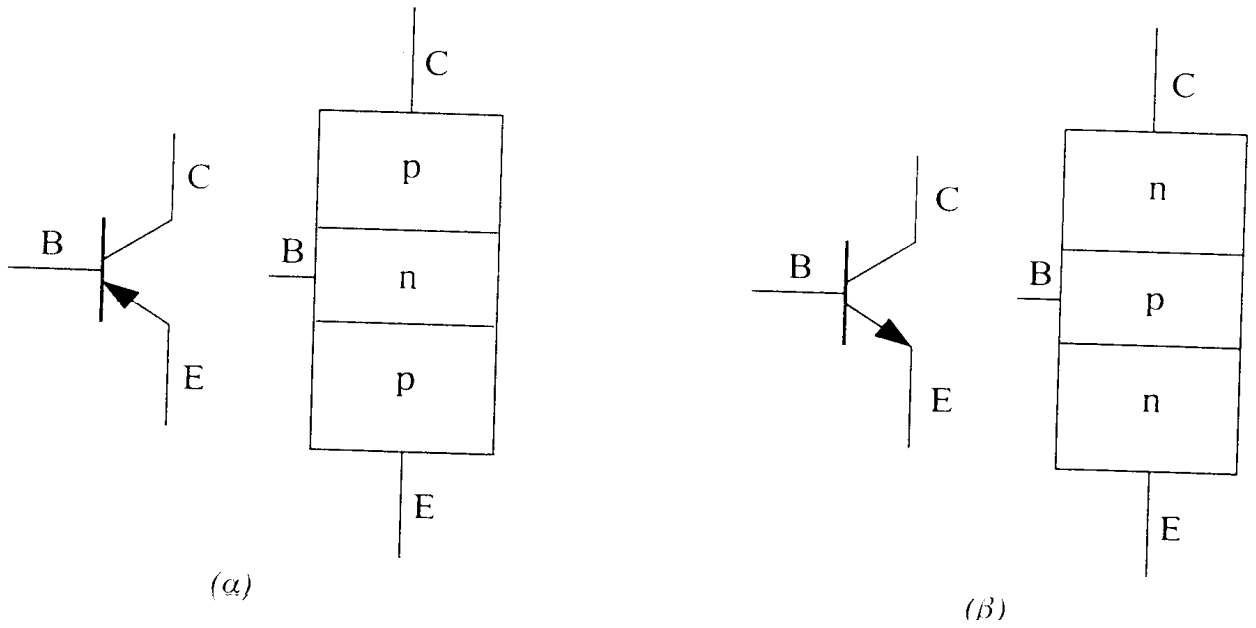


Σχηματική παράσταση του τρανζίστορ npn



Το τρανζίστορ ηρη στην ενεργό περιοχή

Άρα η μόνη διαφορά μεταξύ NPN και PNP τρανζίστορς είναι στην φορά του ρεύματος, το οποίο ρέει από τον συλλέκτη στον εκπομπό στα PNP και από τον εκπομπό στον συλλέκτη στα NPN.



α) Τρανζίστορ pnp και συμβολισμός. β) Τρανζίστορ npn και συμβολισμός.

3.2 ΤΙ ΔΟΥΛΕΙΑ ΚΑΝΕΙ ΤΟ ΖΕΥΓΟΣ DARLINGTON

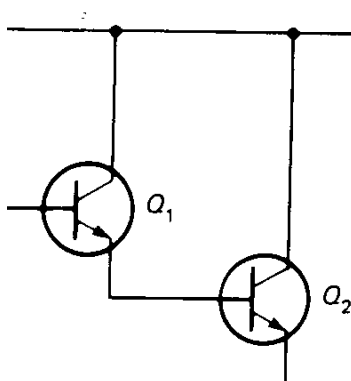
Ένα ζεύγος Darlington είναι δύο τρανζίστορ συνδεδεμένα μαζί για να δώσουμε ένα πολύ υψηλό κέρδος . Το συνολικό τρέχον κέρδος είναι ίσο με τα δύο επιμέρους κέρδη πολλαπλασιάζονται μαζί .

Αυτό δίνει το ζεύγος Darlington , ένα πολύ υψηλό σημερινό κέρδος , όπως το 10000 , έτσι ώστε μόνο ένα μικροσκοπικό βάσης ρεύμα που απαιτείται για να κάνουν το ζευγάρι που ενεργοποιείτε .

Ένα ζεύγος Darlington συμπεριφέρεται σαν ένα ενιαίο τρανζίστορ με πολύ υψηλό κέρδος .

Darlington ζεύγη είναι διαθέσιμες ως πλήρη πακέτα , αλλά μπορείτε να δημιουργήσετε το δικό σας από δύο τρανζίστορ , TR1 μπορεί να είναι ένα είδος χαμηλής ισχύος , αλλά TR2 κανονικά θα πρέπει να είναι υψηλής ισχύος . Η μέγιστη συλλέκτη τρέχουσα $\Theta_{\gamma} (\max)$ για το ζεύγος είναι το ίδιο με $\Theta_{\gamma} (\max)$ για το TR2 .

Ένα ζεύγος Darlington είναι αρκετά ευαίσθητο . Για αυτό το κύκλωμα που μόλις ανάβει μια λυχνία τα δύο τρανζίστορ μπορεί να είναι οποιουδήποτε γενικού σκοπού χαμηλής ισχύος τρανζίστορ . Η 100 K Ω αντίσταση προστατεύει το τρανζίστορ αν οι επαφές αυτές συνδέονται με ένα κομμάτι σύρμα . Στην είσοδο έχουμε χαμηλή ωμική αντίσταση , ενώ στην έξοδο έχουμε υψηλή ωμική αντίσταση .



Ζεύγος Darlington.

3.3 ΘΕΩΡΙΑ ΓΙΑ ΠΥΚΝΩΤΕΣ,ΑΝΤΙΣΤΑΣΕΙΣ,ΔΙΟΔΟΥΣ

Στην κατασκευή μας έχουμε έξι αντιστάσεις . Έχουμε τρεις αντιστάσεις των 10 ΚΩ , μία αντίσταση των 47 ΚΩ , μία αντίσταση των 33 ΚΩ και μία αντίσταση των 100 ΚΩ που λειτουργεί ως γραμμικό ποτενσιόμετρο και ρυθμίζει την ταχύτητα .

Επίσης έχουμε δύο πυκνωτές . Και οι δύο πυκνωτές είναι 0,33 μF πολυεστέρα . Ο C₂ λειτουργεί ως ανάδραση και ασφαλίζει σταθερότητα στο κύκλωμα .

Πριν την έξοδο έχουμε μία δίοδο 10 D4 ή αντίστοιχη .

3.4 ΚΩΔΙΚΑΣ ΧΡΩΜΑΤΩΝ ΑΝΤΙΣΤΑΣΕΩΝ

Οι αντιστάσεις σταθερής τιμής είναι διαφόρων τύπων . Εδώ θα ασχοληθούμε με τις αντιστάσεις χρωμάτων .

Οι τιμές των αντιστάσεων αυτών συμβολίζονται με διάφορα χρώματα στο σώμα τους .

Υπάρχουν τέσσερις ζώνες με τα χρώματα προς την μία μεριά της αντίστασης . Η πρώτη ζώνη από τα αριστερά αντιστοιχεί στις δεκάδες (πρώτο ψηφίο) , η δεύτερη στις μονάδες (δεύτερο ψηφίο) , η τρίτη ζώνη δίνει τον αριθμό των μηδενικών τα οποία ακολουθούν τα δύο πρώτα ψηφία και η τέταρτη αντιστοιχεί στην ανοχή (επί τοις εκατό) της τιμής της αντίστασης . Όταν δεν υπάρχει το χρώμα της τέταρτης ζώνης η ανοχή της τιμής της αντίστασης είναι $\pm 20\%$.

Π.χ. όταν μία αντίσταση έχει στην πρώτη ζώνη καφέ χρώμα στην δεύτερη μαύρο , στην τρίτη πορτοκαλί και στην τέταρτη ασημί , τότε σύμφωνα με τον κώδικα χρωμάτων του πίνακα που ακολουθεί , η αντίσταση αυτή έχει τιμή 10.000 Ω και ανοχή $\pm 10\%$.

ΚΩΔΙΚΑΣ ΧΡΩΜΑΤΩΝ - ΑΝΟΧΗ

ΧΡΩΜΑ	ΤΙΜΗ	ΧΡΩΜΑ	ΤΙΜΗ
ΜΑΥΡΟ	0	ΧΡΥΣΑΦΙ	$\pm 5 \%$
ΚΑΦΕ	1	ΑΣΗΜΙ	$\pm 10 \%$
ΚΟΚΚΙΝΟ	2	ΚΑΦΕ	$\pm 1 \%$
ΠΟΡΤΟΚΑΛΙ	3	ΚΟΚΚΙΝΟ	$\pm 2 \%$
ΚΙΤΡΙΝΟ	4	ΧΩΡΙΣ ΧΡΩΜΑ	$\pm 20 \%$
ΠΡΑΣΙΝΟ	5		
ΜΠΛΕ	6		
ΜΩΒ	7		
ΓΚΡΙ	8		
ΛΕΥΚΟ	9		

Πίνακας 1. Αντιστοιχία χρωμάτων και τιμών στον κώδικα χρωμάτων

3.5 ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Η βιβλιογραφία που χρησιμοποιήσαμε είναι η εξής :

1. Διάφορα αντικείμενα για έλεγχο ταχύτητας από το διαδίκτυο : Speed Controllers , www.en.wikipedia.org .
2. Παρόμοιες εφαρμογές από το εργαστήριο ηλεκτρισμού στο Imperial College .
3. Το βιβλίο με τίτλο Ηλεκτρονικές Κατασκευές του Δ. Τζεβελέκη .
4. Το βιβλίο με τίτλο Ηλεκτρισμός του Θ. Παπαευθυμίου των εκδόσεων ορόσημο .

