

Κεφάλαιο Ένα: Διπολικά Transistor

1.1 Εισαγωγή

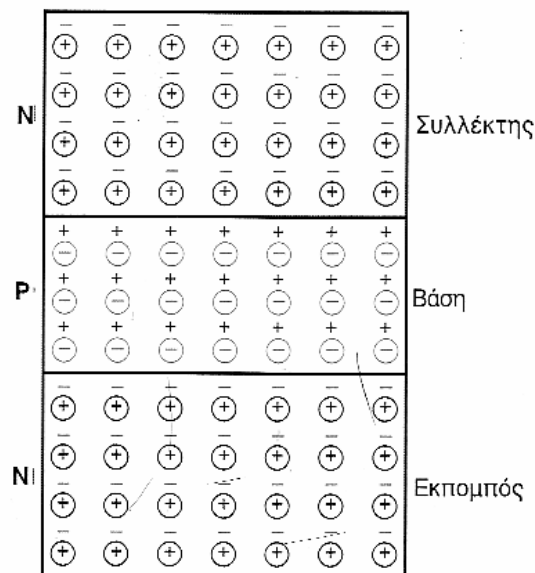
Το 1951 ο William Shockley εφεύρε το πρώτο transistor επαφής, μια ημιαγωγική διάταξη η οποία μπορεί να ενισχύσει ηλεκτρονικά σήματα, όπως ραδιοφωνικά και τηλεοπτικά σήματα.

Το ολοκληρωμένο κύκλωμα (IC) είναι συνέπεια της εφεύρεσης του transistor μια και είναι μια μικρή διάταξη που περιέχει χιλιάδες transistor. Χάρη στο IC είναι δυνατή η κατασκευή σύγχρονων υπολογιστών και άλλων ηλεκτρονικών θαυμάτων.

Το κεφάλαιο αυτό αναλύει την λειτουργία των διπολικών transistor . Η ονομασία διπολικό οφείλεται στις δυο πολικότητες που πρέπει να εφαρμοστούν για να μπορεί να λειτουργήσει.

1.2 Transistor χωρίς πόλωση

Το transistor αποτελείται από τρεις περιοχές προσμείξεων όπως απεικονίζεται στο σχήμα 1 (Ηλεκτρονική Malvino-6^η Έκδοση).



Σχήμα 1: Το διπολικό τρανζίστορ npn

Η κάτω περιοχή ονομάζεται εκπομπός, η μεσαία βάση και η άνω περιοχή ονομάζεται συλλέκτης.

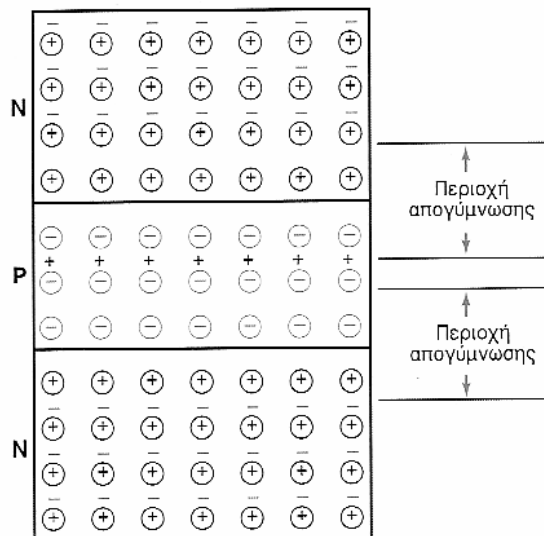
*Θεωρητικό Μέρος
Διπολικά Transistor*

Το εικονιζόμενο transistor είναι τύπου npn μια και παρεμβάλλεται μια περιοχή p (φορείς πλειονότητας οπές) – βάση, ανάμεσα στις δυο περιοχές τύπου n (φορείς πλειονότητας ελεύθερα ηλεκτρόνια) –του εκπομπού και του συλλέκτη αντίστοιχα. Υπάρχουν και transistor τύπου pnp αλλά σε αυτή την ανάλυση θα μιλάμε μόνο για transistor τύπου npn.

Στο transistor που απεικονίζεται στο σχήμα 1 η περιοχή του εκπομπού είναι έντονα εμπλουτισμένη, η περιοχή της βάσης είναι ελαφρώς εμπλουτισμένη ενώ στην περιοχή του συλλέκτη η στάθμη εμπλουτισμού βρίσκεται σε ενδιάμεσο επίπεδο συγκριτικά με τις στάθμες εμπλουτισμού των άλλων δυο περιοχών. Από άποψη φυσικών διαστάσεων ο συλλέκτης αποτελεί την μεγαλύτερη από τις τρεις περιοχές.

Το απεικονιζόμενο transistor έχει 2 επαφές: μια μεταξύ του εκπομπού και της βάσης και μια άλλη μεταξύ της βάσης και του συλλέκτη. Έτσι ένα transistor μοιάζει ότι αποτελείται από δυο διόδους. Η χαμηλότερη diόδος ονομάζεται diόδος εκπομπού βάσης, ή απλώς diόδος εκπομπού. Η υψηλότερη diόδος ονομάζεται diόδος συλλέκτη βάσης ή diόδος συλλέκτη.

Στο σχήμα 2 (*Ηλεκτρονική Malvino-6^η Έκδοση*), τα ελεύθερα ηλεκτρόνια στην περιοχή n διαχέονται στα άκρα της επαφής και ανασυζευγνύονται με τις οπές της βάσης (περιοχή p). Σαν αποτέλεσμα της κίνησης αυτής των ελευθέρων ηλεκτρονίων είναι η δημιουργία 2 περιοχών απογύμνωσης όπως φαίνεται στο σχήμα 2.



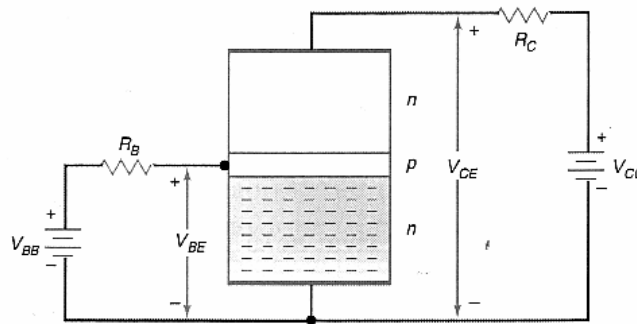
Σχήμα 2: Περιοχές απογύμνωσης του transistor npn

Για κάθε περιοχή απογύμνωσης το φράγμα δυναμικού είναι περίπου 0.7V στους 25°C σε ένα transistor πυριτίου.

1.3 Το πολωμένο transistor

Όταν το transistor συνδεθεί με εξωτερικές πηγές τάσης συλλέγουμε μερικά νέα και μη αναμενόμενα αποτελέσματα.

Το σχήμα 3 (Ηλεκτρονική Malvino-6^η Έκδοση) απεικονίζει ένα ορθά πολωμένο transistor.



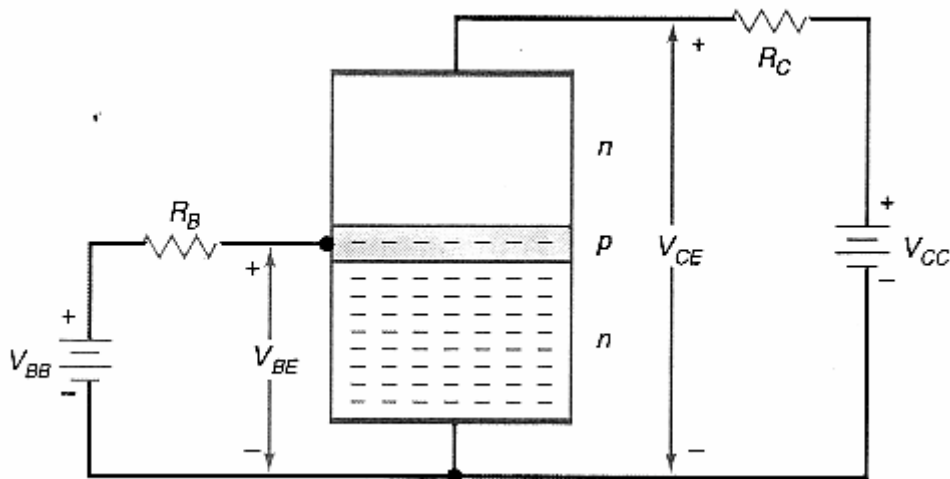
Σχήμα 3: Ένα ορθά πολωμένο transistor

Τα μείον συμβολίζει τα ελεύθερα ηλεκτρόνια. Ο εκπομπός είναι η πιο έντονα εμπλουτισμένη περιοχή μια και σκοπός του είναι να εισάγει τα ελεύθερα ηλεκτρόνια του στην περιοχή της βάσης. Η βάση είναι η λιγότερη εμπλουτισμένη περιοχή και η πιο μικρή γεωμετρικά. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα να επιτρέπει την διέλευση των περισσότερων ηλεκτρονίων που εκπέμπονται από τον εκπομπό προς τον συλλέκτη. Ο τελευταίος ονομάζεται έτσι επειδή συλλέγει τα ηλεκτρόνια από την βάση.

Ο τρόπος πόλωσης του transistor του σχήματος 3 είναι ο πιο συνήθης προκειμένου να πολώσουμε ένα transistor. Η πηγή V_{BB} πολώνει ορθά την δίοδο εκπομπού ενώ η δεξιά πηγή πολώνει, V_{CC} , πολώνει ανάστροφα τη δίοδο συλλέκτη.

Όταν εφαρμόζεται ορθή πόλωση στην δίοδο εκπομπού, τα ηλεκτρόνια του εκπομπού δεν έχουν εισέλθει ακόμα στην περιοχή της βάσης. Αν η V_{BB} είναι μεγαλύτερη από το φράγμα δυναμικού τα ηλεκτρόνια από τον εκπομπό θα εισέλθουν στην περιοχή της βάσης όπως φαίνεται στο σχήμα 4 (Ηλεκτρονική Malvino-6^η Έκδοση).

Θεωρητικό Μέρος
Διπολικά Transistor

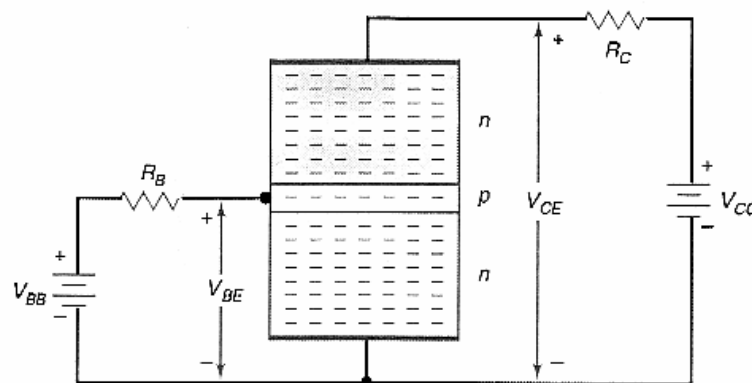


Σχήμα 4: Κίνηση ελεύθερων ηλεκτρονίων σε ένα ορθά πολωμένο transistor

Τα ηλεκτρόνια αυτά μπορούν να κινηθούν προς δυο κατευθύνσεις. Η μία είναι προς τα αριστερά και μέσω της R_B προς το θετικό άκρο της πηγής. Η δεύτερη είναι προς τον συλλέκτη.

Τα περισσότερα ηλεκτρόνια θα συνεχίσουν την πορεία τους προς τον συλλέκτη. Αυτό γιατί στην περιοχή της βάσης τα ελεύθερα ηλεκτρόνια έχουν μεγάλο χρόνο ζωής και βρίσκονται πολύ κοντά στον συλλέκτη. Ελάχιστα μονάχα ηλεκτρόνια θα επανενωθούν με τις οπές της βάσης και στην συνέχεια ως ηλεκτρόνια σθένους θα κινηθούν μέσω της αντίστασης βάσης προς την θετική πλευρά της τροφοδοσίας V_{BB} .

Όπως απεικονίζεται στο σχήμα 5 (Ηλεκτρονική Malvino-6^η Έκδοση) όλα τα ελεύθερα ηλεκτρόνια καταλήγουν στον συλλέκτη.



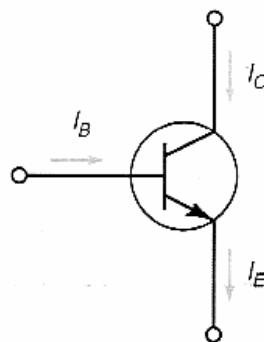
Σχήμα 5: Κίνηση ελεύθερων ηλεκτρονίων σε ένα ορθά πολωμένο transistor

Μόλις τα ελεύθερα ηλεκτρόνια βρεθούν στην περιοχή του συλλέκτη υπόκεινται στην έλξη του θετικού πόλου της πηγής πόλωσης V_{CC} . Τα ελεύθερα ηλεκτρόνια

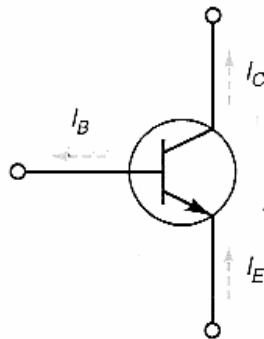
συνεχίζουν την πορεία τους μέσω της αντίστασης R_C ώσπου να φθάσουν στο θετικό άκρο της τάσης τροφοδοσίας του συλλέκτη.

1.4 Ρεύματα transistor

Το σχήμα 6 (Ηλεκτρονική Malvino-6^η Έκδοση) απεικονίζει το κυκλωματικό ισοδύναμο ενός transistor. Όπως απεικονίζεται υπάρχουν τρία ρεύματα στο transistor. Αυτά είναι: Το ρεύμα εκπομπού (I_E), το ρεύμα βάσης (I_B) και το ρεύμα συλλέκτη (I_C).



(α)



(β)

Σχήμα 6: Τα τρία ρεύματα που διαρρέουν ένα ορθά πολωμένο transistor κατά την συμβατική φορά και κατά την πραγματική φορά.

Σε ένα transistor το ρεύμα του εκπομπού είναι περίπου ίσο με το ρεύμα του συλλέκτη, δηλαδή $I_E \approx I_C$. Γιατί; (Απαντήστε). Το ρεύμα της βάσης είναι περίπου ίσο με το 1% του ρεύματος συλλέκτη.

Παράμετροι που χαρακτηρίζουν ένα transistor είναι η παράμετρος άλφα και η παράμετρος βήτα.

Η παράμετρος α ορίζεται από την σχέση:

$$\alpha_{dc} = \frac{I_C}{I_E}$$

Επίσης η παράμετρος β ορίζεται από τη σχέση:

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

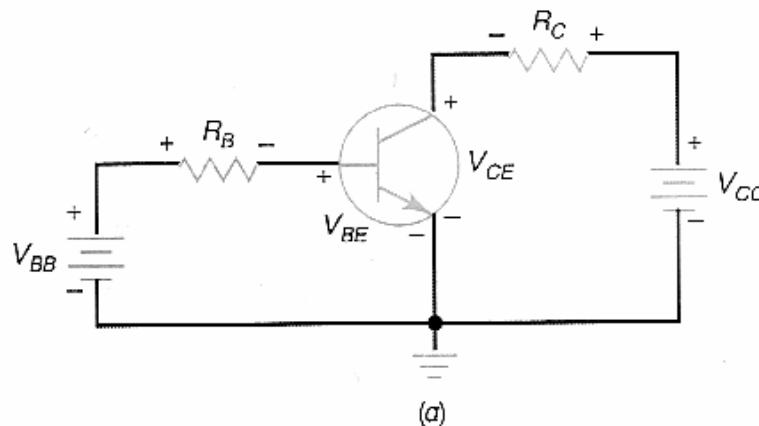
Η τυπική τιμή του α_{dc} είναι περίπου ίση από 0.95 έως 0.99. Το β_{dc} είναι γνωστό ως κέρδος ρεύματος επειδή το μικρό ρεύμα βάσης δημιουργεί ένα πολύ μεγαλύτερο ρεύμα συλλέκτη. Για τα transistor χαμηλής ισχύος ($> 1W$), το κέρδος ρεύματος είναι συνήθως από 100 έως 300 ενώ για ένα transistor υψηλής ισχύος είναι ίσο από 20 έως 100.

1.5 Σύνδεση κοινού εκπομπού (CE)

Υπάρχουν τρεις βασικές συνδεσμολογίες ενός transistor. Αυτές είναι:

- Με κοινό εκπομπού (CE)
- Με κοινό συλλέκτη (CC)
- Με κοινή βάση (CB)

Στο σχήμα 7 (Ηλεκτρονική Malvino-6^η Έκδοση) απεικονίζεται η συνδεσμολογία του κοινού εκπομπού. Ονομάζεται έτσι διότι η γείωση κάθε πηγής τάσης είναι συνδεδεμένη με τον εκπομπού.



Σχήμα 7: Συνδεσμολογία κοινού εκπομπού CE

*Θεωρητικό Μέρος
Διπολικά Transistor*

Στο σχήμα 7 η πηγή V_{BB} πολώνει ορθά την δίοδο εκπομπού, με την R_B να χρησιμοποιείται σαν αντίσταση περιορισμού ρεύματος. Μεταβάλλοντας την R_B ή την V_{BB} μπορούμε να μεταβάλλουμε το ρεύμα βάσης. Αυτό έχει σαν επακόλουθο να μεταβληθεί και το ρεύμα συλλέκτη. Με άλλα λόγια το ρεύμα βάσης ελέγχει το ρεύμα συλλέκτη. Η τελευταία παρατήρηση είναι πολύ σημαντική διότι ένα πολύ μικρό ρεύμα (βάση) μπορεί να ελέγχει ένα μεγάλο (συλλέκτη).

Επίσης όπως φαίνεται στο ίδιο σχήμα η V_{CC} πολώνει ανάστροφα την δίοδο συλλέκτη μέσω της αντίστασης R_C . Ο συλλέκτης πρέπει να είναι ανάστροφα πολωμένος για να συλλέγει τα ελεύθερα ηλεκτρόνια που διαπερνούν την βάση και εκπέμπονται από τον εκπομπό. Η ροή του ρεύματος βάσης δημιουργεί τάση στα άκρα της αντίστασης βάσης R_B με την πολικότητα που παρουσιάζεται. Παρομοίως η ροή του ρεύματος συλλέκτη δημιουργεί τάση στα άκρα της αντίστασης βάσης R_C με την πολικότητα που απεικονίζεται στο σχήμα 7.

Από το κύκλωμα του σχήματος 7 είναι εύκολο να εξαχθούν οι παρακάτω σχέσεις :

$$V_{CE} = V_C - V_E$$

$$V_{CB} = V_C - V_B$$

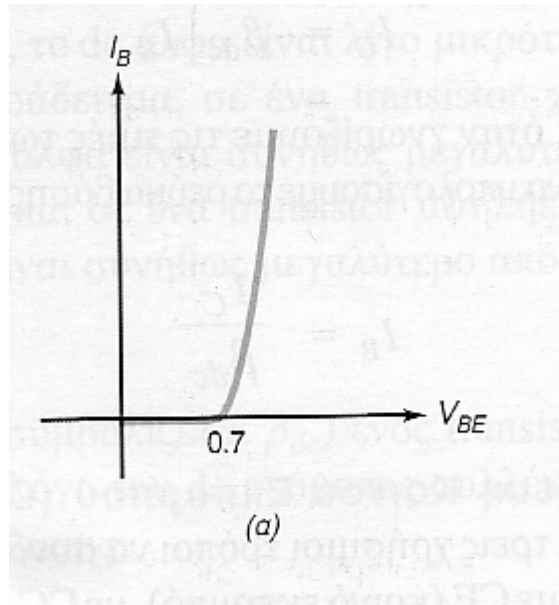
$$V_{BE} = V_B - V_E$$

1.6 Η καμπύλη Βάσης

Αν εφαρμόσουμε τον νόμο του Ohm στην αντίσταση της βάσης έχουμε:

$$I_B = \frac{V_{BB} - V_{BE}}{R_B}$$

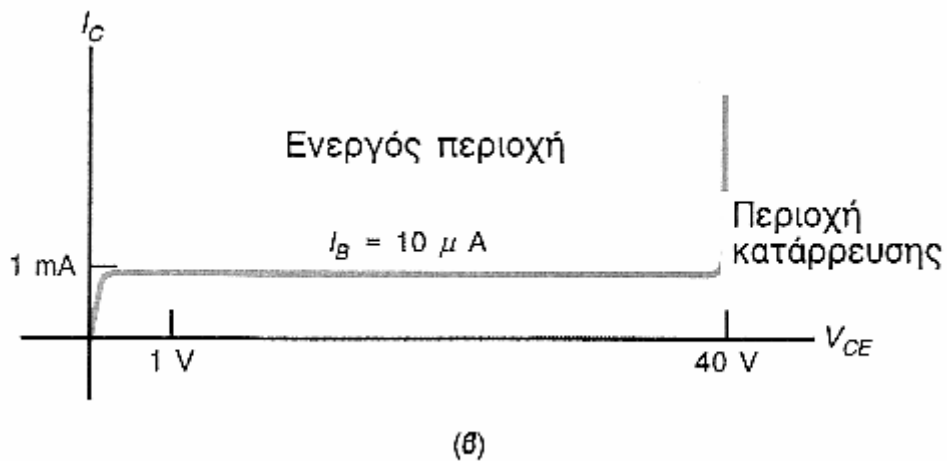
Όπου το $V_{BE} = 0.7$ Volt. Η γραφική παράσταση της I_B με την V_{BE} απεικονίζεται στο σχήμα 8 (Ηλεκτρονική Malvino-6^η Έκδοση):



Σχήμα 8: Ρεύμα βάσης transistor ως προς την τάση βάσης – εκπομπού

1.7 Καμπύλες Συλλέκτη

Έστω ότι μεταβάλλουμε την V_{BB} με τέτοιο τρόπο ώστε το ρεύμα στην βάση να πάρει την τιμή $10 \mu A$. Τότε μπορούμε να μεταβάλλουμε την V_{CC} και να μετρήσουμε τις τιμές των I_C και V_{CE} . Η γραφική παράσταση του V_{CE} vs I_C είναι η παρακάτω (Ηλεκτρονική Malvino-6^η Έκδοση).



Σχήμα 9: Ρεύμα συλλέκτη ως προς την τάση συλλέκτη εκπομπού

Από την γραφική παράσταση του σχήματος 9 μπορούν να εξαχθούν τα παρακάτω συμπεράσματα:

Θεωρητικό Μέρος
Διπολικά Transistor

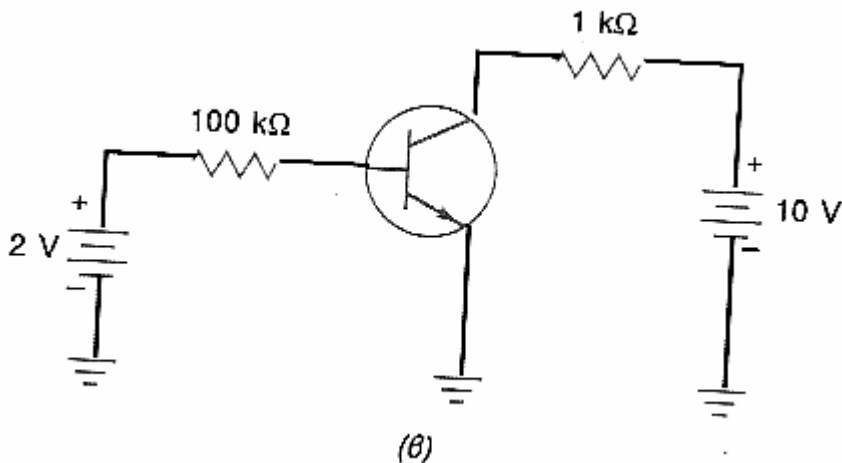
- Όταν $V_{CE} = 0$ Volt η δίοδος συλλέκτη δεν είναι ανάστροφα πολωμένη με αποτέλεσμα να το ρεύμα συλλέκτη I_C να ισούται με μηδέν.
- Όταν η V_{CE} αυξηθεί από το μηδέν, το ρεύμα συλλέκτη αυξάνεται απότομα.
- Όταν η V_{CE} φθάσει μερικά δέκατα του Volt, το ρεύμα συλλέκτη γίνεται σχεδόν σταθερό και ισούται με 1 mA.

Για ποιο όμως λόγο το ρεύμα του συλλέκτη παραμένει σταθερό (ενεργός περιοχή) στην ενεργό περιοχή παρόλο που η V_{CE} αυξάνεται; Αυτό συμβαίνει διότι το ρεύμα συλλέκτη εξαρτάται μονάχα από τα ελεύθερα ηλεκτρόνια που εκχύνει ο εκπομπός στην βάση. Ο αριθμός αυτός των ηλεκτρονίων εξαρτάται μόνο από το κύκλωμα της βάσης και όχι από το κύκλωμα του συλλέκτη. Για αυτό το λόγο το ρεύμα του συλλέκτη είναι σταθερό για μια περιοχή τάσεων της V_{CE} ($1V < V_{CE} < 40V$).

Στην περιοχή όπου η V_{CE} είναι μεγαλύτερη από τα 40 Volts, η δίοδος συλλέκτη καταρρέει και το transistor δεν λειτουργεί κανονικά. Η περιοχή αυτή ονομάζεται περιοχή κατάρρευσης. Αν το transistor καταρρεύσει, θα καταστραφεί.

Παράδειγμα 1

Χρησιμοποιώντας το κύκλωμα του παρακάτω σχήματος υπολογίστε το ρεύμα βάσης. Ποια είναι η τάση της αντίστασης βάσης; Ποιο είναι το ρεύμα συλλέκτη αν β_{dc} είναι 200; (Βασική Ηλεκτρονική Malvino-4^η Έκδοση)



Λύση

*Θεωρητικό Μέρος
Διπολικά Transistor*

Η τάση της πηγής της βάση είναι ίση με 2V. Η τελευταία πολώνει ορθά την δίοδο εκπομπού μέσω της αντίστασης περιορισμού ρεύματος των 100 kΩ. Αφού η δίοδος εκπομπού έχει 0.7 Volts στα άκρα της τότε η τάση στα άκρα της αντίστασης είναι ίση με:

$$V_B = V_{BB} - V_{BE} = 2 - 0.7 = 1.3Volt$$

Το ρεύμα μέσω της αντίστασης βάσης είναι

$$I_B = \frac{V_{BB} - V_{BE}}{R_B} = \frac{1.3V}{100k\Omega} = 13\mu A$$

Με κέρδος ρεύματος 200, το ρεύμα του συλλέκτη είναι:

$$I_C = \beta_{dc} I_B = (200)(13) = 2.6mA$$

Εφαρμόζοντας τον 2^ο κανόνα του Kirchhoff στο κύκλωμα του συλλέκτη έχουμε ότι:

$$V_{CE} = V_{CC} - I_C R_C$$

Η ισχύς που καταναλώνεται από το transistor είναι ίση με:

$$P_D = V_{CE} I_C$$

Η ισχύς αυτή αυξάνει την θερμοκρασία επαφής της διόδου συλλέκτη. Όσο υψηλότερη είναι η ισχύς, τόσο υψηλότερη είναι και η θερμοκρασία επαφής. Τα transistors καίγονται όταν η θερμοκρασία επαφής είναι μεταξύ 150 και 200 °C. Η κατανάλωση ισχύος πάνω σε ένα transistor πρέπει να είναι μικρότερη από μια μέγιστη τιμή που αναγράφεται στο φυλλάδιο προδιαγραφών του κατασκευαστή.

Κοιτώντας την καμπύλη του σχήματος 9 παρατηρούμε ότι το transistor έχει τρεις περιοχές λειτουργίας.

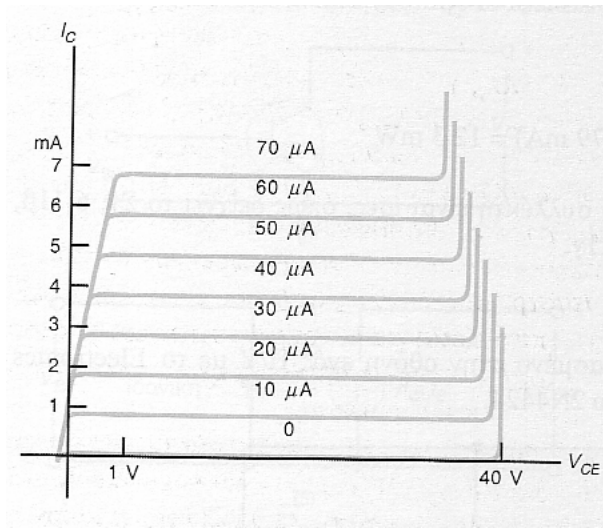
Πρώτον υπάρχει η περιοχή που το ρεύμα του συλλέκτη είναι σταθερό ενώ η V_{CE} κυμαίνεται μεταξύ 1 και 40 V. Η περιοχή αυτή ονομάζεται ενεργός περιοχή. Σε αυτήν την περιοχή η επαφή του εκπομπού είναι ορθά πολωμένη και η επαφή του συλλέκτη είναι ανάστροφα.

Θεωρητικό Μέρος Διπολικά Transistor

Μια άλλη περιοχή λειτουργίας είναι η περιοχή κατάρρευσης. Το transistor δεν πρέπει να λειτουργεί στην περιοχή αυτή.

Τρίτον, υπάρχει το τμήμα ανύψωσης της καμπύλης, όπου η V_{CE} είναι μεταξύ 0V και μερικών δέκατων του Volt. Η περιοχή αυτή ονομάζεται περιοχή του κόρου. Σε αυτή την περιοχή η δίοδος συλλέκτη έχει ανεπαρκή θετική τάση ώστε να συλλέξει όλα τα ελεύθερα ηλεκτρόνια που εκχύνονται στην βάση από τον εκπομπό. Στην περιοχή αυτή, το ρεύμα βάσης I_B είναι μεγαλύτερο από το κανονικό και το κέρδος ρεύματος β_{dc} είναι μικρότερο από το κανονικό.

Στο σχήμα 10 (Ηλεκτρονική Malvino-6^η Έκδοση) απεικονίζεται μια ομάδα καμπυλών του ρεύματος I_C vs V_{CE} για διάφορες τιμές του ρεύματος βάσης.



Σχήμα 10: Ρεύμα συλλέκτη ως προς την τάση συλλέκτη εκπομπού για διάφορες τιμές του ρεύματος βάσης

Προηγουμένως αναφέραμε τις τρεις περιοχές λειτουργίας του transistor. Στην πραγματικότητα υπάρχει και μια τέταρτη περιοχή που ονομάζεται περιοχή αποκοπής όπου το ρεύμα βάσης είναι μηδέν. Το ρεύμα συλλέκτη δεν είναι απολύτως μηδέν αλλά είναι πολύ μικρό της τάξης των μερικών nA και για αυτό το λόγο το αγνοούμε στους υπολογισμούς μας.

Ανακεφαλαιώνοντας είδαμε ότι στο transistor έχουμε 4 περιοχές λειτουργίας. Οι περιοχές αυτές και ο σκοπός τους είναι:

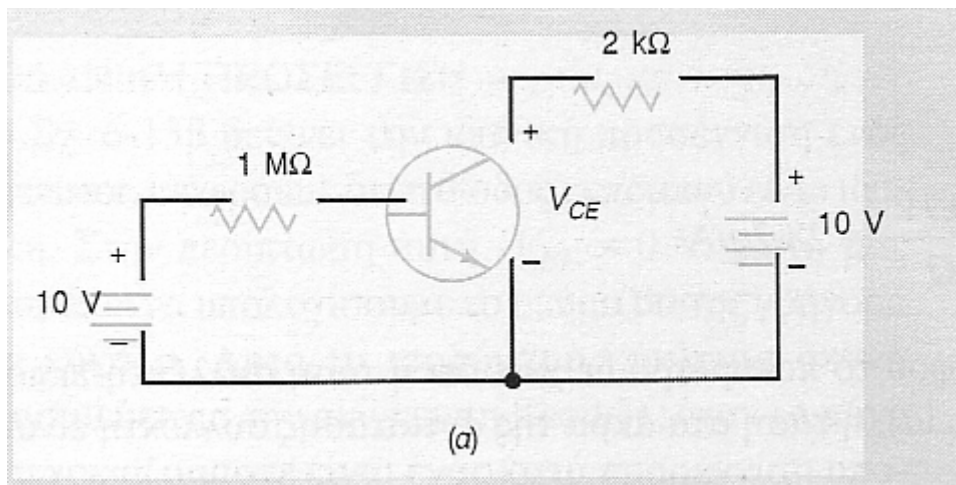
- **Ενεργός Περιοχή:** Τα transistors λειτουργούν στην ενεργό περιοχή όταν χρησιμοποιούνται σαν ενισχυτές σε κυκλώματα τα οποία ενισχύουν ασθενή σήματα. Τα κυκλώματα αυτά ονομάζονται γραμμικά κυκλώματα για τον λόγο ότι μεταβολές στο σήμα εισόδου παράγουν ανάλογες μεταβολές στο

σήμα εξόδου.

- **Περιοχές κόρου και αποκοπής :** Οι περιοχές αυτές είναι χρήσιμες σε ψηφιακά κυκλώματα υπολογιστών. Αυτά ονομάζονται κυκλώματα διακοπής.
- **Περιοχή κατάρρευσης:** Το transistor δεν πρέπει να λειτουργεί στην περιοχή αυτή διότι θα καταστραφεί.

Παράδειγμα 2

Για το κύκλωμα του παρακάτω σχήματος (Ηλεκτρονική Malvino-6^η Έκδοση) να υπολογιστούν: I_B , I_C , V_{CE} και P_D .



Λύση

$$\text{Το ρεύμα βάσης είναι ίσο με } I_B = \frac{V_{CC} - V_{BE}}{R_B} = \frac{10V - 0.7V}{1M\Omega} = 9.3\mu A$$

$$\text{Το ρεύμα του συλλέκτη είναι ίσο με } I_C = \beta_{dc} I_B = (300)(9.3\mu A) = 2.79mA$$

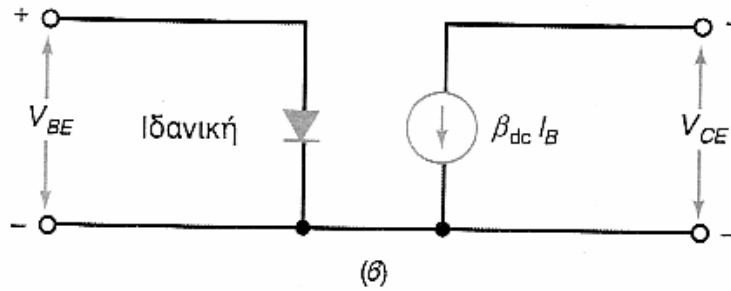
$$\text{Η τάση συλλέκτη εκπομπού δίνεται από την σχέση } V_{CE} = V_{CC} - I_C R_C = 10V - (2.79mA)(2k\Omega) = 4.42V$$

$$\text{Η κατανάλωση ισχύος δίνεται από την σχέση } P_D = V_{CE} I_C = (4.42V)(2.79mA) = 12.3mW$$

1.8 Προσεγγίσεις transistor

Το ισοδύναμο κύκλωμα ενός transistor απεικονίζεται στο σχήμα 11 (Ηλεκτρονική Malvino-6^η Έκδοση).

Θεωρητικό Μέρος
Διπολικά Transistor



Σχήμα 11: Κυκλωματικό ισοδύναμο transistor

Στους ακροδέκτες βάσης εκπομπού επικρατεί μια τάση ίση με $V_{BE} = 0.7$ Volt, ενώ η δίοδος του συλλέκτη λειτουργεί σαν πηγή ρεύματος που αντλεί το ρεύμα συλλέκτη $\beta_{dc} I_B$ μέσω της αντίστασης συλλέκτη.

1.9 Επαναληπτικές ερωτήσεις – ασκήσεις

1. Ένα transistor πόσες εμπλουτισμένες περιοχές έχει;
α). 1 β) 3 γ) 2 δ) 4
2. Ποιο είναι από τα πιο σημαντικά πράγματα που κάνουν τα transistor;
α) Ενισχύουν ασθενή σήματα
β) Ανορθώνουν την τάση της γραμμής
γ) Ρυθμίζουν την τάση
δ) Εκπέμπουν φως
3. Σε ένα transistor ηπν οι φορείς πλειονότητας στην βάση είναι
α) Τα ελεύθερα ηλεκτρόνια.
β) Οι οπές.
γ) Τίποτα από τα δυο.
δ) Και τα δύο.
4. Το φράγμα δυναμικού στα άκρα κάθε περιοχής απογύμνωσης είναι
α) 0
β) 0.3 V
γ) 0.7 V
δ) 1 V

*Θεωρητικό Μέρος
Διπολικά Transistor*

5. Η δίοδος εκπομπού είναι συνήθως
- α) Πολωμένη ορθά
 - β) Πολωμένη ανάστροφα
 - γ) Δεν άγει
 - δ) Λειτουργεί στην περιοχή κατάρρευσης
6. Για κανονική λειτουργία του transistor η δίοδος συλλέκτη πρέπει να
- α) Είναι πολωμένη ορθά
 - β) Πολωμένη ανάστροφα
 - γ) Μην άγει
 - δ) Λειτουργεί στην περιοχή κατάρρευσης
7. Η βάση του transistor npn είναι λεπτή και
- α) Έντονα εμπλουτισμένη
 - β) Ελαφρά εμπλουτισμένη
 - γ) Μεταλλική
 - δ) Εμπλουτισμένη με ένα πεντασθενές υλικό
8. Τα περισσότερα ηλεκτρόνια στην βάση ενός npn transistor ρέουν
- α) Προς τον ακροδέκτη βάσης
 - β) Στον συλλέκτη
 - γ) Στον εκπομπό
 - δ) Στην τροφοδοσία της βάσης
9. Τα περισσότερα ηλεκτρόνια στη βάση ενός transistor npn δεν ανασυζευγνύονται επειδή
- α) Έχουν μεγάλο χρόνο ζωής
 - β) Έχουν αρνητικό φορτίο
 - γ) Πρέπει να διανύουν μεγάλη διαδρομή μέσω της βάσης
 - δ) Ρέουν εκτός βάσης

*Θεωρητικό Μέρος
Διπολικά Transistor*

10. Τα περισσότερα ηλεκτρόνια που ρέουν μέσω της βάσης
- α) Ρέουν στον συλλέκτη
 - β) Ρέουν προς το ηλεκτρόδιο της βάσης
 - γ) Επανασυνδέονται με τις οπές της βάσης
 - δ) Επανασυνδέονται με τις οπές του συλλέκτη
11. Το κέρδος ρεύματος ενός transistor είναι ο λόγος
- α) Ρεύματος συλλέκτη προς το ρεύμα εκπομπού
 - β) Ρεύματος συλλέκτη προς το ρεύμα βάσης
 - γ) Ρεύματος βάσης προς το ρεύμα συλλέκτη
 - δ) Ρεύματος εκπομπού προς το ρεύμα συλλέκτη
12. Αυξάνοντας την τροφοδοσία συλλέκτη αυξάνεται και το
- α) Ρεύμα βάσης
 - β) Ρεύμα συλλέκτη
 - γ) Ρεύμα εκπομπού
 - δ) Τίποτα από τα παραπάνω
13. Ποιο είναι το σημαντικότερο σχετικά με το ρεύμα συλλέκτη;
- α) Μετρείται σε mA
 - β) Ισούται με το ρεύμα βάσης δια του κέρδους ρεύματος
 - γ) Είναι μικρό
 - δ) Ισούται περίπου με το ρεύμα εκπομπού
14. Αν το κέρδος ρεύματος είναι 200 και το ρεύμα συλλέκτη είναι 100 mA, το ρεύμα βάσης είναι
- α) 0.5 mA
 - β) 2 mA
 - γ) 2 A
 - δ) 20 A

*Θεωρητικό Μέρος
Διπολικά Transistor*

15. Η τάση βάσης εκπομπού είναι συνήθως
- α) Μικρότερη από την τάση τροφοδοσίας συλλέκτη
 - β) Ίση με την τάση τροφοδοσίας της βάσης
 - γ) Μεγαλύτερη από την τάση τροφοδοσίας συλλέκτη
 - δ) Δεν υπάρχει σταθερή απάντηση
16. Η τάση συλλέκτη εκπομπού είναι συνήθως
- α) Μικρότερη από τη τάση τροφοδοσίας συλλέκτη
 - β) Ίση με την τάση τροφοδοσίας συλλέκτη
 - γ) Μεγαλύτερη από τη τάση τροφοδοσίας συλλέκτη
 - δ) Δεν υπάρχει απάντηση
17. Η καταναλισκόμενη ισχύς σε ένα transistor ισούται περίπου με το ρεύμα συλλέκτη επί
- α) Την τάση βάσης εκπομπού
 - β) Την τάση συλλέκτη εκπομπού
 - γ) Την τάση τροφοδοσίας της βάσης
 - δ) 0.7 V
18. Η τάση βάσης εκπομπού είναι
- α) 0 β) 0.3 V γ) 0.7V δ) 1V
19. Στην ενεργό περιοχή το ρεύμα συλλέκτη δε μεταβάλλεται σημαντικά με
- α) Την τάση τροφοδοσίας της βάσης
 - β) Το ρεύμα βάσης
 - γ) Το κέρδος ρεύματος
 - δ) Την αντίσταση συλλέκτη
20. Αν η αντίσταση της βάσης είναι ανοικτή πόσο είναι το ρεύμα συλλέκτη;
- α) 0 β) 2 mA γ) 1 mA δ) 10 mA

*Θεωρητικό Μέρος
Διπολικά Transistor*

21. Σχεδιάστε ένα transistor ηρη παρουσιάζοντας τις περιοχές n και p. Στην συνέχεια πολώστε το transistor κατάλληλα και πείτε πως λειτουργεί.
22. Σχεδιάστε ένα κύκλωμα CE.
23. Όταν κοιτάτε ένα σχηματικό διάγραμμα που παρουσιάζει ένα transistor ηρη και ένα transistor pnp πως μπορείτε να αναγνωρίσετε κάθε είδος ;
24. Ποια είναι τα τρία ρεύματα σε ένα transistor και ποια η σχέση μεταξύ τους;
25. Σε ένα transistor ηρη κατονομάστε όλα τα ρεύματα και δείξτε τις κατευθύνσεις ροής.