

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ  
ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΗΣ  
ΘΕΩΡΙΑ

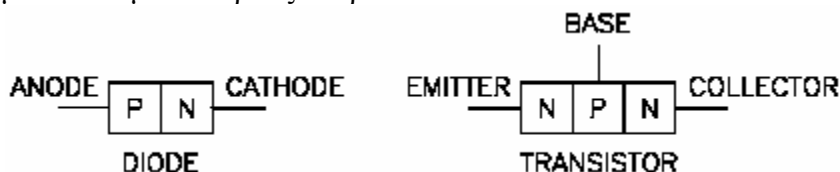


# Το τρανζίστορ

## Ορισμός

Το τρανζίστορ είναι μία διάταξη στερεάς κατάστασης φτιαγμένη από ημιαγώγιμο υλικό με ακροδέκτες σε τρία ή περισσότερα σημεία τα ηλεκτρικά χαρακτηριστικά των οποίων είναι διαφορετικά.

Φαίνεται πολύπλοκο αλλά δεν είναι. Ένα τρανζίστορ είναι απλώς δύο επαφές PN, οι οποίες αποτελούνται από τρία τμήματα ημιαγωγού με προσμίξεις. Το σχήμα 1 συγκρίνει μία δίοδο με ένα τρανζίστορ.



Σχήμα 1. Δίοδος και τρανζίστορ

Το τρανζίστορ αποτελείται από τρία μέρη ημιαγωγικού υλικού με προσμίξεις. Επομένως η διάταξη έχει τρία στοιχεία. Κατά κανόνα, οποιαδήποτε ημιαγωγική διάταξη έχει τρία ή περισσότερα στοιχεία κατηγοριοποιείται ως τρανζίστορ. Ο όρος τρανζίστορ προέρχεται από τις λέξεις TRANSfer και resISTOR. Ο όρος υιοθετήθηκε διότι περιγράφει βέλτιστα την πραγματική λειτουργία του τρανζίστορ, τη μεταφορά ενός σήματος ρεύματος εισόδου από ένα κύκλωμα χαμηλής αντίστασης σε ένα κύκλωμα εξόδου υψηλής αντίστασης. Μιλώντας απλά, ένα τρανζίστορ είναι μία ημιαγωγική διάταξη που ενισχύει ελέγχοντας τη ροή του ρεύματος μέσα από το ημιαγώγιμο υλικό του.

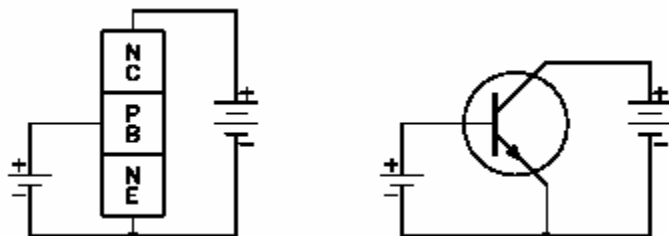
## Η θεωρία του τρανζίστορ

Τα τρανζίστορ είναι μία επέκταση των διόδων. Μία ορθά πολωμένη επαφή PN είναι συγκρίσιμη με μία διάταξη χαμηλής αντίστασης διότι αφήνει να περάσει ένα πολύ μεγάλο ρεύμα για μία τιμή της τάσης. Μία ανάστροφα πολωμένη επαφή PN μπορεί να συγκριθεί με μία διάταξη υψηλής αντίστασης. Ένα μικρό ρεύμα αναπτύσσεται για μια τιμή της τάσης. Ας υποθέσουμε προς στιγμή ότι το ρεύμα είναι σταθερό μέσα από το τρανζίστορ (από τον εκπομπό προς τον συλλέκτη). Μπορείτε να συμπεράνετε ότι η ισχύς που καταναλώνεται στην χαμηλή αντίσταση θα είναι μικρότερη από αυτήν που καταναλώνεται στην υψηλή αντίσταση. Σύμφωνα με τον νόμο του Ohm, η ισχύς δίνεται από τη σχέση:  $P = I^2R$ . Συνεχίζοντας την υπόθεση, αν η διάταξη περιείχε μία ορθά πολωμένη επαφή PN εισόδου (χαμηλή αντίσταση) και μία ανάστροφα πολωμένη επαφή PN εξόδου (υψηλή αντίσταση), ένα σήμα χαμηλής ισχύος θα μπορούσε να ενισχυθεί ή να γίνει μεγαλύτερο. Αυτό είναι το κλειδί για τη λειτουργία του τρανζίστορ και θα εξηγηθεί λεπτομερώς.

## Το τρανζίστορ NPN

Η πόλωση είναι κρίσιμη για τη λειτουργία του τρανζίστορ, όπως ακριβώς ήταν για τη δίοδο. Με το τρανζίστορ είναι λίγο πιο πολύπλοκη, διότι εμπλέκονται δύο επαφές PN αντί για μία. Τα δύο τμήματα του υλικού N στο τρανζίστορ NPN έχουν περίσσεια

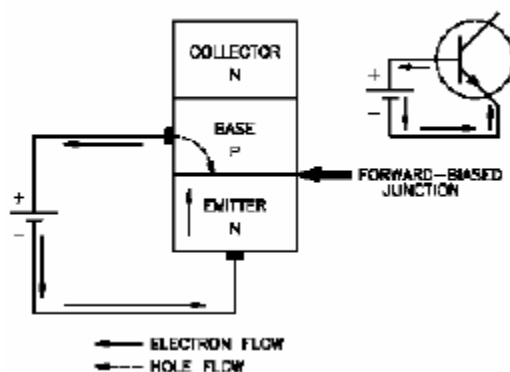
ηλεκτρονίων, ενώ η περιοχή του υλικού τύπου P έχει περίσσεια οπών. Κάθε επαφή έχει μία περιοχή απογύμνωσης και επηρεάζεται από την πόλωση, όπως και στη δίοδο. Για να μπορέσει να ενισχύσει ένα σήμα το τρανζίστορ, η επαφή βάσης-εκπομπού, ή περιοχή της εισόδου, πρέπει να είναι ορθά πολωμένη. Αυτό σημαίνει ότι έχει χαμηλή αντίσταση. Η επαφή συλλέκτη-βάσης, ή περιοχή της εξόδου, πρέπει να είναι ανάστροφα πολωμένη. Όταν ανάστροφα πολωμένη θα έχει υψηλή αντίσταση. Το σχήμα 2 δείχνει τη λειτουργία στην ενεργό περιοχή.



Σχήμα 2. Τρανζίστορ πολωμένο στην ενεργό περιοχή

### Ορθά πολωμένη επαφή

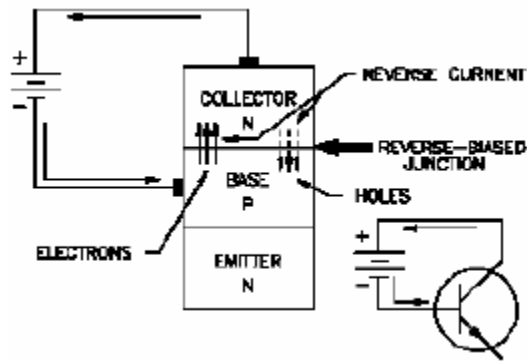
Ένα σημαντικό σημείο που πρέπει να θυμάται κανείς είναι ότι το υλικό τύπου N είναι πιο ισχυρά ντοπαρισμένο από το υλικό τύπου P. Αυτό σημαίνει ότι ένας πολύ μεγάλος αριθμός ηλεκτρονίων θα εγκαταλείψει τον εκπομπού και θα εισέλθει στη βάση. Επειδή η βάση είναι ελαφρά ντοπαρισμένη και με μικρές διαστάσεις, υπάρχουν πολύ λίγες οπές (έλλειψη ηλεκτρονίων) διαθέσιμες. Μερικά από τα ηλεκτρόνια θα καλύψουν τις διαθέσιμες οπές. Για κάθε ηλεκτρόνιο που καλύπτει μία οπή στη βάση (υλικό τύπου P), ένα άλλο ηλεκτρόνιο θα εγκαταλείψει τη βάση, θα δημιουργήσει μία νέα οπή και θα μπει στον θετικό ακροδέκτη της μπαταρίας.



Σχήμα 3. Ορθά πολωμένη επαφή Εκπομπού-Βάσης (ΕΒ)

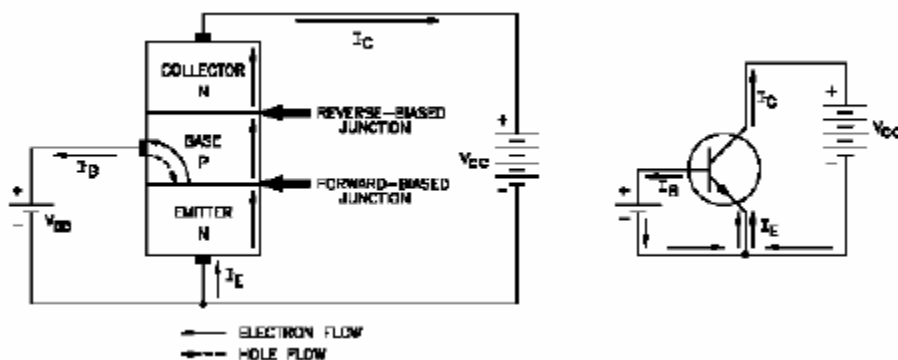
### Ανάστροφα πολωμένη επαφή

Η επαφή συλλέκτη-βάσης πρέπει να είναι ανάστροφα πολωμένη για να επιτύχουμε ενίσχυση (Σχήμα 4). Η επαφή BC δεν μπορεί να είναι ορθά πολωμένη διότι το ρεύμα θα ερχόταν και από τον εκπομπού και από τον συλλέκτη προς την βάση. Όταν η BC είναι ανάστροφα πολωμένη, υπάρχει ένα πολύ μικρό ρεύμα που ρέει από τον συλλέκτη προς την βάση. Το ρεύμα είναι πολύ μικρό και αποτελείται από οπές από το υλικό τύπου P που επανασυνδέονται με ηλεκτρόνια από τον συλλέκτη.



Σχήμα 4. Ανάστροφα πολωμένη επαφή Συλλέκτη-Βάσης (BC)

### Λειτουργία του τρανζίστορ



Σχήμα 5. Τρανζίστορ NPN, πόλωση και λειτουργία

Η πόλωση που παρέχεται στο τρανζίστορ παρίσταται με μπαταρίες. Η μπαταρία ή το τροφοδοτικό του συλλέκτη συμβολίζεται με  $V_{CC}$ . Η μπαταρία ή το τροφοδοτικό της βάσης συμβολίζεται με  $V_{BB}$ . Η  $V_{BB}$  είναι πολύ μικρή διότι η ορθή πόλωση της βάσης είναι κανονικά μια μικρή τάση στην περιοχή του 1 volt ή και μικρότερη. Η  $V_{CC}$  είναι πολύ μεγαλύτερη, κανονικά γύρω στα 6 με 12 volts. Η μεγάλη διαφορά στην τάση τροφοδοσίας είναι απαραίτητη ώστε το ρεύμα να ρέει από τον εκπομπό προς τον συλλέκτη.

Τώρα θα σχεδιάσουμε την ροή του ρεύματος ηλεκτρονίων μέσα στο κύκλωμα. Τα ηλεκτρόνια εγκαταλείπουν τους αρνητικούς ακροδέκτες των μπαταριών  $V_{CC}$  και  $V_{BB}$  και ρέουν προς τον εκπομπό (τύπου N). Αυτή η κίνηση των ηλεκτρονίων ονομάζεται ρεύμα εκπομπού ( $I_E$ ). Τα ηλεκτρόνια θα εισέλθουν στον πλούσιο σε ηλεκτρόνια εκπομπό και θα περάσουν μέσα από την ορθά πολωμένη επαφή εκπομπού-βάσης. Το ρεύμα ηλεκτρονίων περνάει μέσα από την επαφή και μπαίνει την βάση. Κάποια από τα ηλεκτρόνια θα γεμίσουν οπές, προκαλώντας ένα μικρό ρεύμα ηλεκτρονίων που ρέει έξω από τη βάση προς το τροφοδοτικό  $V_{BB}$ . Αυτό το μικρό ρεύμα,  $I_B$ , της βάσης χάνεται όσον αφορά το ρεύμα του συλλέκτη. Η μεγάλη πλειοψηφία των ηλεκτρονίων που εισέρχονται στον εκπομπό περνούν μέσα από τη βάση και συνεχίζουν προς τον συλλέκτη. Υπάρχουν πολλοί λόγοι για τους οποίους συμβαίνει αυτό:

1. Η  $V_{BB}$  είναι πολύ μικρότερη από την  $V_{CC}$ .
2. Η περιοχή της βάσης είναι πολύ λεπτή.
3. Η περιοχή της βάσης έχει μικρή συγκέντρωση προσμίξεων.

Τα περισσότερα ηλεκτρόνια που εισέρχονται στη βάση έρχονται υπό την επίδραση της  $V_{CC}$ . Αν και η  $V_{CC}$ , σε συνδυασμό με την  $V_{BB}$ , παρέχει ανάστροφη πόλωση στην επαφή, η  $V_{CC}$  έλκει τα ηλεκτρόνια της βάσης και τα προωθεί μέσα από τον συλλέκτη στον θετικό ακροδέκτη της  $V_{CC}$ . Το ρεύμα που ρέει μέσα από τον συλλέκτη ονομάζεται  $I_C$ . Το ολικό ρεύμα σε ένα τρανζίστορ NPN ρέει μέσω του εκπομπού. Αυτό σημαίνει ότι το  $I_E$  ισούται με το 100% του ρεύματος που ρέει σε ένα τρανζίστορ. Το ρεύμα του εκπομπού πρέπει να ισούται με το ρεύμα της βάσης συν το ρεύμα του συλλέκτη:

$$I_E = I_B + I_C$$

Τώρα, μπορούμε να βγάλουμε ένα σημαντικό συμπέρασμα. Το ρεύμα που ρέει από τον εκπομπό οφείλεται στην πόλωση της επαφής EB. Το μεγαλύτερο μέρος του ρεύματος που εγκαταλείπει τον εκπομπό περνάει μέσα από τη βάση και φτάνει στον συλλέκτη. Το ρεύμα της βάσης περιορίζεται από την κατασκευή της βάσης. Το συμπέρασμα του μπορούμε να βγάλουμε είναι ότι μικρή μεταβολή στην πόλωση της επαφής EB θα έχει πολύ μεγαλύτερη επίδραση στο ρεύμα του συλλέκτη από ό,τι στο ρεύμα της βάσης. Επομένως, η μικρή πόλωση της επαφής EB ελέγχει το μεγάλο ρεύμα του συλλέκτη.

## **α και β**

Το **α** και το **β** είναι λόγοι ρευμάτων σε ένα τρανζίστορ. Είναι ένα μέτρο της απόδοσης του τρανζίστορ. Το **α** είναι ο λόγος του ρεύματος συλλέκτη προς το ρεύμα εκπομπού. Καθώς όλο το ρεύμα του τρανζίστορ ρέει μέσω του εκπομπού και μετά μοιράζεται μεταξύ βάσης και συλλέκτη, το **α** είναι ένα μέτρο της ολικής απόδοσης. Ιδανικά, το 100% των ηλεκτρονίων που εγκαταλείπουν τον εκπομπό, θα έπρεπε να φτάνουν στον συλλέκτη. Ωστόσο, λόγω του ρεύματος της βάσης, η πραγματική τιμή είναι πιο κοντά στο 95 – 99%. Η σχέση είναι:

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

Το **β** είναι ο λόγος του ρεύματος συλλέκτη προς το ρεύμα της βάσης. Καθώς λιγότερο από 5% του ρεύματος συλλέκτη χάνεται στο ρεύμα της βάσης, το **β** είναι πάντοτε ένα ακέραιος αριθμός. Τυπικές τιμές εκτείνονται στην περιοχή από 50 και πάνω. Η σχέση είναι:

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