

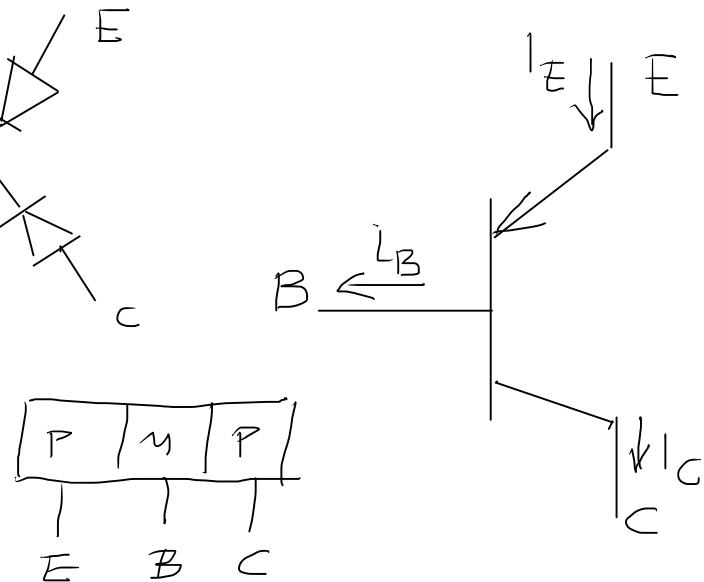
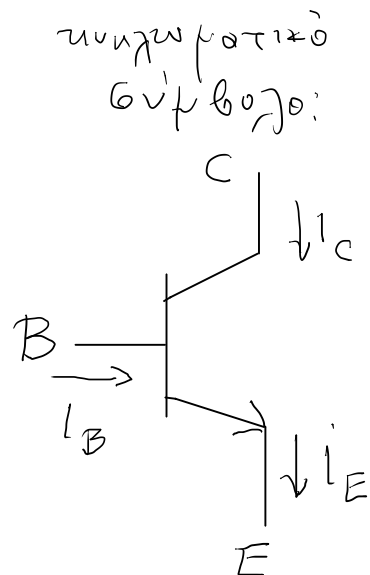
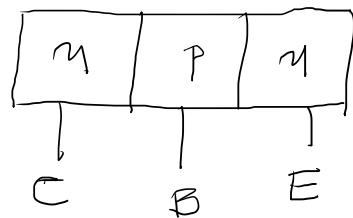
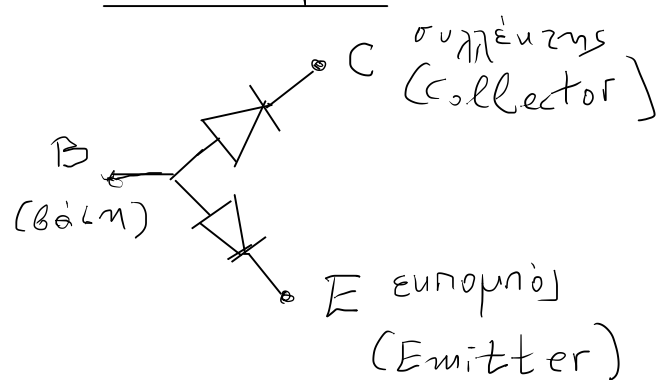
Το διπολικό Τρανζίστορ

Εφευρέθηκε το 1945, αντικατέστησε τις λυχνίες στα ηλεκτρονικά κυκλώματα και άνοιξε τον δρόμο για τα ολοκληρωμένα κυκλώματα.

Υπάρχουν δύο είδη διπολικών τρανζίστορ:

α) npn

(β) pnp



οι διευθύνσεις να φοράν

για τα ρεύματα I_B , I_C , I_E ουσιαστικά με την συμβατική φορά του ρεύματος

Περιοχές λειτουργίας του τρανζίστορ:

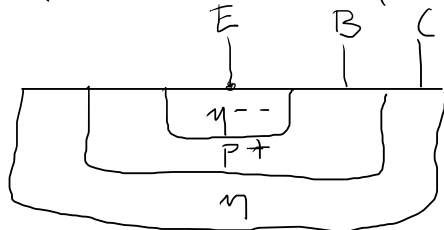
Περιοχή λειτουργίας	Δίοδος βάσης - Εμπορπύ Δίοδος BE	Δίοδος βάσης - Συλλέκτη Δίοδος BC
Ενεργός Κορεζήσων Αποκοπή	Ορθά πολωμένη Ορθά πολωμένη Ανάστροφα πολωμένη Ανάστροφα πολωμένη	Ανάστροφα πολωμένη Ορθά πολωμένη Ανάστροφα πολωμένη Ορθά πολωμένη

→ Χρήσιμες περιοχές λειτουργίας

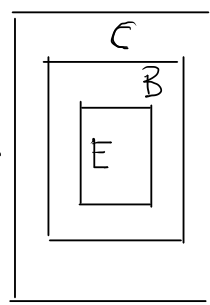
Η δίοδος βάσης εμπορπύ είναι πολύ διαφορετική από την δίοδο βάσης συλλέκτη.

Παράδειγμα «κιάδετσας» διατάξεως
Τρανζίστορ στο Si (πυρίτιο)

Κάθετη τομή:



Από πάνω:



Παράδειγμα νόθευσης:

$$n^- = 5 \cdot 10^{18} / \text{cm}^3$$

(συγκέντρωση ελευθέρων ηλεκτρονίων στην περιοχή βάσης - νοθεύσεων των εμπορπύ)

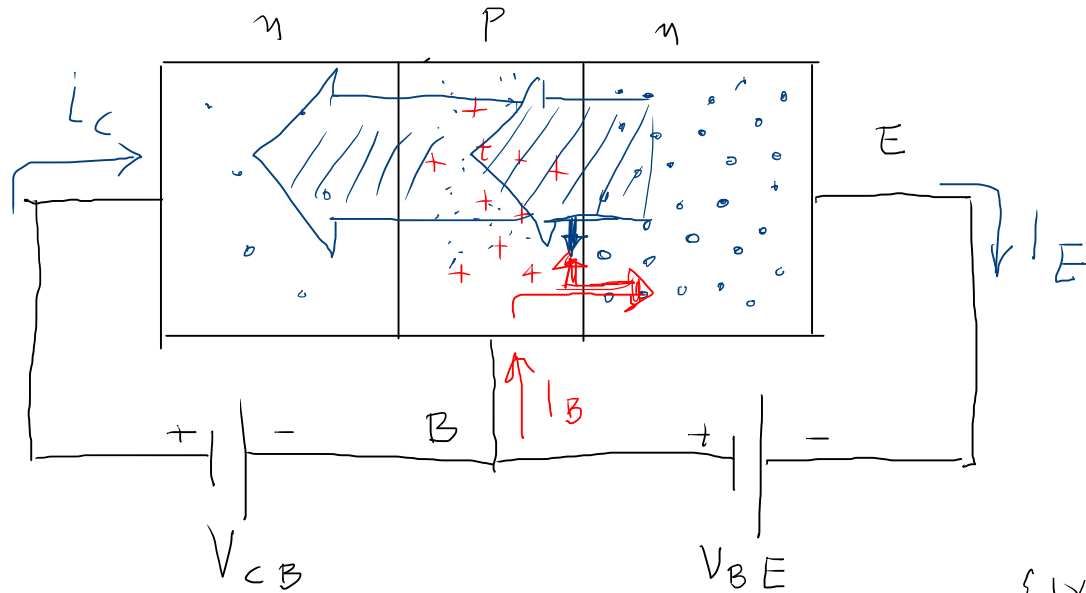
$$p^+ = 1 \cdot 10^{17} / \text{cm}^3$$

(συγκέντρωση οπών στην περιοχή βάσης)

$$n = 10^{15} / \text{cm}^3$$

(συγκέντρωση ελευθέρων ηλεκτρονίων στην περιοχή συλλέκτη)

Λειτουργία στην ενεργό περιοχή



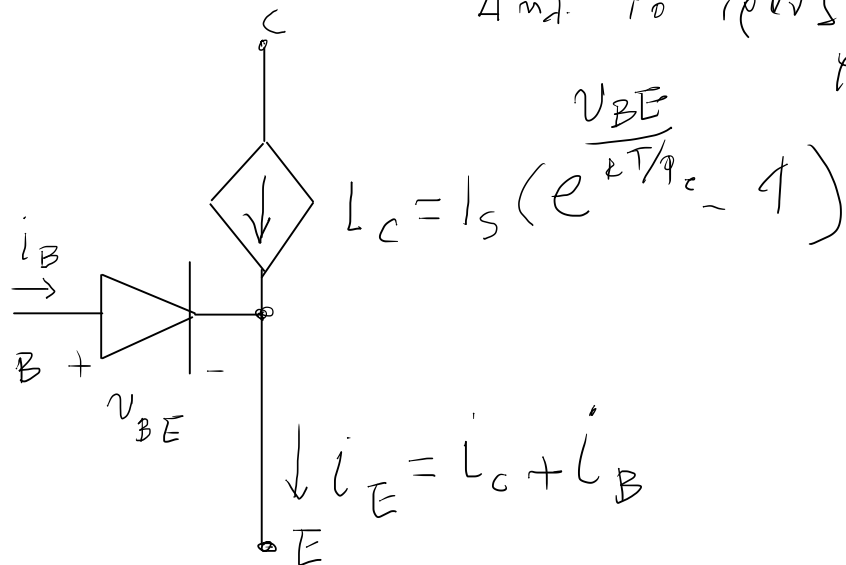
Δίοδος ΒΕ ορθά πολωμένη
 Δίοδος ΒC ανάστροφα πολωμένη.
 Αρα η Δίοδος ΒΕ είναι ορθά
 πολωμένη
 ελεύθερα ηλεκτρόνια από τον ευνοημένο
 περνούν στην βάση, οπότε από
 την βάση περνούν στον ευνοημένο.
 Κάποιες οπές + ελεύθερα ηλεκτρόνια
 επανα συνδέονται, αλλά επειδή
 η συχνηνωση των οπών της βάσης

είναι σημαντικά μικρότερη από την

συχνηνωση ελεύθερων ηλεκτρονίων στον ευνοημένο, το I_B (ρεύμα βάσης)
 θα είναι πολύ μικρότερο από το ρεύμα I_E . Οπότε δεν μπαίνουν στον συλλέκτη
 γιατί η Δίοδος ΒC είναι ανάστροφα πολωμένη. Τα ελεύθερα ηλεκτρόνια του
 ευνοημένου που «ετρίμυχνονται» στη βάση, περνούν στον συλλέκτη, γιατί
 (α) ο συλλέκτης έχει πολύ χίρα ελεύθερα ηλεκτρόνια και (β) έχει δευτερεύουσα
 τάση σε σχέση με την βάση, οπότε έχει τα ελεύθερα ηλεκτρόνια.

$$I_E = I_C + I_B$$

Αντ. το τρανζίστορ χείτουρθεί αν μία εξκρημένη πηγή
ρεύματος ελεγχόμενη από την τάση της
ορθά ποσωμένης διόδου BE.



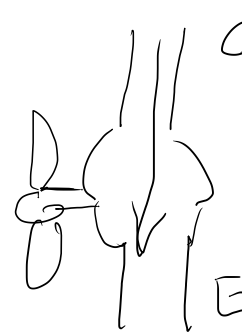
Η οπίσθια ρεύματος-τάσης στον
συλλέκτη είναι

$$I_C = I_S (e^{\frac{V_{BE}}{kT/q_c}} - 1) \left(1 + \frac{V_{CE}}{V_A} \right)$$

Επίσης το $I_B = \frac{I_C}{\beta}$

$$I_E = I_B + I_C$$

(Το I_B είναι «αγώγος» του ρεύματος του
ελεγχμού και όχι και του συλλέκτη)



«Υδραυλικό
ανίλογο»
Όταν υπερνική
του διακώπυ
της βάνας
πέρναι νερό
από κάτω.

Τον ρόλο του διακώπυ
τον παίζει το ρεύμα της
βάσης.

Γιατί υπάρχει η εξάρτηση του I_c από το V_{CE} .

Όταν αυξάνεται η τάση ανάβροχης πόρωσης της διόδου Βάσης-Συλλέκτη, αυξάνεται η περιοχή αποχύμωσης βάσης-συλλέκτη και έτσι ο ίδιος αριθμός ηλεκτρονίων που περνούν από τον ευνομηό στην βάση, "στριμώχνεται", σε μικρότερο χώρο στην βάση, με αποτέλεσμα να μεγαλώνει το $\frac{d\eta}{dx}$ δηλ. η μεταβολή της συχνότητας των ελεύθερων ηλεκτρονίων στην βάση. Το ρεύμα εξασίας με διαχύσης των ελεύθερων ηλεκτρονίων είναι ανάλογο του $\frac{d\eta}{dx}$.

Η εξάρτηση είναι «μικρή» στον όρο $\left(1 + \frac{V_{CE}}{V_A}\right)$ το V_A είναι π.χ. $100V$ οπότε για $V_{CE} = 2V$ το $1 + \frac{V_{CE}}{V_A} = 1 + 0,02$

$$\text{δηλ. } I_c = I_s \left(e^{\frac{V_{BE}}{kT/q_e}} - 1 \right) (1,02)$$

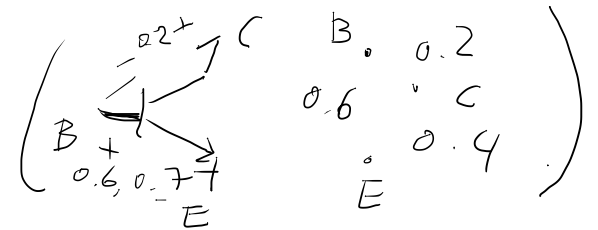
Από μοντέλο λειτουργίας της τρανζίστορ στην ενεργό περιοχή

Προϋποθέσεις για να ισχύει το μοντέλο;

(α) Η διόδος B-E ορθά ηγωγμένη, δηλ $V_{BE} \approx 0.6 - 0.7 \text{ V}$

(β) Η διόδος B-C είτε ανήμπορα ηγωγμένη, είτε σε μικρή δευτερεύουσα τάση (π.χ. 0.2 V)

Αυτό συνεπάγεται ότι το $V_{CE} > 0.4 \text{ V}$



Τότε $I_C = \beta I_B$. Το β ονομάζεται dc κέρδος ρεύματος κοινού ευρημού, έχει μια υψηλή τιμή περίπου 100, αλλά μεταβάλλεται έντονα ανάλογα με την θερμοκρασία, την V_{CE} , καθώς και για το ίδιο είδος τρανζίστορ μπορεί να είναι διαφορετικό από τρανζίστορ σε τρανζίστορ. Επομένως δεν μπορούμε να βασιστούμε στην τιμή του όπως το $\frac{\beta}{\beta+1} \approx 1$ για μεγάλες διακυμάνσεις του β

π.χ. για $\beta = 50$ το $\frac{\beta}{\beta+1} = \frac{50}{51} \approx 1$

για $\beta = 250$ το $\frac{\beta}{\beta+1} = \frac{250}{251} \approx 1$

ΕΤΣΙ

$$\text{To } i_E = i_C + i_B = i_C + \frac{i_C}{\beta} = i_C \left(1 + \frac{1}{\beta}\right) = i_C \cdot \frac{\beta + 1}{\beta} \Rightarrow$$

$$i_C = \frac{\beta}{\beta + 1} i_E \quad , \quad \text{for } \beta \gg 1 \quad i_C \approx i_E \quad (\text{almost impossible}) .$$