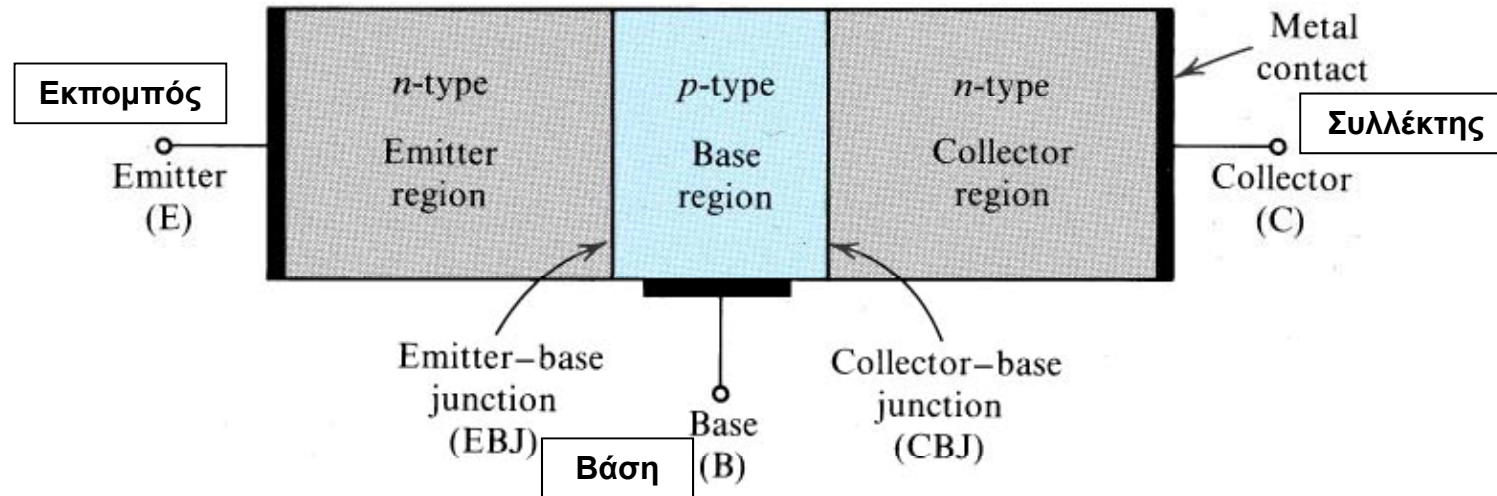
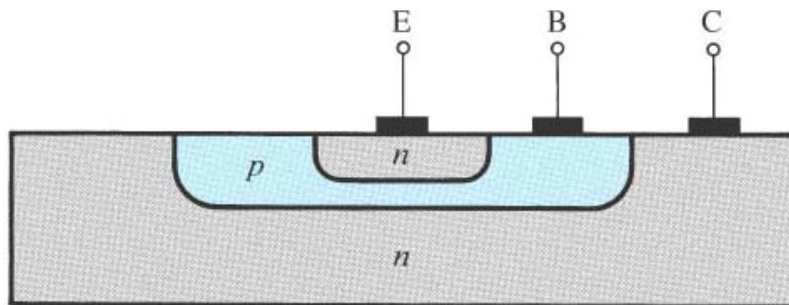


# Διπολικά τρανζίστορ (BJT)

# Το τρανζίστορ npn



Σχηματική παράσταση του τρανζίστορ npn

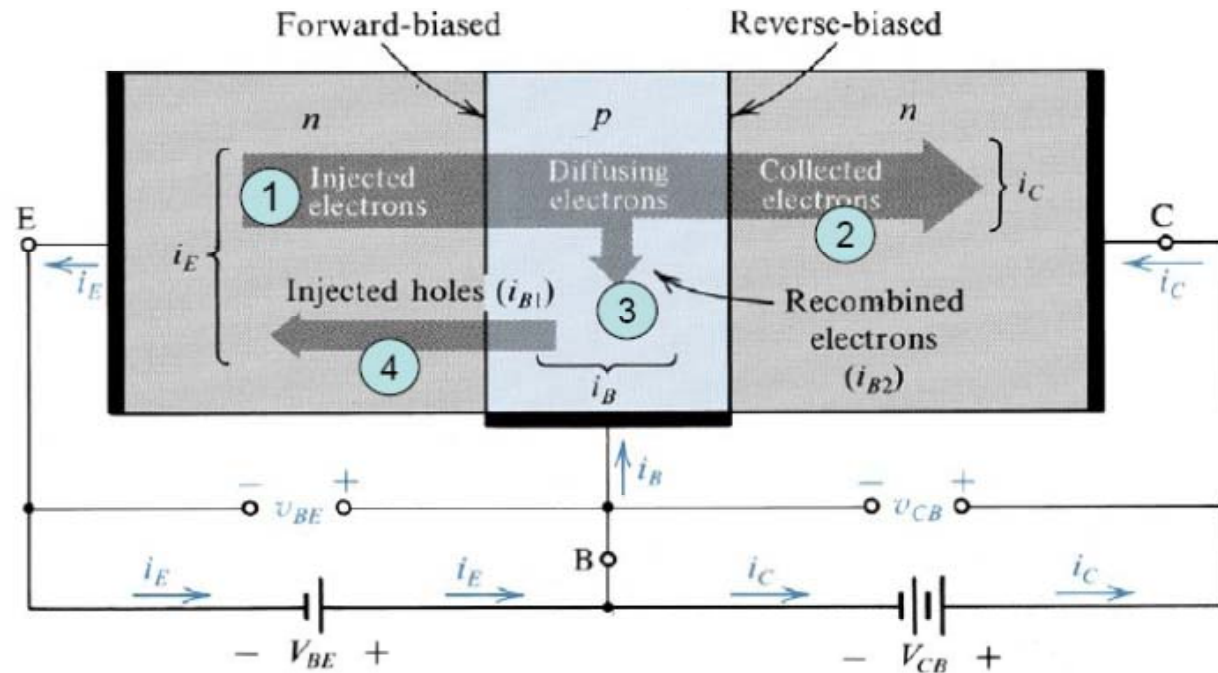


Εγκάρσια τομή τρανζίστορ npn

Περιοχές λειτουργίας διπολικού τρανζίστορ

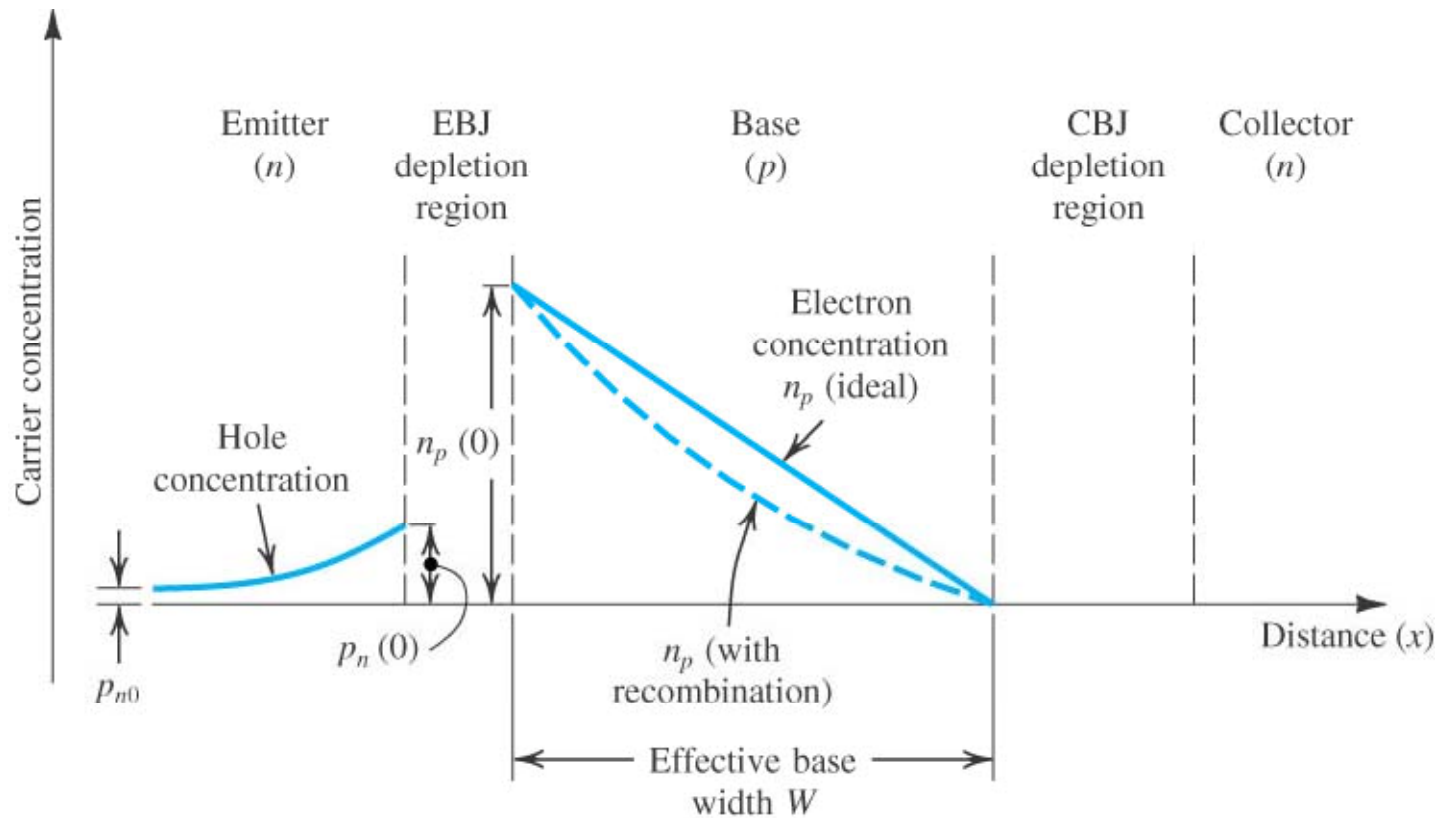
Περιοχή	EBJ	CBJ
Αποκοπή	Ανάστροφα	Ανάστροφα
Ενεργός	Ορθά	Ανάστροφα
Κόρος	Ορθά	Ορθά

## Το τρανζίστορ ηρη στην ενεργό περιοχή



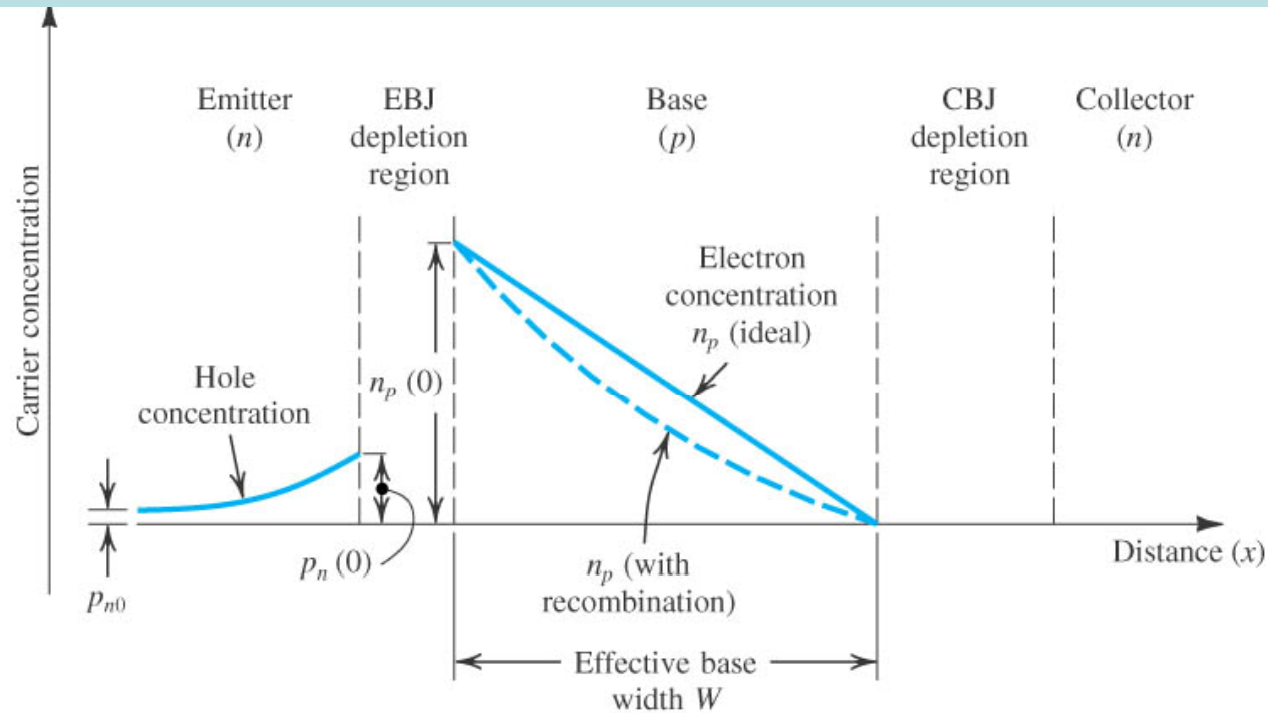
1. Η ορθή πόλωση της επαφής EB εγχέει ηλεκτρόνια από τον εκπομπό στη βάση.
2. Επειδή η περιοχή της βάσης είναι πολύ λεπτή, η πλειονότητα αυτών των ηλεκτρονίων διαχέεται προς την περιοχή απογύμνωσης της επαφής BC και κατόπιν σαρώνονται προς τον συλλέκτη από το ηλεκτρικό πεδίο της ανάστροφα πολωμένης επαφής BC.
3. Ένα μικρό ποσοστό από αυτά τα ηλεκτρόνια επανασυνδέονται με τις οπές στην περιοχή της βάσης.
4. Οπές εγχέονται από τη βάση στην περιοχή του εκπομπού,  $(4) \ll (1)$ .

## Κατανομή των φορέων μειονότητας



- Ρεύμα στο οποίο επικρατούν τα ηλεκτρόνια από τον εκπομπό στη βάση λόγω της ορθής πόλωσης και βαθμίδα συγκέντρωσης των φορέων μειονότητας μέσα στη βάση.
  - Η μερική επανασύνδεση προκαλεί καμπύλωση της συγκέντρωσης στην περιοχή της βάσης.

## Το ρεύμα διάχυσης μέσω της βάσης



- Η διάχυση ηλεκτρονίων μέσω της βάσης καθορίζεται από την συγκέντρωσή τους στην επαφή EB:

$$n_p(0) = n_{p0} e^{v_{BE}/V_T}$$

- Το ρεύμα διάχυσης των ηλεκτρονίων μέσω της βάσης είναι:

$$I_n = A_E q D_n \frac{dn_p(x)}{dx} = A_E q D_n \left( -\frac{n_p(0)}{W} \right)$$

- Το ρεύμα συλλέκτη είναι:  $i_c = -I_n$

## Το ρεύμα Συλλέκτη

- Το ρεύμα συλλέκτη είναι:

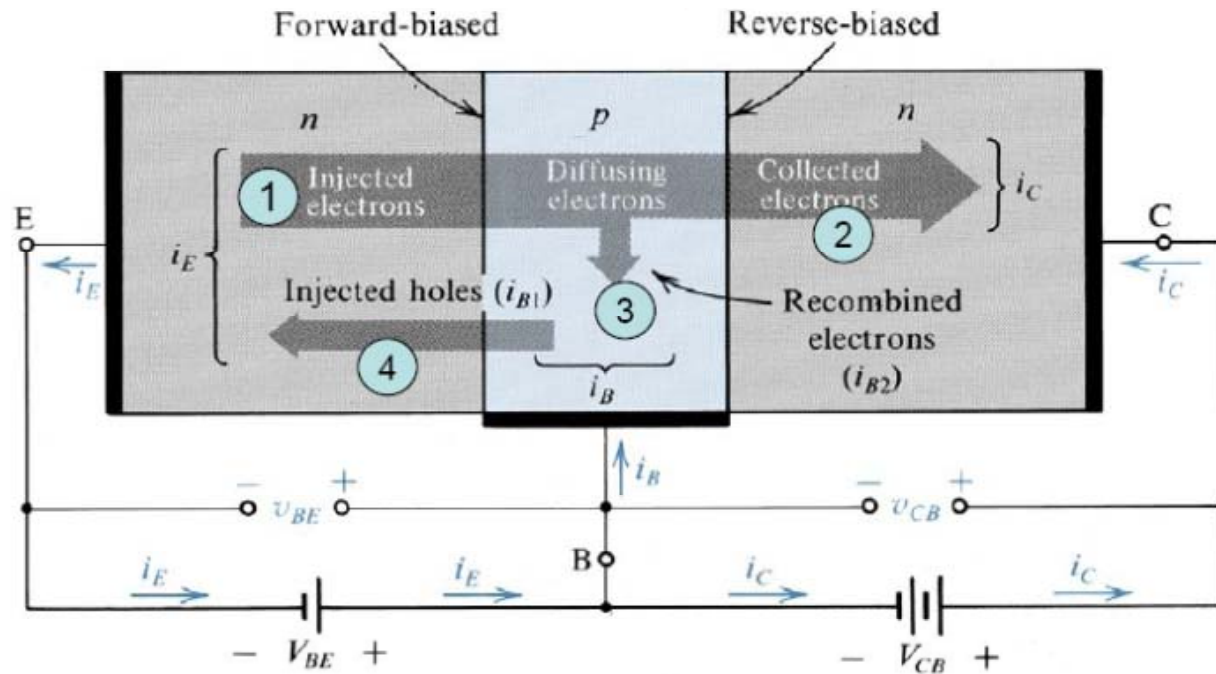
$$i_C = I_S e^{v_{BE}/V_T}$$

όπου

$$I_S = \frac{qA_E D_n n_{p0}}{W} = \frac{qA_E D_n n_i^2}{N_A W}$$

- Το  $i_C$  είναι ανεξάρτητο από το  $v_{CE}$ .
- Το ρεύμα συλλέκτη ελέγχεται από την τάση των δύο άλλων ακροδεκτών: **πηγή ρεύματος ελεγχόμενη από τάση.**
- Το ρεύμα κόρου  $I_S$  είναι
  - Αντιστρόφως ανάλογο προς το  $W$  και ανάλογο προς το  $A_E$ .
  - Εξαρτάται από τη θερμοκρασία, λόγω του παράγοντα  $n_i^2$ .

## Το ρεύμα Βάσης



Το ρεύμα της βάσης αποτελείται από δύο συνιστώσες:  $i_{B1}$  και  $i_{B2}$

- το  $i_{B1}$  είναι εκθετική συνάρτηση του  $v_{BE}$ , λόγω της ορθής πόλωσης της επαφής EB
- Το  $i_{B2}$ , που οφείλεται στις επανασυνδέσεις, είναι ανάλογο προς τον αριθμό των ηλεκτρονίων που εγχέονται από τον εκπομπό, ο οποίος είναι εκθετική συνάρτηση του  $v_{BE}$ .



$$i_B \propto e^{v_{BE}/V_T}$$

## Το βήτα ( $\beta$ )

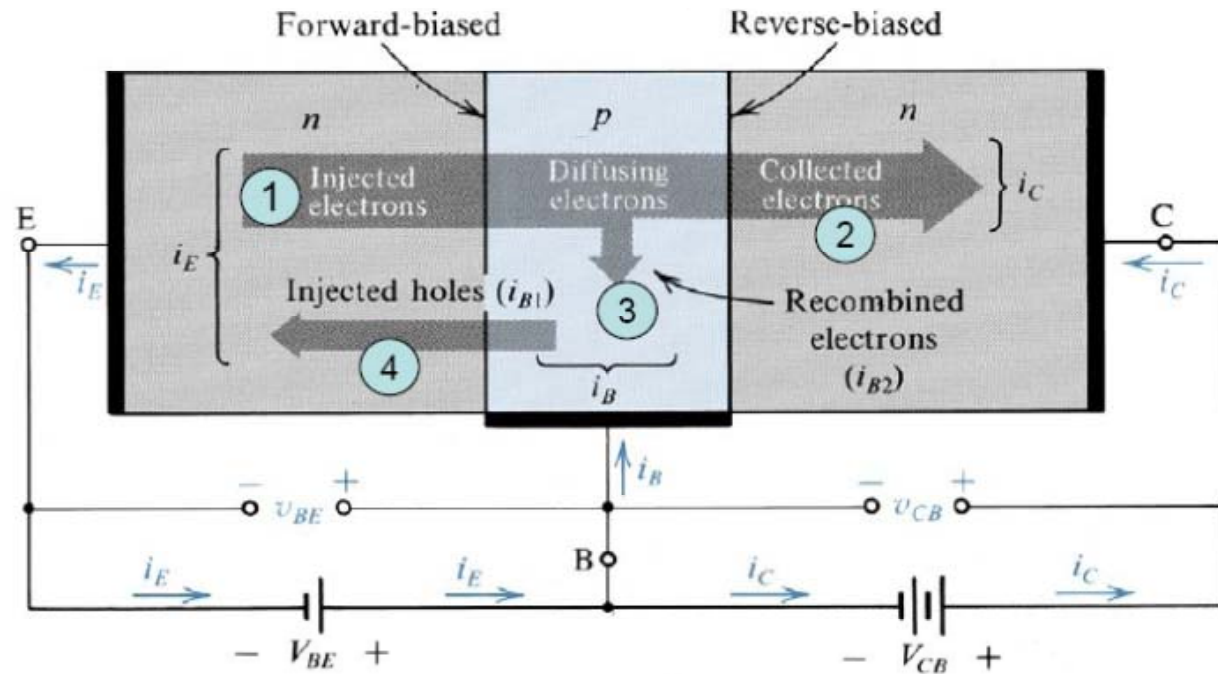
- Μπορούμε να συνδέσουμε το  $i_C$  με το  $i_B$  με την παρακάτω σχέση:

$$i_B = \frac{i_C}{\beta} = \frac{i_S}{\beta} e^{v_{BE} / V_T}$$

- $\beta = i_C / i_B$ 
  - Το  $\beta$  είναι σταθερό για κάθε τρανζίστορ
  - Παίρνει τιμές μεταξύ 100 και 200 και ακόμη μεγαλύτερες
  - Ονομάζεται ενίσχυση ρεύματος κοινού εκπομπού
  - Συμβολίζεται επίσης με  $\beta_F$  και  $h_{FE}$ .



## Το ρεύμα Εκπομπού



Θεωρώντας το τρανζίστορ σαν ένα κόμβο, μπορούμε να γράψουμε:

$$i_E = i_B + i_C = \frac{1}{\beta} i_C + i_C = \frac{1 + \beta}{\beta} i_C \quad \text{ή} \quad i_C = \frac{\beta}{1 + \beta} i_E$$

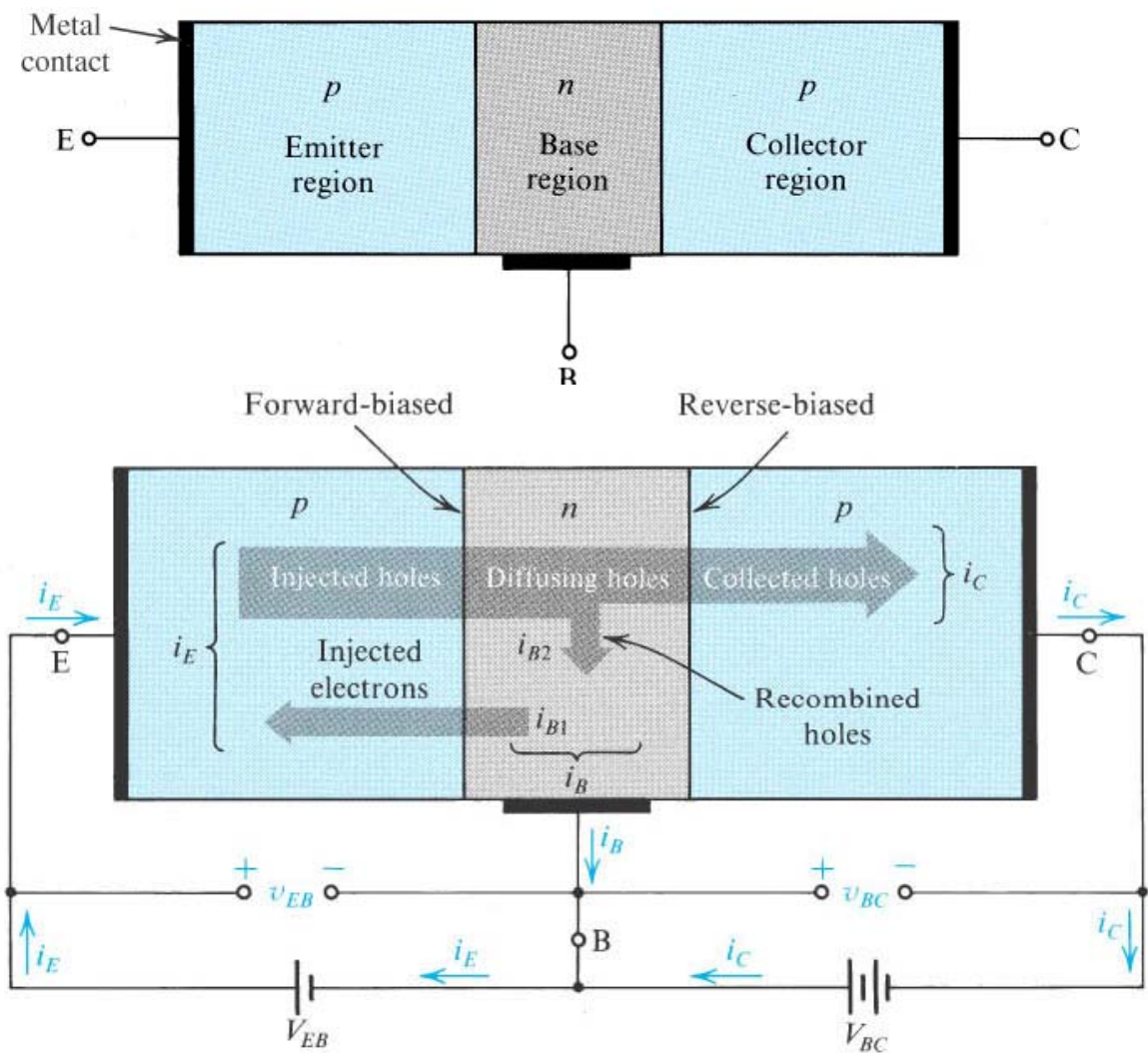
$$i_C = \alpha i_E$$

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

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

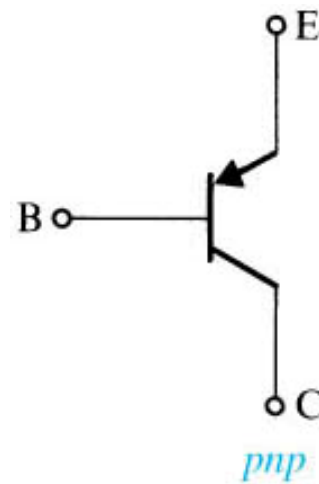
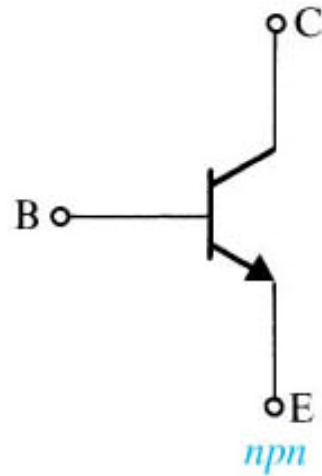
Το  $\alpha$  ονομάζεται ενίσχυση ρεύματος κοινής βάσης και είναι  $\alpha < 1$  αλλά κοντά στο 1.

# Το τρανζίστορ pnp



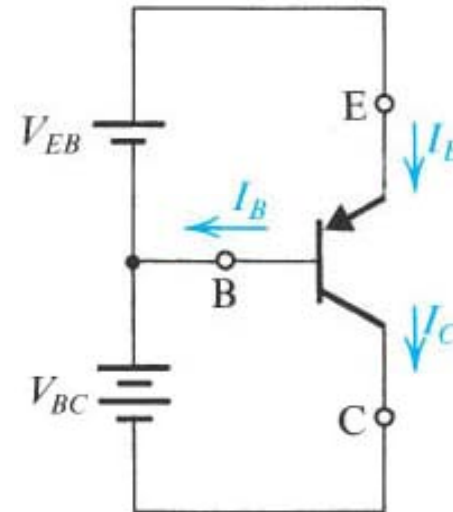
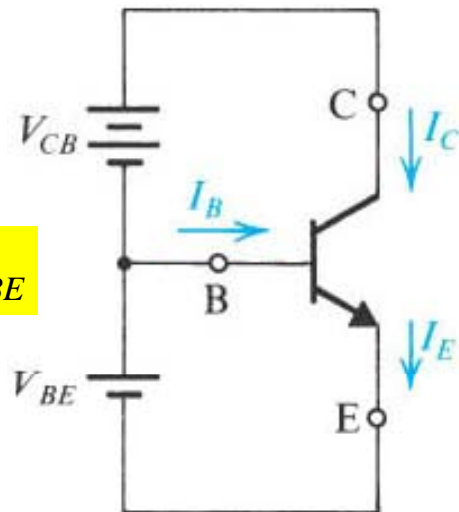
Τα ρεύματα του τρανζίστορ pnp στην ενεργό περιοχή.

# Συμβολισμός και πόλωση των διπολικών τρανζίστορ



$$I_E = I_C + I_B$$

$$V_{CE} = V_{CB} + V_{BE}$$



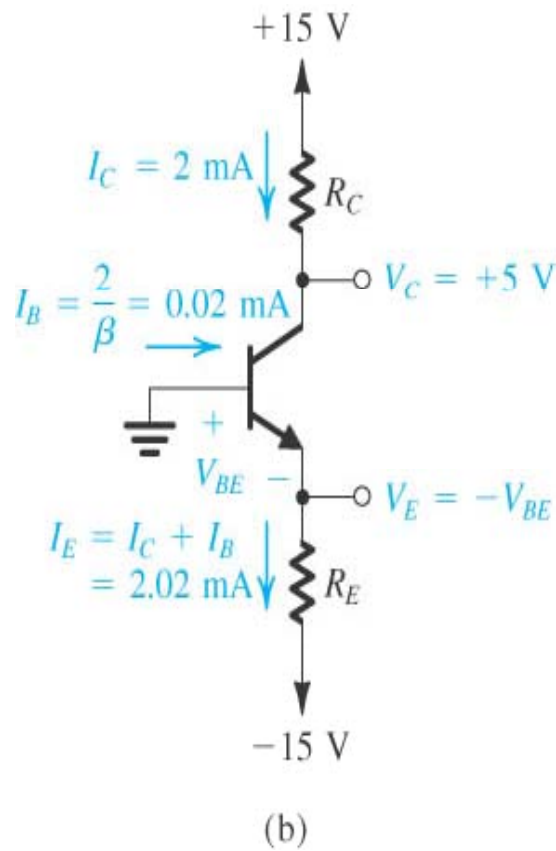
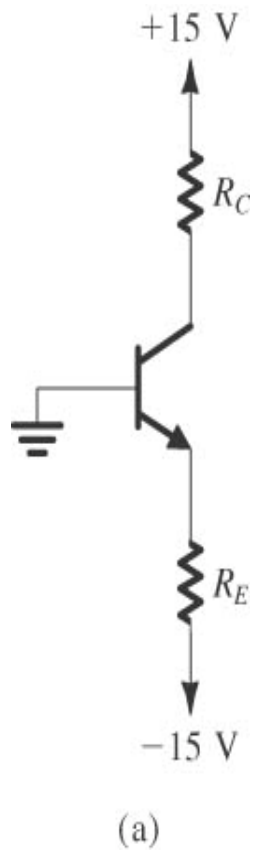
$$I_E = I_C + I_B$$

$$V_{EC} = V_{BC} + V_{EB}$$

## Παράδειγμα:

Δίνονται:  $\beta=100$  και  $v_{BE}=0,7V$  όταν  $i_C=1mA$

Να σχεδιαστεί το κύκλωμα έτσι ώστε  $I_C=2mA$  και  $V_C=5V$ .



$$R_C = \frac{V_{CC} - V_C}{I_C} = 5k\Omega$$

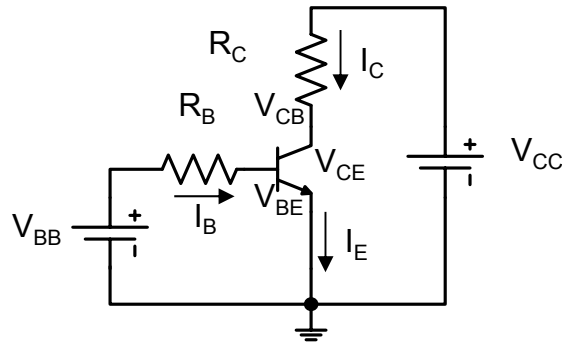
$$\left. \begin{aligned} i_{C1} &= I_S e^{v_{BE1}/V_T} \\ i_{C2} &= I_S e^{v_{BE2}/V_T} \end{aligned} \right\} \Rightarrow \frac{i_{C1}}{i_{C2}} = e^{(v_{BE1} - v_{BE2})/V_T}$$

$$\ln \frac{i_{C1}}{i_{C2}} = \frac{v_{BE1} - v_{BE2}}{V_T}$$

$$v_{BE1} = v_{BE2} + V_T \ln \frac{i_{C1}}{i_{C2}} = 0,717V$$

$$R_E = \frac{V_E - V_{EE}}{I_E} = 7,07k\Omega$$

## Υπολογισμός ρευμάτων και τάσεων



$$i_C = I_S e^{v_{BE}/V_T}$$

$$i_B = \frac{i_C}{\beta} = \frac{I_S}{\beta} e^{v_{BE}/V_T}$$

$$V_{BE} \approx 0,7V$$

$$V_{BB} = I_B R_B + V_{BE} \Rightarrow$$

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

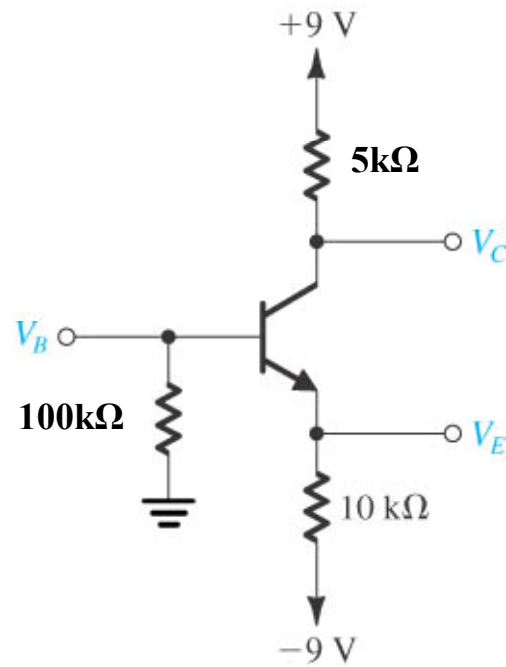
$$I_C = \beta \cdot I_B$$

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

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

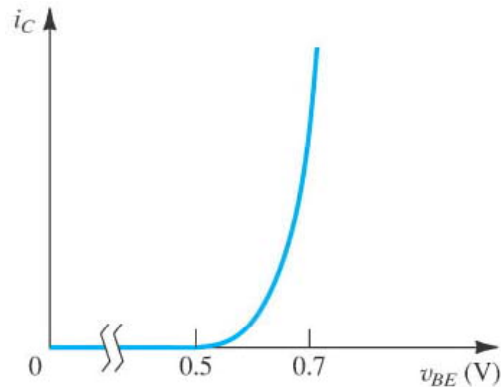
$$V_{CB} = V_{CE} - V_{BE}$$

Άσκηση: Αν  $V_B = -1V$  και  $V_E = -1,7V$  να υπολογιστούν τα:  $I_B$ ,  $I_E$ ,  $\beta$ ,  $\alpha$ ,  $I_C$  και  $V_C$ . Είναι το τρανζίστορ πολωμένο στην ενεργό περιοχή;

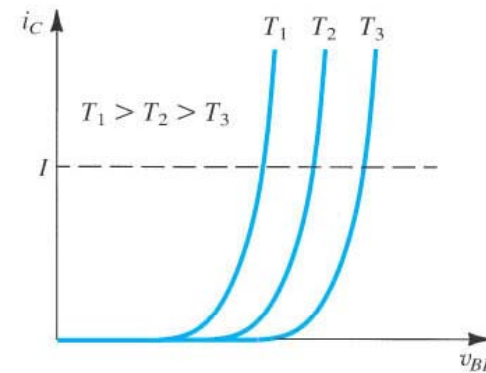


## Γραφική παράσταση των χαρακτηριστικών του τρανζίστορ

$$i_C = I_S e^{v_{BE}/V_T}$$



Η χαρακτηριστική  $i_C$ - $v_{BE}$  του τρανζίστορ ηρη.  
Οι χαρακτηριστικές  $i_E$ - $v_{BE}$  και  $i_B$ - $v_{BE}$  έχουν την ίδια μορφή.

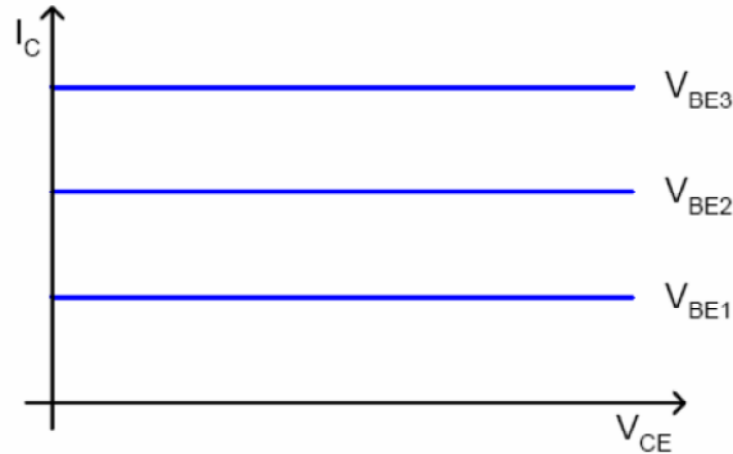
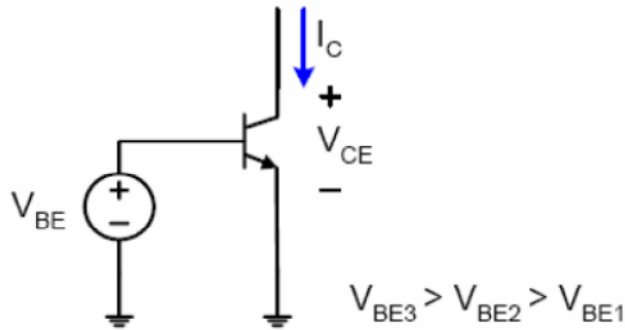


Επίδραση της θερμοκρασίας στην χαρακτηριστική  $i_C$ - $v_{BE}$  του τρανζίστορ ηρη.

$$0.6V < v_{BE} < 0.8V \Rightarrow v_{BE} \approx 0.7V$$

## Χαρακτηριστικές κοινού εκπομπού

$$i_C = I_S e^{v_{BE} / V_T}$$

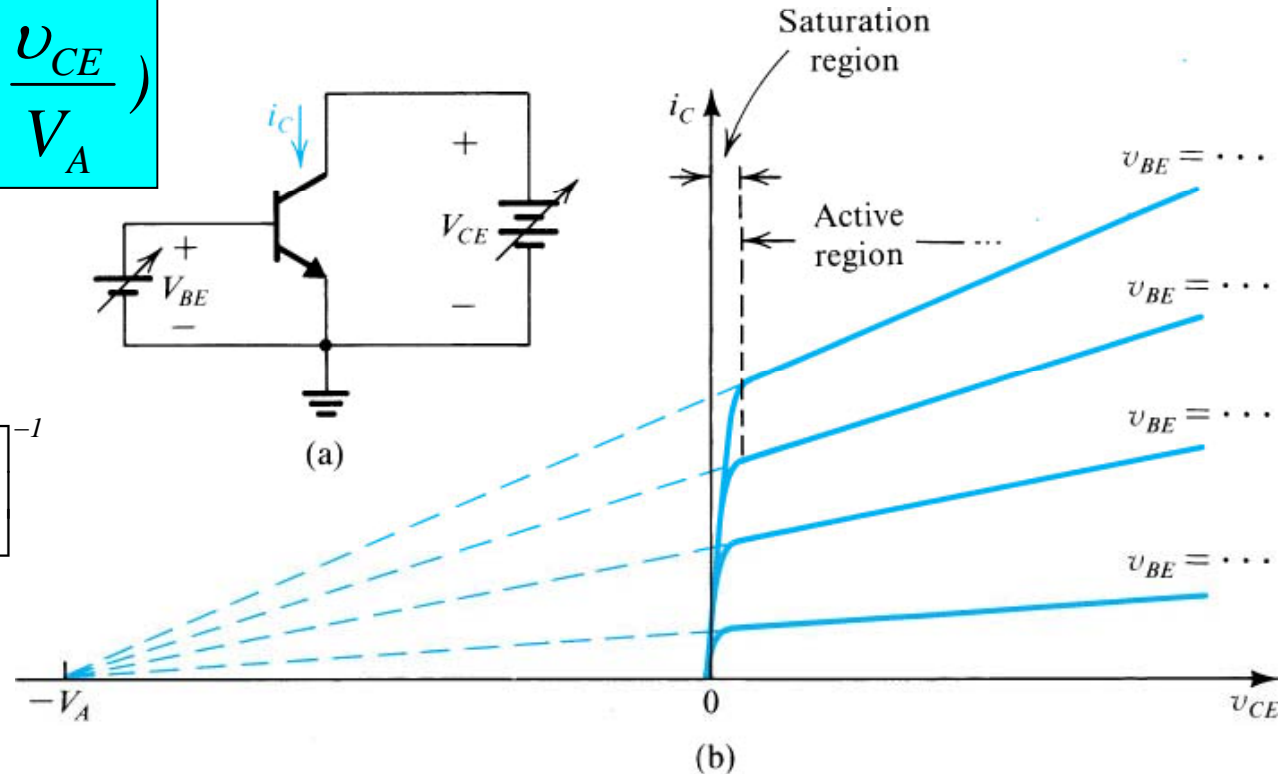
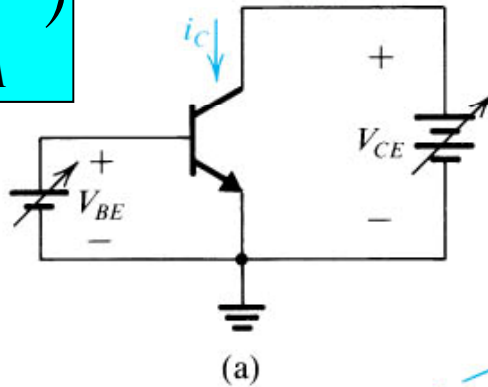


- Το ρεύμα συλλέκτη δείχνει ανεξάρτητο της  $V_{CE}$  στην ενεργό περιοχή.
- Επομένως μπορούμε να πούμε ότι το τρανζίστορ συμπεριφέρεται σαν ιδανική πηγή ρεύματος.



## Φαινόμενο Early

$$i_C = I_S e^{v_{BE}/V_T} \left( 1 + \frac{v_{CE}}{V_A} \right)$$

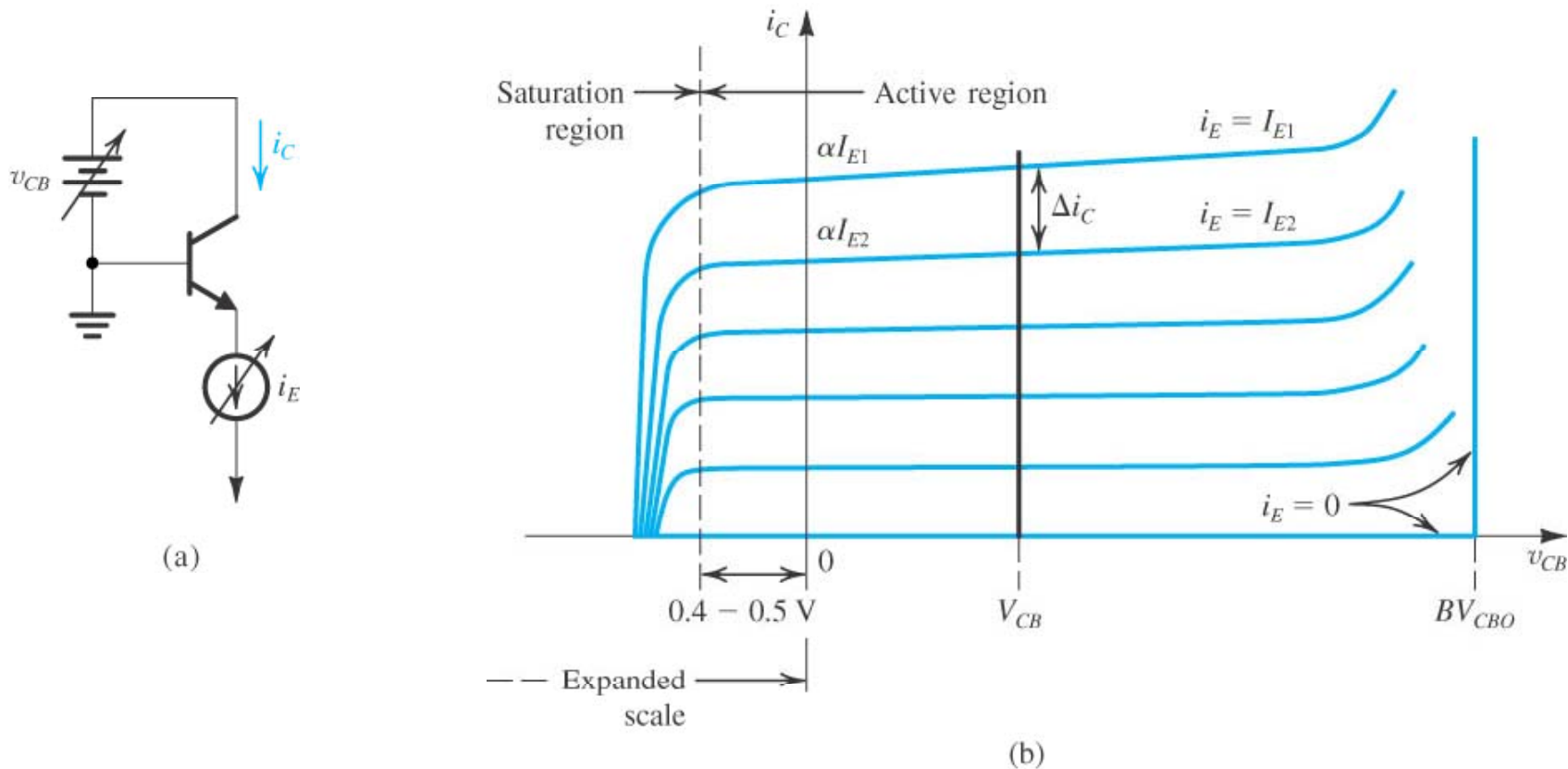


$$r_o \equiv \left[ \frac{\partial i_C}{\partial v_{CE}} \Big|_{V_{BE} = \text{σταθ}} \right]^{-1}$$

$$r_o \cong \frac{V_A}{I_C}$$

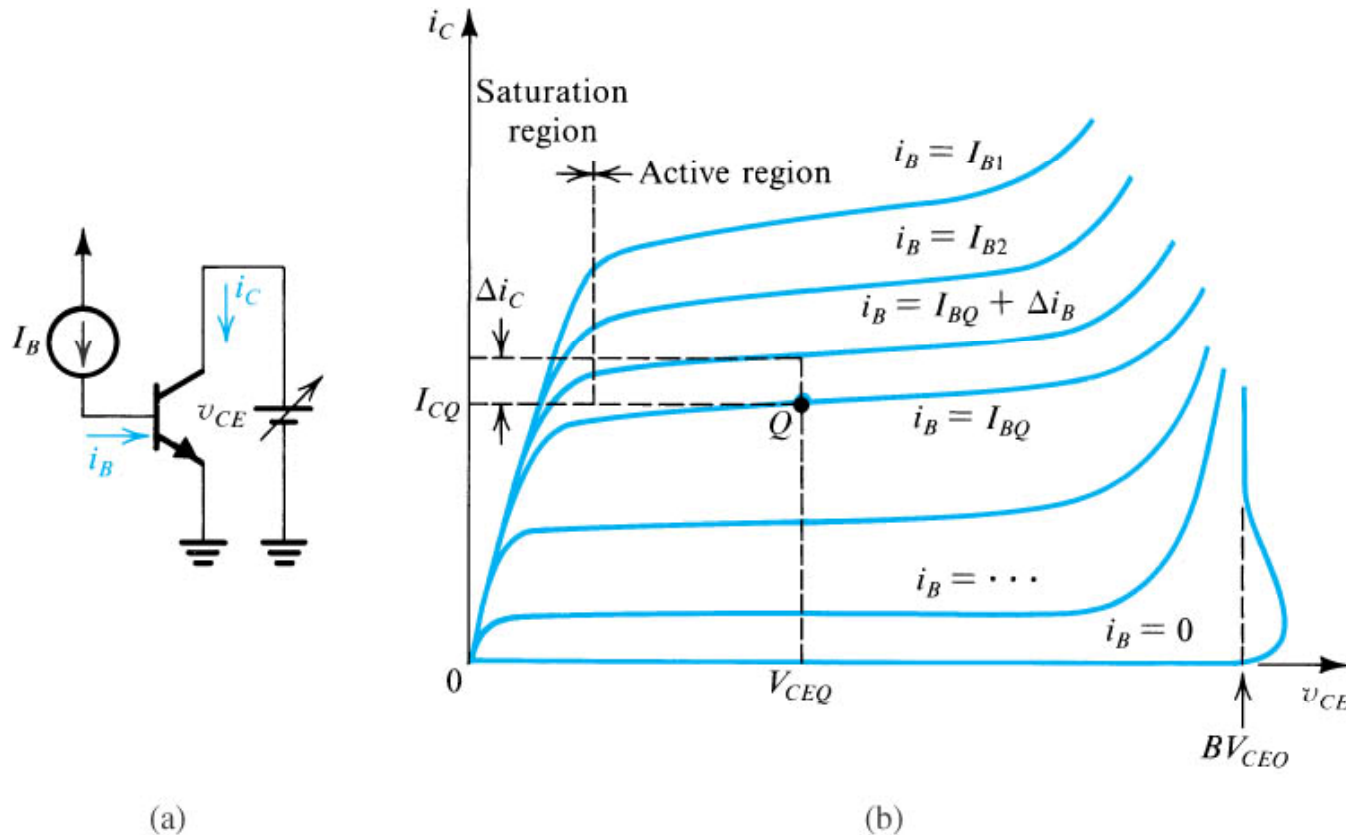
- Φαινόμενο Early:
  - Το ρεύμα συλλέκτη στην πράξη εξαρτάται ελαφρά από την  $V_{CE}$  στην ενεργό περιοχή.
  - Η τάση Early,  $V_A$ , είναι χαρακτηριστικό του τρανζίστορ (50 ως 100).
  - Μη μηδενική κλίση σημαίνει πεπερασμένη αντίσταση εξόδου,  $r_o$ .
- Για μικρές τιμές της  $V_{CE}$  η επαφή συλλέκτη-βάσης πολώνεται ορθά και το τρανζίστορ μπαίνει στον κόρο.

# Χαρακτηριστικές κοινής βάσης



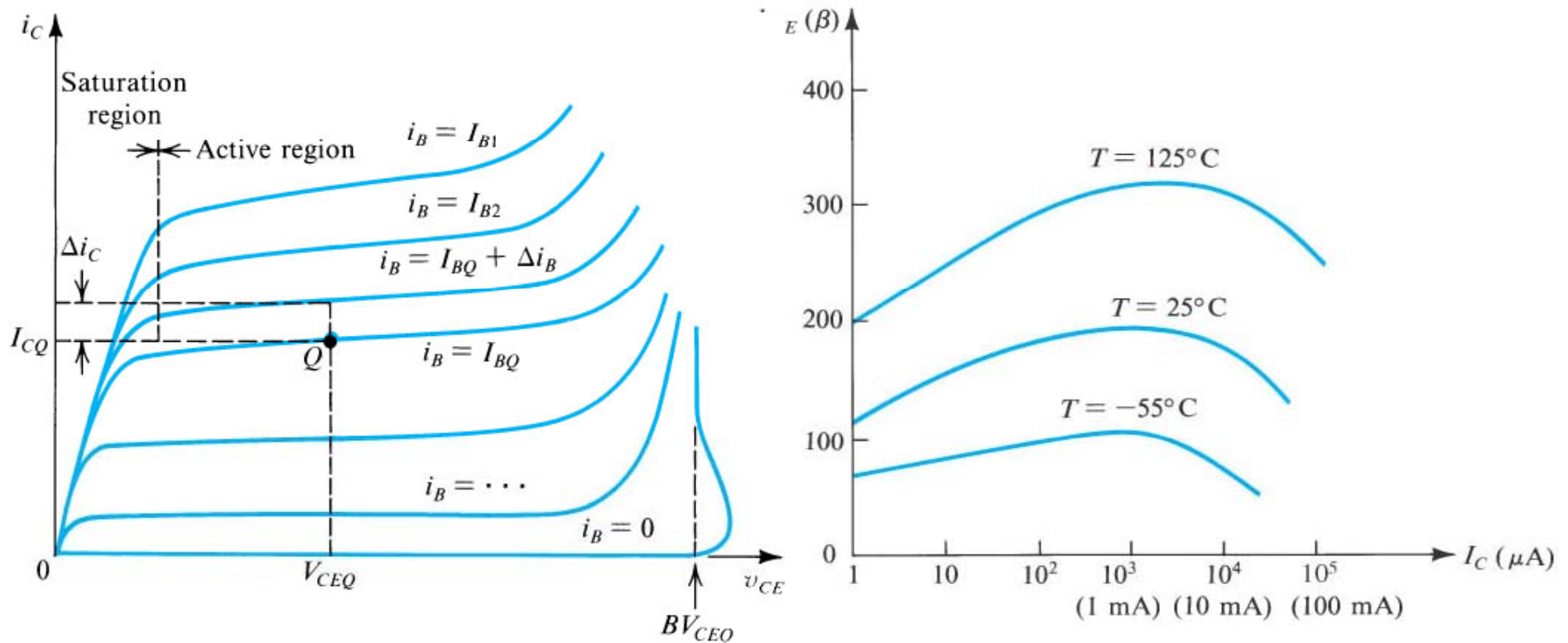
- Καθώς η  $v_{CB}$  γίνεται αρνητική, η επαφή συλλέκτη-βάσης πολώνεται ορθά και το τρανζίστορ εισέρχεται στον κόρο.
- Η  $BV_{CBO}$  είναι η τάση κατάρρευσης της επαφής συλλέκτη-βάσης και έχει μεγάλη τιμή.
- Η κλίση των χαρακτηριστικών στην ενεργό περιοχή είναι μικρότερη από την αντίστοιχη των χαρακτηριστικών κοινού εκπομπού. Επομένως, η αντίσταση εξόδου κοινής βάσης είναι μεγαλύτερη.

## Χαρακτηριστικές κοινού εκπομπού με παράμετρο το $I_B$



- Η τάση κατάρρευσης της επαφής συλλέκτη-εκπομπού  $BV_{CEO}$  έχει πολύ μικρότερη τιμή από την  $V_{CBO}$ .
- Στον κόρο η αντίσταση εξόδου έχει πολύ μικρή τιμή και το τρανζίστορ δρα ως «κλειστός διακόπτης».

## Η ενίσχυση ρεύματος β του τρανζίστορ



$$\beta_{dc} \equiv h_{FE} \equiv \frac{I_{CQ}}{I_{BQ}} \quad \beta_{ac} \equiv h_{fe} \equiv \left. \frac{\Delta i_C}{\Delta i_B} \right|_{V_{CE}} = \text{σταθ}$$

- Το β εξαρτάται από το ρεύμα συλλέκτη και τη θερμοκρασία.
- Η τιμή του β διαφέρει έντονα μεταξύ τρανζίστορ του ίδιου τύπου.