5.1.3 FUNCŢIONAREA TRANZISTORULUI BIPOLAR

Un tranzistor bipolar funcţionează corect, dacă joncţiunea bază-emitor este polarizată direct cu o tensiune mai mare decât tensiunea de prag, iar joncţiunea bază-colector este polarizată invers cu o tensiune mult mai mare decât tensiunea bază-emitor.

Emitorul este sursa de purtători care determină curentul prin tranzistor, iar colectorul colectează purtătorii ajunşi aici. Baza controlează curentul prin tranzistor în funcţie de valoarea tensiunii de polarizare a joncţiunii bază-emitor.

Joncţiunea emitor-bază (polarizată direct) injectează un curent de emitor I_E care este colectat în cea mai mare parte de joncţiunea colector-bază (polarizată invers), acest proces definind efectul de tranzistor.

Tranzistorul bipolar transferă curentul din circuitul de intrare de rezistenţă mică, în circuitul de ieşire de rezistenţă mare, de unde denumirea TRANsfer reZISTOR ⇔ TRANZISTOR.

a. Funcţionarea tranzistorului NPN.

La acest tip de tranzistor purtătorii majoritari sunt electronii.

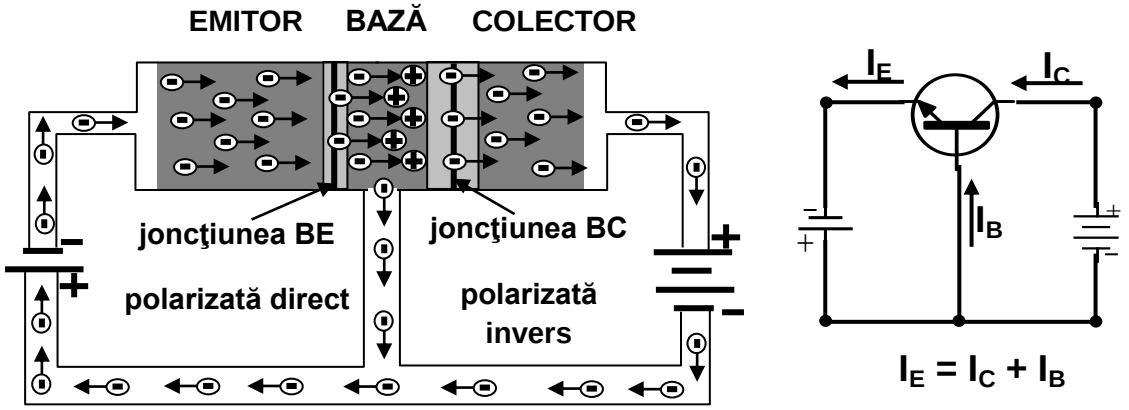


Figura 5.13 Prezentarea funcţionării tranzistorului NPN

Regiunea de tip n a emitorului este puternic dopată cu electroni liberi. Regiunea de tip p a bazei este foarte subţire şi slab dopată cu goluri. Prin polarizarea directă a joncţiunii BE electronii din regiunea emitorului difuzează cu uşurinţă prin joncţiunea BE către regiunea bazei. Aici un procent foarte mic de electroni se combina cu golurile din bază şi formează curentul de bază. Prin polarizarea inversă a joncţiunii BC majoritatea electronilor difuzează prin joncţiunea BC şi sunt atraşi către regiunea colectorului de către tensiunea de alimentare a colectorului, formându-se astfel curentul de colector.

b. Funcţionarea tranzistorului PNP.

La acest tip de tranzistor purtătorii majoritari sunt golurile.

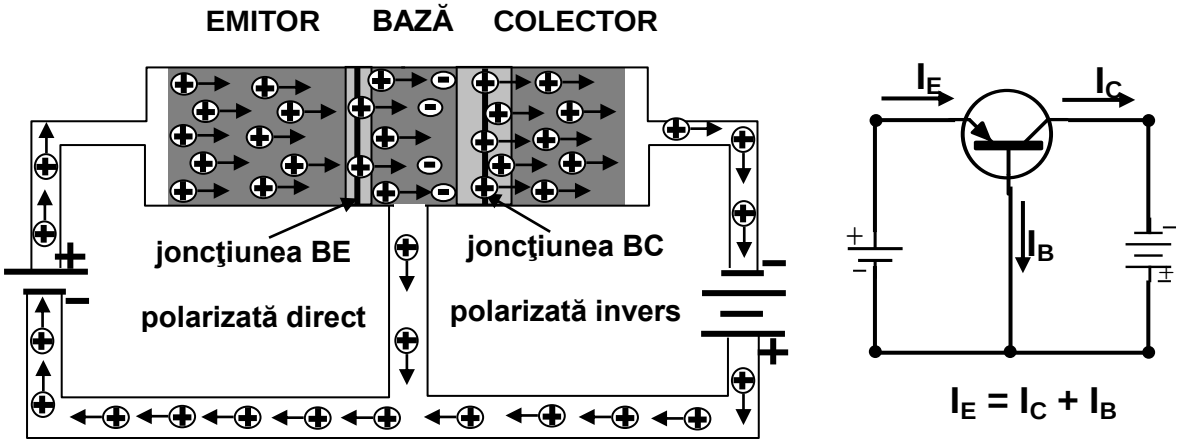


Figura 5.14 Prezentarea funcţionării tranzistorului PNP

Regiunea de tip p a emitorului este puternic dopată cu goluri. Regiunea de tip n a bazei este foarte subţire şi slab dopată cu electroni. Prin polarizarea directă a joncţiunii BE golurile din regiunea emitorului difuzează cu uşurinţă prin joncţiunea BE către regiunea bazei. Aici un procent foarte mic de goluri se combina cu electronii din bază şi formează curentul de bază. Prin polarizarea inversă a joncţiunii BC majoritatea golurilor difuzează prin joncţiunea BC şi sunt atraşi către regiunea colectorului de către tensiunea de alimentare a colectorului, formându-se astfel curentul de colector.

5.1.4 PARAMETRII ŞI CARACTERISTICILE TRANZISTORULUI BIPOLAR

a. Parametrii tranzistorului bipolar

a1. Factorul de amplificare al tranzistorului

Factorul de amplificare în curent din bază în colector (β_{cc}) – reprezintă raportul dintre curentul continuu prin colector (I_C) şi curentul continuu prin bază (I_B)

$$\beta_{CC} = \frac{I_C}{I_B} \quad (1)$$

β este o mărime statică de curent continuu, care indică de câte ori este mai mare curentul prin colectorul tranzistorului decât curentul prin baza tranzistorului. Acest parametru mai poartă denumirea de câştig în curent al tranzistorului.

Valoarea acestui parametru este menţionat de către producător în foile de catalog, ca parametru echivalent hibrid h_{FE}

$$h_{FE} = \beta_{CC} \quad (2)$$

Valorile parametrului β sunt cuprinse între 10 şi 1000, în funcţie de tipul tranzistorului.

Factorul de amplificare în curent din emitor în colector (α_{cc}) – reprezintă raportul dintre curentul continuu prin colector (I_C) şi curentul continuu prin emitor (I_E)

$$\alpha_{CC} = \frac{I_C}{I_E} \quad (3)$$

Acest parametru este întotdeauna subunitar deoarece curentul de colector (I_C) este întotdeauna mai mic decât curentul de emitor (I_E) .

Valorile paramentului α sunt cuprinse între 0,95 şi 0,99 în funcţie de tipul tranzistorului. Între parametrii β şi α sunt următoarele relaţii:

$$\beta_{CC} = \frac{\alpha_{CC}}{1-\alpha_{CC}} \quad (4) \qquad \alpha_{CC} = \frac{\beta_{CC}}{1+\beta_{CC}} \quad (5)$$

a2. Valorile maxime absolute

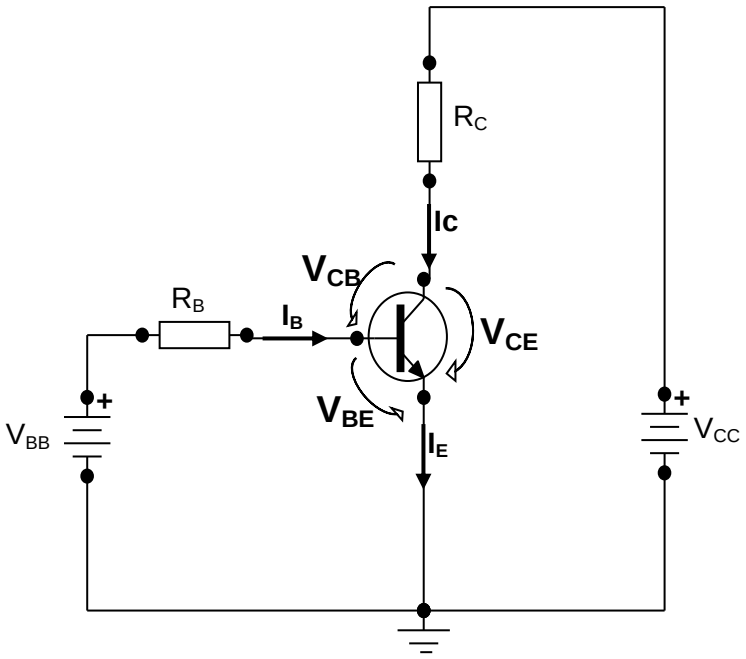
Sunt valori care nu trebuie depăşite în timpul funcţionării tranzistorului, deoarece pot produce defectarea acestuia. De regulă în această grupă apar:

- Tensiunile maxime între terminale: V_{CBO}, V_{CEO}, V_{EBO};
- Curentul maxim de colector şi de bază: I_{CM}, I_{BM};
- Puterea maximă disipată: P_{tot};
- Temperatura maximă a joncţiunii: T_{jM} (este cuprinsă între 175°C şi 200°C).

În practică se recomandă încărcarea tranzistorului la cel mult 0,75 din valorile de catalog ale acestor parametrii.

b. Caracteristicile tranzistorului bipolar.

b1. Caracteristicile electrice



I_B – curentul continuu de bază

I_C – curentul continuu de colector

I_E – curentul continuu de emitor

V_{CB} – tensiunea colector-bază

V_{BE} – tensiunea bază-emitor

V_{CE} – tensiunea colector-emitor

V_{BB} – sursă de tensiune continuă care polarizează direct joncţiunea bază - emitor

Figura 5.1.15 Curenţii şi tensiunile tranzistorului

$$V_{BE} = 0,7V \quad (1)$$

$$I_B = \frac{V_{R_B}}{R_B} = \frac{V_{BB} - V_{BE}}{R_B} \quad (2)$$

$$I_C = \beta_{CC} \cdot I_B \quad (3)$$

$$I_E = I_C + I_B \quad (4)$$

$$V_{CE} = V_{CC} - V_{R_C} = V_{CC} - I_C \cdot R_C \quad (5)$$

$$V_{CB} = V_{CE} - V_{BE} \quad (6)$$

V_E , V_B , V_C - reprezintă tensiunile pe terminalele tranzistorului. Aceste tensiuni se măsoară între terminalul respectiv și ”masa” montajului.

b2. Caracteristicile statice

Aceste caracteristici sunt grafice ce reprezintă dependenţa dintre curenţii ce trec prin terminalele tranzistorului şi tensiunile ce se aplică la aceste terminale. Fiecare schemă de conectare a unui tranzistor se caracterizează prin patru familii de caracteristici:

- $I_{IEŞ} = f(U_{IEŞ})$ la I_{INT} = constant – caracteristici de ieşire;
- $U_{INT} = f(I_{INT})$ la $U_{IEŞ}$ = constant – caracteristici de intrare;
- $I_{IEŞ} = f(I_{INT})$ la $U_{IEŞ}$ = constant – caracteristici de transfer a curentului;
- $U_{INT} = f(U_{IEŞ})$ la I_{INT} = constant – caracteristici de reacţie inversă după tensiune.

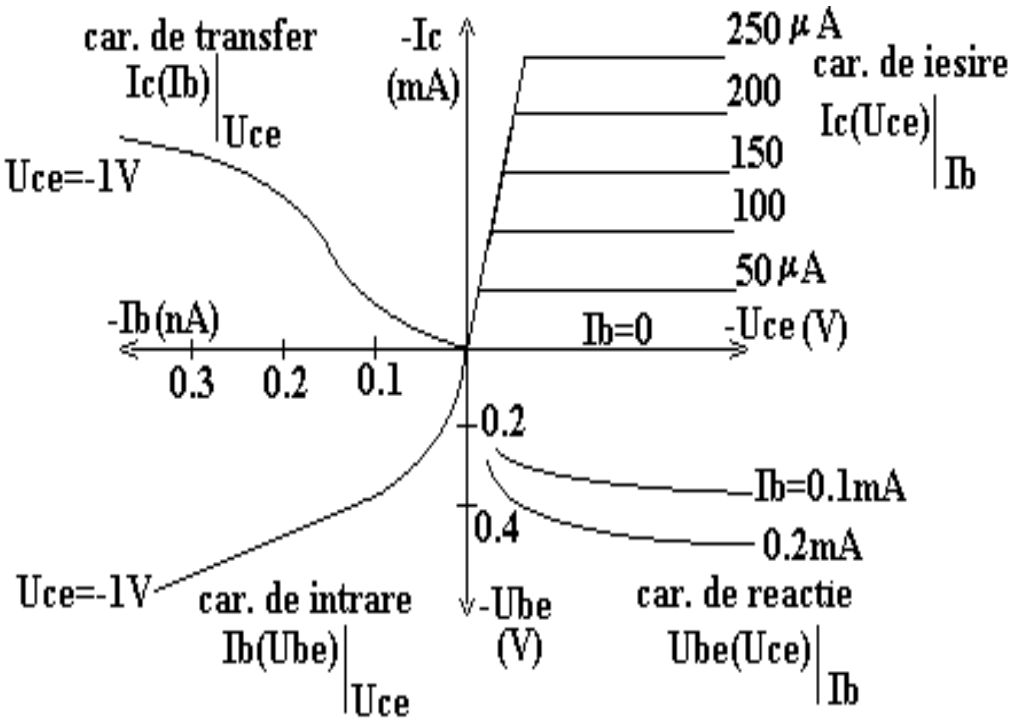


Figura 5.16 Caracteristicile statice ale tranzistorului bipolar în conexiunea EC

În cataloagele de tranzistoare sunt prezentate caracteristica de intrare şi caracteristica de ieşire, deoarece aceste caracteristici sunt mai importante. Pe caracteristica de ieşire se pot delimita regiunile de funcţionare a tranzistorului şi se poate trasa dreapta de sarcină.

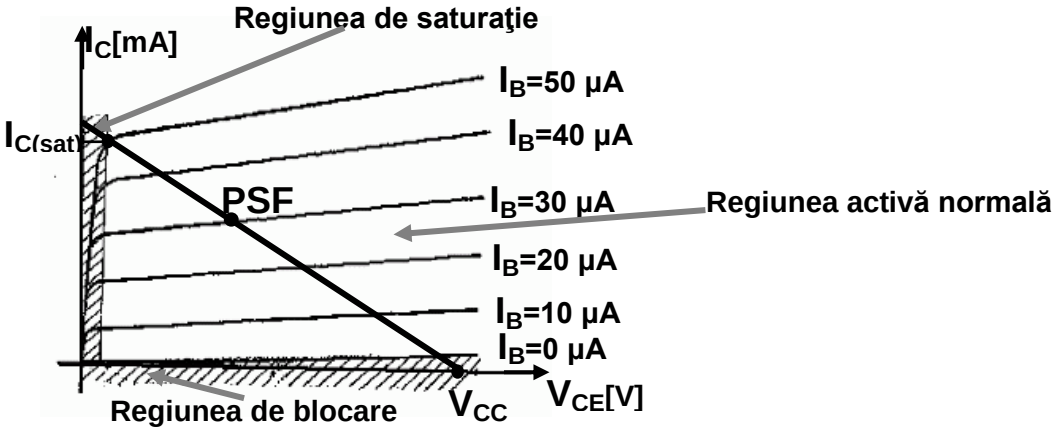


Figura 5.17 Caracteristica de ieşire a tranzistorului bipolar în conexiunea EC

În regiunea de blocare tranzistorul funcţionează în regim de blocare (tăiere):

- joncţiunea bază – emitor este polarizată invers (sau direct cu o tensiune mai mică decât tensiunea de prag);
- joncţiunea bază – colector este polarizată invers;
- curenţii prin tranzistor sunt foarte mici, practic I_C=0;
- tensiunea de ieşire are valoare mare, practic $V_{CE} = V_{CC}$;
- tranzistorul se comportă ca un întrerupător deschis.

În regiunea de saturaţie tranzistorul funcţionează în regim de saturaţie:

- joncţiunea bază – emitor este polarizată direct;
- joncţiunea bază – colector este polarizată direct;
- curentul de saturaţie este mai mare decât în regim activ normal $I_{C(sat)} > \beta \cdot I_B$;
- tensiunea de saturaţie este forte mică $V_{CE(sat)}$ = 0,2 – 0,3 V;
- tranzistorul se comportă ca un întrerupător închis.

În regiunea activă normală tranzistorul funcţionează în regim activ normal (RAN):

- joncţiunea bază – emitor este polarizată direct;
- joncţiunea bază – colector este polarizată invers;
- curentul prin tranzistor este mare $I_C = \beta \cdot I_B$;
- tensiunea de ieşire (V_{CE}) este mică;
- tranzistorul se comportă ca un amplificator de semnal.

Pe graficul caracteristicii de ieşire (**figura 5.17**) dacă se uneşte punctul de blocare (V_{CC}) cu punctul de saturaţie ($I_{C(sat)}$) se obţine dreapta de sarcină în curent continuu. De-a lungul dreptei de sarcină între cele două puncte se află regiunea activă normală de funcţionare a tranzistorului. La intersecţia unei caracteristici de ieşire cu dreapta de sarcină se află punctul static de funcţionare (PSF).

5.1.5 FUNCŢIILE TRANZISTORULUI BIPOLAR.

Din graficul caracteristicii de ieşire a tranzistorului se observă că tranzistorul bipolar are două funcţii importante:

- Funcţia de amplificare – când tranzistorul funcţionează în regim activ normal;
- Funcţia de comutare – când tranzistorul funcţionează în regim de blocare şi în regim de saturaţie.

a. FUNCŢIA DE AMPLIFICARE.

Când tranzistorul este polarizat astfel încât să lucreze în regiunea activă, acesta poate amplifica atât un semnal de formă continuă cât şi un semnal de formă alternativă.

În circuitul de curent continuu tranzistorul amplifică curentul din bază (**figura 5.18 a**)

$$I_C = \beta_{CC} \cdot I_B \quad (1)$$

În circuitul echivalent de curent alternativ tranzistorul amplifică tensiunea alternativă din bază (**figura 5.18 b**)

$$A_V = \frac{V_C}{V_B} \quad (2)$$

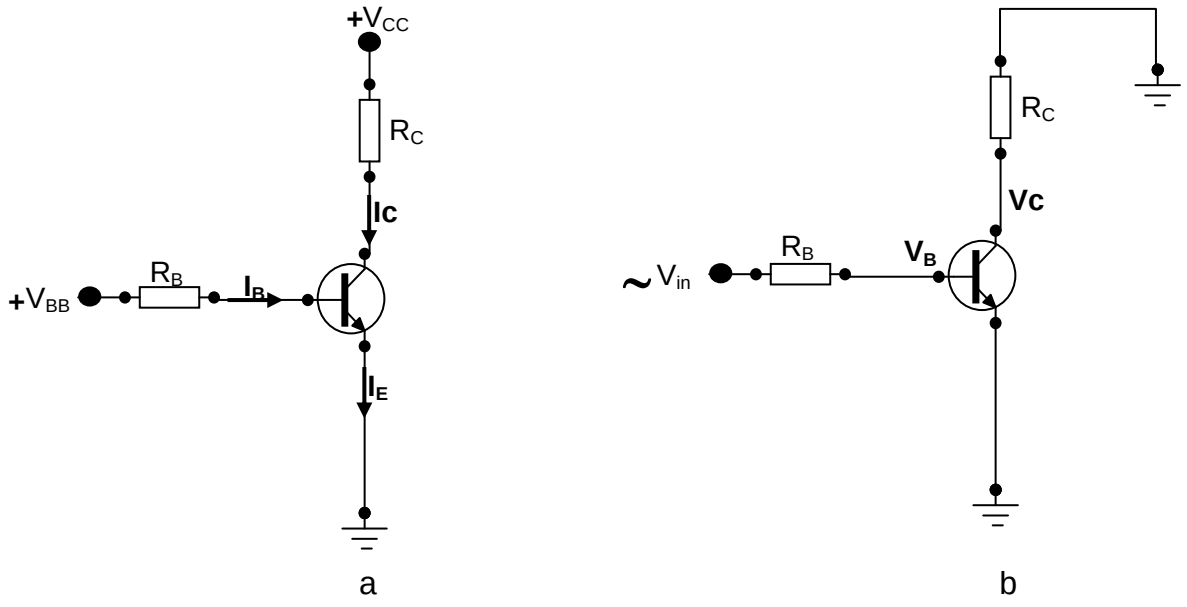


Figura 5.18 Funcţia de amplificare a tranzistorului bipolar în conexiunea EC

b. FUNCŢIA DE COMUTARE.

Tranzistorul bipolar când lucrează în regim de comutaţie, trece alternativ din starea de blocare în starea de saturaţie.

În starea de blocare, când joncţiunea bază-emitor nu este polarizată direct, tranzistorul se comportă ca un întrerupător deschis şi prin el nu circulă curent (**figura 5.19 a**)

În această situaţie tensiunea colector-emitor este maximă:

$$V_{CE(blocare)} = V_{CC} \quad (3)$$ - condiția de blocare

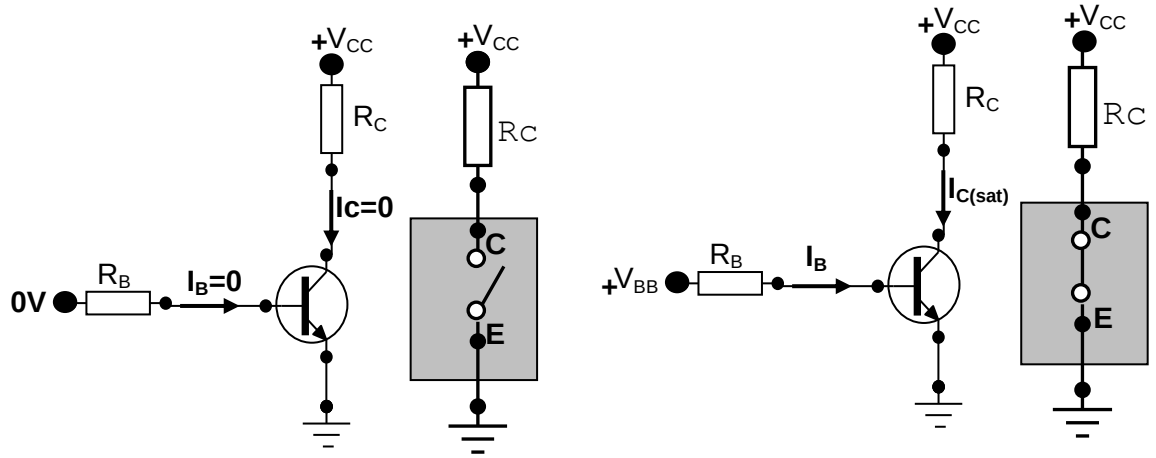
În starea de saturaţie, când joncţiunea bază-emitor este polarizată direct, tranzistorul se comportă ca un întrerupător închis şi prin el circulă un curent (**figura 5.19 b**)

Valoarea curentului care circulă de la colector spre emitor este:

$$I_{C(sat)} = \frac{V_{CC}}{R_C} \quad (4) \quad V_{CE(sat)} \approx 0$$

Valoarea minimă a curentului de bază pentru a aduce tranzistorul în saturaţie este:

$$I_{B(\min)} = \frac{I_{C(sat)}}{\beta_{CC}} \quad (5)$$



(a) Blocare – întrerupător deschis (b) Saturaţie – întrerupător închis

Figura 5.19 Funcţia de comutare a tranzistorului bipolar în conexiunea EC