

## Funcționarea tranzistorului bipolar

În figura 5.1 se reprezintă o structură de tranzistor bipolar cu joncțiuni. Acest tranzistor conține două joncțiuni P-N, care, în cazul ilustrat, delimitează o singură regiune subțire de tip N. Regiunea semiconductorului care este comun acestor joncțiuni este numită bază. Celelalte două regiuni se numesc emitor și colector.

Deși aceste două regiuni au același tip de conductivitate, ele au în mod uzual proprietăți fizice și electrice diferite, după cum au și grosimea destul de diferită. Joncțiunea cuprinsă între emitor și bază este numită joncțiunea emitorului, sau joncțiunea bază - emitor, iar joncțiunea cuprinsă între bază și colector este numită joncțiunea colectorului, sau joncțiunea bază – colector.

În general emitorul este puternic dopat cu impurități, ceea ce determină existența unui număr mare de purtători de sarcini electrice liberi. Colectorul și baza sunt slab dopate cu impurități, determinând un număr relativ redus de sarcini electrice libere. Regiunea bazei are o dimensiune geometrică foarte mică în comparația cu celelalte regiuni.

În linii mari, funcționarea tranzistorului poate fi înțeleasă pe baza curgerii purtătorilor minoritari prin regiunea subțire a bazei.

Să presupunem că emitorul este lăsat în gol, fiind scos din circuit, rămânând doar joncțiunea colectorului. Dacă se presupune că această joncțiune este polarizată invers (vezi figura 5.1) prin joncțiune va trece un curent rezidual invers, numit curent rezidual colector – bază, notat cu  $I_{CBO}$ , datorat purtătorilor minoritari ce străbat joncțiunea colectorului când curentul de emitor este nul; iar joncțiunea N - P este polarizată invers. Curentul colector – bază rezidual se mai numește, pe scurt, curentul de colector rezidual și se mai notează cu  $I_{C0}$ .

Dacă se polarizează în continuare direct, joncțiunea p - n a emitorului, golurile sunt difuzate din emitor, unde sunt purtători majoritari, în regiunea bazei, unde sunt purtători minoritari, exact ca la o diodă polarizată direct. Difuzia este determinată de câmpul electric, pozitiv, dinspre emitor spre bază. Datorită faptului că baza este slab dopată cu impurități determină, cum s-a arătat, ca în bază să existe un număr mic de sarcinile electrice negative (majoritara). Sarcinile electrice pozitive (goluri) difuzate în bază au tendința de a se recombină cu sarcinile electrice negative și de a forma atomul de siliciu, cât și legăturile covalente. Cum posibilitatea de recombinare este redusă rezultă că cea mai mare parte dintre acești purtători injectați în bază (goluri), vor difuza prin joncțiunea bază - colector și ajung în colector. Golurile sunt antrenate spre colector de câmpul electric existent între emitor și colector fiind format de cele două diferențe de potențial emitor- bază, respectiv bază – colector ce sunt în serie și de aceeași polaritate. Deplasarea sarcinilor pozitive dinspre bază spre colector formează un curent electric de intensitate mare datorat numărului mare de sarcini electrice pozitive ce traversează joncțiunea bază – colector. Cum se vede curentul de colector este comandat direct de tensiunea bază-emitor, care asigură polarizarea directă a joncțiunii emitorului. Curentul de colector este determinat de „emisie” de sarcini electrice furnizată de regiunea emitor și „colectată” de regiunea colector.

Evacuarea golurilor din bază asigură ca în dreptul regiunii de trecere a colectorului concentrația purtătorilor de sarcină electrică să fie practic zero. Distribuția concentrației purtătorilor minoritari de sarcină electrică, într-un tranzistor PNP, este reprezentată în figura 5.2.

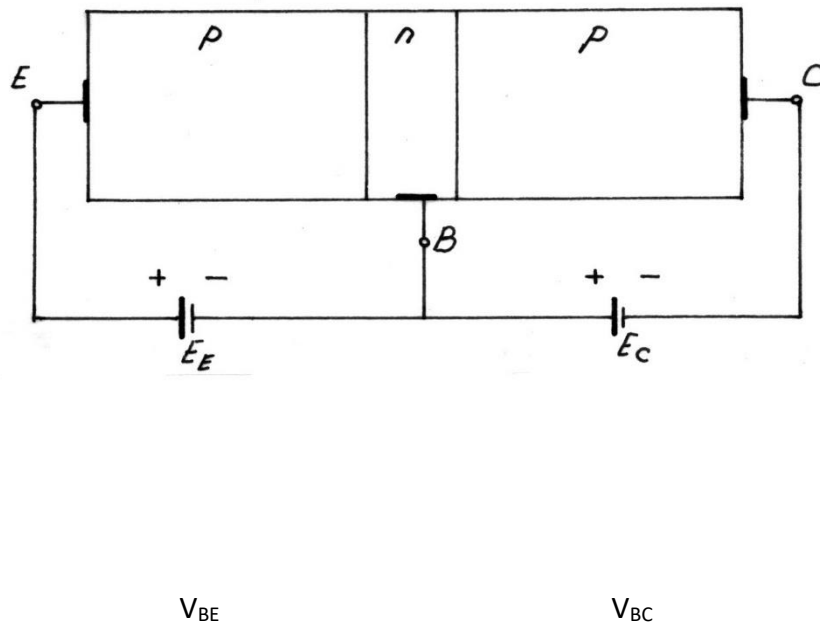


Figura 5.1

Dispozitivul este numit tranzistor bipolar întrucât în funcționarea sa intervin ambele tipuri de purtători de sarcină: sarcinile minoritare, respectiv sarcinile majoritare.

Experimental s-a constatat că aproape 98-99,8 % din purtătorii majoritari ce au trecut din emitor în bază sunt captați de colector, contribuind la formarea curentului de colector, iar restul de 2-0,2 % se recombină în bază.

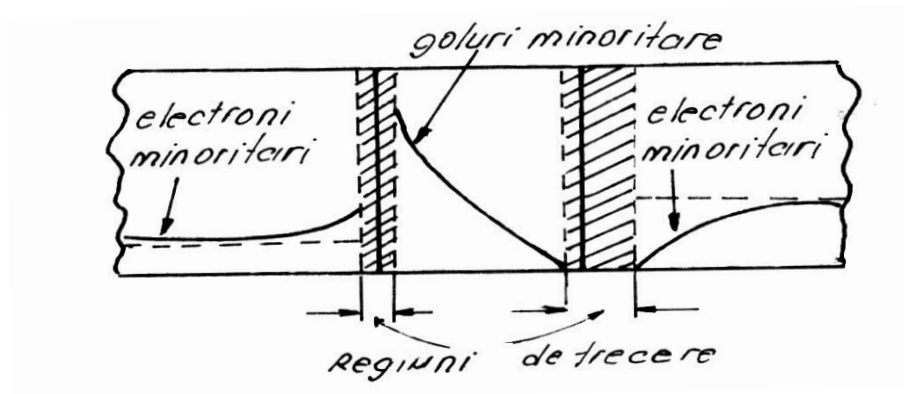


Figura 5.2

În figura 5.3 se arată circulația internă de purtători de sarcini și compoziția curenților de la bornele unui tranzistor de tip pnp. Curentul care circulă între emitor și colector este controlat direct de căderea de tensiune de pe jonțiunea emitorului ( $U_{BE}$ ) și este, în esență independent de căderea de tensiune de pe jonțiunea colectorului ( $U_{CB}$ ); creșteri mici ale tensiunii  $U_{BE}$  eliberează un număr mare de purtători majoritari, ceea ce face ca concentrația purtătorilor în exces în regiunea jonțiunii să crească exponențial cu tensiunea directă pe jonțiune bază - emitor.

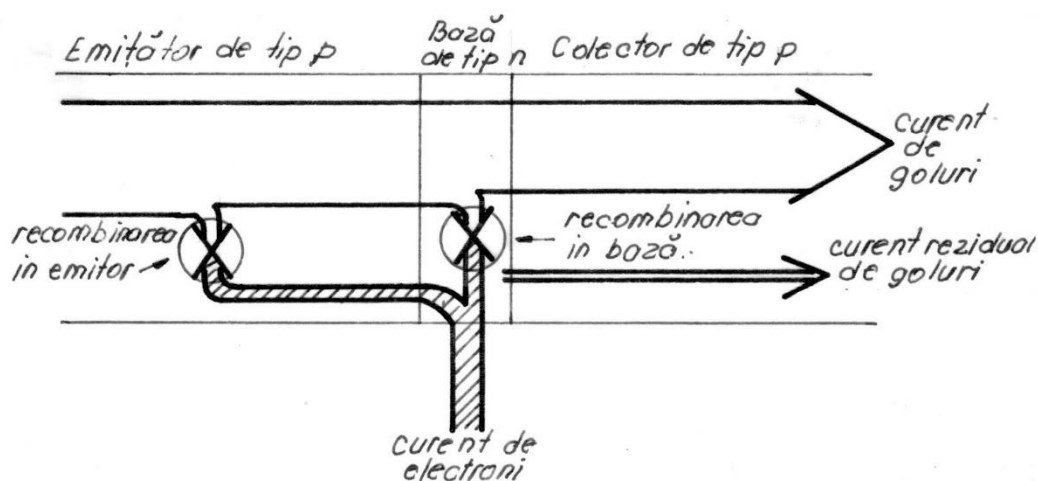
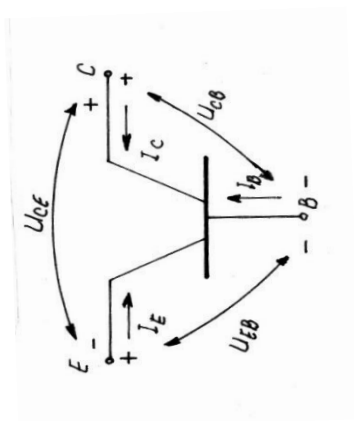


Figura  
5.3

Simbolurile standard pentru un tranzistor oarecare cât și sensul convențional de curent sunt indicate în figura 5.4.a , indiferent de tipul tranzistorului; alăturat sunt date și semnele reale ale curenților și căderilor de tensiune pe tranzistorul real.

Cum se vede funcționarea tranzistorului se bazează pe curgerea purtătorilor minoritari de la emitor, prin bază, spre colector. Curentul de colector este numai cu puțin mai mic decât curentul de emitor, iar curentul de bază este mult mai mic decât amândoi. Această situație se obține atâta timp cât joncțiunea emitorului este polarizată direct, iar joncțiunea colectorului este polarizată invers. În principiu curentul de colector este independent de valoarea tensiunii inverse bază – colector.

**Prin urmare, tranzistorul are o tensiune mică emitor-bază corespunzătoare polarizării directe a joncțiunii emitorului și produce un curent de colector independent de tensiunea colector-bază, cu condiția ca joncțiunea colectorului să fie polarizată invers. Tranzistorul poate fi privit, la borna colectorului, ca un generator de curent de colector dependent, de o altă variabilă.**



a)

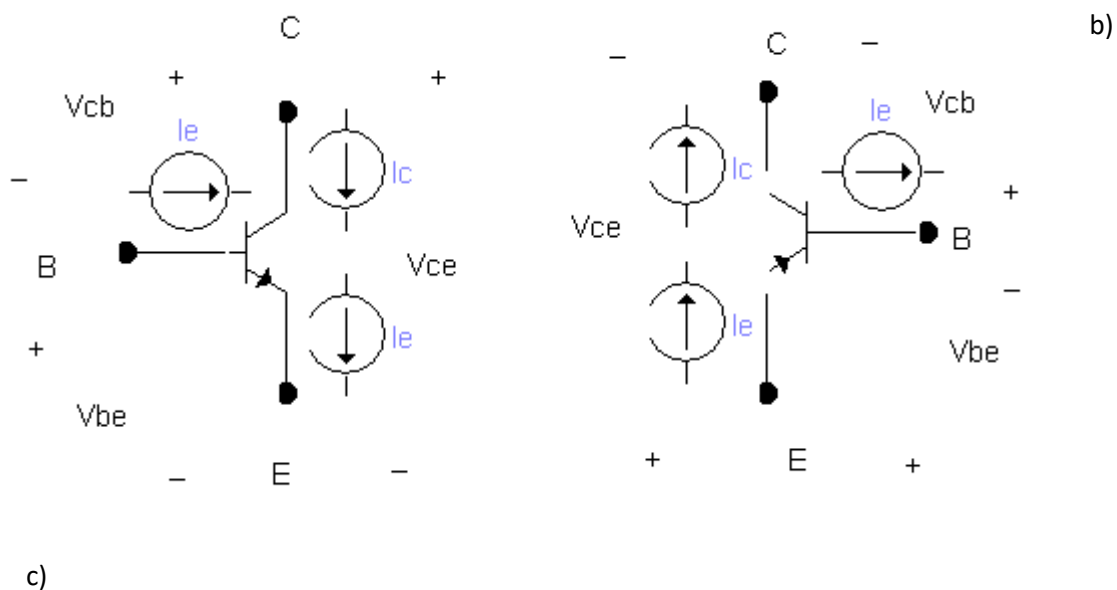


Figura 5.4

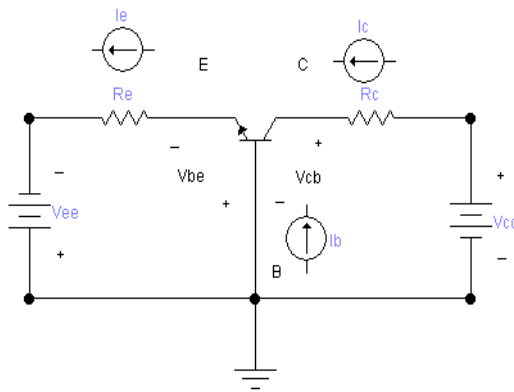
Pentru un tranzistor npn (Figura 5.4.b) sensurile reale ale curenților prin tranzistor și căderile de tensiune la bornele acestuia sunt față de sensurile convenționale:  $I_c$  este pozitiv,  $I_b$  este pozitiv,  $I_e$  este negativ (sens opus față de sensul curenților din figura 5.4),  $U_{BE}$  este negativă (potențialul din bază este mai mare față de potențialul din emitor),  $U_{CB}$  și  $U_{CE}$  pozitive.

Pentru un tranzistor PNP (Figura 5.4.c) sensurile reale ale curenților prin tranzistor și căderile de tensiune la bornele acestuia sunt față de sensurile convenționale sunt:  $I_c$  și  $I_b$  sunt negative (de sens contrar celor din figura 5.4.a),  $I_e$  pozitivă,  $U_{BE}$  pozitivă (potențialul din bază este mai mic față de potențialul din emitor),  $U_{CB}$  și  $U_{CE}$  sunt negative.

#### Parametrii statici AI TRANZISTORULUI BIPOLAR.

Există trei moduri diferite prin care se poate controla curențul din colectorul tranzistorului bipolar. Curențul din colectorul tranzistorului poate fi comandat de curențul de intrare și de tensiunea de la intrarea acestuia. În acest sens, mărimile de la intrare depind de modul de conectare al tranzistorului.

a) **Tranzistorul este conectat în conexiune cu bază comună (BC)**, figura 5.5, în acest caz mărimile de intrare sunt curentul emitor,  $I_e$ , și tensiunea bază – emitor,  $V_{be}$ . Între cele două mărimi de intrare se poate exprima o relație ce se reprezintă sub forma unei caracteristici volt – amperi asemănătoare cu caracteristicile diodelor semiconductoare (figura 5.6). Această caracteristică reprezintă caracteristica statică de intrare a tranzistorului în conexiune cu bază comună. În funcție de valoarea uneia din cele două mărimi de intrare va rezulta mărimea de ieșire, care în acest caz este curentul,  $I_c$ , respectiv tensiunea dintre colector și bază,  $V_{cb}$ . Dacă se exprimă dependența dintre cele două mărimi de ieșire se obține caracteristica statică de ieșire a tranzistorului în conexiune cu bază comună (figura 5.7).



5.6

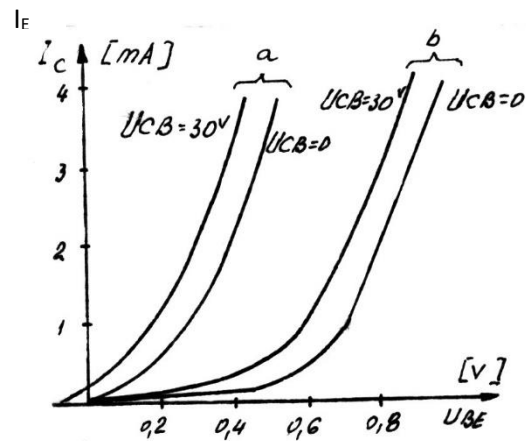


Figura 5.5

Figura

În figura 5.6 se reprezintă un set de caracteristici de intrare pentru un tranzistor cu germaniu (figura 5.6.a), respectiv cu siliciu (figura 5.6.b) în conexiune cu bază comună

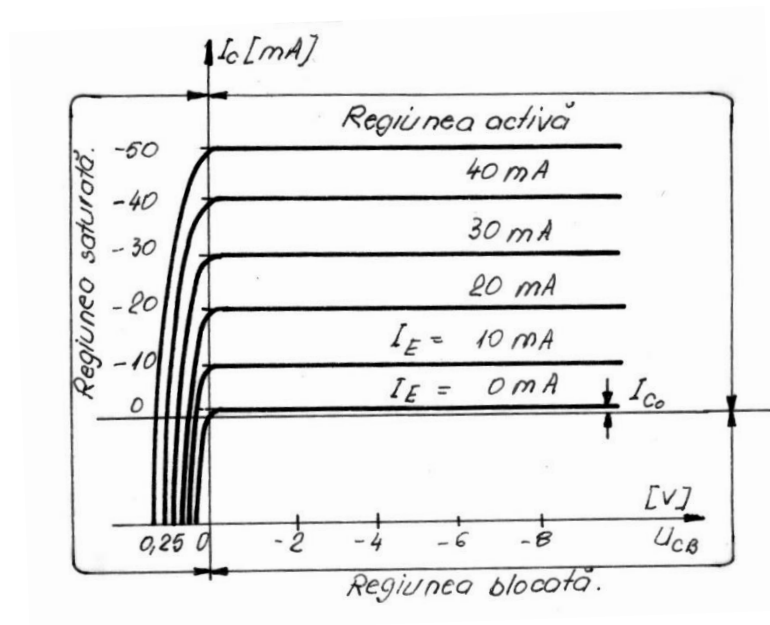


Figura 5.7

Se constată din figura 5.7 că există o dependență dintre curentul de ieșire  $I_C$  și curentul de intrare  $I_E$  ce intervine ca parametru în caracteristica de ieșire a tranzistorului. Valorile curenților și a tensiunilor din figura 5.7 sunt orientativi. Caracteristicile din figura 5.7 descrie modul de funcționare a unui tranzistor, conform celor prezentate în paragraful precedent și anume curentul  $I_C$  este proporțional cu curentul de emitor,  $I_E$ , unde constanta de proporționalitate se notează cu alfa ( $\alpha$ ) și reprezintă factorul de amplificarea în curent continuu pentru conexiunea în BC. Ținând cont și de prezența curentului de colector rezidual se obține următoarea relație:

$$I_C = \alpha I_E + I_{C0} \quad (5.1)$$

Prin definiție raportul dintre modulul curentului de colector și modulul curentului de emitor pentru tensiunea  $U_{CE} = \text{constant}$  poartă denumirea de amplificarea de curent al tranzistorului cu baza comună la frecvență joasă și este notat cu  $\alpha$  fiind dat de relația (5.2).

$$\frac{[I_C]}{[I_E] \text{ pentru } U_{CE=\text{const}}} = \alpha \quad (5.2)$$

Evident că amplificarea de curent  $\alpha$  are valori cu puțin mai mici decât 1 (de obicei  $\alpha = 0,98 - 0,99$ ). Adică 98-99 % din sarcinile ce contribuie la formarea curentului de emitor sunt colectate de către regiunea colectoră și formează curentul de colector.

Se observă că pentru  $I_E = 0$ ,  $I_C = I_{C0}$ . Deoarece  $I_{C0}$  are valori foarte mici (neglijabile în raport cu  $I_E$ ) se obține pentru curentul de colector că:  $I_C \approx \alpha I_E = (0,98 - 0,99) I_E$

b) **Tranzistorul este conectat în conexiune cu emitor comun (C)**, figura 5.8, în acest caz mărimile de intrare sunt curentul de bază,  $I_B$  respective tensiunea bază – emitor,  $V_{BE}$ , între cele două mărimi se stabilește o legătură ce se poate exprima, grafic, printr-o caracteristică de tip volt – amper (figura 5.9), unde tensiunea colector – emitor este parametru și a cărei influență este relativ mică. Caracteristica din figura 5.9 poartă denumirea de caracteristica statică de intrare a tranzistorului în conexiune cu emitor comun (EC)

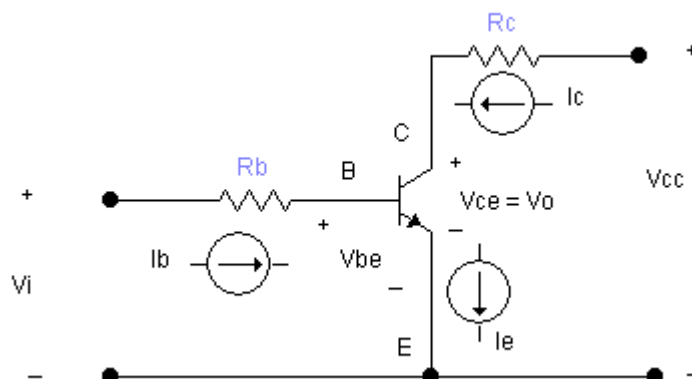




Figura 5.8

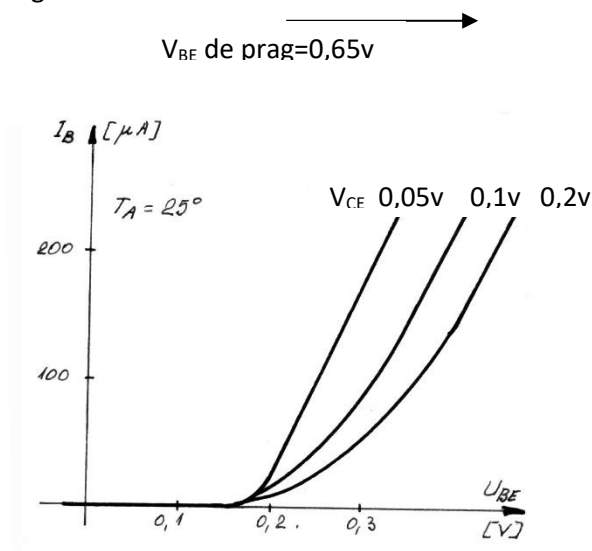


Figura 5.9  
5.10

Figura

Pentru ieșire se constată că se pot ridica un set de caracteristici ce exprimă dependența curentului de ieșire,  $I_C$  funcție de tensiunea de ieșire  $V_{CE}$  (figura 5.10), ca parametru, în cadrul caracteristicii, este curentul de bază. Caracteristica rezultată poartă numele de caracteristica statică de ieșire a tranzistorului în conexiune cu emitor comun. Valorile

numerice din figuri sunt pur orientative, valorile reale sunt descrise în foile de catalog pentru fiecare tip de tranzistor. În figura 5.12 sunt prezentate caracteristicile statice de intrare și ieșire pentru un tranzistor BC382

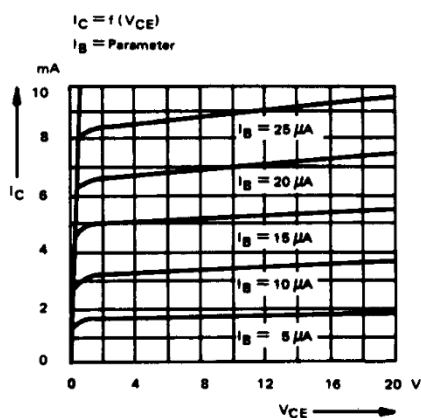
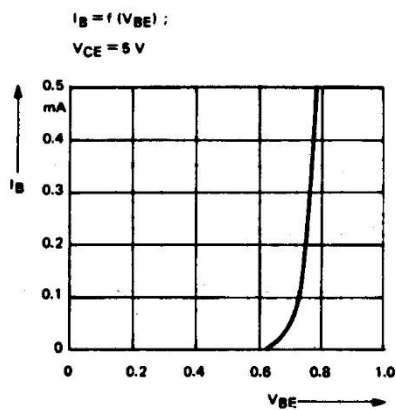


Figura 5.12

Raportul între modulul curentului de bază și curentul de bază este numit câștig (amplificarea) de curent a tranzistorului în conexiune cu emitor comun și este notat cu  $\beta$  ( $h_{FE}$ ). El are valoarea:

$$\frac{[I_C]}{[I_B]} = \beta \quad (5.3)$$

Acest câștig de curent este mare și are în mod uzual valori cuprinse în gama 10-500. Relația directă între acești curenți poate fi scrisă pe baza unei relații fundamentale într-un tranzistor și anume curentul de emitor este suma dintre curentul de bază și curentul de colector:

$$I_E = I_C + I_B \quad (5.4)$$

Sau prin divizare cu  $I_C$  se obține:

$$\frac{I_E}{I_C} = 1 + \frac{I_B}{I_C} \quad (5.5)$$

Unde dacă se notează  $\frac{[I_C]}{[I_E]} \text{ pentru } U_{CE=const} = \alpha$  și  $\frac{[I_C]}{[I_B]} = \beta$  se poate exprima o corelație între alfa și beta:

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

de unde se obține:

$$\alpha = \frac{\beta}{1 + \beta} \quad (5.6)$$

sau

$$\beta = \frac{\alpha}{1 - \alpha} \quad (5.7)$$

Se poate constata că pentru  $\alpha = 0,99$  pentru  $\beta$  se obține valoarea 99.

În finalul acestui paragraf se poate desprinde concluzia că indiferent de modul de conexiune a unui tranzistor sunt trei posibilități de a controla curentul de colector:

a) Curentul de colector este comandat de tensiunea emitor-bază și crește rapid cu creșterea tensiunii directe pe joncțiunea emitorului (figura 5.6, 5.9, 5.12a)

b) Curentul de colector este comandat de sarcina în exces din bază și crește cu creșterea acestei sarcini, unde sarcinile în exces din bază și deci curentul de colector pot fi controlate direct introducând sau extrăgând sarcini prin bază (mărind sau micșorând curentul de bază). Acest punct de vedere stă la baza unui set de caracteristici statice ale tranzistorului. O asemenea familie de caracteristici este arătată în figura 5.10. Această familie este denumită curent caracteristic de ieșire a tranzistorului în montaj (conexiune) cu emitorul comun. Caracteristica exprimă variația mărimilor de la ieșirea tranzistorului  $I_C$  și  $U_{CE}$  având ca parametru curentul de intrare  $I_B$ .

c) Curentul de colector este comandat de curentul de emitor. Pe baza acestei observații se poate trasa un set de caracteristici denumite caracteristici de ieșire a tranzistorului în conexiunea cu bază comună (Figura 5.7)

Caracteristicile din figurile 5.6, 5.7, 5.9, 5.10 poartă numele de caracteristici statice de bază ale tranzistorului și sunt familii de curbe descrise de relații de forma:

- $I_C = f(V_{CE})$  având parametru  $I_B$  și poartă denumirea de caracteristică statică de ieșire pentru un tranzistor în conexiune cu emitor comun;
- $I_B = f(V_{BE})$  având parametru  $V_{CE}$  și poartă denumirea de caracteristică statică de intrare a unui tranzistor în conexiunea cu emitor comun;
- $I_B = f(V_{BE})$  având parametru  $V_{CB}$  și poartă denumirea de caracteristică statică de intrare a unui tranzistor în conexiunea cu bază comună;
- $I_C = f(V_{CB})$  având parametru  $I_E$  și poartă denumirea de caracteristică statică de ieșire a unui tranzistor în conexiunea cu bază comună.

În figura 5.14 sunt prezentate un set de caracteristici ale unui tranzistor în conexiune cu emitor comun. Se pot remarca caracteristicile de intrare și ieșire cât și dependența curentului de ieșire ( $I_C$ ) funcție de curentul de intrare ( $I_B$ ). În pătrarul patru sunt prezentate variațiile tensiunii de ieșire ( $U_{CE}$ ) funcție de tensiunea de intrare ( $U_{BE}$ ) având ca parametru curentul de intrare ( $I_B$ )

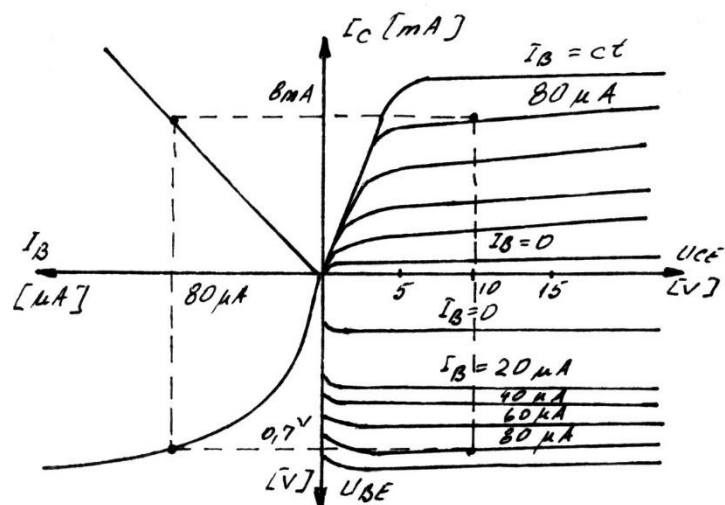


Figura 5.14

### Relații fundamentale

Principalele ecuații care descriu funcționarea tranzistorului se pot deduce din figura 5.4 folosind legea I-a a lui Kirchoff scrisă în baza tranzistorului convențional.

$$I_E + I_B + I_C = 0$$

(5.8)

Relația (5.1 ) este valabilă pentru orice mod de conectare a tranzistorului pentru orice tranzistor. Se va ține seama de sensul real al curenților. În acest caz relația (5.8) devine operațională și egală:

$$I_E = I_B + I_C \quad (5.9)$$

Prin definiție raportul dintre modulul curențului de colector și modulul curențului de emitor pentru tensiunea  $U_{CE} = \text{constant}$  poartă denumirea de amplificarea de curent al tranzistorului cu baza comună la frecvență joasă și este notat cu  $\alpha$  fiind dat de relația (5.2).

Familia de caracteristici din figura 5.7 poate fi exprimată analitic prin ecuația (5.10) .

$$I_C = I_{C0} + \alpha I_E \quad (5.10)$$

Raportul între modulul curențului de bază și curențului de bază este numit câștig(amplificarea) de curent a tranzistorului în conexiune cu emitor comun și este notat cu  $\beta$  ( $h_{FE}$ )(5.2).Acest câștig de curent este mare și are în mod uzual valori cuprinse în gama 10-500.

Între alfa și beta există relații de dependență:

$$\alpha = \frac{\beta}{1 + \beta} \quad \text{sau} \quad \beta = \frac{\alpha}{1 - \alpha}$$

## Regimurile de funcționare ale tranzistorului BIPOLAR

Tranzistorul este format din două joncțiuni, fiecare putând fi polarizată direct sau invers, astfel că pot fi definite patru regimuri de funcționare ale tranzistorului, după cum se arată în tabelul 5.1.

Se amintesc cele patru regimuri de funcționare a unui tranzistor:

a) *regimul activ* sau *regimul normal* de funcționare, în care joncțiunea

emitorului( bazo – emitor)) este polarizată în sens direct, iar joncțiunea colectoare(bază - colector) este polarizată în sens invers. În acest caz:

- dacă tranzistorul este comandat în bază(montat în conexiune cu emitorul comun) acesta poate lucra ca un dispozitiv de amplificare cu amplificare mare și egală cu  $\beta$ . - în cazul conexiunii cu baza comună tranzistorul poate lucra ca circuit de amplificare cu amplificare  $\alpha$ , practic ca repetor.

b) *regimul blocat*, în care ambele joncțiuni sunt polarizate în sens invers. Regimul blocat se caracterizează prin faptul că indiferent de modificarea semnalului de comandă( de intrare) semnalul de ieșire nu se modifică, curentul de ieșire  $I_C$  este egal cu  $I_{C0}$ .

c) *regimul de saturație* în care ambele joncțiuni sunt polarizate direct. Acest regim de lucru al tranzistorului determină apariția unor fenomene de limitare a mărimilor electrice, ceea ce conduce practic la limitare căderilor de tensiune pe joncțiuni, cât și a curentului de colector, chiar dacă mărimea de intrare continue să se modifice. În acest caz tranzistorul nu mai funcționează ca dispozitiv de amplificare propriu zis și mai degrabă ca un dispozitiv de amplificare blocat( limitat) la o anumită valoare. Tranzistorul lucrează practic ca un limitator.

d) *regimul invers* își datorează numele faptului că în acest caz cele două joncțiuni sunt polarizate invers cazului a), joncțiunea bază – emitor este polarizată invers și joncțiunea bază – colector este polarizată direct. Emitorul joacă rolul colectorului(colectează sarcinile electrice emise de către colector), iar colectorul rolul emitorului(emite sarcini electrice) . În acest caz colectorul va injecta sarcini electrice în bază care vor fi colectate de emitor. În regimul invers, tranzistoarele sunt utilizate foarte rar, deoarece factorul de amplificare în curent este mai mic decât cel corespunzător funcționării în regimul activ normal ( $\alpha_1 = 0,1 - 0,01$ ). În regimul invers randamentului captării sarcinilor electrice de către emitor, injectate în bază de către colector, este foarte mică datorită dopării slabe cu impurități a emitorului, ceea ce determină existența unei cantități mici de sarcini electrice libere în emitor.

Tehnologic suprafața colectorului se face mai mare decât cea a emitorului, astfel în regimul normal de funcționare procesul de captare a sarcinilor injectate de către emitor se face cu un randament cât mai mare. În regimul invers acest proces, de captare a sarcinilor electrice se face cu un randament foarte mic rezultând și un factor de amplificare ( $\alpha_1$ ) foarte mic. Practic în regimul invers tranzistorul funcționează ca un atenuator de curent.

Funcționarea tranzistorului în regimul invers este totuși utilizată în regim de comutație, deoarece în acest caz se obține o cădere de tensiune mică pe tranzistor ( $U_{CE}=0,01$  V).Se va constata că acest regim este întâlnit la unele familii de circuite integrate.

În cazul circuitelor logice ce este caracterizat prin funcționarea tranzistorului într-un regim de comutare, de regulă tranzistorul funcționează, cu precădere fie în regimul blocat fie în starea conductoare, de obicei, în regim saturat. Desigur, tranziția de la blocare la saturație sau invers se face prin regiunea activă (regimul normal), dar aceasta nu este caracteristică regimului de comutare.

Tabelul 5.1.

Polarizarea joncțiunii emitor - bază	Polarizarea joncțiunii colector-bază	regimul de funcționare al tranzistorului
-----------------------------------------	-----------------------------------------	---------------------------------------------

inversă	inversă	Blocat(de limitare)
directă	inversă	Normal( de amplificare)
inversă	directă	Invers( de atenuare)
directă	directă	Saturat( de limitare)

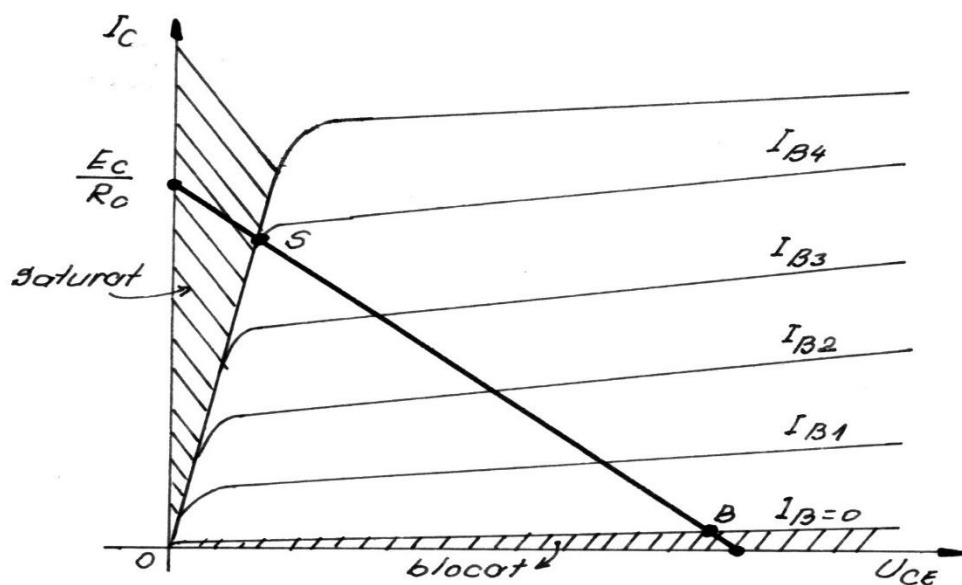


Figura 5.15

În figura 5.15 sunt reprezentate punctele de funcționare ale tranzistorului în regim de comutare, care se montează cel mai des în conexiunea cu emitorul comun. Semnele curentului  $I_C$  și tensiunii  $V_{CE}$  corespund unui tranzistor npn. În punctul S, tranzistorul este în regim saturat, iar în punctul B în regim blocat; poziția exactă a punctelor de funcționare este determinată de dreapta de sarcină și valoarea curentului de bază ( $I_B$ )

Alegerea cu precădere a celor două puncte de funcționare este justificată din următoarele considerente:

În regimul blocat:

- curentul prin tranzistor prezintă valoarea cea mai mică( $I_{CO}$ );
- rezistența de trecere cea mai mare;
- căderea de tensiune  $V_{CE}$  cea mai mare( aproximativ tensiunea de alimentare), deci reprezintă nivelul de tensiune cel mai ridicat, căruia i se atribuie, de regulă, valoarea binară "1";
- Regimul blocat este un regim relativ stabil.

În regimul saturat:

- curentul prin tranzistor prezintă valoarea cea mai mare pentru configurația dată( circuitul dat), de regulă acest curent este curentul de colector la saturație;
- regimul saturat este un regim relativ stabil;
- valoarea rezistenței de trecere a tranzistorului este cea mai mică( de regulă de ordinul zecilor de ohmilor);
- cădere de tensiune  $V_{CE}$  este cea mai mică, numită și cădere de tensiune colector – emitor de saturație. Această cădere are valori apropiate de 0V(0,1V - 0,2V) atunci când emitorul se leagă la masă. Rezultă că se obține nivelul de tensiune cel mai mic, căruia i se atribuie valoarea binară "0". În acest fel diferența dintre cele două nivele de tensiune este maximă. Discretizarea în cele două valori de tensiune este bine conturat și greu de confundat, ceea ce conduce la o funcționare corectă a circuitelor numerice cu un ordin de mărime superior circuitelor analogice.

Trebuie făcut o precizare și anume natura înconjurătoare este cu precădere de tip "analogic", cu o infinitate de trepte de trecere, din acest motiv electronica analogică este mai aproape de fenomenele fizice reale. Electronica numerică este mai sigură, circuitele sunt mai ușor de proiectat și sunt mai ieftin de obținut. În plus circuitele numerice sunt într-un număr redus de tipuri funcționale. Aceste aspecte fac, ca în prezent, electronica numerică, deci și circuitele integrate numerice, să se impună în multe domenii: calculatoare, automatică, transmisia semnalelor în domenii largi de frecvență, televiziunea numerică, transmiterea pe fibre optice, memorare optică sau magnetică, sisteme de memorare magnet - optică a semnalelor, copierea / multiplicare numerică(cu ajutorul laserului comandat numeric)și în multe alte domenii, datorită realizării unor echipamente ce utilizează electronica numerică și care sunt relativ ieftine și de calitate foarte bună.

Având în vedere că regimul blocat și saturat al tranzistorului bipolar este utilizat cu precădere în circuitele numerice, în continuare vor fi analizate cele două regimuri.

### **Analiza stării blocate**



Starea blocată a unui tranzistor se obține atunci când este satisfăcută condiția  $I_E = 0$ . În acest caz, curentul de colector al tranzistorului în conexiunea cu baza comună, calculat din ecuației:

$I_C = \alpha_N I_E + I_{CO}$  și pentru  $I_E = 0$  se obține valoarea curentului de colector:  $I_C = I_{CO}$ .

În cazul conexiuni tranzistorului cu emitor comun, dacă se pune curentul de intrare ( $I_B$ ) la zero, valoarea curentului de colector este mai mare decât  $I_{CO}$  ceea ce conduce la remarcă că, la tranzistorul în conexiunea cu emitor comun, nu se poate asigura blocarea prin întreruperea circuitului bazei, adică cu  $I_B = 0$ . Acest lucru poate fi demonstrat dacă se exprimă curentul de colector în funcție de curentul de bază, eliminând termenul  $I_E$  între ecuațiile de mai jos:

$$I_C = \alpha_N I_E + I_{CO}$$

$$I_E = I_B + I_C$$

Rezultă:

$$I_C = \alpha_N (I_B + I_C) + I_{CO}$$

Sau:

$$I_C = \frac{\alpha_N}{1 - \alpha_N} I_B + \frac{1}{1 - \alpha_N} I_{CO} \quad (5.11)$$

Se observă că, pentru  $I_B = 0$ , se obține

$$I_C = \frac{I_{CO}}{1 - \alpha_N}$$

Factorul  $\frac{1}{1 - \alpha_N}$  are în general o valoare mai mare de 40-50, astfel, că rezultă valori inacceptabil de mari pentru curentul de colector al tranzistorului blocat. Din această cauză blocarea tranzistorului în conexiune cu emitorul comun se face cu un curent de bază invers, de valoare  $I_{CO}$ ; într-adevăr, dacă  $I_B = -I_{CO}$ , curentul de colector devin

$$I_C = \frac{\alpha_N}{1 - \alpha_N} (-I_{CO}) + \frac{1}{1 - \alpha_N} I_{CO} = I_{CO} \quad (5.12)$$

Curentul  $I_{co}$  crește cu temperatura; pentru ca blocarea să fie sigură și la temperatura cea mai ridicată de funcționare, circuitul de polarizare a bazei trebuie să asigure un curent invers egal cu valoarea maximă a curentului  $I_{co}$ .

Pentru găsirea dependenței curentului rezidual  $I_{co}$  cu temperatura s-au făcut o serie de determinări experimentale care au condus la obținerea unor relații ce exprimă dependența curentului rezidual cu temperatura:

$$I_{CO} = I_{COR} \cdot e^{0,069(T-T_R)} \quad (5.13)$$

unde  $I_{coR}$  reprezintă curentul rezidual de colector ce corespunde unei temperaturi  $T_R$ . Relația (5.13) este valabilă pentru tranzistoarele cu germaniu, la care curentul rezidual de colector se dublează la fiecare creștere a temperaturii cu  $10^\circ\text{C}$ .

*Spre exemplificare se consideră  $I'_{co}$  curentul rezidual de colector corespunzător unei temperaturi  $T$  de lucru a unui tranzistor, respectiv  $I''_{co}$  curentul rezidual de colector corespunzător unei temperaturi  $T + 10^\circ$  de lucru a aceluiași tranzistor. Raportul dintre cei doi curenți devine:*

$$\frac{I''_{co}}{I'_{co}} = \frac{I_{COR} \cdot e^{0,069(T+10-T_R)}}{I_{COR} \cdot e^{0,069(T-T_R)}} = e^{0,069 \cdot 10} = e^{0,69} \approx 2 \quad (5.14)$$

*Se poate concluziona că la un tranzistor cu germaniu curentul rezidual de colector se dublează atunci când temperatura de lucru crește cu  $10^\circ\text{C}$ .*

*De exemplu dacă la  $25^\circ\text{C}$  curentul  $I_{co} = 5 \mu\text{A}$  atunci la  $55^\circ\text{C}$  curentul  $I_{co} = 5 \cdot 2^3 = 40 \mu\text{A}$ .*

*În mod identic se poate găsi o relație și pentru tranzistoarele cu Si, la care curentul rezidual de colector se dublează atunci când temperatura de lucru crește cu  $6^\circ\text{C}$ .*

De exemplu dacă la  $25^{\circ}\text{C}$  curentul  $I_{co}=10\text{ nA}$ , la  $55^{\circ}\text{C}$  curentul  $I_{co} = 10 \cdot 2^5 = 320\text{ nA}$ .

Figura 5.18

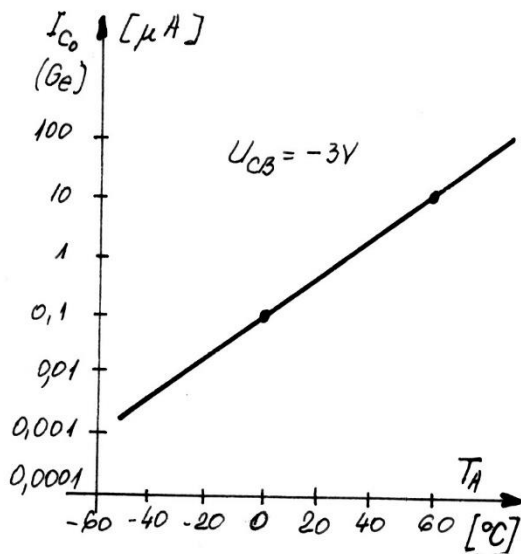
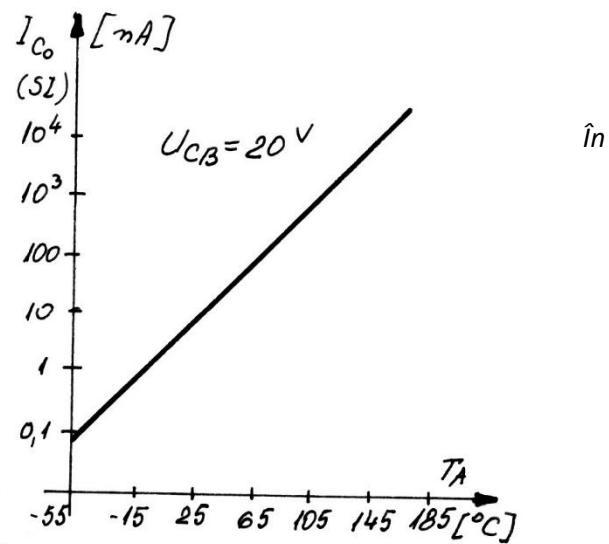


Figura 5.19



general dependența curentului rezidual de colector funcție de temperatura mediului ambiant este dată în catalog pentru fiecare tranzistor în parte sub forma unor grafice ca în figura 5.18 pentru tranzistoarele cu Ge și în figura 5.19 pentru tranzistoarele cu Si.