5. TRANZISTOARE

5.1. TRANZISTOARE BIPOLARE - GENERALITĂȚI

5.1.1 STRUCTURA ŞI SIMBOLUL TRANZISTORULUI BIPOLAR

Tranzistorul bipolar – este un dispozitiv electronic realizat din material semiconductor, format din trei regiuni (**EMITOR, BAZĂ, COLECTOR**) separate prin două joncțiuni ***pn***.

În funcție de tipul regiunilor, tranzistoarele bipolare se împart în două categorii:

NPN şi PNP

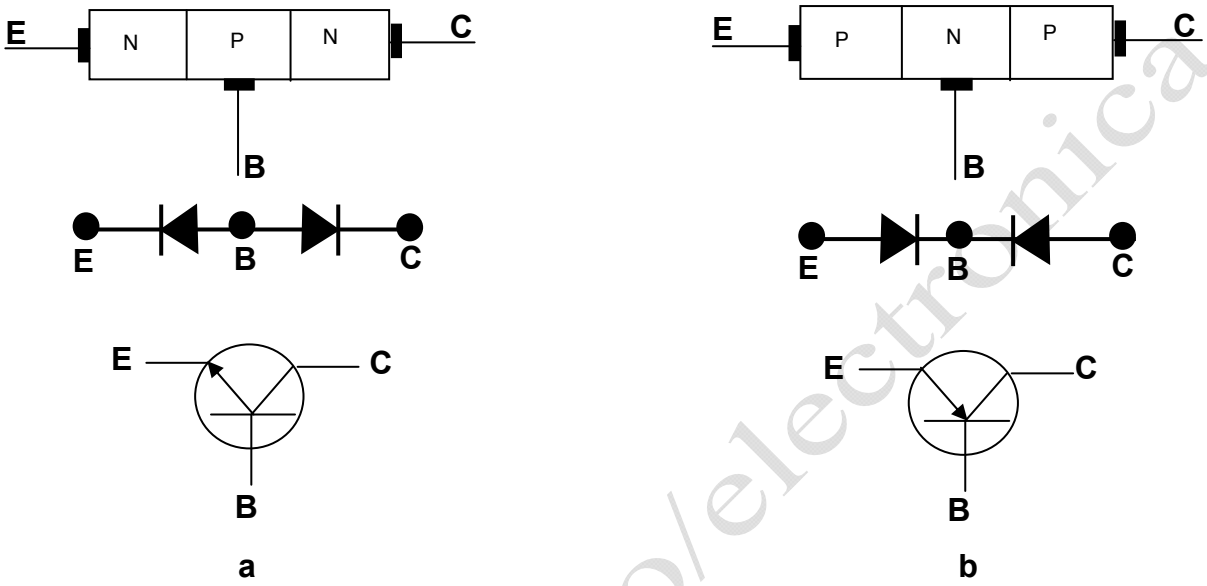


Figura 5.1.1 Structura şi simbolul tranzistorului bipolar

a - tranzistor NPN ; b – tranzistor PNP

Tranzistorul bipolar de tip NPN este format din două regiuni N separate de o regiune P

Tranzistorul bipolar de tip PNP este format din două regiuni P separate de o regiune N

Regiunea bazei este mai subțire şi mai slab dopată în comparație cu regiunea emitorului(puternic dopată) şi cu regiunea colectorului(dopată moderat)

Între două regiuni învecinate se formează o joncțiune. Între bază şi emitor este *joncțiunea bază-emitor*, iar între bază şi colector este *joncțiunea bază-colector*

Fiecare regiune are ataşată câte un terminal care se notează cu **E(emitor) , B(bază), C(colector)**.

În structura tranzistorului bipolar, purtătorii de sarcină electrică sunt atât golurile cât şi electronii. Deoarece conducția este realizată de două tipuri de purtători, tranzistorul se numeşte bipolar.

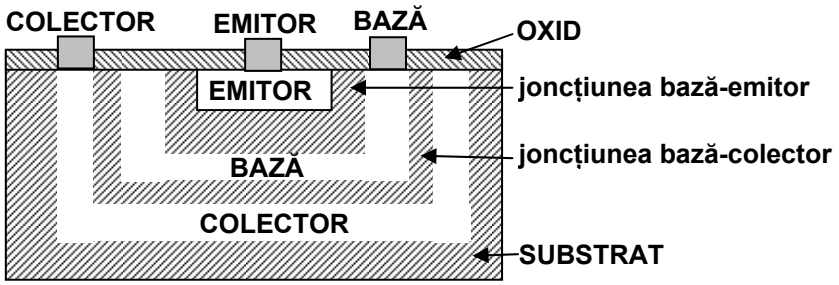


Figura 5.1.2 Secțiunea de principiu printr-un tranzistor

http://eprofu.ro/electronica

5.1.2 ÎNCAPSULAREA TRANZISTOARELOR ŞI IDENTIFICAREA TERMINALELOR

a. Încapsularea tranzistoarelor

Tranzistoarele, în funcție de destinația lor se realizează într-o gamă largă de capsule. Tranzistoarele pot avea capsule din ***metal*** sau ***material plastic***, care au dimensiuni mai mici sau mai mari în funcție de destinația care o au.

În funcție de destinația lor tranzistoarele se împart în 3 mari categorii:

- **tranzistoare de semnal mic** – se utilizează la frecvențe joase (sub 100 kHz) şi curenți mici (sub 1 A)

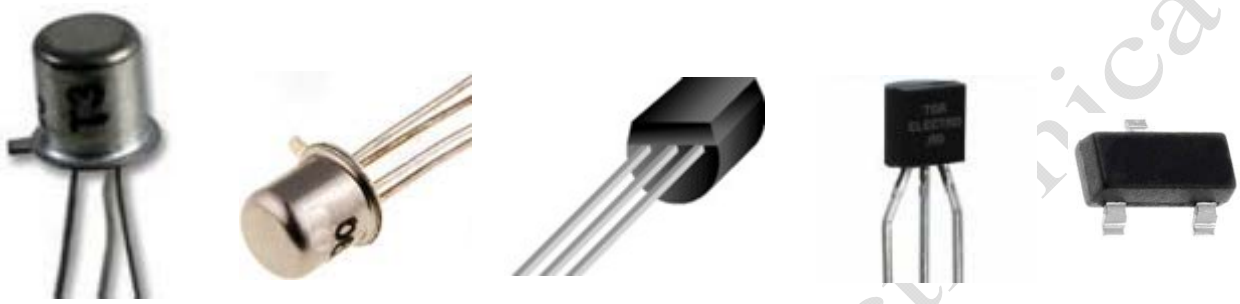


Figura 5.1.3 Capsule de tranzistoare de semnal mic (uz general)

- **tranzistoare de putere** – se utilizează la curenți mari (peste 1 A)

Figura 5.1.4 Capsule de tranzistoare de putere

- **tranzistoare de radio-frecvență (RF)** – se utilizează la frecvențe foarte înalte

Figura 5.1.5 Capsule de tranzistoare de radio-frecvență

http://eprofu.ro/electronica

b. Identificarea terminalelor tranzistoarelor bipolare.

b1. Identificarea terminalelor în funcție de tipul capsulei

- **tranzistoare de uz general în capsulă metalică** – la majoritatea tranzistoarelor din această categorie **Emitorul** este terminalul de lângă cheiță, **Colectorul** este în partea opusă iar **Baza** este la mijloc. Terminalele sunt dispuse sub forma unui triunghi echilateral.

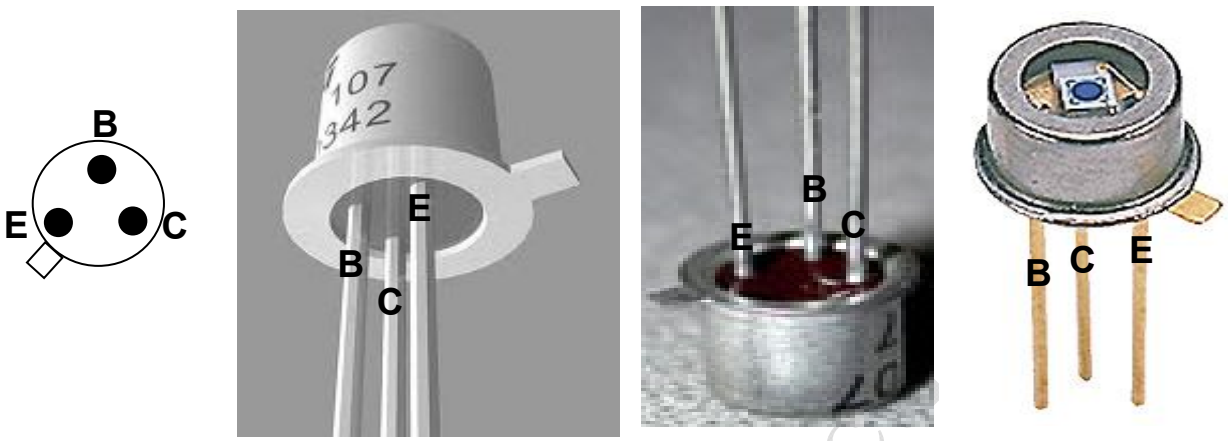


Figura 5.1.6 Dispunerea terminalelor la tranzistoarele în capsulă metalică

- **tranzistoare de uz general în capsulă din material plastic** – la tranzistoarele din această categorie terminalele sunt dispuse liniar cu baza în mijloc. La majoritatea, terminalele sunt dispuse ca în figura 5.1.7, dar sunt si familii de tranzistoare din această categorie la care **Emitorul** şi **Colectorul** sunt dispuse invers față de cum sunt prezentate în figura 5.1.7

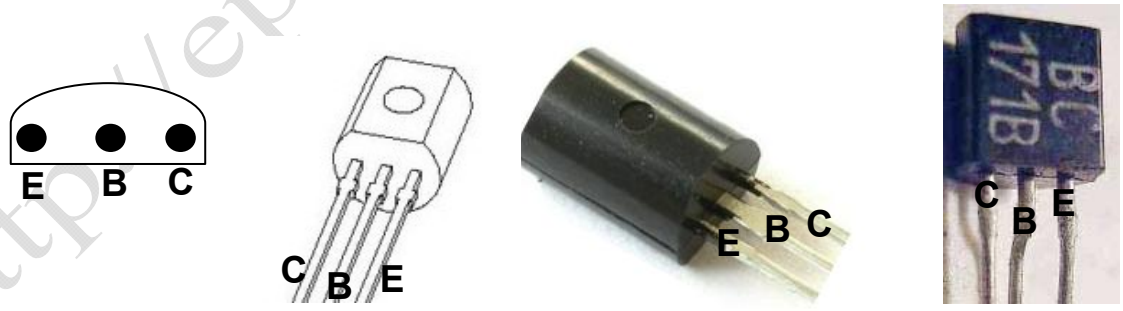


Figura 5.1.7 Dispunerea terminalelor la tranzistoarele în capsulă din plastic

http://eprofu.ro/electronica

- **tranzistoare de putere** – la tranzistoarele din această categorie **Colectorul** este conectat la partea metalică a tranzistorului. La majoritatea tranzistoarelor din această categorie terminalele sunt dispuse liniar iar **Colectorul** este la mijloc. La tranzistoarele care au numai 2 terminale (vezi **2N3055**), **Colectorul** este corpul metalic al tranzistorului.

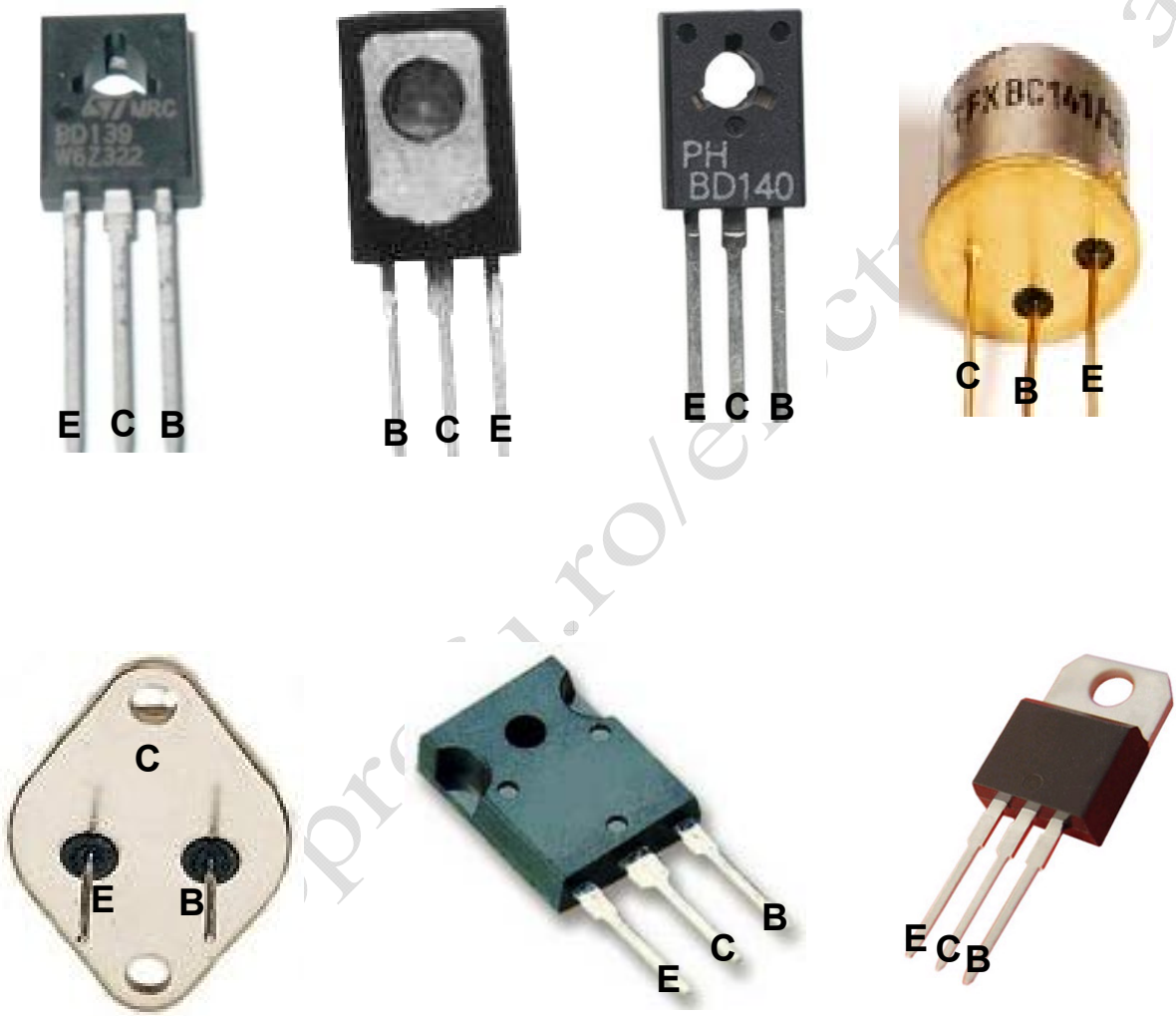


Figura 5.1.8 Dispunerea terminalelor la tranzistoarele de putere

OBSERVAȚIE IMPORTANTĂ!

La unele familii de tranzistoare terminalele pot fi dispuse altfel decât sunt prezentate în figurile de mai sus chiar dacă capsulele sunt identice. Metoda cea mai sigură de identificare a terminalelor este măsurarea rezistenței electrice între terminalele tranzistorului, metodă ce va fi prezentată în cele ce urmează.

http://eprofu.ro/electronica

b2. Identificarea terminalelor prin măsurarea rezistenței electrice dintre ele

Pentru identificarea terminalelor tranzistorului prin această metodă se parcurg 3 etape:

- în prima etapă se identifică ***baza*** tranzistorului

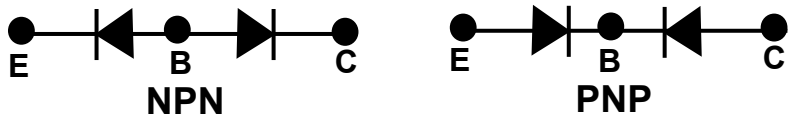


Figura 5.1.9 Structura tranzistoarele bipolare cu diode

Din structura tranzistoarelor cu diode se observă că rezistențele electrice între bază şi celelalte două terminale ale tranzistorului trebuie să fie egale, într-un sens au valoare mică iar în sens opus au valoare foarte mare. Prin cele două sensuri se înțelege modul de plasare a tastelor multitesterului față de terminalele tranzistorului (într-un sens se plasează cu borna **plus pe bază** iar în celălalt sens se plasează cu borna **minus pe bază**)

- Se fixează comutatorul unui multitester digital pe poziția **Ω** (pentru măsurarea rezistenței electrice)
- Se plasează o tastă a multitesterului pe unul din terminalele tranzistorului iar cu cealaltă tastă se măsoară rezistențele electrice față de celelalte două terminale. Dacă rezistențele electrice sunt aproximativ egale (într-un sens rezistențe mici iar în celălalt sens rezistențe foarte mari) tasta multitesterului este plasată pe **baza** tranzistorului.

Figura 5.1.10 Identificarea BAZEI tranzistorului bipolar

http://eprofu.ro/electronica

➢ în a doua etapă se identifică ***tipul*** tranzistorului

Se plasează o tastă a multitesterului pe bază şi cealaltă tastă pe unul din celelalte două terminale ale tranzistorului în sensul în care multitesterul **indică rezistență mică**.

Dacă pe **BAZĂ** este tasta **COM(MINUS)** tranzistorul este de tip **PNP**

Dacă pe **BAZĂ** este tasta **PLUS** tranzistorul este de tip **NPN**

*Deoarece **BAZA** este în mijloc, se pune în mijloc litera corespunzătoare polarității care este pe bază (**N** pentru **MINUS** şi **P** pentru **PLUS**) iar pe margini literele corespunzătoare celeilalte polarități (doi de **P** sau doi de **N**) şi astfel se obține **PNP** sau **NPN**.*

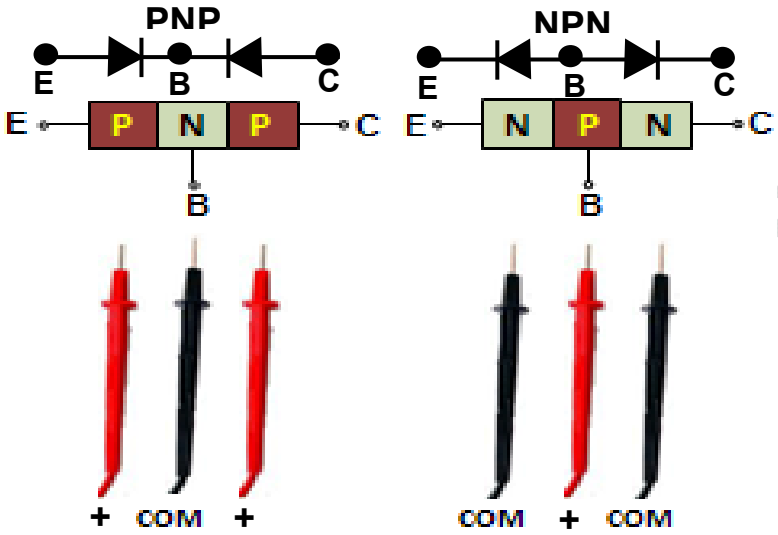


Figura 5.1.11 Identificarea tipului de tranzistor (PNP sau NPN)

➢ în a treia etapă se identifică ***Emitorul*** şi ***Colectorul***.

Rezistența electrică dintre **Bază** şi **Emitor** este întotdeauna mai **MARE** decât **rezistența** electrică dintre **Bază** şi **Colector.**

Se plasează o tastă a multitesterului pe bază iar cu cealaltă tastă se măsoară şi se notează valoarea rezistențelor față de celelalte două terminale. Terminalul față de care rezistența este mai mare va fi **Emitorul** tranzistorului iar celălalt **Colectorul** tranzistorului.

Rezistența BAZĂ-EMITOR este mai MARE decât rezistența BAZĂ-COLECTOR.

La tranzistorul BC 547 de tip NPN:
R_{BE} = 5,32 MΩ
R_{BC} = 5,17 MΩ
R_{BE} > R_{BC}

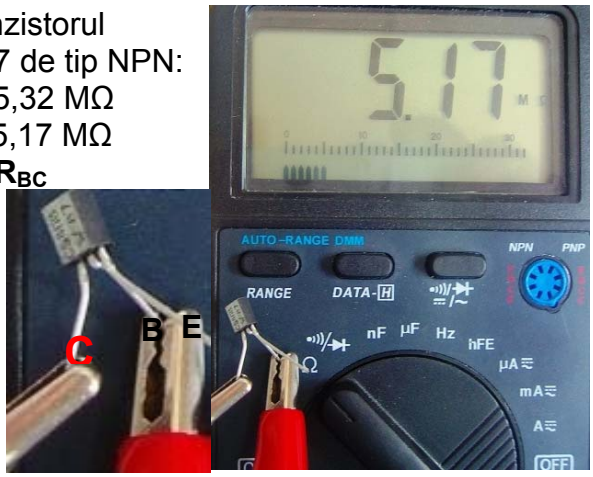


Figura 5.1.12 Identificarea EMITORULUI şi COLECTORULUI

http://eprofu.ro/electronica

5.1.3 FUNCȚIONAREA TRANZISTORULUI BIPOLAR

Un tranzistor bipolar funcționează corect, dacă joncțiunea bază-emitor este polarizată direct cu o tensiune mai mare decât tensiunea de prag, iar joncțiunea 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 funcție de valoarea tensiunii de polarizare a joncțiunii bază-emitor.

Joncțiunea emitor-bază (polarizată direct) injectează un curent de emitor $\mathbf{I_E}$ care este colectat în cea mai mare parte de joncțiunea colector-bază (polarizată invers), acest proces definind **efectul de tranzistor.**

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

a. Funcționarea tranzistorului NPN.

La acest tip de tranzistor purtătorii majoritari sunt electronii.

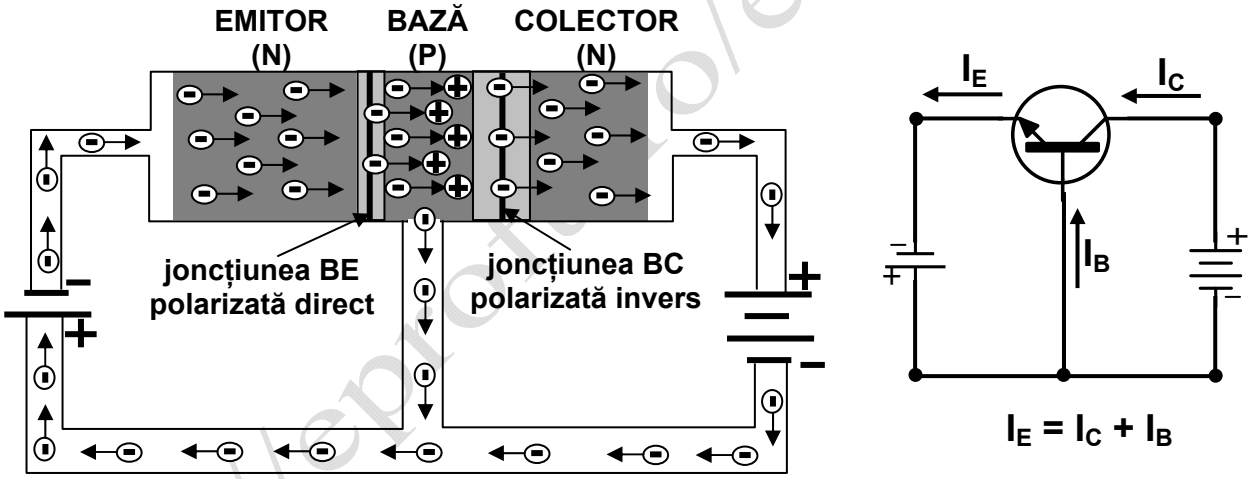


Figura 5.1.13 Prezentarea funcționării tranzistorului NPN

Regiunea de tip **n** a **emitorului** este puternic dopată cu electroni liberi. Regiunea de tip **p** a **bazei** este foarte subțire şi slab dopată cu goluri. Prin polarizarea directă a joncțiunii BE electronii din regiunea emitorului difuzează cu uşurință prin joncțiunea 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 joncțiunii BC majoritatea electronilor difuzează prin joncțiunea BC şi sunt atraşi către regiunea colectorului de către tensiunea de alimentare a colectorului, formându-se astfel curentul de colector.

http://eprofu.ro/electronica

b. Funcționarea tranzistorului PNP.

La acest tip de tranzistor purtătorii majoritari sunt golurile.

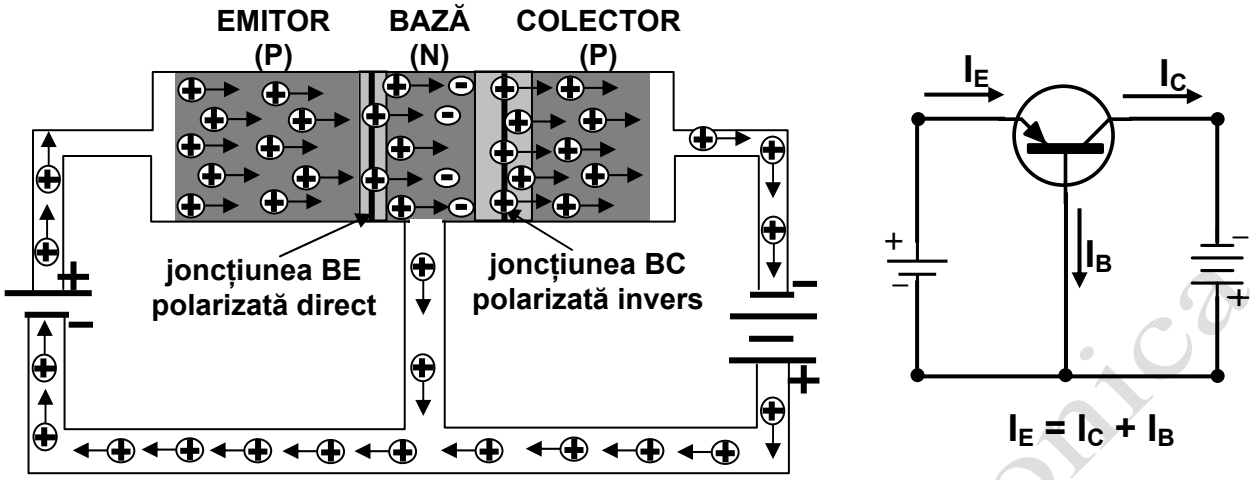


Figura 5.1.14 Prezentarea funcționării tranzistorului PNP

Regiunea de tip **p** a **emitorului** este puternic dopată cu goluri. Regiunea de tip **n** a **bazei** este foarte subțire şi slab dopată cu electroni. Prin polarizarea directă a joncțiunii BE golurile din regiunea emitorului difuzează cu uşurință prin joncțiunea 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 joncțiunii BC majoritatea golurilor difuzează prin joncțiunea BC şi sunt atraşi către regiunea colectorului de către tensiunea de alimentare a colectorului, formându-se astfel curentul de colector.

http://eprofu.ro/electronica

http://eprofu.ro/electronica

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)

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

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 menționat de către producător în foile de catalog, ca parametru echivalent hibrid h_{FE}

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

Valorile parametrului **β** sunt cuprinse între 10 şi 1000, în funcție 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)

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

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 funcție de tipul tranzistorului.

Între parametrii **β** şi α sunt următoarele relații:

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

a2. Valorile maxime absolute

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

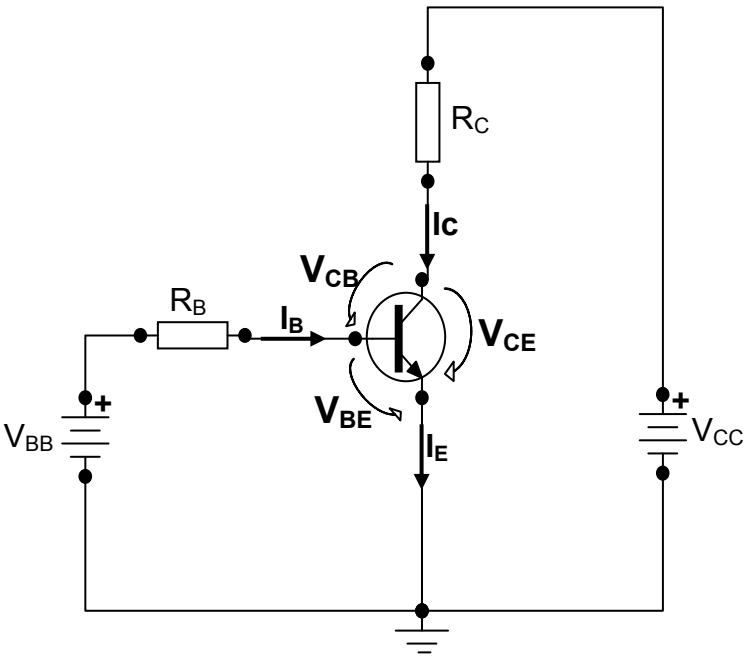
- Tensiunile maxime între terminale: V_{CBO}, V_{CEO}, V_{EBO}
- Curentul maxim de colector şi de bază: I_{CM}, I_{BM}
- Puterea maximă disipată: P_{tot}
- Temperatura maximă a joncțiunii: T_{jM} (este cuprinsă între 175°C şi 200°C)

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

http://eprofu.ro/electronica

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 joncțiunea bază - emitor

V_{BB} – sursă de tensiune continuă care polarizează invers joncțiunea bază - colector

Figura 5.1.15 Curenții şi tensiunile tranzistorului

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

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

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

$$I_E = I_C + I_B \quad \textbf{(4)}$$

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

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

http://eprofu.ro/electronica

b2. Caracteristicile statice

Aceste caracteristici sunt grafice ce reprezintă dependența dintre curenții 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 reacție inversă după tensiune.

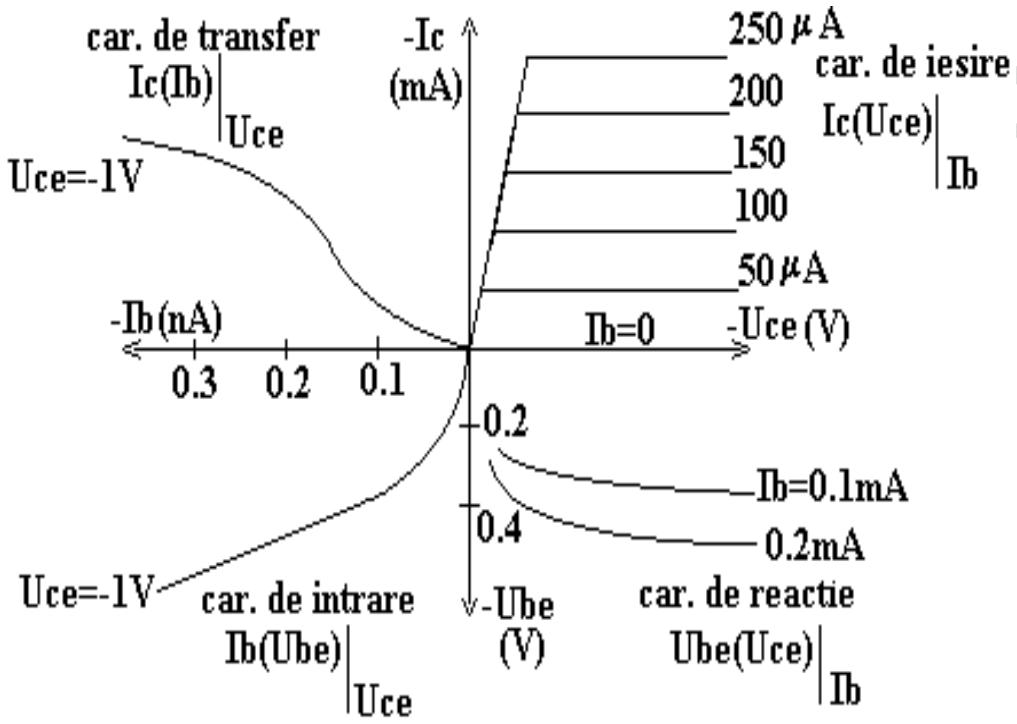


Figura 5.1.16 Caracteristicile statice ale tranzistorului bipolar în conexiunea EC

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 funcționare a tranzistorului şi se poate trasa dreapta de sarcină.

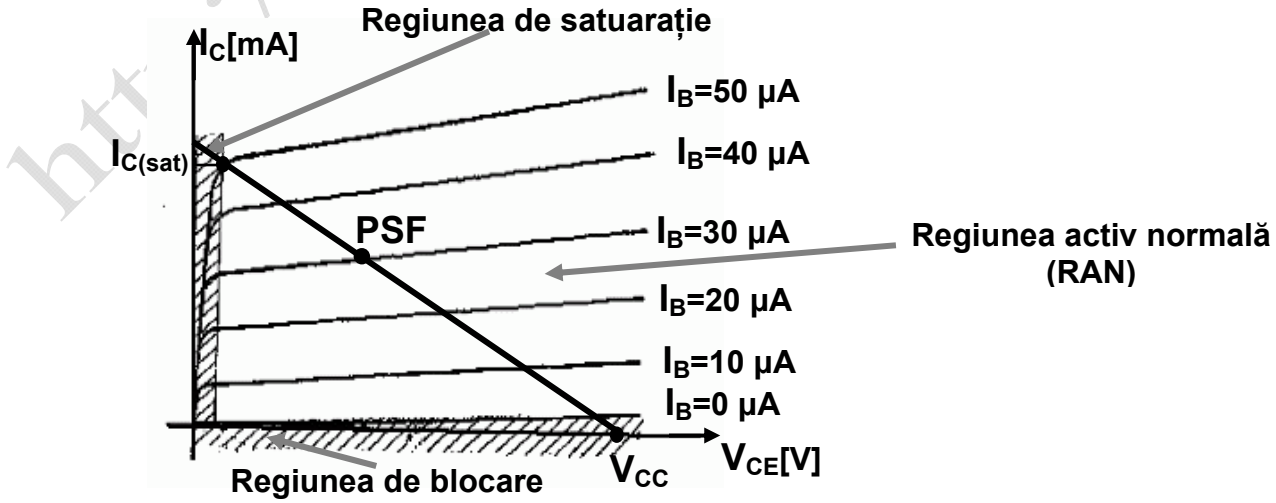


Figura 5.1.17 Caracteristica de ieşire a tranzistorului bipolar în conexiunea EC

http://eprofu.ro/electronica

În **regiunea de blocare** tranzistorul funcționează în **regim de blocare (tăiere):**

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

În **regiunea de saturație** tranzistorul funcționează în **regim de saturație:**

- joncțiunea bază – emitor este polarizată direct
- joncțiunea bază – colector este polarizată direct
- curentul prin colector atinge o valoare apropiată de valoarea maximă posibilă ($I_{C(sat)} = \frac{V_{CC}}{R_C}$) şi nu mai este proporțional cu curentul de comandă din bază (creşterea curentului din bază nu influențează curentul din colector)
- tensiunea de saturație este forte mică $\mathbf{V_{CE(sat)} = 0,2 – 0,3\ V}$
- tranzistorul se comportă ca un întrerupător închis.

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

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

Pe graficul caracteristicii de ieşire (figura 5.1.17) dacă se uneşte punctul de blocare ($\mathbf{V_{CC}}$) cu punctul de saturație ($\mathbf{I_{C(sat)}}$) se obține **dreapta de sarcină** în curent continuu. De-a lungul dreptei de sarcină între cele două puncte se află regiunea activă normală de funcționare a tranzistorului. La intersecția unei caracteristici de ieşire cu dreapta de sarcină se află **punctul static de funcționare (PSF)**.

http://eprofu.ro/electronica

5.1.5 FUNCȚIILE TRANZISTORULUI BIPOLAR.

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

- **Funcția de amplificare** – când tranzistorul funcționează în **regim activ normal**
- **Funcția de comutare** – când tranzistorul funcționează în **regim de blocare** şi în **regim de saturație**.

a. FUNCȚIA DE AMPLIFICARE.

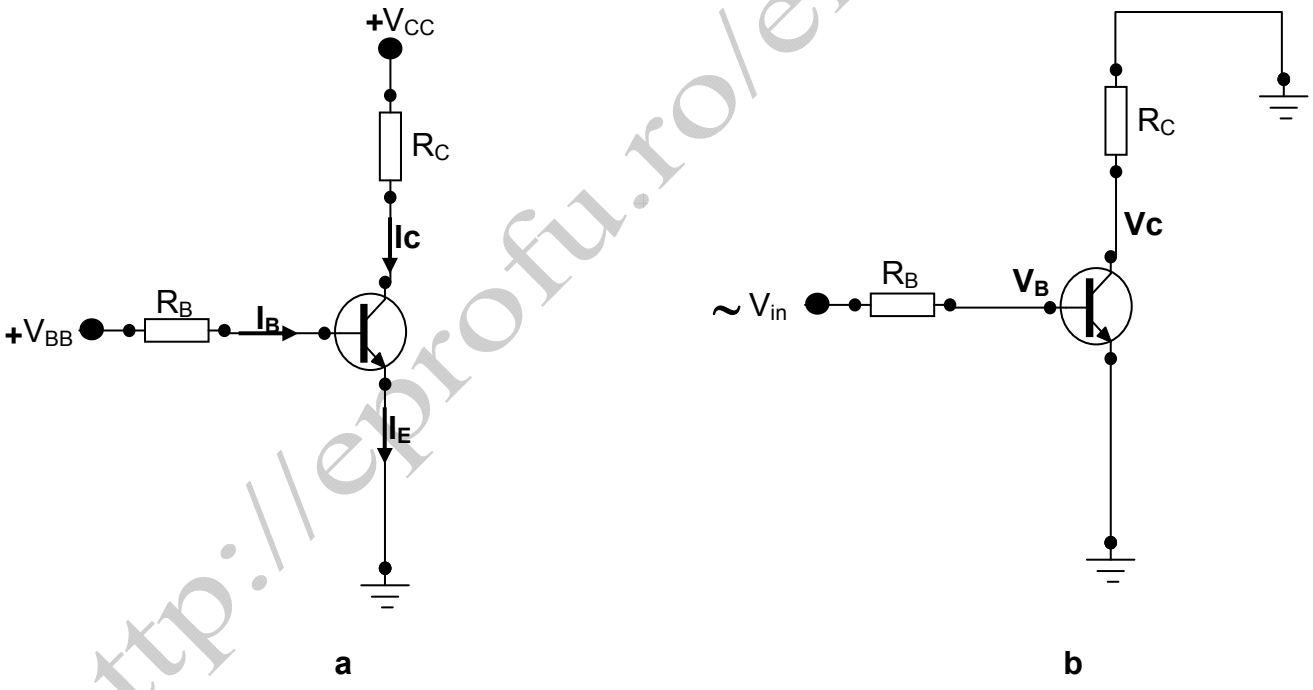
Când tranzistorul este polarizat astfel încât să lucreze în regiunea activă, acesta poate amplifica atât un semnal de formă continuă cât şi un semnal de formă alternativă.

În circuitul de curent continuu tranzistorul amplifică curentul din bază (figura 5.1.18 a)

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

În circuitul echivalent de curent alternativ tranzistorul amplifică tensiunea alternativă din bază (figura 5.1.18 b)

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



a **b**

Figura 5.1.18 Funcția de amplificare a tranzistorului bipolar în conexiunea EC

http://eprofu.ro/electronica

http://eprofu.ro/electronica

b. FUNCȚIA DE COMUTARE.

Tranzistorul bipolar când lucrează în regim de comutație, trece alternativ din starea de blocare în starea de saturație.

În starea de blocare, când joncțiunea bază-emitor nu este polarizată direct, tranzistorul se comportă ca un întrerupător deschis şi prin el nu circulă curent (figura 5.1.19 a)

În această situație tensiunea colector-emitor este maximă:

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

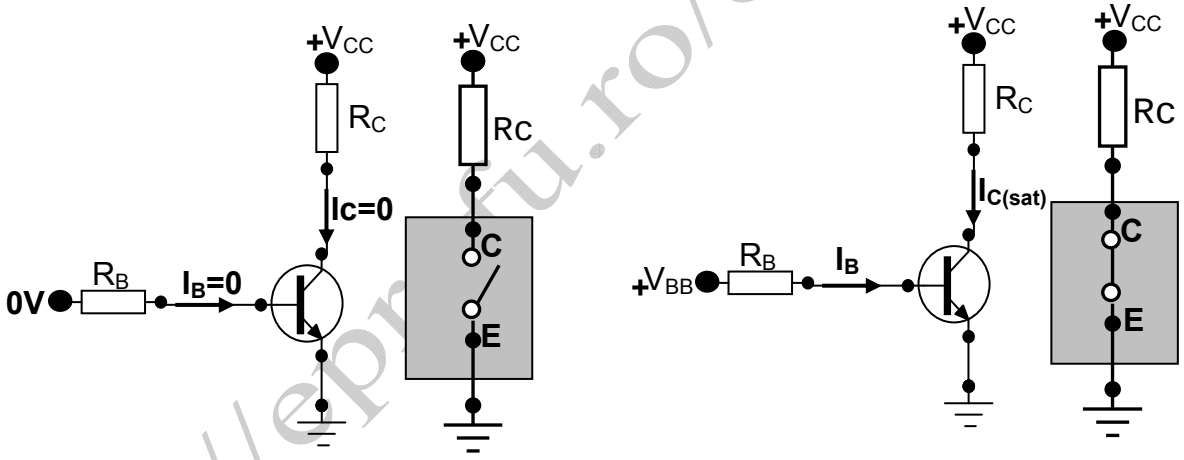
În starea de saturație, când joncțiunea bază-emitor este polarizată direct, tranzistorul se comportă ca un întrerupător închis şi prin el circulă un curent (fig. 5.1.19 b)

Valoarea curentului care circulă de la colector spre emitor este:

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

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

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



(a) Blocare – întrerupător deschis **(b) Saturație – întrerupător închis**

Figura 5.1.19 Funcția de comutare a tranzistorului bipolar în conexiunea EC

http://eprofu.ro/electronica