4. TRANZISTORUL BIPOLAR

4.1. GENERALITĂŢI PRIVIND TRANZISTORUL BIPOLAR

- STRUCTURA ŞI SIMBOLUL TRANZISTORULUI BIPOLAR
- ÎNCAPSULAREA ŞI IDENTIFICAREA TERMINALELOR
- FAMILII UZUALE DE TRANZISTOARE BIPOLARE
- FUNCŢIONAREA TRANZISTORULUI BIPOLAR
- PARAMETRII ŞI CARACTERISTICILE TRANZISTORULUI
- FUNCŢIILE TRANZISTORULUI BIPOLAR

4.2. CONEXIUNILE TRANZISTORULUI BIPOLAR

- CONEXIUNEA EMITOR COMUN
- CONEXIUNEA BAZĂ COMUNĂ
- CONEXIUNEA COLECTOR COMUN

4.3. POLARIZAREA TRANZISTORULUI BIPOLAR

- PUNCTUL STATIC DE FUNCŢIONARE (PSF)
- POLARIZAREA CU DIVIZOR REZISTIV
- POLARIZAREA CU DOUĂ SURSE DE TENSIUNE

4.4. DEPANAREA CIRCUITELOR CU TRANZISTOARE

DEFECTE INTERNE ALE TRANZISTORULUI BIPOLAR

DEFECTE ALE CIRCUITELOR DE POLARIZARE

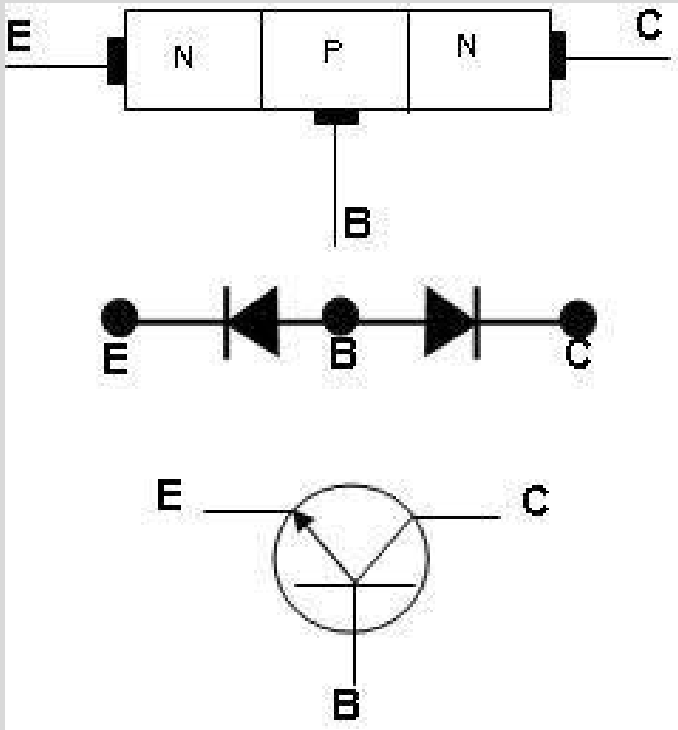
4.1. GENERALITĂŢI PRIVIND TRANZISTORUL BIPOLAR

STRUCTURA ŞI SIMBOLUL TRANZISTORULUI BIPOLAR

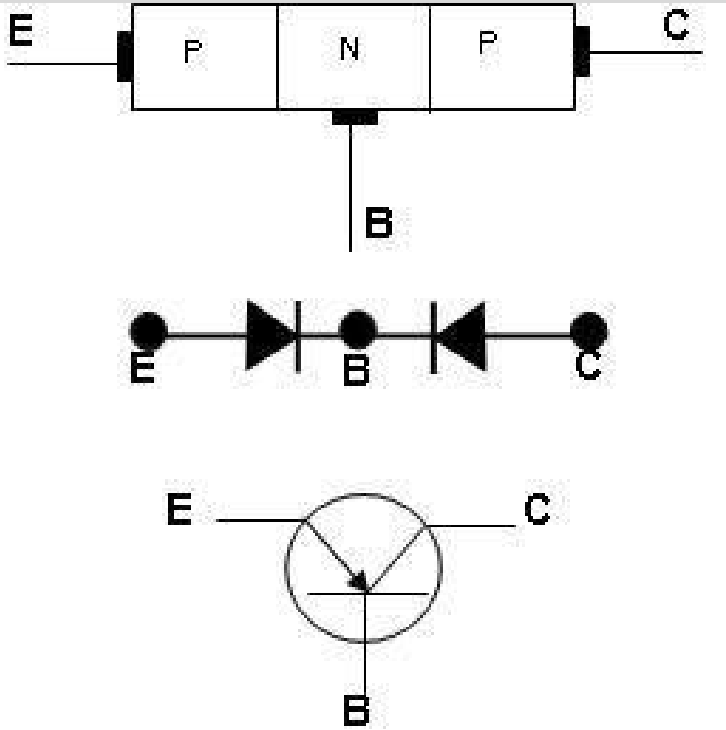
Tranzistorul bipolar – este un dispozitiv electronic realizat din material semiconductor, format din trei regiuni (**EMITOR, BAZĂ, COLECTOR**) separate prin două joncţiuni ***pn***.

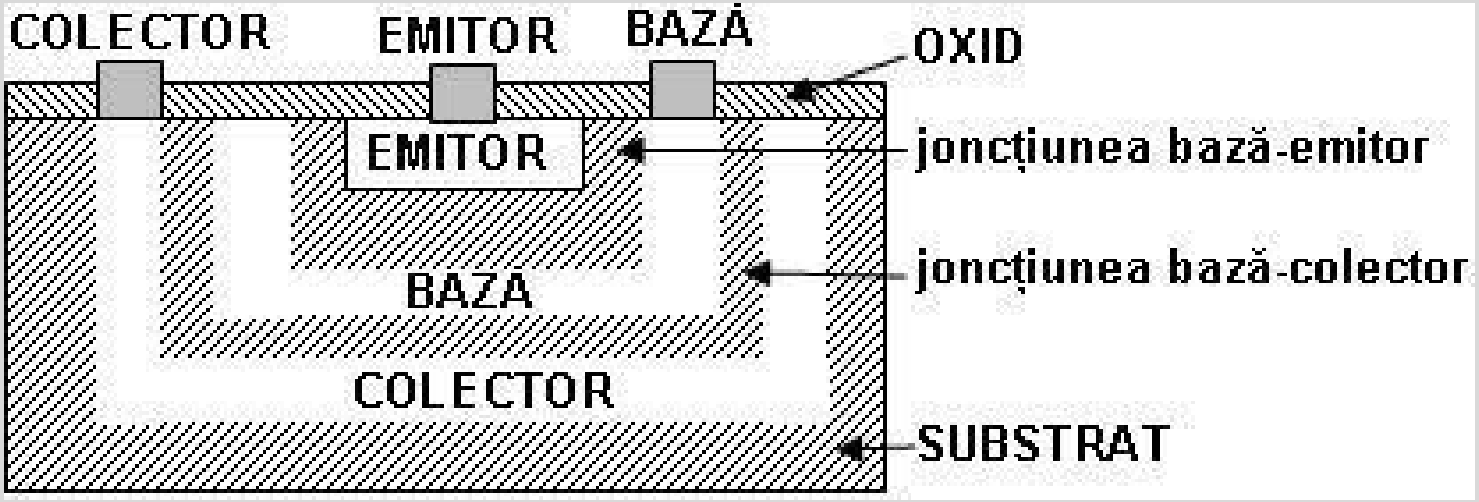
Tranzistoarele bipolare se împart în două categorii:

NPN



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.

Între două regiuni învecinate se formează o joncţiune.

Între bază şi emitor este ***joncţiunea bază-emitor***, iar între bază şi colector este ***joncţiunea bază-colector***.

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

Regiunea **N** este dopată cu sarcini negative (***electroni***) iar regiunea **P** este dopată cu sarcini pozitive (***goluri***).

ÎNCAPSULAREA TRANZISTOARELOR BIPOLARE

Tranzistoarele pot avea capsule din ***metal*** sau ***material plastic.***

În funcţie de destinaţia lor tranzistoarele se împart în 3 mari categorii:

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

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

- **tranzistoare de radio-frecvenţă (RF)** – se utilizează la frecvenţe foarte înalte

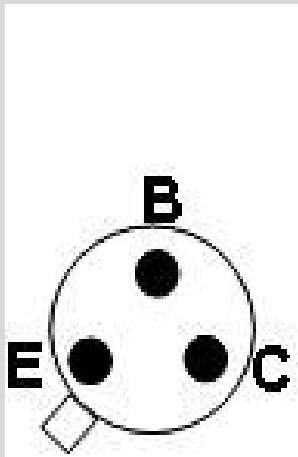
FAMILII UZUALE DE TRANZISTOARE BIPOLARE

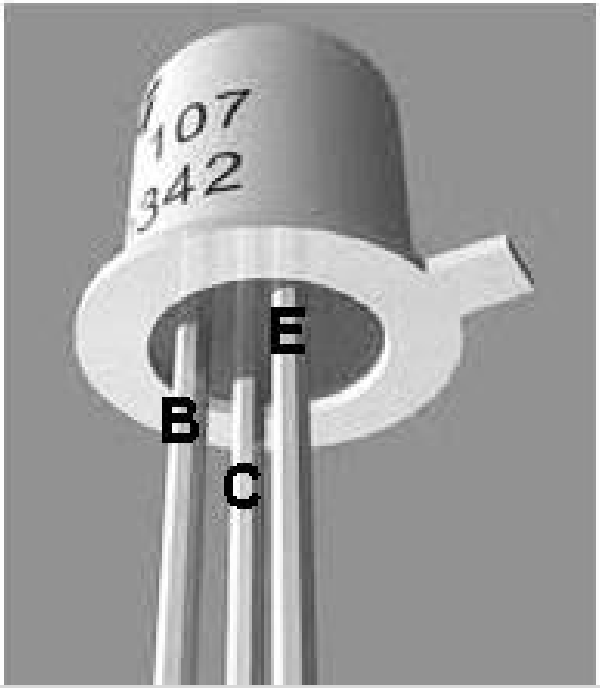
- ***Tranzistoare de mică putere şi joasă frecvenţă:***
  - **NPN – BC 107, 108, 109 (capsulă metalică)**
    - BC 170, 171, 172, 173, 174 (capsulă plastic)
    - BC 546, 547, 548, 549 (capsulă plastic)
  - **PNP – BC 177, 178, 179 (capsulă metalică)**
    - BC 251, 252, 253 (capsulă plastic)
    - BC 556, 557, 558, 559 (capsulă plastic)
- **Tranzistoare de mică putere şi înaltă frecvenţă:**
  - **NPN – BF 200, 214, 215, 254, 255 (capsulă metalică)**
    - BF 199, 299, 393, 420 (capsulă plastic)
  - **PNP – BF 272 (capsulă metalică)**
    - BF 421, 472, 493, 506 (capsulă plastic)
- **Tranzistoare de medie putere joasă frecvenţă:**
  - **NPN – BD 135, 137, 139, 235, 237 (capsulă plastic)**
  - **PNP – BD 136, 138, 140, 236, 238 (capsulă plastic)**
- **Tranzistoare de medie putere înaltă frecvenţă:**
  - **NPN – BF 459, 471, (capsulă plastic)**
  - **PNP – BF 472 (capsulă plastic)**
- **Tranzistoare de mare putere**
  - **NPN – 2N3055, 2N3442 (capsulă metalică)**
  - **PNP – MJ 15004, 15025 (capsulă metalică)**

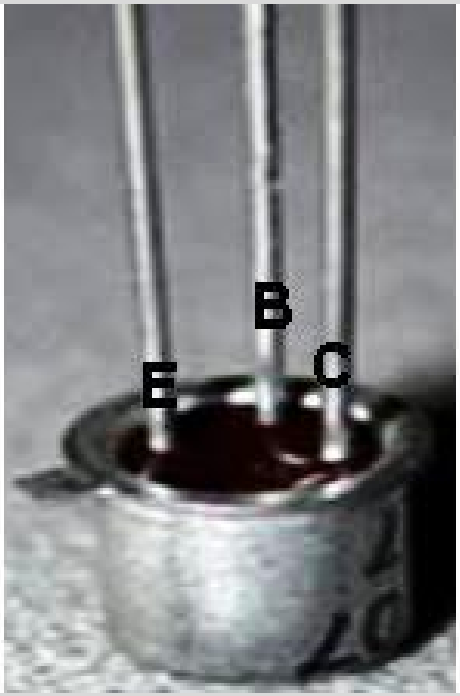
IDENTIFICAREA TERMINALELOR TRANZISTOARELOR

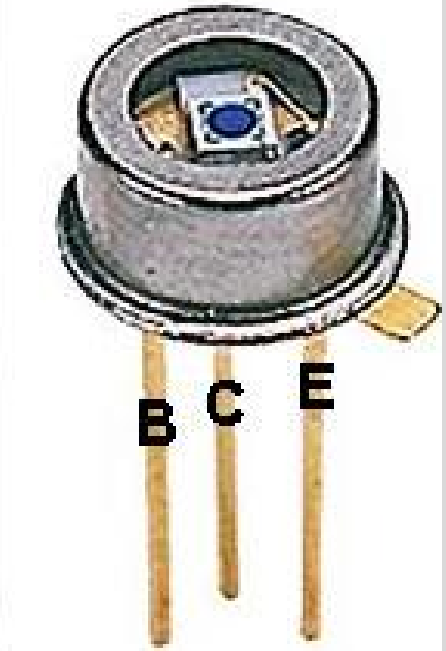
a. În funcţie de tipul capsulei

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

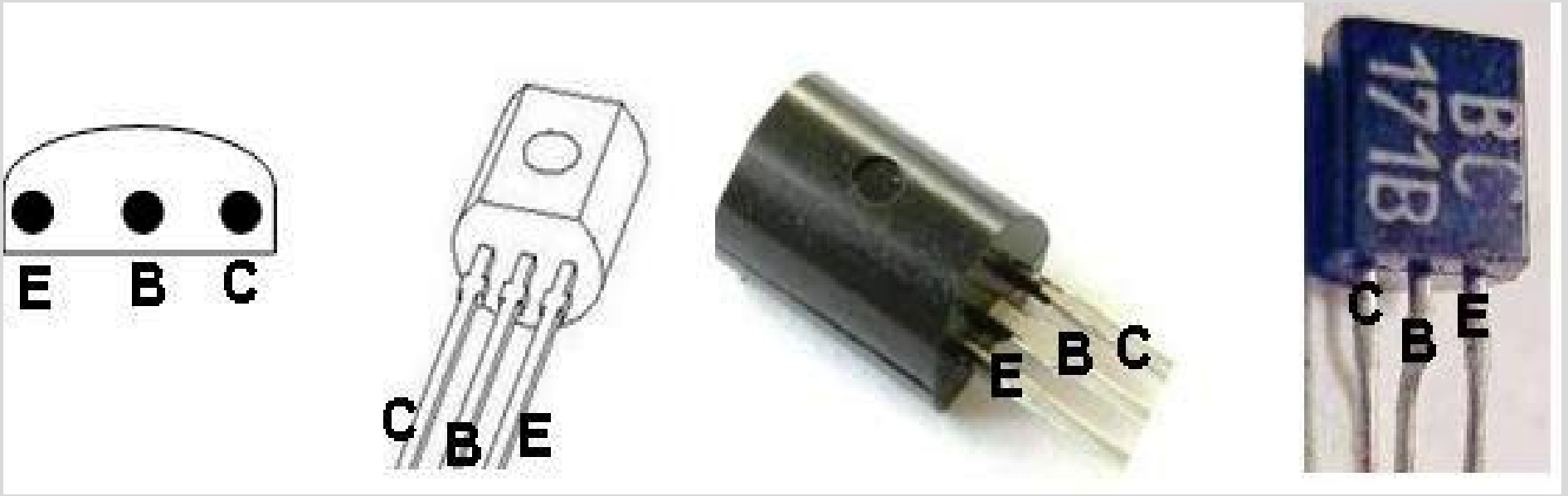




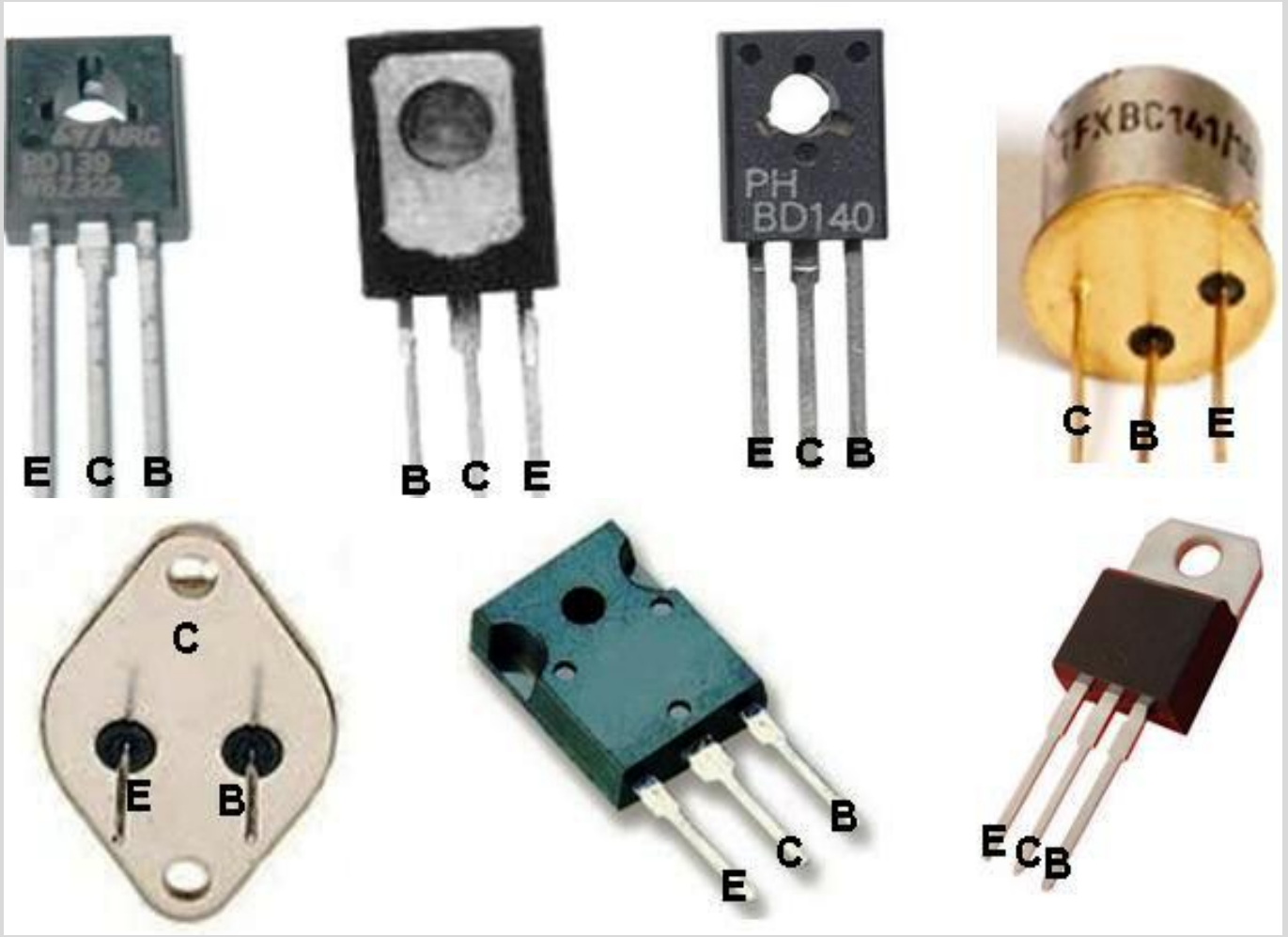




Tranzistoare de uz general în capsulă din plastic – la tranzistoarele din această categorie terminalele sunt dispuse liniar cu baza în mijloc. La majoritatea, terminalele sunt dispuse ca în figura de mai jos, dar sunt si familii de tranzistoare din această categorie la care **Emitorul** şi **Colectorul**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



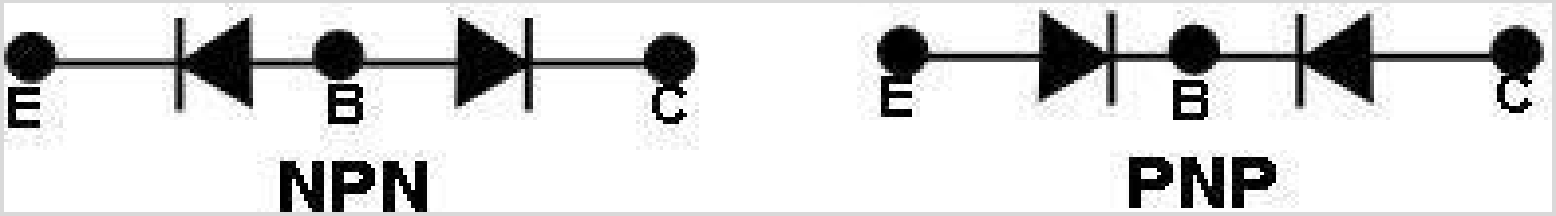
Tranzistoare de putere – la tranzistoarele din această categorie **Colectorul** este conectat la partea metalică a tranzistorului. La majoritatea tranzistoarelor din această categorie terminalele sunt dispuse liniar iar **Colectorul** este la mijloc. La tranzistoarele care au numai 2 terminale (vezi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



b. Prin măsurarea rezistenţei electrice a joncţiunilor

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

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



Rezistenţele 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.

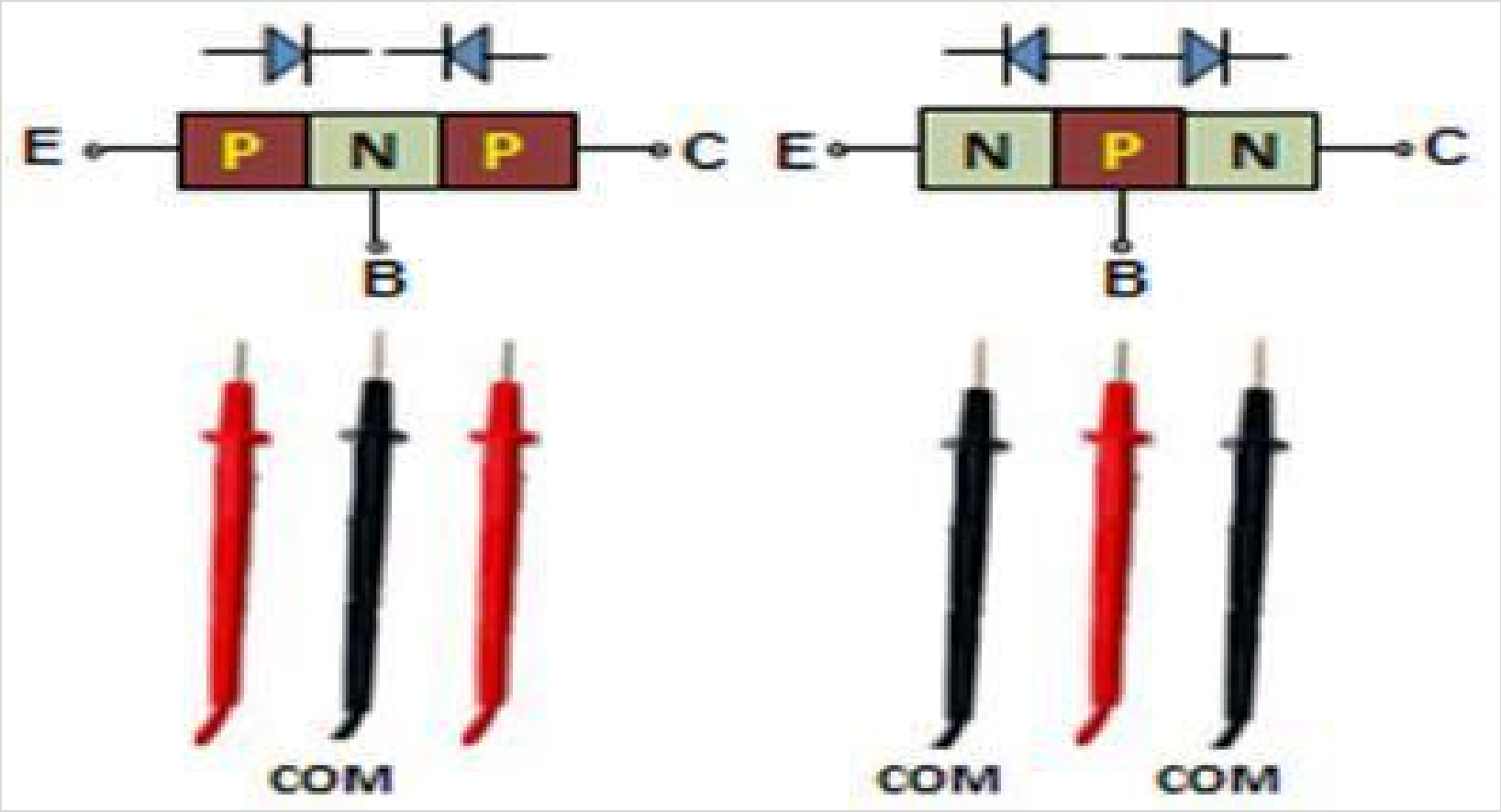
Se plasează o tastă a multitesterului pe unul din terminalele tranzistorului iar cu cealaltă tastă se măsoară rezistenţele electrice faţă de celelalte două terminale. Dacă rezistenţele electrice sunt aproximativ egale (într-un sens rezistenţe mici iar în celălalt sens rezistenţe foarte mari) tasta multitesterului este plasată pe baza tranzistorului.

➢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 rezistenţă mică**.

Dacă pe **BAZĂ** este tasta **MINUS** tranzistorul este de tip **PNP**

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



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

Rezistenţa electrică dintre **Bază** şi **Emitor** este întotdeauna mai **MARE** decât **rezistenţa** electrică dintre **Bază** şi **Colector.**

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

La tranzistorul

BC 547 de tip NPN:

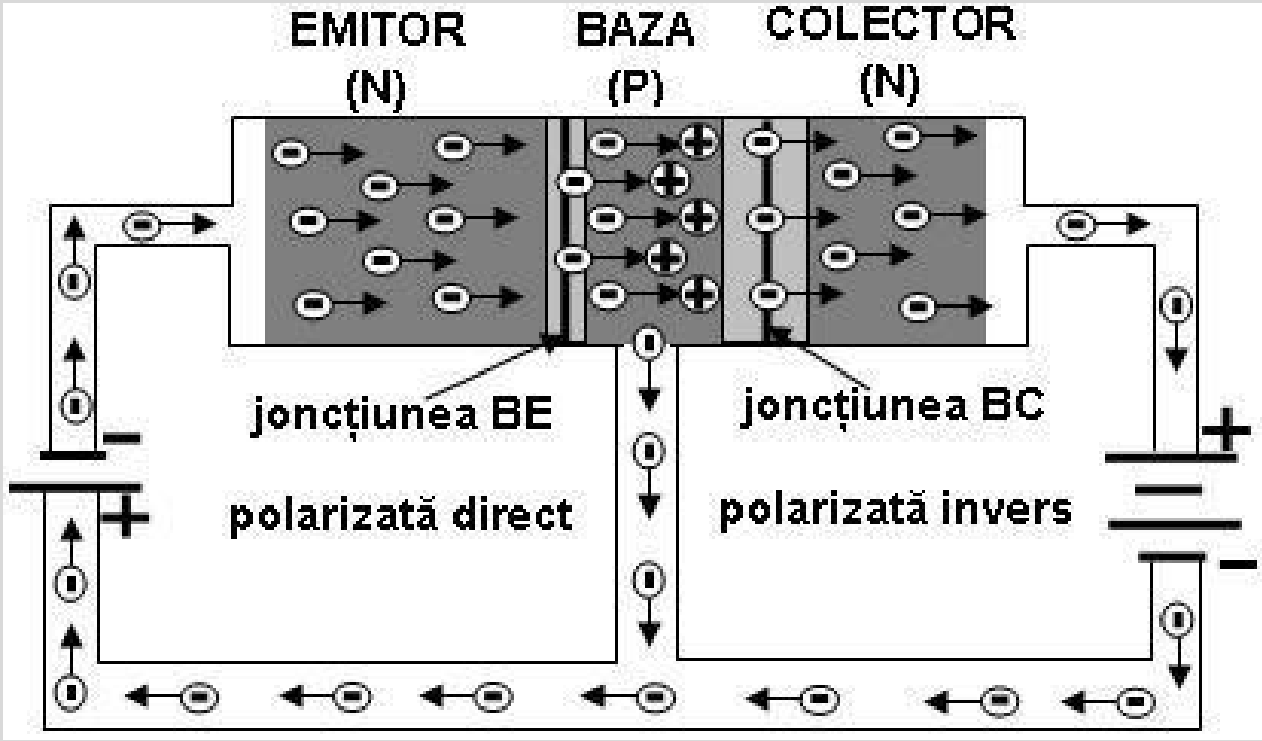
R_{BE} = 5,32 MΩ

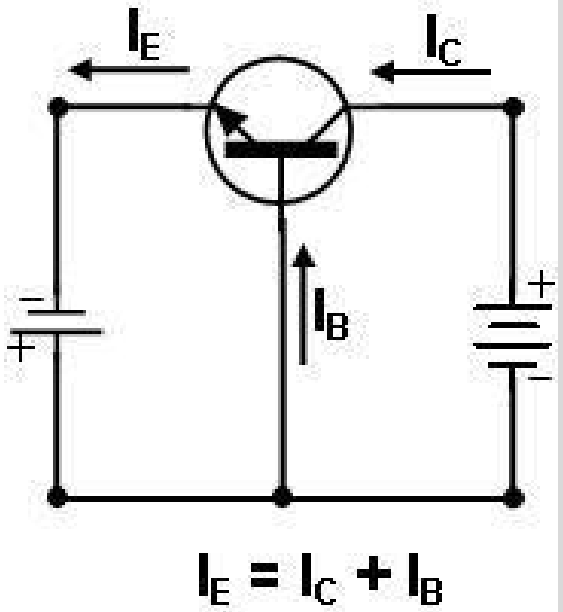
FUNCŢIONAREA TRANZISTORULUI BIPOLAR

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 (emite purtători: electroni sau goluri) 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.

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





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.

PARAMETRII TRANZISTORULUI BIPOLAR

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

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

$$\beta_{CC} = \frac{I_C}{I_B}$$

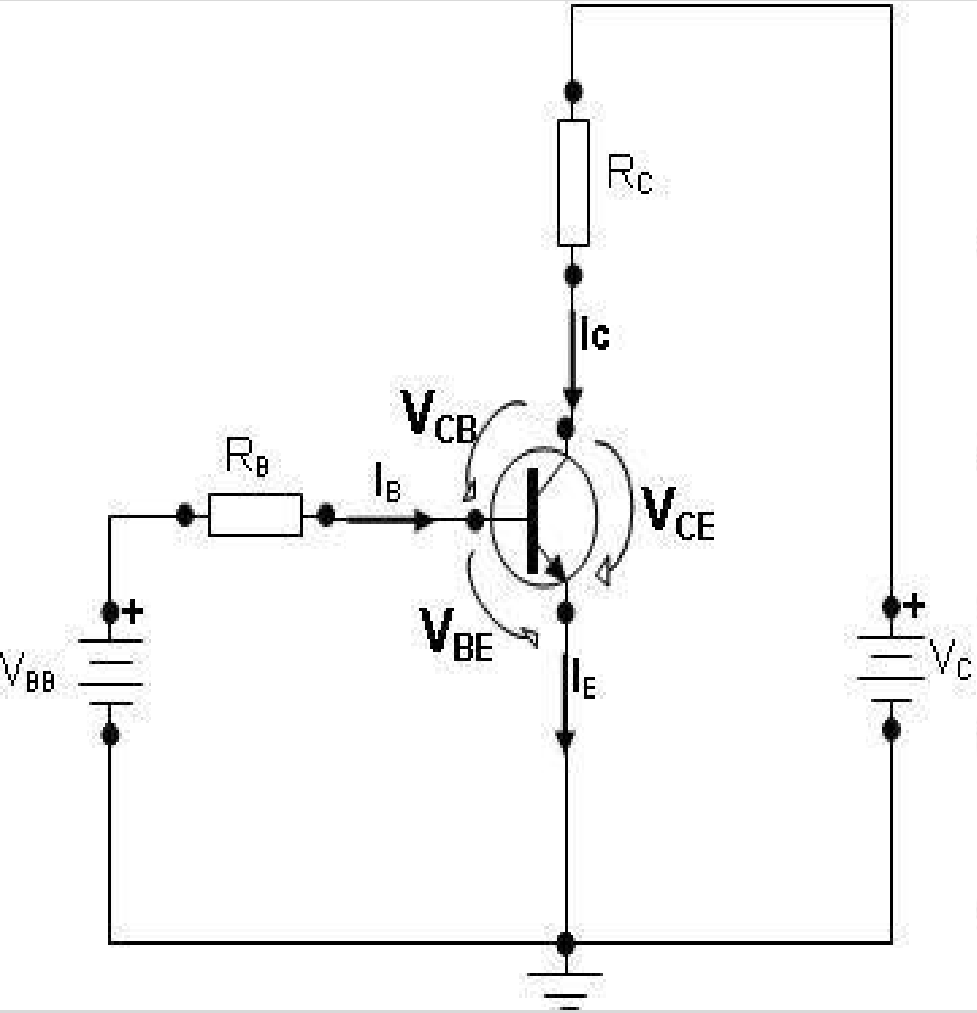
➢ ***Factorul de amplificare în curent din emitor în colector (α_{cc})*** – reprezintă raportul dintre curentul continuu prin colector ($\mathbf{I_C}$) şi curentul continuu prin emitor ($\mathbf{I_E}$)

Valorile paramentului α sunt cuprinse între 0,95 şi 0,99 în funcţie de tipul tranzistorului.

$$\alpha_{CC} = \frac{I_C}{I_E}$$

CARACTERISTICILE TRANZISTORULUI BIPOLAR

Caracteristicile electrice



$$V_{BE} = 0,7V$$

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

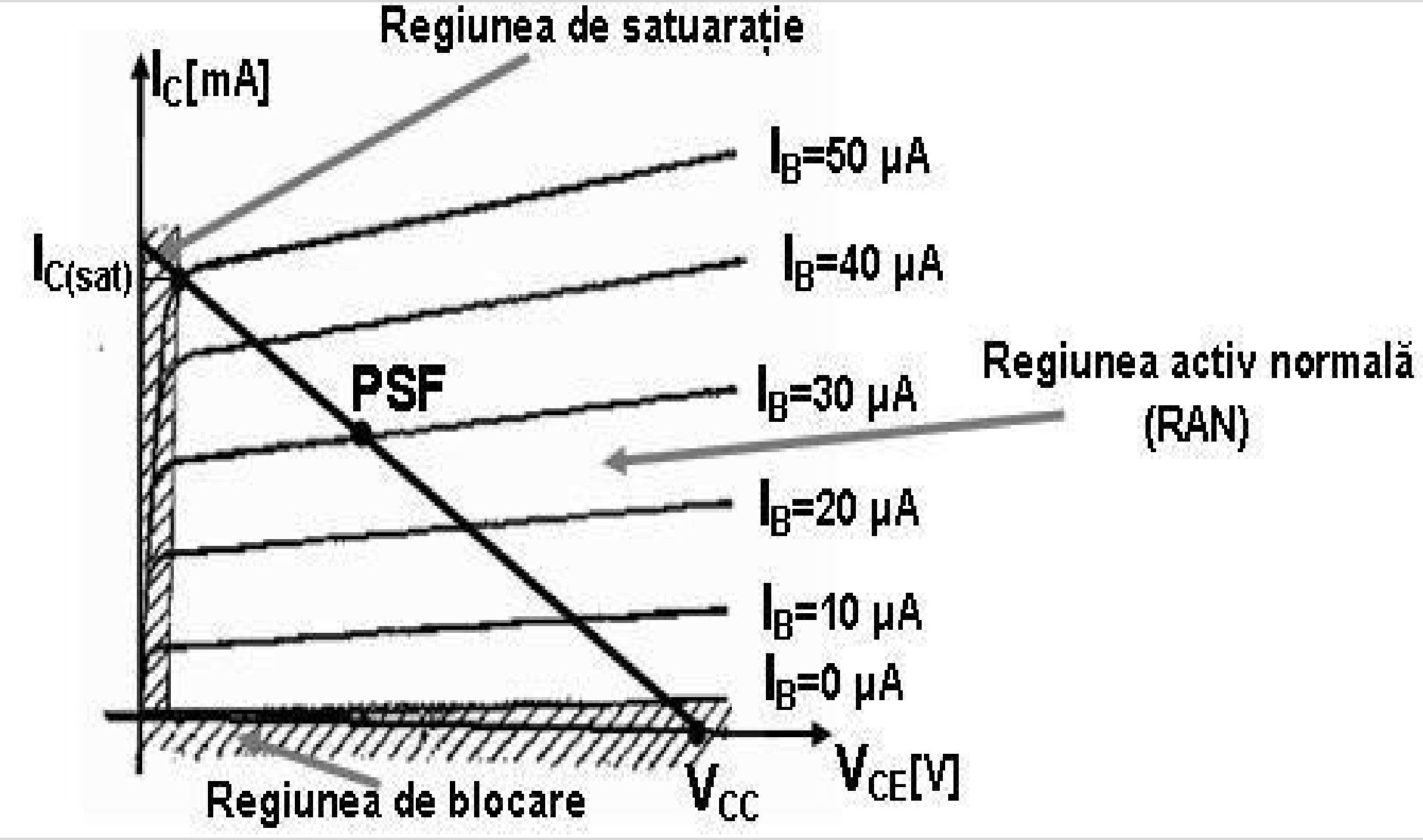
$$I_C = \beta_{CC} \cdot I_B$$

$$I_E = I_C + I_B$$

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

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

Caracteristica statică de ieşire



*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 $\mathbf{I_C=0}$
- tensiunea de ieşire are valoare mare, practic $\mathbf{V_{CE} = V_{CC}}$
- tranzistorul se comportă ca un întrerupător deschis.

*În **regiunea de saturaţie** tranzistorul funcţionează în **regim de saturaţie:***

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

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

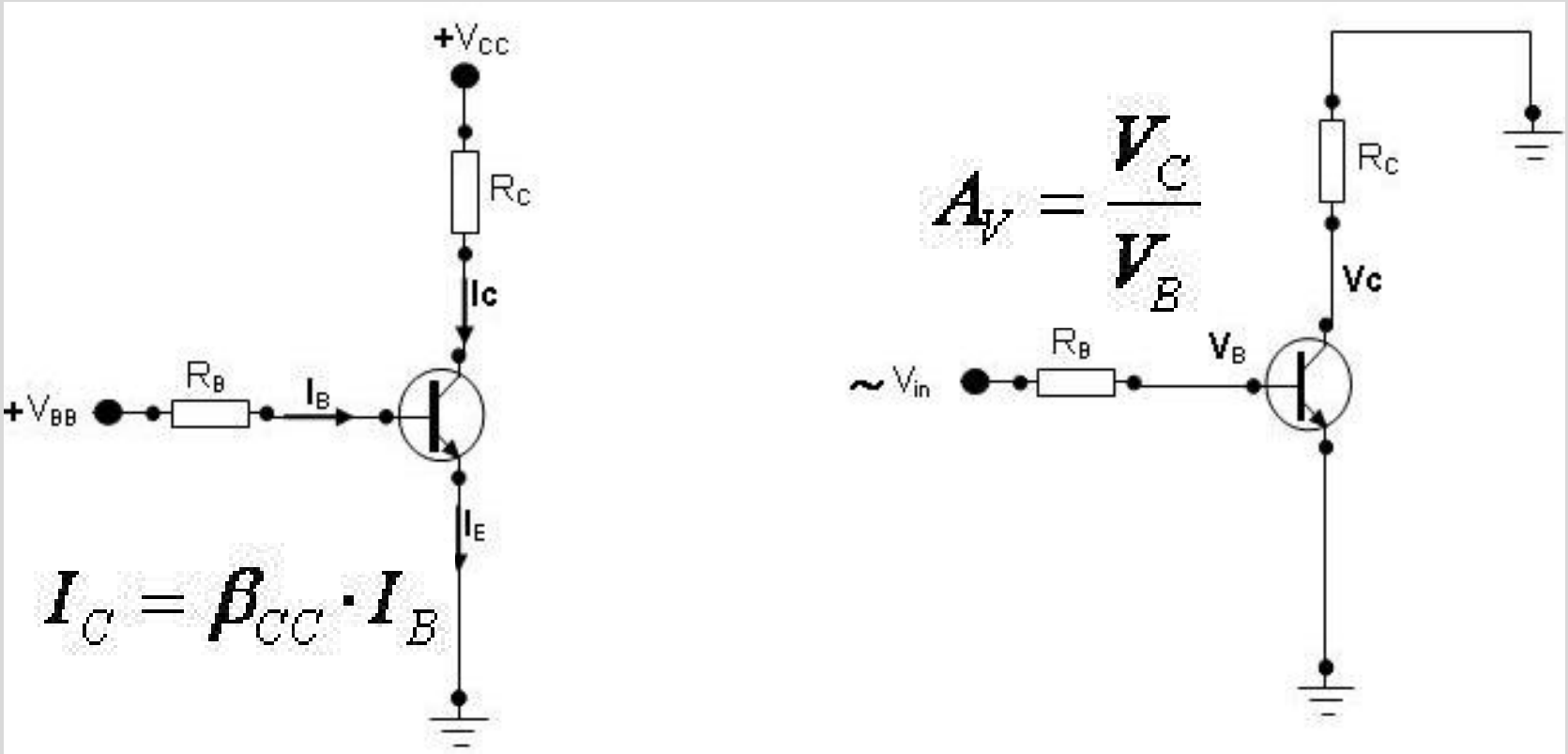
- joncţiunea bază – emitor este polarizată direct
- joncţiunea bază – colector este polarizată invers
- curentul prin tranzistor este mare $\mathbf{I_C = \beta \cdot I_B}$
- tensiunea de ieşire ($\mathbf{V_{CE}}$) este mică
- tranzistorul se comportă ca un amplificator de semnal.

FUNCŢIILE TRANZISTORULUI BIPOLAR

***Funcţia de AMPLIFICARE** – când tranzistorul funcţionează în regim activ normal (RAN)*

În circuitul echivalent de curent continuu tranzistorul amplifică curentul din bază

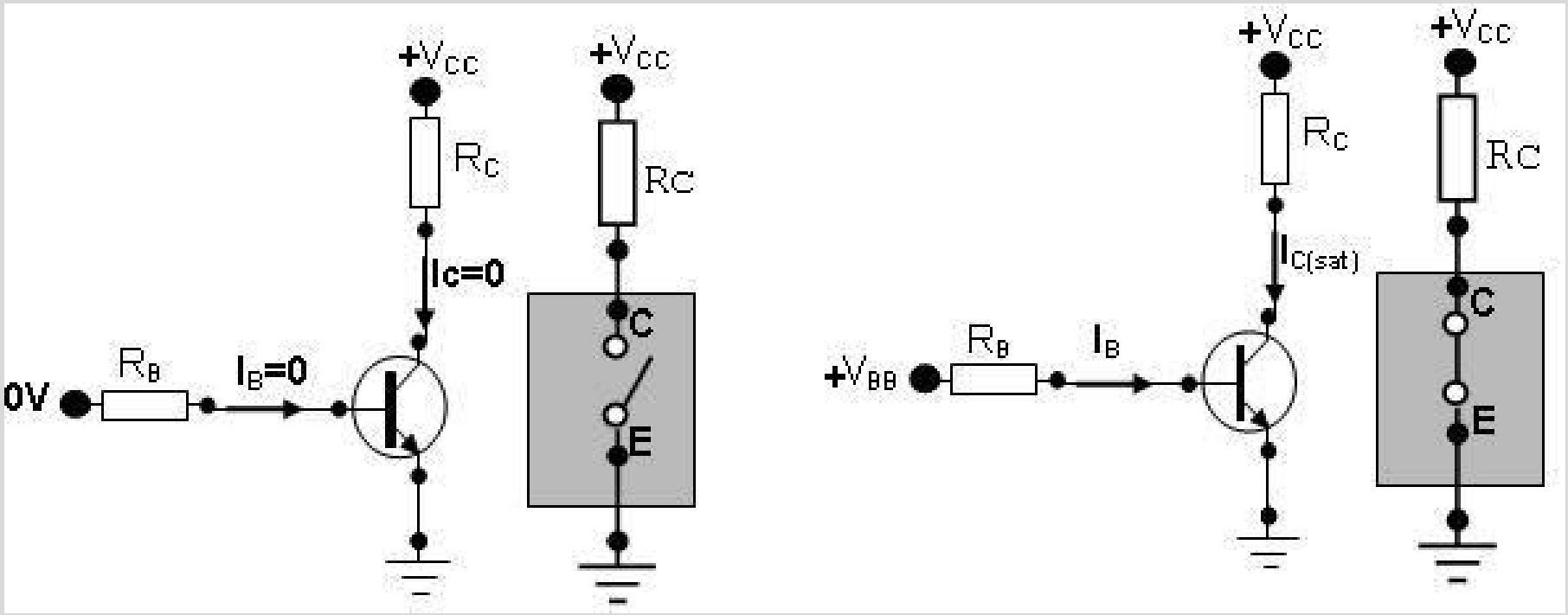
În circuitul echivalent de curent alternativ tranzistorul amplifică tensiunea alternativă din bază



Funcţia de COMUTARE *– când tranzistorul funcţionează în* ***regim de blocare*** *şi în* ***regim 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 .

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

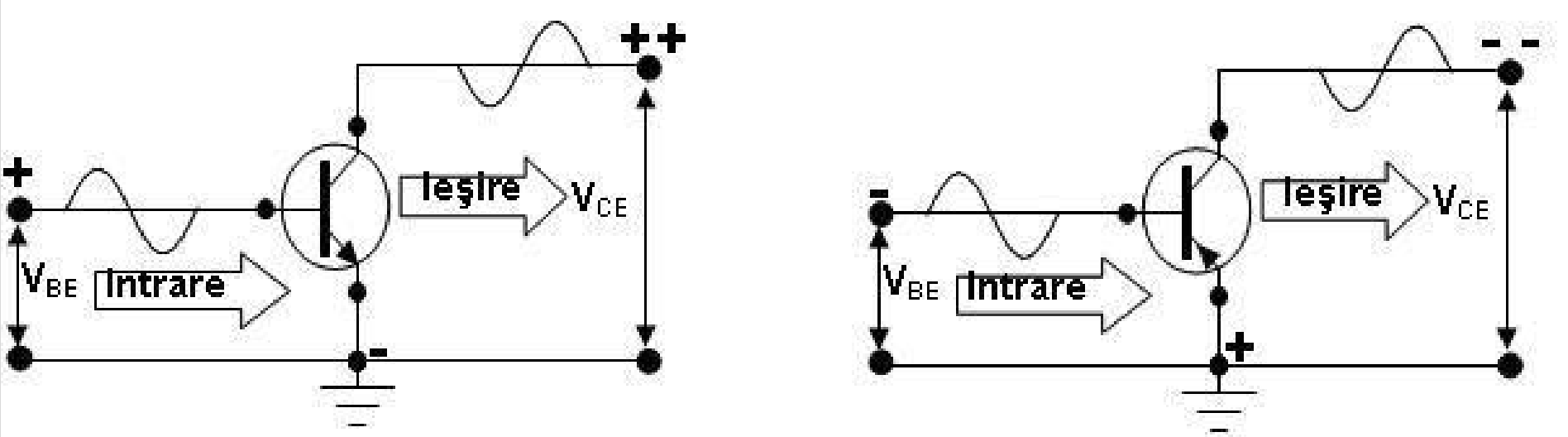


4.2. CONEXIUNILE TRANZISTORUL BIPOLAR

CONEXIUNEA EMITOR COMUN

În această conexiune **EMITORUL** este comun intrării şi ieşirii circuitului.

Conexiunea este utilizată în circuitele de amplificare în tensiune, putere.



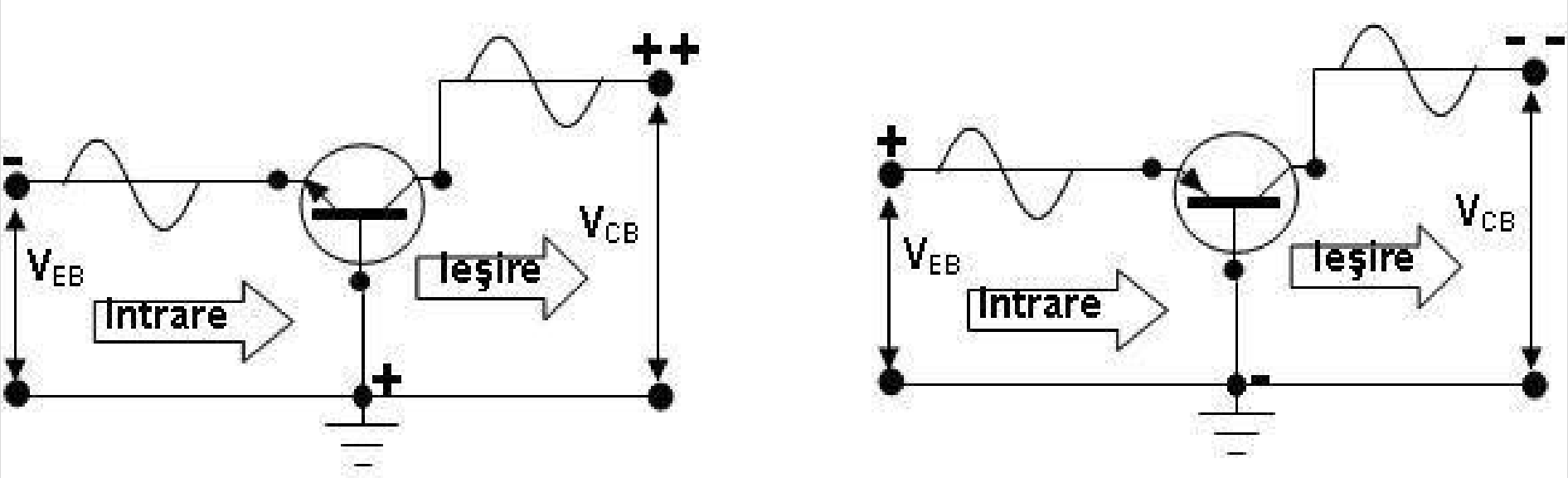
CARACTERISTICI:

- Impedanță de intrare medie ; Impedanță de ieşire mare
- Amplificare în curent mare (10 – 100)
- Amplificare în tensiune mare (peste 100)
- Amplificare în putere foarte mare (până la 10.000)

CONEXIUNEA BAZĂ COMUNĂ

În această conexiune **BAZA** este comună intrării şi ieşirii circuitului.

Conexiunea este utilizată în etajele amplificatoare de RF din RR - UUS.



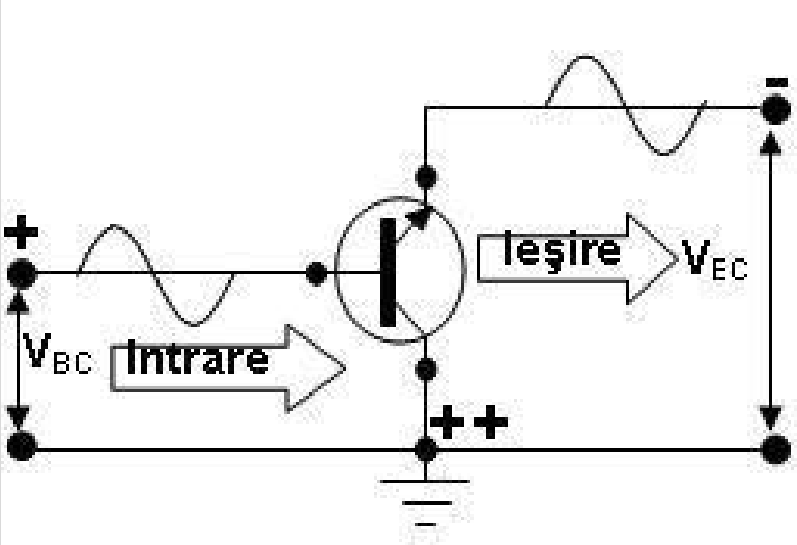
CARACTERISTICI:

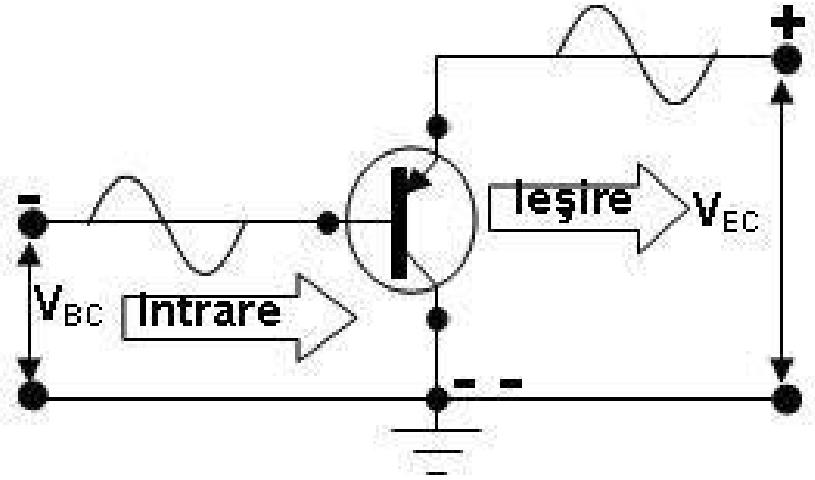
- Impedanță de intrare mică ; Impedanță de ieşire mare
- Amplificare în curent unitară (1)
- Amplificare în tensiune mare (până la 1000)
- Amplificare în putere mare (până la 1000)

CONEXIUNEA COLECTOR COMUN

În această conexiune **Colectorul** este comun intrării şi ieşirii circuitului.

Conexiunea este utilizată ca adaptor de impedanţă între impedanţa de ieşire a unui amplificator şi o rezistenţă de sarcină de valoare mică





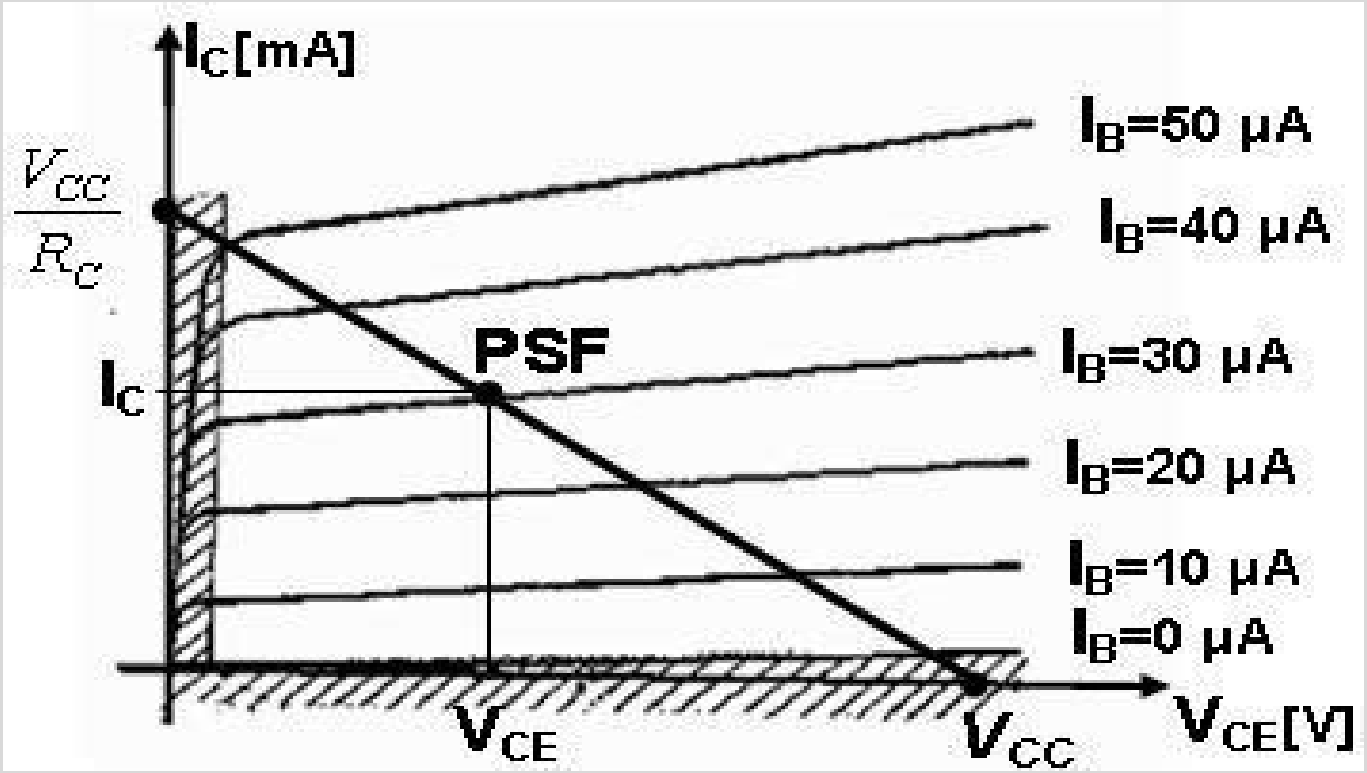
CARACTERISTICI:

- Impedanță de intrare mare ; Impedanță de ieşire mică
- Amplificare în curent mare (peste 10)
- Amplificare în tensiune unitară (1)
- Amplificare în putere mare (peste 10)

4.3. POLARIZAREA TRANZISTORULUI BIPOLAR

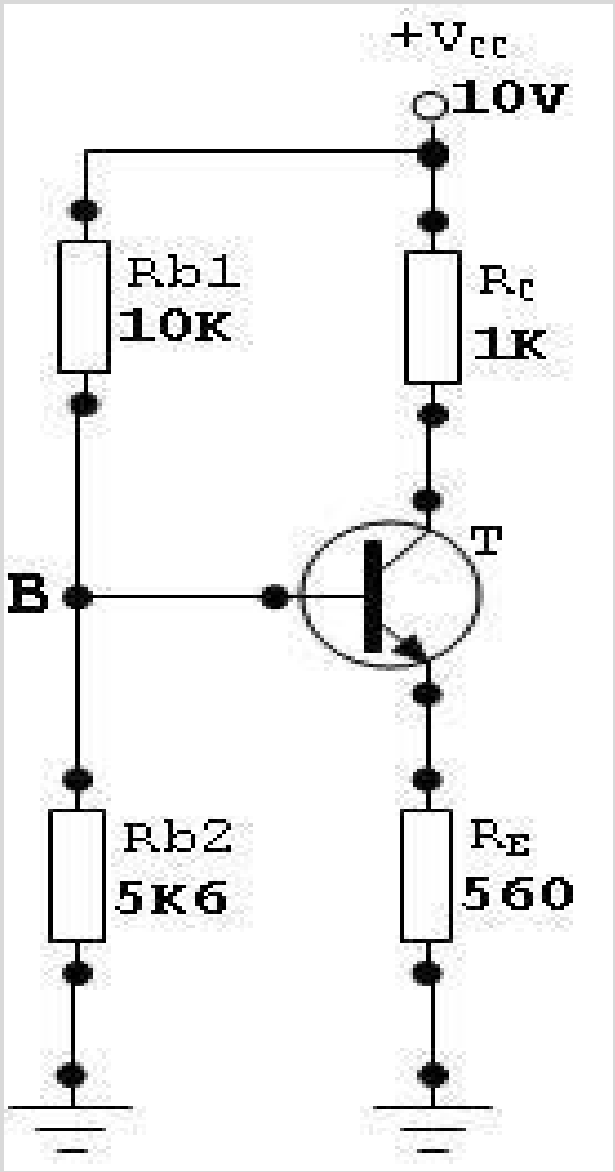
PUNCTUL STATIC DE FUNCŢIONARE (PSF)

Punctul static de funcţionare se află pe dreapta de sarcină, la intersecţia acesteia cu caracteristica statică de ieşire a tranzistorului. Coordonatele punctului static de funcţionare (I_C, V_{CE}) sunt impuse de valorile tensiunilor surselor de polarizare şi de valorile rezistenţelor din circuitele de polarizare.



POLARIZAREA TRANZISTORULUI BIPOLAR CU DIVIZOR REZISTIV

Prin această metodă, tranzistorul se polarizează prin intermediul unui divizor de tensiune rezistiv, de la o singură sursă de alimentare.



Divizorul de tensiune este format din rezistențele **Rb1** şi **Rb2**

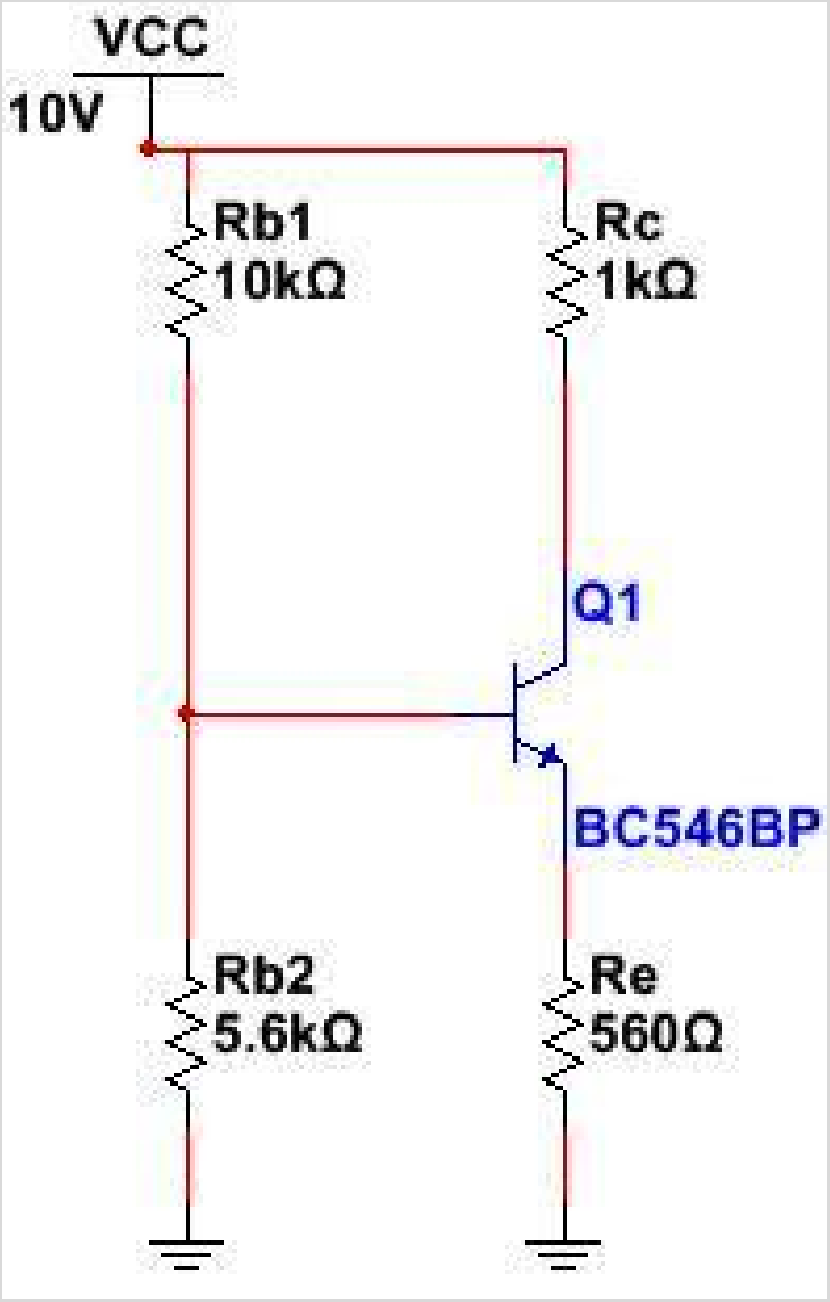
Tensiunea din baza tranzistorului se calculează cu formula:

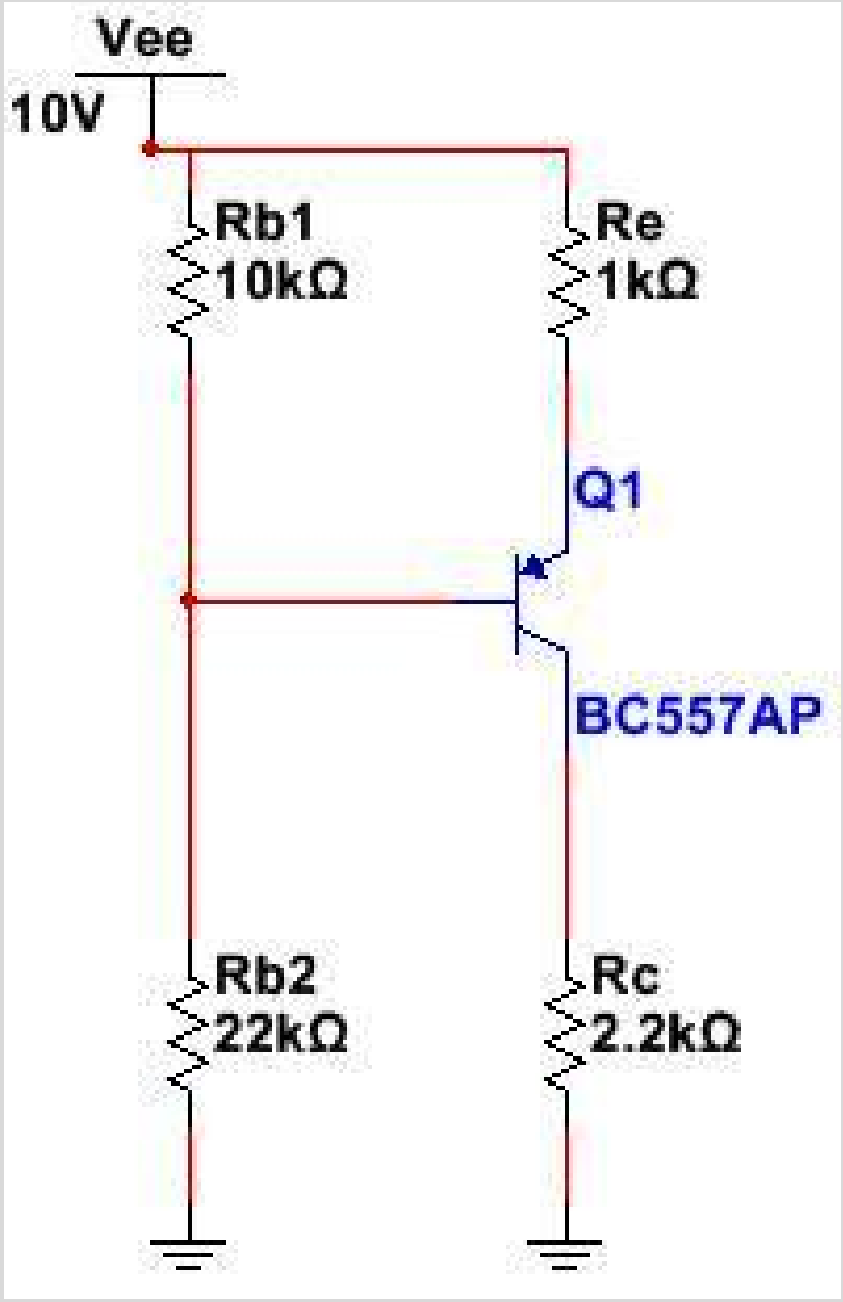
$$V_B = \left(\frac{Rb2}{Rb1 + Rb2}\right) \cdot V_{CC}$$

Tranzistorul va funcționa în regiunea activă normală dacă sunt îndeplinite două condiții de bază:

- **$0{,}5 < V_{CE} < V_{CC} - 1$**
- **R_{b2} să fie mai mică de cel puțin 10 ori decât $\beta_{CC} \cdot R_E$**

SCHEME DE POLARIZAREA TB CU DIVIZOR REZISTIV

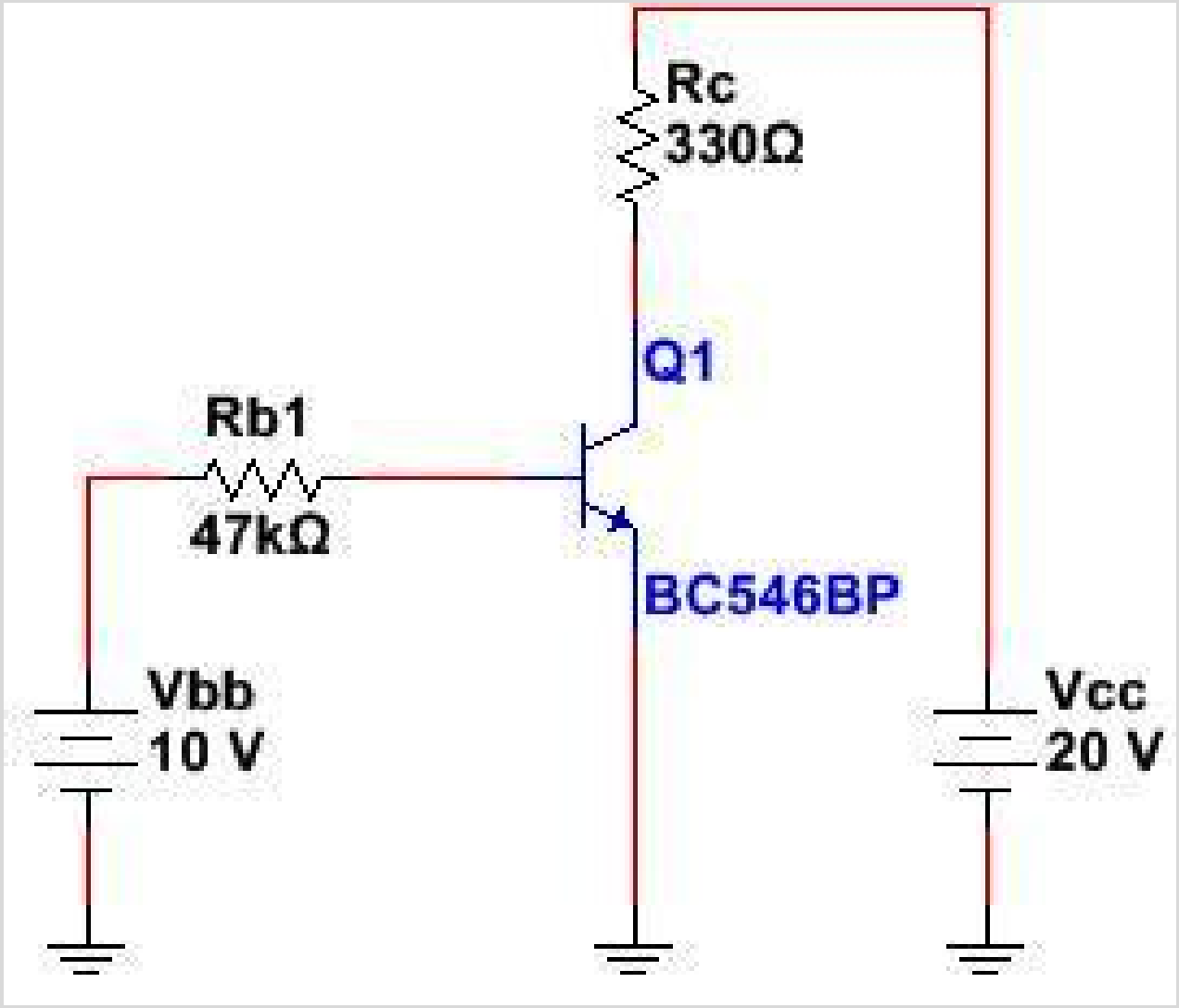




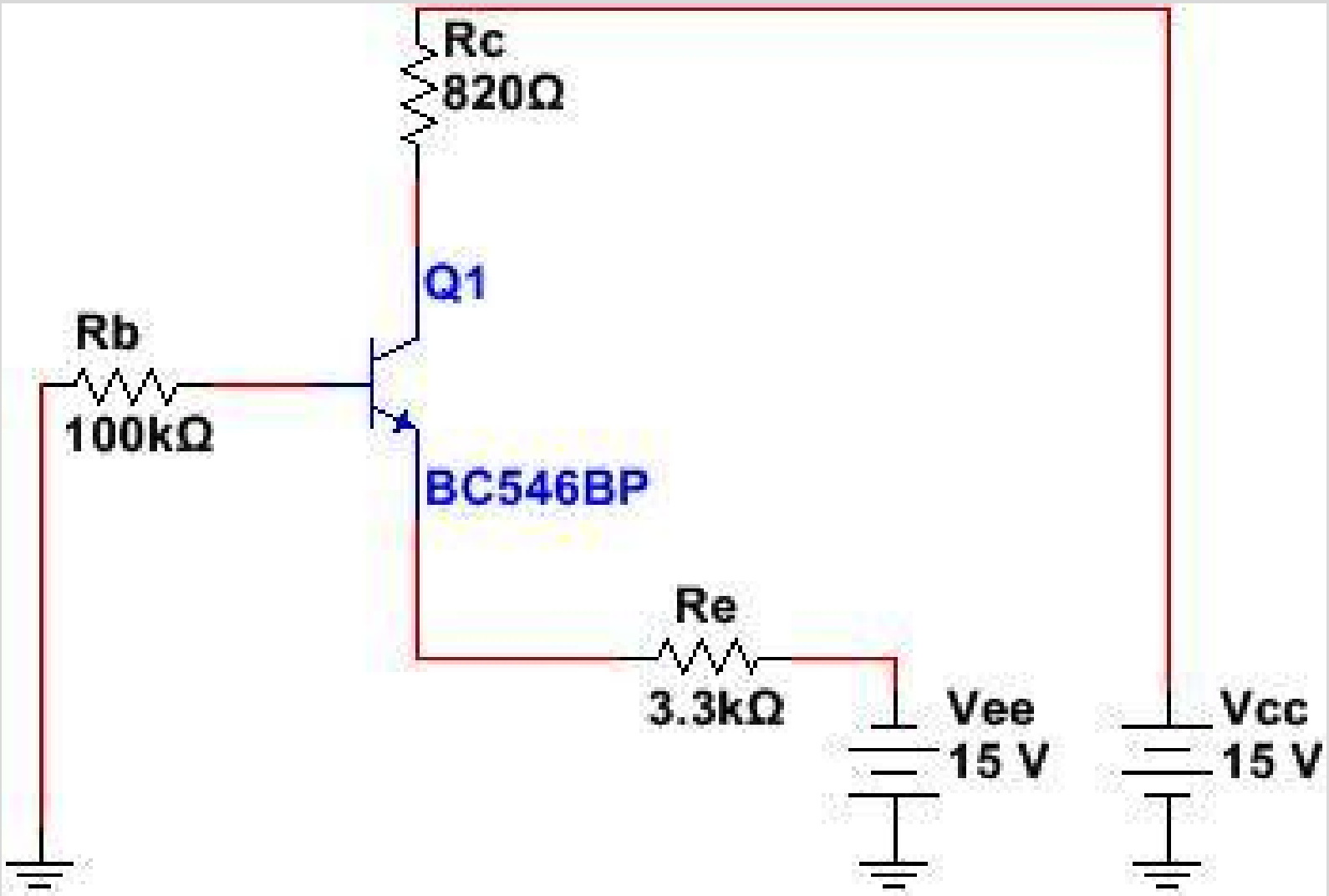
POLARIZAREA TB CU DOUĂ SURSE DE TENSIUNE

Prin această metodă, tranzistorul se polarizează cu două surse de tensiune diferite.

POLARIZAREA BAZEI DIN SURSĂ DE TENSIUNE SEPARATĂ



POLARIZAREA EMITORULUI DIN SURSĂ DE TENSIUNE SEPARATĂ



ACEST MONTAJ ASIGURĂ UN PUNCT STATIC DE FUNCŢIONARE STABIL.

4.4. DEPANAREA CIRCUITELOR CU TRANZISTOARE

DEFECTE INTERNE ALE TRANZISTORULUI

Cea mai rapidă metodă de a afla dacă joncţiunile unui tranzistor sunt întrerupte sau străpunse este măsurarea rezistenţelor joncţiunilor cu un multitester digital.

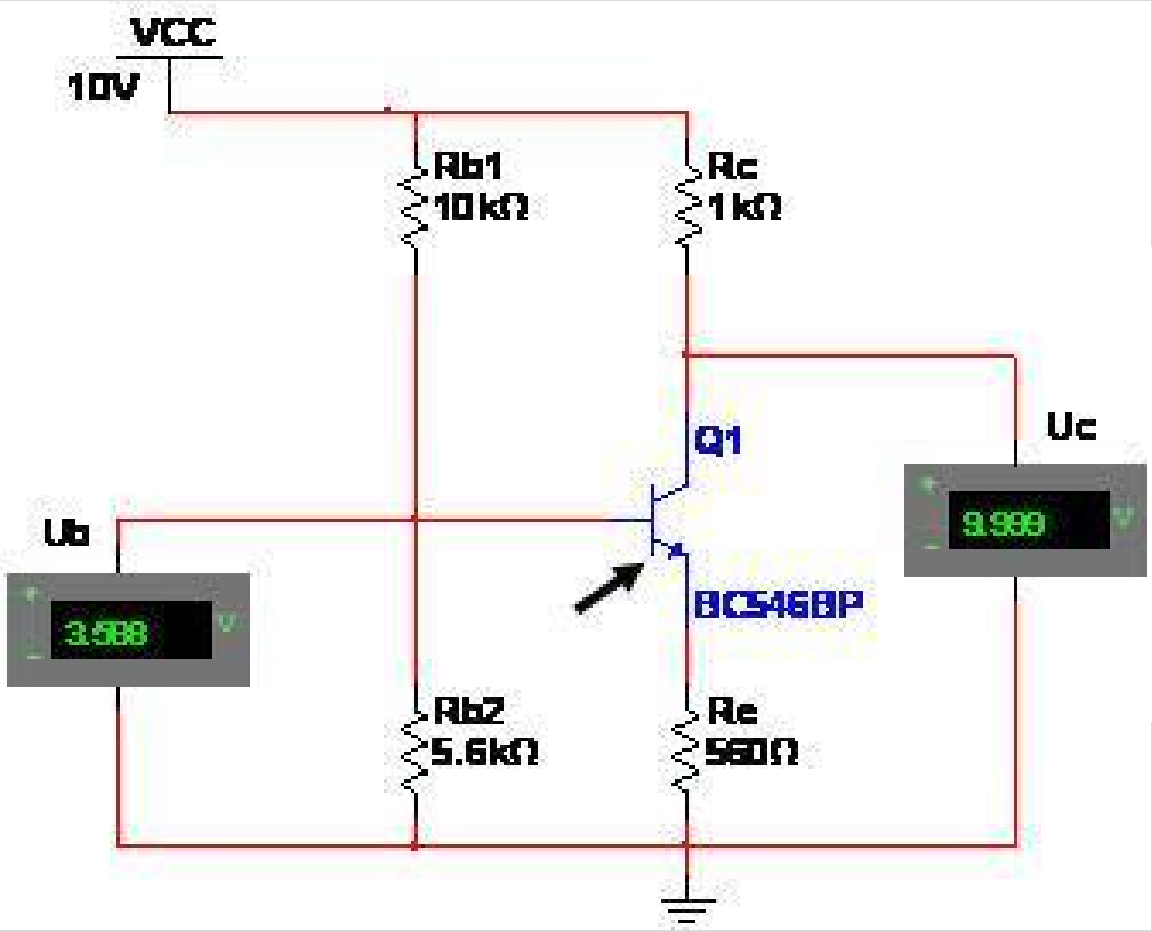
O joncţiune (BE sau BC) este *întreruptă* dacă multitesterul în ambele sensuri de măsurare indică *rezistenţă foarte mare* (sau infinită).

O joncţiune (BE sau BC) este *străpunsă* dacă multitesterul în ambele sensuri de măsurare indică *rezistenţă mică*.

O joncţiune (BE sau BC) este *scurtcircuitată* dacă multitesterul în ambele sensuri de măsurare indică *rezistenţă foarte mică*.

Altă metodă de verificare a stării joncţiunilor unui tranzistor este măsurarea valorilor tensiunilor din baza şi colectorul unui tranzistor în circuit.

ÎNTRERUPERE JONCŢIUNE BAZĂ - EMITOR

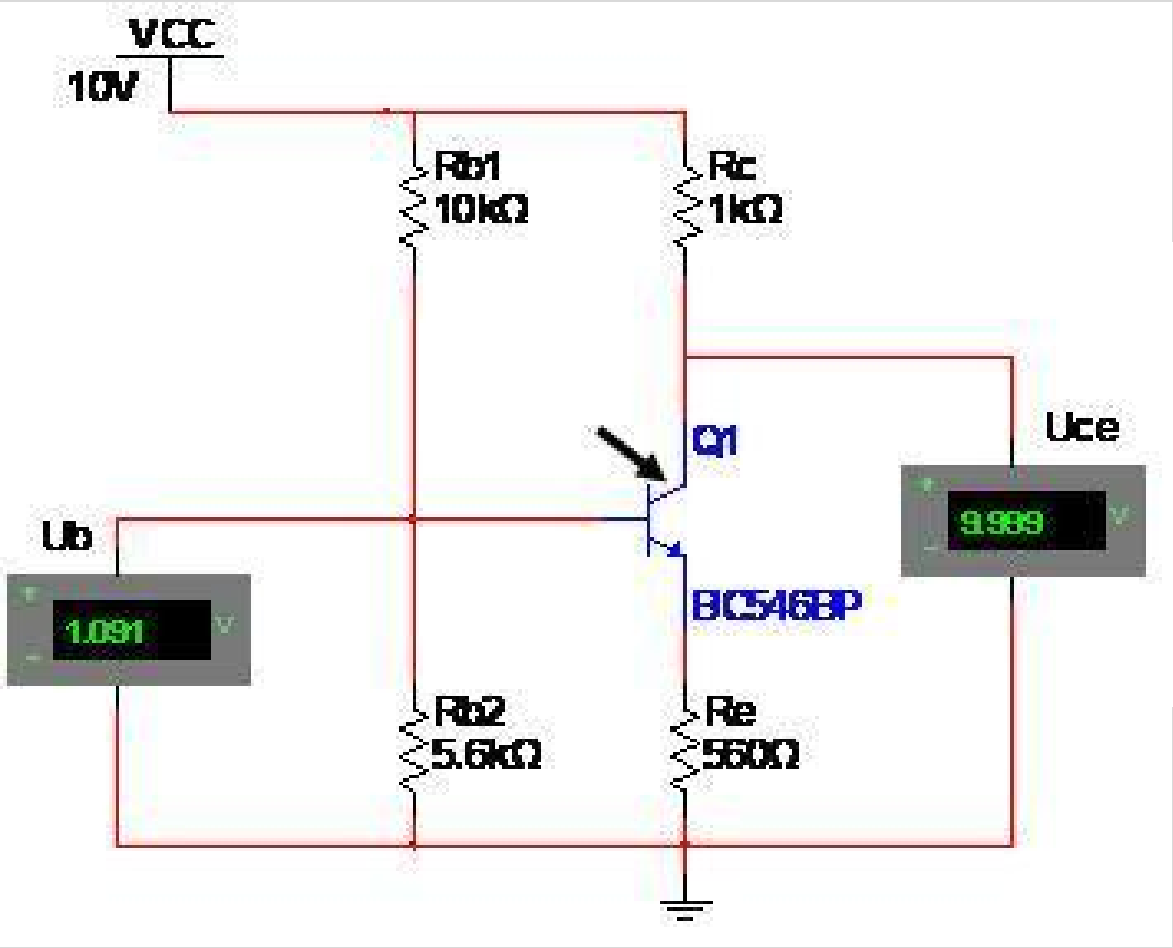


Dacă s-a **întrerup** joncțiunea BE, Emitorul sau Baza, tranzistorul se **blochează,** iar tensiunile sunt:

Tensiunea în bază U_B **= 3,58 V**

Tensiunea în colector U_C **= 9,99 V**

ÎNTRERUPERE JONCŢIUNE BAZĂ - COLECTOR

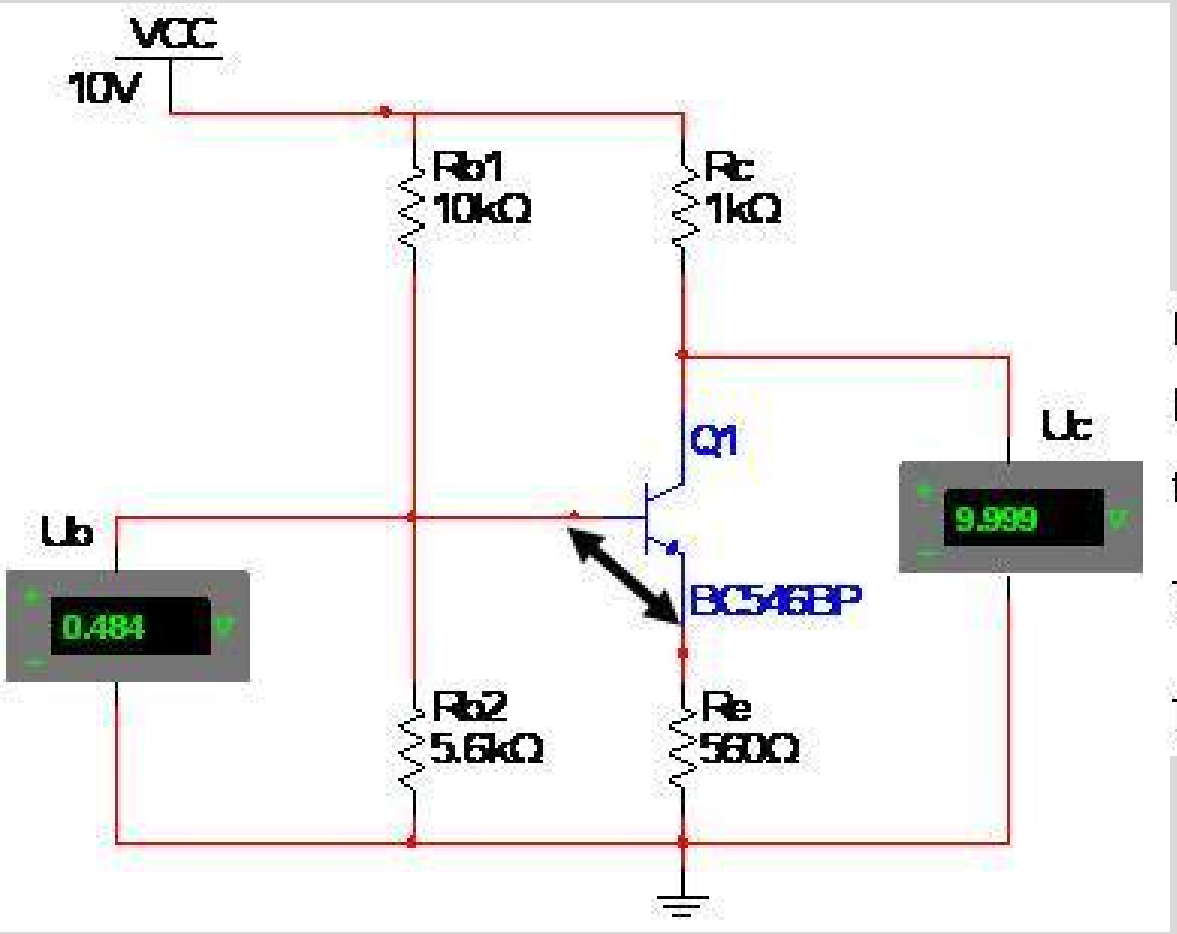


Dacă s-a **întrerup** joncțiunea BC, sau Colectorul, tranzistorul se **blochează**, iar tensiunile sunt:

Tensiunea în bază U_B **= 1,09 V**

Tensiunea în colector U_C **= 9,99 V**

SCURTCIRCUITARE JONCŢIUNE BAZĂ - EMITOR

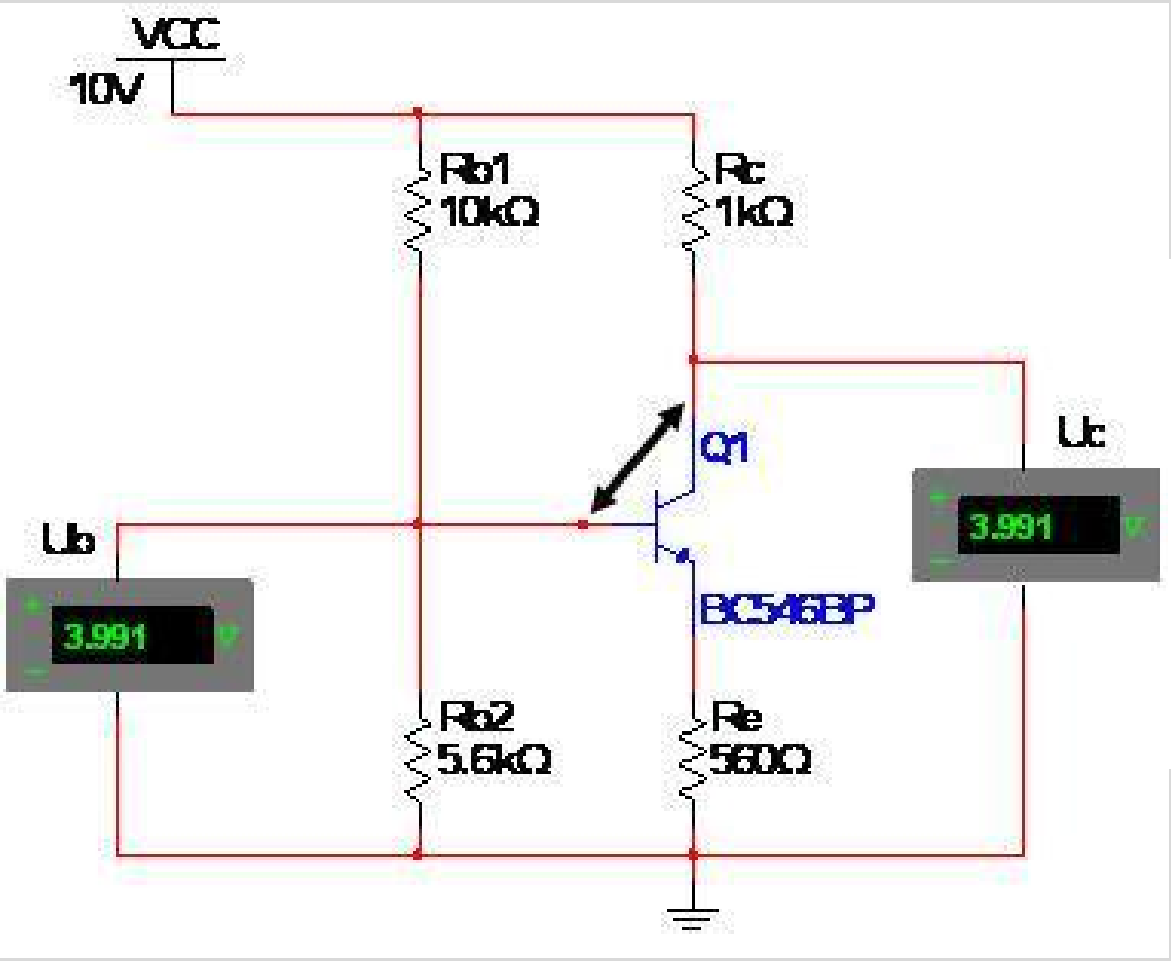


Dacă s-a **scurtcircuitat** joncțiunea BE, tranzistorul se **blochează,** iar tensiunile sunt:

Tensiunea în bază U_B **= 0,48 V**

Tensiunea în colector U_C **= 9,99 V**

SCURTCIRCUITARE JONCŢIUNE BAZĂ - COLECTOR

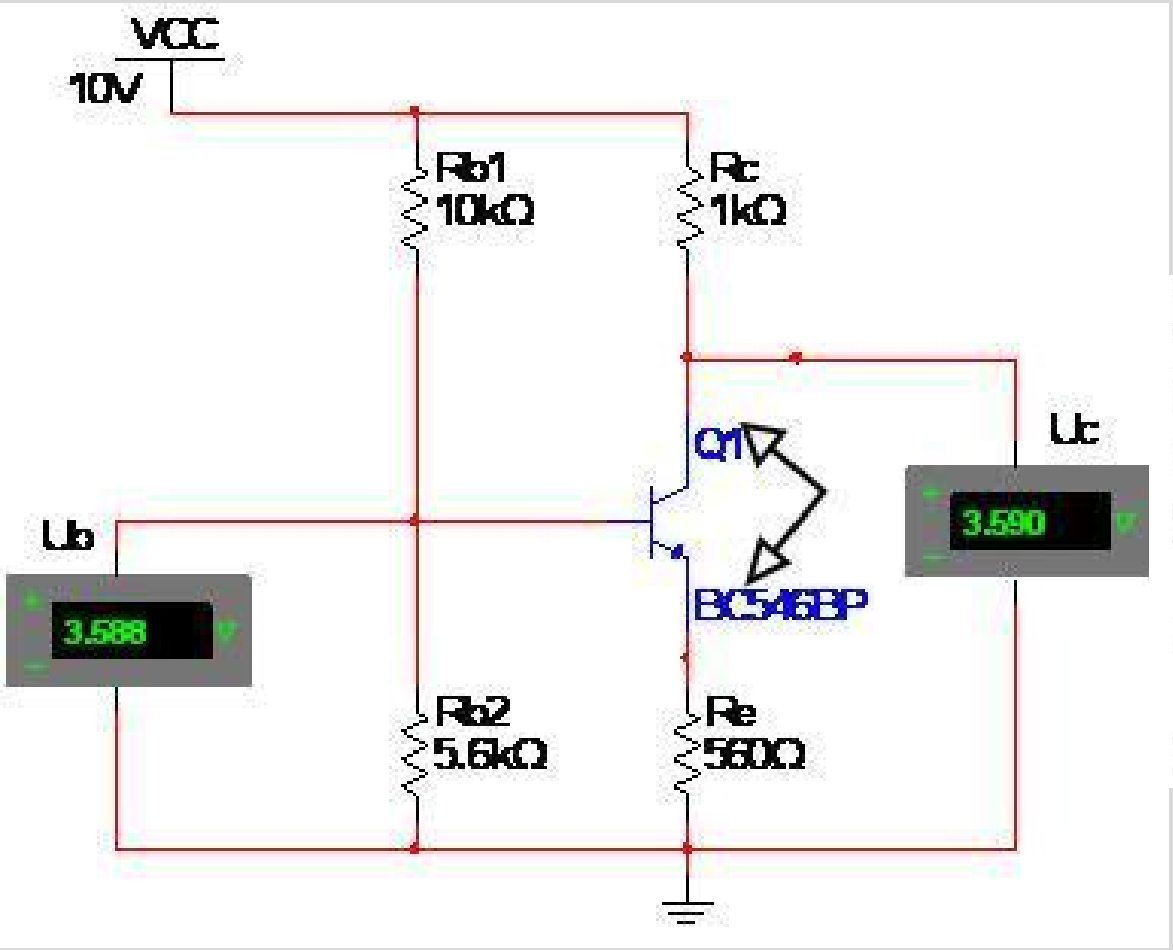


Dacă s-a **scurtcircuitat** joncțiunea BC, tranzistorul se comportă ca o diodă polarizată direct prin care circulă curent, iar tensiunile sunt:

Tensiunea în bază U_B = **3,99 V**

Tensiunea în colector U_C = **3,99 V**

SCURTCIRCUITARE JONCŢIUNE COLECTOR - EMITOR



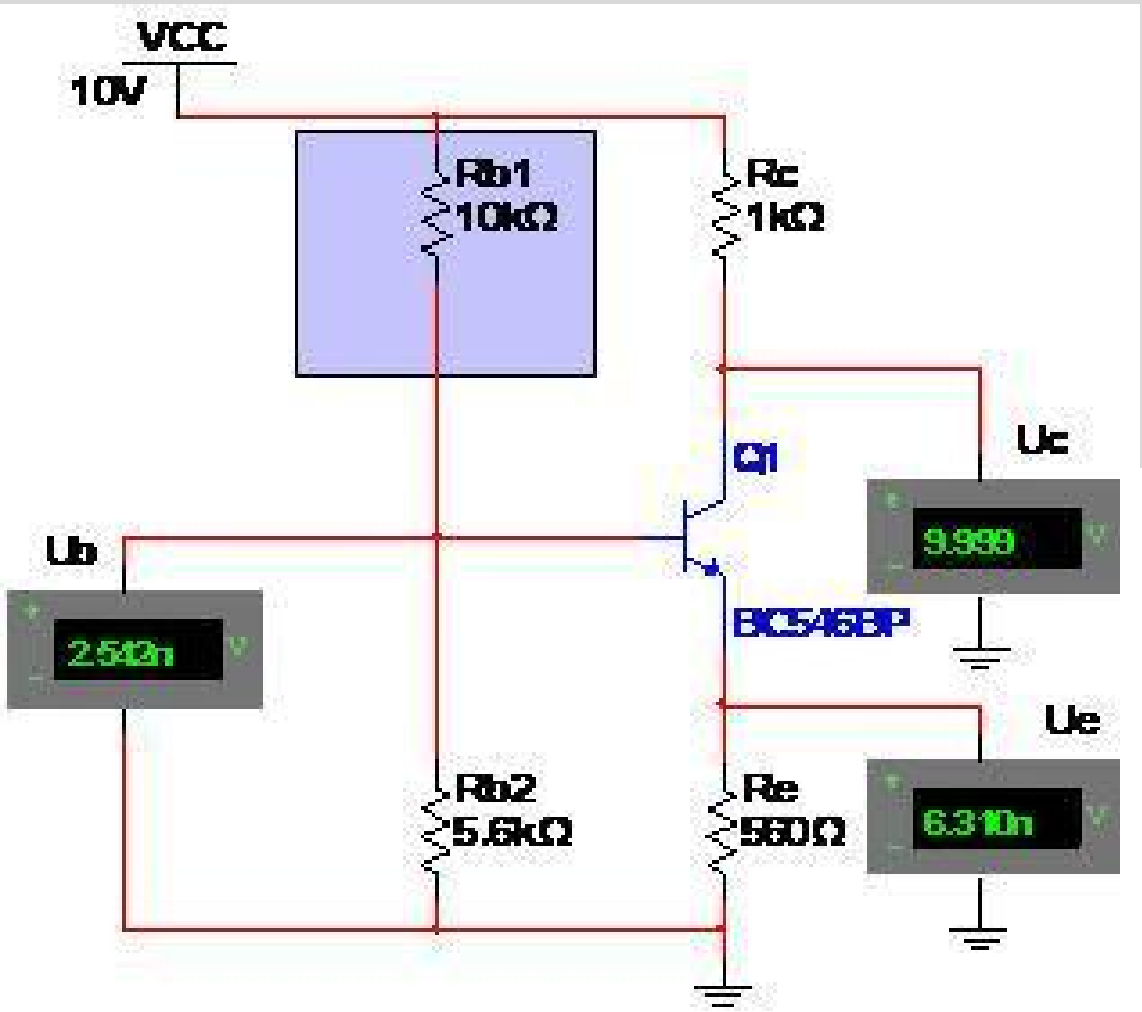
Dacă s-a **scurtcircuitat** joncțiunea CE, tranzistorul se comportă ca un conductor prin care circulă curent, iar tensiunile sunt:

Tensiunea în bază U_B **= 3,58 V**

Tensiunea în colector U_C **= 3,59 V**

DEFECTE ALE CIRCUITELOR DE POLARIZARE

REZISTORUL Rb1 ESTE ÎNTRERUPT



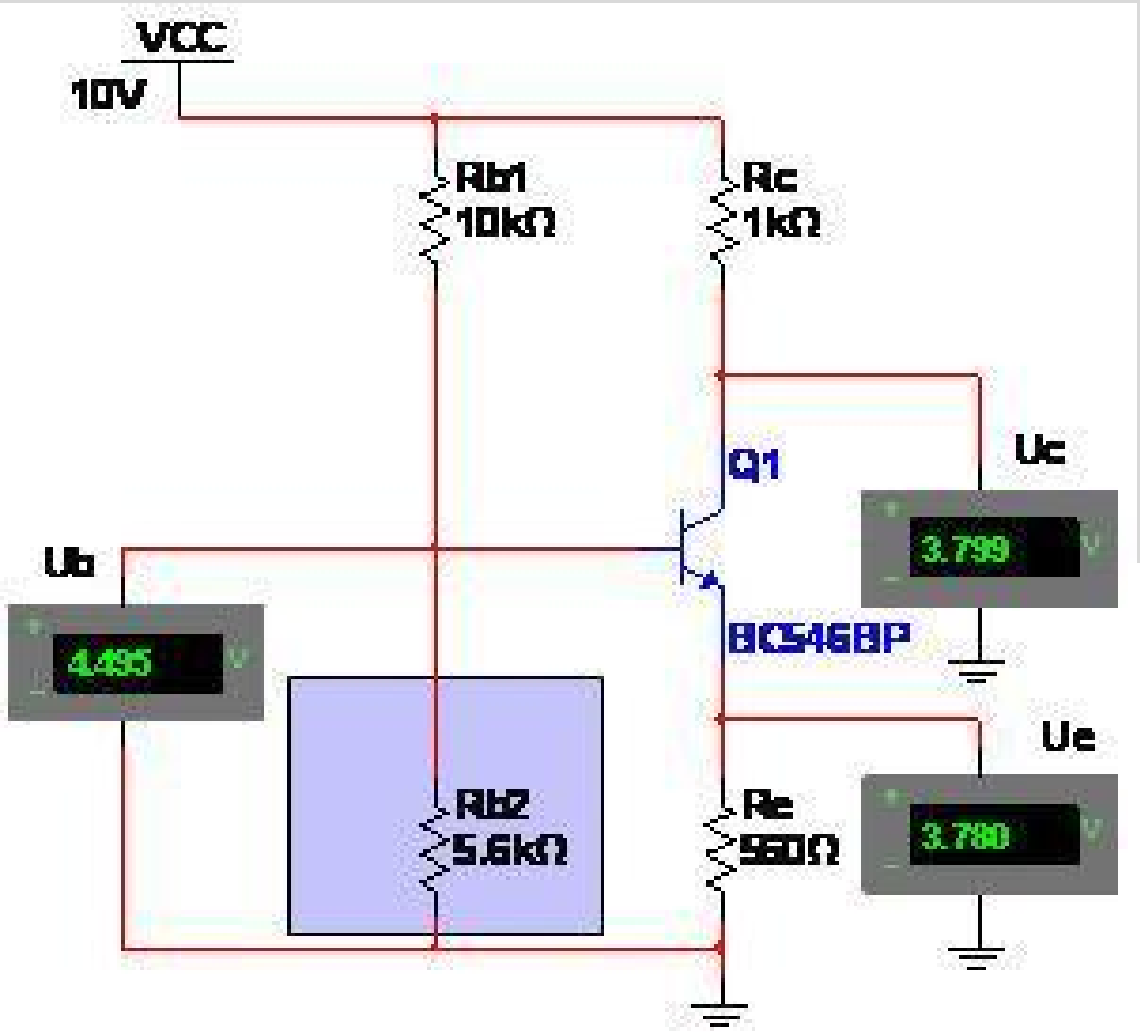
Acest defect duce la dispariția tensiunilor din baza şi emitorul tranzistorului, iar tranzistorul se **BLOCHEAZĂ**

Tensiunea în bază $U_B \cong 0$ V

Tensiunea în emitor $U_E \cong 0$ V

Tensiunea în colector $U_C = 9{,}99$ V

REZISTORUL Rb2 ESTE ÎNTRERUPT



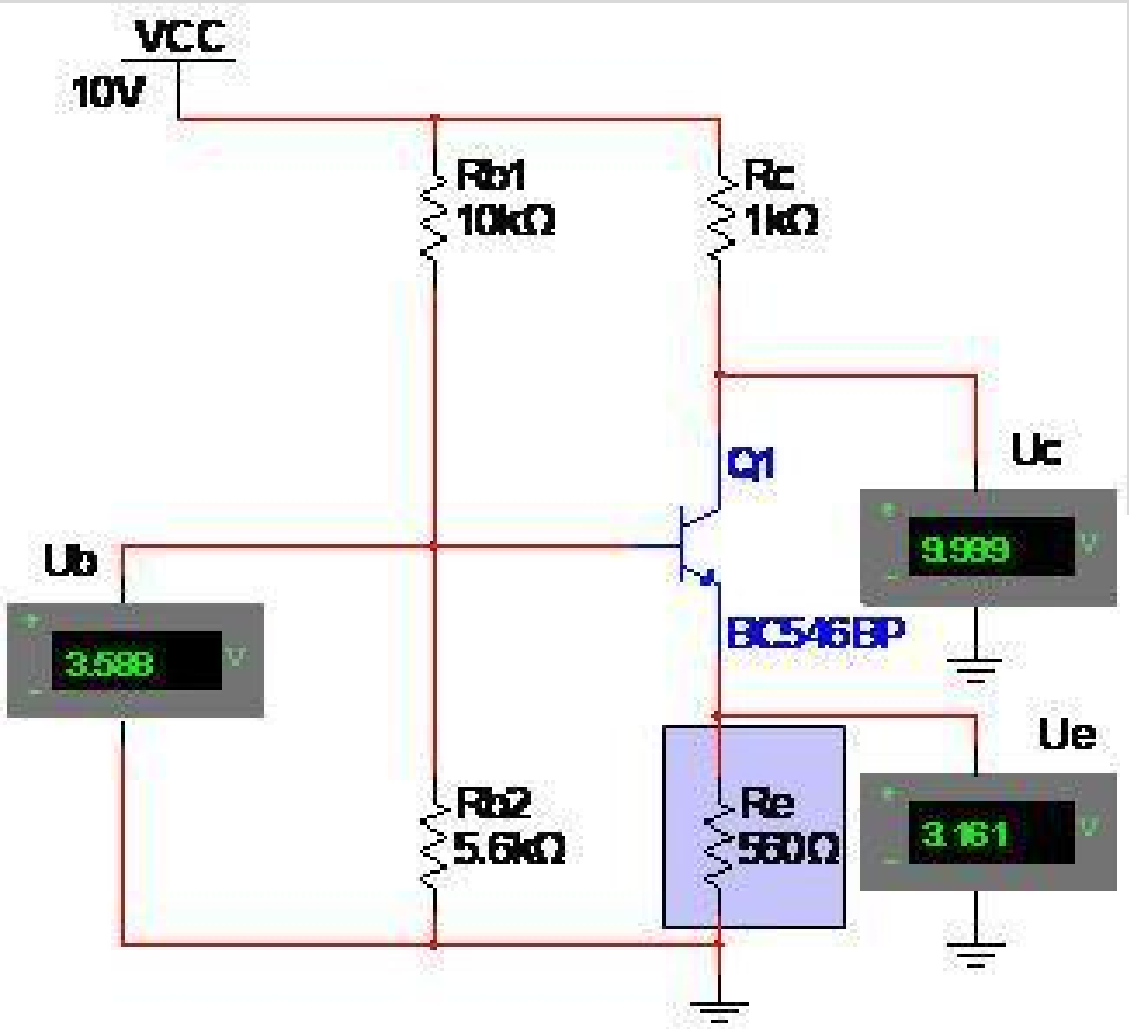
Acest defect duce la creşterea tensiunii şi curentului din bază, iar tranzistorul intră în **SATURAȚIE**

Tensiunea în bază U_B = **4,49 V**

Tensiunea în emitor U_E = **3,79 V**

Tensiunea în colector U_C = **3,78 V**

REZISTORUL Re ESTE ÎNTRERUPT



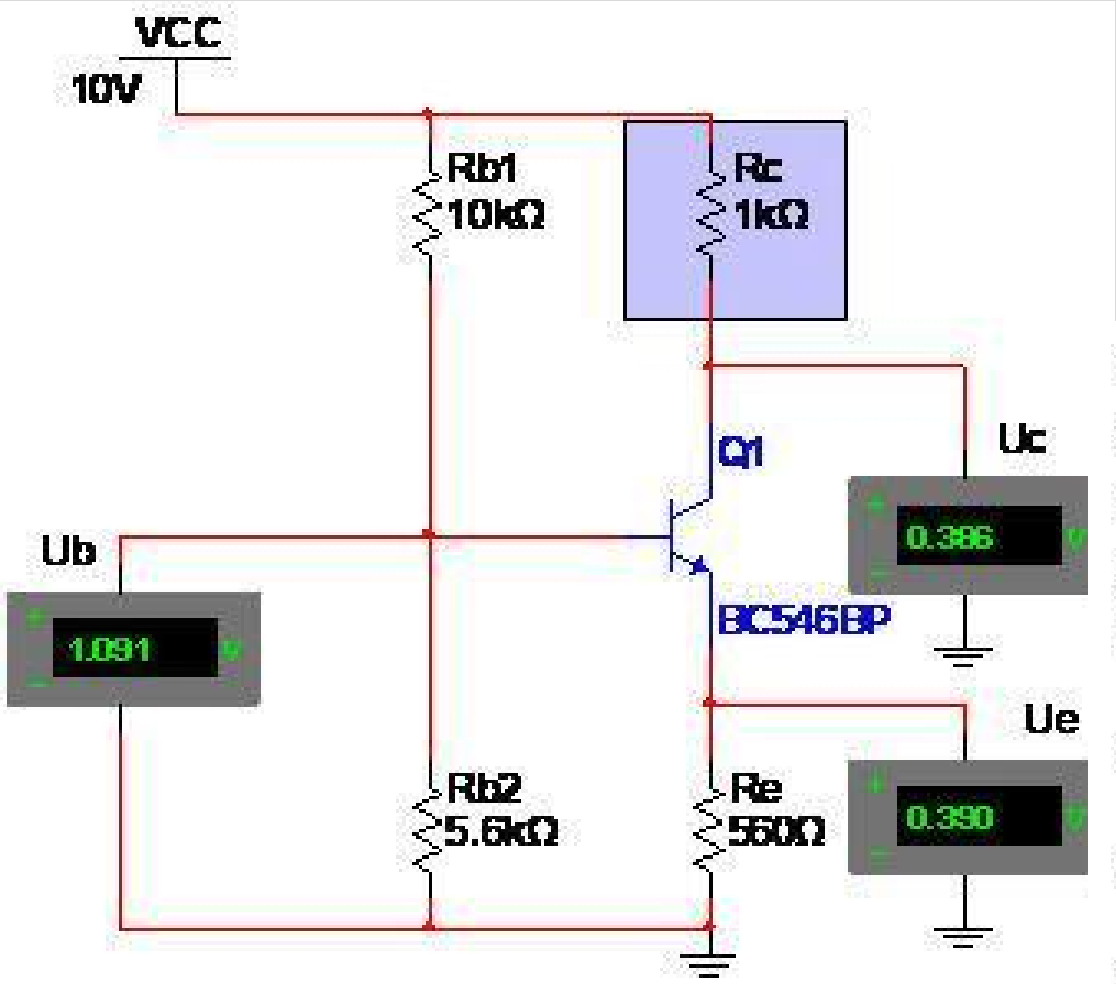
Acest defect duce la dispariția curenților prin tranzistor, iar tranzistorul se **BLOCHEAZĂ**

Tensiunea în bază U_B **= 3,58 V**

Tensiunea în emitor U_E **= 3,16 V**

Tensiunea în colector U_C **= 9,99 V**

REZISTORUL Rc ESTE ÎNTRERUPT



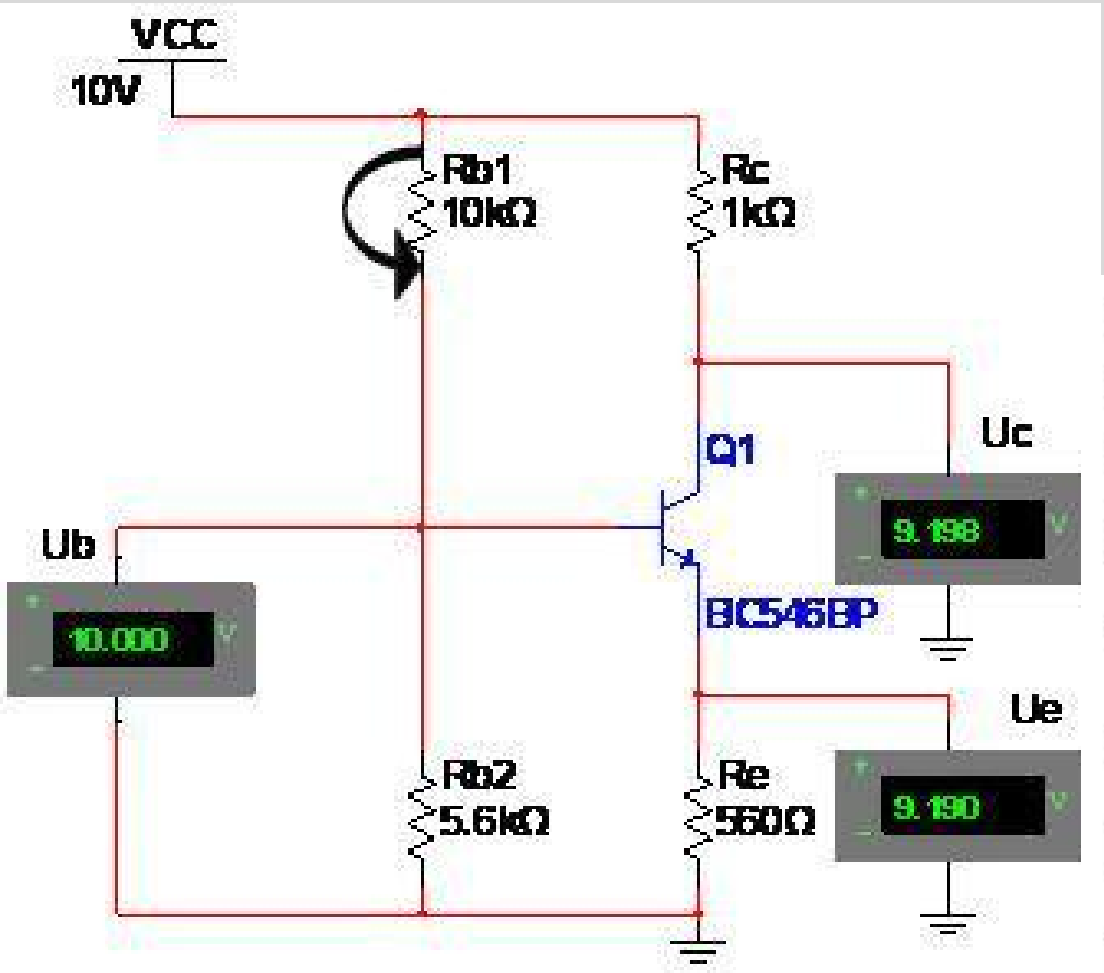
Acest defect duce la dispariția curentului prin colector. Valorile tensiunilor din colector şi emitor ne determină să presupunem că tranzistorul este saturat dar în realitate **tranzistorul nu conduce.**

Tensiunea în bază U_B **= 1,09 V**

Tensiunea în emitor U_E **= 390 mV**

Tensiunea în colector U_C **= 386 mV**

REZISTORUL Rb1 ESTE SCURTCIRCUITAT



Tensiunea bază-emitor este egală cu tensiunea de alimentare a tranzistorului fapt care determină deteriorarea acestei joncțiuni.

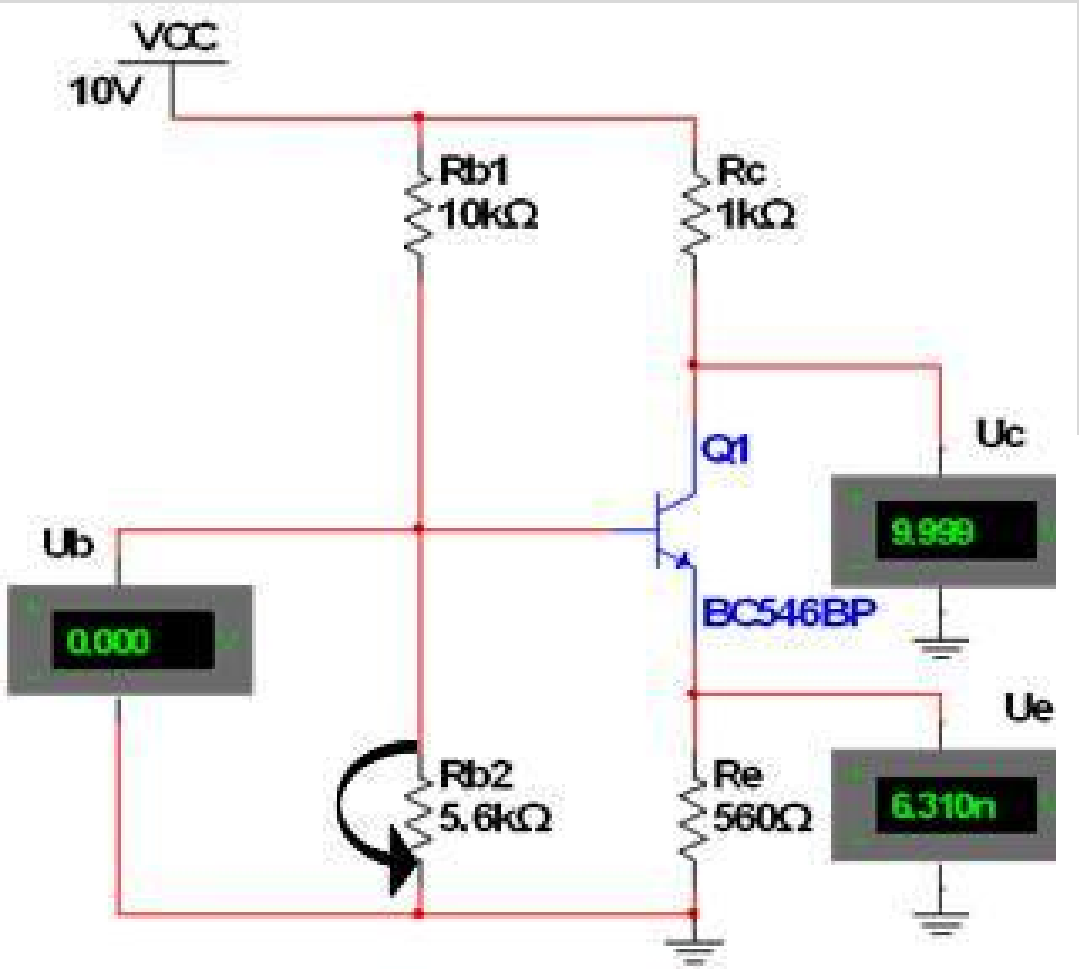
Tranzistorul se **BLOCHEAZĂ**.

Tensiunea în bază U_B **= 10 V**

Tensiunea în emitor U_E **= 9,1 V**

Tensiunea în colector U_C **= 9,1 V**

REZISTORUL Rb2 ESTE SCURTCIRCUITAT



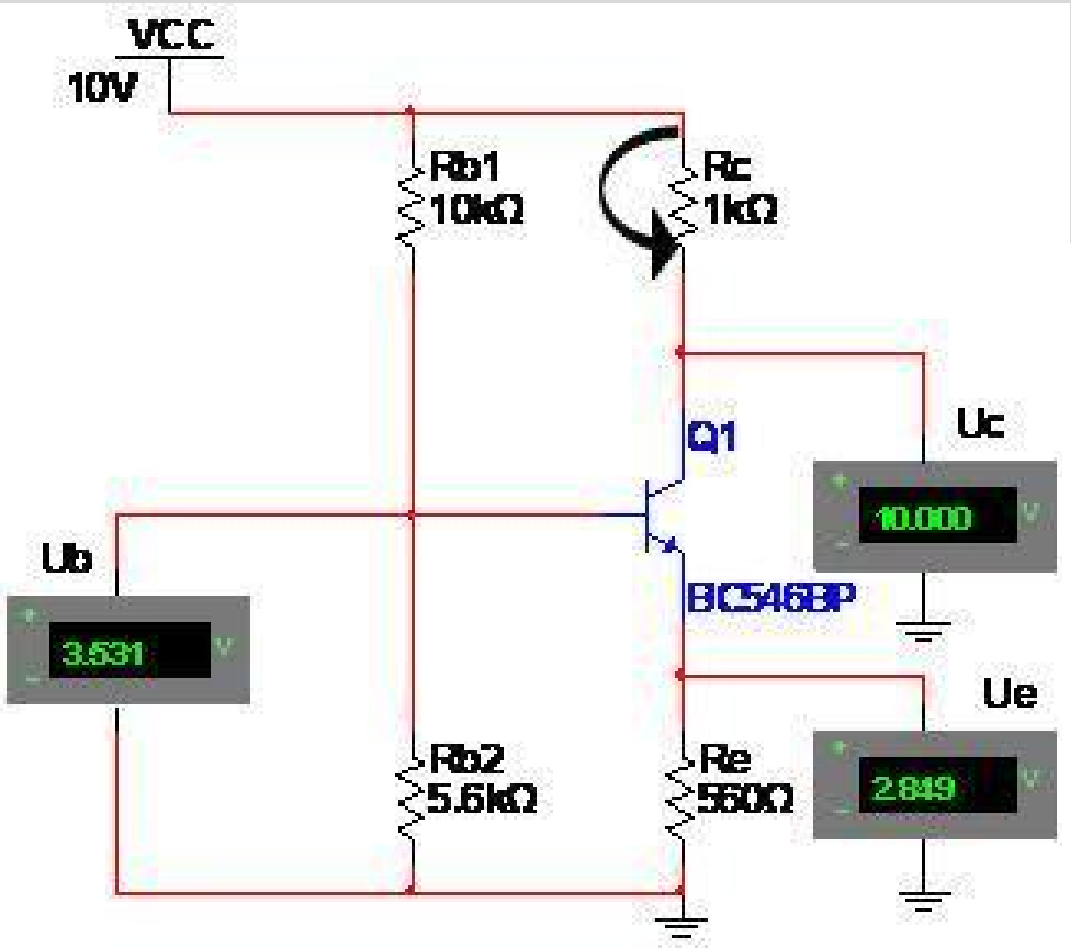
Acest defect duce la dispariția curentului și tensiunii în baza tranzistorului, iar tranzistorul se **BLOCHEAZĂ**

Tensiunea în bază U_B **= 0 V**

Tensiunea în emitor $U_E \cong$ **0 V**

Tensiunea în colector U_C **= 9,99 V**

REZISTORUL Rc ESTE SCURTCIRCUITAT



Acest defect duce la creşterea tensiunii pe joncțiunea colector-emitor a tranzistorului.

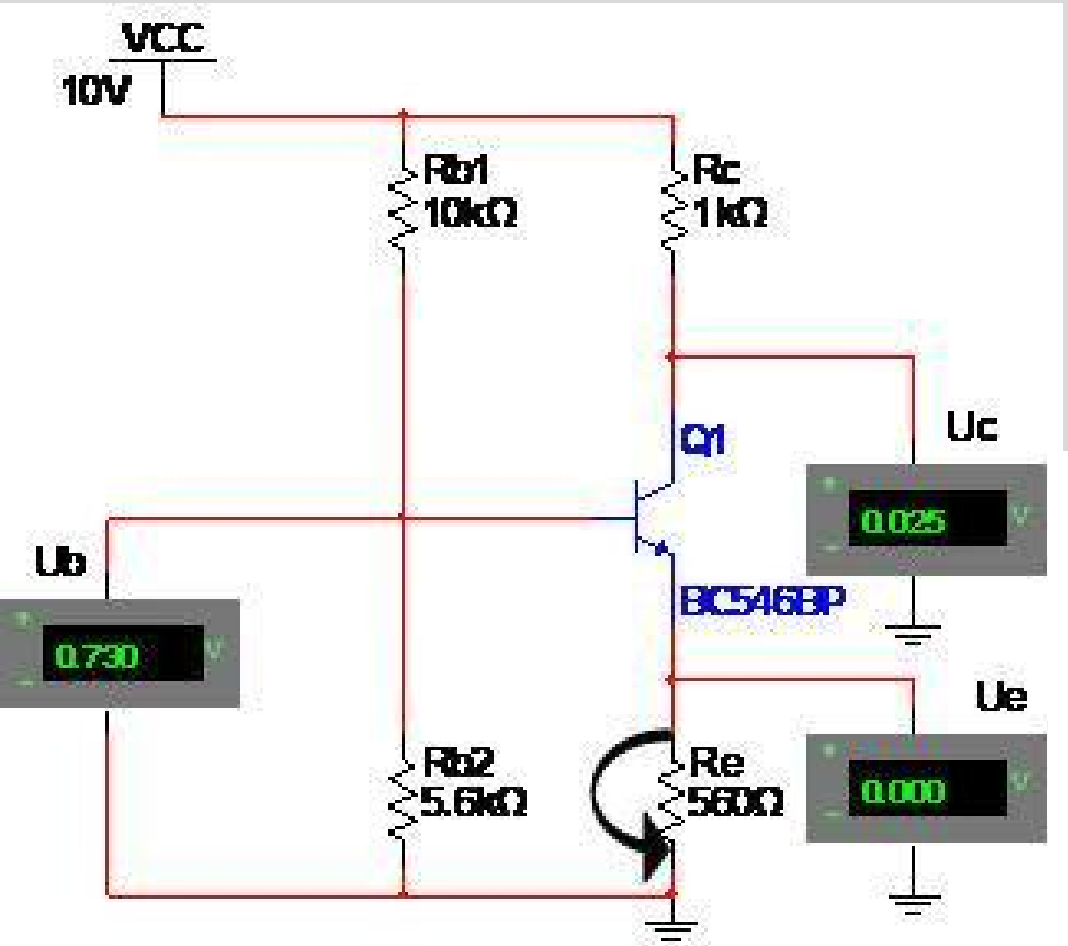
Funcționarea tranzistorului nu este stabilă (**PSF-ul se deplasează spre zona de blocare**)

Tensiunea în bază U_B **= 3,53 V**

Tensiunea în emitor U_E **= 2,84 V**

Tensiunea în colector U_C **= 10 V**

REZISTORUL Re ESTE SCURTCIRCUITAT



Acest defect duce la funcționarea tranzistorului în zona de **SATURAȚIE**.

Tensiunea în bază U_B **= 0,7 V**

Tensiunea în emitor U_E **= 0 V**

Tensiunea în colector U_C **= 25 mV**

Lecțiile de electronică se poate descărca de la adresa:

http://eprofu.ro/tehnic/lectii-discipline-tehnice/

Auxiliarele de electronică se pot descărca de la adresa:

http://eprofu.ro/electronica/

***Adresa e-mail profesor electronică analogică*:**

cornelbn@gmail.com