

### 5.3. POLARIZAREA TRANZISTOARELOR BIPOLARE

Prin polarizarea unui tranzistor se înțelege, modul de conectare a surselor de alimentare la bornele tranzistorului, astfel încât acesta să funcționeze ca amplificator. Prin polarizarea corectă a unui tranzistor se urmărește stabilirea și menținerea valorilor corecte pentru tensiunile și curenții din circuit și determinarea punctului static de funcționare.

#### 5.3.1 PUNCTUL STATIC DE FUNCȚIONARE (PSF)

În **figura 5.25** se observă că punctul static de funcționare se află pe dreapta de sarcină, la intersecția acesteia cu caracteristica statică de ieșire a tranzistorului.

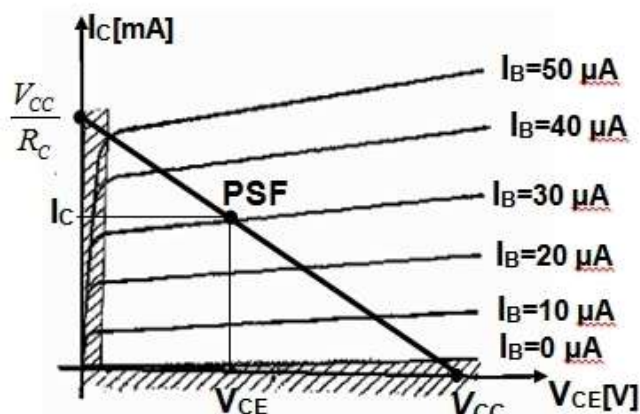
Pentru funcționarea cât mai corectă a unui amplificator (semnalul de intrare să fie amplificat și reprodus fidel la ieșire), punctul static de funcționare trebuie să fie situat cam la jumătatea dreptei de sarcină.

Odată cu deplasarea PSF în regiunea de saturație sau în regiunea de blocare, semnalul de ieșire este distorsionat.

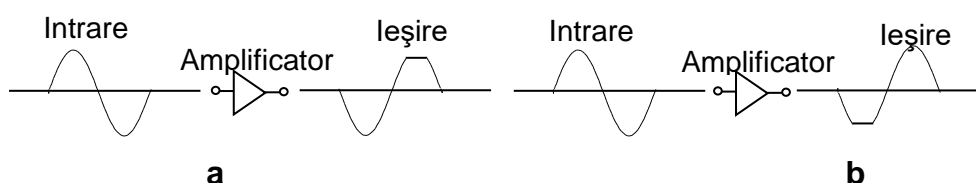
Dacă PSF este situat în regiunea de saturație sunt distorsionate semialternanțele pozitive ale semnalului alternativ sinusoidal de intrare (**figura 5.26 a**).

Dacă PSF este situat în regiunea de blocare sunt distorsionate semialternanțele negative ale semnalului alternativ sinusoidal de intrare (**figura 5.26 b**).

Coordonatele punctului static de funcționare ( $I_C$ ,  $V_{CE}$ ) sunt impuse de valorile tensiunilor surselor de polarizare și de valorile rezistențelor din circuitele de polarizare.



**Figura 5.25** Caracteristica pentru determinarea PSF

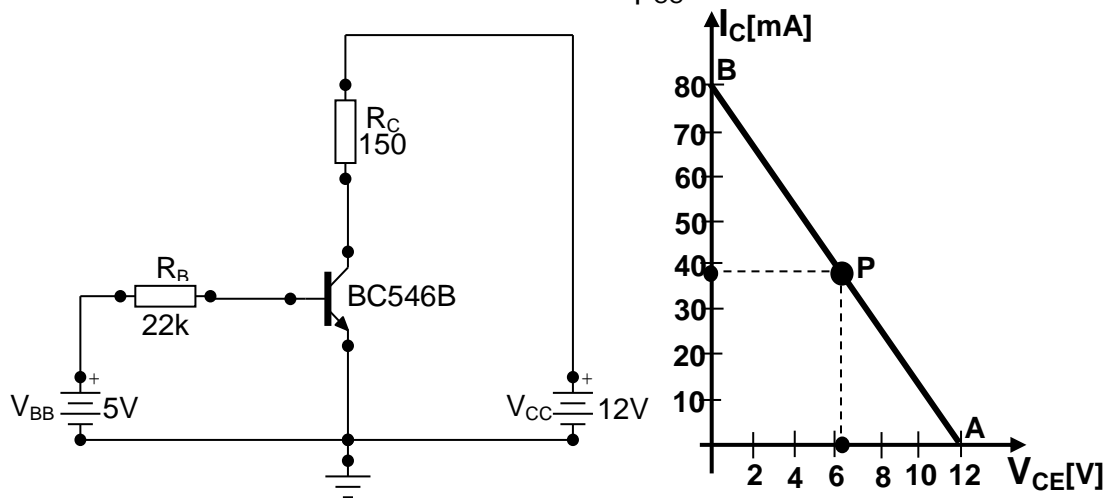


**Figura 5.26** Distorsionarea semnalului de ieșire la un amplificator cu TB

### Determinarea PSF pentru conexiunea EC.

Se va determina PSF al circuitului din **figura 5.27**.

Pentru tranzistorul BC 546BP se consideră  $\beta_{CC} = 200$ .



**Figura 5.27** Circuit pentru determinarea PSF la un TB în conexiunea EC

Se determină coordonatele dreptei de sarcină, apoi se trasează dreapta

$$(1) \quad V_{CC} = R_C \cdot I_C + V_{CE}$$

Pentru  $I_C = 0 \Rightarrow V_{CE} = V_{CC} = 12 \text{ V} \Rightarrow A(12, 0)$

Pentru  $V_{CE} = 0 \Rightarrow V_{CC} = R_C \cdot I_C \Rightarrow I_C = \frac{V_{CC}}{R_C} \Rightarrow I_C = \frac{12\text{V}}{150\Omega} = 80\text{mA} \Rightarrow B(0, 80)$

Se determină coordonatele punctului static de funcționare  $P(I_S, V_{CE})$

$$(2) \quad I_B = \frac{V_{BB} - V_{BE}}{R_B} = \frac{5 - 0,7}{22\text{K}} \cong 195\mu\text{A}$$

$$(3) \quad I_C = I_B \cdot \beta_{CC} = 195\mu\text{A} \cdot 200 = 39\text{mA} \Rightarrow I_C = 39\text{mA}$$

$$(4) \quad V_{CE} = V_{CC} - I_C \cdot R_C = 12\text{V} - 39\text{mA} \cdot 150\Omega \cong 6,2\text{V} \Rightarrow V_{CE} = 6,2\text{V}$$

**Punctul static de funcționare are coordonatele  $P(6,2\text{V} ; 39\text{mA})$**

Se determină valoarea maximă a curentului de bază în funcționare liniară

$$(5) \quad I_{C(\text{vârf})} = I_{C(\text{sat})} - I_{C(\text{PSF})} = 80\text{mA} - 39\text{mA} = 41\text{mA}$$

$$(6) \quad I_{B(\text{vârf})} = \frac{I_{C(\text{vârf})}}{\beta_{CC}} = \frac{41\text{mA}}{200} = 205\mu\text{A}$$

### 5.3.2 POLARIZAREA BAZEI DE LA $V_{CC}$

Prin această metodă baza tranzistorului se polarizează prin intermediul unei rezistențe  $R_b$  de la sursa de alimentare  $V_{CC}$  (figura 5.28). Configurația este instabilă, nu funcționează liniar, de aceea nu se utilizează în practică. Poate fi utilizată la circuitele care lucrează în comutație.

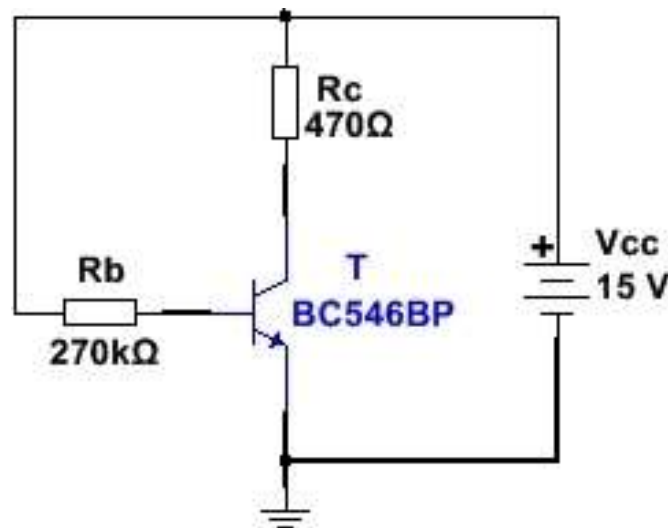


Figura 5.28 Polarizarea tranzistorului bipolar cu un rezistor în bază

Tranzistorul BC546BP are  $\beta_{CC} = 300$ .

Se aplică legea a II-a a lui Kirchhoff pe ochiul ce conține joncțiunea colector-emitor:

$$V_{CC} - V_{CE} - I_C \cdot R_C = 0 \quad (1)$$

$$\text{Din relația (1)} \Rightarrow V_{CE} = V_{CC} - I_C \cdot R_C \quad (2)$$

$$\text{Căderea de tensiune pe rezistorul } R_b \text{ este: } U_{Rb} = V_{CC} - V_{BE} \quad (3)$$

$$\text{Dar: } U_{Rb} = R_b \cdot I_B \quad (4)$$

$$\text{Înlocuind (4) în (3) se obține relația: } R_b \cdot I_B = V_{CC} - V_{BE} \quad (5)$$

$$\text{Din relația (5)} \Rightarrow I_B = \frac{V_{CC} - V_{BE}}{R_b} \quad (6)$$

$$\text{Știm că } I_C = \beta_{CC} \cdot I_B \quad (7)$$

$$\text{Înlocuind relația (6) în (7) se obține relația: } I_C = \beta_{CC} \cdot \left( \frac{V_{CC} - V_{BE}}{R_b} \right) \quad (8)$$

Din relația (8) se observă că  $I_C$  este dependent de  $\beta_{CC}$ .

Deoarece  $\beta_{CC}$  se modifică cu modificarea temperaturii și depinde de procesul tehnologic de realizare a tranzistorului, această configurație este instabilă și poate produce distorsiuni la ieșire.

Pentru montajul din figura 5.28 se determină PSF și se trasează dreapta de sarcină.

$$I_C = \beta_{CC} \cdot \left( \frac{V_{CC} - V_{BE}}{R_b} \right) = 300 \cdot \left( \frac{15V - 0,7V}{270K\Omega} \right) = 300 = 15,8 \text{ mA}$$

$$V_{CE} = V_{CC} - I_C \cdot R_C = 15V - 15,8 \text{ mA} \cdot 470\Omega = 7,57 \text{ V}$$

Prin calcule s-a obținut:  $I_C = 15,8 \text{ mA}$  și  $V_{CE} = 7,57 \text{ V}$

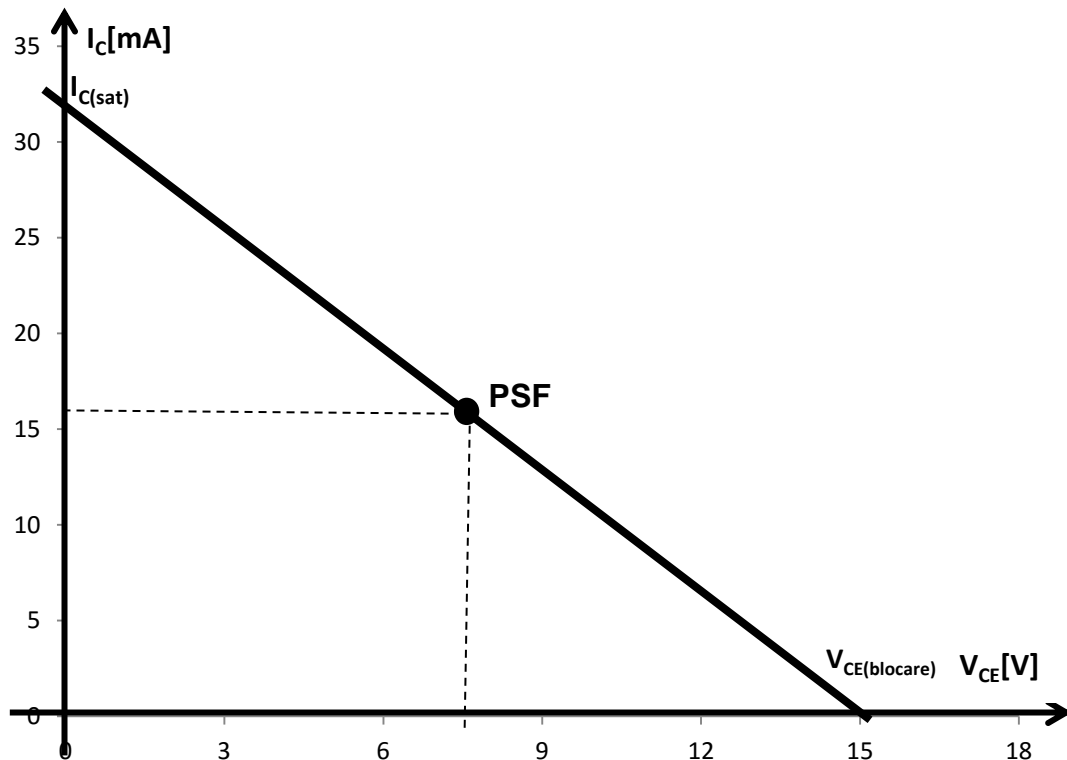
**Punctul static de funcționare are coordonatele P(7,5V ; 15,8mA).**

Pentru trasarea dreptei de sarcină se determină  $I_{C(sat)}$  și  $V_{CE(blocare)}$ .

$$I_{C(sat)} = \frac{V_{CC}}{R_C} \quad (9) \Rightarrow I_{C(sat)} = \frac{15V}{470\Omega} = 31,9 \text{ mA}$$

$$V_{CE(blocare)} = V_{CC} \quad (10) \Rightarrow V_{CE(blocare)} = 15 \text{ V}$$

În **fig. 5.29** este prezentată dreapta de sarcină și PSF-ul montajului din **fig. 5.28**



**Figura 5.29 Dreapta de sarcină a TB polarizat cu un rezistor în bază**

Dacă  $\beta_{CC}$  scade la 100 atunci PSF coboară până aproape de zona de blocare și are coordonatele (12,5V ; 5,2mA). În consecință acest mod de polarizare nu se utilizează unde este necesară o funcționare liniară.

### 5.3.3 POLARIZAREA CU DIVIZOR REZISTIV

Prin această metodă, tranzistorul se polarizează prin intermediul unui divizor de tensiune rezistiv, de la o singură sursă de alimentare. Rezistențele divizorului de tensiune înlocuiesc o a doua sursă de alimentare necesară polarizării celor două joncțiuni ale tranzistorului. Această metodă de polarizare se utilizează foarte des în practică deoarece asigură o stabilitate satisfăcătoare utilizând o singură sursă de tensiune.

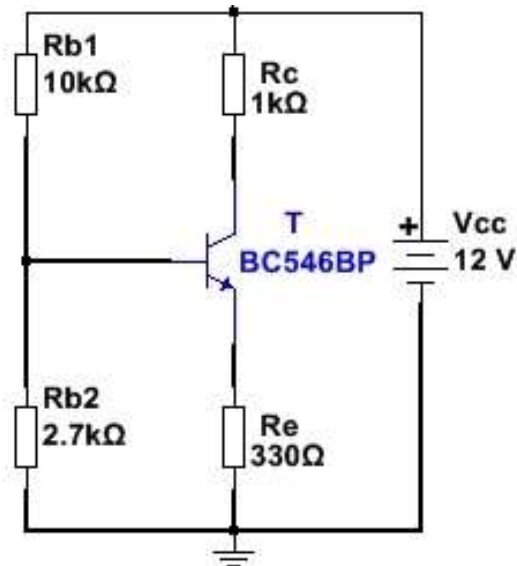


Figura 5.30 Polarizarea tranzistorului bipolar cu divizor rezistiv

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

Tensiunea din baza tranzistorului se calculează cu formula:

$$V_B = \left( \frac{Rb2}{Rb1 + Rb2} \right) \cdot V_{CC} \quad (1)$$

Pentru modificarea tensiunii în baza tranzistorului se modifică valorile rezistențelor divizorului astfel:

- **V<sub>B</sub> crește** dacă **Rb2 crește** sau **Rb1 scade**
- **V<sub>B</sub> scade** dacă **Rb2 scade** sau **Rb1 crește**

Un circuit de polarizare a tranzistorului trebuie să fie astfel conceput încât să asigure independența PSF-ului de parametrul  $\beta$  (factorul de amplificare în curent). Tranzistorul va funcționa în regiunea activă normală dacă sunt îndeplinite două condiții de bază:

- $0,5 < V_{CE} < (V_{CC} - 1)$  (2);
- **Rb2 să fie mai mică de cel puțin 10 ori decât  $\beta_{CC} \cdot R_E$ .**  
 $Rb2 \ll \beta_{CC} \cdot R_E$  (3).

Pentru verificarea primei condiții trebuie determinată valoarea tensiunii  $V_{CE}$  astfel:

- Se calculează  $I_C$

$$V_B = V_{BE} + V_{Re} = 0,7V + R_e \cdot I_E \quad (4)$$

$$I_E = \frac{V_B - 0,7}{R_e} \quad (5)$$

$$I_C \cong I_E = \frac{V_B - 0,7}{R_e} \quad (6)$$

- Se calculează  $V_{CE}$

$$V_{CC} = V_{Rc} + V_{CE} + V_{Re} = R_c \cdot I_C + V_{CE} + R_e \cdot I_C \quad (7)$$

$$V_{CE} = V_{CC} - I_C \cdot (R_c + R_e) \quad (8)$$

Pentru schema din **figura 5.30** se obțin următoarele valori:

$$V_B = \left( \frac{R_{b2}}{R_{b1} + R_{b2}} \right) \cdot V_{CC} = \left( \frac{2,7K\Omega}{10K\Omega + 2,7K\Omega} \right) \cdot 12V = 2,55V$$

$$I_C = \frac{V_B - 0,7}{R_e} = \frac{2,55 - 0,7}{330} = 0,0056A = 5,6mA$$

$$V_{CE} = V_{CC} - I_C \cdot (R_c + R_e) = 12 - 5,6mA(1K\Omega + 330\Omega) = 4,56V$$

$0,5\text{ V} < 4,56\text{ V} < (12\text{ V} - 1\text{ V}) \Rightarrow 0,5\text{ V} < 4,56\text{ V} < 11\text{ V} \Rightarrow$  prima condiție este îndeplinită.

Se verifică a doua condiție:

$$\beta_{CC} \cdot R_E = 300 \cdot 330\Omega = 99000\Omega = 99\text{ K}\Omega$$

$R_{b2} = 2,7\text{ K}\Omega \Rightarrow 2,7\text{ K}\Omega \ll 99\text{ K}\Omega \Rightarrow$  a doua condiție este îndeplinită.

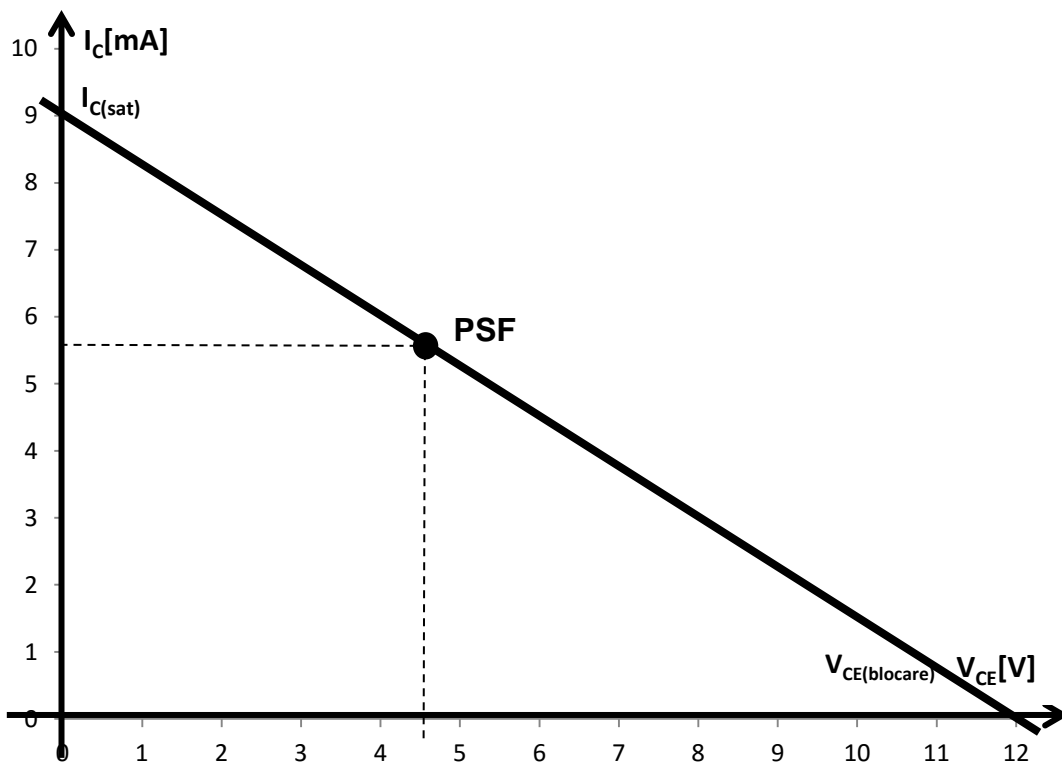
**Punctul static de funcționare are coordonatele P(4,56V ; 5,6mA)**

Pentru trasarea dreptei de sarcină se determină  $I_{C(sat)}$  și  $V_{CE(blocare)}$ .

$$I_{C(sat)} = \frac{V_{CC}}{R_C + R_E} \quad (9) \Rightarrow I_{C(sat)} = \frac{12\text{V}}{1,33\text{K}\Omega} = 9\text{ mA}$$

$$V_{CE(blocare)} = V_{CC} \quad (10) \Rightarrow V_{CE(blocare)} = 12\text{ V}$$

În **fig. 5.31** este prezentată dreapta de sarcină și PSF-ul montajului din **fig. 5.30**



**Figura 5.31 Dreapta de sarcină a TB polarizat cu divizor de tensiune**

Este cea mai utilizată metodă de polarizare a tranzistoarelor bipolare.

Asigură o stabilitate destul de bună deoarece  $I_C$  este independent de  $\beta_{CC}$ .

### 5.3.4 POLARIZAREA CU DOUĂ SURSE DE TENSIUNE

Prin această metodă tranzistorul se polarizează cu o sursă de tensiune diferențială,  $\pm V$ ,  $+V$  se aplică în colector și  $-V$  se aplică în emitor (figura 5.32).

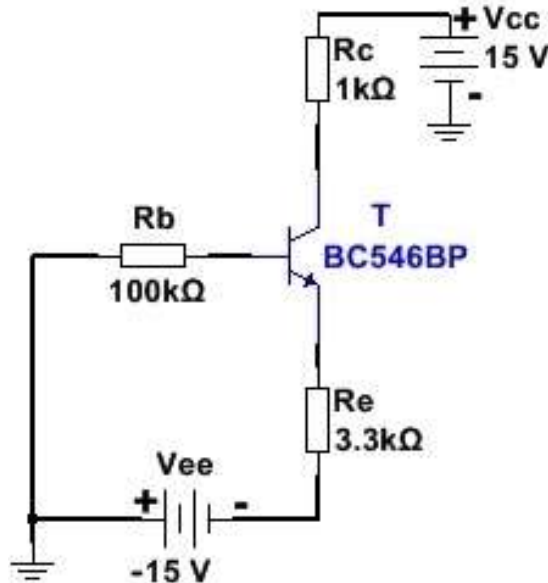


Figura 5.32 Polarizarea tranzistorului bipolar cu două surse de tensiune

Tranzistorul BC546BP are  $\beta_{CC} = 300$ .

Condiția  $R_b \ll \beta_{CC} \cdot R_E$  este îndeplinită deoarece  $100 \text{ K}\Omega \ll 990 \text{ K}\Omega$

Verificăm dacă este îndeplinită condiția a doua  $0,5 < V_{CE} < (2V_{CC} - 1)$ .

Se aplică legea a II-a a lui Kirchhoff pe ochiul ce conține joncțiune bază-emitor:

$$V_{BE} + I_E \cdot R_E + V_{EE} + I_B \cdot R_B = 0 \quad (1)$$

$$\text{Deoarece } I_C \cong I_E \text{ și } I_C = \beta_{CC} \cdot I_B \Rightarrow I_B \cong \frac{I_E}{\beta_{CC}} \quad (2)$$

În ecuația (1) se înlocuiește  $I_B$  cu cel din relația (2) se trece  $V_{BE}$  și  $V_{EE}$  în dreapta:

$$I_E \cdot R_E + \frac{I_E \cdot R_B}{\beta_{CC}} = -V_{EE} - V_{BE} \quad (3)$$

$$\text{Din relația (3)} \Rightarrow I_E = \frac{-V_{EE} - V_{BE}}{R_E + \frac{R_B}{\beta_{CC}}} \quad (4) \Rightarrow I_C = \frac{-V_{EE} - V_{BE}}{R_E + \frac{R_B}{\beta_{CC}}} \quad (5)$$

Înlocuim în relația (5) valorile date  $\Rightarrow$

$$I_C = \frac{-(-15V) - 0,7V}{3,3K\Omega + \frac{100K\Omega}{300}} = \frac{14,3V}{3,63K\Omega} \cong 4mA$$



În **figura 5.32** se observă că tensiunea sursei care alimentează colectorul este egală cu suma tensiunilor care cad pe elementele dintre colector și masa montajului:

$$V_{CC} = I_C \cdot R_C + V_{CE} + I_C \cdot R_E + V_{EE} \quad (6) \Rightarrow$$

$$V_{CE} = V_{CC} - V_{EE} - I_C(R_C + R_E) \quad (7)$$

Înlocuind în relația (7) valorile date  $\Rightarrow V_{CE} = 15 - (-15) - 4mA \cdot 4,3k\Omega \cong 13V$

Condiția a doua este îndeplinită deoarece  $0,5 < 13 < (2 \cdot 15 - 1) \Rightarrow 0,5 < 13 < 29$

Prin calcule s-a obținut:  **$I_C = 4mA$**  și  **$V_{CE} = 13V$**

**Punctul static de funcționare are coordonatele P(13V ; 4mA).**

Pentru trasarea dreptei de sarcină se determină  **$I_{C(sat)}$**  și  **$V_{CE(blocare)}$** .

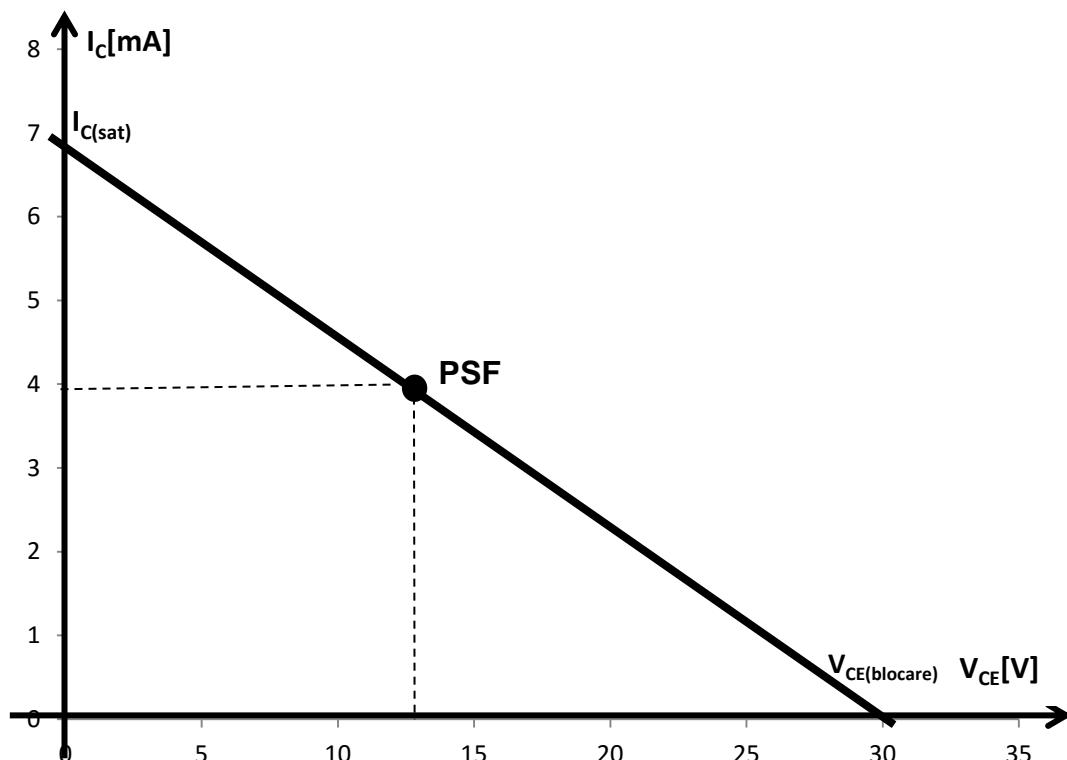
Pentru determinarea  **$I_{C(sat)}$**  în relația (7) se consideră  **$V_{CE} = 0$**

$$I_{C(sat)} = \frac{V_{CC} - V_{EE}}{R_C + R_E} \quad (8) \Rightarrow I_{C(sat)} = \frac{15V - (-15V)}{1k\Omega + 3,3k\Omega} = \frac{30V}{4,3k\Omega} = 6,97mA$$

Pentru determinarea  **$V_{CE(blocare)}$**  în relația (7) se consideră  **$I_C = 0$**

$$V_{CE(blocare)} = V_{CC} - V_{EE} \quad (9) \Rightarrow V_{CE(blocare)} = 15V - (-15V) = 30V$$

În **fig. 5.33** este prezentată dreapta de sarcină și PSF-ul montajului din **fig. 5.32**



**Figura 5.33 Dreapta de sarcină a TB polarizat cu două surse de tensiune**

Această modalitate de polarizare asigură un PSF stabil deoarece  $I_C$  este independent de  $V_{BE}$  și de  $\beta_{CC}$ .