

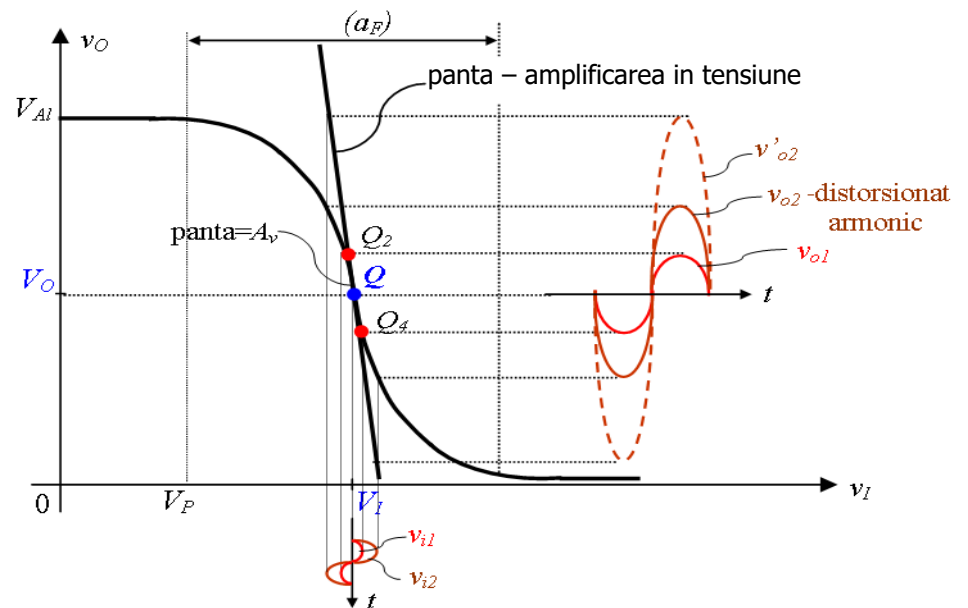


# Amplificatoare cu tranzistoare

## Polarizarea în c.c. – funcționarea în $a_F$

➤ TMOS

➤ TB





# Ce învățăm azi

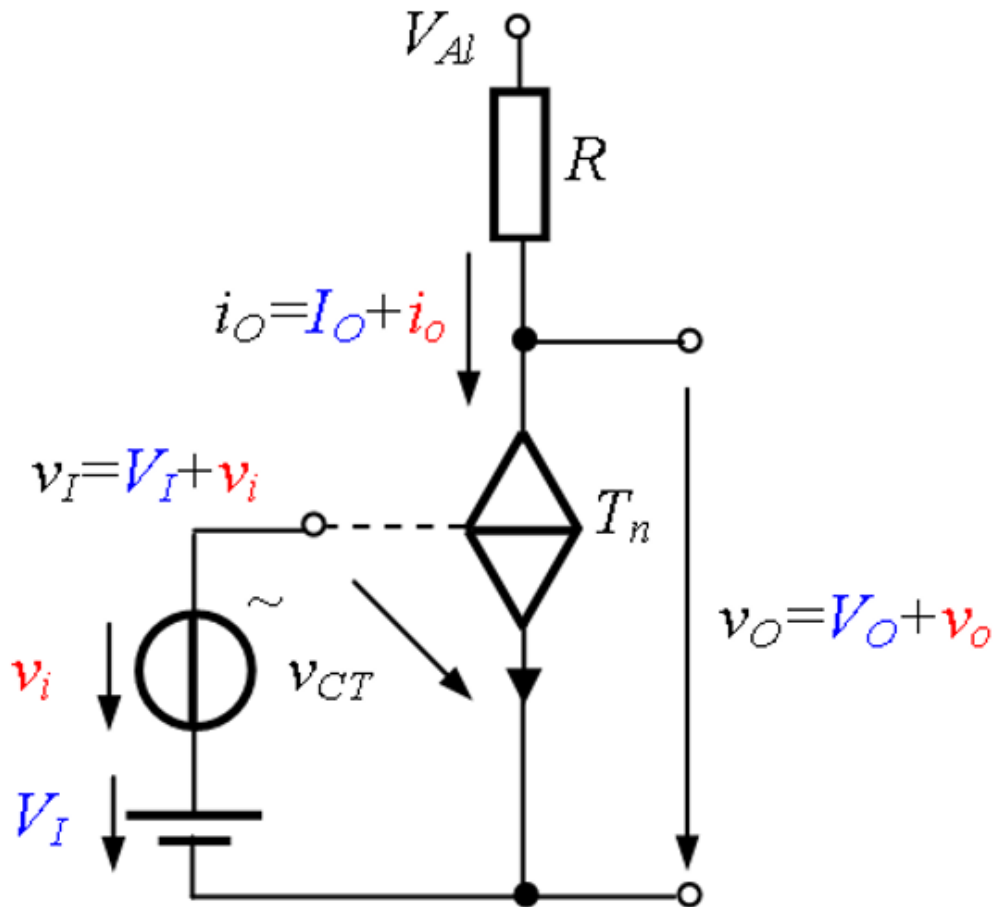
## Tranzistoare *MOS* și *Bipolare*

- Fixarea PSF
- Polarizarea în c.c.
- Semnal mic
- Scheme de polarizare pentru *TMOS*
  - cu rezistențe, sursă de curent
- Scheme de polarizare pentru *TB*
  - cu rezistențe, sursă de curent
- Exemplificări numerice



# Necesitatea polarizării tranzistorului în cc

- utilizarea tranzistorului ca amplificator (SC, EC)
- în regiunea activă ( $a_F$ ), tranzistorul lucrează **în jurul PSF**



$V_{A1}$  – alimentare în c.c.

$V_I$  – stabilirea PSF: ( $V_O, I_O$ )

$v_i$  – tensiune de amplificat  
(de intrare)

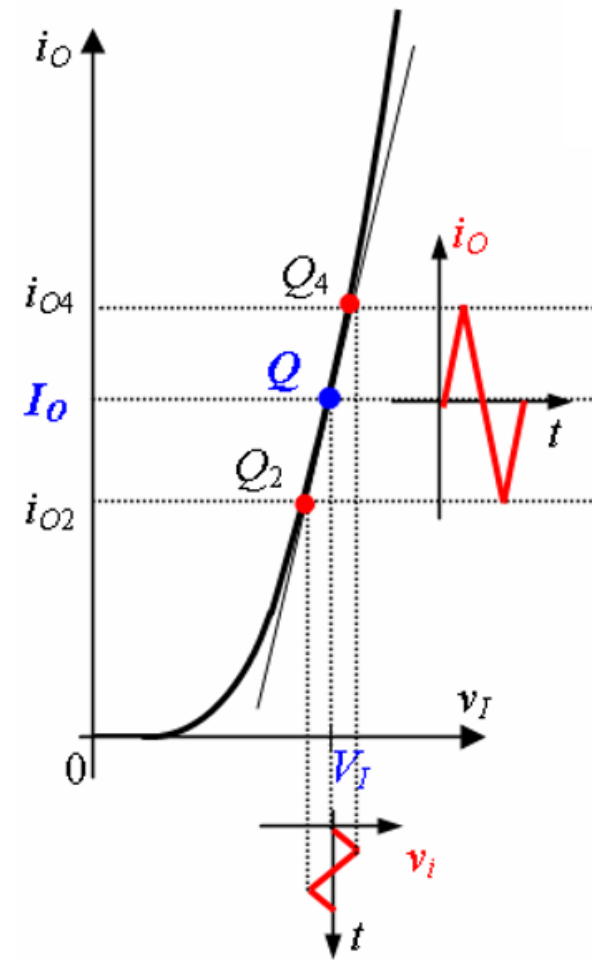
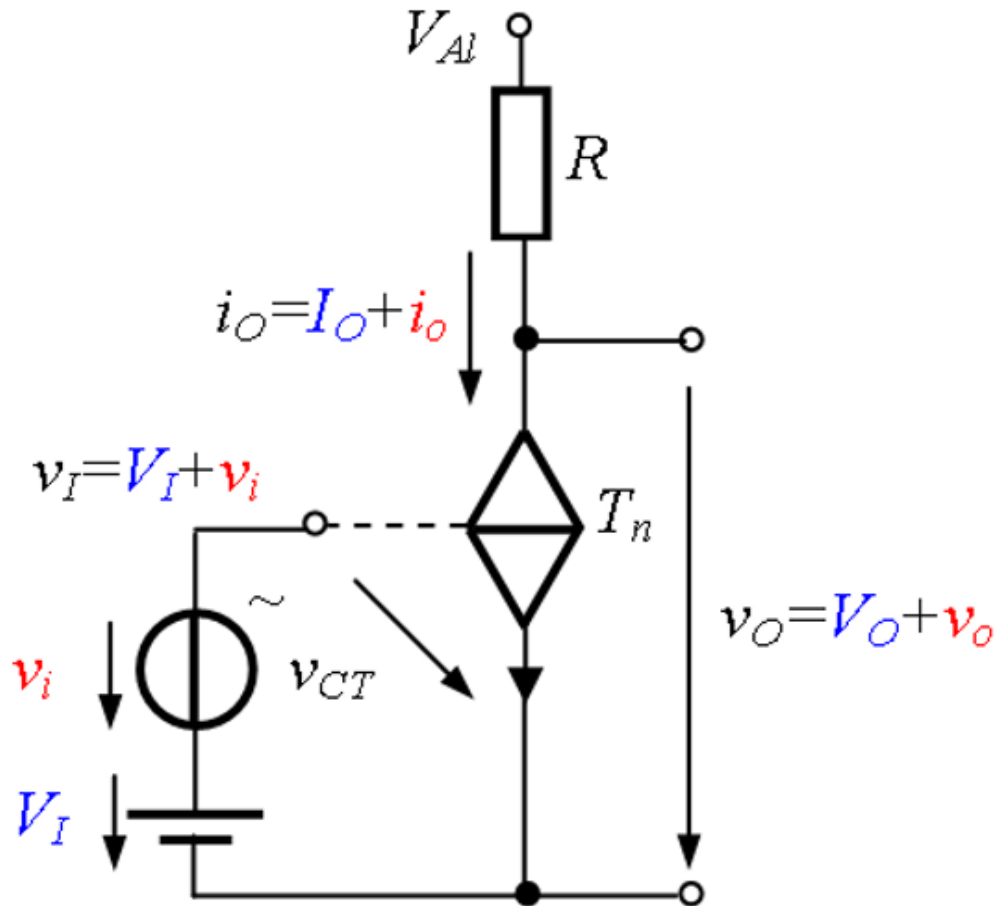
$v_o$  – tensiune amplificata  
(de ieșire)

Suprapunere semnal variabil (de amplitudine mică) peste semnal de curent continuu



# Necesitatea polarizării tranzistorului în cc

- Funcționarea amplificatorului cu T (SC, EC)
- Fixarea PSF în  $a_F$

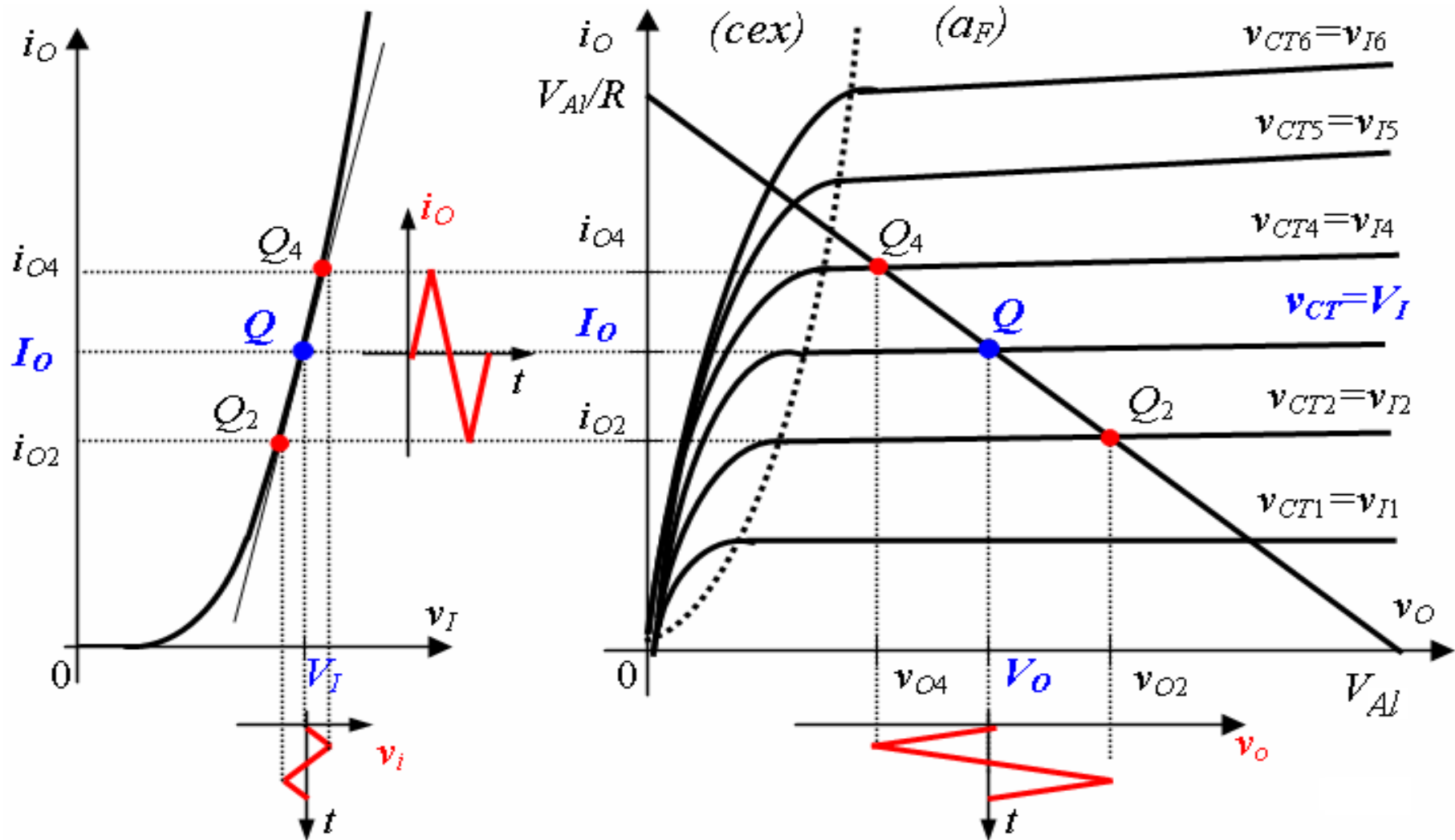


Caracteristica de transfer -  $i_o(v_I)$



# Necesitatea polarizării tranzistorului în cc

- Funcționarea amplificatorului cu T (SC, EC)
- Fixarea PSF în  $a_F$

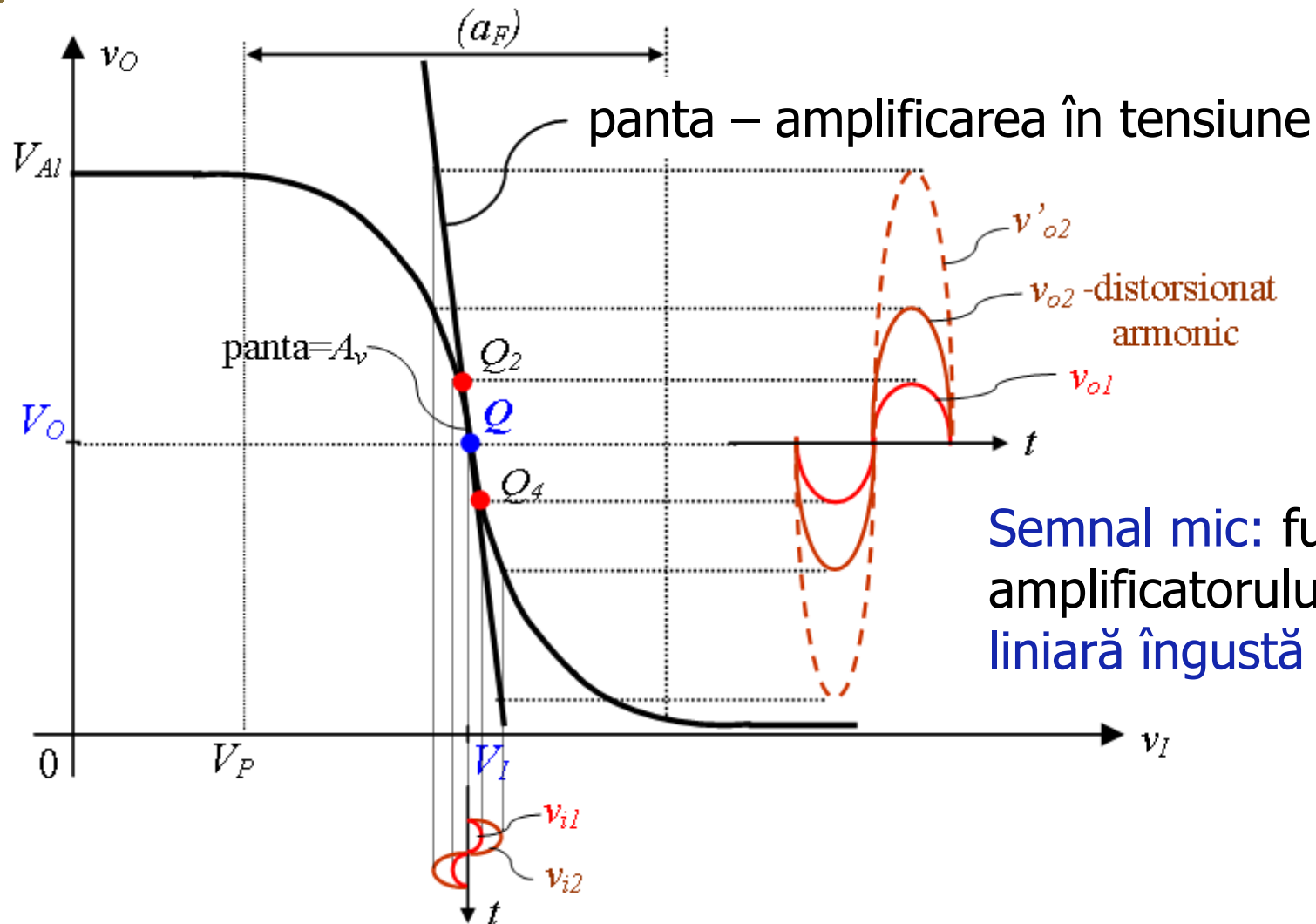


Caracteristica de transfer –  $i_O(v_I)$

Caracteristica de ieșire -  $i_O(v_O)$



# CSTV $v_O(v_I)$ - amplificator inversor (SC, EC)



Amplitudine maximă a semnalului de ieșire – PSF în mijlocul  $a_F$



# Polarizarea în curent continuu – fixarea PSF

## Funcționarea tranzistorului ca amplificator

- tranzistorul polarizat cât mai aproape de mijlocul regiunii active
- punctul instantaneu (mobil) de funcționare să fie ținut în regiunea activă (liniară în jurul PSF)
- semnalul de intrare să fie păstrat suficient de mic.

## **PSF:**

- stabil și predictibil
- independent de parametrii tranzistorului



# Polarizarea *TECMOS* în $a_F$

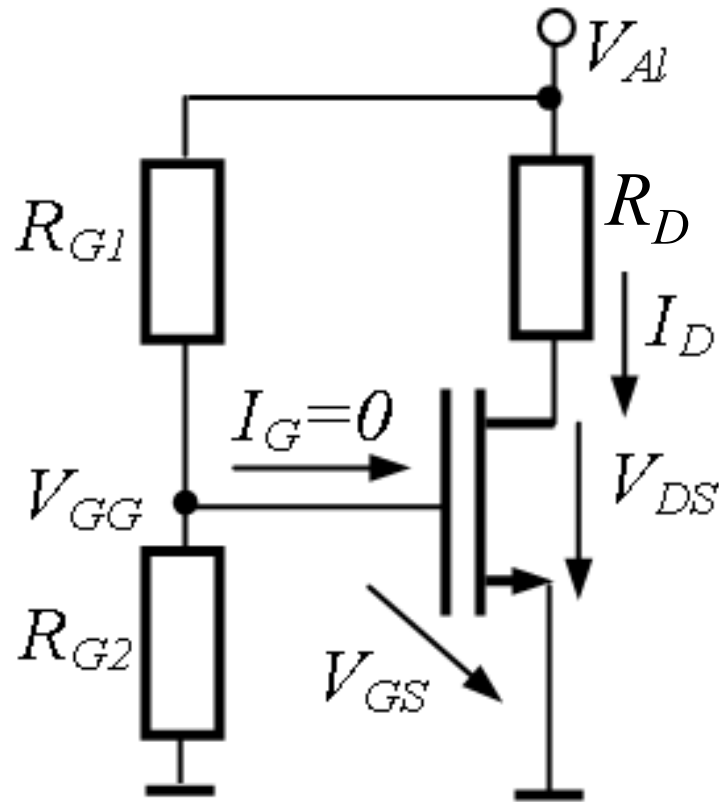
Circuite de polarizare posibile

- I) 3 rezistențe, alimentare unipolară
- II) 4 rezistențe, alimentare unipolară
- III) sursă de curent, alimentare unipolară/bipolară





# I. Circuit de polarizare cu 3 rezistențe, alimentare unipolară



$Q(V_{DS}, I_D) ?$

$$V_{GS} = \frac{R_{G2}}{R_{G1} + R_{G2}} V_{Al}$$

$$I_D = \beta (V_{GS} - V_P)^2$$

$$V_{DS} = V_{Al} - R_D I_D$$

- 😊 schemă electrică foarte simplă
- ☹️ curentul din *PSF*,  $I_D$  depinde puternic de parametrii tranzistorului,  $\beta$  și  $V_P$
- ☹️ nu asigură stabilitatea punctului static de funcționare



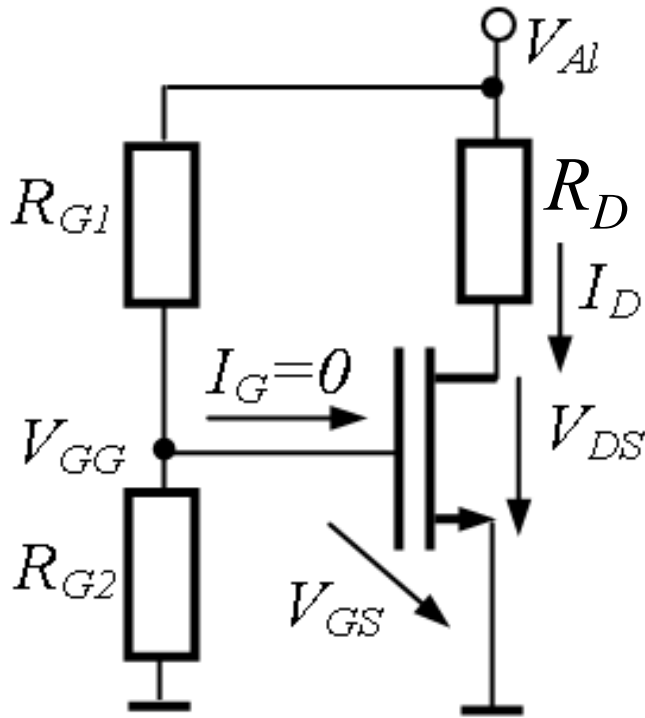
# I. Circuit de polarizare cu 3 rezistențe, alimentare unipolară

$$Q(V_{DS}, I_D) ?$$

## Problemă

$$R_{G1}=7,6 \text{ M}\Omega; R_{G2}=2,4 \text{ M}\Omega; R_D=29,1 \text{ K}\Omega;$$

$$V_{Al} = 5 \text{ V}; V_P=0,8 \text{ V}; \beta = 500 \mu\text{A}/\text{V}^2.$$



$$V_{GS} = \frac{R_{G2}}{R_{G1} + R_{G2}} V_{Al} = \frac{2,4}{7,6 + 2,4} \cdot 5 = 1,2 \text{ V}$$

$$I_D = \beta (V_{GS} - V_P)^2 = 500 \cdot (1,2 - 0,8)^2 = 80 \mu\text{A}$$

$$V_{DS} = V_{Al} - R_D I_D = 5 - 29,1 \cdot 0,08 = 2,67 \text{ V}$$

$$V_{DSsat} = V_{GS} - V_P = 1,2 - 0,8 = 0,4 \text{ V}$$

$V_{DS} > V_{DSsat}$  – tranzistorul este în  $a_F$

TMOS este polarizat în mijlocul  $a_F$

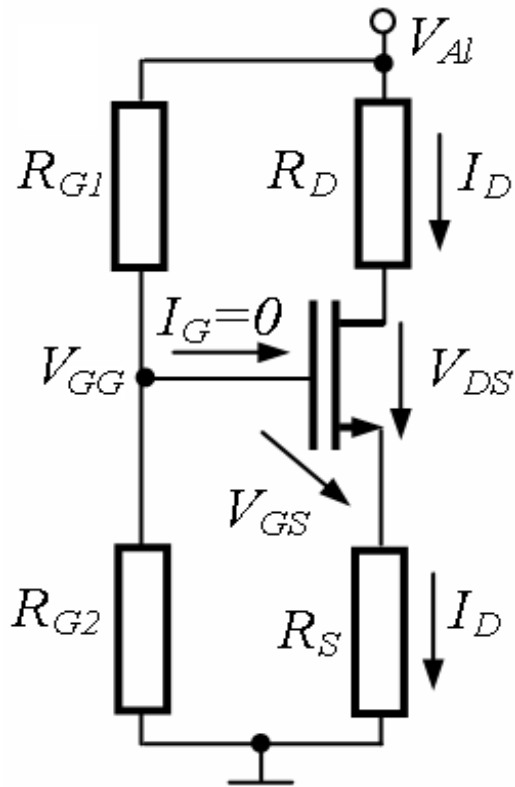
$$Q(2,67 \text{ V } 80 \mu\text{A})$$

$$(V_{Al} + V_{DSsat}) / 2 = (5 + 0,4) / 2 = 2,7 \text{ V} \approx V_{DS} = 2,67 \text{ V}$$

Intrebare: redimensionați circuitul a.î. T să rămână polarizat în mijlocul  $a_F$  la un curent  $I_D=120 \mu\text{A}$

## II. Circuit de polarizare cu 4 rezistențe, alimentare unipolară

$Q(V_{DS}, I_D)$  ?



😊 reacția negativă asigură stabilitatea PSF

☹️ crește complexitatea relațiilor de calcul

$$V_{GG} = \frac{R_{G2}}{R_{G1} + R_{G2}} V_{Al}$$

$$V_{GS} = V_{GG} - R_S I_D \quad I_D = \beta (V_{GS} - V_P)^2$$

- două valori necunoscute:  $V_{GS}$  și  $I_D$
- ec. de gr. 2, se alege valoarea convenabilă a  $I_D$  (În  $a_F$ )

$$V_{DS} = V_{Al} - (R_D + R_S) I_D$$

- $V_{GS}$  depinde de curentul de drenă  $I_D$
- $I_D \uparrow, R_S I_D \uparrow, V_{GS} \downarrow, I_D \downarrow$  circuitul se opune tendinței de modificare a  $I_D$
- reacție negativă datorită prezenței  $R_S$



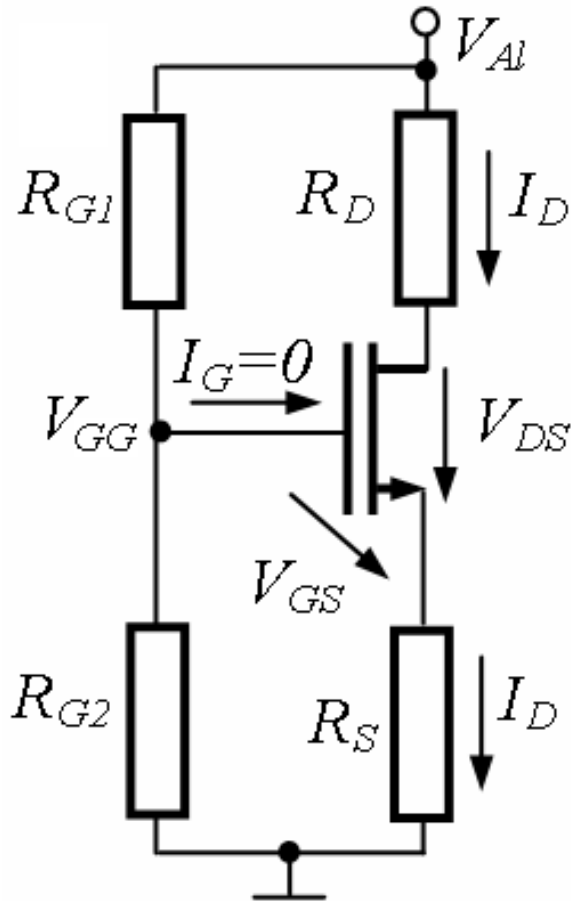
# II. Circuit de polarizare cu 4 rezistențe, alimentare unipolară

$$Q(V_{DS}, I_D) ?$$

## Problema 1

$$R_{G1} = 3 \text{ M}\Omega; R_{G2} = 1 \text{ M}\Omega; R_D = 3 \text{ k}\Omega; R_S = 1 \text{ k}\Omega;$$

$$V_{Al} = 20 \text{ V}; V_p = 2 \text{ V}; \beta = 0,5 \text{ mA/V}^2$$



$$V_{GG} = \frac{R_{G2}}{R_{G1} + R_{G2}} V_{Al} = 5 \text{ V}$$

$$I_D^2 - 8I_D + 9 = 0$$

$$I_{D1} = 6,65 \text{ mA} \text{ și}$$

$$I_{D2} = 1,35 \text{ mA}$$

Prin înlocuire, pentru  $I_{D1}$  se obține  $V_{GS} < 0$

$$I_D = I_{D2} = 1,35 \text{ mA}$$

$$V_{DS} = 20 - 1,35(3 + 1) = 14,6 \text{ V}$$

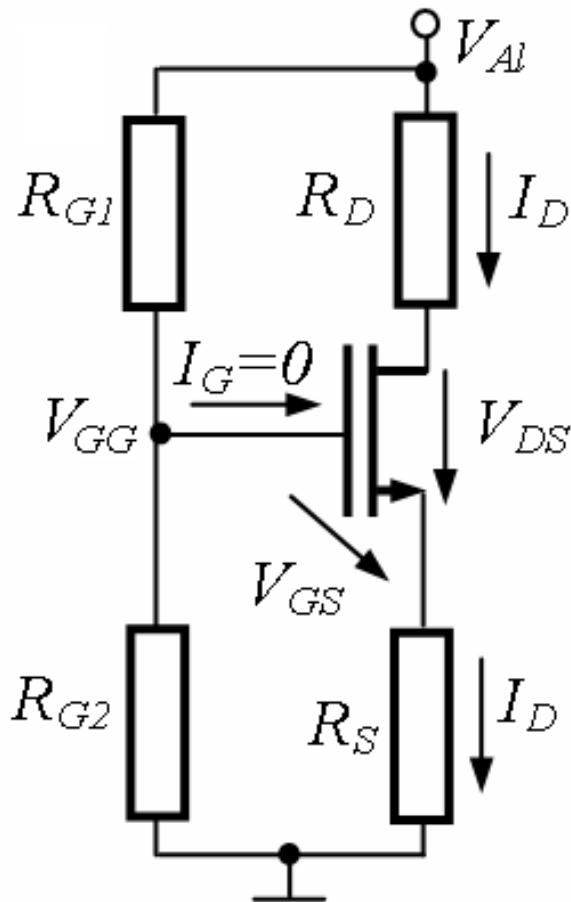
$$Q(14,6 \text{ V}; 1,35 \text{ mA})$$

$$V_D = ?$$

$$V_S = ?$$

## II. Circuit de polarizare cu 4 rezistențe, alimentare unipolară

### Problema 2



TMOS:  $V_p = 2 \text{ V}$ ;  $\beta = 0,25 \text{ mA/V}^2$ ,  $V_{Al} = 20 \text{ V}$

Să se dimensioneze circuitul pentru a obține *PSF* cu  $I_D = 1 \text{ mA}$ .

$$I_D = \beta (V_{GS} - V_p)^2$$

$$V_{GS} = V_p + \sqrt{\frac{I_D}{\beta}} = 2 + \sqrt{\frac{1}{0,25}} = 4 \text{ V}$$

$$V_{DSsat} = V_{GS} - V_p = 2 \text{ V}$$

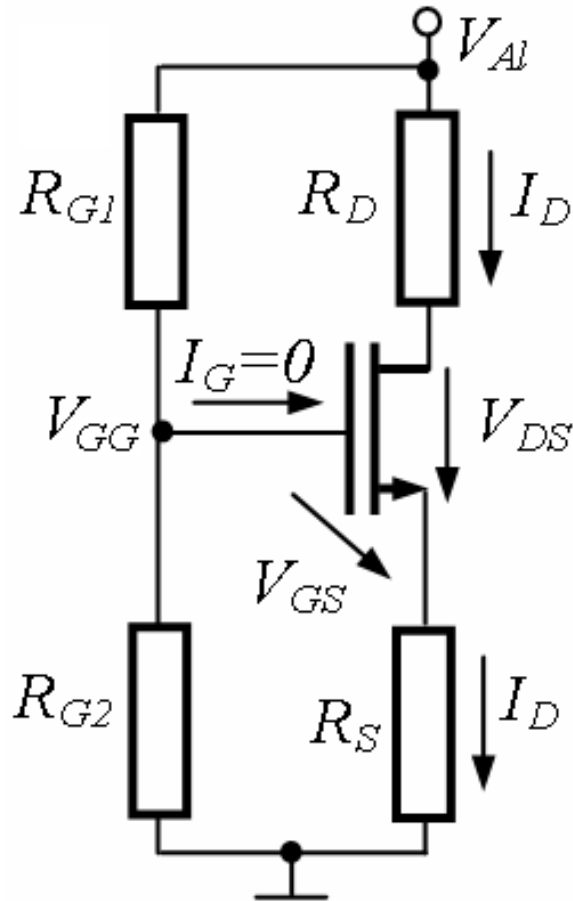
*T*- regiunea activă  $V_{DS} \in (2 \text{ V}; 20 \text{ V})$ .

*PSF*: Alegem  $V_{DS} = 7 \text{ V}$  orientativ  $\frac{1}{3} V_{Al}$



## II. Circuit de polarizare cu 4 rezistențe, alimentare unipolară

### Problema 2 - continuare



$$V_{DS} = V_{Al} - (R_D + R_S)I_D$$

$$R_D + R_S = \frac{V_{Al} - V_{DS}}{I_D} = \frac{20 - 7}{1} = 13 \text{ k}\Omega$$

$R_D$  depinde și de amplificarea dorită. Neavând valoarea amplificării, alegem, de exemplu,  $V_S = 7 \text{ V}$  (tensiunea pe  $R_S$ )

$$R_S = \frac{V_S}{I_D} = \frac{7}{1} = 7 \text{ k}\Omega \quad R_D = 13 - 7 = 6 \text{ k}\Omega$$

$$V_{GG} = V_{GS} + V_S = 4 + 7 = 11 \text{ V}$$

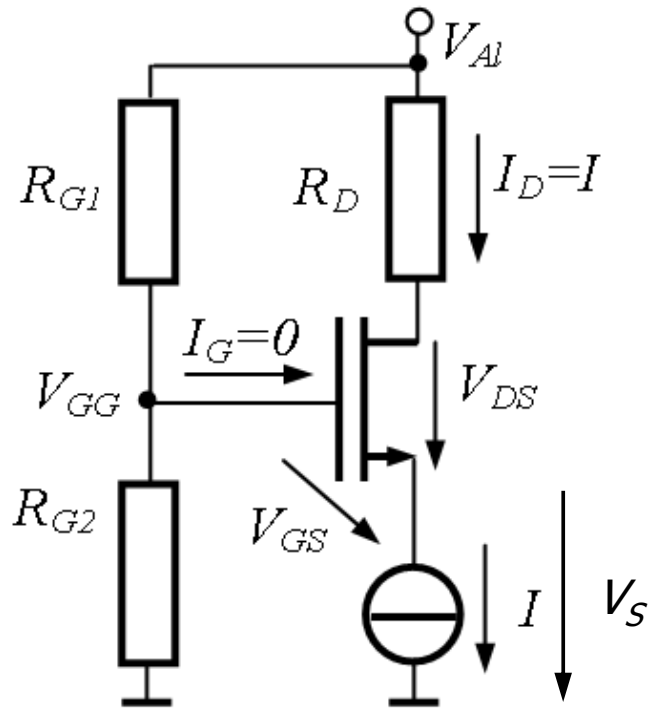
$$R_{G1} = 180 \text{ k}\Omega; \quad R_{G2} = 220 \text{ k}\Omega$$



# III. Circuit de polarizare cu sursă de curent, alimentare unipolară/bipolară

- Uzual in circuitele integrate: polarizare cu surse de curent
- $I_D$  independent de parametrii tranzistorului amplificator

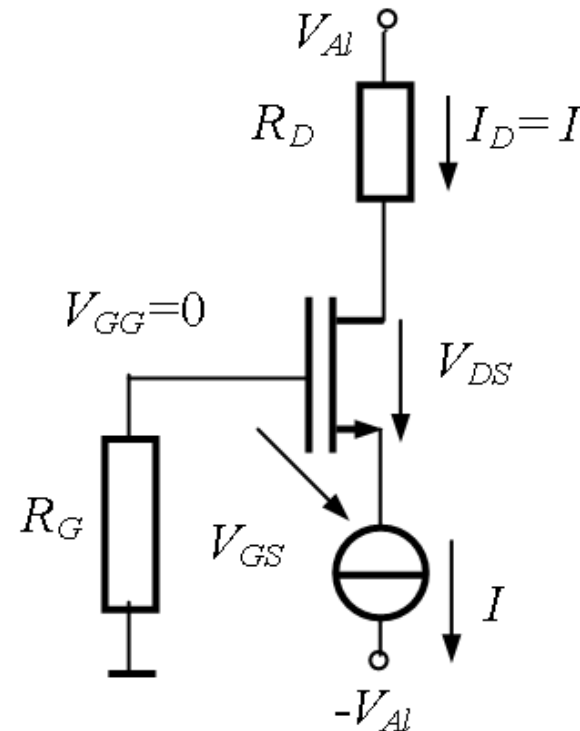
## alimentare unipolară



$$I_D = I \quad V_S = V_{GG} - V_{GS}$$

$$V_{DS} = V_{Al} - R_D I + V_{GS} - V_{GG}$$

## alimentare bipolară



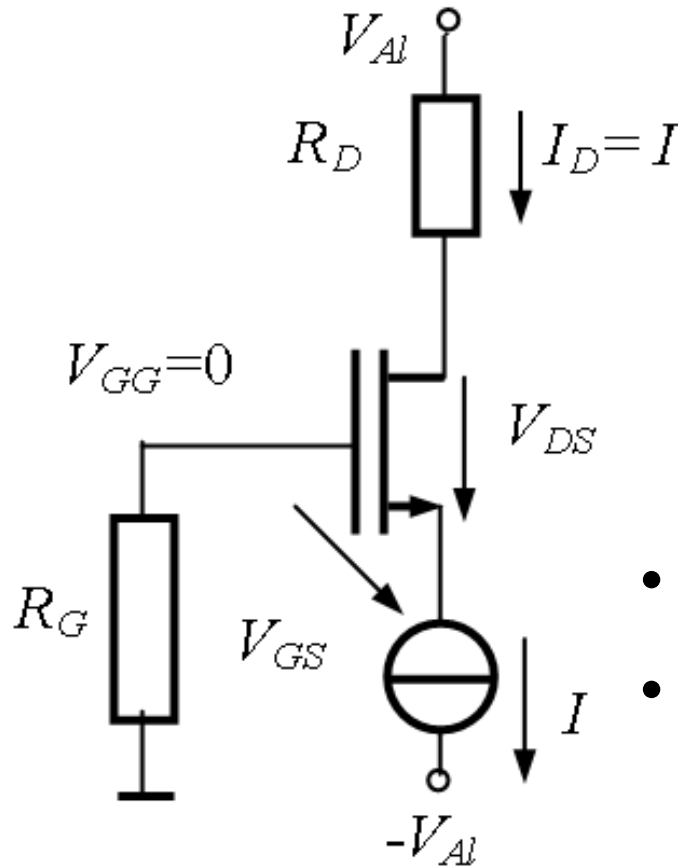
$$I_D = I \quad V_{GG} = 0$$

$$V_{DS} = V_{Al} - R_D I + V_{GS}$$



# III. Circuit de polarizare cu sursă de curent, alimentare unipolară/bipolară

## Problemă propusă



$$\pm V_{A/} = \pm 12V$$

$$R_G = 500k\Omega, R_D = 4,7k\Omega, I = 1,6mA$$

$$k = 0,1mA/V^2, W/L = 2, V_P = 0,5V$$

- Să se determine PSF.
- Să se determine potențialele de c.c. în cele trei terminale ale tranzistorului.
- Să se determine căderea de tensiune pe sursa de curent.





# Polarizarea $TB$ în $a_F$

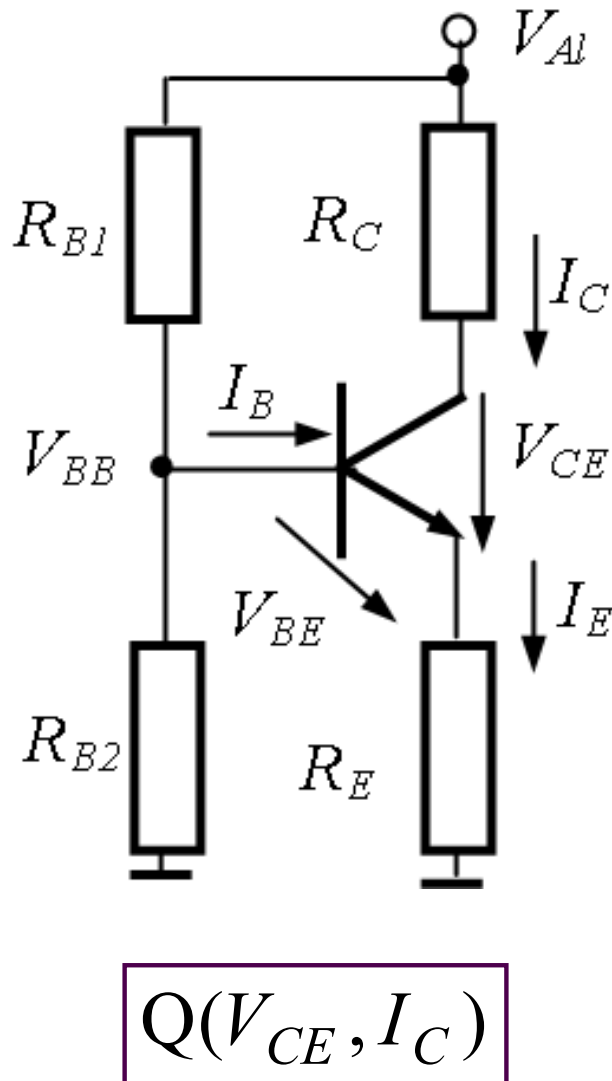
Circuite de polarizare posibile

- I) 4 rezistențe, alimentare unipolară
- II) alimentare bipolară (diferențială)



# I. Circuit de polarizare cu 4 rezistențe, alimentare unipolară

Varianta uzuală din circuitele discrete



➤ Diferențe față de *TECMOS*

- curentul de bază  $I_B$  diferit de zero
- prin colector și emitor nu trece exact același curent

$$I_C = \beta I_B$$

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

- **Calcul aproximat** - se negligează  $I_B$  față de curentul prin divizorul din bază (dar  $I_B \neq 0$ )

Se aproximează

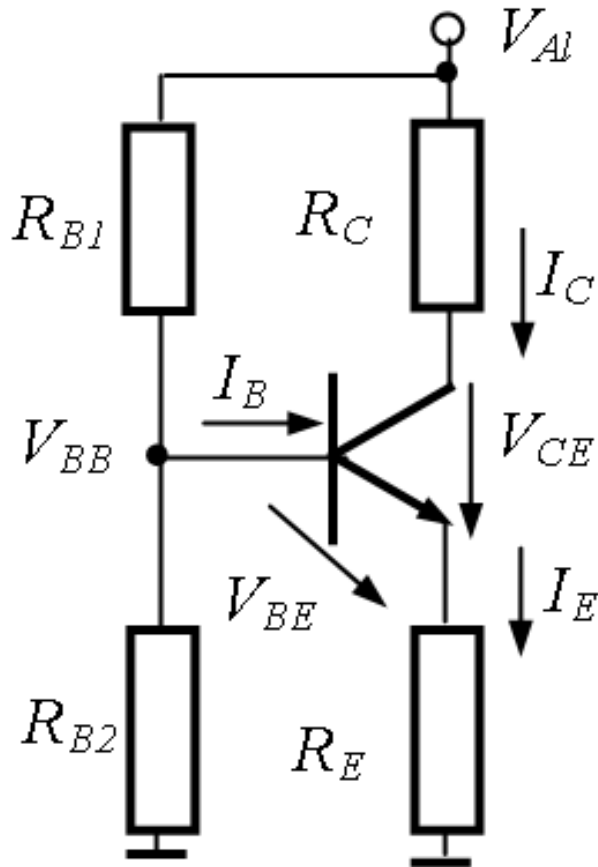
$$I_C \approx I_E$$

- **Calcul exact** - se utilizează  $I_B$



# I. Circuit de polarizare cu 4 rezistențe, alimentare unipolară

## Calcul aproximativ



$$Q(V_{CE}, I_C)$$

$I_B$  mult mai mic decât curentul prin divizorul rezistiv din baza  $TB$

$$V_{BB} = \frac{R_{B2}}{R_{B1} + R_{B2}} V_{Al}$$

$$I_C \approx I_E = \frac{V_{BB} - V_{BE}}{R_E}$$

$$V_{CE} = V_{Al} - I_C R_C - I_E R_E$$

$$V_{CE} \approx V_{Al} - I_C (R_C + R_E)$$

$R_E$  - importantă în stabilirea și stabilizarea PSF, prin mecanismul de  $RN$  introdus

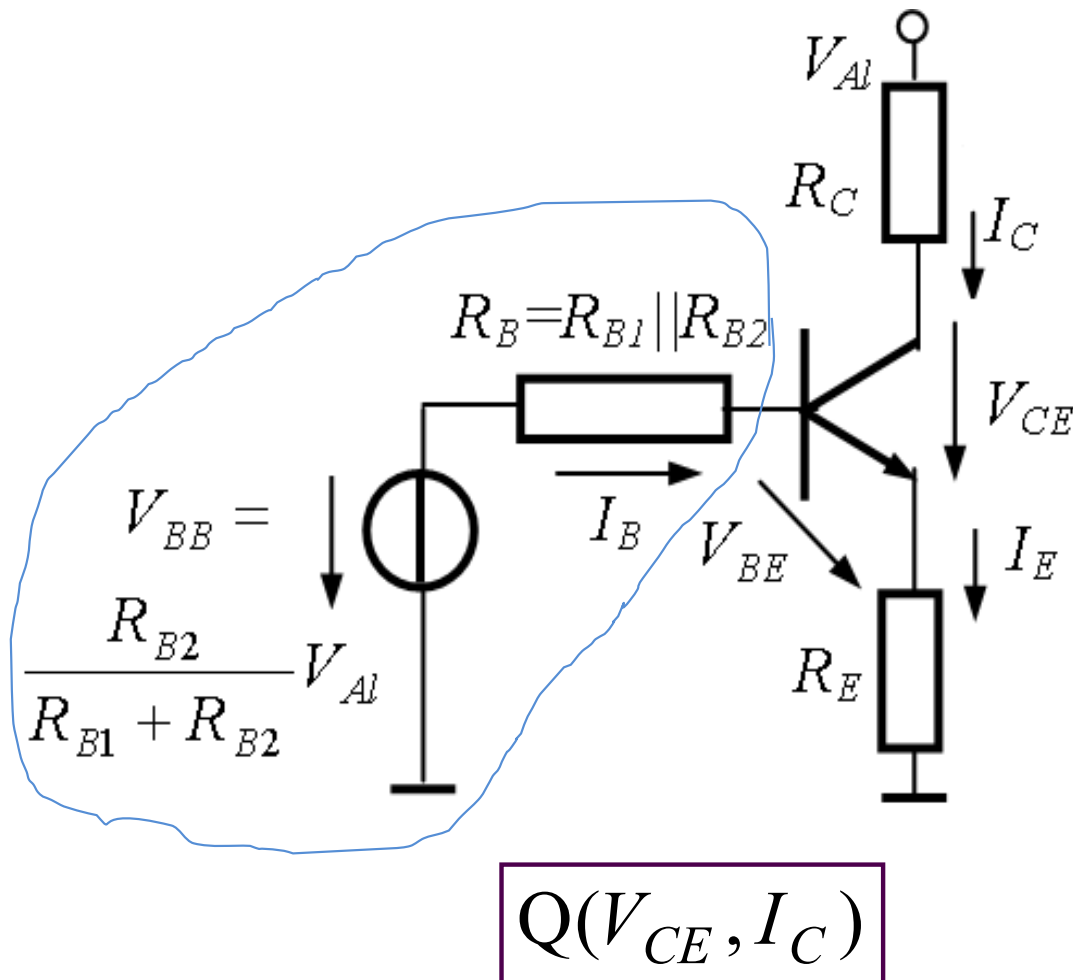
$$I_C \uparrow; I_E \uparrow; V_{RE} \uparrow; V_{BE} \downarrow; I_C \downarrow$$



# I. Circuit de polarizare cu 4 rezistențe, alimentare unipolară

## Calcul exact

Se utilizează teorema lui Thevenin pe circuitul inițial între baza  $TB$  și masă, pentru a determina  $V_{BB}$ ,  $R_B$



$$V_{BB} = R_B I_B + V_{BE} + R_E I_E$$

$$I_E = (\beta + 1) I_B$$

$$I_E = \frac{V_{BB} - V_{BE}}{R_E + R_B / (\beta + 1)}$$

$$I_C = I_E + I_B \approx I_E$$

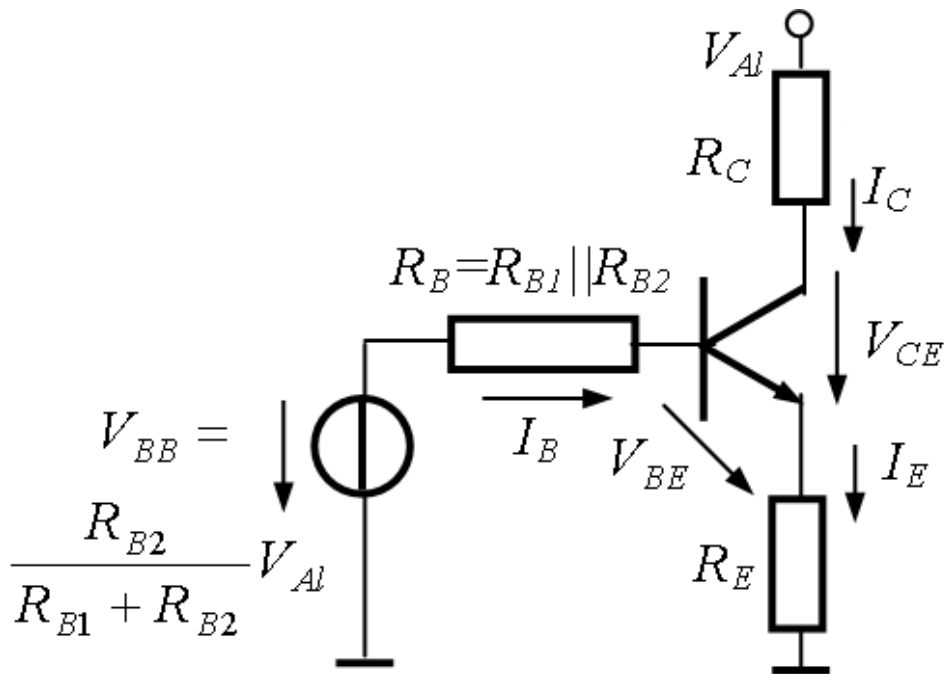
$$V_{CE} = V_{Al} - I_C R_C - I_E R_E$$

$$V_{CE} \approx V_{Al} - I_C (R_C + R_E)$$



# I. Circuit de polarizare cu 4 rezistențe, alimentare unipolară

## Calcul exact – analiza stabilității PSF



- $I_E$  insensibil la variațiile  $\beta$ :

$$R_E \gg \frac{R_B}{(\beta + 1)} \quad R_E > 10 \frac{R_B}{\beta}$$

$R_{B1}$ ,  $R_{B2}$  - valori mici cerute de independența PSF de  $\beta$

$R_{B1}$  și  $R_{B2}$  valori mari cerute de rezistența de intrare a viitorului amplificator

$$I_E = \frac{V_{BB} - V_{BE}}{R_E + R_B / (\beta + 1)}$$

- $I_E$  insensibil la variațiile temperaturii ( $V_{BE}$ )

$$V_{BB} \gg 0,1V$$

o variație  $\Delta V_{BE}$  de 0,1V poate fi neglijată față de  $V_{BB} = 3...5V$



# I. Circuit de polarizare cu 4 rezistențe, alimentare unipolară

## Problema 1

$V_{AI} = 15 \text{ V}$ ;  $R_{B1} = 10 \text{ k}\Omega$ ;  $R_{B2} = 4,7 \text{ k}\Omega$ ;  
 $R_E = 1,5 \text{ k}\Omega$ ;  $R_C = 1,8 \text{ k}\Omega$ ;  $\beta = 150$

Calcul aproximativ

$$I_C = ?$$

$$I_C = 2,73 \text{ mA}$$

$$V_{CE} = ?$$

$$V_{CE} = 6 \text{ V}$$

$$V_C = ?$$

$$V_C = 10,1 \text{ V}$$

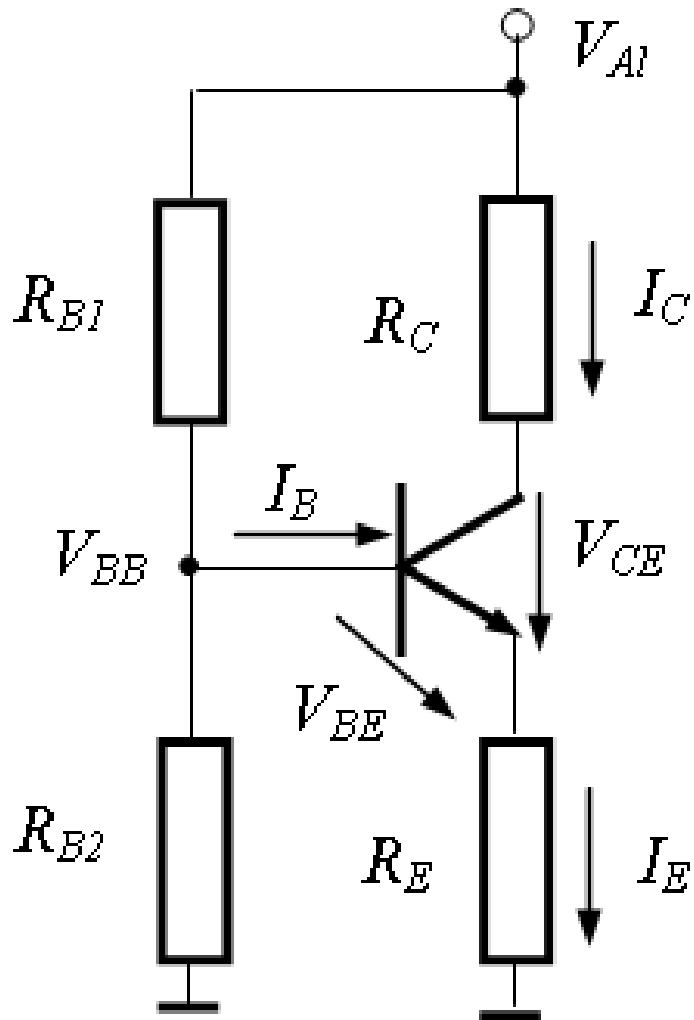
$$V_E = ?$$

$$V_E = 4,1 \text{ V}$$

Calcul exact

$$I_C = ?$$

$$I_C = 2,7 \text{ mA}$$



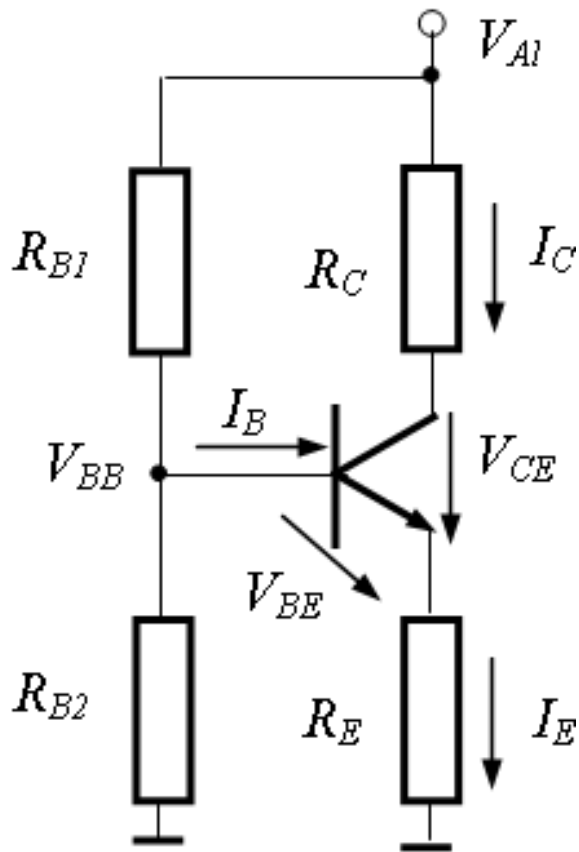


# I. Circuit de polarizare cu 4 rezistențe, alimentare unipolară

## Problema 2

$$V_{Al} = 12 \text{ V}, \quad \beta = 100$$

Să se determine valorile rezistențelor astfel încât  $T$  să fie în  $a_F$  la  $I_C = 2 \text{ mA}$ .



Uzual alegem:  $V_{BB} = \frac{1}{3} V_{Al} = \frac{1}{3} 12 = 4 \text{ V}$

$$R_E = \frac{V_{BB} - V_{BE}}{I_E} = \frac{(1/3) \cdot 12 - 0,7}{2} = 1,65 \text{ k}\Omega$$

$$V_{BB} = \frac{R_{B2}}{R_{B1} + R_{B2}} V_{Al} = \frac{1}{3} V_{Al}$$

$$R_{B1} = 2R_{B2} \quad R_E > 10 \frac{R_B}{\beta}$$



# I. Circuit de polarizare cu 4 rezistențe, alimentare unipolară

## Problema 2 - continuare

$$V_{AI} = 12 \text{ V}, \quad \beta = 100$$

$$\frac{R_{B1}R_{B2}}{R_{B1} + R_{B2}} < 10R_E \quad R_{B2} < 24.75 \text{ k}\Omega$$

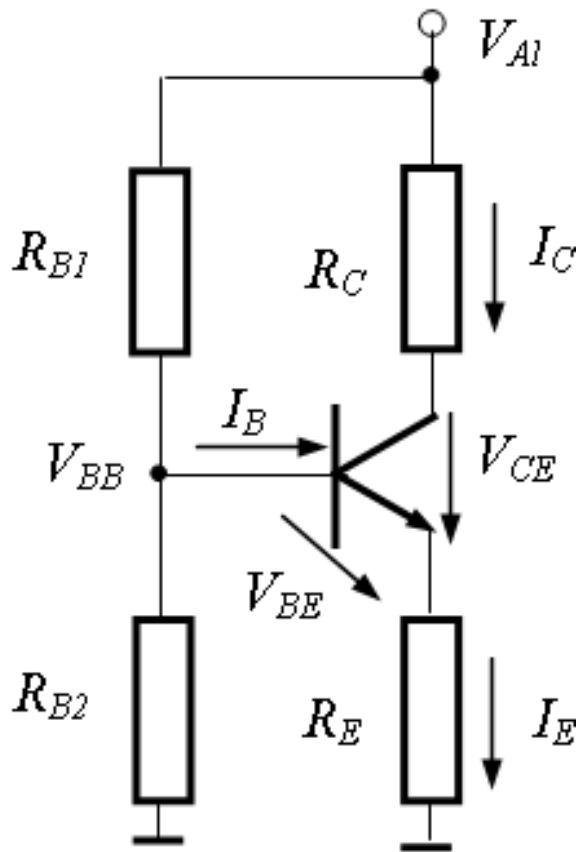
$$R_{B2} = 22 \text{ k}\Omega; \quad R_{B1} = 44 \text{ k}\Omega$$

Verificare (calcul exact):

$$I_E = \frac{V_{BB} - V_{BE}}{R_E + R_B / (\beta + 1)}$$

$$I_E = \frac{4 - 0,7}{1,65 + 14,7 / (100 + 1)} = 1,84 \text{ mA}$$

Modificăm  $R_E = 1,5 \text{ k}\Omega$   $I_E = 2 \text{ mA}$

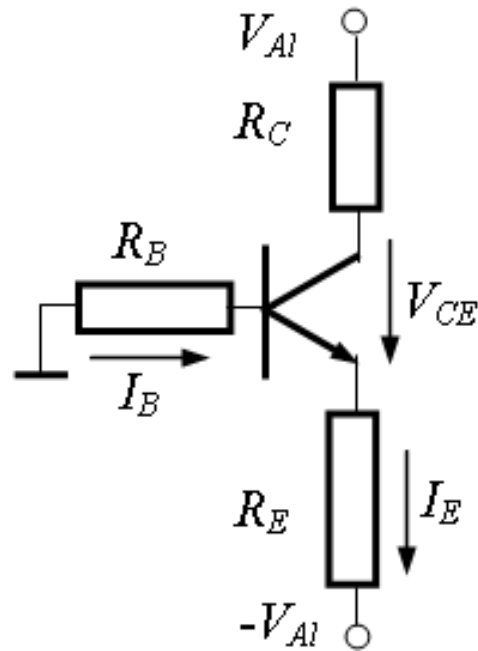






# II. Circuit de polarizare cu alimentare diferențială

## Circuit cu rezistențe



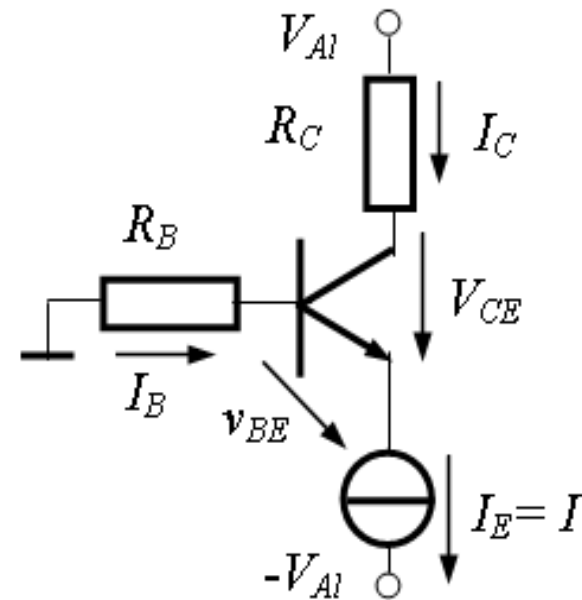
$$I_B = I_E / (\beta + 1)$$

$$R_B I_B + V_{BE} + R_E I_E - V_{A1} = 0$$

$$I_E = \frac{0 - V_{BE} - (-V_{A1})}{R_E + R_B / (\beta + 1)} = \frac{V_{A1} - V_{BE}}{R_E + R_B / (\beta + 1)}$$

$$V_{CE} = 2V_{A1} - R_C I_C - R_E I_E$$

## Circuit cu sursă de curent



$$I_E = I; I_C \approx I_E; I_B = \frac{I_C}{\beta}$$

$$V_C = V_{A1} - R_C I_C$$

$$V_B = 0 - R_B I_B = -R_B I_B$$

$$V_E = V_B - V_{BE} = V_B - 0,7V$$

$$V_{CE} = V_C - V_E$$



## II. Circuit de polarizare cu alimentare diferențială

### Problema propusă

$$\pm V_{Al} = \pm 9V; R_B = 180 \text{ k}\Omega; R_C = 3.3 \text{ k}\Omega;$$

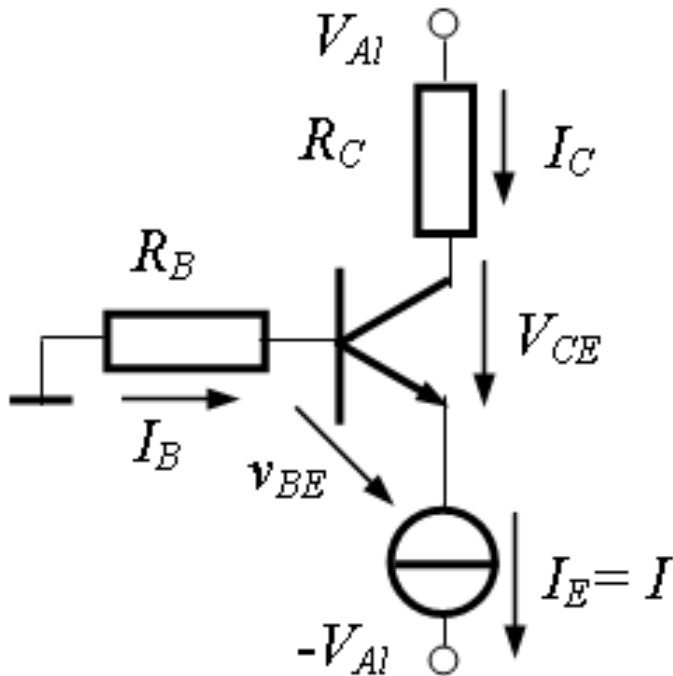
$$\beta = 100, I = 2 \text{ mA}$$

$$I_C = ? \quad V_{CE} = ?$$

$$V_B = ? \quad V_C = ? \quad V_E = ?$$

Tensiunea pe sursa de curent = ?

$$V_E - (-V_{Al}) = V_E + V_{Al}$$





# Ce am învățat azi

## Tranzistoare *MOS* și *Bipolare*

- Fixarea PSF
- Polarizarea în c.c.
- Semnal mic
- Scheme de polarizare pentru *TMOS*
  - cu rezistențe, sursă de curent
- Scheme de polarizare pentru *TB*
  - cu rezistențe, sursă de curent
- Exemplificări numerice