

**Gheorghe PANĂ**

# **DISPOZITIVE ELECTRONICE**

**Mini-culegere de probleme rezolvate**

2018 - 2019

## Cuprins

<b>I. PROBLEME CU DIODE .....</b>	<b>3</b>
<b>II. PROBLEME CU TRANZISTOARE BIPOLARE .....</b>	<b>17</b>
<b>III. PROBLEME CU TRANZISTOARE CU EFECT DE CÂMP.....</b>	<b>33</b>
Probleme cu TEC-J.....	33
Probleme cu TEC-MOS cu canal indus.....	36
Probleme cu TEC-MOS cu canal initial .....	40

## I. PROBLEME CU DIODE

**P1.** Dioda din fig. D1 se caracterizează prin curent invers de saturație,  $I_s=7\text{nA}$  și factor de idealitate,  $n=1,6$ . Se cer:

- Schema echivalentă de c.c. considerând condensatoarele gol;
- PSF-ul diodei;
- Schema echivalentă de c.a. (de semnal mic);
- Să se verifice dacă amplitudinea tensiunii de pe diodă,  $V_{a,\max}$  îndeplinește condiția de semnal mic

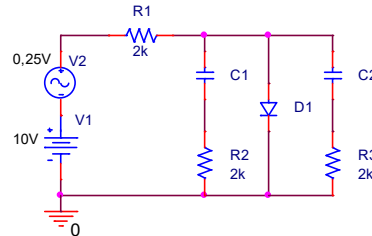


Fig. D1.

### Rezolvare

- Schema echivalentă de c.c. obținută prin pasivizarea sursei alternative  $V_2$  și ștergerea condensatoarelor pentru că ele înseamnă gol în c.c. (fig. D1-1)

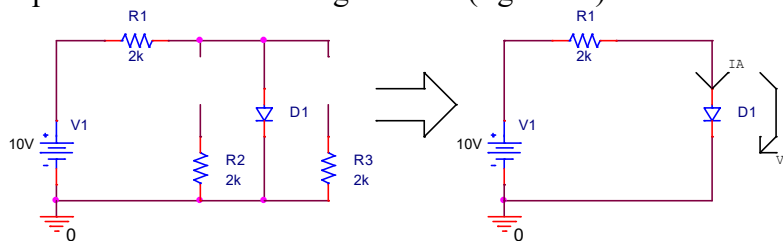


Fig. D1-1.

$$\text{b) } V_A = 0 \Rightarrow I_A = \frac{V_1}{R_1} = \frac{10V}{2k} = 5mA$$

$$V_A = nV_T \ln\left(\frac{I_A}{I_s} + 1\right) = 1,6 \times 0,026 \ln\left(\frac{5 \times 10^{-3}}{7 \times 10^{-9}} + 1\right) = 0,56V$$

$$I_A = \frac{V_1 - V_A}{R_1} = \frac{10 - 0,56}{2k} = 4,72mA$$

$$PSF = \begin{cases} I_A = 4,72mA \\ V_A = 0,56V \end{cases}$$

- Schema echivalentă de c.a. obținută prin pasivizarea sursei de c.c. și înlocuirea condensatoarelor cu scurtcircuit, adică fir (fig. D1-2)

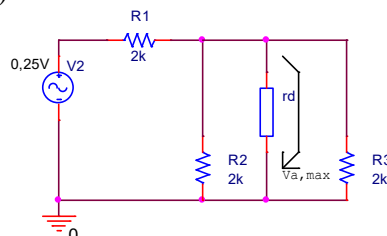


Fig. D1-2.

$$\text{d) } r_d = \frac{nV_T}{I_A} = \frac{1,6 \times 0,026}{0,00472} = 8,8\Omega$$

$$R_2 \parallel r_d \parallel R_3 = \frac{1}{\frac{1}{R_2} + \frac{1}{r_d} + \frac{1}{R_3}} = \frac{1}{\frac{1}{2000} + \frac{1}{8,8} + \frac{1}{2000}} = 8,7\Omega$$

$$V_{a,\max} = \frac{R_2 \parallel r_d \parallel R_3}{R_1 + R_2 \parallel r_d \parallel R_3} V_2 = \frac{8,7}{2000 + 8,7} 0,25 = 1,08mV$$

Amplitudinea semnalului de pe diod îndeplinește condiția de semnal mic  $V_{a,\max} \ll V_T$ , rescrisă sub forma  $V_{a,\max} \ll \frac{V_T}{10} = 2,6mV$ , deoarece  $V_{a,\max} = 1,08mV \ll 2,6mV$ .

**P2.** Dioda din fig. D2 se caracterizează prin curent invers de saturație,  $I_S = 2\mu A$  și factor de idealitate,  $n = 1,5$ . Se cer:

- Schema echivalentă de c.c. considerând condensatoarele gol;
- PSF-ul diodei;
- Schema echivalentă de c.a. (de semnal mic);
- Să se verifice dacă amplitudinea tensiunii de pe diodă,  $V_{a,\max}$  îndeplinește condiția de semnal mic.

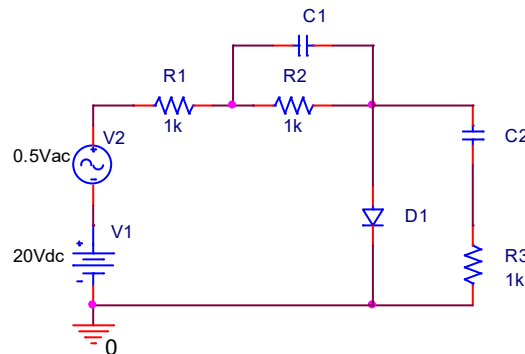


Fig. D2.

### Rezolvare

a) Schema echivalentă de c.c. (fig. D2-1)

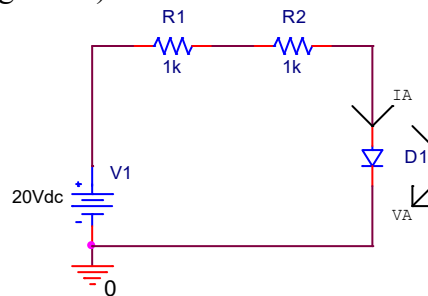


Fig. D2-1.

$$b) V_A = 0 \Rightarrow I_A = \frac{V_1}{R_1 + R_2} = \frac{20V}{1k + 1k} = 10mA$$

$$V_A = nV_T \ln\left(\frac{I_A}{I_S} + 1\right) = 1,5 \times 0,026 \ln\left(\frac{10 \times 10^{-3}}{2 \times 10^{-6}} + 1\right) = 0,33V$$

$$I_A = \frac{V_1 - V_A}{R_1 + R_2} = \frac{20 - 0,33}{2k} = 9,83mA$$

$$PSF = \begin{cases} I_A = 9,83mA \\ V_A = 0,33V \end{cases}$$

c) Schema echivalentă de c.a. (fig. D2-2)

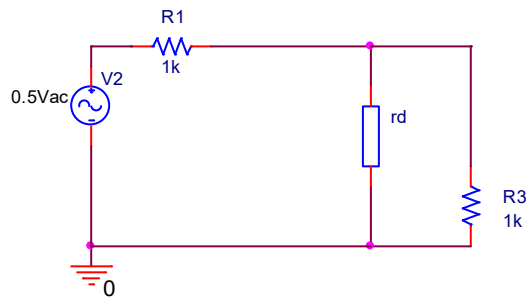


Fig. D2-2.

$$d) r_d = \frac{nV_T}{I_A} = \frac{1,5 \times 0,026}{0,00983} = 3,96\Omega$$

$$r_d \parallel R_3 = \frac{3,96 \times 1000}{1003,96} = 3,94\Omega$$

$$V_{a,\max} = \frac{r_d \parallel R_3}{R_1 + r_d \parallel R_3} V_2 = \frac{3,94}{1003,94} 0,5 = 1,96mV < 2,6mV$$

**P3.** Dioda din fig. D3 se caracterizează prin curent invers de saturație,  $I_S=10nA$  și factor de idealitate,  $n=1,7$ . Se cer:

- PSF-ul diodei;
- Să se verifice dacă amplitudinea tensiunii de pe diodă,  $V_{a,\max}$  îndeplinește condiția de semnal mic;
- Să se determine relația totală a curentului prin diodă în caz de semnal sinusoidal.

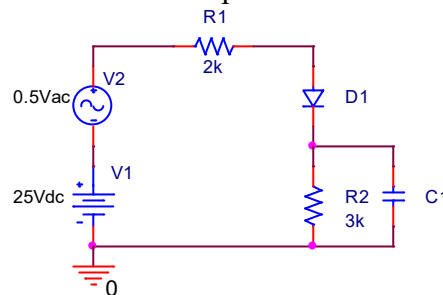


Fig. D3.

### Rezolvare

a) Schema echivalentă de c.c. (fig. D3-1)

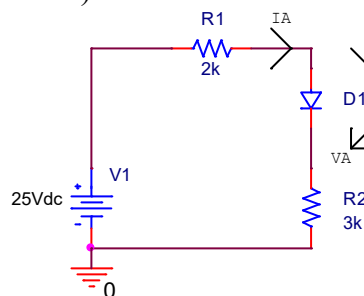


Fig. D3-1.

$$V_A = 0 \Rightarrow I_A = \frac{V_1}{R_1 + R_2} = \frac{25V}{2k + 3k} = 5mA$$

$$V_A = nV_T \ln\left(\frac{I_A}{I_S} + 1\right) = 1,7 \times 0,026 \ln\left(\frac{5 \times 10^{-3}}{10 \times 10^{-9}} + 1\right) = 0,58V$$

$$I_A = \frac{V_1 - V_A}{R_1 + R_2} = \frac{25 - 0,58}{5k} = 4,88mA$$

$$PSF = \begin{cases} I_A = 4,88mA \\ V_A = 0,58V \end{cases}$$

b) Schema echivalentă de c.a. (fig. D3-2)

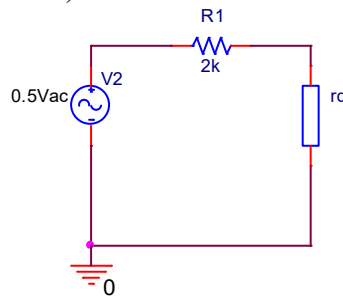


Fig. D3-2.

$$r_d = \frac{nV_T}{I_A} = \frac{1,7 \times 0,026}{0,00488} = 9\Omega$$

$$V_{a,\max} = \frac{r_d}{R_1 + r_d} V_2 = \frac{9}{2009} 0,5V = 2,24mV$$

c)

$$I_{a,\max} = \frac{V_{a,\max}}{r_d} = \frac{2,24mV}{9\Omega} = 0,25mA$$

$$i_A = I_A + I_{a,\max} \sin \omega t = 4,88 + 0,25 \sin \omega t \text{ [mA]}$$

**P4.** Dioda din fig. D4 se caracterizează prin curent invers de saturație,  $I_S=12nA$  și factor de idealitate,  $n=1,8$ . Se cer:

- PSF-ul diodei;
- Să se verifice dacă amplitudinea tensiunii de pe diodă,  $V_{a,\max}$  îndeplinește condiția de semnal mic;
- Scrieți relația tensiunii totale de pe diodă.

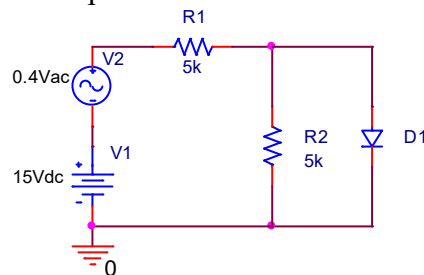


Fig. D4.

### Rezolvare

a) Schema echivalentă de c.c. (fig. D4-1)

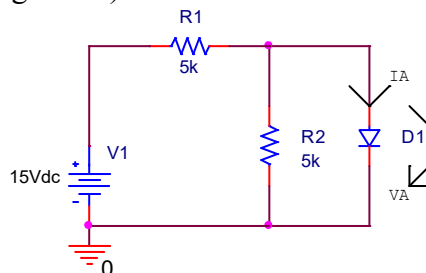


Fig. D4-1.

Thevenin în c.c.

$$V_{Th1} = \frac{R_2}{R_1 + R_2} V_1 = \frac{V_1}{2} = 7,5V; R_{Th} = R_1 \parallel R_2 = 2,5k$$

$$V_A = 0 \Rightarrow I_A = \frac{V_{Th1}}{R_{Th}} = \frac{7,5V}{2,5k} = 3mA$$

$$V_A = nV_T \ln\left(\frac{I_A}{I_S} + 1\right) = 1,8 \times 0,026 \ln\left(\frac{3 \times 10^{-3}}{12 \times 10^{-9}} + 1\right) = 0,58V$$

$$I_A = \frac{V_{Th1} - V_A}{R_{Th}} = \frac{7,5 - 0,58}{2,5k} = 2,77mA$$

$$PSF = \begin{cases} I_A = 2,77mA \\ V_A = 0,58V \end{cases}$$

b) Schema echivalentă de c.a. (fig. D4-2)

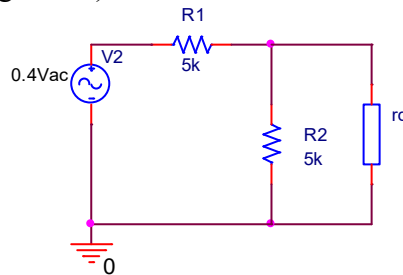


Fig. D4-2.

$$r_d = \frac{nV_T}{I_A} = \frac{1,8 \times 0,026}{0,00277} = 16,9\Omega$$

Thevenin în c.a.

$$V_{Th2} = \frac{R_2}{R_1 + R_2} V_2 = \frac{V_2}{2} = 0,2V; R_{Th} = R_1 \parallel R_2 = 2,5k$$

$$V_{a,max} = \frac{r_d}{R_{Th} + r_d} V_{Th2} = \frac{16,9}{2516,9} 0,2V = 1,34mV$$

$$c) v_A = V_A + V_{a,max} \sin \omega t = 0,58 + 0,00134 \sin \omega t [V]$$

**P5.** Dioda din fig. D5 se caracterizează prin curent invers de saturație,  $I_S = 5\mu A$  și factor de idealitate,  $n = 1,3$ . Se cer:

- PSF-ul diodei;
- Ce amplitudine trebuie să aibă tensiunea furnizată de generator pentru ca, la limită, să se îndeplinească condiția de semnal mic pe diodă?

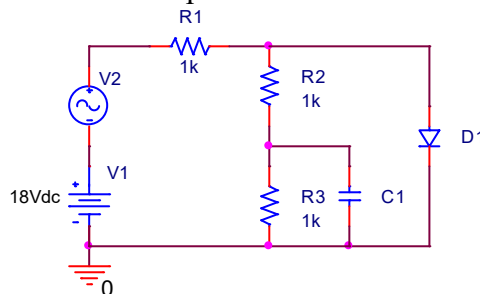


Fig. D5.

### Rezolvare

a) Schema echivalentă de c.c. (fig. D5-1)

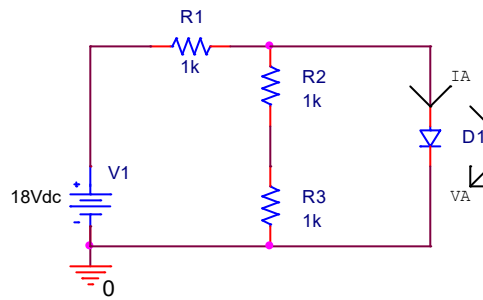


Fig. D5-1.

Thevenin în c.c.

$$V_{Th1} = \frac{R_2 + R_3}{R_1 + R_2 + R_3} V_1 = \frac{2}{3} 18 = 12V; R_{Th1} = R_1 \parallel (R_2 + R_3) = \frac{2}{3} = 0,67k$$

$$V_A = 0 \Rightarrow I_A = \frac{V_{Th1}}{R_{Th1}} = \frac{12V}{0,67k} = 17,9mA$$

$$V_A = nV_T \ln\left(\frac{I_A}{I_S} + 1\right) = 1,3 \times 0,026 \ln\left(\frac{17,9 \times 10^{-3}}{5 \times 10^{-6}} + 1\right) = 0,27V$$

$$I_A = \frac{V_{Th1} - V_A}{R_{Th1}} = \frac{12 - 0,27}{0,67k} = 17,5mA$$

$$PSF = \begin{cases} I_A = 17,5mA \\ V_A = 0,27V \end{cases}$$

b) Schema echivalentă de c.a. (fig. D5-2)

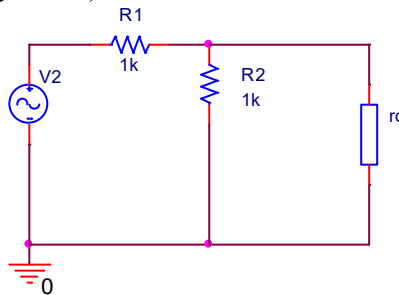


Fig. D5-2.

$$r_d = \frac{nV_T}{I_A} = \frac{1,3 \times 0,026}{0,0175} = 1,9\Omega$$

Thevenin în c.a.

$$V_{Th2} = \frac{R_2}{R_1 + R_2} V_2 = \frac{V_2}{2}; R_{Th2} = R_1 \parallel R_2 = 0,5k$$

$$V_{a,max} = \frac{r_d}{R_{Th2} + r_d} V_{Th2} = \frac{r_d}{R_{Th2} + r_d} \frac{V_2}{2} = \frac{V_T}{10}$$

$$\Rightarrow V_2 = \frac{2(R_{Th2} + r_d)}{10r_d} V_T = \frac{2 \times 501,9}{19} 0,026 = 1,37V$$

**P6.** Dioda din fig. D6 se caracterizează în PSF prin  $V_A=0,62V$  și are  $n=2$ . Se cer:

- Să se determine dacă amplitudinea tensiunii de pe diodă,  $V_{a,max}$  îndeplinește condiția de semnal mic. Condensatorul se consideră scurtcircuit în c.a. (la semnal mic).
- Care este relația tensiunii totale de pe diodă în caz de semnal sinusoidal.



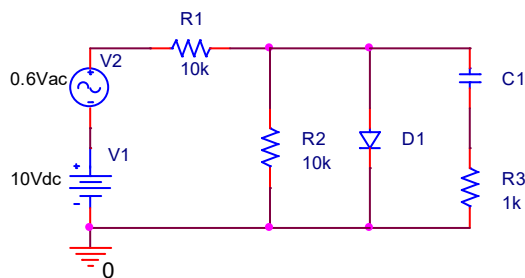


Fig. D6.

**Rezolvare**

a) Schema echivalentă de c.c. (fig. D6-1)

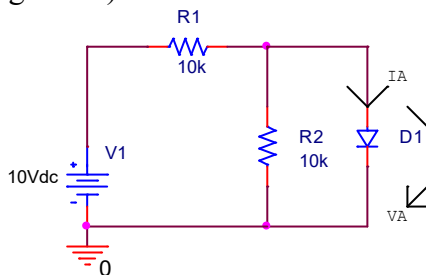


Fig. D6-1.

Thevenin în c.c.

$$V_{Th1} = \frac{R_2}{R_1 + R_2} V_1 = \frac{1}{2} 10 = 5V; R_{Th1} = R_1 \parallel R_2 = 5k$$

$$I_A = \frac{V_{Th1} - V_A}{R_{Th1}} = \frac{5 - 0,62}{5k} = 0,87mA$$

$$PSF = \begin{cases} I_A = 0,87mA \\ V_A = 0,62V \end{cases}$$

Schema echivalentă de c.a. (fig. D6-2)

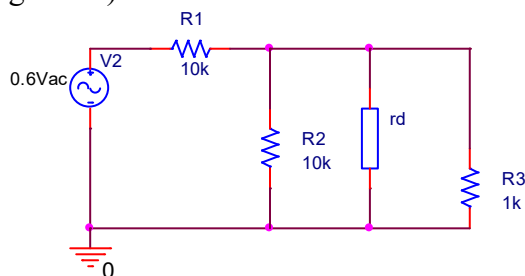


Fig. D6-2.

$$r_d = \frac{nV_T}{I_A} = \frac{2 \times 0,026}{0,00087} = 59,8\Omega$$

Thevenin în c.a.

$$V_{Th2} = \frac{R_2}{R_1 + R_2} V_2 = 0,3V; R_{Th2} = R_1 \parallel R_2 = 5k$$

$$V_{a,max} = \frac{r_d \parallel R_3}{R_{Th2} + r_d \parallel R_3} V_{Th2} = \frac{56,4}{5056,4} 0,3 = 3,34mV$$

$$r_d \parallel R_3 = \frac{59,8 \times 1000}{1059,8} = 56,4\Omega$$

$$b) v_A = V_A + V_{a,max} \sin \omega t = 0,62 + 0,00334 \sin \omega t [V]$$

**P7.** Dioda din fig. D7 se caracterizează în PSF prin  $I_A=1mA$ ,  $V_A=0,5V$  și are  $n=1,6$ . Se cer:

- Valoarea sursei de c.c. necesară pentru realizarea PSF-ului diodei;
- Determinația relația tensiunii totale de pe diodă în caz de semnal sinusoidal;
- Să se verifice dacă amplitudinea tensiunii de pe diodă,  $V_{a,max}$  îndeplinește condiția de semnal mic.

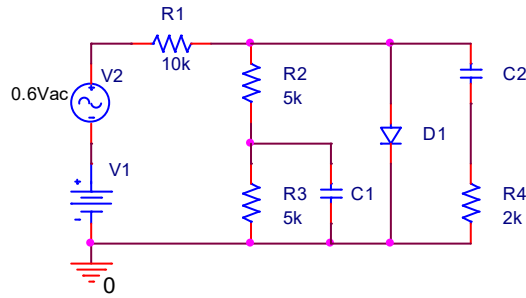


Fig. D7.

**Rezolvare**

- Schema echivalentă de c.c. (fig. D7-1)

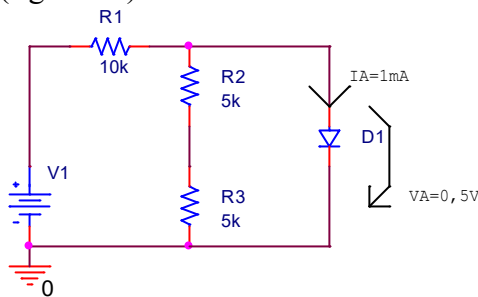


Fig. D7-1.

Thevenin în c.c.

$$V_{Th1} = \frac{R_2 + R_3}{R_1 + R_2 + R_3} V_1 = \frac{V_1}{2}; \quad R_{Th1} = R_1 \parallel (R_2 + R_3) = 5k$$

$$V_{Th1} = R_{Th1} I_A + V_A = \frac{V_1}{2} \Rightarrow V_1 = 2(R_{Th1} I_A + V_A) = 2(5k \times 1mA + 0,5) = 11V$$

- Schema echivalentă de c.a. (fig. D7-2)

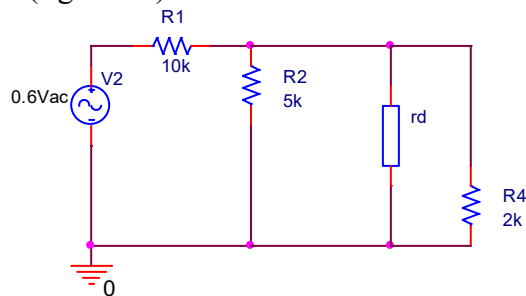


Fig. D7-2.

$$r_d = \frac{nV_T}{I_A} = \frac{1,6 \times 0,026}{0,001} = 41,6\Omega$$

Thevenin în c.a.

$$V_{Th2} = \frac{R_2}{R_1 + R_2} V_2 = \frac{V_2}{3} = 0,2V; \quad R_{Th2} = R_1 \parallel R_2 = \frac{5 \times 10}{15} = 3,33k$$

$$V_{a,max} = \frac{r_d \parallel R_4}{R_{Th2} + r_d \parallel R_4} V_{Th2} = \frac{40,7}{3370,7} 0,2 = 2,41mV$$

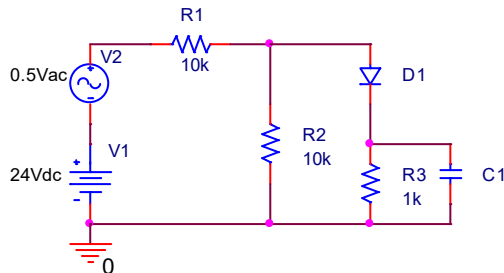
$$r_d \parallel R_4 = \frac{41,6 \times 2000}{2041,6} = 40,7\Omega$$

$$v_A = V_A + V_{a,\max} \sin \omega t = 0,5 + 0,00241 \sin \omega t \text{ [V]}$$

$$c) 2,41 \text{ mV} < 2,6 \text{ mV}$$

**P8.** Dioda din fig. D8 se caracterizează prin curent invers de saturație,  $I_S = 14 \text{ nA}$  și factor de idealitate,  $n = 1,8$ . Se cer:

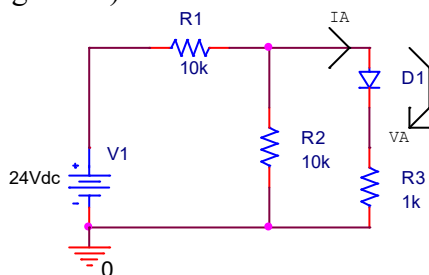
- PSF-ul diodei;
- Determinați relația curentului total prin diodă în caz de semnal sinusoidal;
- Să se verifice dacă amplitudinea tensiunii de pe diodă,  $V_{a,\max}$  îndeplinește condiția de semnal mic.



**Fig. D8.**

### Rezolvare

a) Schema echivalentă de c.c. (fig. D8-1)



**Fig. D8-1.**

Thevenin în c.c.

$$V_{Th1} = \frac{R_2}{R_1 + R_2} V_1 = \frac{1}{2} 24 = 12V; R_{Th1} = R_1 \parallel R_2 = 5k$$

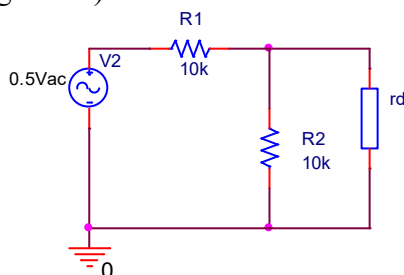
$$V_A = 0 \Rightarrow I_A = \frac{V_{Th1}}{R_{Th1} + R_3} = \frac{12V}{6k} = 2mA$$

$$V_A = nV_T \ln\left(\frac{I_A}{I_S} + 1\right) = 1,8 \times 0,026 \ln\left(\frac{2 \times 10^{-3}}{14 \times 10^{-9}} + 1\right) = 0,55V$$

$$I_A = \frac{V_{Th1} - V_A}{R_{Th1} + R_3} = \frac{12 - 0,55}{6k} = 1,9mA$$

$$PSF = \begin{cases} I_A = 1,9mA \\ V_A = 0,55V \end{cases}$$

b) Schema echivalentă de c.a. (fig. D8-2)



**Fig. D8-2.**

$$r_d = \frac{nV_T}{I_A} = \frac{1,8 \times 0,026}{0,0019} = 24,6\Omega$$

Thevenin în c.a.

$$V_{Th2} = \frac{R_2}{R_1 + R_2} V_2 = \frac{V_2}{2} = 0,2V; R_{Th2} = R_1 \parallel R_2 = 5k$$

$$V_{a,max} = \frac{r_d}{R_{Th2} + r_d} V_{Th2} = \frac{24,6}{5024,6} 0,2 = 0,98mV$$

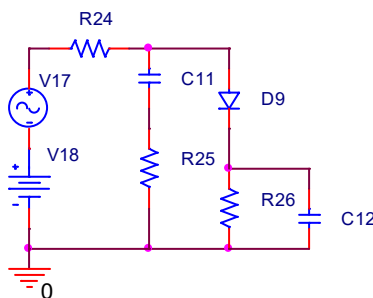
$$I_{a,max} = \frac{V_{a,max}}{r_d} = \frac{0,98mV}{24,6\Omega} = 0,04mA$$

$$i_A = I_A + I_{a,max} \sin \omega t = 1,9 + 0,04 \sin \omega t \text{ [mA]}$$

$$c) 0,98mV \angle 2,6mV$$

**P9.** Dioda din fig. D9 se caracterizează prin curent invers de saturație,  $I_S=4nA$  și factor de idealitate,  $n=1,7$ . Se cer:

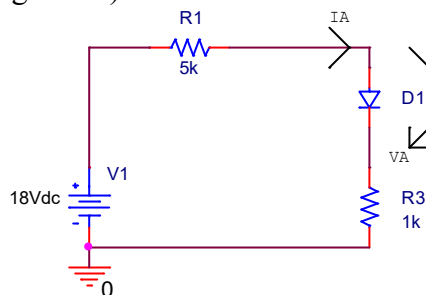
- PSF-ul diodei;
- Determinați relația curentului total prin diodă și a tensiunii totale de pe diodă în caz de semnal sinusoidal;
- Să se verifice dacă amplitudinea tensiunii de pe diodă,  $V_{a,max}$  îndeplinește condiția de semnal mic.



**Fig. D9.**

### Rezolvare

a) Schema echivalentă de c.c. (fig. D9-1)



**Fig. D9-1.**

$$V_A = 0 \Rightarrow I_A = \frac{V_1}{R_1 + R_3} = \frac{18V}{6k} = 3mA$$

$$V_A = nV_T \ln\left(\frac{I_A}{I_S} + 1\right) = 1,7 \times 0,026 \ln\left(\frac{3 \times 10^{-3}}{4 \times 10^{-9}} + 1\right) = 0,6V$$

$$I_A = \frac{V_1 - V_A}{R_1 + R_3} = \frac{18 - 0,6}{6k} = 2,9mA$$

$$PSF = \begin{cases} I_A = 2,9mA \\ V_A = 0,6V \end{cases}$$

b) Schema echivalentă de c.a. (fig. D9-2)

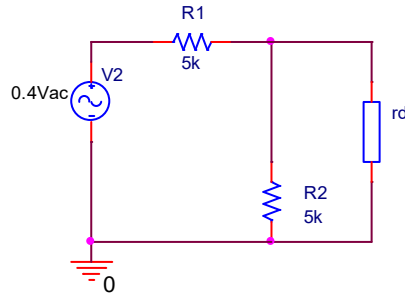


Fig. D9-2.

$$r_d = \frac{nV_T}{I_A} = \frac{1,7 \times 0,026}{0,0029} = 15,2\Omega$$

Thevenin în c.a.

$$V_{Th2} = \frac{R_2}{R_1 + R_2} V_2 = \frac{V_2}{2} = 0,2V; R_{Th2} = R_1 \parallel R_2 = 2,5k$$

$$V_{a,max} = \frac{r_d}{R_{Th2} + r_d} V_{Th2} = \frac{15,2}{2515,2} 0,2 = 1,2mV$$

$$I_{a,max} = \frac{V_{a,max}}{r_d} = \frac{1,2mV}{15,2\Omega} = 0,08mA$$

$$v_A = V_A + V_{a,max} \sin \omega t = 0,6 + 0,0012 \sin \omega t [V]$$

$$i_A = I_A + I_{a,max} \sin \omega t = 2,9 + 0,08 \sin \omega t [mA]$$

c)  $1,2mV \ll 2,6mV$

**P10.** În circuitul din fig. D10, dioda D1 se caracterizează prin  $V_Z=5V$  și  $I_Z \in [1...5mA]$  iar D2 prin  $I_S=8nA$  și  $n=1,7$ . Se cer:

- Precizați cum sunt polarizate diodele;
- Determinați PSF-urile diodelor;
- Să se verifice dacă amplitudinea tensiunii de pe dioda D2,  $V_{a,max}$ , îndeplinește condiția de semnal mic.

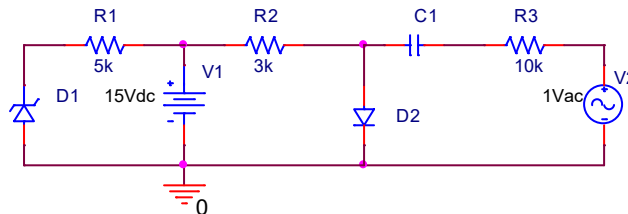


Fig. D10.

### Rezolvare

a) Schema echivalentă de c.c. (fig. D10-1)

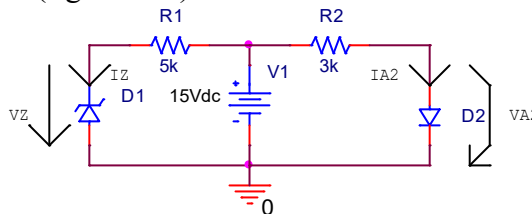


Fig. D10-1.

D1 este polarizată invers deoarece plusul sursei V1 este legat la catodul diodei iar D2 este polarizată direct deoarece plusul sursei V1 este legat la anodul diodei.

$$b) I_Z = \frac{V_1 - V_Z}{R_1} = \frac{15 - 5}{5k} = 2mA; 2mA \in [1...5mA]$$

$$\Rightarrow PSF(D1) = \begin{cases} I_{A1} = -I_Z = -2mA \\ V_{A1} = -V_Z = -5V \end{cases}$$

D2:

$$V_{A2} = 0 \Rightarrow I_{A2} = \frac{V_1}{R_2} = \frac{15V}{3k} = 5mA$$

$$V_{A2} = nV_T \ln\left(\frac{I_{A2}}{I_S} + 1\right) = 1,7 \times 0,026 \ln\left(\frac{5 \times 10^{-3}}{8 \times 10^{-9}} + 1\right) = 0,59V$$

$$I_{A2} = \frac{V_1 - V_{A2}}{R_2} = \frac{15 - 0,59}{3k} = 4,8mA$$

$$PSF(D2) = \begin{cases} I_{A2} = 4,8mA \\ V_{A2} = 0,59V \end{cases}$$

c) Schema echivalentă de c.a. (fig. D10-2)

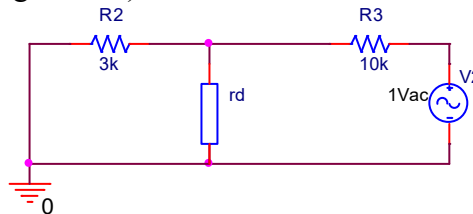


Fig. D10-2.

$$r_{d2} = \frac{nV_T}{I_{A2}} = \frac{1,7 \times 0,026}{0,0048} = 9,2\Omega$$

$$V_{a,max} = \frac{r_{d2} \parallel R_2}{R_3 + r_{d2} \parallel R_2} V_2 = \frac{9,17}{10009,17} \times 1V = 0,92mV$$

$$r_{d2} \parallel R_2 = \frac{9,2 \times 3000}{3009,2} = 9,17\Omega$$

**P11.** Dioda zener din fig. D11 se caracterizează prin  $V_Z=5V$  pentru  $I_Z=1...10mA$  și rezistența dinamică (de semnal mic)  $r_z=15\Omega$ . Dioda D2 are parametrii: curent de saturație  $I_S=2,7nA$  și factor de idealitate  $n=1,8$ . Să se determine:

- Valoarea curentului prin  $R_1$ ;
- PSF-ul diodei D2;
- Dacă amplitudinea semnalului alternativ de la bornele diodei D2 satisface condiția de semnal mic.

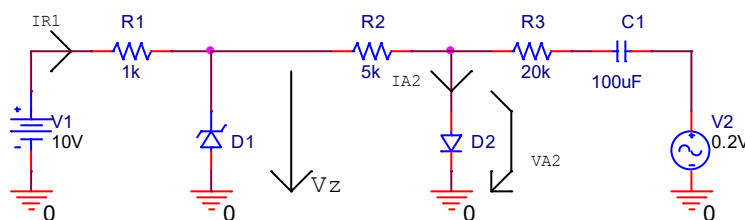


Fig. D11.

**Rezolvare**

a) Schema echivalentă de calcul în c.c are forma din fig. D11-1:

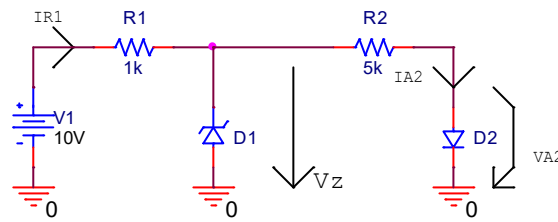


Fig. D11-1.

$$I_{R1} = \frac{V_1 - V_Z}{R_1} = \frac{10 - 5}{1k} = 5mA$$

b) Dioda D<sub>2</sub> este alimentată de la V<sub>Z</sub>=5V prin R<sub>2</sub>. Pașii necesari pentru calculul iterativ a PSF-ului conduc la următoarele relații:

$$V_{A2} = 0 \Rightarrow I_{A2} = \frac{V_Z}{R_2} = \frac{5V}{5k} = 1mA$$

$$V_{A2} = nV_T \ln\left(\frac{I_{A2}}{I_S} + 1\right) = 1,8 \times 0,026 \ln\left(\frac{10^{-3}}{2,7 \times 10^{-9}} + 1\right) = 0,6V$$

$$I_{A2} = \frac{V_Z - V_{A2}}{R_2} = \frac{5 - 0,6}{5k} = 0,88mA$$

Metoda fiind puternic convergentă, se poate considera că PSF-ul diodei D<sub>2</sub> se caracterizează prin:

$$PSF_{D2} = \begin{cases} I_{A2} = 0,88mA \\ V_{A2} = 0,6V \end{cases}$$

c) Pentru verificarea îndeplinirii condiției de semnal mic, se utilizează schema echivalentă de c.a. din fig. D11-2. Pe această schemă, respectând regulile generale, sursa de c.c V<sub>1</sub> și condensatorul C<sub>1</sub> se înlocuiesc cu scurtcircuit. În loc de D<sub>1</sub> se conectează rezistența dinamică a diodei și anume r<sub>z</sub>.

Rezistența dinamică a diodei D<sub>2</sub> se determină cu relația:

$$r_{d2} = \frac{nV_T}{I_{A2}} = \frac{1,8 \times 26mV}{0,88mA} = 53,2\Omega$$

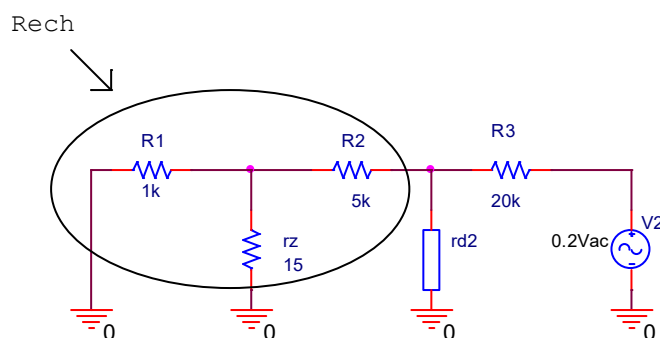


Fig. D11-2.

$$R_{ech} = R_2 + r_z \parallel R_1 = 5k + \frac{0,015k \times 1k}{1,015k} = 5,0147k$$

Amplitudinea semnalului alternativ de pe dioda D<sub>2</sub> (modelată în c.a. cu ajutorul rezistenței de difuzie sau dinamice r<sub>d2</sub>) se determină cu ajutorul RDT aplicată între R<sub>3</sub> și R<sub>ech</sub> în paralel cu r<sub>d2</sub>:

$$V_{a2} = \frac{r_{d2} \parallel R_{ech}}{R_3 + r_{d2} \parallel R_{ech}} V_2 = \frac{52,5}{20052,5} \times 0,2 = 0,52mV$$

$$r_{d2} \parallel R_{ech} = \frac{53,2 \times 5014,7}{5067,9} = 52,5\Omega$$

---

$V_{a2,\max} = 0,52mV \ll 26mV = V_T$ , deci amplitudinea semnalului alternativ de la bornele diodei  $D_2$  satisface condiția de semnal mic.



## II. PROBLEME CU TRANZISTOARE BIPOLARE

**P1.** TB din fig. TB1 se caracterizează în PSF prin tensiune bază-emitor,  $V_{BE}=0,66V$  și factor de amplificare în curent,  $\beta=185$ . Se cer:

- PSF-ul TB;
- Conexiunea în care se află TB;
- Amplificarea în tensiune a circuitului. Condensatoarele reprezintă scurtcircuit.

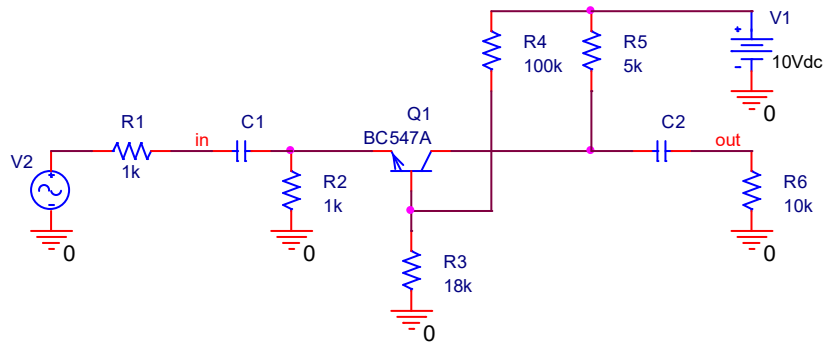


Fig. TB1

### Rezolvare

a) Schema echivalentă de c.c. (fig. TB1-1)

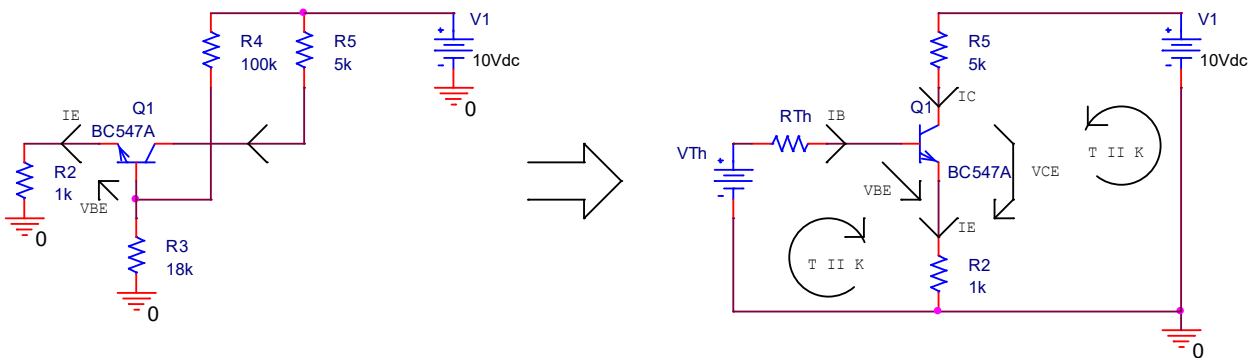


Fig. TB1-1.

Thevenin în c.c.

$$V_{Th} = \frac{R_3}{R_3 + R_4} V_1 = \frac{18k}{118k} 10V = 1,52V; \quad R_{Th} = R_3 \parallel R_4 = \frac{18 \times 100}{118} = 15,2k\Omega$$

T II K pe ochiul de circuit care conține  $V_{BE}$ :

$$\left. \begin{aligned} V_{Th} &= R_{Th} I_B + V_{BE} + R_2 I_E \\ I_E &= (\beta + 1) I_B \end{aligned} \right\} \Rightarrow I_B = \frac{V_{Th} - V_{BE}}{R_{Th} + (\beta + 1) R_2} = \frac{1,52 - 0,66}{15,2k + 186k} = \frac{0,86V}{201,2k} = 4,2\mu A$$

$$I_C = \beta I_B = 185 \times 0,0042mA = 0,78mA$$

$$I_E = I_B + I_C = 0,784mA$$

T II K pe ochiul de circuit care conține  $V_{CE}$ :

$$V_1 = R_5 I_C + V_{CE} + R_2 I_E \Rightarrow V_{CE} = V_1 - R_5 I_C - R_2 I_E = 10 - 5 \times 0,78 - 1 \times 0,784 = 5,31V$$

$$PSF = \begin{cases} V_{BE} = 0,66V \\ I_B = 4,2\mu A \\ I_C = 0,78mA \\ V_{CE} = 5,31V \end{cases}$$

b) TB se află în conexiune bază-comună (BC) deoarece semnalul se aplică pe emitor și se culege din colector (nu s-a amintit de bază în această analiză).

c) Schema echivalentă de c.a. (fig. TB1-2)

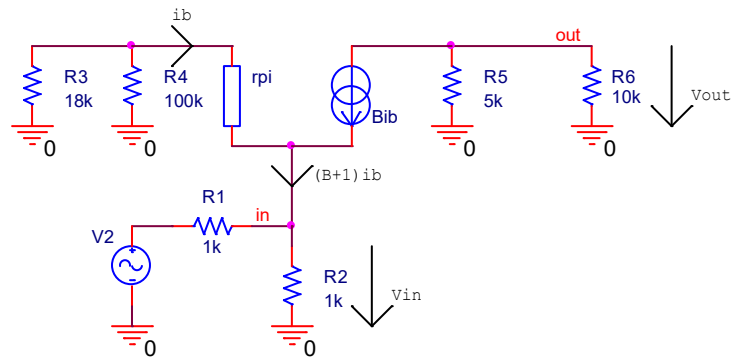


Fig. TB1-2.

$$r_{pi} = \frac{\beta}{40I_C} = \frac{185}{40 \times 0,78m} = 5,93k\Omega$$

$$A_v = \frac{V_{out}}{V_{in}}$$

$$V_{out} = -\beta i_b (R_5 \parallel R_6)$$

$$V_{in} = -i_b (r_{pi} + R_3 \parallel R_4) \Rightarrow i_b = -\frac{V_{in}}{r_{pi} + R_3 \parallel R_4}$$

$$A_v = -\beta \left( -\frac{1}{r_{pi} + R_3 \parallel R_4} \right) (R_5 \parallel R_6) = \frac{185 \times 3,33k}{5,93k + 15,2k} = +29,15$$

$$R_5 \parallel R_6 = \frac{5k \times 10k}{15k} = 3,33k$$

$$R_3 \parallel R_4 = \frac{18 \times 100}{118} = 15,2k\Omega$$

**P2.** Să se repete analiza din problema P1, dacă TB este de tipul pnp (fig. TB2) și are parametrii:  $V_{EB}=0,72V$  și  $\beta=92$ .

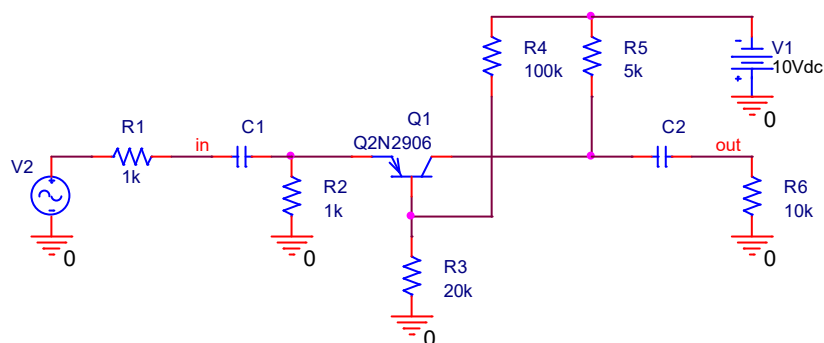


Fig. TB2.

## Rezolvare

a) Schema echivalentă de c.c. (fig. TB2-1)

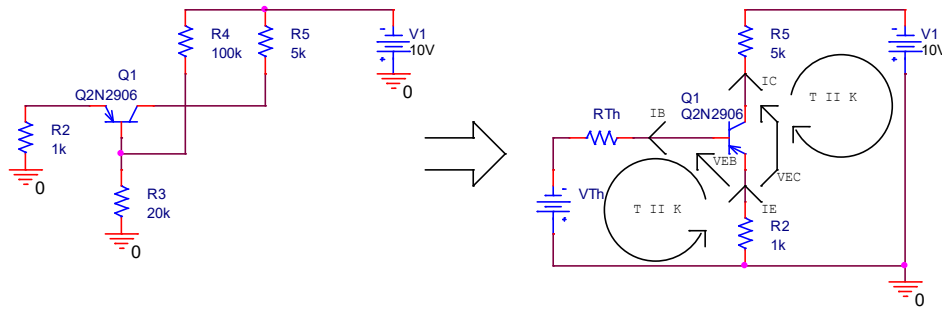


Fig. TB2-1.

Thevenin în c.c.

$$V_{Th} = \frac{R_3}{R_3 + R_4} V_1 = \frac{20k}{120k} 10V = 1,66V ; R_{Th} = R_3 \parallel R_4 = \frac{20 \times 100}{120} = 16,67k\Omega$$

T II K pe ochiul de circuit care conține  $V_{EB}$ :

$$\left. \begin{aligned} V_{Th} &= R_{Th} I_B + V_{EB} + R_2 I_E \\ I_E &= (\beta + 1) I_B \end{aligned} \right\} \Rightarrow I_B = \frac{V_{Th} - V_{EB}}{R_{Th} + (\beta + 1) R_2} = \frac{1,66 - 0,72}{16,67k + 93k} = \frac{0,94V}{109,67k} = 8,57\mu A$$

$$I_C = \beta I_B = 92 \times 0,00857mA = 0,79mA$$

$$I_E = I_B + I_C = 0,8mA$$

T II K pe ochiul de circuit care conține  $V_{EC}$ :

$$V_1 = R_5 I_C + V_{EC} + R_2 I_E \Rightarrow V_{EC} = V_1 - R_5 I_C - R_2 I_E = 10 - 5 \times 0,79 - 1 \times 0,8 = 5,25V$$

$$PSF = \begin{cases} V_{EB} = 0,72V \\ I_B = 8,57\mu A \\ I_C = 0,79mA \\ V_{EC} = 5,25V \end{cases}$$

b) TB se află în conexiune bază-comună (BC) deoarece semnalul se aplică pe emitor și se culege din colector (nu s-a amintit de bază în această analiză).

c) Schema echivalentă de c.a. (fig. TB2-2)

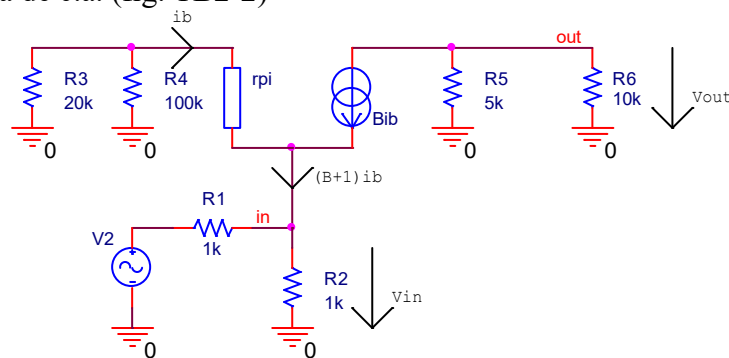


Fig. TB2-2.

$$r_{pi} = \frac{\beta}{40I_C} = \frac{92}{40 \times 0,79m} = 2,9k\Omega$$

$$A_v = \frac{V_{out}}{V_{in}}$$

$$V_{out} = -\beta i_b (R_5 \parallel R_6)$$

$$V_{in} = -i_b (r_{pi} + R_3 \parallel R_4) \Rightarrow i_b = -\frac{V_{in}}{r_{pi} + R_3 \parallel R_4}$$

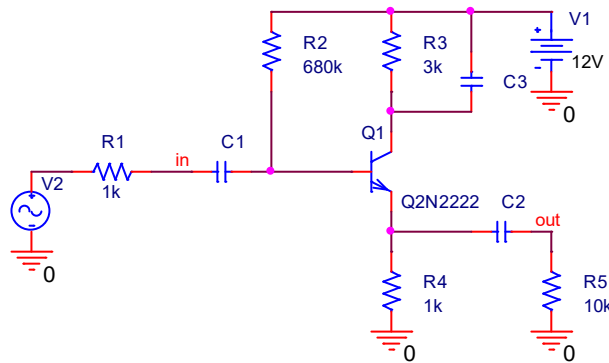
$$A_v = -\beta \left( -\frac{1}{r_{pi} + R_3 \parallel R_4} \right) (R_5 \parallel R_6) = \frac{92 \times 3,33k}{2,9k + 16,67k} = +15,6$$

$$R_5 \parallel R_6 = \frac{5k \times 10k}{15k} = 3,33k$$

$$R_3 \parallel R_4 = \frac{20 \times 100}{120} = 16,67k\Omega$$

**P3.** TB din fig. TB3 se caracterizează în PSF prin tensiune bază-emitor,  $V_{BE}=0,66V$  și factor de amplificare în curent,  $\beta=157$ . Se cer:

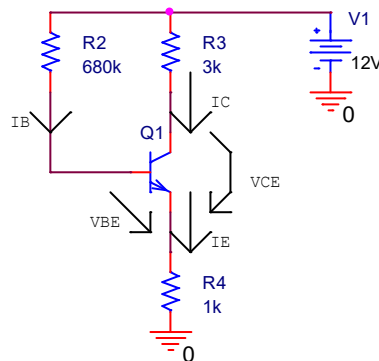
- PSF-ul TB;
- Conexiunea în care se află TB;
- Amplificarea în tensiune a circuitului. Condensatoarele reprezintă scurtcircuit.



**Fig. TB3.**

### Rezolvare

a) Schema echivalentă de c.c. (fig. TB3-1)



**Fig. TB3-1.**

$$V_1 = R_2 I_B + V_{BE} + R_4 I_E = V_{BE} + I_B [R_2 + (\beta + 1)R_4] \Rightarrow I_B = \frac{V_1 - V_{BE}}{R_2 + (\beta + 1)R_4}$$

$$I_B = \frac{12 - 0,66}{680k + 158k} = 13,5 \mu A$$

$$I_C = \beta I_B = 157 \times 0,0135 mA = 1,12 mA$$

$$I_E = (\beta + 1) I_B = 158 \times 0,0135 mA = 1,13 mA$$

$$V_{CE} = V_1 - R_3 I_C - R_4 I_E = 12 - 3,36 - 1,13 = 7,51 V$$

$$PSF = \begin{cases} V_{BE} = 0,66V \\ I_B = 13,5 \mu A \\ I_C = 1,12 mA \\ V_{CE} = 7,51V \end{cases}$$

b) TB se află în conexiune CC deoarece semnalul se aplică în bază și se culege din emitor.

c) Schema echivalentă de c.a. (fig. TB3-2)

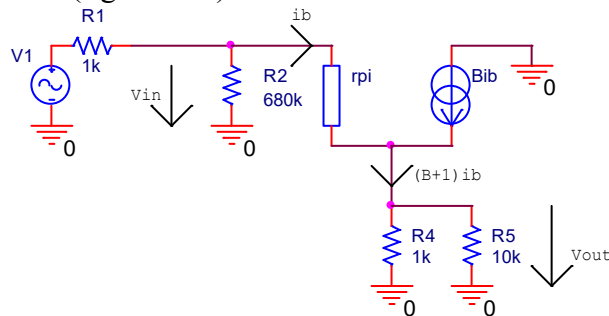


Fig. TB3-2.

$$r_{pi} = \frac{\beta}{40I_C} = \frac{157}{40 \times 1,12m} = 3,5k\Omega$$

$$A_v = \frac{V_{out}}{V_{in}}$$

$$V_{out} = (\beta + 1)i_b(R_4 \parallel R_5)$$

$$V_{in} = r_{pi}i_b + (\beta + 1)i_b(R_4 \parallel R_5)$$

$$A_v = \frac{(\beta + 1)(R_4 \parallel R_5)}{r_{pi} + (\beta + 1)(R_4 \parallel R_5)} = \frac{158 \times 0,91k}{3,5k + 158 \times 0,91k} = 0,976$$

$$R_4 \parallel R_5 = \frac{1 \times 10}{11} = 0,91k\Omega$$

**P4.** Să se repete analiza din problema P3, dacă TB este de tipul pnp (fig. TB4) și are parametrii:  $V_{EB}=0,74V$  și  $\beta=68$ .

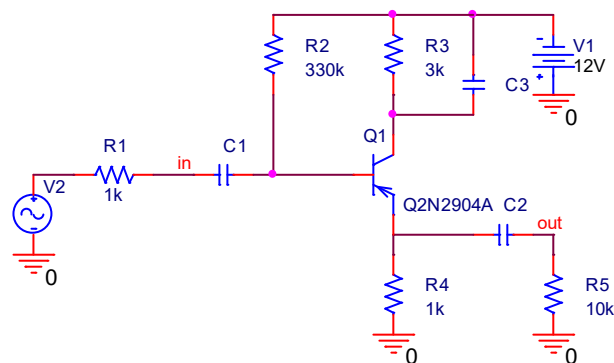


Fig. TB4.

### Rezolvare

a) Schema echivalentă de c.c. (fig. TB4-1)

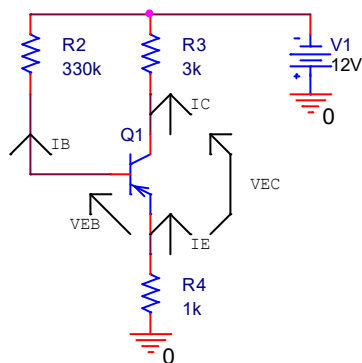


Fig. TB4-1.

$$V_1 = R_2 I_B + V_{EB} + R_4 I_E = V_{EB} + I_B [R_2 + (\beta + 1)R_4] \Rightarrow I_B = \frac{V_1 - V_{EB}}{R_2 + (\beta + 1)R_4}$$

$$I_B = \frac{12 - 0,74}{330k + 69k} = 28,2 \mu A$$

$$I_C = \beta I_B = 68 \times 0,0282 mA = 1,92 mA$$

$$I_E = (\beta + 1)I_B = 69 \times 0,0282 mA = 1,94 mA$$

$$V_{EC} = V_1 - R_3 I_C - R_4 I_E = 12 - 3,06 - 1,035 = 4,3V$$

$$PSF = \begin{cases} V_{EB} = 0,74V \\ I_B = 28,2 \mu A \\ I_C = 1,92 mA \\ V_{EC} = 4,3V \end{cases}$$

b) TB se află în conexiune CC deoarece semnalul se aplică în bază și se culege din emitor.

c) Schema echivalentă de c.a.(fig. TB4-2)

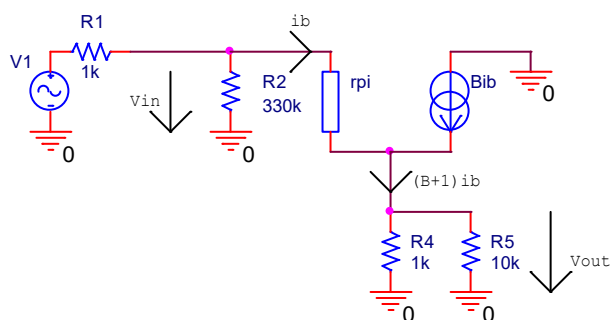


Fig. TB4-2.

$$r_{pi} = \frac{\beta}{40I_C} = \frac{68}{40 \times 1,92m} = 0,88k\Omega$$

$$A_v = \frac{V_{out}}{V_{in}}$$

$$V_{out} = (\beta + 1)i_b (R_4 \parallel R_5)$$

$$V_{in} = r_{pi}i_b + (\beta + 1)i_b (R_4 \parallel R_5)$$

$$A_v = \frac{(\beta + 1)(R_4 \parallel R_5)}{r_{pi} + (\beta + 1)(R_4 \parallel R_5)} = \frac{69 \times 0,91k}{0,88k + 69 \times 0,91k} = 0,986$$

$$R_4 \parallel R_5 = \frac{1 \times 10}{11} = 0,91k\Omega$$

**P5.** TB din fig. TB5 se caracterizează în PSF prin tensiune bază-emitor,  $V_{BE}=0,66V$  și factor de amplificare în curent,  $\beta=290$ . Se cer:

- PSF-ul TB;
- Conexiunea în care se află TB;
- Amplificarea în tensiune a circuitului. Condensatoarele reprezintă scurtcircuit.

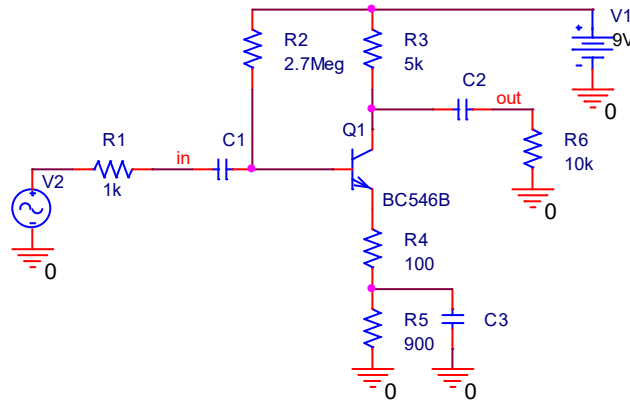


Fig. TB5.

### Rezolvare

- Schema echivalentă de c.c.

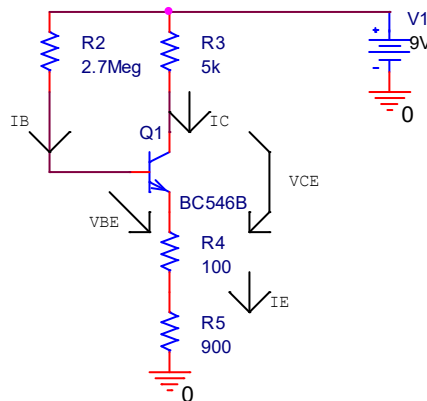


Fig. TB5-1.

$$I_B = \frac{V_1 - V_{BE}}{R_2 + (\beta + 1)(R_4 + R_5)} = \frac{9 - 0,66}{2700k + 291k} = 2,8\mu A$$

$$I_C = \beta I_B = 290 \times 0,0028mA = 0,812mA$$

$$I_E = (\beta + 1)I_B = 0,815mA$$

$$V_{CE} = V_1 - R_3 I_C - (R_4 + R_5) I_E = 9 - 4,06 - 0,815 = 4,125V$$

$$PSF = \begin{cases} V_{BE} = 0,66V \\ I_B = 2,8\mu A \\ I_C = 0,812mA \\ V_{CE} = 4,125V \end{cases}$$

- TB se află în conexiune EC deoarece semnalul se aplică în bază și se culege din colector.
- Schema echivalentă de c.a. (fig. TB5-2)

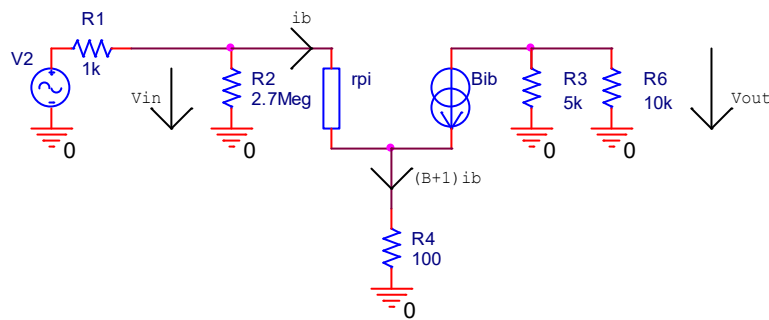


Fig. TB5-2.

$$r_{pi} = \frac{\beta}{40I_C} = \frac{290}{40 \times 0,812m} = 8,93k\Omega$$

$$A_v = \frac{V_{out}}{V_{in}}$$

$$V_{out} = -\beta i_b (R_3 \parallel R_6)$$

$$V_{in} = r_{pi} i_b + (\beta + 1) i_b R_4$$

$$A_v = \frac{-\beta (R_3 \parallel R_6)}{r_{pi} + (\beta + 1) R_4} = -\frac{290 \times 3,33k}{8,93k + 291 \times 0,1k} = -25,16$$

$$R_3 \parallel R_6 = \frac{5 \times 10}{15} = 3,33k\Omega$$

**P6.** Să se repete analiza din problema P5, dacă TB este de tipul pnp (fig. TB6) și are parametrii:  $V_{EB}=0,72V$  și  $\beta=220$ .

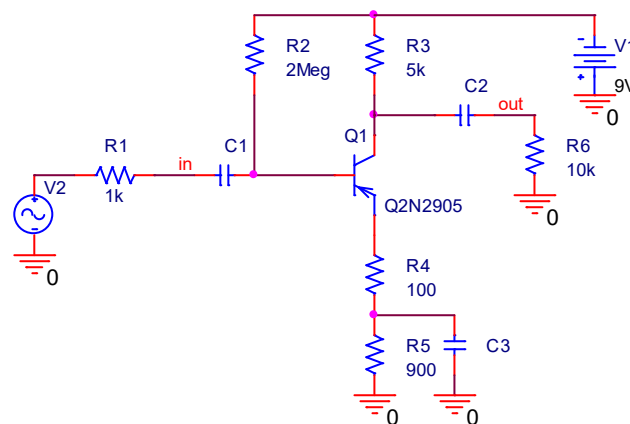


Fig. TB6.

## Rezolvare

a) Schema echivalentă de c.c. (fig. TB6-1)

$$I_B = \frac{V_1 - V_{EB}}{R_2 + (\beta + 1)(R_4 + R_5)} = \frac{9 - 0,72}{2700k + 221k} = 2,8\mu A$$

$$I_C = \beta I_B = 220 \times 0,0028mA = 0,616mA$$

$$I_E = (\beta + 1) I_B = 0,619mA$$

$$V_{EC} = V_1 - (R_4 + R_5) I_E - R_3 I_C = 9 - 0,619 - 3,08 = 5,3V$$



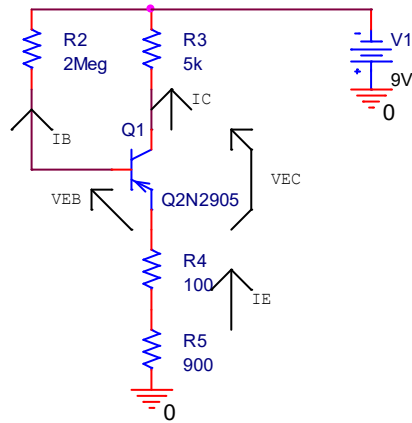


Fig. TB6-1.

$$PSF = \begin{cases} V_{EB} = 0,72V \\ I_B = 2,8\mu A \\ I_C = 0,616mA \\ V_{EC} = 5,3V \end{cases}$$

- b) TB se află în conexiune EC deoarece semnalul se aplică în bază și se culege din colector.
- c) Schema echivalentă de c.a. (fig. TB6-2)

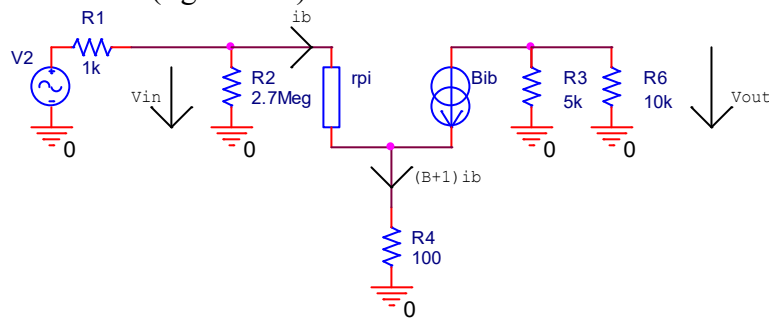


Fig. TB6-2.

$$r_{pi} = \frac{\beta}{40I_C} = \frac{220}{40 \times 0,616m} = 8,93k\Omega$$

$$A_v = \frac{V_{out}}{V_{in}}$$

$$V_{out} = -\beta i_b (R_3 \parallel R_6)$$

$$V_{in} = r_{pi} i_b + (\beta + 1) i_b R_4$$

$$A_v = \frac{-\beta (R_3 \parallel R_6)}{r_{pi} + (\beta + 1) R_4} = -\frac{220 \times 3,33k}{8,93k + 221 \times 0,1k} = -23,6$$

$$R_3 \parallel R_6 = \frac{5 \times 10}{15} = 3,33k\Omega$$

**P7.** Tranzistoarele din circuitul reprezentat în fig. TB7 se caracterizează în PSF prin  $V_{BE}=0,67V$  și factor de amplificare în curent,  $\beta=200$ . Să se determine:

- Motivați în ce conexiune este fiecare tranzistor;
- PSF-urile tranzistoarelor și parametrii de semnal mic;
- Amplificarea de semnal mic.

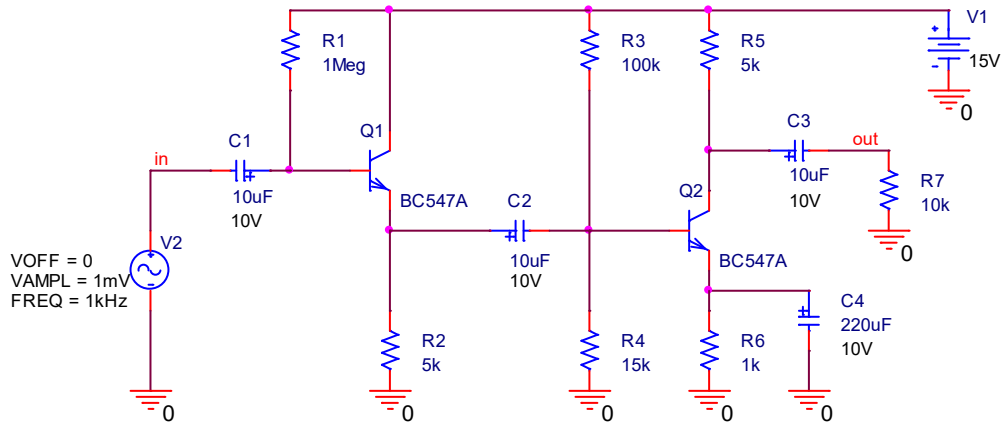


Fig. TB7.

**Rezolvare**

- a) La Q1 semnalul se aplică în bază și se culege din emitor (prin condensatorul de cuplaj C<sub>2</sub> semnalul trece în baza lui Q2), deci Q1 este în conexiune colector-comun (CC);  
La Q2 semnalul se aplică în bază și se culege din colector, prin intermediul condensatorului de cuplaj C<sub>3</sub>, deci Q2 se află în conexiune emitor-comun (EC).
- b) Cele 2 etaje de amplificare fiind separate în c.c. prin intermediul condensatorului de cuplaj dintre etaje, C<sub>2</sub>, PSF-urile se pot determina pe cele 2 etaje, analizate independent una de cealaltă pe schemele echivalente de c.c. din fig. TB7-1:
- c)

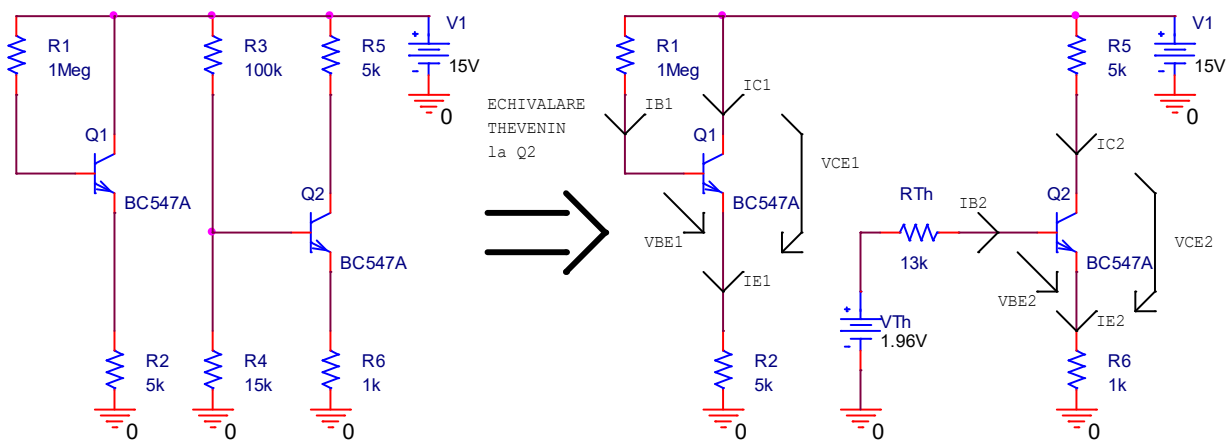


Fig. TB7-1.

- PSF la Q1

$$\left. \begin{aligned} V_1 &= I_{B1}R_1 + V_{BE1} + I_{E1}R_2 \\ I_{E1} &= (\beta + 1)I_{B1} \end{aligned} \right\} \Rightarrow V_1 = I_{B1}R_1 + V_{BE1} + (\beta + 1)I_{B1}R_2 \Rightarrow I_{B1} = \frac{V_1 - V_{BE1}}{R_1 + (\beta + 1)R_2}$$

$$I_{B1} = \frac{15 - 0,67}{1000k + 201 \times 5k} = 0,00715mA = 7,15\mu A$$

$$I_{C1} = \beta I_{B1} = 200 \times 0,00715m = 1,43mA$$

$$I_{E1} = (\beta + 1)I_{B1} = 1,44mA$$

$$V_{CE1} = V_1 - I_{E1}R_2 = 15 - 1,44m \times 5k = 7,8V$$

$$PSF_{Q1} = \begin{cases} V_{BE1} = 0,67V \\ I_{B1} = 7,15\mu A \\ I_{C1} = 1,43mA \\ V_{CE1} = 7,8V \end{cases}$$

- PSF la Q2

$$R_{Th} = R_3 \parallel R_4 = \frac{100k \times 15k}{115k} = 13k$$

$$V_{Th} = \frac{R_4}{R_3 + R_4} V_1 = \frac{15k}{115k} 15V = 1,96V$$

$$\left. \begin{aligned} V_{Th} &= I_{B2} R_{Th} + V_{BE2} + I_{E2} R_6 \\ I_{E2} &= (\beta + 1) I_{B2} \end{aligned} \right\} \Rightarrow V_{Th} = I_{B2} R_{Th} + V_{BE2} + (\beta + 1) I_{B2} R_6 \Rightarrow I_{B2} = \frac{V_{Th} - V_{BE2}}{R_{Th} + (\beta + 1) R_6}$$

$$I_{B2} = \frac{1,96 - 0,67}{13k + 201k} = 0,006mA = 6\mu A$$

$$I_{C2} = \beta I_{B2} = 200 \times 0,006mA = 1,2mA$$

$$I_{E2} = (\beta + 1) I_{B2} = 201 \times 0,006mA = 1,206mA \cong 1,2mA$$

$$V_{CE2} = V_1 - I_{C2} R_5 - I_{E2} R_6 \cong V_1 - I_{C2} (R_5 + R_6) = 15 - 1,2m \times 6k = 7,8V$$

$$PSF_{Q2} = \begin{cases} V_{BE2} = 0,67V \\ I_{B2} = 6\mu A \\ I_{C1} = 1,2mA \\ V_{CE1} = 7,8V \end{cases}$$

$$r_{pi1} = \frac{\beta}{40 I_{C1}} = \frac{200}{40 \times 1,43m} = 3,5k\Omega$$

$$r_{pi2} = \frac{\beta}{40 I_{C2}} = \frac{200}{40 \times 1,2m} = 4,2k\Omega$$

d) Amplificarea de semnal mic se determină pe schema echivalentă din fig. TB7-2:

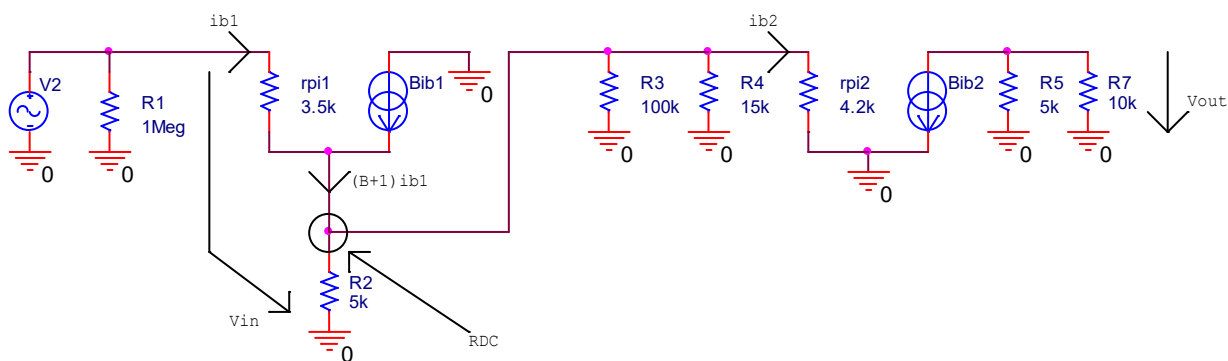


Fig. TB7-2.

$$A_v = \frac{V_{out}}{V_{in}}$$

$$V_{out} = -\beta i_{b2} (R_5 \parallel R_7)$$

Pentru a determina relația de legătură dintre  $i_{b2}$  și  $i_{b1}$  se aplică RDC în emitorul lui Q1. Circuitul se redesenează și are forma din fig. TB7-3:

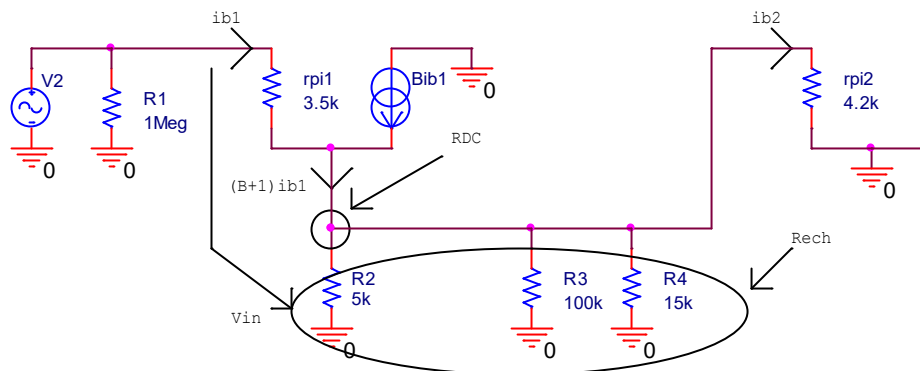


Fig. TB7-3.

$$R_{ech} = R_2 \parallel R_3 \parallel R_4 = \frac{1}{\frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \frac{1}{R_4}} = \frac{1}{\frac{1}{5k} + \frac{1}{100k} + \frac{1}{15k}} = 3,6k$$

$$\text{RDC: } i_{b2} = \frac{R_{ech}}{r_{pi2} + R_{ech}} (\beta + 1) i_{b1}$$

Pentru a deduce relația lui  $i_{b1}$  se efectuează analiza pe circuitul din fig. TB7-4:

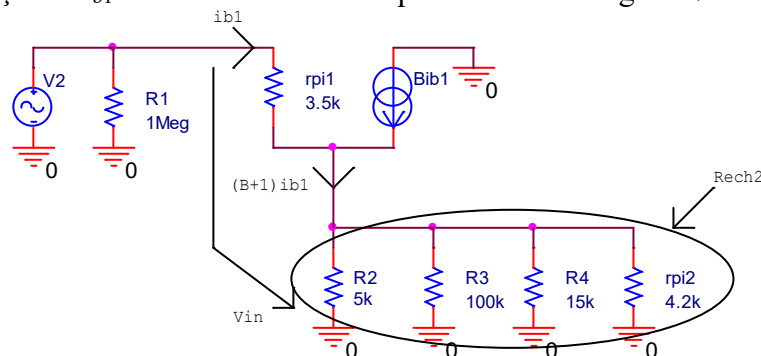


Fig. TB7-4.

$$R_{ech2} = R_{ech} \parallel r_{pi2} = \frac{3,6k \times 4,2k}{7,8k} = 1,94k$$

$$i_{b1} = \frac{V_{in}}{r_{pi1} + (\beta + 1) R_{ech2}}$$

Prin înlocuiri succesive, se obține:

$$A_v = -\beta (R_5 \parallel R_7) \times \frac{R_{ech}}{r_{pi2} + R_{ech}} (\beta + 1) \times \frac{1}{r_{pi1} + (\beta + 1) R_{ech2}}$$

$$A_v = -200 \times 3,33k \times \frac{3,6k}{7,8k} \times 201 \times \frac{1}{3,5k + 201 \times 1,94k} = -157$$

**P8.** În PSF tranzistoarele din fig. TB8 se caracterizează prin  $V_{BE}=0,65V$  și  $\beta=150$ .

Să se determine:

- valorile din PSF și parametrii de semnal mic. Se neglijează  $I_{B1}$  față de curentul prin divizorul format din  $R_1$  și  $R_2$ ,  $I_{B2}$  față de  $I_{C1}$  și curenții de bază față de cei de colector, situație în care se consideră  $I_E=I_C$  la fiecare tranzistor ( $I_{E1}=I_{C1}=I_1$ , respectiv  $I_{E2}=I_{C2}=I_2$ );
- amplificarea în tensiune a circuitului;
- în ce conexiune este fiecare tranzistor.

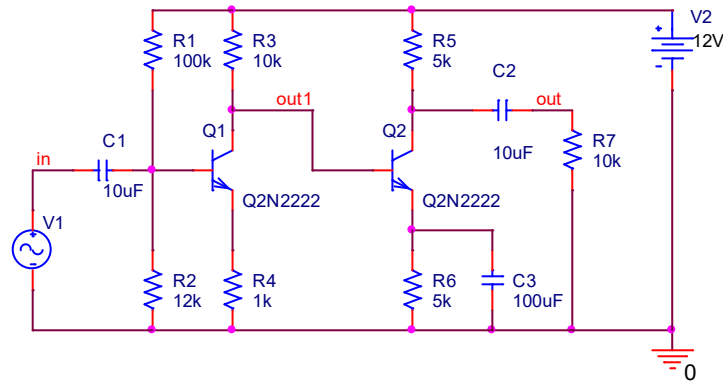


Fig. TB8.

**Rezolvare**

a) Schema echivalentă de c.c. (fig. TB8-1)

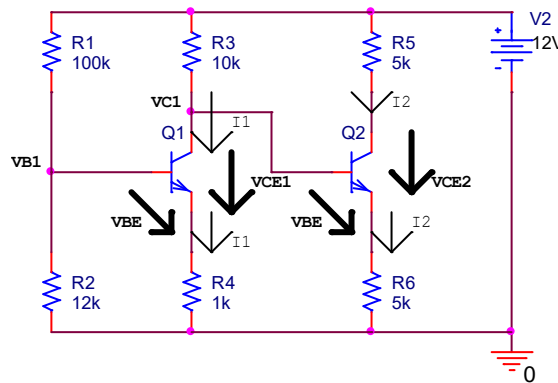


Fig. TB8-1.

La fiecare tranzistor, considerând  $I_E \cong I_C$  rezultă că prin  $Q_1$  curentul este  $I_1$ , respectiv  $I_2$  prin  $Q_2$ .

$$V_{B1} = \frac{R_2}{R_1 + R_2} V_2 = \frac{12k}{112k} 12V = 1,28V$$

T II K pe ochiul care conține  $V_{B1}$ ,  $V_{BE}$  a lui  $Q_1$  și  $R_4$  se scrie:

$$V_{B1} = V_{BE} + I_1 R_4 \Rightarrow I_1 = \frac{V_{B1} - V_{BE}}{R_4} = \frac{1,28 - 0,65}{1k} = 0,63mA$$

$$\text{Rezultă: } I_{B1} = \frac{I_1}{\beta} = \frac{0,63mA}{150} = 4,2\mu A$$

Asemănător, dacă se cunoaște potențialul din colectorul lui  $Q_1$  egal cu cel din baza lui  $Q_2$ , se poate determina  $I_2$ .

$$V_2 = I_1 R_3 + V_{C1} \Rightarrow V_{C1} = V_2 - I_1 R_3 = 12 - 0,63mA \times 10k = 5,7V$$

T II K pe ochiul care conține  $V_{C1}$ ,  $V_{BE}$  a lui  $Q_2$  și  $R_6$  se scrie:

$$V_{C1} = V_{BE} + I_2 R_6 \Rightarrow I_2 = \frac{V_{C1} - V_{BE}}{R_6} = \frac{5,7 - 0,65}{5k} = 1,01mA$$

$$\text{Rezultă: } I_{B2} = \frac{I_2}{\beta} = \frac{1,01mA}{150} = 6,7\mu A$$

T II K aplicată pe ochiurile de circuit care conțin tensiunile colector-emitor,  $V_{CE1}$ , respectiv  $V_{CE2}$  permite determinarea tensiunilor colector-emitor:

$$V_{CE1} = V_2 - I_1 (R_3 + R_4) = 12V - 0,63mA \times 11k = 5,07V$$

$$V_{CE2} = V_2 - I_2 (R_5 + R_6) = 12V - 1,01mA \times 10k = 1,9V$$

După calculul aproximativ, PSF-urile celor două tranzistoare se caracterizează prin:

$$PSF_1 = \begin{cases} V_{BE} = 0,65V \\ I_{B1} = 4,2\mu A \\ I_{C1} = 0,63mA \\ V_{CE1} = 5,07V \end{cases}, \text{ respectiv } PSF_2 = \begin{cases} V_{BE} = 0,65V \\ I_{B2} = 6,7\mu A \\ I_{C2} = 1,01mA \\ V_{CE2} = 1,9V \end{cases}$$

Parametrii de semnal mic sunt:

$$r_{pi1} = \frac{\beta}{40I_1} = \frac{150}{40 \times 0,63m} = 5,95k\Omega$$

$$r_{pi2} = \frac{\beta}{40I_2} = \frac{150}{40 \times 1,01m} = 3,7k\Omega$$

b) Calculul amplificării în tensiune se determină pe schema echivalentă de semnal mic (c.a.) din fig. TB8-2:

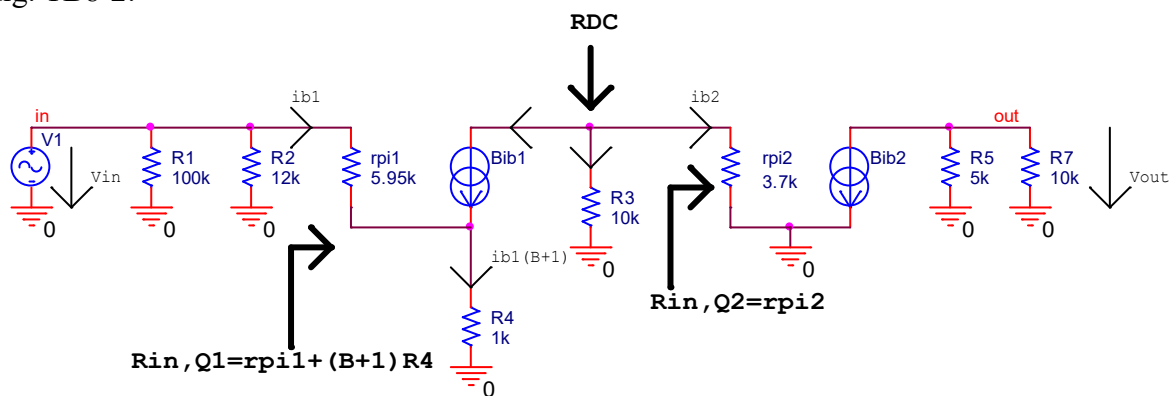


Fig. TB8-2.

$$A_v = \frac{V_{out}}{V_{in}} \quad (1)$$

$$V_{out} = -\beta i_{b2} (R_5 \parallel R_7) \quad (2)$$

În nodul comun colectorului lui Q<sub>1</sub> și baza lui Q<sub>2</sub> se poate aplica RDC pentru a găsi o relație între  $i_{b2}$  și  $i_{b1}$ :

$$i_{b2} = \frac{R_3}{R_3 + R_{in,Q2}} (-\beta i_{b1}) = \frac{R_3}{R_3 + r_{pi2}} (-\beta i_{b1}) \quad (3)$$

$$i_{b1} = \frac{V_{in}}{R_{in,Q1}} = \frac{V_{in}}{r_{pi1} + (\beta + 1)R_4} \quad (4)$$

Se înlocuiește  $i_{b1}$  din rel. (4) în rel. (3), apoi  $i_{b2}$  din (3) în (2) și apoi  $V_{out}$  din (2) în (1) și rezultă relația amplificării în tensiune:

$$A_v = \left[ -\beta (R_5 \parallel R_7) \right] \frac{R_3}{R_3 + r_{pi2}} (-\beta) \frac{1}{r_{pi1} + (\beta + 1)R_4} = \frac{\beta^2 (R_5 \parallel R_7) R_3}{(R_3 + r_{pi2}) [r_{pi1} + (\beta + 1)R_4]}$$

$$R_5 \parallel R_7 = \frac{R_5 R_7}{R_5 + R_7} = \frac{5k \times 10k}{15k} = 3,33k$$

$$A_v = \frac{150^2 \times 3,33k \times 10k}{(10k + 3,7k) [5,95k + (150 + 1)1k]} = 348,45$$

**P9.** Tranzistoarele pnp din fig. TB9 se caracterizează în PSF prin:  $V_{EB}=0,7V$  și  $\beta=175$ . Dacă semnalul de intrare are amplitudinea de 1mV să se determine amplitudinea semnalului de ieșire.

Se va face calculul aproximativ (se neglijează  $I_B$  față de  $I_C$  la fiecare tranzistor și  $I_{B1}$  față de curentul prin divizorul  $R_1, R_2$ ).

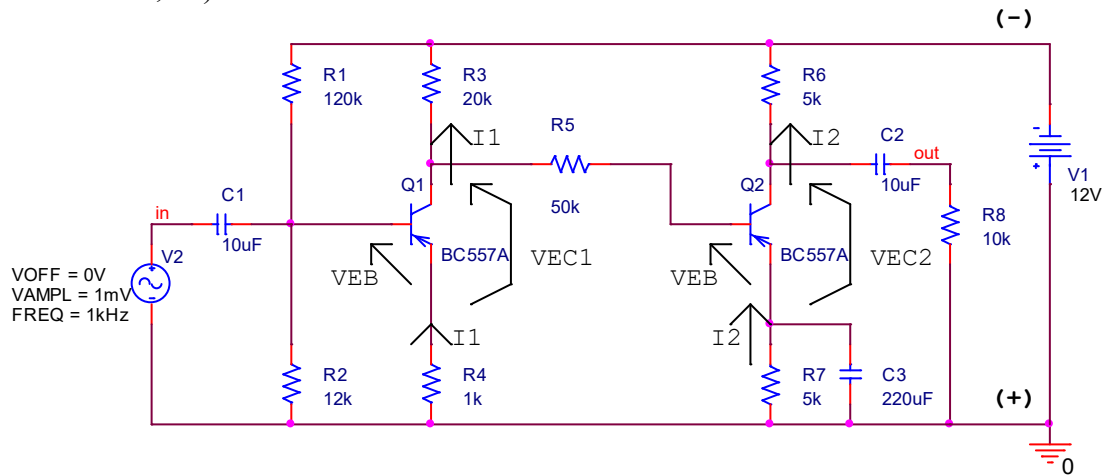


Fig. TB9.

### Rezolvare

Cu notațiile de pe fig. TB9 și ținând seama de aproximarea propusă în enunțul problemei se obține:

$$\frac{R_2}{R_1 + R_2} V_1 = I_1 R_4 + V_{EB} \Rightarrow I_1 = \frac{\frac{R_2}{R_1 + R_2} V_1 - V_{EB}}{R_4} = \frac{\frac{12k}{132k} 12 - 0,7}{1k} = 0,39mA$$

$$V_1 - I_1 R_3 = I_2 R_7 + V_{EB} \Rightarrow I_2 = \frac{V_1 - I_1 R_3 - V_{EB}}{R_7} = \frac{12 - 0,39m \times 20k - 0,7}{5k} = 0,7mA$$

Parametrii de semnal mic sunt:

$$r_{\pi 1} = \frac{\beta}{40 I_1} = \frac{175}{40 \times 0,39} = 11,2k\Omega$$

$$r_{\pi 2} = \frac{\beta}{40 I_2} = \frac{175}{40 \times 0,7} = 6,2k\Omega$$

Schema echivalentă de c.a. are forma din fig. TB9-1

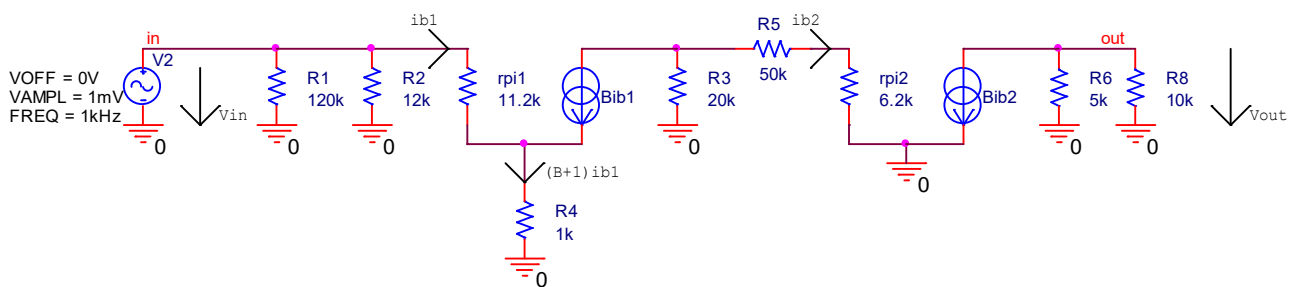


Fig. TB9-1.

$$V_{out} = -\beta i_{b2} (R_6 \parallel R_8)$$

$$i_{b2} = \frac{R_3}{R_3 + R_5 + r_{pi2}} (-\beta i_{b1})$$

$$i_{b1} = \frac{V_{in}}{r_{pi1} + (\beta + 1) R_4}$$

$$A_v = \beta(R_6 \parallel R_8) \times \frac{\beta R_3}{R_3 + R_5 + r_{pi2}} \times \frac{1}{r_{pi1} + (\beta + 1)R_4} = 175 \times 3,3k \times \frac{175 \times 20k}{20k + 50k + 6,2k} \times \frac{1}{11,2k + 176k} = 141,7$$

$$R_6 \parallel R_8 = \frac{5 \times 10}{15} = 3,3k$$

$$V_{out} = A_v \times V_{in} = 141,7 \times 1mV = 141,7mV$$



### III. PROBLEME CU TRANZISTOARE CU EFECT DE CÂMP

#### Probleme cu TEC-J

**P1.** TEC-J din fig. P1-1 se caracterizează prin tensiune de prag,  $V_{GS(off)} = -2V$  și curent drenă-sursă cu poarta scurtcircuitată la sursă,  $I_{DSS} = 6mA$ . Să se determine:

- PSF-ul tranzistorului;
- Conexiunea în care se află tranzistorul. Motivați;
- Amplificarea în tensiune a circuitului (condensatoarele se consideră scurtcircuit).

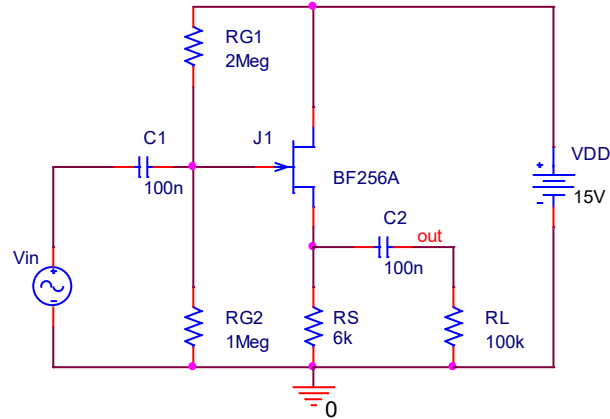


Fig. P1-1.

#### Rezolvare

a) PSF-ul se determină pe schema echivalentă de c.c. din fig. P1-2:

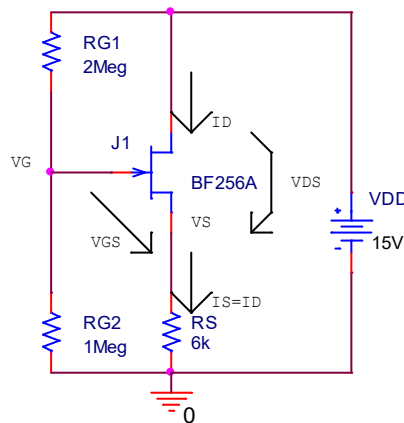


Fig. P1-2.

- Ecuția de circuit:  $V_{GS} = V_G - V_S$

$$V_G = \frac{R_{G2}}{R_{G1} + R_{G2}} V_{DD} = \frac{1M}{1M + 2M} 15V = 5V$$

$$V_S = I_S R_S = I_D R_S = 6I_D$$

$$\Rightarrow V_{GS} = 5 - 6I_D$$

Obs.  $R_S$  este exprimat în  $k\Omega$ . Rezultă că  $I_D$  va fi exprimat în mA.

- Ecuția de dispozitiv:  $I_D = I_{DSS} \left( 1 - \frac{V_{GS}}{V_{GS(off)}} \right)^2$

$$I_D = 6 \left( 1 - \frac{5 - 6I_D}{-2} \right)^2 = 6 \left( 1 + \frac{5 - 6I_D}{2} \right)^2 = 6 \frac{(7 - 6I_D)^2}{4}$$

$$2I_D = 3(49 - 84I_D + 36I_D^2)$$

$$108I_D^2 - 254I_D + 147 = 0$$

$$I_{D1,2} = \frac{254 \pm \sqrt{254^2 - 4 \times 108 \times 147}}{216} = \frac{254 \pm 31.8}{216} \Rightarrow \begin{cases} I_{D1} = 1.32mA \\ I_{D2} = 1.03mA \end{cases}$$

Se alege acea valoare a curentului de drenă pentru care este satisfăcută relația:  $|V_{GS}| \ll |V_{GS(off)}|$

$$V_{GS1} = 5 - 6k \times 1.32mA = -2.92V \rightarrow |V_{GS1}| \gg |V_{GS(off)}|$$

$$V_{GS2} = 5 - 6k \times 1.03mA = -1.18V \rightarrow |V_{GS2}| \ll |V_{GS(off)}| \Rightarrow I_D = I_{D2} = 1.03mA$$

$$V_{DS} = V_{DD} - R_S I_D = 15V - 6k \times 1.03mA = 8.82V$$

$$\Rightarrow PSF = \begin{cases} V_{GS} = -1.18V \\ I_D = 1.03mA \\ V_{DS} = 8.82V \end{cases}$$

b) Tranzistorul este în conexiune drenă-comună, deoarece semnalul se aplică în poartă și se culege din sursă.

c) Amplificarea se determină pe schema echivalentă de semnal mic din fig. P1-3:

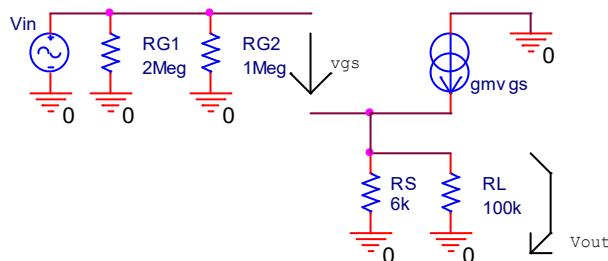


Fig. P1-3.

$$A_v = \frac{V_{out}}{V_{in}}$$

$$V_{out} = g_m v_{gs} (R_S \parallel R_L)$$

$$V_{in} = v_{gs} + g_m v_{gs} (R_S \parallel R_L) \Rightarrow v_{gs} = \frac{V_{in}}{1 + g_m (R_S \parallel R_L)}$$

$$A_v = \frac{g_m (R_S \parallel R_L)}{1 + g_m (R_S \parallel R_L)} = \frac{2.46m \times 5.66k}{1 + 2.46m \times 5.66k} = 0.933$$

$$g_m = \frac{2I_{DSS}}{|V_{GS(off)}|} \left( 1 - \frac{V_{GS}}{V_{GS(off)}} \right) = \frac{2 \times 6m}{2} \left( 1 - \frac{-1.18}{-2} \right) = 2.46mS$$

$$R_S \parallel R_L = \frac{6k \times 100k}{106k} = 5.66k$$

Obs. Amplificarea în tensiune este aproximativ egală cu unitatea (1), de unde provine și denumirea de repetor pe sursă dată acestui amplificator.

**P2.** TEC-J din fig. P2-1 se caracterizează prin tensiune de prag,  $V_{GS(off)} = -2V$  și curent drenă-sursă cu poarta scurtcircuitată la sursă,  $I_{DSS} = 6mA$ . Să se determine:

- PSF-ul tranzistorului;
- Conexiunea în care se află tranzistorul. Motivați;
- Amplificarea în tensiune a circuitului (condensatoarele se consideră scurtcircuit).

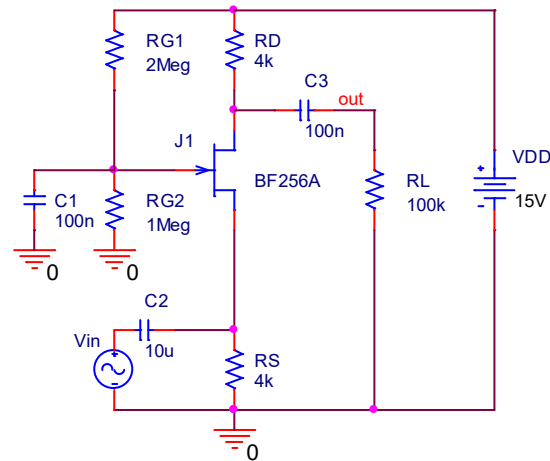


Fig. P2-1.

**Rezolvare**

a) PSF-ul se determină pe schema echivalentă de c.c. din fig. P2-2:

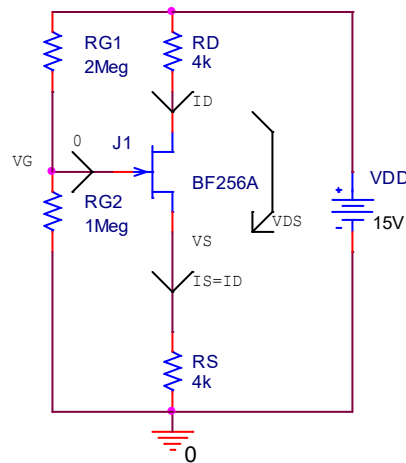


Fig. P2-2.

- Ecuația de circuit:  $V_{GS} = V_G - V_S$

$$V_G = \frac{R_{G2}}{R_{G1} + R_{G2}} V_{DD} = \frac{1M}{1M + 2M} 15V = 5V$$

$$V_S = I_S R_S = I_D R_S = 4I_D$$

$$\Rightarrow V_{GS} = 5 - 4I_D$$

Obs.  $R_S$  este exprimat în  $k\Omega$ . Rezultă că  $I_D$  va fi exprimat în mA.

- Ecuația de dispozitiv:  $I_D = I_{DSS} \left( 1 - \frac{V_{GS}}{V_{GS(off)}} \right)^2$

$$I_D = 6 \left( 1 - \frac{5 - 4I_D}{-2} \right)^2 = 6 \left( 1 + \frac{5 - 4I_D}{2} \right)^2 = 6 \frac{(7 - 4I_D)^2}{4}$$

$$2I_D = 3(49 - 56I_D + 16I_D^2)$$

$$48I_D^2 - 170I_D + 147 = 0$$

$$I_{D1,2} = \frac{170 \pm \sqrt{170^2 - 4 \times 48 \times 147}}{96} = \frac{170 \pm 26}{96} \Rightarrow \begin{cases} I_{D1} = 2.04mA \\ I_{D2} = 1.5mA \end{cases}$$

Se alege cea valoare a curentului de drenă pentru care este satisfăcută relația:  $|V_{GS}| < |V_{GS(off)}|$

$$V_{GS1} = 5 - 4k \times 2.04mA = -3.16V \rightarrow |V_{GS1}| > |V_{GS(off)}|$$

$$V_{GS2} = 5 - 4k \times 1.5mA = -1V \rightarrow |V_{GS2}| = |V_{GS(off)}| \Rightarrow I_D = I_{D2} = 1.5mA$$

$$V_{DS} = V_{DD} - R_D I_D - R_S I_D = 15V - 4k \times 1.5mA - 4k \times 1.5mA = 3V$$

Obs. Tranzistorul lucrează ca amplificator dacă PSF-ul este în regiunea de saturație, adică dacă  $V_{DS}$  satisface relația:  $V_{DS} \geq (V_{GS} - V_{GS(off)})$ . Se observă că  $V_{DS} = 3V > [-1 - (-2)] = 1V$  deci TEC-MOS poate lucra ca amplificator.

$$\Rightarrow PSF = \begin{cases} V_{GS} = -1V \\ I_D = 1.5mA \\ V_{DS} = 3V \end{cases}$$

b) Tranzistorul este în conexiune poartă-comună, deoarece semnalul se aplică în sursă și se culege din drenă.

c) Amplificarea se determină pe schema echivalentă de semnal mic din fig. P2-3:

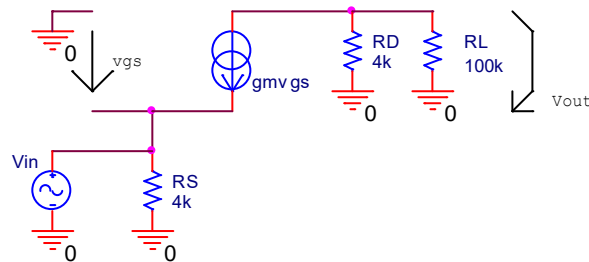


Fig. P2-3.

$$A_v = \frac{V_{out}}{V_{in}}$$

$$V_{out} = -g_m v_{gs} (R_D \parallel R_L)$$

$$V_{in} = -v_{gs}$$

$$\Rightarrow A_v = g_m (R_D \parallel R_L) = 3 \times 10^{-3} \times 3.85 \times 10^3 = 11.5$$

$$g_m = \frac{2I_{DSS}}{|V_{GS(off)}|} \left( 1 - \frac{V_{GS}}{V_{GS(off)}} \right) = \frac{2 \times 6m}{2} \left( 1 - \frac{-1}{-2} \right) = 3mS$$

$$R_D \parallel R_L = \frac{4k \times 100k}{104k} = 3.85k$$

### Probleme cu TEC-MOS cu canal indus

**P3.** Tranzistorul din fig. P3-1 se caracterizează prin tensiune de prag  $V_{GS(th)}=2V$ , curent de drenă în starea ON,  $I_{D(ON)}=75mA$  determinat pentru  $V_{GS}=4,5V$  (conform foilor de catalog). Să se determine:

- PSF-ul tranzistorului;
- Conexiunea în care se află tranzistorul. Motivați;
- Amplificarea în tensiune a circuitului (condensatoarele se consideră scurtcircuit).

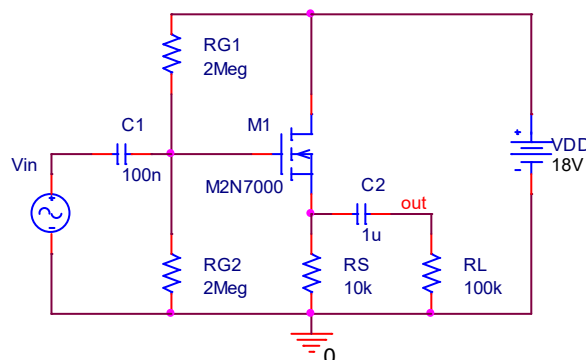


Fig. P3-1.

**Rezolvare**

a) Relația curentului de drenă se poate pune sub forma:

$$I_D = \frac{1}{2} k_n' \frac{W}{L} (V_{GS} - V_{GS(th)})^2 = K_n (V_{GS} - V_{GS(th)})^2, \text{ unde } K_n \text{ este parametrul de conducție.}$$

Cu datele din foile de catalog se poate determina parametrul de conducție,  $K_n$ :

$$I_{D(on)} = K_n (V_{GS} - V_{GS(th)})^2 \text{ de unde}$$

$$K_n = \frac{I_{D(on)}}{(V_{GS} - V_{GS(th)})^2} = \frac{75}{(4,5 - 2)^2} = \frac{75}{6,25} = 12 \text{ mA/V}^2$$

$$V_{GS} = V_G - V_S \text{ (fig. P3-2)}$$

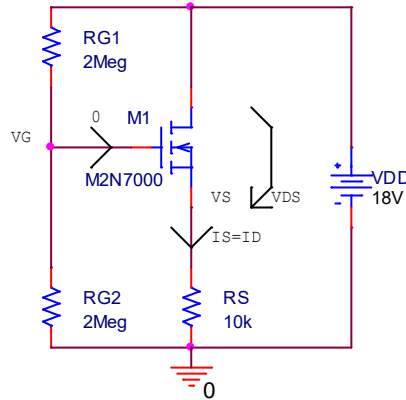


Fig. P3-2.

$$V_G^{RDT} = \frac{R_{G2}}{R_{G1} + R_{G2}} V_{DD} = \frac{2}{4} \times 18 = 9 \text{ [V]}$$

$$V_S = R_S I_D = 10 I_D$$

Obs.  $R_S$  este exprimat în  $k\Omega$ . Rezultă că  $I_D$  va fi exprimat în mA.

$$\Rightarrow V_{GS} = 9 - 10 I_D$$

$$I_D = K_n (V_{GS} - V_{GS(th)})^2 = 12(9 - 10 I_D - 2)^2 = 12(7 - 10 I_D)^2$$

$$I_D = 1200 I_D^2 - 1680 I_D + 588$$

$$1200 I_D^2 - 168 I_D + 588 = 0$$

$$I_{D1,2} = \frac{1681 \pm \sqrt{1681^2 - 4 \times 1200 \times 588}}{2400} = \frac{1681 \pm 58}{2400} \Rightarrow \begin{cases} I_{D1} = 0,72 \text{ mA} \\ I_{D2} = 0,68 \text{ mA} \end{cases}$$

Se alege acea valoare a curentului  $I_D$  pentru care se îndeplinește condiția  $V_{GS} > V_{GS(th)}$ :

$$V_{GS1} = 9 - 10 \times 0,72 = 1,8 \text{ V} < V_{GS(th)} = 2 \text{ V}$$

$$V_{GS2} = 9 - 10 \times 0,68 = 2,2 \text{ V} > V_{GS(th)} = 2 \text{ V} \Rightarrow I_D = 0,68 \text{ mA}$$

$$V_{DS} = V_{DD} - R_S I_D = 18 - 10 \text{ k} \times 0,68 \text{ mA} = 11,2 \text{ V}$$

$$\Rightarrow PSF = \begin{cases} V_{GS} = 2,2 \text{ V} \\ I_D = 0,68 \text{ mA} \\ V_{DS} = 11,2 \text{ V} \end{cases}$$

b) Tranzistorul este în conexiune drenă-comună, deoarece semnalul se aplică în poartă și se culege din sursă.

c) Amplificarea se determină pe schema echivalentă de semnal mic din fig. P3-3:

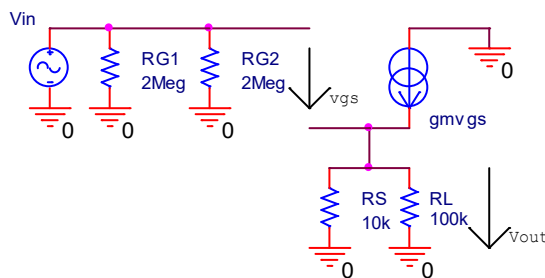


Fig. P3-3.

$$A_v = \frac{V_{out}}{V_{in}}$$

$$V_{out} = g_m v_{gs} (R_S \parallel R_L)$$

$$V_{in} = v_{gs} + g_m v_{gs} (R_S \parallel R_L) \Rightarrow v_{gs} = \frac{V_{in}}{1 + g_m (R_S \parallel R_L)}$$

$$A_v = \frac{g_m (R_S \parallel R_L)}{1 + g_m (R_S \parallel R_L)} = \frac{4,8m \times 9,1k}{1 + 4,8m \times 9,1k} = 0,977$$

$$g_m = 2K_n (V_{GS} - V_P) = 2 \times 12(2,2 - 2) = 4,8mS$$

$$R_S \parallel R_L = \frac{10k \times 100k}{110k} = 9,1k$$

Obs. Amplificarea în tensiune este aproximativ egală cu unitatea (1), de unde provine și denumirea de repetor pe sursă dată acestui amplificator.

**P4.** Tranzistorul din fig. P4-1 se caracterizează prin tensiune de prag  $V_{GS(th)}=0,5V$ , curent de drenă în starea ON,  $I_{D(ON)}=1A$  determinat pentru  $V_{GS}=4,5V$  (conform foilor de catalog). Să se determine:

- PSF-ul tranzistorului;
- Conexiunea în care se află tranzistorul. Motivați;
- Amplificarea în tensiune a circuitului pentru fiecare din cele 2 ieșiri (**out1** respectiv **out2**). Condensatoarele se consideră scurtcircuit.

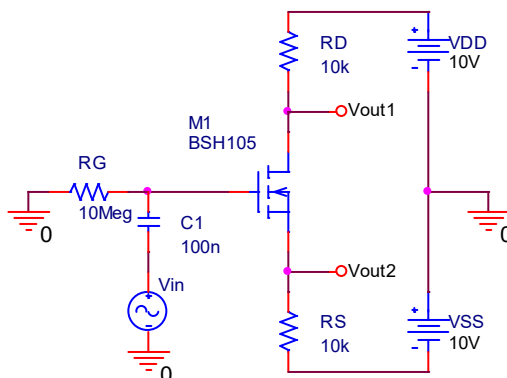


Fig. P4-1.

### Rezolvare

a) Relația curentului de drenă se poate pune sub forma:

$$I_D = \frac{1}{2} k_n' \frac{W}{L} (V_{GS} - V_{GS(th)})^2 = K_n (V_{GS} - V_{GS(th)})^2, \text{ unde } K_n \text{ este } \textit{parametrul de conducție}.$$

Cu datele din foile de catalog se poate determina parametrul de conducție,  $K_n$ :

$$I_{D(on)} = K_n (V_{GS} - V_{GS(th)})^2 \text{ de unde}$$

$$K_n = \frac{I_{D(on)}}{(V_{GS} - V_{GS(th)})^2} = \frac{1000}{(4,5 - 0,5)^2} = \frac{1000}{16} = 62,5 \text{ mA/V}^2$$

$$V_{GS} = V_G - V_S \text{ (fig. P4-2)}$$

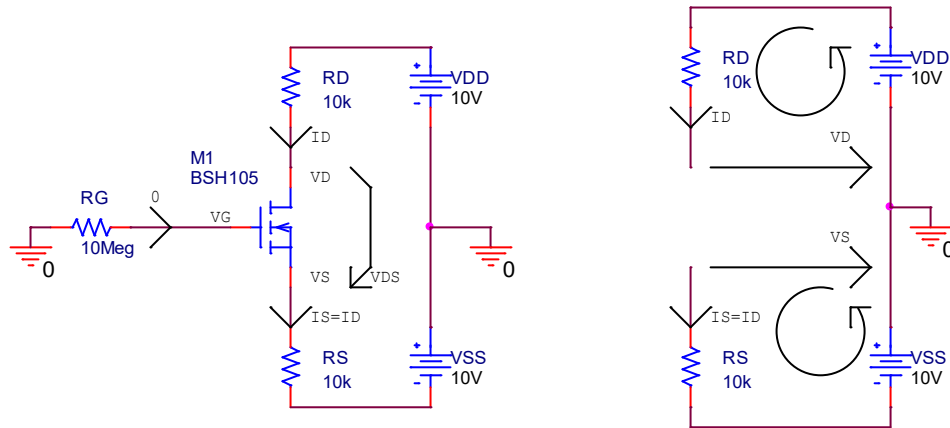


Fig. P4-2.

$$I_G = 0 \Rightarrow V_G = 0$$

$$V_{SS} = -V_S + R_S I_D \Rightarrow V_S = R_S I_D - V_{SS} = 10 I_D - 10$$

Obs.  $R_S$  este exprimat în  $k\Omega$ . Rezultă că  $I_D$  va fi exprimat în mA.

$$\Rightarrow V_{GS} = 10 - 10 I_D$$

$$I_D = K_n (V_{GS} - V_{GS(th)})^2 = 62,5 (10 - 10 I_D - 0,5)^2 = 62,5 (9,5 - 10 I_D)^2$$

$$I_D = 6250 I_D^2 - 11875 I_D + 5640,625$$

$$6250 I_D^2 - 11876 I_D + 5641 = 0$$

$$I_{D1,2} = \frac{11876 \pm \sqrt{11876^2 - 4 \times 6250 \times 5641}}{12500} = \frac{11876 \pm 120}{12500} \Rightarrow \begin{cases} I_{D1} = 0,96 \text{ mA} \\ I_{D2} = 0,94 \text{ mA} \end{cases}$$

Se alege cea valoare a curentului  $I_D$  pentru care se îndeplinește condiția  $V_{GS} > V_{GS(th)}$ :

$$V_{GS1} = 10 - 10 \times 0,96 = 0,4 \text{ V} < V_{GS(th)} = 0,5 \text{ V}$$

$$V_{GS2} = 10 - 10 \times 0,94 = 0,6 \text{ V} > V_{GS(th)} = 0,5 \text{ V} \Rightarrow I_D = 0,94 \text{ mA}$$

$$V_{DS} = V_{DD} + V_{SS} - R_D I_D - R_S I_D = 20 - 10k \times 0,94 \text{ mA} - 10k \times 0,94 \text{ mA} = 20 - 18,8 = 1,2 \text{ V}$$

$$\Rightarrow PSF = \begin{cases} V_{GS} = 0,6 \text{ V} \\ I_D = 0,94 \text{ mA} \\ V_{DS} = 1,2 \text{ V} \end{cases}$$

b) Tranzistorul este în conexiune:

- sursă-comună dacă ieșirea este **out1**, deoarece semnalul se aplică în poartă și se culege din drenă, respectiv
- drenă-comună dacă ieșirea este **out2**, deoarece semnalul se aplică în poartă și se culege din sursă.

c) Amplificările se determină pe schema echivalentă de semnal mic din fig. P4-3:

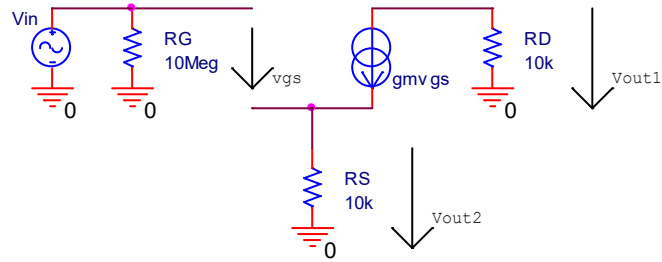


Fig. P4-3.

$$A_{v1} = \frac{V_{out1}}{V_{in}}$$

$$V_{out1} = -g_m v_{gs} R_D$$

$$V_{in} = v_{gs} + g_m v_{gs} R_S = v_{gs} (1 + g_m R_S) \Rightarrow v_{gs} = \frac{V_{in}}{1 + g_m R_S}$$

$$A_{v1} = -\frac{g_m R_D}{1 + g_m R_S} = -\frac{12,5m \times 10k}{1 + 12,5m \times 10k} = -0,992 \cong -1$$

$$A_{v2} = \frac{V_{out2}}{V_{in}}$$

$$V_{out2} = g_m R_S$$

$$A_{v2} = \frac{g_m R_S}{1 + g_m R_S} = \frac{12,5m \times 10k}{1 + 12,5m \times 10k} = 0,992 \cong 1$$

$$g_m = 2K_n (V_{GS} - V_{GS(th)}) = 2 \times 62,5(0,6 - 0,5) = 12,5mS$$

### Probleme cu TEC-MOS cu canal inițial

**P5.** TEC-MOS cu canal inițial din fig. P5-1 se caracterizează prin  $V_{GS(off)} = -3V$  și  $I_{DSS} = 9mA$ . Să se determine:

- PSF-ul tranzistorului;
- Conexiunea în care se află tranzistorul. Motivați;
- Amplificarea în tensiune a circuitului în 2 cazuri: cu și fără  $C_3$  (condensatoarele se consideră scurtcircuit).

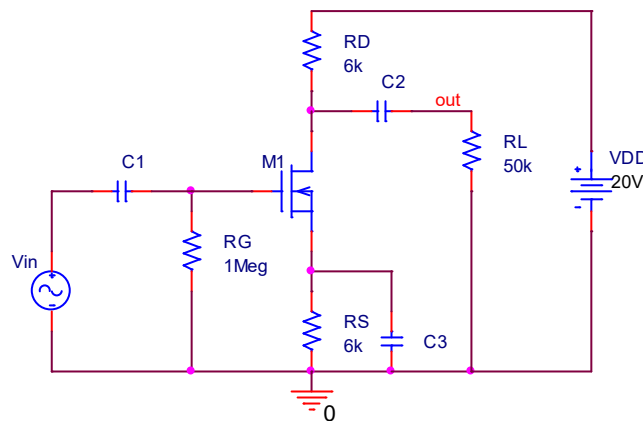


Fig. P5-1.

### Rezolvare

- PSF-ul tranzistorului se determină pe schema echivalentă de c.c. din fig. P5-2:



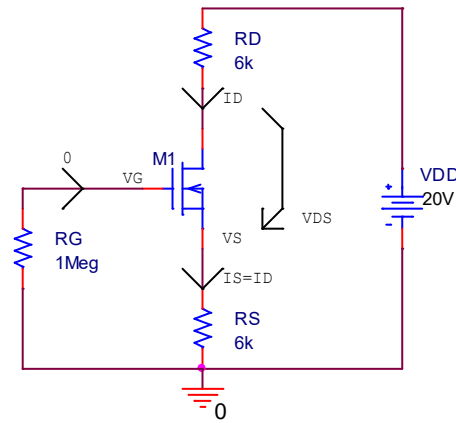


Fig. P5-2.

$$I_G = 0 \Rightarrow V_G = 0$$

$$V_S = R_S I_D = 6I_D$$

Obs.  $R_S$  este exprimat în  $k\Omega$ . Rezultă că  $I_D$  va fi exprimat în  $mA$ .

$$\Rightarrow V_{GS} = 0 - 6I_D = -6I_D$$

$$I_D = I_{DSS} \left( 1 - \frac{V_{GS}}{V_{GS(off)}} \right)^2 = 9 \left( 1 - \frac{-6I_D}{-3} \right)^2 = 9 \frac{(3 - 6I_D)^2}{9} = 9(1 - 2I_D)^2$$

$$I_D = 36I_D^2 - 36I_D + 9$$

$$36I_D^2 - 37I_D + 9 = 0$$

$$I_{D1,2} = \frac{37 \pm \sqrt{37^2 - 4 \times 36 \times 9}}{72} = \frac{37 \pm 8,5}{72} \Rightarrow \begin{cases} I_{D1} = 0,632mA \\ I_{D2} = 0,396mA \end{cases}$$

Se alege acea valoare a curentului de drenă pentru care este satisfăcută relația:  $|V_{GS}| < |V_{GS(off)}|$

$$V_{GS1} = -6k \times 0,632mA = -3,79V \rightarrow |V_{GS1}| > |V_{GS(off)}|$$

$$V_{GS2} = -6k \times 0,396mA = -2,38V \rightarrow |V_{GS2}| < |V_{GS(off)}| \Rightarrow I_D = I_{D2} = 0,396mA$$

$$V_{DS} = V_{DD} - I_D(R_S + R_D) = 20V - 12k \times 0,396mA = 15,25V$$

$$\Rightarrow PSF = \begin{cases} V_{GS} = -2,38V \\ I_D = 0,396mA \\ V_{DS} = 15,25V \end{cases}$$

b) Tranzistorul este în conexiune sursă-comună, deoarece semnalul se aplică în poartă și se culege din drenă.

c) Amplificările se determină pe schemele echivalente din fig. P5-3:

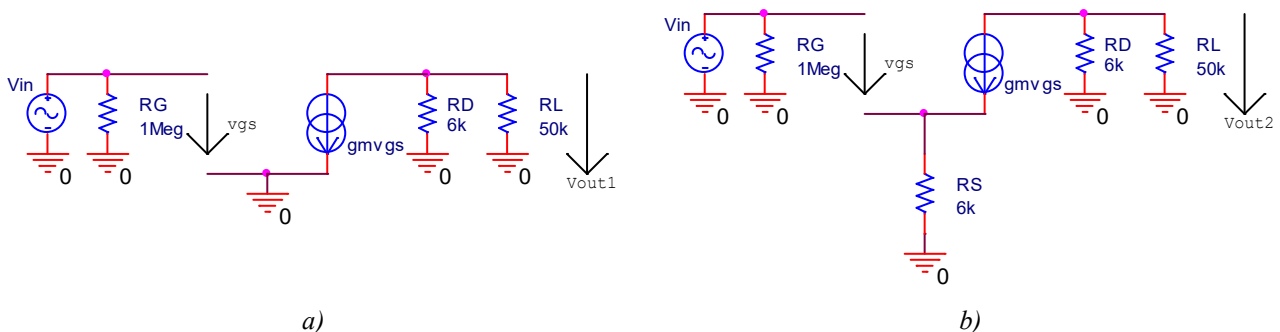


Fig. P5-3.

$$A_{v1} = \frac{V_{out1}}{V_{in}}$$

$$\left. \begin{aligned} V_{out1} &= -g_m v_{gs} (R_D \parallel R_L) \\ v_{gs} &= V_{in} \end{aligned} \right\} \Rightarrow A_{v1} = -g_m (R_D \parallel R_L)$$

$$A_{v2} = \frac{V_{out2}}{V_{in}}$$

$$\left. \begin{aligned} V_{out2} &= -g_m v_{gs} (R_D \parallel R_L) \\ V_{in} &= v_{gs} + g_m v_{gs} R_S \Rightarrow v_{gs} = \frac{V_{in}}{1 + g_m R_S} \end{aligned} \right\} \Rightarrow A_{v2} = \frac{-g_m (R_D \parallel R_L)}{1 + g_m R_S}$$

$$R_D \parallel R_L = \frac{6k \times 50k}{56k} = 5,36k$$

$$g_m = \frac{2I_{DSS}}{|V_{GS(off)}|} \left( 1 - \frac{V_{GS}}{V_{GS(off)}} \right) = \frac{2 \times 9m}{3} \left( 1 - \frac{-2,38}{-3} \right) = 1,24mS$$

$$A_{v1} = -1,24m \times 5,36k = -6,64$$

$$A_{v2} = -\frac{1,24m \times 5,35k}{1 + 1,24m \times 6k} = -0,79$$

**P6. TEC-MOS cu canal inițial din fig. P6-1 se caracterizează prin  $V_{GS(off)} = -3V$  și  $I_{DSS} = 9mA$ . Să se determine:**

- PSF-ul tranzistorului;
- Conexiunea în care se află tranzistorul. Motivați;
- Amplificarea în tensiune a circuitului (condensatoarele se consideră scurtcircuit).

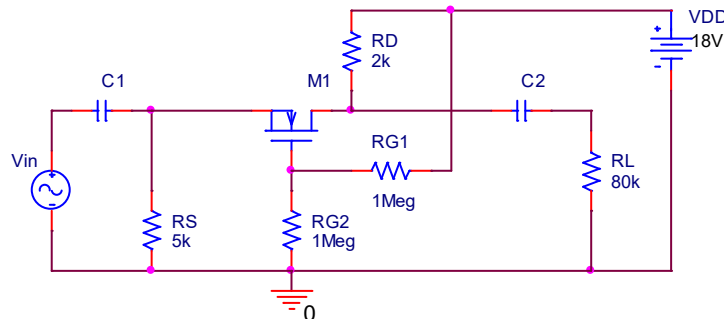


Fig. P6-1.

### Rezolvare

a) Schema echivalentă de c.c. (fig. P6-2)

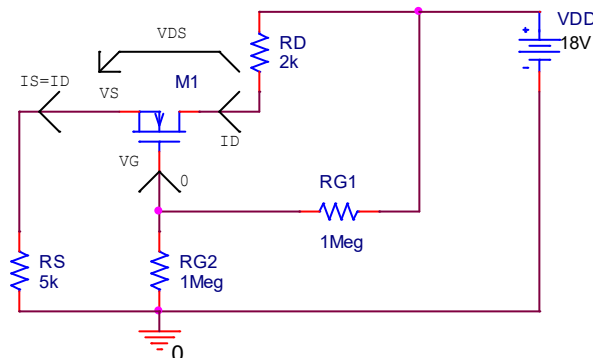


Fig. P6-2.

$$V_{GS} = V_G - V_S = \frac{R_{G2}}{R_{G1} + R_{G2}} V_{DD} - R_S I_D = \frac{V_{DD}}{2} - R_S I_D = 9 - 5I_D$$

Obs.  $R_S$  este exprimat în  $k\Omega$ . Rezultă că  $I_D$  va fi exprimat în  $mA$ .

$$I_D = I_{DSS} \left( 1 - \frac{V_{GS}}{V_{GS(off)}} \right)^2 = 9 \left( 1 - \frac{9 - 5I_D}{-3} \right)^2 = 9 \frac{(12 - 5I_D)^2}{9} = 25I_D^2 - 120I_D + 144$$

$$25I_D^2 - 120I_D + 144 = 0$$

$$I_{D1,2} = \frac{120 \pm \sqrt{120^2 - 4 \times 25 \times 144}}{50} = \frac{120 \pm 15,5}{50} \Rightarrow \begin{cases} I_{D1} = 2,73mA \\ I_{D2} = 2,11mA \end{cases}$$

Se alege acea valoare a curentului de drenă pentru care este satisfăcută relația:  $|V_{GS}| < |V_{GS(off)}|$

$$V_{GS1} = 9 - 5k \times 2,73mA = -4,65V \rightarrow |V_{GS1}| > |V_{GS(off)}|$$

$$V_{GS2} = 9 - 5k \times 2,11mA = -1,55V \rightarrow |V_{GS2}| < |V_{GS(off)}| \Rightarrow I_D = I_{D2} = 2,11mA$$

$$V_{DS} = V_{DD} - I_D(R_S + R_D) = 18V - 7k \times 2,11mA = 3,23V$$

$$\Rightarrow PSF = \begin{cases} V_{GS} = -1,55V \\ I_D = 2,11mA \\ V_{DS} = 3,23V \end{cases}$$

b) Tranzistorul este în conexiune poartă-comună, deoarece semnalul se aplică în sursă și se culege din drenă.

c) Schema echivalentă de c.a. (fig. P6-3)

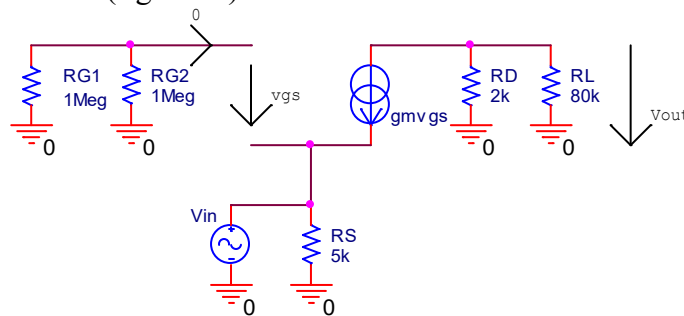


Fig. P6-3.

$$A_v = \frac{V_{out}}{V_{in}}$$

$$V_{out} = -g_m v_{gs} (R_D \parallel R_L)$$

$V_{in} = -v_{gs}$ , deoarece curentul alternativ prin poartă este egal cu zero.

$$\Rightarrow A_v = g_m (R_D \parallel R_L) = 2,9m \times 1,95k = 5,65$$

$$g_m = \frac{2I_{DSS}}{|V_{GS(off)}|} \left( 1 - \frac{V_{GS}}{V_{GS(off)}} \right) = \frac{2 \times 9m}{3} \left( 1 - \frac{-1,55}{-3} \right) = 2,9mS$$

$$R_D \parallel R_L = \frac{2k \times 80k}{82k} = 1,95k$$