

Gheorghe PANĂ

DISPOZITIVE ELECTRONICE

Mini-culegere de probleme rezolvate

2018 - 2019

Cuprins

I. PROBLEME CU DIODE.....	3
II. PROBLEME CU TRANZISTOARE BIPOLARE	17
III. PROBLEME CU TRANZISTOARE CU EFECT DE CÂMP	33
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

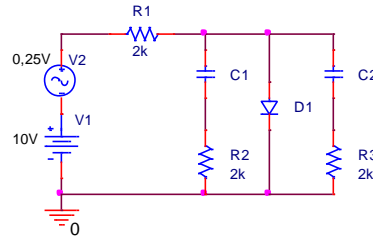


Fig. D1.

Rezolvare

- a) 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)

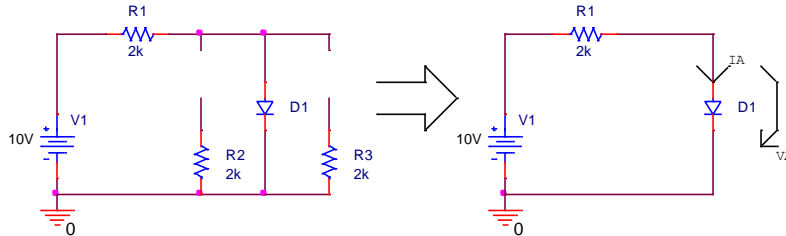


Fig. D1-1.

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

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

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

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

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

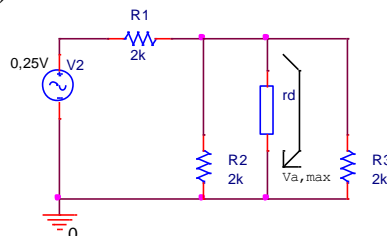


Fig. D1-2.

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

$$r_d \parallel R_3 = \frac{8,8 \times 2000}{2008,8} = 8,76\Omega$$

$$\text{Thévenin: } V_{a,\max} = \frac{r_d \parallel R_3}{R_{th} + r_d \parallel R_3} V_2 = \frac{8,76}{1000 + 8,76} 0,25 = 2,17 \text{ mV}$$

Amplitudinea semnalului de pe diodă îndeplinește condiția de semnal mic $V_{a,\max} \ll V_T$, rescrisă sub forma $V_{a,\max} \ll \frac{V_T}{10} = 2,6 \text{ mV}$, deoarece $V_{a,\max} = 2,17 \text{ mV} \ll 2,6 \text{ mV}$.

P2. Dioda din fig. D2 se caracterizează prin curent invers de saturație, $I_S = 2 \mu\text{A}$ 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.

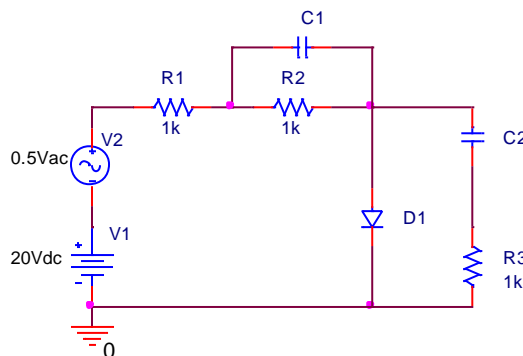


Fig. D2.

Rezolvare

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

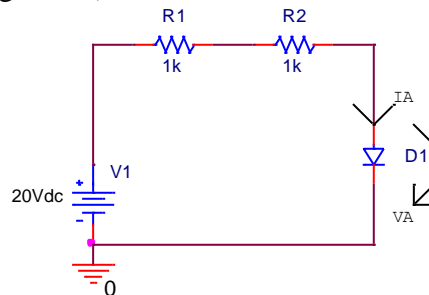


Fig. D2-1.

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

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

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

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

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

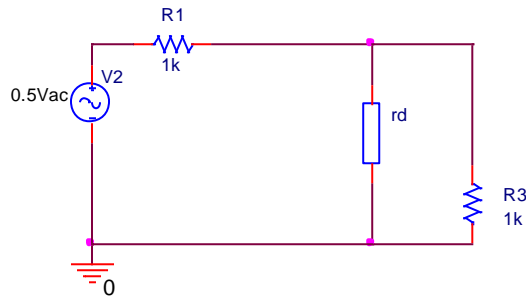


Fig. D2-2.

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

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

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

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.

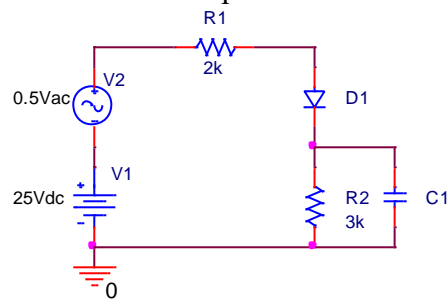


Fig. D3.

Rezolvare

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

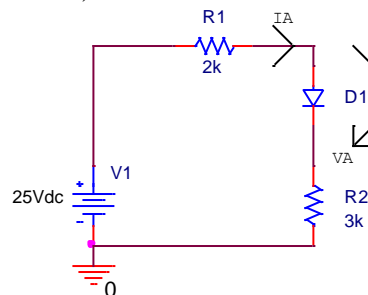


Fig. D3-1.

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

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

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

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

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

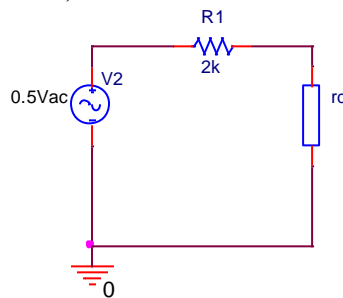


Fig. D3-2.

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

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

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.

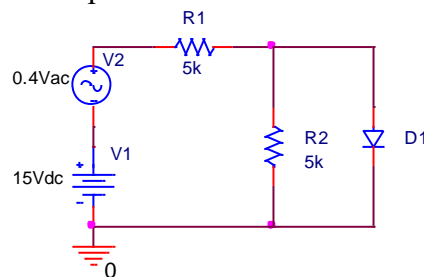


Fig. D4.

Rezolvare

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

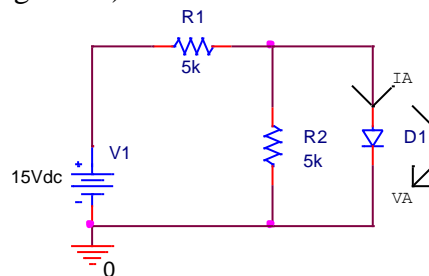


Fig. D4-1.

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)

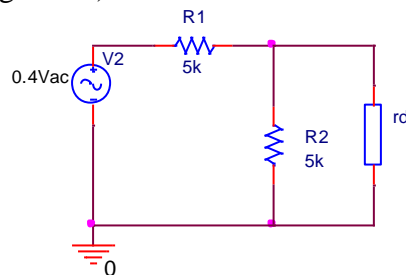


Fig. D4-2.

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

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?

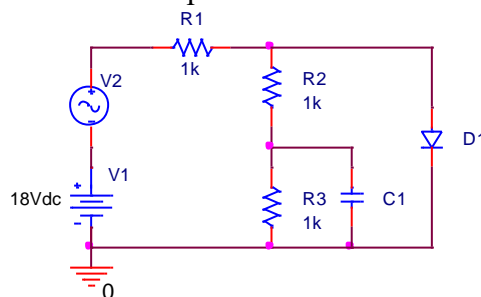


Fig. D5.

Rezolvare

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

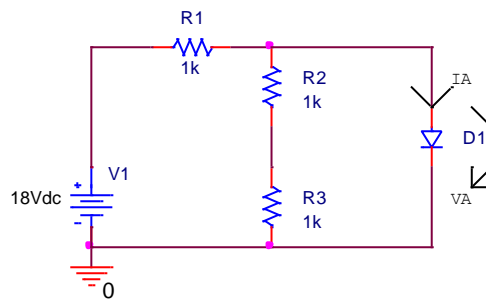


Fig. D5-1.

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)

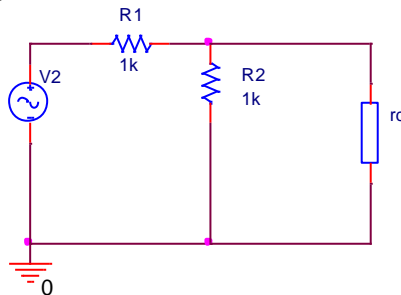


Fig. D5-2.

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

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.

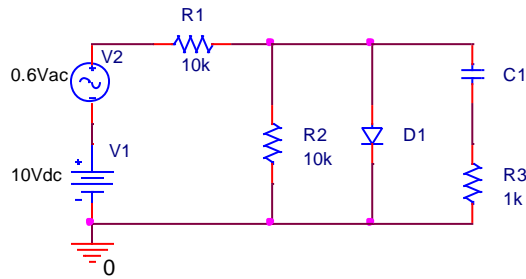


Fig. D6.

Rezolvare

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

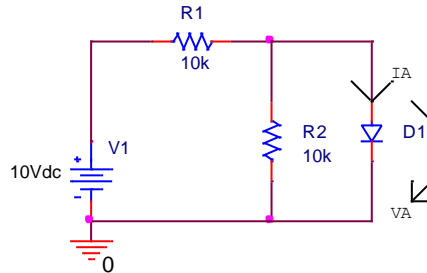


Fig. D6-1.

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)

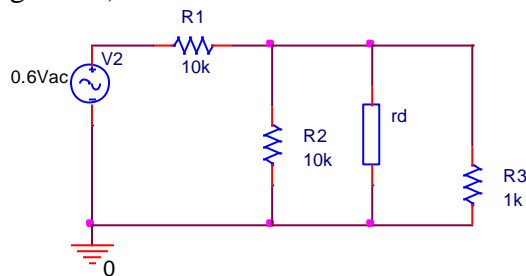


Fig. D6-2.

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

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.

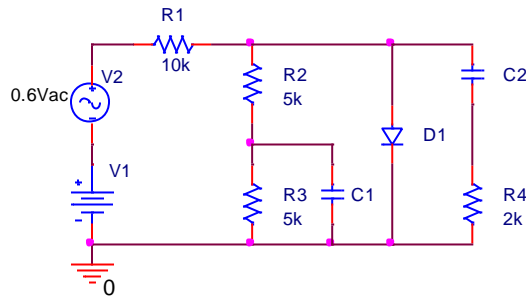


Fig. D7.

Rezolvare

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

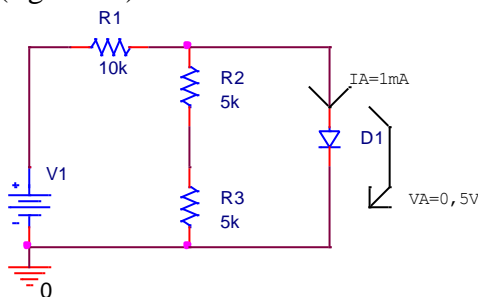


Fig. D7-1.

Thevenin în c.c.

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

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

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

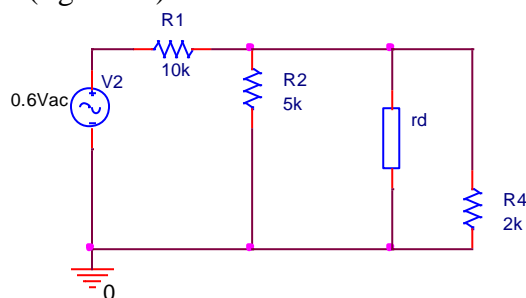


Fig. D7-2.

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

Thevenin în c.a.

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

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

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

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

$$c) 2,41mV \angle 2,6mV$$

P8. Dioda din fig. D8 se caracterizează prin curent invers de saturație, $I_S = 14nA$ 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.

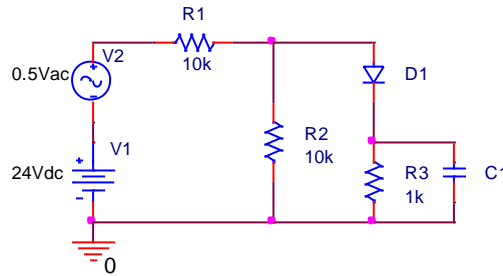


Fig. D8.

Rezolvare

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

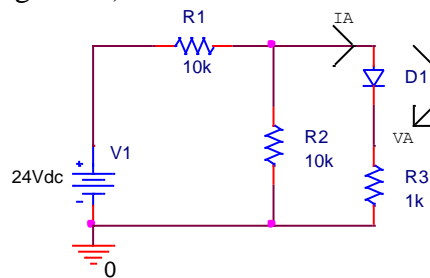


Fig. D8-1.

Thevenin în c.c.

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

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

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

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

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

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

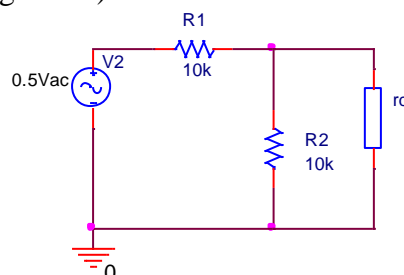


Fig. D8-2.

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

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.

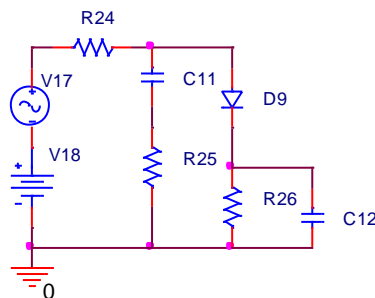


Fig. D9.

Rezolvare

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

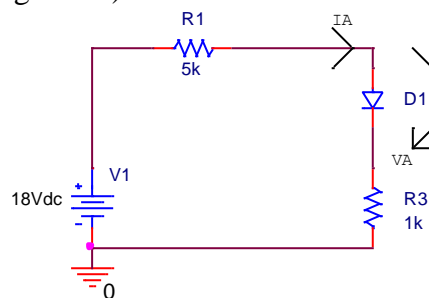


Fig. D9-1.

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

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

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

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

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

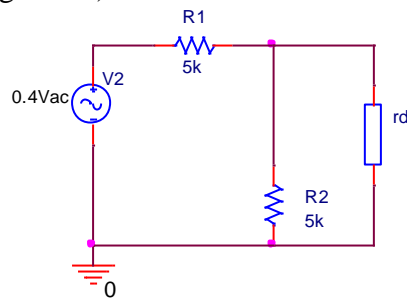


Fig. D9-2.

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

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) $1,2mV \angle 2,6mV$

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.

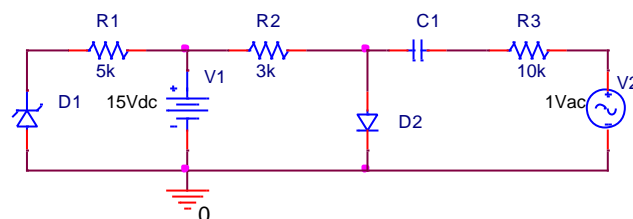


Fig. D10.

Rezolvare

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

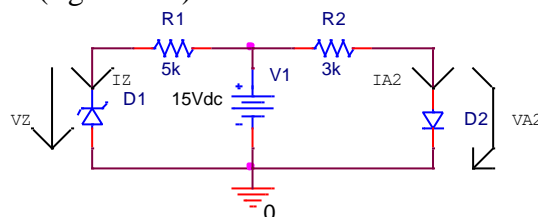


Fig. D10-1.

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)

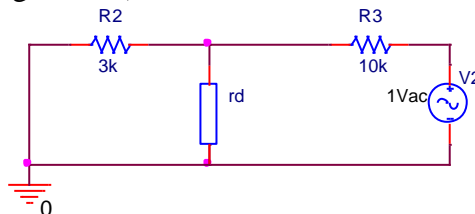


Fig. D10-2.

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

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

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

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.

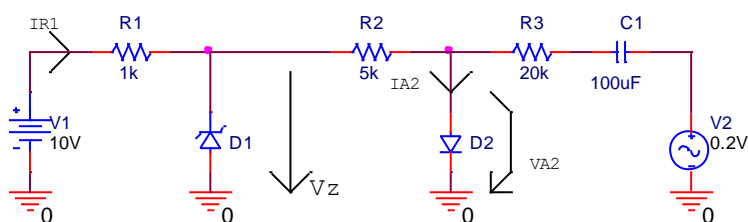


Fig. D11.

Rezolvare

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

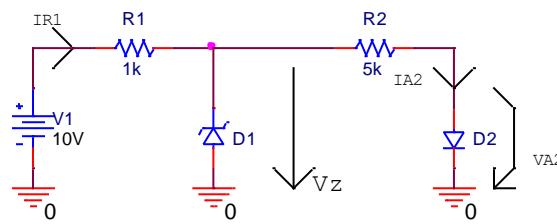


Fig. D11-1.

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

b) Dioda D₂ este alimentată de la V_Z=5V prin R₂. 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 D₂ 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 V₁ și condensatorul C₁ se înlocuiesc cu scurtcircuit. În loc de D₁ se conectează rezistența dinamică a diodei și anume r_z.

Rezistența dinamică a diodei D₂ se determină cu relația:

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

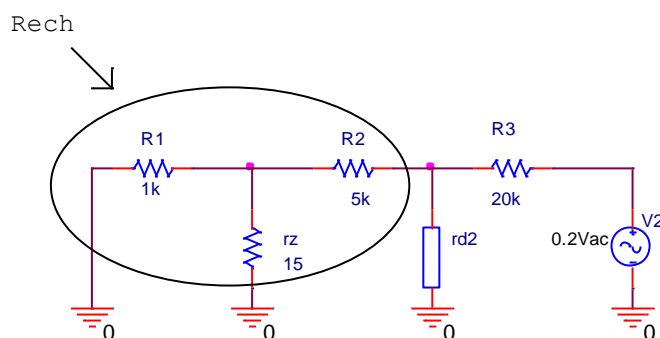


Fig. D11-2.

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

Amplitudinea semnalului alternativ de pe dioda D₂ (modelată în c.a. cu ajutorul rezistenței de difuzie sau dinamice r_{d2}) se determină cu ajutorul RDT aplicată între R₃ și R_{ech} în paralel cu r_{d2}:

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

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

$V_{a2,\max} = 0,52mV \ll 26mV = V_T$, 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.

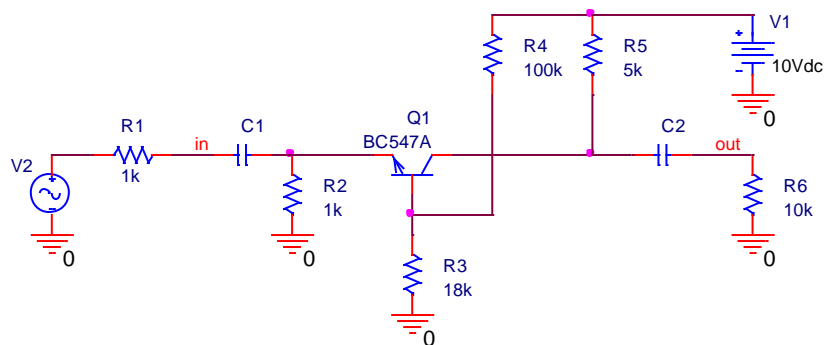


Fig. TB1

Rezolvare

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

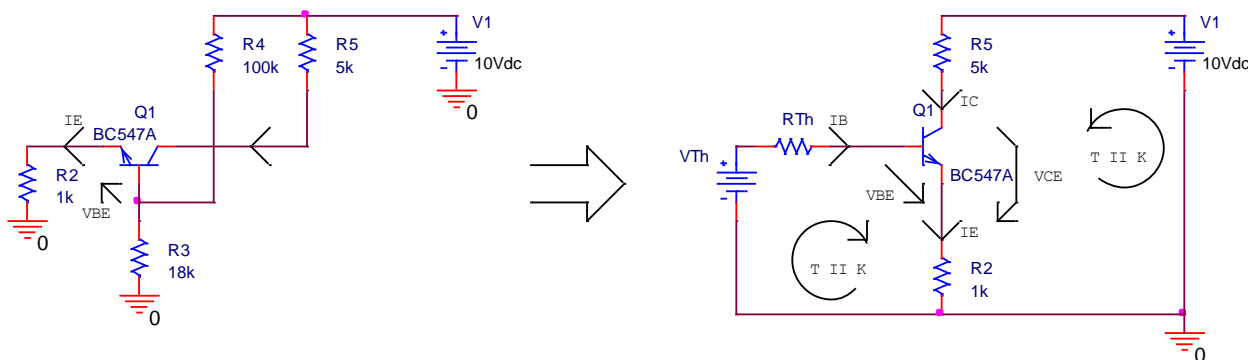


Fig. TB1-1.

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)

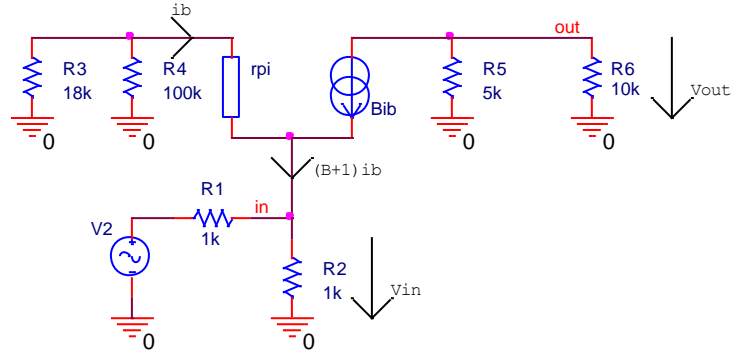


Fig. TB1-2.

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

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

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

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

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

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

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

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

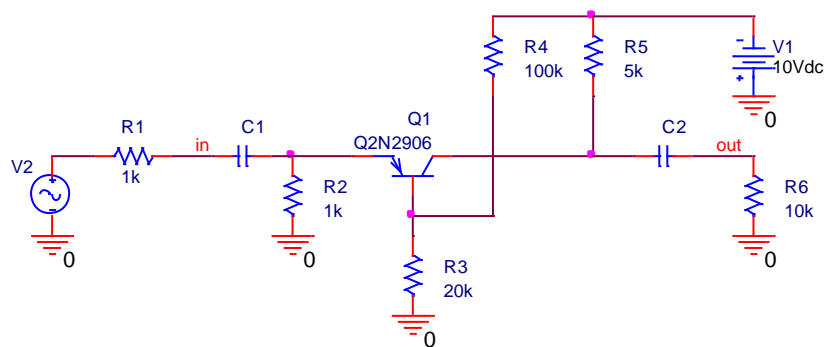


Fig. TB2.

Rezolvare

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

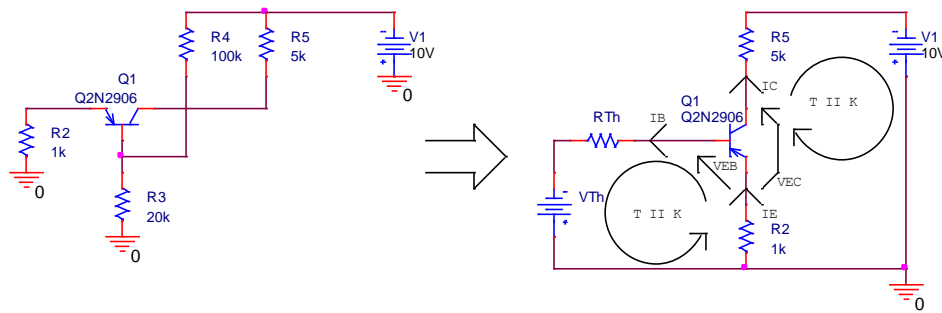


Fig. TB2-1.

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)

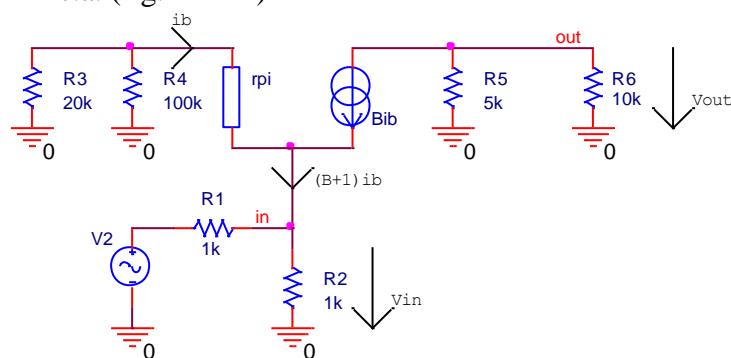


Fig. TB2-2.

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

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

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

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

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

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

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

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.

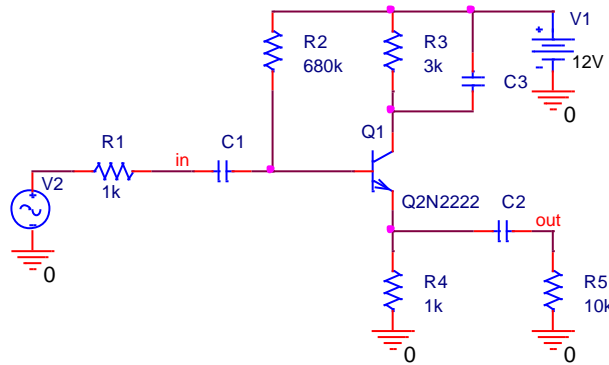


Fig. TB3.

Rezolvare

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

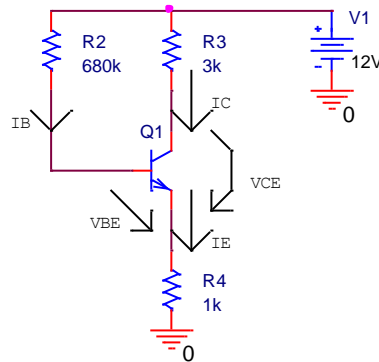


Fig. TB3-1.

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

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

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

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

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

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

- 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)

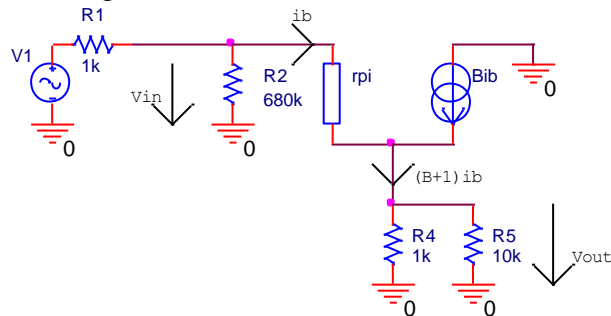


Fig. TB3-2.

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

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

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

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

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

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

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

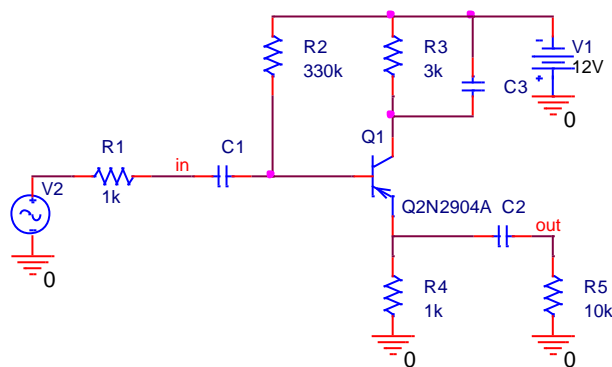


Fig. TB4.

Rezolvare

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

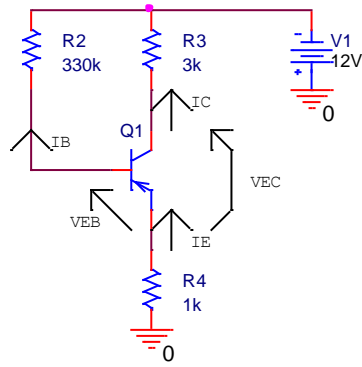


Fig. TB4-1.

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

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

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

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

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

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

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)

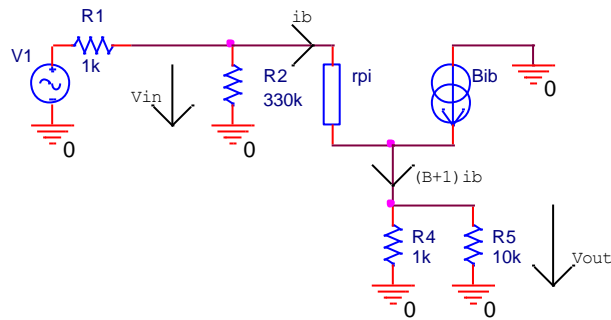


Fig. TB4-2.

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

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

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

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

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

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

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.

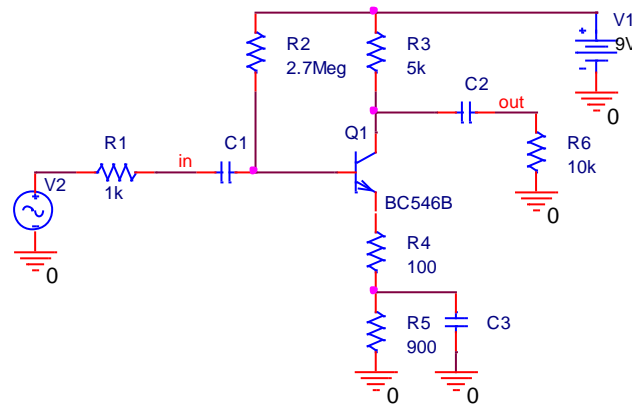


Fig. TB5.

Rezolvare

- Schema echivalentă de c.c.

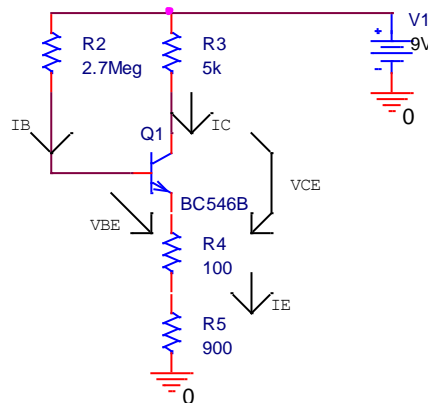


Fig. TB5-1.

$$I_B = \frac{V_1 - V_{BE}}{R_2 + (\beta + 1)(R_4 + R_5)} = \frac{12 - 0,66}{2700k + 291k} = 3,8\mu A$$

$$I_C = \beta I_B = 290 \times 0,0038mA = 1,102mA$$

$$I_E = (\beta + 1)I_B = 1,106mA$$

$$V_{CE} = V_1 - R_3 I_C - (R_4 + R_5) I_E = 9 - 5,53 - 1,106 = 2,36V$$

$$PSF = \begin{cases} V_{BE} = 0,66V \\ I_B = 3,8\mu A \\ I_C = 1,102mA \\ V_{CE} = 2,36V \end{cases}$$

- 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)

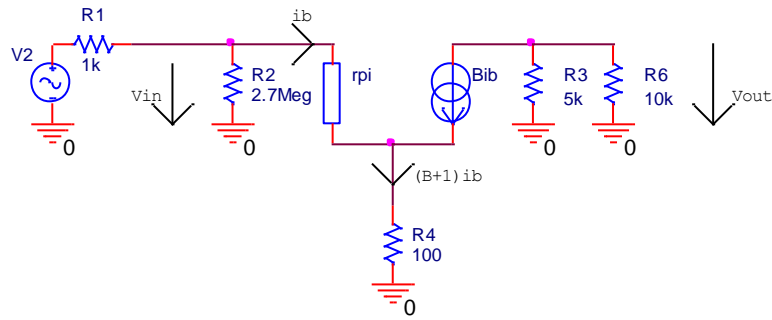


Fig. TB5-2.

$$r_{pi} = \frac{\beta}{40I_C} = \frac{290}{40 \times 1,102m} = 6,58k\Omega$$

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

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

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

$$A_v = \frac{-\beta (R_3 \parallel R_6)}{r_{pi} + (\beta + 1) R_4} = -\frac{290 \times 3,33k}{6,58k + 291 \times 0,1k} = -27$$

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

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

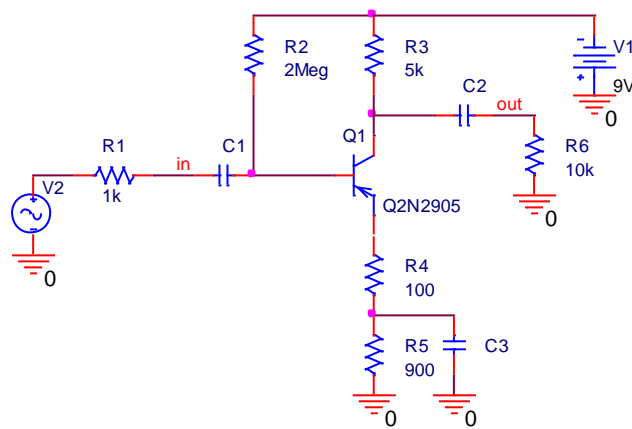


Fig. TB6.

Rezolvare

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

$$I_B = \frac{V_1 - V_{EB}}{R_2 + (\beta + 1)(R_4 + R_5)} = \frac{12 - 0,72}{2700k + 221k} = 3,9\mu A$$

$$I_C = \beta I_B = 220 \times 0,0039mA = 0,858mA$$

$$I_E = (\beta + 1) I_B = 0,862mA$$

$$V_{CE} = V_1 - R_3 I_C - (R_4 + R_5) I_E = 9 - 4,31 - 0,862 = 3,83V$$

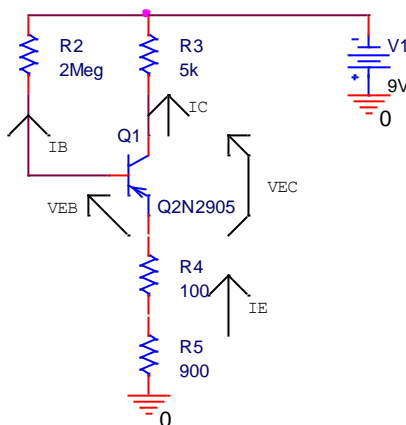


Fig. TB6-1.

$$PSF = \begin{cases} V_{BE} = 0,72V \\ I_B = 3,9\mu A \\ I_C = 0,858mA \\ V_{CE} = 3,83V \end{cases}$$

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)

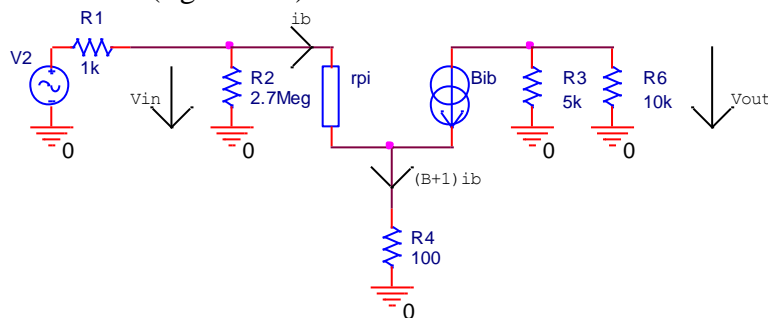


Fig. TB6-2.

$$r_{pi} = \frac{\beta}{40I_C} = \frac{220}{40 \times 0,858m} = 6,4k\Omega$$

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

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

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

$$A_v = \frac{-\beta (R_3 \parallel R_6)}{r_{pi} + (\beta + 1) R_4} = -\frac{220 \times 3,33k}{6,4k + 221 \times 0,1k} = -25,7$$

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

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 parametri de semnal mic;
- Amplificarea de semnal mic.

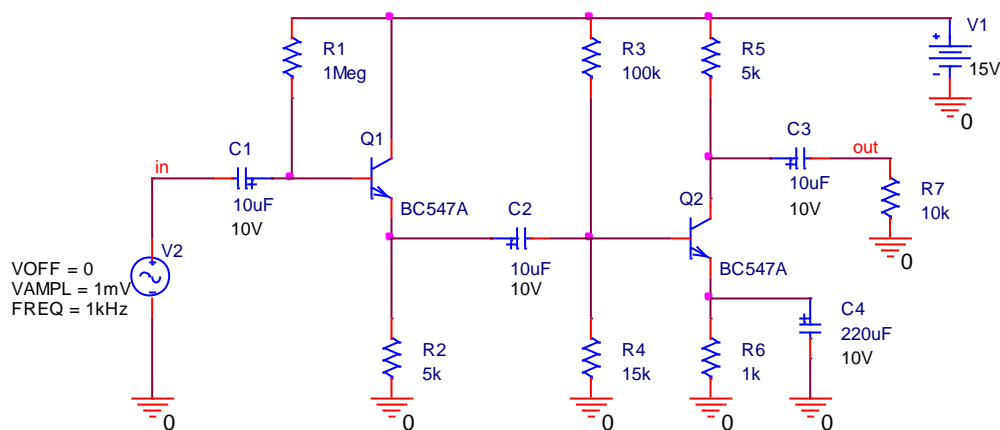


Fig. TB7.

Rezolvare

- a) La Q1 semnalul se aplică în bază și se culege din emitor (prin condensatorul de cuplaj C_2 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_3 , 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_2 , 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)

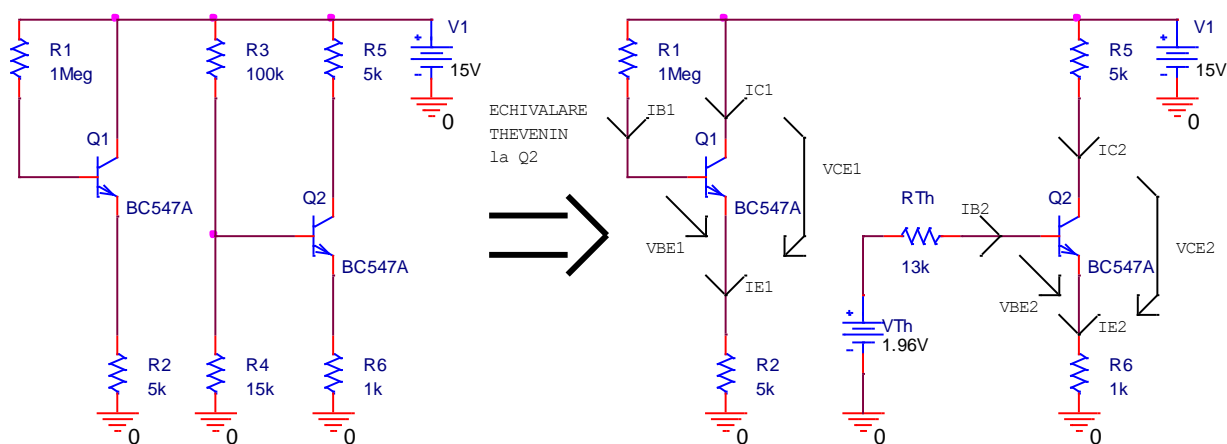


Fig. TB7-1.

- PSF la Q1

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

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

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

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

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

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

- 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:

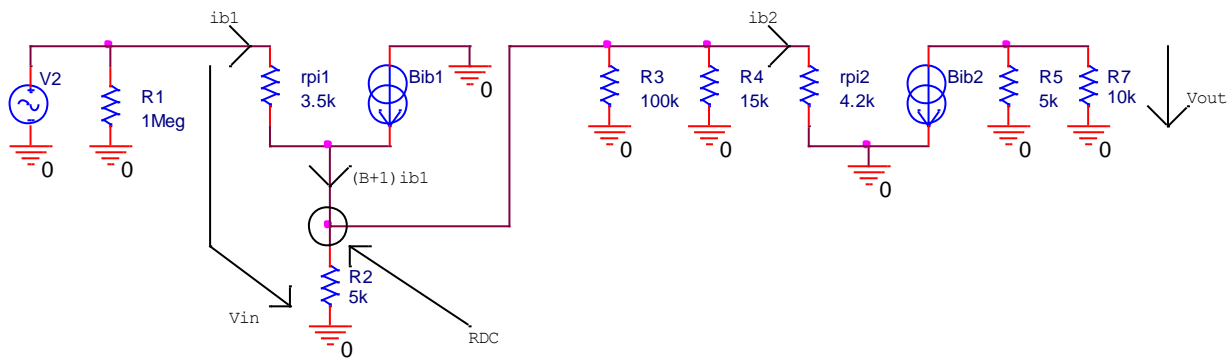


Fig. TB7-2.

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

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

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:

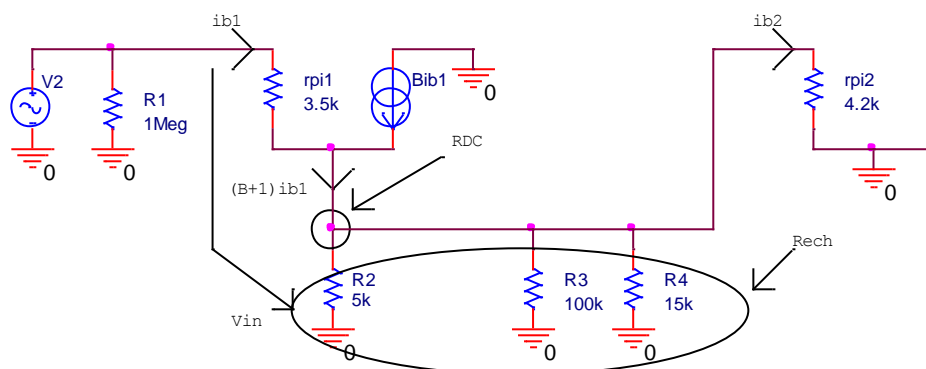


Fig. TB7-3.

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

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

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

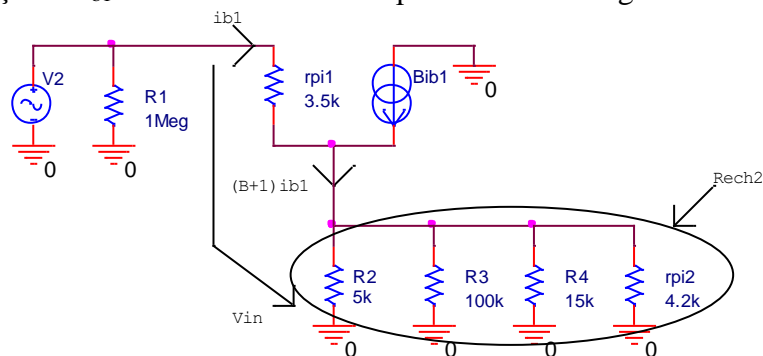


Fig. TB7-4.

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

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

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.

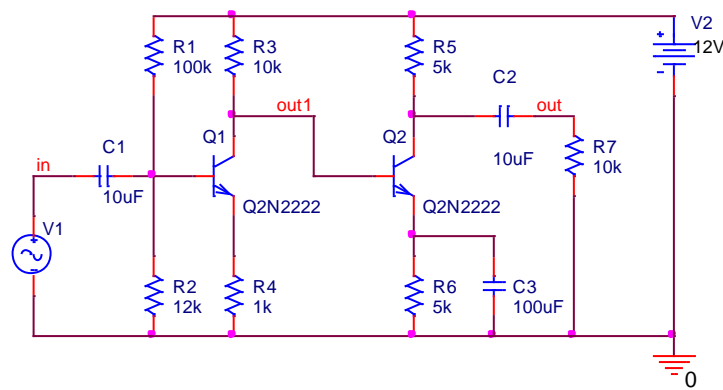


Fig. TB8.

Rezolvare

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

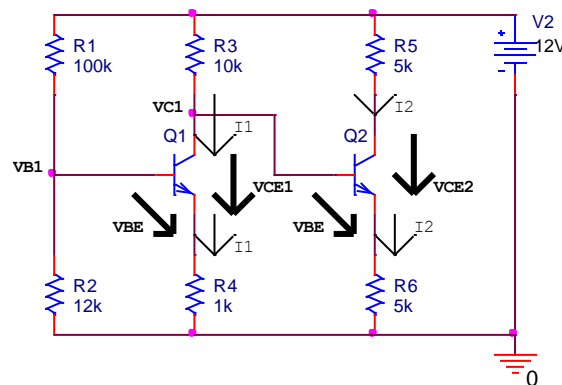


Fig. TB8-1.

La fiecare tranzistor, considerând $I_E \approx I_C$ 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:

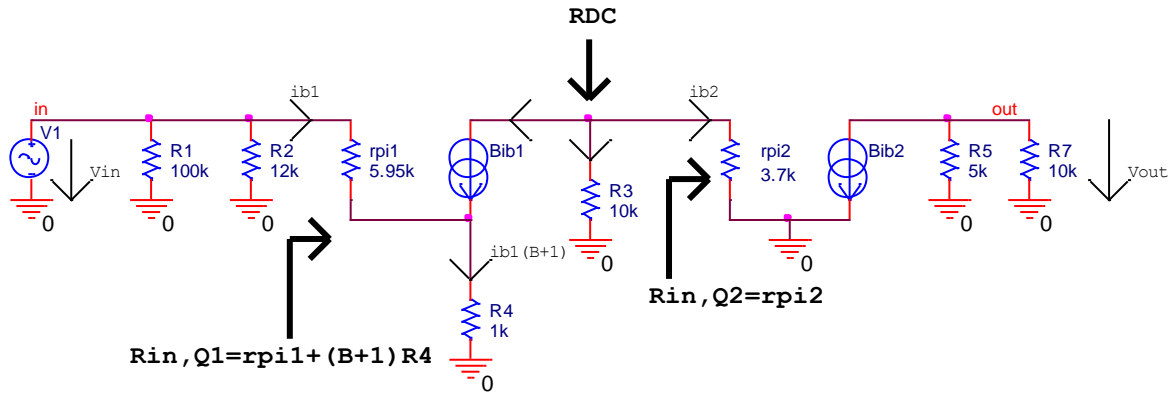


Fig. TB8-2.

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

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

În nodul comun colectorului lui Q₁ și baza lui Q₂ 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 β=175. Dacă semnalul de intrare are amplitudinea de 1mV să se determine amplitudinea semnalului de ieșire.

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

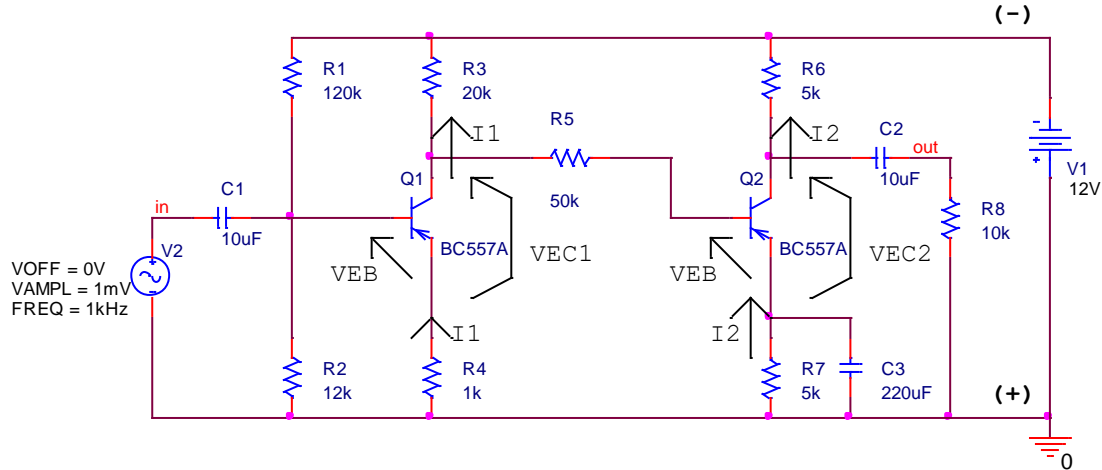


Fig. TB9.

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:

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

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

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

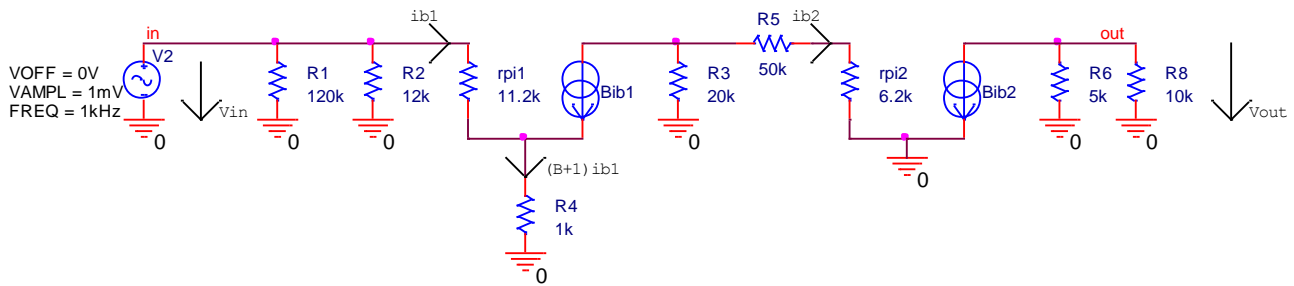


Fig. TB9-1.

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

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

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

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

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

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

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).

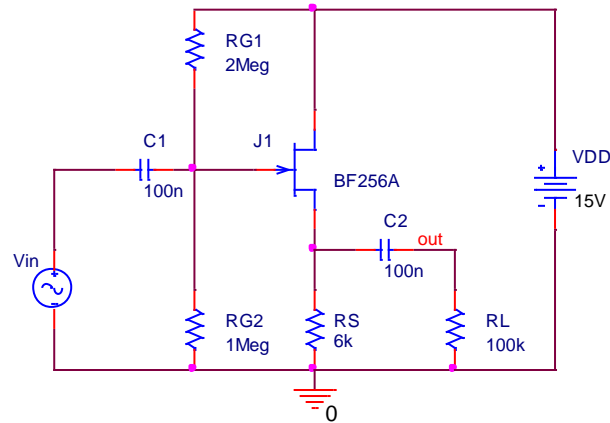


Fig. P1-1.

Rezolvare

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

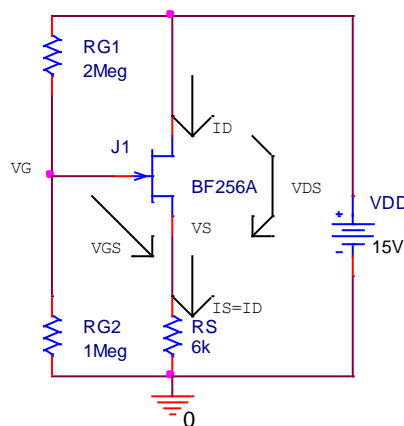


Fig. P1-2.

- 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: $|V_{GS}| < |V_{GS(off)}|$

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

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

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

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

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:

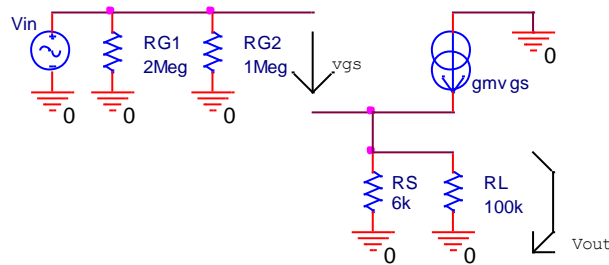


Fig. P1-3.

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

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

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

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

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

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

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).

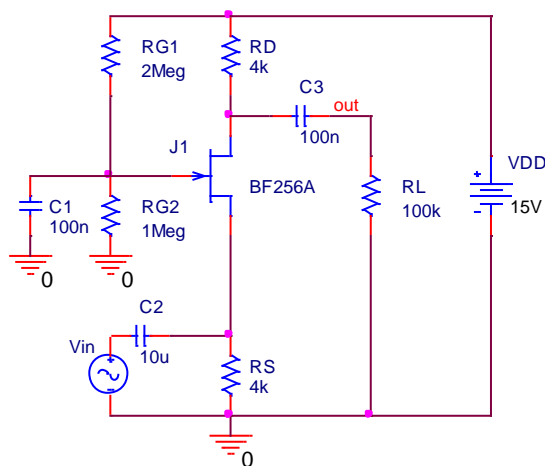


Fig. P2-1.

Rezolvare

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

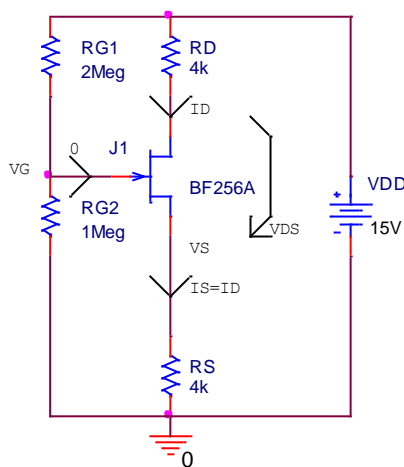


Fig. P2-2.

- 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 Ω . 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: $|V_{GS}| < |V_{GS(off)}|$

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

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

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

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:

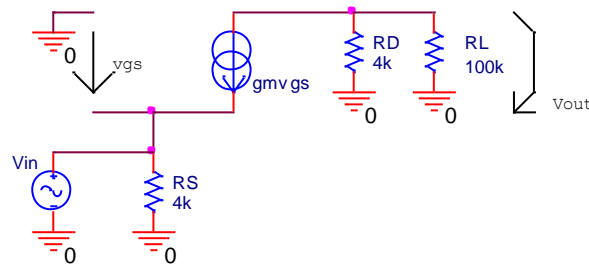


Fig. P2-3.

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

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

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

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

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

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

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).

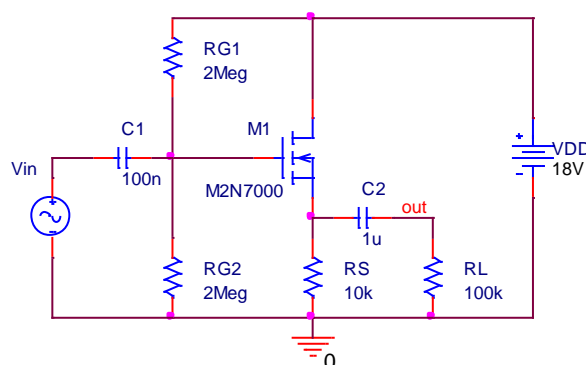


Fig. P3-1.

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 :

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

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

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

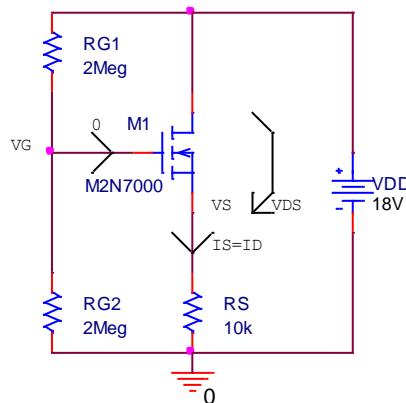


Fig. P3-2.

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

$$V_S = R_S I_D = 10 I_D$$

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

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

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

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

$$1200 I_D^2 - 1681 I_D + 588 = 0$$

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

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:

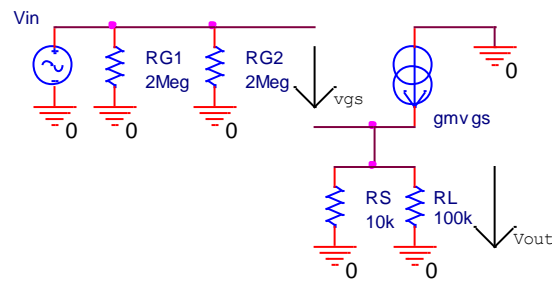


Fig. P3-3.

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

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

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

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

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

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

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.

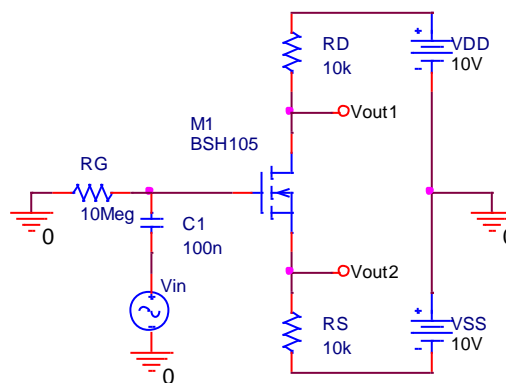


Fig. P4-1.

Rezolvare

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

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

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

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

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

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

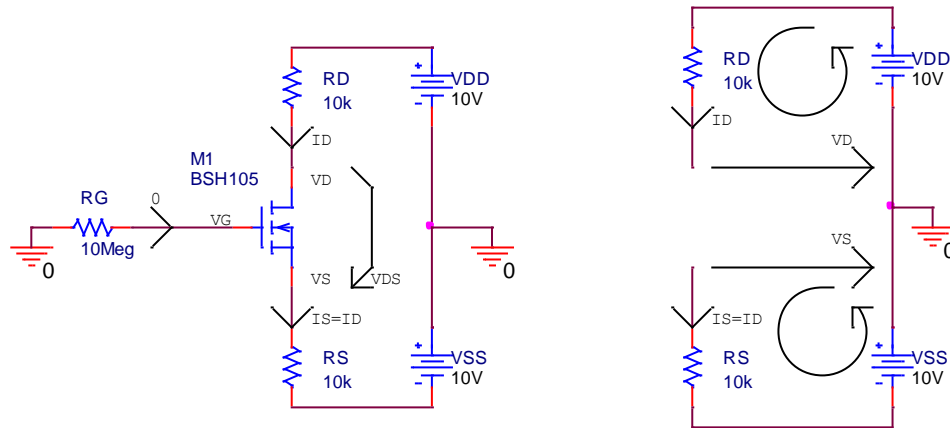


Fig. P4-2.

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

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

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 acea 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:

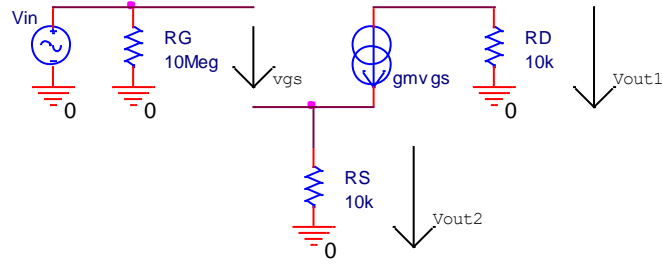


Fig. P4-3.

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

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

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

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

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

$$V_{out2} = g_m R_S$$

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

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

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).

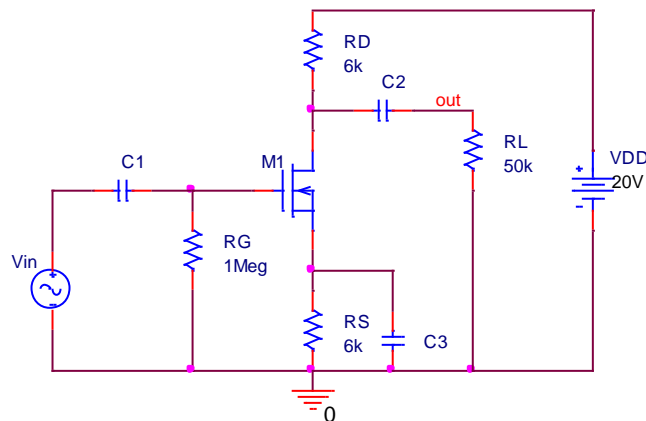


Fig. P5-1.

Rezolvare

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

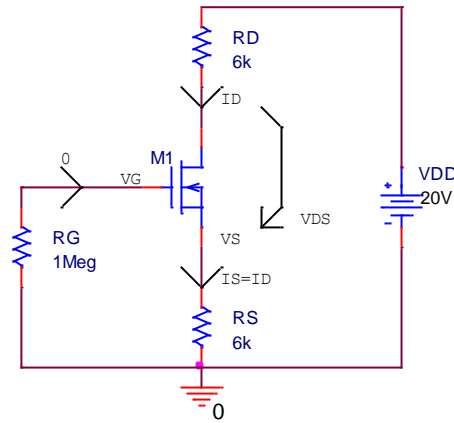


Fig. P5-2.

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

$$V_S = R_S I_D = 6I_D$$

Obs. R_S este exprimat în kΩ. 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:

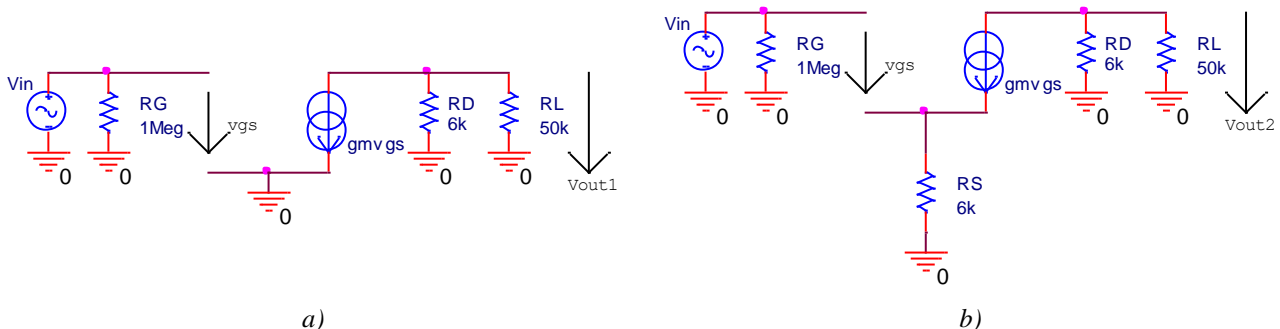


Fig. P5-3.

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

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

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

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

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

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

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

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

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).

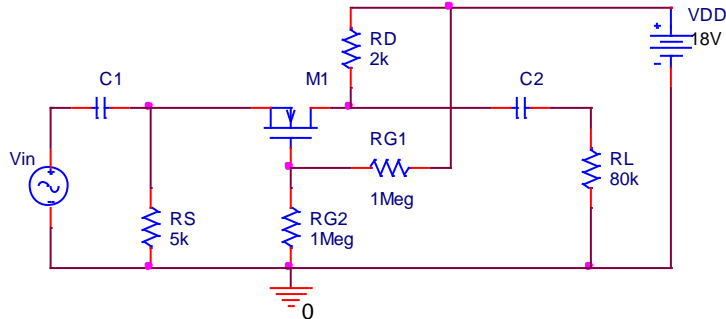


Fig. P6-1.

Rezolvare

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

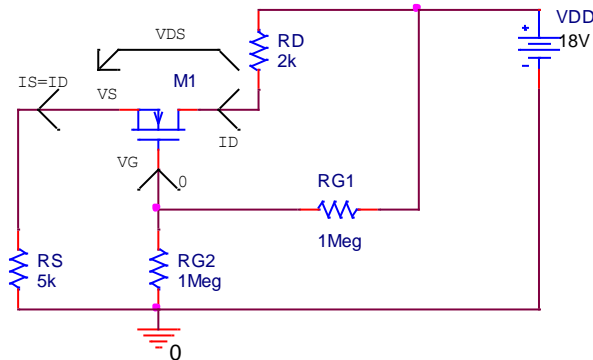


Fig. P6-2.

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

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)

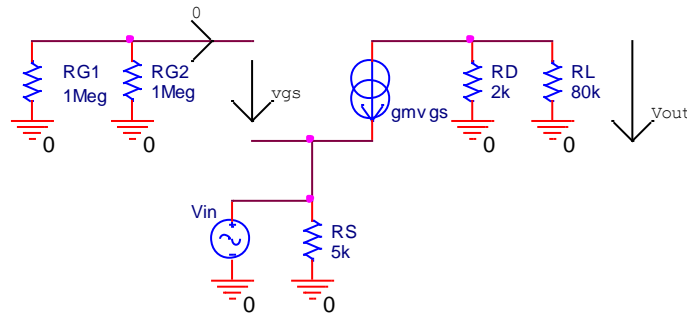


Fig. P6-3.

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

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

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

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

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

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