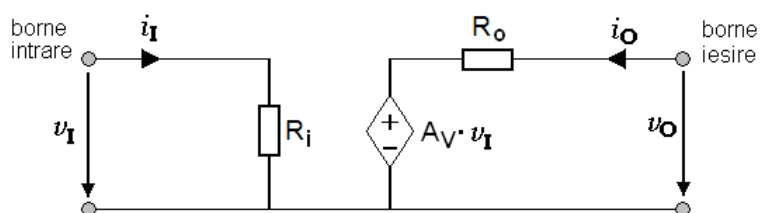


**Observații:**

- Pentru toate amplificatoarele considerate, se va analiza comportamentul acestora în banda lor de frecvență.
- Pentru evitarea introducerii distorsiunilor în forma de undă a mărimilor electrice de ieșire, tranzistoarele MOS utilizate în circuitele de amplificare trebuie să funcționeze în Regiunea de Saturație.
- Amplificatoarele de semnal mic cu tranzistoare sunt amplificatoare liniare. Din acest motiv, comportamentul acestora în regim variabil de semnal mic se poate modela, între bornele de intrare și bornele de ieșire, prin intermediul amplificatoarelor liniare.
- În cazul în care informația este reprezentată prin intermediul tensiunii electrice, comportamentul în regim variabil de semnal mic al amplificatorului considerat se modelează prin intermediul amplificatorului liniar de tensiune, indicat în figura de mai jos, în care  $A_v$ ,  $R_i$  și  $R_o$  sunt parametrii de semnal mic ai amplificatorului modelat.



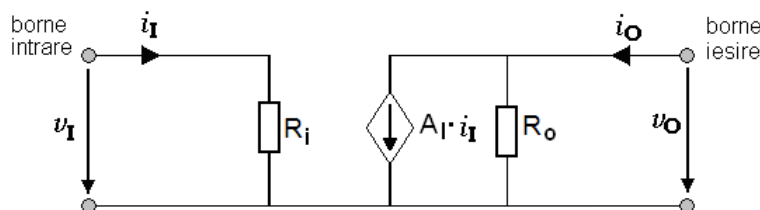
Modelul amplificatorului liniar de tensiune.

- Utilizând circuitul de mai sus, expresia matematică a factorului de amplificare în tensiune, pentru amplificatorul conectat la circuitele externe este:

$$A_{Vg} = A_v \cdot \left( \frac{R_i}{R_i + R_g} \right) \cdot \left( \frac{R_L}{R_o + R_L} \right)$$

în care parametrii  $A_v$ ,  $R_i$  și  $R_o$  se particularizează în funcție de valorile parametrilor de semnal mic ai amplificatorului de semnal mic considerat.

- În cazul în care informația este reprezentată prin intermediul curentului electric, comportamentul în regim variabil de semnal mic al amplificatorului considerat se modelează prin intermediul amplificatorului liniar de curent, indicat în figura de mai jos, în care  $A_I$ ,  $R_i$  și  $R_o$  sunt parametrii de semnal mic ai amplificatorului modelat.



Modelul amplificatorului liniar de curent.

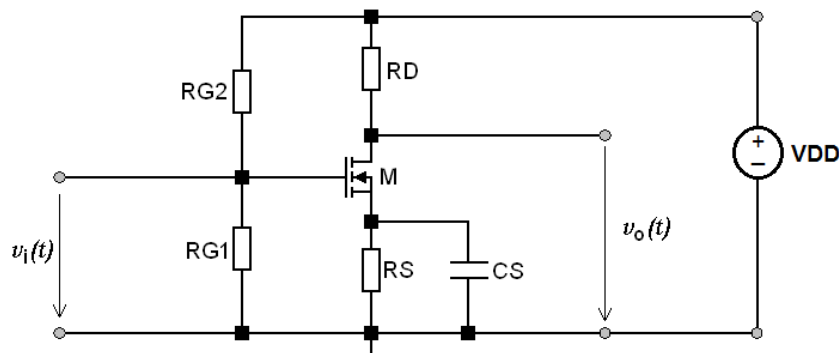
- Utilizând circuitul de mai sus, expresia matematică a factorului de amplificare în curent, pentru amplificatorul conectat la circuitele externe este:

$$A_{Ig} = A_I \cdot \left( \frac{R_g}{R_g + R_i} \right) \cdot \left( \frac{R_o}{R_o + R_L} \right)$$

în care parametrii  $A_I$ ,  $R_i$  și  $R_o$  se particularizează în funcție de valorile parametrilor de semnal mic ai amplificatorului de semnal mic considerat.

### Problema 1

Se consideră amplificatorul de semnal mic cu tranzistor MOS indicat în figura de mai jos, în care valorile componentelor electronice sunt  $V_{DD} = 10[V]$ ,  $R_{G2} = 100 [k\Omega]$ ,  $R_{G1} = 100 [k\Omega]$ ,  $R_S = 2,1 [k\Omega]$ ,  $R_D = 5,6 [k\Omega]$ , iar tranzistorul  $M$  are tensiunea de prag  $V_{TH} = 1[V]$  și factorul de transconductanță  $k = 2 \times 10^{-4} [A/V^2]$ .

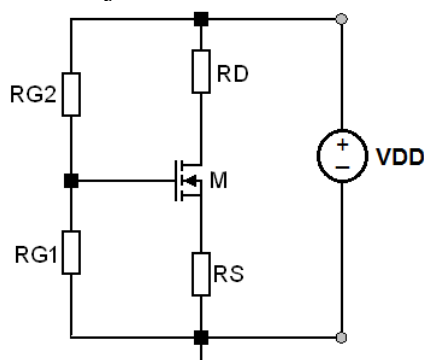


Se cer:

- să se determine punctul static de funcționare al tranzistorului  $M$  și să se verifice dacă acesta funcționează în regiunea de saturație.
- să se determine valoarea amplificării în tensiune a amplificatorului atunci când acesta este conectat la un generator de tensiune de rezistență internă  $R_g = 1[k\Omega]$  și un rezistor de sarcină  $R_L = 10[k\Omega]$ .

### Rezolvare

a. Determinarea valorii PSFului tranzistorului MOS, care este compus din perechea de mărimi electrice continue  $I_D$ ,  $V_{DS}$ , se realizează pe circuitul de polarizare al tranzistorului, care se determină din schema electronică a circuitului de amplificare, prin eliminarea ramurilor de circuit care conțin condensatoare. În circuitul inițial, există o singură ramură cu condensator și anume cea care conține condensatorul  $C_s$ . După eliminarea acestei ramuri de circuit, rezultă circuitul de polarizare al tranzistorului  $M$  indicat mai jos:



Circuitul de polarizare al tranzistorului  $M$  = circuitul de polarizare cu divizor rezistiv

Circuitul de polarizare rezultat este circuitul de polarizare cu divizor rezistiv, prezentat în cursul în care s-a discutat despre polarizarea tranzistorului MOS. Prin  $V_{GG}$  s-a notat tensiunea care cade pe  $R_{G1}$ , ca urmare a divizorului rezistiv compus din  $R_{G1}$  și  $R_{G2}$ , pentru tensiunea  $V_{DD}$ . Determinarea PSFului tranzistorului MOS se realizează conform următoarei proceduri:

- Se determină valoarea tensiunii care cade pe  $R_{G1}$ .

$$V_{GG} = \frac{R_{G1}}{R_{G1} + R_{G2}} \cdot V_{DD} \Rightarrow V_{GG} = \frac{100[k\Omega]}{100[k\Omega] + 100[k\Omega]} \cdot 10[V] = 5[V]$$

**Exemple de probleme rezolvate pentru cursurile 09 DEEA**  
**Amplificatoare de semnal mic cu tranzistoare MOS**

2. Se determină valoarea tensiunii grilă sursă  $V_{GS}$  utilizând sistemul de ecuații, bazat pe presupunerea că tranzistorul MOS lucrează în regiunea de saturație:

$$V_{GS} + R_S \cdot I_D - V_{GG} = 0 \quad (\text{ecuație generată prin aplicarea TK2 pe bucla de circuit care conține } V_{GS})$$

$$I_D = k \cdot (V_{GS} - V_{TH})^2 \quad (\text{ecuația tranzistorului MOS în regiunea de saturație})$$

Rezultă:

$$V_{GS} + 2,1[k\Omega] \cdot I_D - 5[V] = 0$$

$$I_D = 0,2 \left[ \frac{mA}{V^2} \right] \cdot (V_{GS} - 1[V])^2 = 0,2 \left[ \frac{mA}{V^2} \right] \cdot (V_{GS}^2 - 2 \cdot V_{GS} + 1[V])$$

Pentru determinarea valorii tensiunii  $V_{GS}$ , se înlocuiește în prima relația expresia curentului  $I_D$ . În calculele numerice, rezistența electrică se exprimă în  $k\Omega$ , tensiunea de prag  $V_{TH}$  în volți, iar factorul de transconductanță  $k$  în  $mA/V^2$ . Astfel, în final, valoarea tensiunii  $V_{GS}$  va rezulta în volți.

$$k = 2 \times 10^{-4} [A/V^2] = 0,2 \times 10^{-3} [A/V^2] = 0,2 [10^{-3} A/V^2] = 0,2 [mA/V^2]$$

$$V_{GS} + 2,1 \cdot (0,2 \cdot (V_{GS}^2 - 2 \cdot V_{GS} + 1)) - 5 = 0$$

$$V_{GS} + 0,42 \cdot (V_{GS}^2 - 2 \cdot V_{GS} + 1) - 5 = 0$$

$$V_{GS} + 0,42 \cdot V_{GS}^2 - 0,84 \cdot V_{GS} + 0,42 - 5 = 0$$

$$0,42 \cdot V_{GS}^2 + 0,16 \cdot V_{GS} + 0,42 - 5 = 0$$

$$0,42 \cdot V_{GS}^2 + 0,16 \cdot V_{GS} - 4,58 = 0$$

$$42 \cdot V_{GS}^2 + 16 \cdot V_{GS} - 458 = 0$$

$$V_{GS1,2} = \frac{-16 \pm \sqrt{16^2 - 4 \cdot 42 \cdot (-458)}}{2 \cdot 42} = \frac{-16 \pm \sqrt{256 + 76944}}{84} = \frac{-16 \pm \sqrt{77200}}{84} \cong \frac{-16 \pm 277,85}{84}$$

$$V_{GS1} = \frac{-16 + 277,85}{84} \cong 3,12[V]$$

$$V_{GS2} = \frac{-16 - 277,85}{84} \cong -3,5[V]$$

Din cele două soluții rezultate, întotdeauna se alege soluția care satisface condiția

$$V_{GS} > V_{TH}$$

$\Rightarrow$

$$V_{GS} = 3,12[V]$$

3. Se determină valoarea curentului de drenă din ecuația de funcționare a tranzistorului MOS în regiunea de saturație:

$$I_D = k \cdot (V_{GS} - V_{TH})^2$$

$$I_D = 0,2 \left[ \frac{mA}{V^2} \right] \cdot (3,12[V] - 1[V])^2 \cong 0,9[mA]$$

$$I_D = 0,9[mA]$$

4. Se determină valoarea tensiunii drenă sursă, cu relația:

$$V_{DS} = V_{DD} - I_D \cdot (R_D + R_S)$$

$$V_{DS} = 10[V] - 0,9[mA] \cdot (5,6[k\Omega] + 2,1[k\Omega]) = 10[V] - 6,93[V] \cong 3,1[V]$$

$$V_{DS} = 3,1[V]$$

5. Se verifică dacă tranzistorul MOS funcționează în regiunea de saturație; în acest scop, valorile tensiunilor  $V_{GS}$  și  $V_{DS}$  calculate în PSF trebuie să satisfacă condițiile:

$$V_{GS} > V_{TH} \quad si \quad V_{DS} > V_{GS} - V_{TH}$$

Pentru valorile numerice ale problemei, condițiile de mai sus sunt:

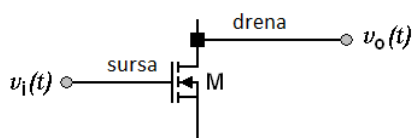
$$\underbrace{3,12[V] > 1[V]}_{ade\ var\ rat} \quad si \quad \underbrace{3,1[V] > 3,12[V] - 1[V]}_{ade\ var\ rat}$$

Deoarece ambele condiții sunt adevărate, rezultă că tranzistorul MOS lucrează în regiunea de saturație.

b. pentru determinarea valorii amplificării în tensiune a amplificatorului conectat la circuitele externe, este necesar ca mai întâi să se determine parametrii de semnal mic al amplificatorului, și anume:

- $A_v$
- $R_i$
- $R_o$

În acest scop, este necesar ca mai întâi să se identifice conexiunea în care lucrează amplificatorul în regim variabil. Procedura utilizată pentru identificarea conexiunii în care lucrează tranzistorul este indicată în cadrul cursului 9 (comentariile legate de Figura 1 din curs). În cadrul acestei proceduri, se identifică în ce terminal al tranzistorului este aplicată mărimea electrică de intrare, în acest caz tensiunea de intrare  $v_i$ , respectiv de la ce terminal al tranzistorului se furnizează mărimea electrică de ieșire, în acest caz tensiunea de ieșire  $v_o$ .

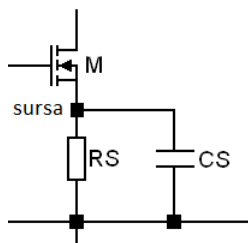


**Exemple de probleme rezolvate pentru cursurile 09 DEEA**  
**Amplificatoare de semnal mic cu tranzistoare MOS**

Din schema electronică a circuitului de amplificare considerat, așa cum se specifică și în figura de mai sus, se identifică următoarele:

- tensiunea de intrare  $v_i$  se aplică în grila tranzistorului,
- tensiunea de ieșire  $v_o$  se furnizează din drena tranzistorului.

Rezultă că amplificatorul considerat este în conexiunea Sursă Comună. Deoarece acest tip de amplificator prezintă 2 variante, cu condensator în sursă, respectiv fără condensator în sursă, în continuare se inspectează schema electronică a amplificatorului, în sursa tranzistorului,



din care se observă că în sursa tranzistorului este conectat condensatorul  $C_s$ . Pe baza acestor observații, rezultă că în schema electronică considerată în această problemă este reprezentat un amplificator cu tranzistor MOS în conexiunea Sursă Comună, cu condensator în sursă, de unde rezultă că expresiile matematice ale parametrilor de semnal mic ai amplificatorului:

- amplificarea în tensiune:  $A_V = -g_m \cdot R_D$
- rezistența de intrare:  $R_i = R_G$  unde  $R_G = \frac{R_{G1} \cdot R_{G2}}{R_{G1} + R_{G2}}$
- rezistența de ieșire:  $R_o = R_D$

În expresiile de mai sus este utilizat parametrul de semnal mic al tranzistorului MOS  $g_m$ , denumit panta tranzistorului, care se determină cu relația:

$$g_m = 2 \cdot \sqrt{k \cdot I_D}$$

unde,  $I_D$  reprezintă curentul de drenă al tranzistorului MOS, calculat în PSFul acestuia.  
 Rezultă:

$$g_m = 2 \cdot \sqrt{0,2 \left[ \frac{mA}{V^2} \right] \cdot 0,9 [mA]} \cong 0,85 \left[ \frac{mA}{V} \right]$$

$$A_V = -0,85 \left[ \frac{mA}{V} \right] \cdot 5,6 [k\Omega] = -4,76 \quad A_V = -4,76$$

$$R_G = \frac{100[k\Omega] \cdot 100[k\Omega]}{100[k\Omega] + 100[k\Omega]} = 50[k\Omega] \quad R_i = 50[k\Omega]$$

$$R_o = 5,6[k\Omega]$$

Expresia matematică a amplificării în tensiune a amplificatorului conectat la circuitele externe este următoarea:

$$A_{Vg} = A_V \cdot \left( \frac{R_i}{R_i + R_g} \right) \cdot \left( \frac{R_L}{R_o + R_L} \right)$$

**Exemple de probleme rezolvate pentru cursurile 09 DEEA**  
**Amplificatoare de semnal mic cu tranzistoare MOS**

Ținând cont de parametrii de semnal mic ai circuitului de amplificare, determinați la punctul precedent, valoarea numerică a amplificării în tensiune a circuitului de amplificare conectat la circuitele exterioare este:

$$A_{Vg} = -4,76 \cdot \left( \frac{50[k\Omega]}{50[k\Omega] + 0,6[k\Omega]} \right) \cdot \left( \frac{10[k\Omega]}{5,6[k\Omega] + 10[k\Omega]} \right)$$

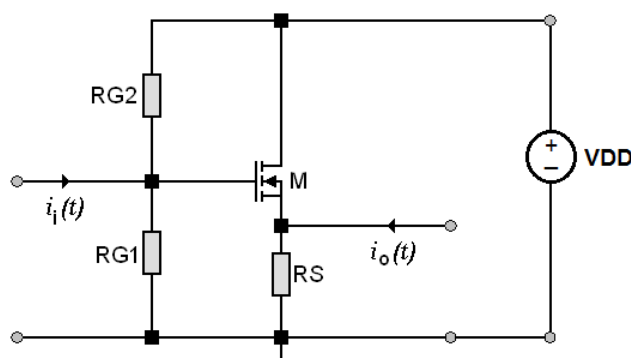
$$A_{Vg} \cong -4,76 \cdot (0,99) \cdot (0,64)$$

⇒

$$A_{Vg} \cong -3,1$$

### Problema 2

Se consideră amplificatorul de semnal mic cu tranzistor MOS indicat în figura de mai jos, în care valorile componentelor electronice sunt  $V_{DD} = 10[V]$ ,  $R_{G2} = 68[k\Omega]$ ,  $R_{G1} = 42[k\Omega]$ ,  $R_S = 3,7[k\Omega]$ , iar tranzistorul **M** are tensiunea de prag  $V_{TH} = 1[V]$  și factorul de transconductanță  $k = 10^{-3} [A/V^2]$ .

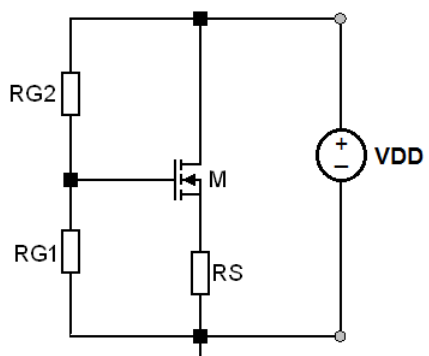


Se cer:

- să se determine punctul static de funcționare al tranzistorului **M** și să se verifice dacă acesta funcționează în regiunea de saturație.
- să se determine valoarea amplificării în curent a amplificatorului atunci când acesta este conectat la un generator de tensiune de rezistență internă  $R_g = 10[k\Omega]$  și un rezistor de sarcină  $R_L = 10[k\Omega]$ .

### Rezolvare

a. Determinarea valorii PSFului tranzistorului MOS, care este compus din perechea de mărimi electrice continue  $I_D$ ,  $V_{DS}$ , se realizează pe circuitul de polarizare al tranzistorului, care se determină din schema electronică a circuitului de amplificare, prin eliminarea ramurilor de circuit care conțin condensatoare. În circuitul inițial, nu există nicio ramură cu condensator iar circuitul de polarizare al tranzistorului **M** rezultă ca în figura de mai jos:



**Exemple de probleme rezolvate pentru cursurile 09 DEEA**  
**Amplificatoare de semnal mic cu tranzistoare MOS**

Circuitul de polarizare al tranzistorului M = circuitul de polarizare cu divizor rezistiv

Circuitul de polarizare rezultat este circuitul de polarizare cu divizor rezistiv, prezentat în cursul în care s-a discutat despre polarizarea tranzistorului MOS. Prin V<sub>GG</sub> s-a notat tensiunea care cade pe R<sub>G1</sub>, ca urmare a divizorului rezistiv compus din R<sub>G1</sub> și R<sub>G2</sub>, pentru tensiunea V<sub>DD</sub>. Determinarea PSFului tranzistorului MOS se realizează conform următoarei proceduri:

1. Se determină valoarea tensiunii care cade pe R<sub>G1</sub>.

$$V_{GG} = \frac{R_{G1}}{R_{G1} + R_{G2}} \cdot V_{DD} \quad \Rightarrow \quad V_{GG} = \frac{42[k\Omega]}{42[k\Omega] + 68[k\Omega]} \cdot 10[V] \cong 3,82[V]$$

2. Se determină valoarea tensiunii grilă sursă V<sub>GS</sub> utilizând sistemul de ecuații, bazat pe presupunerea că tranzistorul MOS lucrează în regiunea de saturație:

$$V_{GS} + R_S \cdot I_D - V_{GG} = 0 \quad (\text{ecuație generată prin aplicarea TK2 pe bucla de circuit care conține } V_{GS})$$

$$I_D = k \cdot (V_{GS} - V_{TH})^2 \quad (\text{ecuația tranzistorului MOS în regiunea de saturație})$$

Rezultă:

$$V_{GS} + 3,7[k\Omega] \cdot I_D - 3,82[V] = 0$$

$$I_D = 1 \left[ \frac{mA}{V^2} \right] \cdot (V_{GS} - 1[V])^2 = 1 \left[ \frac{mA}{V^2} \right] \cdot (V_{GS}^2 - 2 \cdot V_{GS} + 1[V])$$

Pentru determinarea valorii tensiunii V<sub>GS</sub>, se înlocuiește în prima relația expresia curentului **I<sub>D</sub>**. În calculele numerice, rezistența electrică se exprimă în **kΩ**, tensiunea de prag **V<sub>TH</sub>** în **volți**, factorul de transconductanță **k** în **mA/V<sup>2</sup>**. Astfel, în final, valoarea tensiunii V<sub>GS</sub> va rezulta în volți.

$$k = 1 \times 10^{-3} [A/V^2] = 1 [10^{-3} A/V^2] = 1 [mA/V^2]$$

$$V_{GS} + 3,7 \cdot (1 \cdot (V_{GS}^2 - 2 \cdot V_{GS} + 1)) - 3,82 = 0$$

$$V_{GS} + 3,7 \cdot (V_{GS}^2 - 2 \cdot V_{GS} + 1) - 3,82 = 0$$

$$V_{GS} + 3,7 \cdot V_{GS}^2 - 7,4 \cdot V_{GS} + 3,7 - 3,82 = 0$$

$$3,7 \cdot V_{GS}^2 - 6,4 \cdot V_{GS} - 0,12 = 0$$

$$370 \cdot V_{GS}^2 - 640 \cdot V_{GS} - 12 = 0$$

$$V_{GS1,2} = \frac{-(-640) \pm \sqrt{(-640)^2 - 4 \cdot 370 \cdot (-12)}}{2 \cdot 370} = \frac{640 \pm \sqrt{409600 + 17760}}{740} = \frac{640 \pm \sqrt{427360}}{740} \cong \frac{640 \pm 654}{740}$$

**Exemple de probleme rezolvate pentru cursurile 09 DEEA**  
**Amplificatoare de semnal mic cu tranzistoare MOS**

$$V_{GS1} = \frac{640 + 654}{740} \cong 1,75[V] \quad V_{GS2} = \frac{640 - 654}{740} \cong -0,02[V]$$

Din cele două soluții rezultate, întotdeauna se alege soluția care satisface condiția

$$V_{GS} > V_{TH}$$

$$\Rightarrow V_{GS} = 1,75[V]$$

3. Se determină valoarea curentului de drenă din ecuația de funcționare a tranzistorului MOS în regiunea de saturație:

$$I_D = k \cdot (V_{GS} - V_{TH})^2$$

$$I_D = 1 \left[ \frac{mA}{V^2} \right] \cdot (1,75[V] - 1[V])^2 \cong 0,56[mA]$$

$$I_D = 0,56[mA]$$

4. Se determină valoarea tensiunii drenă sursă, cu relația:

$$V_{DS} = V_{DD} - I_D \cdot R_S$$

$$V_{DS} = 10[V] - 0,56[mA] \cdot 3,7[k\Omega] \cong 10[V] - 2,07[V] = 7,93[V]$$

$$V_{DS} = 7,93[V]$$

5. Se verifică dacă tranzistorul MOS funcționează în regiunea de saturație; în acest scop, valorile tensiunilor  $V_{GS}$  și  $V_{DS}$  calculate în PSF trebuie să satisfacă condițiile:

$$V_{GS} > V_{TH} \quad \text{si} \quad V_{DS} > V_{GS} - V_{TH}$$

Pentru valorile numerice ale problemei, condițiile de mai sus sunt:

$$\underbrace{1,75[V] > 1[V]}_{adevarat} \quad \text{si} \quad \underbrace{7,93[V] > 1,75[V] - 1[V]}_{adevarat}$$

Deoarece ambele condiții sunt adevărate, rezultă că tranzistorul MOS lucrează în regiunea de saturație.

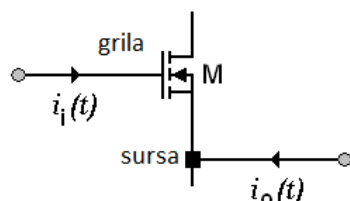
b. pentru determinarea valorii amplificării în curent a amplificatorului conectat la circuitele externe, este necesar ca mai întâi să se determine parametrii de semnal mic al amplificatorului, și anume:

- $A_I$
- $R_i$
- $R_o$



**Exemple de probleme rezolvate pentru cursurile 09 DEEA**  
**Amplificatoare de semnal mic cu tranzistoare MOS**

În acest scop, este necesar ca mai întâi să se identifice conexiunea în care lucrează amplificatorul în regim variabil. Procedura utilizată pentru identificarea conexiunii în care lucrează tranzistorul este indicată în cadrul cursului 9 (comentariile legate de Figura 1 din curs). În cadrul acestei proceduri, se identifică în ce terminal al tranzistorului este aplicată mărimea electrică de intrare, în acest caz curentul de intrare  $i_i$ , respectiv de la ce terminal al tranzistorului se furnizează mărimea electrică de ieșire, în acest caz curentul de ieșire  $i_o$ .



Din schema electronică a circuitului de amplificare considerat, așa cum se specifică și în figura de mai sus, se identifică următoarele:

- curentul de intrare  $i_i$  se aplică în grila tranzistorului,
- curentul de ieșire  $i_o$  se furnizează din sursa tranzistorului.

Rezultă că amplificatorul considerat este în conexiunea Drenă Comună, de unde rezultă că expresiile matematice ale parametrilor de semnal mic ai amplificatorului:

- amplificarea în curent:  $A_I = A_V \cdot \frac{R_i}{R_o}$  unde  $A_V = \frac{g_m \cdot R_S}{1 + g_m \cdot R_S}$
- rezistența de intrare:  $R_i = R_G$  unde  $R_G = \frac{R_{G1} \cdot R_{G2}}{R_{G1} + R_{G2}}$
- rezistența de ieșire:  $R_o = \frac{R_S}{1 + g_m \cdot R_S}$

În expresiile de mai sus este utilizat parametrul de semnal mic al tranzistorului MOS  $g_m$ , denumit panta tranzistorului, care se determină cu relația:

$$g_m = 2 \cdot \sqrt{k \cdot I_D}$$

unde,  $I_D$  reprezintă curentul de drenă al tranzistorului MOS, calculat în PSFul acestuia.

Rezultă:

$$g_m = 2 \cdot \sqrt{1 \left[ \frac{mA}{V^2} \right] \cdot 0,56[mA]} \cong 1,5 \left[ \frac{mA}{V} \right]$$

$$R_G = \frac{42[k\Omega] \cdot 68[k\Omega]}{42[k\Omega] + 68[k\Omega]} \cong 26[k\Omega]$$

$$A_I = \frac{g_m \cdot R_S}{1 + g_m \cdot R_S} \cdot \frac{R_G}{\frac{R_S}{1 + g_m \cdot R_S}} = g_m \cdot R_G$$

$$A_I = 1,5 \left[ \frac{mA}{V} \right] \cdot 26[k\Omega] = 39 \quad A_I = 39$$

$$R_i = 26[k\Omega]$$

**Exemple de probleme rezolvate pentru cursurile 09 DEEA**  
**Amplificatoare de semnal mic cu tranzistoare MOS**

$$R_o = \frac{3,7[k\Omega]}{1 + 1,5 \left[ \frac{mA}{V} \right] \cdot 3,7[k\Omega]} = \frac{3,7}{6,55} [k\Omega] \cong 0,56[k\Omega] \quad R_o = 0,56[k\Omega]$$

Expresia matematică a amplificării în curent a amplificatorului conectat la circuitele externe este următoarea:

$$A_{Ig} = A_I \cdot \left( \frac{R_g}{R_g + R_i} \right) \cdot \left( \frac{R_o}{R_o + R_L} \right)$$

Ținând cont de parametrii de semnal mic ai circuitului de amplificare, determinați anterior, valoarea numerică a amplificării în curent a circuitului de amplificare conectat la circuitele exterioare este:

$$A_{Ig} = 39 \cdot \left( \frac{10[k\Omega]}{10[k\Omega] + 26[k\Omega]} \right) \cdot \left( \frac{0,56[k\Omega]}{0,56[k\Omega] + 10[k\Omega]} \right)$$

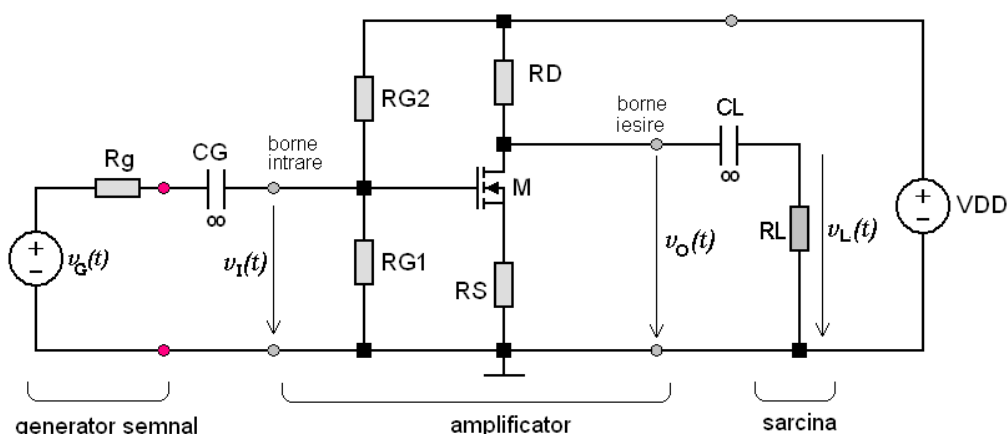
$$A_{Ig} = 39 \times 0,28 \times 0,05$$

⇒

$$A_{Ig} = 0,58$$

### Problema 3

Se consideră amplificatorul de semnal mic cu tranzistor MOS indicat în figura de mai jos, care este conectat la circuitele externe (generator de tensiune si sarcina), în care valorile componentelor electronice sunt: **VDD = 15[V]**, **RG2 = 910[kΩ]**, **RG1 = 220 [kΩ]**, **RD = 36 [kΩ]**, **RS = 0,76 [kΩ]**, iar tranzistorul **M** are tensiunea de prag **V<sub>TH</sub> = 1[V]** și factorul de transconductanță **k = 10<sup>-3</sup> [A/V<sup>2</sup>]**; **Rg = 120 [kΩ]** si **RL = 27[kΩ]**, iar condensatoarele au capacitati electrice de valoare infinita.

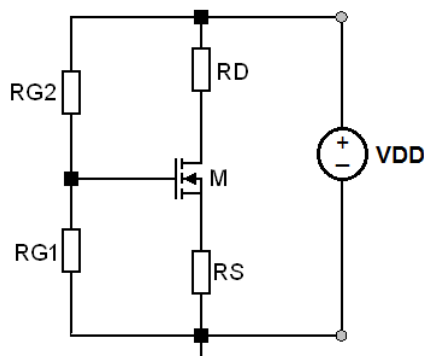


Se cer:

- să se determine punctul static de funcționare al tranzistorului **M** și să se verifice dacă acesta funcționează în regiunea de saturație.
- să se determine valoarea amplificării în tensiune si in curent ale amplificatorului neconectat la circuitele externe;
- să se determine valoarea amplificării în tensiune si in curent ale amplificatorului conectat la circuitele externe indicate in figura de mai sus.

## Rezolvare

a. Determinarea valorii PSFului tranzistorului MOS, care este compus din perechea de mărimi electrice continue  $I_D$ ,  $V_{DS}$ , se realizează pe circuitul de polarizare al tranzistorului, care se determină din schema electrică a circuitului, prin eliminarea ramurilor de circuit care conțin condensatoare. Ramurile care conțin condensatoare sunt ramurile de circuit **CG** – **R<sub>g</sub>** - **v<sub>G</sub>**, respectiv **CL** – **RL**. După eliminarea acestora, rezulta circuitul de polarizare al tranzistorului **M** indicat în figura de mai jos:



Circuitul de polarizare al tranzistorului M = circuitul de polarizare cu divizor rezistiv

Circuitul de polarizare rezultat este circuitul de polarizare cu divizor rezistiv, prezentat în cursul în care s-a discutat despre polarizarea tranzistorului MOS. Prin  $V_{GG}$  s-a notat tensiunea care cade pe  $R_{G1}$ , ca urmare a divizorului rezistiv compus din  $R_{G1}$  și  $R_{G2}$ , pentru tensiunea  $V_{DD}$ . Determinarea PSFului tranzistorului MOS se realizează conform următoarei proceduri:

1. Se determină valoarea tensiunii care cade pe  $R_{G1}$ .

$$V_{GG} = \frac{R_{G1}}{R_{G1} + R_{G2}} \cdot V_{DD} \quad \Rightarrow$$

$$V_{GG} = \frac{220 \text{ [k}\Omega\text{]}}{(220 + 910) \text{ [k}\Omega\text{]}} \cdot 15 \text{ [V]} \Rightarrow V_{GG} \approx 2.92 \text{ [V]}$$

2. Se determină valoarea tensiunii grilă sursă  $V_{GS}$  utilizând sistemul de ecuații, bazat pe presupunerea că tranzistorul MOS lucrează în regiunea de saturație:

$$V_{GS} + R_S \cdot I_D - V_{GG} = 0 \quad (\text{ecuație generată prin aplicarea TK2 pe bucla de circuit care conține } V_{GS})$$

$$I_D = k \cdot (V_{GS} - V_{TH})^2 \quad (\text{ecuația tranzistorului MOS în regiunea de saturație})$$

Pentru determinarea valorii tensiunii  $V_{GS}$ , se înlocuiește în prima relație expresia curentului  $I_D$ . În calculele numerice, rezistența electrică se exprimă în **k $\Omega$** , tensiunea de prag  $V_{TH}$  în **volți**, factorul de transconductanță **k** în **mA/V<sup>2</sup>**. Astfel, în final, valoarea tensiunii  $V_{GS}$  va rezulta în volți.

$$k = 1 \times 10^{-3} \text{ [A/V}^2\text{]} = 1 \text{ [10}^{-3}\text{ A/V}^2\text{]} = 1 \text{ [mA/V}^2\text{]}$$

$$V_{GS} + R_S \cdot K \cdot (V_{GS} - V_{TH})^2 - V_{GG}$$

$$2.92 = V_{GS} + 0.76 \cdot 0.1 \cdot (V_{GS}^2 - 2V_{GS} + 1)$$

$$2.92 = V_{GS} + 0.076 \cdot (V_{GS}^2 - 2 \cdot V_{GS} + 1)$$

$$0.076 \cdot V_{GS}^2 + 0.848 \cdot V_{GS} - 2.844 = 0 \quad | \times 1000$$

$$76 \cdot V_{GS}^2 + 848 \cdot V_{GS} - 2844 = 0$$

$$\sqrt{\Delta} = \sqrt{848^2 - 4 \cdot 76 \cdot (-2844)} \Rightarrow \sqrt{\Delta} = \sqrt{719104 + 864576}$$

$$\sqrt{\Delta} \cong 1258$$

$$V_{GS_{1,2}} = \frac{-848 \pm 1258}{2 \cdot 76} \Rightarrow V_{GS} = \frac{-848 + 1258}{2 \cdot 76} \quad [V]$$

Din cele două soluții rezultate, întotdeauna se alege soluția care satisface condiția

$$V_{GS} > V_{TH}$$

$\Rightarrow$

$$\underline{V_{GS} = 2.697 [V]}$$

3. Se determină valoarea curentului de drenă, din ecuația de funcționare a tranzistorului MOS, valabila în regiunea de saturație:

$$I_D = k \cdot (V_{GS} - V_{TH})^2$$

$$I_D = 0.1 \cdot (2.697 - 1)^2 \quad [mA]$$

$$\underline{I_D \cong 0.288 \quad [mA]}$$

$K \rightarrow$	$\left[ \frac{mA}{V^2} \right]$
tensiune $\rightarrow$	VOLTI
curent $\rightarrow$	$[mA]$

4. Se determină valoarea tensiunii drenă sursă, cu relația:

$$V_{DS} = V_{DD} - I_D \cdot (R_D + R_S)$$

$$V_{DS} = 15 [V] - (36 + 0,76) [K\Omega] \cdot 0,288 [mA]$$

$$V_{DS} \approx (15 - 10,587) [V] \Rightarrow$$

$$\underline{V_{DS} = 4,413 [V]}$$

curent  $\rightarrow [mA]$   
rezistente  $\rightarrow [K\Omega]$   
tensiune  $\rightarrow [V]$   
tensiune  $\rightarrow [V]$

$$P.S.F = (0,288 [mA], 4,413 [V])$$

5. Se verifică dacă tranzistorul MOS funcționează în regiunea de saturație; în acest scop, valorile tensiunilor  $V_{GS}$  și  $V_{DS}$  calculate în PSF trebuie să satisfacă condițiile:

$$V_{GS} > V_{TH} \text{ si } V_{DS} > V_{GS} - V_{TH}$$

Pentru valorile numerice ale problemei, condițiile de mai sus sunt:

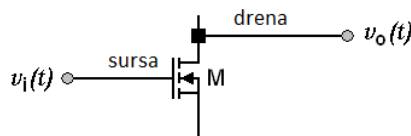
$$4,413 [V] > (2,73 - 4) [V] \text{ adevărat}$$

Deoarece ambele condiții sunt adevărate, rezultă că tranzistorul MOS lucrează în regiunea de saturație.

b. parametrii de semnal mic ai amplificatorului, care descriu comportamentul acestuia când nu este conectat la circuitele externe, sunt:

- $A_v$
- $R_i$
- $R_o$
- $A_I$

Pentru determinarea parametrilor de semnal mic ai amplificatorului, este necesar ca mai întâi să se identifice conexiunea în care acesta lucrează în regim variabil. Procedura utilizată pentru identificarea conexiunii în care lucrează tranzistorul este indicată în cursul 9. În cadrul acestei proceduri, se identifică în ce terminal al tranzistorului este aplicată mărimea electrică de intrare, în acest caz tensiunea de intrare  $v_i$ , respectiv de la ce terminal al tranzistorului se furnizează mărimea electrică de ieșire, în acest caz tensiunea de ieșire  $v_o$ .



Din schema electronică a circuitului de amplificare considerat, așa cum se specifică și în figura de mai sus, se identifică următoarele:

- tensiunea de intrare  $v_i$  se aplică în grila tranzistorului,
- tensiunea de ieșire  $v_o$  se furnizează din drena tranzistorului.

**Exemple de probleme rezolvate pentru cursurile 09 DEEA**  
**Amplificatoare de semnal mic cu tranzistoare MOS**

Rezultă că amplificatorul considerat este în conexiunea Sursă Comună. Deoarece acest tip de amplificator prezintă 2 variante, cu condensator în sursă, respectiv fără condensator în sursă, în continuare se inspectează schema electronică a amplificatorului, în sursa tranzistorului; se observa din schema electrică a amplificatorului analizat ca în sursa tranzistorului nu este prezent condensatorul, de unde rezulta ca amplificatorul analizat este un amplificator cu tranzistor în conexiunea Sursă Comună, fara condensator în sursa. Rezultă că expresiile matematice ale parametrilor de semnal mic ai amplificatorului sunt:

- amplificarea în tensiune:  $A_V = -\frac{g_m \cdot R_D}{1 + g_m \cdot R_S}$
- rezistența de intrare:  $R_i = R_G \quad \text{unde} \quad R_G = \frac{R_{G1} \cdot R_{G2}}{R_{G1} + R_{G2}}$
- rezistența de ieșire:  $R_o = R_D$
- amplificarea în curent:  $A_I = A_V \cdot \frac{R_i}{R_o}$

În expresiile de mai sus este utilizat parametrul de semnal mic al tranzistorului MOS  $g_m$ , denumit panta tranzistorului, care se determină cu relația:

$$g_m = 2 \cdot \sqrt{k \cdot I_D}$$

unde,  $I_D$  reprezintă curentul de drenă al tranzistorului MOS, calculat în PSFul acestuia, iar valoarea parametrului de transconductanta, exprimat în  $[mA/V^2]$  este  $k = 0.1[mA/V^2]$ .

Rezultă:

- transconductanta tranzistorului:

$$g_m = 2 \cdot \sqrt{0.1 \left[ \frac{mA}{V^2} \right] \cdot 0.238 [mA]} \quad g_m \cong 0.339 \left[ \frac{mA}{V} \right]$$

- amplificarea în tensiune a amplificatorului neconectat la circuitele externe:

$$A_V = -\frac{0.339 \left[ \frac{mA}{V} \right] \cdot 36 [k\Omega]}{1 + 0.339 \left[ \frac{mA}{V} \right] \cdot 0.76 [k\Omega]} \Rightarrow A_V \cong -9.7$$

- rezistența de intrare a amplificatorului:

$$R_i = \frac{910 \cdot 220}{910 + 220} \frac{[k\Omega]^2}{[k\Omega]} \Rightarrow R_i \cong 177,17 [k\Omega]$$

- rezistența de ieșire a amplificatorului:

$$R_o = R_D \Rightarrow R_o = 36 \text{ [k}\Omega\text{]}$$

- amplificarea in curent a amplificatorului neconectat la circuitele externe:

$$A_i \cong -9.7 \cdot \frac{177.17 \text{ [k}\Omega\text{]}}{36 \text{ [k}\Omega\text{]}} \Rightarrow A_i \cong -47.74$$

c. la conectarea amplificatorului la circuitele externe (generator de semnal + sarcina), valorile amplificarii scad:

- amplificarea in tensiune a amplificatorului conectat la circuitele externe:

$$A_{Vg} = A_V \cdot \left( \frac{R_i}{R_i + R_g} \right) \cdot \left( \frac{R_L}{R_o + R_L} \right)$$

$$A_{Vg} \cong -9.7 \cdot \frac{177.17}{177.17 + 120} \cdot \frac{27}{27 + 36} \frac{\text{[k}\Omega\text{]}}{\text{[k}\Omega\text{]}}$$

$$A_{Vg} \cong -9.7 \cdot 0.596 \cdot 0.429 \Rightarrow$$

$$A_{Vg} \cong -2.48$$

- amplificarea in curent a amplificatorului conectat la circuitele externe:

$$A_{Ig} = A_I \cdot \left( \frac{R_g}{R_g + R_i} \right) \cdot \left( \frac{R_o}{R_o + R_L} \right)$$

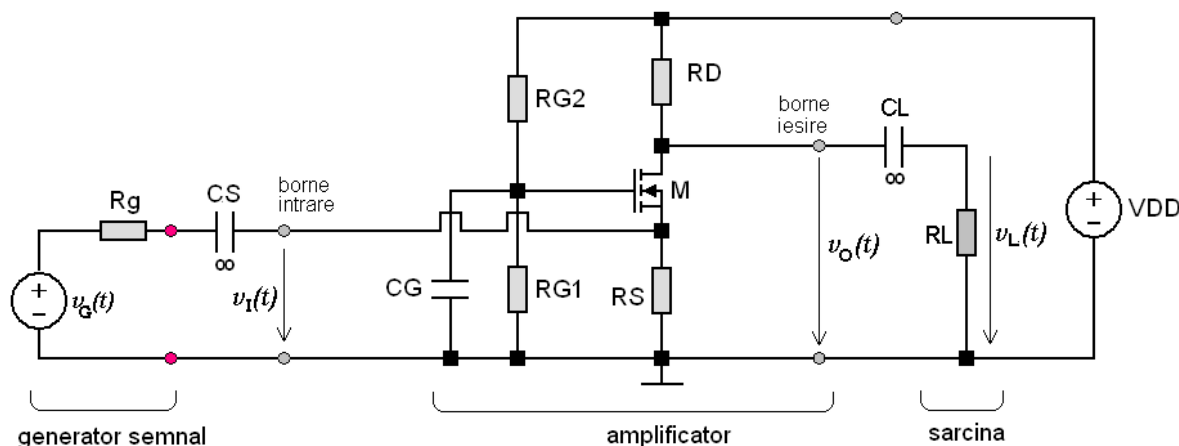
sau

$$A_{Ig} = A_{Vg} \cdot \frac{R_g}{R_L}$$

$$A_{Ig} = -2.48 \cdot \frac{120}{27} \frac{\text{[k}\Omega\text{]}}{\text{[k}\Omega\text{]}} \Rightarrow A_{Ig} \cong -11.02$$

#### Problema 4

Se consideră amplificatorul de semnal mic cu tranzistor MOS indicat în figura de mai jos, care este conectat la circuitele externe (generator de tensiune si sarcina), în care valorile componentelor electronice sunt:  $V_{DD} = 15[V]$ ,  $R_{G2} = 1[M\Omega]$ ,  $R_{G1} = 220 [k\Omega]$ ,  $R_D = 49 [k\Omega]$ ,  $R_S = 0,56 [k\Omega]$ , iar tranzistorul  $M$  are tensiunea de prag  $V_{TH} = 1[V]$  și factorul de transconductanță  $k = 10^{-3} [A/V^2]$ ;  $R_g = 0,6 [k\Omega]$  si  $R_L = 100[k\Omega]$ , iar condensatoarele au capacitati electrice de valoare infinita.

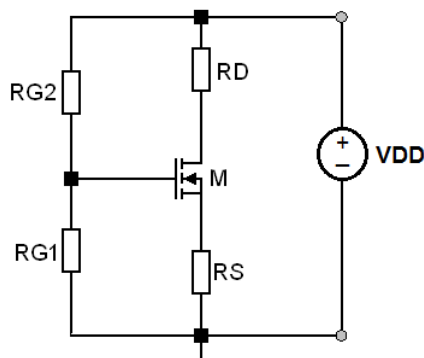


Se cer:

- să se determine punctul static de funcționare al tranzistorului  $M$  și să se verifice dacă acesta funcționează în regiunea de saturație.
- să se determine valoarea amplificării în tensiune si in curent ale amplificatorului neconectat la circuitele externe;
- să se determine valoarea amplificării în tensiune si in curent ale amplificatorului conectat la circuitele externe indicate in figura de mai sus.

#### Rezolvare

a. Determinarea valorii PSFului tranzistorului MOS, care este compus din perechea de mărimi electrice continue  $I_D$ ,  $V_{DS}$ , se realizează pe circuitul de polarizare al tranzistorului, care se determină din schema electrica a circuitului, prin eliminarea ramurilor de circuit care conțin condensatoare. Ramurile care contin condensatoare sunt ramurile de circuit  $CG$ ,  $CS - R_g - v_g$ , respectiv  $CL - RL$ . Dupa eliminarea acestora, rezulta circuitul de polarizare al tranzistorului  $M$  indicat în figura de mai jos:



Circuitul de polarizare al tranzistorului  $M$  = circuitul de polarizare cu divizor rezistiv



**Exemple de probleme rezolvate pentru cursurile 09 DEEA**  
**Amplificatoare de semnal mic cu tranzistoare MOS**

Circuitul de polarizare rezultat este circuitul de polarizare cu divizor rezistiv, prezentat în cursul în care s-a discutat despre polarizarea tranzistorului MOS. Prin V<sub>GG</sub> s-a notat tensiunea care cade pe R<sub>G1</sub>, ca urmare a divizorului rezistiv compus din R<sub>G1</sub> și R<sub>G2</sub>, pentru tensiunea V<sub>DD</sub>. Determinarea PSFului tranzistorului MOS se realizează conform următoarei proceduri:

1. Se determină valoarea tensiunii care cade pe R<sub>G1</sub>.

$$V_{GG} = \frac{R_{G1}}{R_{G1} + R_{G2}} \cdot V_{DD} \Rightarrow$$

$$V_{GG} = \frac{220}{1000 + 220} \frac{[k\Omega]}{[k\Omega]} \cdot 15 [V] \Rightarrow V_{GG} = 2.705 [V].$$

2. Se determină valoarea tensiunii grilă sursă V<sub>GS</sub> utilizând sistemul de ecuații, bazat pe presupunerea că tranzistorul MOS lucrează în regiunea de saturație:

$$V_{GS} + R_S \cdot I_D - V_{GG} = 0 \quad (\text{ecuație generată prin aplicarea TK2 pe bucla de circuit care conține } V_{GS})$$

$$I_D = k \cdot (V_{GS} - V_{TH})^2 \quad (\text{ecuația tranzistorului MOS în regiunea de saturație})$$

Pentru determinarea valorii tensiunii V<sub>GS</sub>, se înlocuiește în prima relație expresia curentului I<sub>D</sub>. În calculele numerice, rezistența electrică se exprimă în **kΩ**, tensiunea de prag V<sub>TH</sub> în **volți**, factorul de transconductanță k în **mA/V<sup>2</sup>**. Astfel, în final, valoarea tensiunii V<sub>GS</sub> va rezulta în volți.

$$k = 1 \times 10^{-3} [A/V^2] = 1 [10^{-3} A/V^2] = 1 [mA/V^2]$$

$$V_{GS} + R_S \cdot k \cdot (V_{GS} - V_{TH})^2 - V_{GG} = 0$$

$$V_{GS} + 0.56 \cdot 0.1 \cdot (V_{GS}^2 - 2V_{GS} + 1) - 2.705 = 0$$

$$0.056 \cdot V_{GS}^2 + V_{GS} - 0.112 \cdot V_{GS} - 2.705 + 0.056 = 0 \Rightarrow$$

$$0.056 \cdot V_{GS}^2 + 0.888 \cdot V_{GS} - 2.649 = 0 \quad | \times 1000$$

$$56 \cdot V_{GS}^2 + 888 \cdot V_{GS} - 2649 = 0$$

$$\sqrt{\Delta} = \sqrt{(888)^2 - 4 \cdot 56 \cdot (-2649)} = \sqrt{788544 + 593376} \cong 1175,6$$

Din cele două soluții rezultate, întotdeauna se alege soluția care satisface condiția

$$V_{GS} > V_{TH}$$

⇒

$$V_{GS} = \frac{-888 + 1175,6}{2 \cdot 56} [V] \Rightarrow \underline{V_{GS} \cong 2,567 [V]}$$

3. Se determină valoarea curentului de drenă, din ecuația de funcționare a tranzistorului MOS, valabila în regiunea de saturație:

$$I_D = k \cdot (V_{GS} - V_{TH})^2$$

$$I_D = 0,1 \cdot (2,567 - 1)^2 [mA] \Rightarrow \underline{I_D \cong 0,246 [mA]}$$

4. Se determină valoarea tensiunii drenă sursă, cu relația:

$$V_{DS} = V_{DD} - I_D \cdot (R_D + R_S)$$

$$V_{DS} = 15 - (49 + 0,56) \cdot 0,246 [V]$$

$$\underline{V_{DS} \cong 2,808 [V]}$$

5. Se verifică dacă tranzistorul MOS funcționează în regiunea de saturație; în acest scop, valorile tensiunilor  $V_{GS}$  și  $V_{DS}$  calculate în PSF trebuie să satisfacă condițiile:

$$V_{GS} > V_{TH} \quad \text{și} \quad V_{DS} > V_{GS} - V_{TH}$$

Pentru valorile numerice ale problemei, condițiile de mai sus sunt adevărate; deoarece ambele condiții sunt adevărate, rezultă că tranzistorul MOS lucrează în regiunea de saturație.

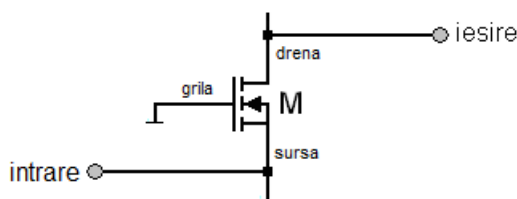
b. parametrii de semnal mic ai amplificatorului, care descriu comportamentul acestuia când nu este conectat la circuitele externe, sunt:

- $A_v$
- $R_i$
- $R_o$
- $A_i$

Pentru determinarea parametrilor de semnal mic ai amplificatorului, este necesar ca mai întâi să se identifice conexiunea în care acesta lucrează în regim variabil. Procedura utilizată pentru

**Exemple de probleme rezolvate pentru cursurile 09 DEEA**  
**Amplificatoare de semnal mic cu tranzistoare MOS**

identificarea conexiunii în care lucrează tranzistorul este indicată în cursul 9. În cadrul acestei proceduri, se identifică în ce terminal al tranzistorului este aplicată mărimea electrică de intrare, în acest caz tensiunea de intrare  $v_i$ , respectiv de la ce terminal al tranzistorului se furnizează mărimea electrică de ieșire, în acest caz tensiunea de ieșire  $v_o$ .



Din schema electronică a circuitului de amplificare considerat, așa cum se specifică și în figura de mai sus, se identifică următoarele:

- tensiunea de intrare  $v_i$  se aplică în sursa tranzistorului,
- tensiunea de ieșire  $v_o$  se furnizează din drena tranzistorului.

Rezultă că amplificatorul considerat este în conexiunea Grila Comună, iar expresiile matematice ale parametrilor de semnal mic ai amplificatorului sunt:

- amplificarea în tensiune:  $A_V = g_m \cdot R_D$
- rezistența de intrare:  $R_i = \frac{R_S}{1 + g_m \cdot R_S}$
- rezistența de ieșire:  $R_o = R_D$
- amplificarea în curent:  $A_I = A_V \cdot \frac{R_i}{R_o} < 1$

În expresiile de mai sus este utilizat parametrul de semnal mic al tranzistorului MOS  $g_m$ , denumit panta tranzistorului, care se determină cu relația:

$$g_m = 2 \cdot \sqrt{k \cdot I_D}$$

unde,  $I_D$  reprezintă curentul de drenă al tranzistorului MOS, calculat în PSFul acestuia, iar valoarea parametrului de transconductanță, exprimat în  $[mA/V^2]$  este  $k = 0.1[mA/V^2]$ .

Rezultă:

- transconductanța tranzistorului:

$$g_m = 2 \cdot \sqrt{0,1 \cdot 0,246} \left[ \frac{mA}{V} \right] \Rightarrow g_m = 0,313 [mA/V]$$

- amplificarea în tensiune a amplificatorului neconectat la circuitele externe:

$$A_V = 0,313 \left[ \frac{mA}{V} \right] \cdot 49 [k\Omega] \Rightarrow A_V = 15,337$$

**Exemple de probleme rezolvate pentru cursurile 09 DEEA**  
**Amplificatoare de semnal mic cu tranzistoare MOS**

- rezistenta de intrare a amplificatorului:

$$R_i = \frac{0,56 \text{ [k}\Omega\text{]}}{1 + 0,313 \left[ \frac{\text{mA}}{\text{V}} \right] \cdot 0,56 \text{ [k}\Omega\text{]}} \Rightarrow R_i \cong 0,476 \text{ [k}\Omega\text{]}$$

- rezistenta de iesire a amplificatorului:

$$R_o = R_D \Rightarrow R_o = 49 \text{ [k}\Omega\text{]}$$

- amplificarea in curent a amplificatorului neconectat la circuitele externe:

$$A_I = 15,337 \cdot \frac{0,476 \text{ [k}\Omega\text{]}}{49 \text{ [k}\Omega\text{]}} \Rightarrow A_I \cong 0,149 < 1$$

c. la conectarea amplificatorului la circuitele externe (generator de semnal + sarcina), valorile amplificarii scad:

- amplificarea in tensiune a amplificatorului conectat la circuitele externe:

$$A_{Vg} = A_V \cdot \left( \frac{R_i}{R_i + R_g} \right) \cdot \left( \frac{R_L}{R_o + R_L} \right)$$

$$A_{Vg} = 15,337 \cdot \frac{0,476}{0,6 + 0,476} \cdot \frac{100}{100 + 49} =$$

$$\cong 15,337 \cdot 0,442 \cdot 0,671 \Rightarrow$$

$$\Rightarrow A_{Vg} \cong 4,548$$

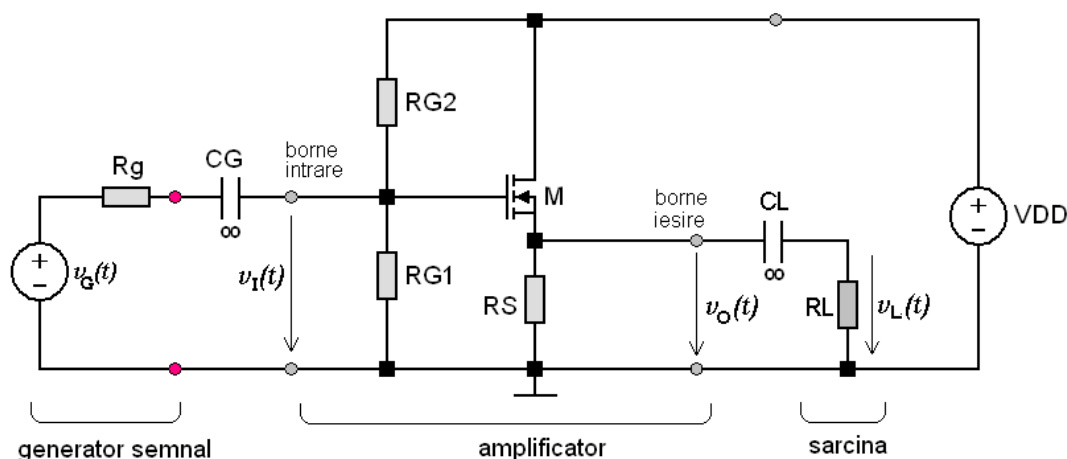
- amplificarea in curent a amplificatorului conectat la circuitele externe:

$$A_{Ig} = A_{Vg} \cdot \frac{R_g}{R_L} \Rightarrow A_{Ig} \cong 4,548 \cdot \frac{0,6 \text{ [k}\Omega\text{]}}{100 \text{ [k}\Omega\text{]}}$$

$$\Rightarrow A_{Ig} \cong 0,027$$

### Problema 5

Se consideră amplificatorul de semnal mic cu tranzistor MOS indicat în figura de mai jos, care este conectat la circuitele externe (generator de tensiune și sarcina), în care valorile componentelor electronice sunt:  $V_{DD} = 15[V]$ ,  $R_{G2} = 690[k\Omega]$ ,  $R_{G1} = 180[k\Omega]$ ,  $R_S = 10[k\Omega]$ , iar tranzistorul  $M$  are tensiunea de prag  $V_{TH} = 0.75[V]$  și factorul de transconductanță  $k = 5^{-4} [A/V^2]$ ;  $R_g = 120[k\Omega]$  și  $R_L = 1[k\Omega]$ , iar condensatoarele au capacități electrice de valoare infinită.

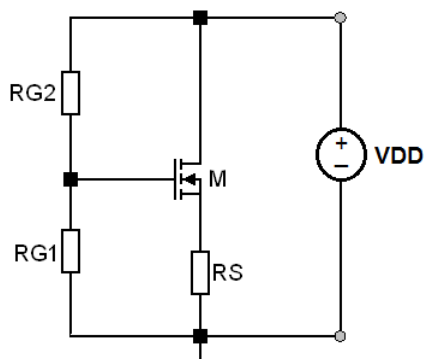


Se cer:

- să se determine punctul static de funcționare al tranzistorului  $M$  și să se verifice dacă acesta funcționează în regiunea de saturație.
- să se determine valoarea amplificării în tensiune și în curent ale amplificatorului neconectat la circuitele externe;
- să se determine valoarea amplificării în tensiune și în curent ale amplificatorului conectat la circuitele externe indicate în figura de mai sus.

### Rezolvare

a. Determinarea valorii PSFului tranzistorului MOS, care este compus din perechea de mărimi electrice continue  $I_D$ ,  $V_{DS}$ , se realizează pe circuitul de polarizare al tranzistorului, care se determină din schema electrică a circuitului, prin eliminarea ramurilor de circuit care conțin condensatoare. Ramurile care conțin condensatoare sunt ramurile de circuit  $CG - R_g - v_g$ , respectiv  $CL - R_L$ . După eliminarea acestora, rezulta circuitul de polarizare al tranzistorului  $M$  indicat în figura de mai jos:



Circuitul de polarizare al tranzistorului  $M$  = circuitul de polarizare cu divizor rezistiv

Circuitul de polarizare rezultat este circuitul de polarizare cu divizor rezistiv, prezentat în cursul în care s-a discutat despre polarizarea tranzistorului MOS. Prin  $V_{GG}$  s-a notat tensiunea care cade pe

**Exemple de probleme rezolvate pentru cursurile 09 DEEA**  
**Amplificatoare de semnal mic cu tranzistoare MOS**

RG1, ca urmare a divizorului rezistiv compus din RG1 și RG2, pentru tensiunea VDD. Determinarea PSFului tranzistorului MOS se realizează conform următoarei proceduri:

1. Se determină valoarea tensiunii care cade pe RG1.

$$V_{GG} = \frac{R_{G1}}{R_{G1} + R_{G2}} \cdot V_{DD} \quad \Rightarrow$$

$$V_{GG} = \frac{R_{G1}}{R_{G1} + R_{G2}} \cdot V_{DD} = \frac{180 [k\Omega]}{(180 + 690) [k\Omega]} \cdot 15 [V]$$

$$V_{GG} \cong 3,103 [V]$$

2. Se determină valoarea tensiunii grilă sursă  $V_{GS}$  utilizând sistemul de ecuații, bazat pe presupunerea că tranzistorul MOS lucrează în regiunea de saturație:

$$V_{GS} + R_S \cdot I_D - V_{GG} = 0 \quad (\text{ecuație generată prin aplicarea TK2 pe bucla de circuit care conține } V_{GS})$$

$$I_D = k \cdot (V_{GS} - V_{TH})^2 \quad (\text{ecuația tranzistorului MOS în regiunea de saturație})$$

Pentru determinarea valorii tensiunii  $V_{GS}$ , se înlocuiește în prima relație expresia curentului  $I_D$ . În calculele numerice, rezistența electrică se exprimă în **kΩ**, tensiunea de prag  $V_{TH}$  în **volți**, factorul de transconductanță **k** în **mA/V<sup>2</sup>**. Astfel, în final, valoarea tensiunii  $V_{GS}$  va rezulta în volți.

$$k = 5^{-4} [A/V^2] = 5 \times 10^{-1} \times 10^{-3} [A/V^2] = 5 \times 10^{-1} [10^{-3} A/V^2] = 0.5 [mA/V^2]$$

$$V_{GS} + R_S \cdot k \cdot (V_{GS} - V_{TH})^2 - V_{GG} = 0$$

$$V_{GS} + 10 \cdot 0,05 \cdot (V_{GS}^2 - 1,5 \cdot V_{GS} + 0,5625) - 3,103 = 0$$

$$0,5 \cdot V_{GS}^2 + (1 - 0,75) V_{GS} + 0,28125 - 3,103 = 0$$

$$0,5 \cdot V_{GS}^2 + 0,25 \cdot V_{GS} - 2,82175 = 0 \quad | \times 100$$

$$50 \cdot V_{GS}^2 + 25 \cdot V_{GS} - 282,175 = 0$$

$$\sqrt{\Delta} = \sqrt{(25)^2 - 4 \cdot 50 \cdot (-282,175)} = \sqrt{625 + 56435}$$

$$\sqrt{\Delta} \cong 238,872$$

Din cele două soluții rezultate, întotdeauna se alege soluția care satisface condiția

$$V_{GS} > V_{TH}$$

$\Rightarrow$

$$V_{GS} = \frac{-25 + 238,872}{2 \cdot 50} [V] \Rightarrow \underline{V_{GS} \cong 2,139 [V]}$$

$$V_{GS} > V_{TH} = 0,75 [V] \quad (\text{adevărat})$$

3. Se determină valoarea curentului de drenă, din ecuația de funcționare a tranzistorului MOS, valabilă în regiunea de saturație:

$$I_D = k \cdot (V_{GS} - V_{TH})^2$$

$$I_D = K \cdot (V_{GS} - V_{TH})^2 = 0,05 \left[ \frac{mA}{V^2} \right] \cdot (2,139 - 0,75)^2 [V]^2$$

$$\underline{I_D = 0,096 [mA]}$$

4. Se determină valoarea tensiunii drenă sursă, cu relația:

$$V_{DS} = V_{DD} - I_D \cdot R_S$$

$$V_{DS} = V_{DD} - R_S \cdot I_D = 15 [V] - 10 [k\Omega] \cdot 0,096 [mA]$$

$$\Rightarrow \underline{V_{DS} \cong 14,04 [V]}$$

5. Se verifică dacă tranzistorul MOS funcționează în regiunea de saturație; în acest scop, valorile tensiunilor  $V_{GS}$  și  $V_{DS}$  calculate în PSF trebuie să satisfacă condițiile:

$$V_{GS} > V_{TH} \quad \text{și} \quad V_{DS} > V_{GS} - V_{TH}$$

Pentru valorile numerice ale problemei, condițiile de mai sus sunt adevărate; deoarece ambele condiții sunt adevărate, rezultă că tranzistorul MOS lucrează în regiunea de saturație.



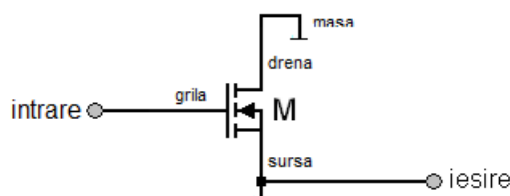
$$14.04 [V] > (3,103 - 0,75) [V] \rightarrow \text{acelerat}$$

$$\Rightarrow M \text{ lucrează în SATURAȚIE}$$

b. parametrii de semnal mic ai amplificatorului, care descriu comportamentul acestuia când nu este conectat la circuitele externe, sunt:

- $A_V$
- $R_i$
- $R_o$
- $A_I$

Pentru determinarea parametrilor de semnal mic ai amplificatorului, este necesar ca mai întâi să se identifice conexiunea în care acesta lucrează în regim variabil. Procedura utilizată pentru identificarea conexiunii în care lucrează tranzistorul este indicată în cursul 9. În cadrul acestei proceduri, se identifică în ce terminal al tranzistorului este aplicată mărimea electrică de intrare, în acest caz tensiunea de intrare  $v_i$ , respectiv de la ce terminal al tranzistorului se furnizează mărimea electrică de ieșire, în acest caz tensiunea de ieșire  $v_o$ .



Din schema electronică a circuitului de amplificare considerat, așa cum se specifică și în figura de mai sus, se identifică următoarele:

- tensiunea de intrare  $v_i$  se aplică în grila tranzistorului,
- tensiunea de ieșire  $v_o$  se furnizează din sursa tranzistorului.

Rezultă că amplificatorul considerat este în conexiunea Drena Comună, iar expresiile matematice ale parametrilor de semnal mic ai amplificatorului sunt:

- amplificarea în tensiune:  $A_V = \frac{g_m \cdot R_S}{1 + g_m \cdot R_S} < 1$
- rezistența de intrare:  $R_i = R_G \quad \text{unde} \quad R_G = \frac{R_{G1} \cdot R_{G2}}{R_{G1} + R_{G2}}$
- rezistența de ieșire:  $R_o = \frac{R_S}{1 + g_m \cdot R_S}$
- amplificarea în curent:  $A_I = A_V \cdot \frac{R_i}{R_o}$

În expresiile de mai sus este utilizat parametrul de semnal mic al tranzistorului MOS  $g_m$ , denumit panta tranzistorului, care se determină cu relația:

$$g_m = 2 \cdot \sqrt{k \cdot I_D}$$

unde,  $I_D$  reprezintă curentul de drenă al tranzistorului MOS, calculat în PSFul acestuia.



**Exemple de probleme rezolvate pentru cursurile 09 DEEA**  
**Amplificatoare de semnal mic cu tranzistoare MOS**

Valoarea parametrului de transconductanta, exprimata in  $[\text{mA/V}^2]$  este

$$k = 5^{-4} [\text{A/V}^2] = 5 \times 10^{-1} \times 10^{-3} [\text{A/V}^2] = 5 \times 10^{-1} [10^{-3} \text{A/V}^2] = 0.5 [\text{mA/V}^2]$$

Rezultă:

- transconductanta tranzistorului:

$$g_m = 2 \cdot \sqrt{k \cdot I_D} = 2 \cdot \sqrt{0,05 \left[ \frac{\text{mA}}{\text{V}^2} \right] \cdot 0,096 [\text{mA}]}$$

$$g_m \cong 0,139 \left[ \frac{\text{mA}}{\text{V}} \right]$$

- amplificarea in tensiune a amplificatorului neconectat la circuitele externe:

$$A_v = \frac{0,139 \left[ \frac{\text{mA}}{\text{V}} \right] \cdot 10 [\text{k}\Omega]}{1 + 0,139 \left[ \frac{\text{mA}}{\text{V}} \right] \cdot 10 [\text{k}\Omega]} \Rightarrow A_v \cong 0,581 < 1$$

- rezistenta de intrare a amplificatorului:

$$R_i = \frac{180 \cdot 690 [\text{k}\Omega]^2}{(180 + 690) [\text{k}\Omega]} \Rightarrow R_i \cong 142,759 [\text{k}\Omega]$$

- rezistenta de iesire a amplificatorului:

$$R_o = \frac{10 [\text{k}\Omega]}{1 + 0,139 \left[ \frac{\text{mA}}{\text{V}} \right] \cdot 10 [\text{k}\Omega]} \Rightarrow R_o \cong 4,184 [\text{k}\Omega]$$

- amplificarea in curent a amplificatorului neconectat la circuitele externe:

$$A_i = 0.581 \times 142.759 [\text{k}\Omega] / 4.184 [\text{k}\Omega] \Rightarrow A_i = 19.82$$

c. la conectarea amplificatorului la circuitele externe (generator de semnal + sarcina), valorile amplificarii scad:

- amplificarea in tensiune a amplificatorului conectat la circuitele externe:

$$A_{Vg} = A_v \cdot \left( \frac{R_i}{R_i + R_g} \right) \cdot \left( \frac{R_L}{R_o + R_L} \right)$$

$$A_{vg} = 0,581 \cdot \frac{142,759 \text{ [k}\Omega\text{]}}{(142,759 + 120) \text{ [k}\Omega\text{]}} \cdot \frac{1 \text{ [k}\Omega\text{]}}{(4,184 + 1) \text{ [k}\Omega\text{]}}$$

$$A_{vg} = 0,581 \cdot 0,543 \cdot 0,193 \Rightarrow A_{vg} \cong 0,061$$

- amplificarea in curent a amplificatorului conectat la circuitele externe:

$$A_{Ig} = A_{vg} \cdot \frac{R_g}{R_L} = 0,061 \cdot \frac{120 \text{ [k}\Omega\text{]}}{1 \text{ [k}\Omega\text{]}} \Rightarrow A_{Ig} \cong 7,32$$