

Pentru evitarea introducerii distorsiunilor în forma de undă a semnalelor prin care este reprezentată informația, circuitele de amplificare trebuie să funcționeze în regim liniar.

În cazul în care circuitele de amplificare sunt realizate pe bază de tranzistoare MOS, pentru ca amplificatoarele respective să funcționeze în regim liniar, este necesar ca tranzistoarele MOS să funcționeze în regim de semnal mic, caz în care amplificatoarele se numesc amplificatoare de semnal mic.

În plus, pentru a amplifica liniar semnalele electrice, tranzistoarele MOS trebuie să funcționeze în Regiunea de Saturație.

În continuare, se consideră că toate amplificatoarele prezentate sunt amplificatoare de semnal mic, lucrează în banda de frecvență și tranzistoarele MOS funcționează în regiunea de saturație.

Pentru fiecare tip de amplificator, se prezintă relațiile care permit calcularea Punctului Static de Funcționare al tranzistorului MOS, definit de mărimile electrice continue I_D și V_{DS} , respectiv relațiile care permit determinarea valorilor parametrilor de semnal mic ai amplificatoarelor, valabile în banda de frecvență a amplificatorului, și anume:

- relația de calcul a factorului de amplificare în tensiune A_v ,
- relația de calcul a factorului de amplificare în curent A_i ,
- relația de calcul a rezistenței de intrare în amplificator R_i ,
- relația de calcul a rezistenței de ieșire din amplificator R_o .

Relațiile de calcul ale parametrilor de semnal mic ai amplificatoarelor prezentate sunt deduse pe baza circuitului echivalent al tranzistorului MOS, valabil în regim variabil de semnal mic, în banda de frecvență a amplificatoarelor, care modelează comportamentul tranzistorului MOS prin intermediul unui circuit liniar, descris de parametru g_m – panta tranzistorului. Metoda prin care sunt deduse relațiile pentru parametrii de semnal mic ai amplificatoarelor este prezentată la finalul cursului, în care se prezintă analiza unui amplificator cu tranzistor MOS.

I. Amplificatoare de semnal mic cu tranzistoare MOS

În prezentarea care urmează se va considera cazul tranzistoarelor MOS cu canal indus. În funcție de modul în care se poate utiliza un tranzistor MOS într-un circuit de amplificare, mod stabilit de terminalele tranzistorului la care se consideră intrarea, ieșirea, respectiv masa amplificatorului, atunci când acesta funcționează în regim variabil, există trei configurații fundamentale de circuite de amplificare cu tranzistoare MOS, sugerate și în Figura 1, și anume:

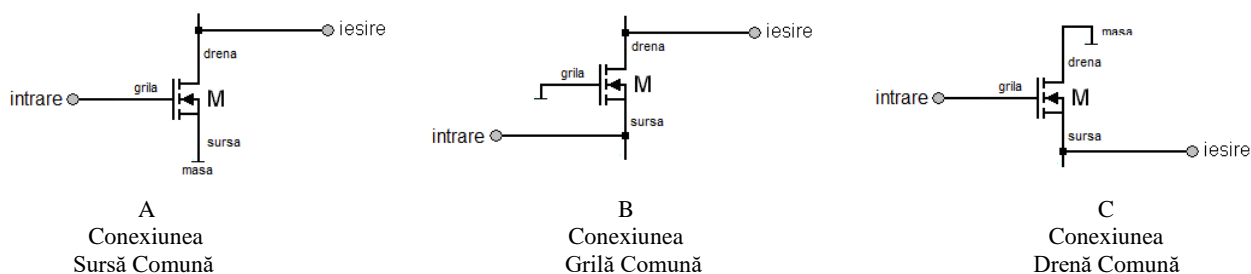


Figura 1. Conexiunile de bază ale amplificatoarelor cu tranzistoare MOS

- amplificator cu tranzistor MOS în conexiunea **Sursă Comună**, la care intrarea amplificatorului este aplicată în grila tranzistorului, iar ieșirea amplificatorului este furnizată din drenă tranzistorului;
- amplificator cu tranzistor MOS în conexiunea **Grilă Comună**, la care intrarea amplificatorului este aplicată în sursa tranzistorului, iar ieșirea amplificatorului este furnizată din drenă tranzistorului;

- amplificator cu tranzistor MOS în conexiunea **Drenă Comună**, la care intrarea amplificatorului este aplicată în grila tranzistorului, iar ieșirea amplificatorului este furnizată din drena tranzistorului.

În figura de mai sus, și de asemenea, în toate circuitele de amplificare care vor fi prezentate, se consideră doar tranzistoare MOS cu canal indus de tip N. Pentru amplificatoarele realizate pe baza tranzistoarelor MOS cu canal indus de tip P, discuția este similară, iar configurațiile circuitelor sunt identice, cu excepția sursei de alimentare V_{DD} , care se introduce invers în circuit, cu borna + la masa circuitului.

Atunci când sunt utilizate în circuitele de amplificare, tranzistoarele MOS trebuie să funcționeze în Regiunea de Saturație, pentru a nu introduce distorsiuni în forma de undă a semnalelor electrice utilizate pentru reprezentarea informației. Regiunea de funcționare a tranzistoarelor MOS este stabilită prin polarizarea acestora, realizată prin intermediul circuitelor de polarizare. În cazul tranzistoarelor MOS cu canal indus, în general se utilizează circuitul de polarizare cu divizor rezistiv în grilă. Deoarece circuitul de polarizare stabilește regiunea de funcționare a tranzistorului MOS, acesta face parte din schema electrică a circuitelor de amplificare. În continuare, se prezintă cele 3 tipuri de conexiuni elementare, în care se pot utiliza tranzistoarele MOS în structura circuitelor de amplificare. În Figura 2 se reamintește circuitul de polarizare cu divizor rezistiv în grilă, care poate fi utilizat atât în cazul tranzistoarelor MOS cu canal indus, cât și pentru tranzistoarele MOS cu canal inițial (în cazul acestui tip de tranzistor, se mai poate utiliza și varianta cu autopolarizare pentru circuitul de polarizare, dar acest caz nu este prezentat).

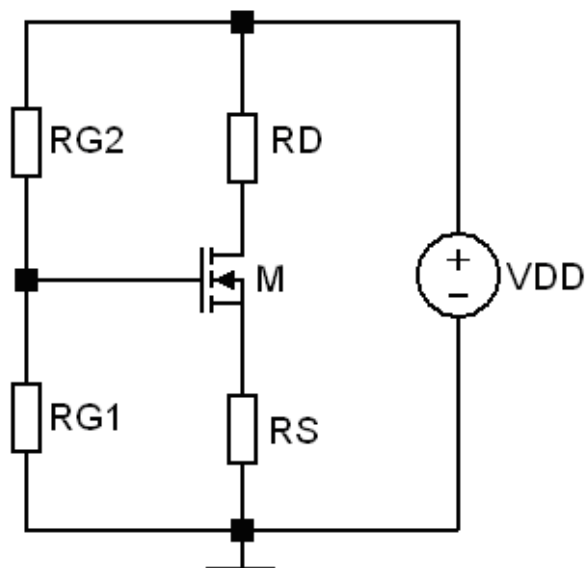


Figura 2. Circuitul de polarizare al tranzistorului MOS cu divizor rezistiv în grilă.

1. Amplificator cu tranzistor MOS în conexiunea Sursă Comună

Există 2 variante ale acestui tip de amplificator și anume:

- amplificator cu tranzistor MOS cu condensator în sursă,
- amplificator cu tranzistor MOS fără condensator în sursă.

a. Amplificator cu tranzistor MOS în conexiunea Sursă Comună cu condensator în sursă

Schema electronică a amplificatorului cu tranzistor MOS în conexiunea Sursă Comună cu condensator în sursă este prezentată în Figura 3, în care se specifică și sursa de alimentare V_{DD} .

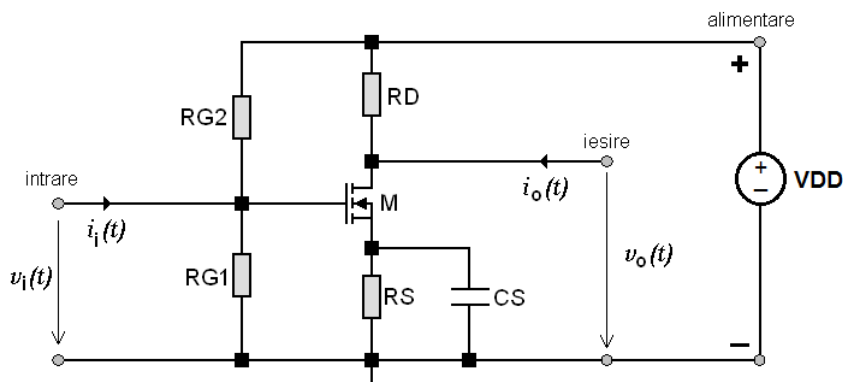
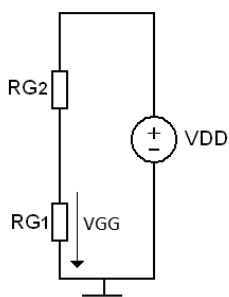


Figura 3. Amplificator cu tranzistor MOS în conexiunea Sursă Comună cu condensator în sursă

Punctul Static de Functionare este definit de marimi electrice continue. Deoarece curentul continuu printr-un condensator este nul, condensatorul CS nu influențează calculul marimilor electrice care definesc PSF-ul tranzistorului MOS. Din acest motiv, în Figura 3, circuitul de polarizare al tranzistorului MOS este cel prezentat în Figura 2. Astfel, relațiile de calcul pentru **PSF-ul** tranzistorului MOS se deduc conform celor procedurii indicate mai jos:

- Se determină valoarea tensiunii care cade pe R_{G1} . În acest scop, se observă că, deoarece curentul prin grila tranzistorului M este nul, rezistoarele R_{G1} , R_{G2} compun un divizor rezistiv pentru tensiunea de alimentare V_{DD} :



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

- Se determină valoarea tensiunii grilă sursă V_{GS} utilizând sistemul de ecuații:

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

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

unde k reprezintă factorul de transconductanță al tranzistorului, iar V_{TH} reprezintă tensiunea de prag a tranzistorului. Rezultă o ecuație de gradul 2 care are cel mult două soluții; întotdeauna se alege soluția care satisface condiția

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

Dacă o astfel de soluție nu există, atunci tranzistorul funcționează în regiunea de blocare, iar curentul de drenă este nul ($I_D = 0$). O astfel de soluție, nu este utilă atunci când tranzistorul este utilizat într-un amplificator.

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

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

4. Se determină valoarea tensiunii drenă sursă, cu relația: $V_{DS} = V_{DD} - I_D \cdot (R_D + R_S)$

5. Se verifică dacă tranzistorul MOS funcționează în regiunea de saturație – singura în care acesta poate amplifica liniar semnalele electrice; în acest scop, valorile tensiunilor V_{GS} și V_{DS} calculate în PSF trebuie să satisfacă condițiile:

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

Parametrii de semnal mic ai amplificatorului au următoarele relații de calcul:

- amplificarea în tensiune: $A_V = -g_m \cdot R_D$
- amplificarea în curent: $A_I = A_V \cdot \frac{R_i}{R_o}$
- 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: $R_o = R_D$

În relațiile de mai sus, g_m este parametrul de semnal mic al tranzistorului MOS (denumit și panta tranzistorului MOS), 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 PSF.

Observații:

- Semnul “-” din fața relației factorului de amplificare în tensiune indică un defazaj de 180° între tensiunea de ieșire v_o și cea de intrare v_i , iar modulul expresiei indică de câte ori rezultă mai mare amplitudinea V_o a tensiunii de ieșire față de amplitudinea V_i a tensiunii de intrare în amplificator:

$$V_o = |A_V| \cdot V_i$$

- Semnul “-” din fața relației factorului de amplificare în curent indică un defazaj de 180° între curentul de ieșire i_o și cel de intrare i_i , iar modulul expresiei indică de câte ori rezultă mai mare amplitudinea I_o a curentului de ieșire față de amplitudinea I_i a curentului de intrare în amplificator:

$$I_o = |A_I| \cdot I_i$$

- Deoarece acest amplificator amplifică atât în tensiune cât și în curent, amplificatorul în conexiunea Sursă Comună amplifică în putere.

- Valoarea rezistenței de intrare poate fi controlată ușor astfel încât să rezulte mare, sau mică (alegând R_{G1} și R_{G2} de valori mari, respectiv mici); din acest motiv pierderile de tensiune, sau de curent, la bornele de intrare ale amplificatorului, pot fi evitate (nu ambele însă).
- Valoarea rezistenței de ieșire este medie (sute de ohmi ÷ câțiva kilohmi), și din acest motiv vor exista atât pierderi de tensiune, cât și pierderi de curent, la bornele de ieșire ale amplificatorului.

b. Amplificator cu tranzistor MOS în conexiunea Sursă Comună fără condensator în sursă

Schema electronică a amplificatorului cu tranzistor MOS în conexiunea Sursă Comună fără condensator în sursă este prezentată în Figura 4, în care se specifică și sursa de alimentare V_{DD} .

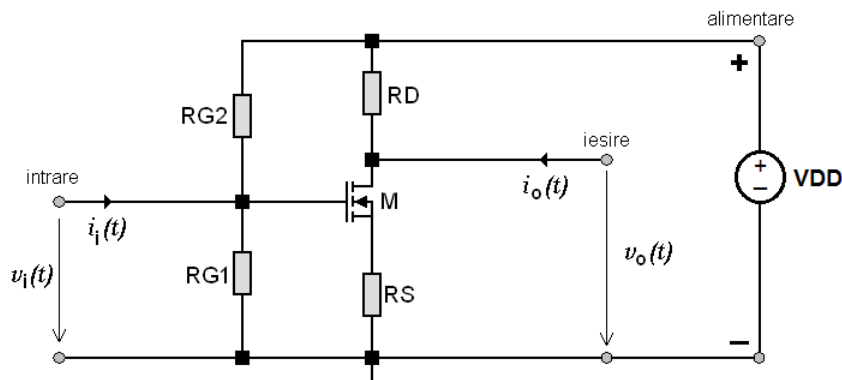


Figura 4. Amplificator cu tranzistor MOS în conexiunea Sursă Comună fără condensator în sursă

Procedura de calcul a Punctului Static de Funcționare a tranzistorului MOS este identică cu cea prezentată pentru amplificatorul precedent.

Parametrii de semnal mic ai amplificatorului au următoarele relații de calcul:

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

În relațiile de mai sus, g_m este parametrul de semnal mic al tranzistorului MOS, 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 PSF.

Observații:

- Semnul “-” din fața relației factorului de amplificare în tensiune indică un defazaj de 180° între tensiunea de ieșire v_o și cea de intrare v_i , iar modulul expresiei indică de câte ori

rezultă mai mare amplitudinea V_o a tensiunii de ieșire față de amplitudinea V_i a tensiunii de intrare în amplificator:

$$V_o = |A_V| \cdot V_i$$

- Semnul “-” din fața relației factorului de amplificare în curent indică un defazaj de 180° între curentul de ieșire i_o și cel de intrare i_i , iar modulul expresiei indică de câte ori rezultă mai mare amplitudinea I_o a curentului de ieșire față de amplitudinea I_i a curentului de intrare în amplificator:

$$I_o = |A_I| \cdot I_i$$

- Deoarece acest amplificator amplifică atât în tensiune cât și în curent, amplificatorul în conexiunea Sursă Comună amplifică în putere.
- Valoarea rezistenței de intrare poate fi controlată ușor astfel încât să rezulte mare, sau mică (alegând R_{G1} și R_{G2} de valori mari, respectiv mici); din acest motiv pierderile de tensiune, sau de curent, la bornele de intrare ale amplificatorului, pot fi evitate (nu ambele însă).
- Valoarea rezistenței de ieșire este medie (sute de ohmi ÷ câțiva kilohmi), și din acest motiv vor exista atât pierderi de tensiune, cât și pierderi de curent, la bornele de ieșire ale amplificatorului.

2. Amplificator cu tranzistor MOS în conexiunea Grilă Comună

Schema electronică a amplificatorului cu tranzistor MOS în conexiunea Grilă Comună (GC) este prezentată în Figura 5, în care se specifică și sursa de alimentare V_{DD} .

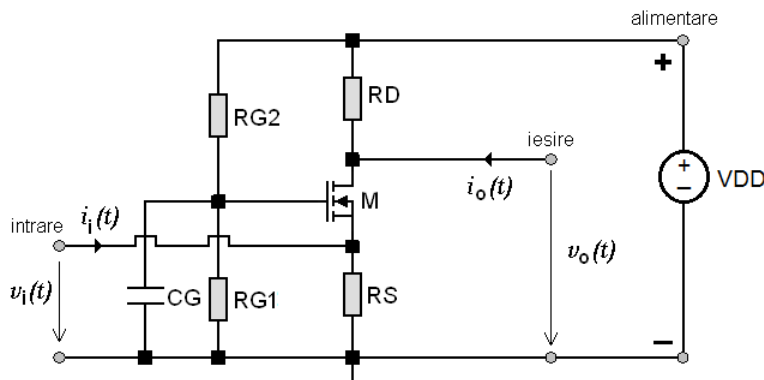


Figura 5. Amplificator cu tranzistor MOS în conexiunea Grilă Comună.

Deoarece curentul continuu prin condensatorul CG este nul, CG nu influențează calculul marimilor electrice care definesc PSFul tranzistorului MOS. Din acest motiv, în Figura 5, circuitul de polarizare al tranzistorului MOS este cel prezentat în Figura 2, iar procedura utilizată pentru calculul valorilor PSFului tranzistorului MOS este identică cu cea prezentată pentru amplificatorul cu tranzistor MOS în conexiunea Sursă Comună.

Parametrii de semnal mic ai amplificatorului au următoarele relații de calcul:

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

- rezistența de ieșire: $R_o = R_D$

În relațiile de mai sus, g_m este parametrul de semnal mic al tranzistorului MOS, 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 PSF.

Observații:

- Semnul “+” din fața relației factorului de amplificare în tensiune indică un defazaj de 0^0 între tensiunea de ieșire v_o și cea de intrare v_i , iar modulul expresiei indică de câte ori rezultă mai mare amplitudinea V_o a tensiunii de ieșire față de amplitudinea V_i a tensiunii de intrare în amplificator:

$$V_o = |A_V| \cdot V_i$$

- Semnul “+” din fața relației factorului de amplificare în curent indică un defazaj de 0^0 între curentul de ieșire i_o și cel de intrare i_i , iar modulul expresiei, care este egal cu **1**, indică faptul că acest tip de amplificator **nu** amplifică în curent, amplitudinile curenților fiind egale:

$$I_o = I_i$$

- Valoarea rezistenței de intrare este mică (sute de ohmi), și din acest motiv vor exista pierderi mari de tensiune la bornele de intrare ale amplificatorului.
- Valoarea rezistenței de ieșire este medie (sute de ohmi ÷ câțiva kilohmi), și din acest motiv vor exista pierderi de tensiune la bornele de ieșire ale amplificatorului.

3. Amplificator cu tranzistor MOS în conexiunea Drenă Comună

Schema electronică a amplificatorului cu tranzistor MOS în conexiunea Drenă Comună (DC) este prezentată în Figura 6, în care se specifică și sursa de alimentare V_{DD} .

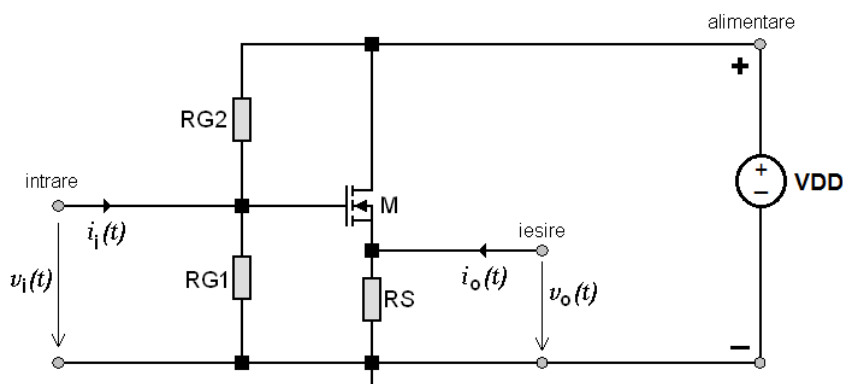


Figura 6. Amplificator cu tranzistor MOS în conexiunea Drenă Comună.

Procedura de calcul a Punctului Static de Funcționare a tranzistorului MOS este identică cu cea prezentată pentru amplificatorul cu tranzistor MOS în conexiunea Sursă Comună, cu observația că formula de calcul pentru tensiunea V_{DS} care devine:

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

Parametrii de semnal mic ai amplificatorului au următoarele relații de calcul:

- amplificarea în tensiune: $A_V = \frac{g_m \cdot R_S}{1 + g_m \cdot R_S} < 1$
- amplificarea în curent: $A_I = A_V \cdot \frac{R_i}{R_o}$
- 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 relațiile de mai sus, g_m este parametrul de semnal mic al tranzistorului MOS, 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 PSF.

Observații:

- Semnul “+” din fața relației factorului de amplificare în tensiune indică un defazaj de 0° între tensiunea de ieșire v_o și cea de intrare v_i , iar modulul expresiei, care este egal cu **1**, indică faptul că acest tip de amplificator nu amplifică în tensiune, amplitudinile tensiunilor fiind egale; datorită faptului că tensiunea de ieșire este identică cu cea de intrare, acest circuit se mai numește și repetor pe emitor:

$$V_o = V_i$$

- Semnul “+” din fața relației factorului de amplificare în curent indică un defazaj de 0° între curentul de ieșire i_o și cel de intrare i_i , iar modulul expresiei indică de câte ori rezultă mai mare amplitudinea I_o a curentului de ieșire față de amplitudinea I_i a curentului de intrare în amplificator:

$$I_o = |A_I| \cdot I_i$$

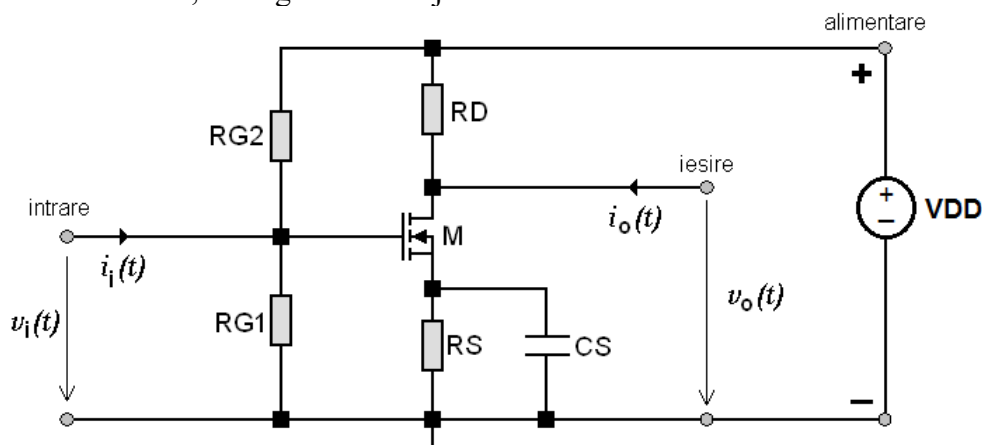
- Valoarea rezistenței de intrare este mare (zeci de kilohmi÷ sute de kilohmi), și din acest motiv **nu** vor exista pierderi de tensiune la bornele de intrare ale amplificatorului.
- Valoarea rezistenței de ieșire este mică (zeci de ohmi), și din acest motiv **nu** vor exista pierderi de tensiune la bornele de ieșire ale amplificatorului.

II. Metoda de analiză a amplificatoarelor de semnal mic cu tranzistoare

În continuare se prezintă metoda prin care se realizează analiza amplificatoarelor de semnal mic cu tranzistoare MOS, în scopul determinării punctului static de funcționare al acestora, precum și a expresiilor matematice ale parametrilor de semnal mic ai amplificatorului considerat. Metoda prezentată se bazează pe deducerea unor circuite de calcul, pornind de la schema electronică a amplificatorului considerat, care sunt utilizate pentru determinarea parametrilor de interes. Metoda prezentată este valabilă indiferent de schema electronică a amplificatorului și a fost utilizată în deducerea expresiilor matematice pentru parametrii tuturor amplificatoarelor de semnal mic prezentate anterior.

Exemplu de analiză a unui amplificator de semnal mic cu tranzistor MOS

Se consideră schema electronică a amplificatorului de semnal mic, cu tranzistor MOS în conexiunea Sursă Comună, din figura de mai jos.



Mărimile electrice din schema electronică a amplificatorului considerat au următoarele semnificații:

semnale de intrare:

- $v_i(t)$ reprezintă tensiunea de intrare în amplificator;
- $i_i(t)$ reprezintă curentul de intrare în amplificator;

semnale de ieșire:

- $v_o(t)$ reprezintă tensiunea de ieșire din amplificator;
- $i_o(t)$ reprezintă curentul de ieșire din amplificator.

Semnalele de intrare provin de la un generator de semnal, care se aplică la bornele de intrare ale amplificatorului, în general prin intermediul unui condensator de capacitate electrică mare (zeci de microfarazi). Aceste semnale sunt semnalele de amplificat.

Semnalele de ieșire sunt furnizate unei sarcini, care poate fi sau o simplă rezistență electrică, sau un circuit electronic. Semnalele de ieșire reprezintă rezultatul prelucrării de către amplificator a semnalelor de intrare și sunt semnalele amplificate. Sarcina pe care sunt furnizate aceste semnale este conectată la bornele de ieșire ale amplificatorului, în general, prin intermediul unui condensator de capacitate electrică mare (zeci de microfarazi)..

Semnalele electrice descrise mai sus sunt utilizate pentru reprezentarea informației care urmează a fi prelucrată de către amplificator (prelucrată \equiv amplificată). Întotdeauna, pentru ca circuitul electronic să fie capabil să prelucreze informația respectivă, este necesar ca acesta să primească energie electrică de o sursă de energie electrică. Pentru amplificator, sursa de energie electrică este reprezentată de către sursa de alimentare (care este o sursă de tensiune continuă), care se conectează la bornele de alimentare ale amplificatorului.

Rolul componentelor electronice ale amplificatorului este următorul:

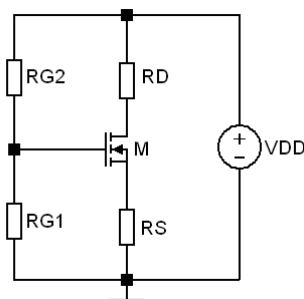
- sursa de alimentare V_{DD} furnizează energie electrică circuitului; datorită acestei surse, în circuit iau naștere tensiuni continue și curenți continui; în cazul în care este necesară determinarea valorilor numerice ale acestor mărimi electrice, este necesară analizarea funcționării circuitului electronic în regim de curent continuu;
- tranzistorul M amplifică semnalele de intrare;
- rezistoarele R_{G1} , R_{G2} , R_S , R_D , împreună cu sursa de alimentare V_{DD} asigură polarizarea tranzistorului și stabilesc PSF-ul tranzistorului M (perechea de mărimi electrice continue I_D și V_{DS}); pentru buna funcționare a circuitului, este necesar ca tranzistorul bipolar M să funcționeze în Regiunea de Saturație;
- condensatorul C_S , de capacitate electrică cel puțin de ordinul zecilor de microfarazi, conectează în regim variabil sursa tranzistorului la masa amplificatorului, în scopul creșterii amplificării în tensiune a circuitului. În cazul în care este necesară determinarea valorilor numerice ale acestor mărimi, este necesară analizarea funcționării circuitului electronic în regim de curent continuu;

Generatorul de semnal, care nu este reprezentat în figura de mai sus, determină variația mărimilor electrice ale circuitului în jurul valorilor continue ale acestora, stabilite de către sursa de alimentare V_{DD} . Pentru determinarea acestor variații, este necesară analizarea funcționării circuitului electronic în regim variabil.

a. Analiza funcționării circuitului în regim de curent continuu.

Scop: determinarea valorilor numerice ale componentelor continue ale mărimilor electrice. În cazul tranzistorului, analiza funcționării circuitului în regim de curent continuu permite determinarea PSFului acestuia.

În scopul determinării PSFului tranzistorului M , mai întâi se determină schema electronică a circuitului de polarizare al tranzistorului M . Determinarea circuitului de polarizare al tranzistorului M este realizată eliminând din schema electronică a amplificatorului, ramurile de circuit care conțin condensatoare, deoarece condensatoarele nu permit trecerea curentului continuu. După aplicarea acestor modificări asupra schemei electronice a amplificatorului, rezultă circuitul de polarizare al tranzistorului bipolar M , care, pentru exemplul de amplificator considerat, arată ca în figura de mai jos:



Circuitul de polarizare al tranzistorului bipolar M .

Circuitul de polarizare rezultat în figura de mai sus este circuitul de polarizare cu divizor rezistiv în grilă, analizat în cadrul paragrafului în care s-a prezentat polarizarea tranzistorului MOS. Din acest motiv, PSF-ul tranzistorului este determinat utilizând următoarele relații, deduse anterior pentru acest circuit de polarizare:

$$I_D = \dots$$

trebuie calculat conform cursului 05

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

Se reamintește faptul că, pentru ca tranzistorul MOS să funcționeze în regiunea de saturație – singura în care acesta poate amplifica liniar semnalele - valorile tensiunilor V_{GS} și V_{DS} calculate în PSF trebuie să satisfacă condițiile:

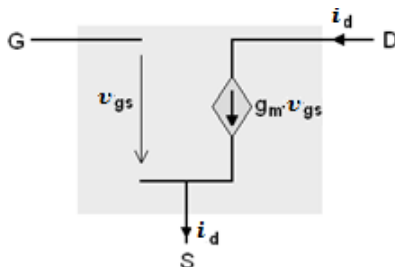
$$V_{GS} > V_{TH} \quad \text{și} \quad V_{DS} > V_{GS} - V_{TH}$$

b. Analiza funcționării amplificatorului în regim variabil de semnal mic, în banda de frecvență a amplificatorului

Scop: calcularea parametrilor amplificatorului: valoare factor de amplificare, rezistență de intrare, rezistență de ieșire.

Determinarea circuitului echivalent în regim variabil de semnal mic al amplificatorului este realizată prin aplicarea în schema electronică a amplificatorului a următoarelor reguli:

1. condensatoarele de capacități mari (mai mari decât aproximativ $1[\mu F]$) se înlocuiesc cu un scurtcircuit (fir) aplicat între terminale;
2. se pasivizează sursa de alimentare; în exemplul considerat, sursa de alimentare este sursa de tensiune continuă $V_{DD} \Rightarrow$ prin pasivizarea sa, sursa de tensiune continuă V_{DD} se înlocuiește cu un scurtcircuit (fir) aplicat între cele 2 borne ale sale;
3. tranzistorul MOS se înlocuiește cu circuitul echivalent de semnal mic, valabil pentru domeniul de frecvențe medii; în figura de mai jos se reamintește circuitul echivalent al tranzistorului MOS, valabil în regim variabil de semnal mic, în domeniul frecvențelor medii și joase.



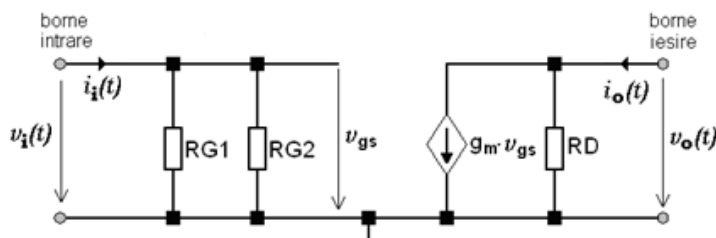
Circuitul echivalent al tranzistorului MOS, valabil în regim variabil de semnal mic, în domeniul frecvențelor medii și joase.

În circuitul echivalent al tranzistorului bipolar, parametrul g_m (denumit panta tranzistorului) și reprezintă parametrul de semnal mic al tranzistorului MOS se determină cu relația de mai jos:

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

În relația de calcul a parametrului g_m , curentul I_D este curentul din PSF al tranzistorului MOS.

După aplicarea modificărilor amintite mai sus, rezultă circuitul echivalent din figura de mai jos, în care se remarcă dispariția rezistorului R_s din sursa tranzistorului. Acest fapt este datorat înlocuirii, în regim variabil, a condensatorului C_s cu un scurtcircuit, care în continuare scurtcircuitază rezistorul R_s . Se constată astfel că în regim variabil sursa tranzistorului devine conectată la masa circuitului.



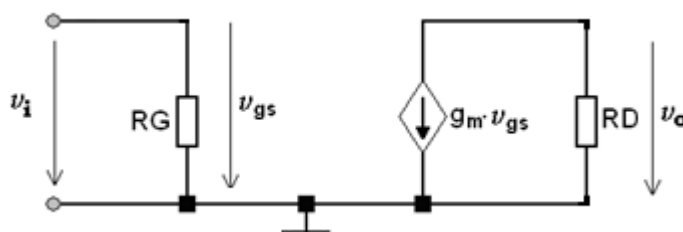
Circuitul echivalent al amplificatorului în regim variabil de semnal mic.

Determinarea expresiei matematice a factorului de amplificare în tensiune

Prin definiție, factorul de amplificare în tensiune al amplificatorului, se determină pe baza formulei de mai jos,

$$A_V = \left. \frac{v_o}{v_i} \right|_{i_o=0}$$

Condiția $i_o=0$ din relația de definiție indică faptul că bornele de ieșire ale amplificatorului sunt lăsate în gol (de unde și curentul de ieșire nul). Circuitul inițial valabil în regim variabil de semnal mic, poate fi redesenat ca în figura de mai jos, în care s-a ținut cont că R_{G1} și R_{G2} , sunt conectate în paralel, și astfel prin R_G s-a considerat rezistența echivalentă a celor 2 rezistoare, iar ieșirile sunt în gol.



Circuitul de calcul pentru factorul de amplificare în tensiune

Pentru determinarea expresiei matematice a factorului de amplificare în tensiune, se exprimă ambele mărimi implicate în raportul din definiția acestuia, și anume v_o și v_i , în funcție de o necunoscută comună și de elementele circuitului. Necunoscuta comună, în funcție de care se exprimă v_o și v_i este v_{gs} .

Tensiunea v_o se determină în funcție de v_{gs} , aplicând legea lui Ohm pe rezistorul R_D . În condițiile în care curentul i_o este egal cu zero, curentul care trece prin rezistența R_D este chiar cel generat de generatorul de curent comandat și are valoarea $g_m \times v_{gs}$. Totodată, se remarcă faptul că acest curent are sens invers prin rezistența R_D , față de referința considerată pentru tensiunea v_o .

Rezultă:

$$v_o = -g_m \cdot v_{gs} \cdot R_D$$

Tensiunea v_i se determină în funcție de v_{gs} observând că acestea sunt egale:

$$v_i = v_{gs}$$

Înlocuind expresiile de mai sus în relația de definiție a factorului de amplificare în tensiune a amplificatorului rezulta expresia matematică a factorului de amplificare în tensiune:

$$A_V = -g_m \cdot R_D$$

expresia matematică a factorului de amplificare în tensiune

Determinarea expresiei matematice a rezistenței de intrare R_i a amplificatorului

Rezistența de intrare R_i este rezistența determinată între bornele de intrare ale amplificatorului, și se definește sub forma următorului raport:

$$R_i = \frac{v_i}{i_i}$$

Pentru determinarea expresiei matematice a rezistenței de intrare, se caută o relație care implică ambele necunoscute. Relația respectivă se obține aplicând TK2 pe bucla v_i și R_G . Astfel:

$$i_i \cdot R_G - v_i = 0$$

Rezultă că rezistența de intrare a amplificatorului este:

$$R_i = R_G \quad \text{unde} \quad R_G = \frac{R_{G1} \cdot R_{G2}}{R_{G1} + R_{G2}}$$

Rezistența de intrare

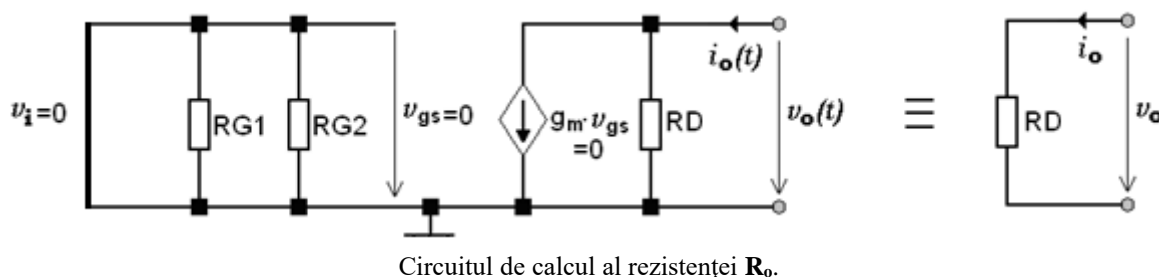
Pentru evitarea pierderilor de tensiune la bornele de intrare ale amplificatorului, rezistențele R_{G1} și R_{G2} se aleg minim de ordinul zecilor de kilohmi. În cazul în care informația este reprezentată prin intermediul curentului electric, se recomandă ca valorile acestor rezistențe să fie mult mai mici, pentru minimizarea pierderilor de curent electric la bornele de intrare ale amplificatorului.

Determinarea expresiei matematice a rezistenței de ieșire R_o a amplificatorului

Rezistența de ieșire R_o este rezistența măsurată (calculată) între bornele de ieșire ale amplificatorului iar relația sa de calcul se definește astfel:

$$R_o = \left. \frac{v_o}{i_o} \right|_{v_i=0}$$

unde, condiția $v_i=0$ indică faptul că acest calcul se efectuează în condițiile în care bornele de intrare sunt scurtcircuitate (de unde și anularea valorii tensiunii de intrare). Datorită anulării tensiunii de intrare, circuitul de calcul al rezistenței de ieșire suferă o serie de modificări față de circuitul inițial de calcul: tensiunea v_{gs} devine egală cu zero volți \Rightarrow curentul generat de generatorul comandat devine la rândul său zero amperi (curentul are valoarea $g_m \times v_{gs}$), și în final, circuitul de calcul al rezistenței R_o devine cel din figura din dreapta:



Aplicând TK2 pe bucla compusă din R_D și v_o rezultă:

$$-v_o + R_D \cdot i_o = 0$$

relație care este valabilă și pentru amplitudinile variațiilor v_o și i_o , de unde rezultă expresia matematică a rezistenței de ieșire a amplificatorului:

$$R_o = R_D$$

Rezistența de ieșire

Determinarea expresiei matematice a factorului de amplificare în curent

Prin definiție, factorul de amplificare în curent a amplificatorului se determină pe baza formulei:

$$A_I = \left. \frac{i_o}{i_i} \right|_{v_o=0}$$

Condiția $v_o=0$ din relația de definiție indică faptul că bornele de ieșire ale amplificatorului sunt scurtcircuitate (de unde și tensiunea de ieșire nulă).

Calcul expresiei matematice a factorului de amplificare în curent se poate simplifica dacă se utilizează relațiile de definiție ale rezistenței de intrare, respectiv de ieșire ale amplificatorului:

$$R_i = \frac{v_i}{i_i} \qquad R_o = \frac{v_o}{i_o} \Big|_{v_i=0}$$

Din care se deduc expresiile pentru curenții electrici implicați în raportul care definește factorul de amplificare în curent:

$$i_i = \frac{v_i}{R_i} \qquad i_o = \frac{v_o}{R_o}$$

Introducând expresiile de mai sus ale curenților electrici în definiția factorului de amplificare în curent, rezultă:

$$A_I = \frac{\frac{v_o}{R_o}}{\frac{v_i}{R_i}} = \frac{v_o}{v_i} \cdot \frac{R_i}{R_o} = A_V \cdot \frac{R_i}{R_o}$$

$$A_I = -g_m \cdot R_D \cdot \frac{R_G}{R_D} = -g_m \cdot R_G$$

$$A_I = -g_m \cdot R_G$$

expresia matematică a factorului de amplificare în curent

După determinarea expresiilor matematice ale parametrilor de semnal mic ai amplificatoarelor, comportamentul acestora în regim variabil de semnal mic se poate modela cu ajutorul circuitelor echivalente, care descriu amplificatoarele liniare. Aceste modele sunt utile atunci când este necesară determinarea expresiei matematice a factorului de amplificare, în condițiile în care un amplificator este conectat la circuitele externe.