

Amplificatoare liniare

I. Parametrii amplificatoarelor

În sistemele electronice, informațiile sunt reprezentate prin intermediul semnalelor electrice. Aceste informații sunt aplicate la intrarea sistemelor electronice, prelucrate de către acestea, rezultatul prelucrării fiind furnizat la ieșirea sistemelor respective.

Rolul amplificatorului este de a crește **puterea electrică** a semnalului electric prin care se reprezintă informația de interes. Această creștere poartă denumirea de AMPLIFICARE.

Semnalul electric care reprezintă informația de interes este aplicat la intrarea amplificatorului, care cerște în putere electrică semnalul respectiv și furnizează rezultatul obținut pe “sarcina” amplificatorului, care este conectată la ieșirea acestuia.

Semnalul obținut pe sarcina amplificatorului reprezintă semnalul amplificat. În general, sarcina amplificatorului este reprezentată prin intermediul unei impedanțe (sau rezistențe), care modelează sistemul electronic conectat la ieșirea amplificatorului respectiv.

Energia electrică necesară creșterii puterii electrice a semnalului de intrare este furnizată amplificatorului de la o sursă de energie electrică, care se mai numește **sursă de alimentare**, constituită din una sau mai multe generatoare independente de tensiune sau curent continuu.

În Figura 1 se prezintă bornele și mărimile specifice ale unui amplificator. Acesta este reprezentat sub forma unui bloc, soluțiile pentru implementarea sa fiind prezentate în cursurile următoare. Prin definiție, mărimile electrice de la bornele amplificatorului se notează astfel:

- v_i tensiunea de intrare:
- i_i curentul de intrare:
- v_o tensiunea de ieșire, considerată în cazul în care bornele de ieșire ale amplificatorului sunt lăsate în gol (sarcina nu este conectată la bornele de ieșire):
- i_o curentul de ieșire, considerat în cazul în care bornele de ieșire sunt scurtcircuitate (adică sunt conectate printr-un fir).

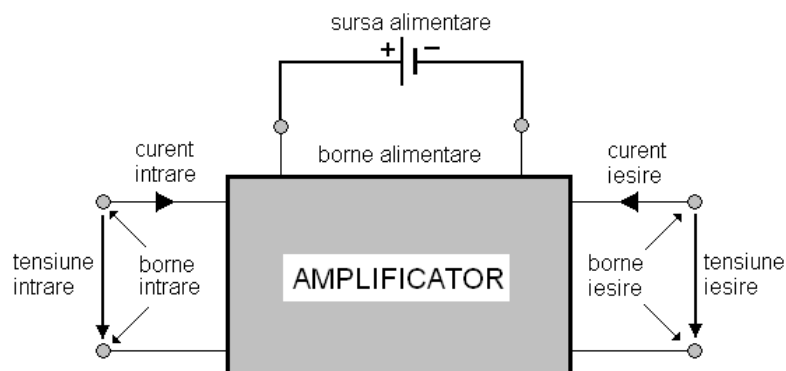


Figura 1. Schema de principiu a unui amplificator.

Concomitent cu rolul prezentat mai sus, amplificatorul trebuie să fie capabil să furnizeze nemodificat, la bornele sale de ieșire, conținutul de informații preluate la bornele de intrare.

Pentru aceasta, amplificatorul trebuie să se comporte ca un sistem liniar, caz în care se numește amplificator liniar. În acest caz, semnalul de ieșire este egal cu semnalul de intrare, multiplicat cu o constantă **K**,

$$\text{semnal_iesire} = K \cdot \text{semnal_intrare}$$

1

ecuația de funcționare a amplificatorului liniar

Relația de mai sus descrie comportamentul amplificatorului în regimul de funcționare liniar și indică faptul că **semnalul de ieșire are aceeași formă de undă cu cea a semnalului de intrare**.

Dacă acest lucru este adevărat, atunci conținutul de informații preluate la intrarea amplificatorului este furnizat, într-adevăr, nemodificat la ieșire.

Oricare modificare a formei de undă a semnalului la ieșire, în comparație cu forma de undă a semnalului aplicat la intrare, determină modificarea conținutului informației, la ieșirea amplificatorului. În amplificatoare, modificarea conținutului informației prelucrate este un neajuns major. Acest fenomen poartă denumirea de **distorsionare** a informației. În cazul în care, forma de undă a semnalului de ieșire este diferită de forma de undă a semnalului aplicat pe intrarea amplificatorului, se spune că amplificatorul respectiv introduce distorsiuni (distorsionează), iar semnalul de ieșire este distorsionat.

Cauzele distorsiunilor sunt diverse dar, în esență, sunt datorate ieșirii funcționării amplificatorului din regimul liniar, și intrarea funcționării acestuia în regimul de funcționare neliniar, caz în care amplificatorul devine neliniar. În acest caz, funcționarea amplificatorului nu mai este caracterizată de relația 1, ci de relația 2,

$$semnal_iesire = f(semnal_intrare) \quad 2$$

ecuația de funcționare a amplificatorului neliniar

în care **f** reprezintă o funcție neliniară. În acest caz, forma de undă a semnalului de ieșire va rezulta diferită de forma de undă a semnalului de intrare, deci conținutul informației reprezentate prin intermediul semnalului electric aplicat la intrarea amplificatorului s-a modificat la ieșirea acestuia.

CONCLUZIE: distorsiunile introduse de amplificator modifică conținutul informației prelucrate de către acesta. Un amplificator nu introduce distorsiuni dacă funcționează în regim liniar (dacă este amplificator liniar).

1. Factorul de amplificare și câștigul amplificatorului liniar

OBS: relațiile de mai jos sunt valabile numai dacă amplificatorul lucrează în regim liniar de funcționare.

Așa cum s-a precizat, rolul amplificatorului este de a crește puterea electrică a unui semnal, aplicat la intrarea acestuia. Această creștere este descrisă de unul dintre cei mai importanți parametri ai amplificatorului, denumit **factor de amplificare în putere**, definit prin intermediul relației generale de mai jos:

$$\text{factor amplificare în putere: } A_P = \frac{P_o}{P_i} \quad 3$$

unde **P_i** reprezintă puterea electrică a semnalului aplicat la intrarea amplificatorului, iar **P_o** reprezintă puterea electrică a semnalului obținut la ieșirea amplificatorului. Se remarcă faptul că factorul de amplificare în putere este adimensional.

O variantă alternativă, des utilizată în caracterizarea creșterii puterii electrice a semnalului prelucrat, constă în utilizarea unei scări logaritmice pentru reprezentarea valorilor numerice, în care parametrul amplificatorului corespunzător factorului de amplificare se numește câștig. **Câștigul în putere electrică** a amplificatorului este definit prin intermediul relației generale de mai jos:

$$\text{câștig în putere: } G_P = 10 \cdot \log \left(\frac{P_o}{P_i} \right) \quad 4$$

și care se măsoară într-o unitate de măsură specifică, denumită **decibel** – prescurtat **dB**. În relația de mai sus, **log** reprezintă funcția logaritm exprimată în baza 10.

Utilizând expresia care definește puterea electrică:

$$p = v \cdot i$$

unde v – tensiunea electrică, i – curentul electric, se constată faptul că, amplificarea puterii electrice a semnalului prelucrat se poate realiza prin creșterea acestor 2 mărimi electrice. Analog celor prezentate mai sus, creșterea acestor mărimi electrice poate fi caracterizată prin intermediul unor parametri ai amplificatorului și anume factor de amplificare, respectiv câștig, definiți în mod similar parametrilor introduși anterior. Astfel, se pot defini:

- **Factorul de amplificare în tensiune:** $A_V = \frac{v_o}{v_i} \Big|_{i_o=0}$ 5
- **Factorul de amplificare în curent:** $A_I = \frac{i_o}{i_i} \Big|_{v_o=0}$ 6
- **Factorul de amplificare transimpedanță:** $A_Z = \frac{v_o}{i_i} \Big|_{i_o=0}$ 7
- **Factorul de amplificare transadmitanță:** $A_Y = \frac{i_o}{v_i} \Big|_{v_o=0}$ 8

Parametrii introduși mai sus se determină în condițiile în care bornele de ieșire ale amplificatorului sunt în gol (sarcina amplificatorului nu este conectată la bornele de ieșire ale amplificatorului), dacă în definiția parametrului este specificată condiția $i_o = 0$, respectiv bornele de ieșire ale amplificatorului sunt în scurtcircuit (bornele de ieșire ale amplificatorului sunt conectate împreună prin intermediul unui fir), dacă în definiția parametrului este specificată condiția $v_o = 0$.

În funcție de tipul factorului de amplificare considerat, amplificatoarele se pot clasifica în următoarele tipuri de amplificatoare:

- **amplificator de putere** (caracterizat de factorul de amplificare A_P),
- **amplificator de tensiune** (caracterizat de factorul de amplificare A_V),
- **amplificator de curent** (caracterizat de factorul de amplificare A_I),
- **amplificator transimpedanță** (caracterizat de factorul de amplificare A_Z),
- **amplificator transadmitanță** (caracterizat de factorul de amplificare A_Y).

În cazul în care valorile acestor parametri se exprimă în scară logaritmică, creșterea acestor mărimi electrice este caracterizată prin intermediul câștigului, măsurat în decibeli. De exemplu, creșterea tensiunii electrice este caracterizată prin intermediul **câștigului în tensiune**, definit ca în relația de mai jos:

$$\text{câștig în tensiune:} \quad G_V = 20 \cdot \log \left(\frac{v_o}{v_i} \right) \quad 9$$

iar creșterea nivelului curentului electric este caracterizată prin intermediul **câștigului în curent**, definit ca în relația de mai jos:

$$\text{câștig în curent:} \quad G_I = 20 \cdot \log \left(\frac{i_o}{i_i} \right) \quad 10$$

Factorul de amplificare depinde de pulsația (frecvența) semnalului aplicat la intrarea amplificatorului și este reprezentat prin intermediul unui număr complex, exprimat sub forma:

$$A(j \cdot \omega) = |A(\omega)| \cdot \exp(j\varphi)$$

unde $|A(\omega)|$ reprezintă modulul amplificării, iar φ reprezintă defazajul introdus de către circuit între mărimea electrică de ieșire și cea de intrare.

2. Răspunsul în frecvență al amplificatorului

Informația prelucrată de către amplificator este reprezentată prin intermediul unui semnal electric, caracterizat, printre alți parametrii, și de către frecvența sa, notată f .

Valoarea modulului factorului de amplificare, respectiv al câștigului amplificatorului (indiferent de tipul acestuia) **variază** în funcție de frecvența de lucru a amplificatorului, care este egală cu frecvența semnalului electric aplicat la intrarea amplificatorului respectiv.

Graficul care furnizează informații despre variația valorii modulului factorului de amplificare (sau a modulului câștigului amplificatorului), în funcție de frecvența de lucru a amplificatorului, reprezintă răspunsul în frecvență al amplificatorului.

Acest grafic poartă denumirea de **caracteristica de frecvență** a amplificatorului. Forma caracteristicii de frecvență a amplificatorului este prezentată în Figura 2, în care este exemplificat modul în care variază modulul factorului de amplificare în tensiune, respectiv a câștigului în tensiune a unui amplificator oarecare. Valorile numerice prezentate în cele 2 grafice sunt considerate pentru un amplificator oarecare – aceste valori diferă de la un amplificator la altul.

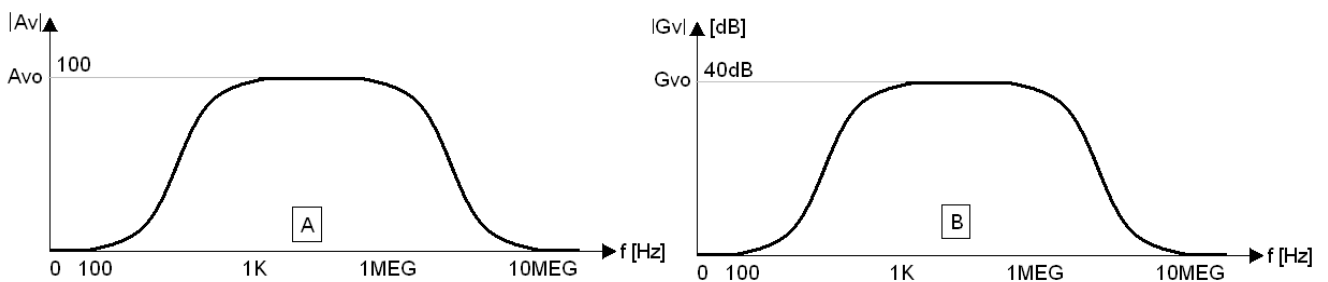


Figura 2. Caracteristica de frecvență a unui amplificator oarecare.

Privind caracteristica de frecvență a amplificatorului considerat, de exemplu, graficul variației modulului factorului de amplificare în tensiune (pentru câștigul în tensiune discuția este similară) se constată următoarele:

1. dacă frecvența de lucru a amplificatorului este în jurul valorii 0[Hz] (zero hertzi) modulul factorului de amplificare în tensiune este zero. Modulul factorului de amplificare rămâne egal cu zero pentru oricare valoare a frecvenței de lucru a amplificatorului cuprinsă între 0[Hz] și 100[Hz]. Dacă frecvența de lucru este mai mare de 100[Hz], atunci modulul factorului de amplificare în tensiune crește. Această creștere a factorului de amplificare are loc atât timp cât frecvența de lucru este în intervalul [100Hz ÷ 1kHz]. Atât timp cât modulul factorului de amplificare crește cu frecvența semnalului aplicat la intrarea amplificatorului, se spune că amplificatorul funcționează în **domeniul frecvențelor joase**. Creșterea modulului factorului de amplificare este determinată de influența tot mai redusă, pe măsură ce frecvența semnalului de intrare crește, a condensatoarelor de capacitate electrică mare, care poartă denumirea de condensatoare de cuplare/decuplare ale amplificatorului.
2. dacă frecvența de lucru a amplificatorului este mai mare de 1[kHz] se constată că modulul factorului de amplificare în tensiune rămâne la o valoare constantă. Pentru amplificatorul considerat, valoarea acestei constante este 100. Modulul factorului de amplificare în tensiune rămâne la această valoare oricare ar fi valoarea frecvenței de lucru în domeniul de valori [1kHz ÷ 1MHz]. Atât timp cât modulul factorului de amplificare rămâne la o valoare constantă, indiferent de valoarea frecvenței de lucru, se spune că amplificatorul funcționează în **domeniul frecvențelor medii**. Valoarea modulului factorului de amplificare în tensiune, corespunzătoare palierului specific acestui domeniu de frecvențe, se numește **valoare bandă** (sau **amplificare în bandă**). Uzual, această valoare se notează cu A_{X0} , unde X poate fi P , V , I , Z sau Y , în funcție de tipul amplificării; de exemplu, pentru factorul de amplificare în tensiune se notează A_{V0}). Dacă caracteristica de frecvență a amplificatorului este reprezentată prin intermediul variației câștigului amplificatorului, atunci valoarea care

- corespunde palierului corespunzător domeniului de frecvențe medii se numește **câștig în bandă**. Uzual, această valoare se notează cu G_0 (pentru câștigul în tensiune se notează G_{v0}).
3. dacă frecvența de lucru a amplificatorului este mai mare de 1[MHz] se constată că modulul factorului de amplificare în tensiune scade până când revine la zero – pentru frecvențe mai mari de 10MHz. Atât timp cât modulul factorului de amplificare scade cu frecvența semnalului aplicat la intrarea amplificatorului, se spune că amplificatorul funcționează în **domeniul frecvențelor înalte**. Scăderea modulului factorului de amplificare este determinată de influența capacităților parazite ale dispozitivelor semiconductoare.

Așadar, d.p.d.v a valorii frecvenței de lucru amplificatorului, acesta poate funcționa în 3 domenii de frecvență distincte (joase, medii, înalte), caracterizate de comportamente diferite ale amplificatorului. În amplificatoare, distincția (frontiera) între aceste domenii de frecvență este specificată utilizând 2 frecvențe caracteristice ale amplificatorului, denumite **frecvența inferioară a amplificatorului** – notată f_J , respectiv **frecvența superioară a amplificatorului** – notată f_S .

Frecvențele caracteristice ale amplificatorului se definesc similar, deosebirea între ele fiind că frecvența inferioară este specificată în domeniul frecvențelor joase, iar frecvența superioară este specificată în domeniul frecvențelor înalte.

Frecvențele caracteristice ale amplificatorului se definesc în două moduri echivalente, în funcție de caracteristica de frecvență utilizată. Astfel, dacă pentru caracteristica de frecvență se consideră variația modulului factorului de amplificare, cele 2 frecvențe caracteristice ale amplificatorului sunt frecvențele la care modulul factorului de amplificare a scăzut de la valoarea din bandă A_0 (A_{v0} pentru factorul de amplificare în tensiune) la valoarea $A_0 / \sqrt{2}$.

Dacă pentru caracteristica de frecvență se consideră variația câștigului amplificatorului, cele 2 frecvențe caracteristice ale amplificatorului sunt frecvențele la care câștigul amplificatorului a scăzut cu **3dB** față de valoarea din bandă G_0 (G_{v0} pentru câștigul în tensiune).

Diferența dintre cele 2 frecvențe caracteristice definește **banda de frecvență** a amplificatorului, care se notează cu B . Deci, relația de calcul a lui B este:

$$B = f_S - f_J \quad 11$$

În Figura 3 se prezintă, pe caracteristicile de frecvență ale amplificatorului considerat, cele 2 frecvențe caracteristice, respectiv banda de frecvență.

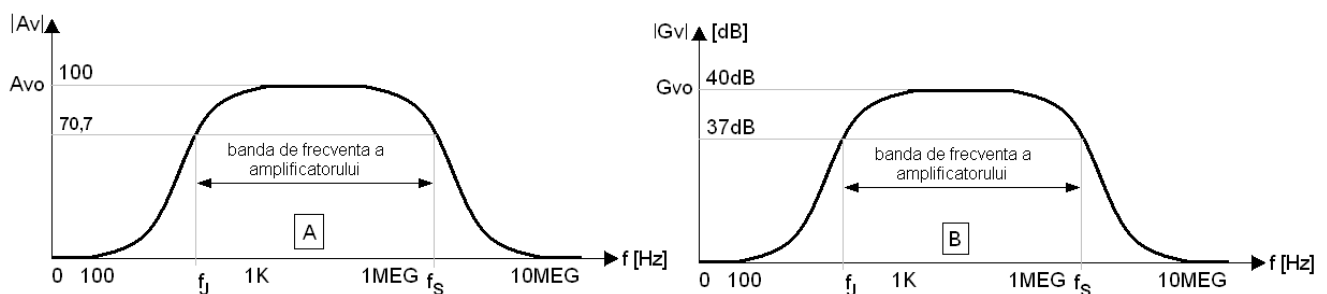


Figura 3. Frecvențele caracteristice și banda de frecvență a amplificatorului.

În funcție de valoarea frecvenței inferioare f_J a amplificatoarelor, acestea se pot clasifica în două tipuri principale și anume:

- amplificator de semnal, la care $f_J > 0\text{Hz}$;
- amplificator de curent continuu, la care $f_J = 0\text{Hz}$;

Un fenomen specific amplificatorului este faptul că semnalul rezultat la ieșirea acestuia este defazat față de semnalul aplicat la intrarea acestuia. Defazajul reprezintă întârzierea între semnalul de ieșire față de semnalul de intrare. Se constată că și valoarea defazajului unui amplificator depinde de frecvența de lucru a amplificatorului. Variația defazajului în funcție de frecvența de

lucru poate fi reprezentată sub forma unui grafic, numit **caracteristica de fază** a amplificatorului. În Figura 4 se exemplifică modul în care poate fi reprezentată caracteristica de fază a unui amplificator.

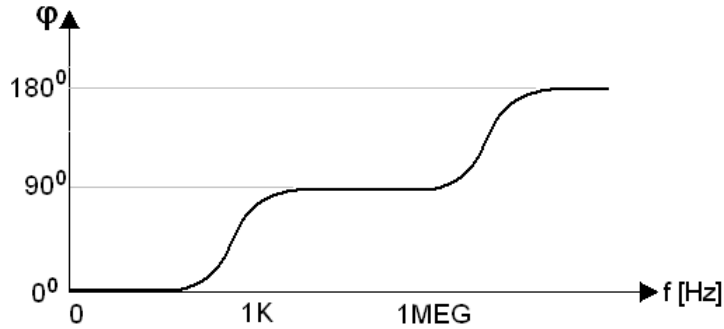


Figura 4 . Caracteristica de fază a unui amplificator.

3. Impedanța de intrare și impedanța de ieșire a amplificatorului

Aceste impedanțe sunt deosebit de importante, de valoarea lor depinzând modul în care se transferă semnalul electric care reprezintă informația, între amplificator și circuitele sale externe. În cazul în care impedanțele amplificatorului nu sunt adaptate la valorile impedanțelor circuitelor externe conectate la amplificator, se constată prezența unor pierderi ale semnalului care reprezintă informația, la bornele de intrare/ieșire ale amplificatorului.

- **Impedanța de intrare**, notată Z_i , reprezintă raportul dintre amplitudinea tensiunii de intrare și amplitudinea curentului de intrare, determinat la o anumită frecvență de lucru a amplificatorului:

$$Z_i = \frac{v_i}{i_i} \quad 12$$

- **Impedanța de ieșire**, notată Z_o , reprezintă raportul dintre amplitudinea tensiunii de ieșire și amplitudinea curentului de ieșire, calculată în condițiile în care bornele de intrare ale amplificatorului sunt scurtcircuitate (conectate împreună prin intermediul unui fir), determinat la o anumită frecvență de lucru a amplificatorului:

$$Z_o = \frac{v_o}{i_o} \Big|_{v_i=0} \quad 13$$

II. Modelarea amplificatoarelor liniare

În cazul amplificatoarelor liniare, determinarea modului în care se realizează transferul de semnal, care reprezintă informația, la conectarea acestora la circuitele externe, poate fi realizată pe baza unor circuite de calcul echivalente, în care amplificatorul este înlocuit într-una dintre bornele de intrare, respectiv de ieșire, cu un circuit liniar, compus din impedanța de intrare Z_i , impedanța de ieșire notată Z_o și un generator de tensiune, sau de curent, comandat de o tensiune, sau de un curent, mărimi electrice care depind de tipul amplificatorului considerat.

Tipul amplificatorului este stabilit în funcție de mărimile electrice de interes, la bornele de intrare, respectiv de ieșire ale amplificatorului. Așa cum s-a menționat, informația este reprezentată prin intermediul tensiunilor, respectiv a curenților electrice. În funcție de natura mărimilor electrice de interes de la bornele de ieșire, respectiv de intrare ale amplificatorului, amplificatoarele liniare pot fi clasificate în patru tipuri distincte, enumerate în Tabelul 1.

Pentru fiecare tip de amplificator, transferul de semnal (informație) între bornele de intrare, respectiv de ieșire, se poate modela prin intermediul unui circuit liniar, așa cum se prezintă în continuare.

Tabelul 1. Tipuri de amplificatoare liniare.

| Tip amplificator | tipul mărimii electrice de IEȘIRE | tipul mărimii electrice de INTRARE | factor amplificare al amplificatorului izolat | formula generică de calcul a factorului de amplificare al amplificatorului izolat |
|--------------------------------|--------------------------------------|--|--|--|
| amplificator de tensiune | tensiune V_o | tensiune v_i | A_v | $A_v = \frac{v_o}{v_i} \Big _{i_o=0}$ |
| amplificator de curent | curent i_o | curent i_i | A_i | $A_i = \frac{i_o}{i_i} \Big _{v_o=0}$ |
| amplificator transimpedanță | tensiune V_o | curent i_i | A_z | $A_z = \frac{v_o}{i_i} \Big _{i_o=0}$ |
| amplificator transadmitanță | curent i_o | tensiune v_i | A_y | $A_y = \frac{i_o}{v_i} \Big _{v_o=0}$ |

Circuitul echivalent al amplificatorului de tensiune

Este prezentat în Figura 5, în care A_v este factorul de amplificare în tensiune al amplificatorului izolat, când bornele de ieșire sunt lăsate în gol ($i_o = 0[A]$), definit ca în relația 5. Simbolul electronic reprezentat prin romb reprezintă un generator de tensiune, comandat în tensiune (generatorul generează o tensiune electrică între borne, de valoare $A_v \cdot v_i$, valoarea tensiunii generate depinzând de o tensiunea de comandă, și anume v_i).

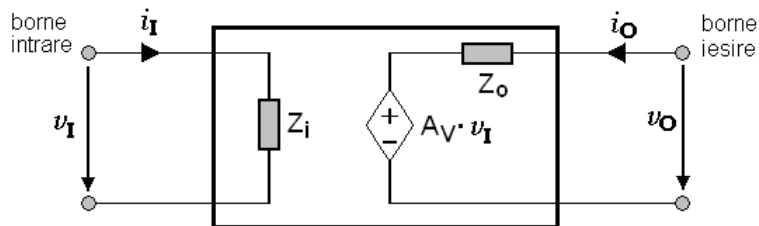


Figura 5. Modelarea amplificatorului de tensiune.

Circuitul echivalent al amplificatorului de curent

Este prezentat în Figura 6, în care A_i este factorul de amplificare în curent al amplificatorului izolat, cu bornele de ieșire conectate în scurtcircuit ($v_o = 0[V]$), definit ca în relația 6. Simbolul electronic reprezentat prin romb reprezintă un generator de curent, comandat în curent (generatorul generează un curent electric între borne, de valoare $A_i \cdot i_i$, valoarea curentului generat depinzând de un curent de comandă, și anume i_i).

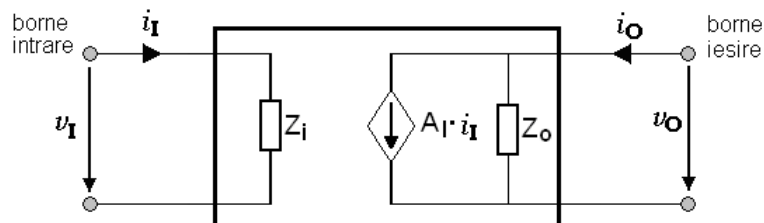


Figura 6. Modelarea amplificatorului de curent.

Circuitul echivalent al amplificatorului transimpedanță

Este prezentat în Figura 7, în care A_Z este factorul de amplificare transimpedanță al amplificatorului izolat, cu bornele de ieșire lăsate în gol ($i_o = 0[A]$), definit ca în relația 7. Simbolul electronic reprezentat prin romb reprezintă un generator de tensiune, comandat în curent (generatorul generează o tensiune electrică între borne, de valoare $A_Z \cdot i_i$, valoarea tensiunii generate depinzând de un curent de comandă, și anume i_i).

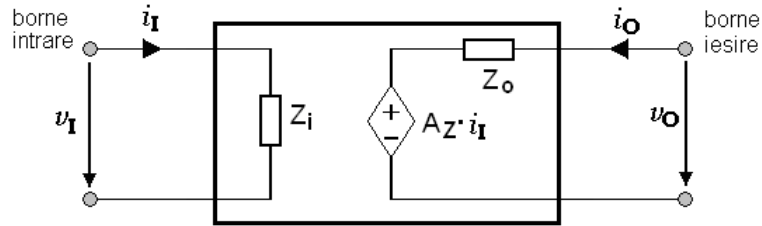


Figura 7. Modelarea amplificatorului transimpedanță.

Circuitul echivalent al amplificatorului transadmitanță

Este prezentat în Figura 8, în care A_Y este factorul de amplificare transadmitanță a amplificatorului izolat, cu bornele de ieșire conectate în scurtcircuit ($v_o = 0[V]$), definit ca în relația 8. Simbolul electronic reprezentat prin romb reprezintă un generator de curent, comandat în tensiune (generatorul generează un curent electric între borne, de valoare $A_Y \cdot v_i$, valoarea curentului generat depinzând de o tensiune de comandă, și anume v_i).

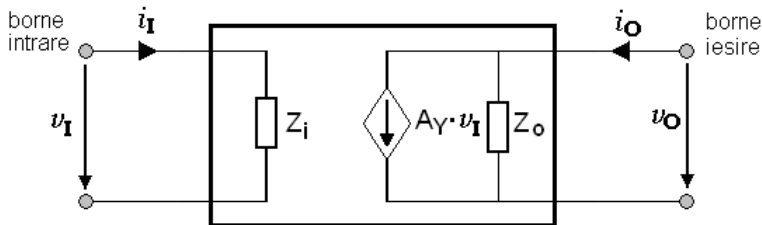


Figura 8. Modelarea amplificatorului transadmitanță.

În cazul în care analiza transferului de semnal este realizată în banda de frecvență a amplificatorului considerat, atunci, în circuitele echivalente prezentate anterior, impedanțele de intrare/ieșire se înlocuiesc cu rezistența de intrare, respectiv de ieșire ale amplificatorului,

$$Z_i \rightarrow R_i \quad Z_o \rightarrow R_o$$

unde cele 2 rezistențe au aceleași relații de definiție ca impedanțele corespunzătoare, iar factorul de amplificare din circuitele echivalente este cel determinat în banda de frecvență a amplificatorului considerat.

III. Pierderile de semnal la bornele de semnal ale amplificatorului

În sistemele electronice, la bornele de semnal ale amplificatoarelor sunt conectate întotdeauna circuite externe. Atunci când se face analiza performanțelor amplificatorului în regim variabil, circuitele externe se modelează prin intermediul unui generator de semnal, respectiv a unei sarcini, așa cum se prezintă în Figura 9 (în care bornele de alimentare nu apar, deoarece sursa de alimentare este pasivizată în regim variabil).

În cazul în care mărimea electrică de interes aplicată la intrarea amplificatorului este reprezentată de tensiunea electrică, circuitul extern aplicat la bornele de intrare ale amplificatorului este reprezentat sub forma unui generator de tensiune variabilă (așa cum este prezentat și în Figura

9). Generatorul de tensiune se modelează cu ajutorul teoremei generatorului echivalent de tensiune, prin intermediul unei surse independente de tensiune, conectată în serie cu o impedanță echivalentă.

În cazul în care mărimea electrică de interes aplicată la intrarea amplificatorului este reprezentată de curentul electric, circuitul extern aplicat la bornele de intrare ale amplificatorului este reprezentat sub forma unui generator de curent variabil. Generatorul de curent se modelează cu ajutorul teoremei generatorului echivalent de curent, prin intermediul unei surse independente de curent, conectată în paralel cu o impedanță echivalentă.

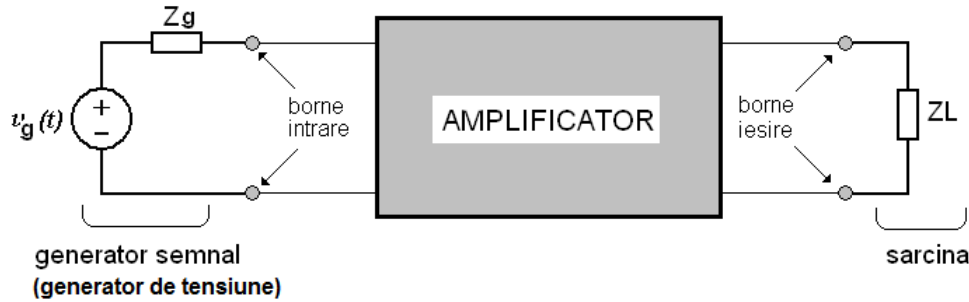


Figura 9. Modelarea circuitelor externe conectate la un amplificator.

Atât timp cât unui amplificator nu i se conectează circuite externe se spune că amplificatorul este izolat. Amplificatorul izolat este caracterizat de un factor de amplificare **ideal**, notat A_x (unde X reprezintă V , I , Z sau Y), definit ca în relațiile 5÷8.

În cazul în care amplificatorului i se conectează circuite externe se spune că amplificatorul este conectat. La amplificatorul conectat, în cazul în care impedanțele de intrare/ieșire ale acestuia, Z_i respectiv Z_o , nu sunt adaptate la valorile impedanțelor circuitelor externe, Z_g respectiv Z_L , atunci, la bornele de semnal ale amplificatorului apar pierderi de semnal, iar puterea electrică a semnalului transferat prin amplificator se reduce și implicit și factorul de amplificare.

Datorită pierderilor de semnal la bornele de intrare/ieșire ale amplificatorului conectat, se constată **scăderea** factorului de amplificare de la valoarea ideală A_x la o nouă valoare, cea reală, notată A_{xg} . Valoarea reală a amplificării depinde impedanțele Z_g și Z_L ale circuitelor externe.

În continuare, se descrie metoda prin care se calculează valoarea reală a factorului de amplificare și se pot estima pierderile de semnal, la conectarea amplificatorului la circuitele externe.

Aceste informații se determină pe un circuit de calcul, dedus conform următoarelor reguli:

- circuitul extern aplicat la bornele de intrare ale amplificatorului este modelat prin intermediul unui generator de semnal. Generatorul de semnal este modelat prin intermediul unui generator de tensiune real (compus dintr-un generator de tensiune v_g conectat în serie cu o impedanță Z_g) dacă, la intrarea amplificatorului, mărimea electrică de interes este tensiunea, respectiv este modelat prin intermediul unui generator de curent real (compus dintr-un generator de tensiune i_g conectat în paralel cu o impedanță Z_g) dacă, la intrarea amplificatorului, mărimea electrică de interes este curentul.
- amplificatorul se modelează, în funcție de natura mărimilor electrice de interes de la ieșirea, respectiv de la intrarea sa, prin intermediul circuitului echivalent tipului de amplificator, indicat în Tabelul 1 (de exemplu, dacă mărimea electrică de interes la ieșire este tensiunea, iar la intrare este curentul, amplificatorul se modelează prin intermediul amplificatorului transimpedanță).
- sarcina se modelează prin intermediul unei impedanțe Z_L .

Astfel, se obține un circuit pe care se pot determina valoarea reală a factorului de amplificare, respectiv a pierderilor. Ținând cont de toate informațiile prezentate mai sus, rezultă 4 variante pentru structura circuitului de calcul, determinate în funcție de natura mărimilor electrice de interes

de la ieșirea, respectiv intrarea amplificatorului, se poate deduce conform informațiilor prezentate în Tabelul 2.

Tabel 2. Structura circuitului de calcul pentru calcul valorii reale a factorului de amplificare și a valorilor pierderilor de semnal, la bornele de semnal ale amplificatorului conectat.

| mărime electrică de ieșire | mărime electrică de intrare | tip amplificator | tip generator semnal |
|----------------------------|-----------------------------|------------------|----------------------|
| tensiune | tensiune | de tensiune | de tensiune |
| curent | curent | de curent | de curent |
| tensiune | curent | transimpedanță | de curent |
| curent | tensiune | transadmitanță | de tensiune |

Cazul 1. Calculul valorii reale a factorului de amplificare în tensiune: circuitul de calcul utilizat în calcule este prezentat în Figura 10.

Valoarea reală a factorului de amplificare în tensiune, notată A_{Vg} , este definită pe baza relației generale:

$$A_{Vg} = \frac{v_o}{v_g} \quad 14$$

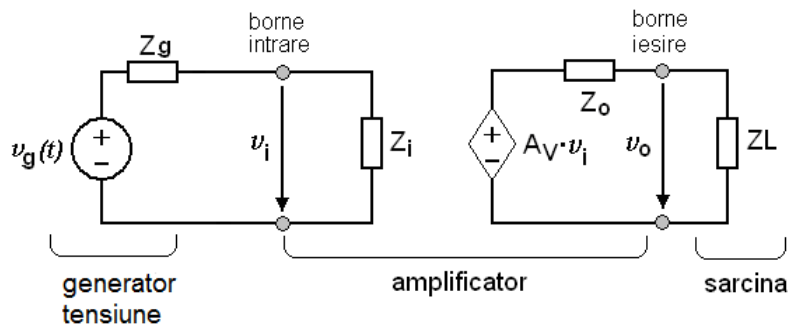


Figura 10. Circuitul de calcul utilizat pentru calculul valorii reale a factorului de amplificare în tensiune.

Mai întâi, trebuie precizat că la bornele sursei de tensiune comandate este generată tensiunea de la ieșirea amplificatorului izolat, cu bornele de ieșire lăsate în gol, iar valoarea acestei tensiuni este $A_V \times v_i$. Apoi, se remarcă faptul că impedențele Z_o și Z_L formează un divizor de tensiune pentru tensiunea de valoare $A_V \times v_i$ (de la bornele generatorului comandat), deci, pe baza formulei de calcul specifice divizorului de tensiune, rezultă:

$$v_o = \left(\frac{Z_L}{Z_o + Z_L} \right) \cdot (A_V \cdot v_i)$$

În continuare, se remarcă faptul că impedențele Z_g și Z_i formează un divizor de tensiune pentru tensiunea $v_g(t)$, deci, pe baza formulei de calcul specifice divizorului de tensiune rezultă:

$$v_i = \left(\frac{Z_i}{Z_g + Z_i} \right) \cdot v_g$$

În final, formula de calcul pentru valoarea reală a factorului de amplificare în tensiune este:

$$A_{Vg} = A_V \cdot \left(\frac{Z_i}{Z_g + Z_i} \right) \cdot \left(\frac{Z_L}{Z_o + Z_L} \right) \quad 15.a$$

În relația 15.a, raportul din prima paranteză indică pierderea de tensiune la intrarea amplificatorului, iar raportul din a 2a paranteză indică pierderea de tensiune la ieșirea amplificatorului. Aceste pierderi de tensiune pot fi diminuate sau chiar eliminate numai dacă amplificatorul de tensiune este

astfel proiectat încât impedanța sa de intrare, respectiv de ieșire, satisfac următoarele condiții de proiectare:

$$Z_i \gg Z_g \quad \text{și} \quad Z_o \ll Z_L \quad 15.b$$

Prin satisfacerea condițiilor 16, se constată că:

$$A_{Vg} \rightarrow A_V$$

deci, în aceste condiții, pierderile de tensiune prezente la bornele de semnal ale amplificatorului pot fi eliminate. Pentru ca amplificatorul de tensiune să nu aibă pierderi de tensiune la bornele de semnal ale amplificatorului, indiferent de structura circuitelor externe, amplificatorul de tensiune trebuie astfel proiectat încât impedanța de intrare, respectiv de ieșire, să satisfacă condițiile ideale:

$$Z_i = \infty \quad \text{și} \quad Z_o = 0 \quad 15.c$$

Cazul 2. Calculul valorii reale a factorului de amplificare în curent: circuitul de calcul este prezentat în Figura 11. Valoarea reală a factorului de amplificarea în curent, notat A_{Ig} , este definită pe baza relației generale:

$$A_{Ig} = \frac{i_o}{i_g} \quad 16$$

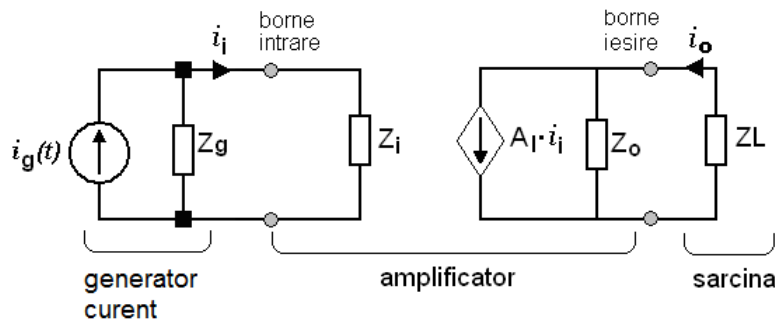


Figura 11. Circuitul de calcul utilizat pentru calculul valorii reale a factorului de amplificare în curent.

La bornele sursei de curent comandate este generat curentul de la ieșirea amplificatorului izolat, cu bornele de ieșire conectate în scurtcircuit, iar valoarea acestui curent este $A_I \times i_i$. Impedanțele Z_o și Z_L formează un divizor de curent pentru curentul $A_I \times i_i$, deci, pe baza formulei de calcul specifice divizorului de curent, rezultă:

$$i_o = \left(\frac{Z_o}{Z_o + Z_L} \right) \cdot (A_I \cdot i_i)$$

Impedanțele Z_g și Z_i formează un divizor de curent pentru curentul i_g , deci, pe baza formulei de calcul specifice divizorului de curent rezultă:

$$i_i = \left(\frac{Z_g}{Z_g + Z_i} \right) \cdot i_g$$

În final, formula de calcul pentru valoarea reală a factorului de amplificare în curent a amplificatorului la care sunt conectate circuitele externe este următoarea:

$$A_{Ig} = A_I \cdot \left(\frac{Z_g}{Z_g + Z_i} \right) \cdot \left(\frac{Z_o}{Z_o + Z_L} \right) \quad 17.a$$

În relația 7.17.a, raportul din prima paranteză indică pierderea de curent la intrarea amplificatorului, iar raportul din a 2a paranteză indică pierderea de curent la ieșirea amplificatorului. Aceste pierderi de curent pot fi diminuate sau chiar eliminate numai dacă amplificatorul este astfel proiectat încât impedanța sa de intrare, respectiv de ieșire, satisfac următoarele condiții:

$$Z_i \ll Z_g \quad \text{și} \quad Z_o \gg Z_L \quad 17.b$$

Prin satisfacerea condițiilor 7.17.b se constată că:

$$A_{I_g} \rightarrow A_I$$

deci, în aceste condiții, pierderile de curent ar putea fi eliminate. Pentru ca amplificatorul să nu aibă pierderi de curent la bornele de intrare, respectiv de ieșire, indiferent de structura circuitelor externe, din condiția 7.17.b rezultă că un amplificator trebuie astfel proiectat încât impedanța de intrare, respectiv de ieșire, să tindă spre condițiile ideale:

$$Z_i = 0 \quad \text{și} \quad Z_o = \infty \quad 17.c$$

Cazul 3. Calculul valorii reale a factorului de amplificare transimpedanță: circuitul de calcul este prezentat în Figura 12. Valoarea reală a factorului de amplificare transimpedanță, notat A_{Zg} , este definită pe baza relației generale:

$$A_{Zg} = \frac{v_o}{i_g} \quad 18$$

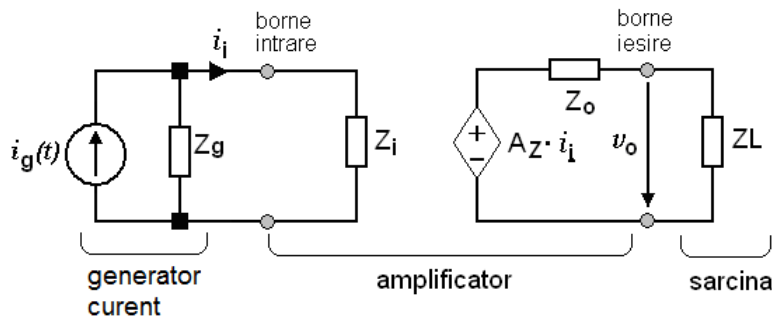


Figura 12. Circuitul de calcul utilizat pentru calculul valorii reale a factorului de amplificare transimpedanță.

La bornele sursei de tensiune comandate este generată tensiunea de la ieșirea amplificatorului izolat, cu bornele de ieșire lăsate în gol, iar valoarea acestei tensiune este $A_Z \times i_i$. Impedanțele Z_o și Z_L formează un divizor de tensiune pentru tensiunea $A_Z \times i_i$, deci, pe baza formulei de calcul specifice divizorului de tensiune, rezultă:

$$v_o = \left(\frac{Z_L}{Z_o + Z_L} \right) \cdot (A_Z \cdot i_i)$$

Impedanțele Z_g și Z_i formează un divizor de curent pentru curentul i_g , deci, pe baza formulei de calcul specifice divizorului de curent rezultă:

$$i_i = \left(\frac{Z_g}{Z_g + Z_i} \right) \cdot i_g$$

În final, formula de calcul pentru valoarea reală a factorul de amplificare transimpedanță a amplificatorului la care sunt conectate circuitele externe este următoarea:

$$A_{Zg} = A_Z \cdot \left(\frac{Z_g}{Z_g + Z_i} \right) \cdot \left(\frac{Z_L}{Z_o + Z_L} \right) \quad 19.a$$

În relația 7.19.a, raportul din prima paranteză indică pierderea de curent la intrarea amplificatorului, iar raportul din a 2a paranteză indică pierderea de tensiune la ieșirea amplificatorului. Aceste pierderi pot fi diminuate sau chiar eliminate numai dacă amplificatorul este astfel proiectat încât impedanța sa de intrare, respectiv de ieșire, să satisfacă următoarele condiții:

$$Z_i \ll Z_g \quad \text{si} \quad Z_o \ll Z_L \quad 19.b$$

Prin satisfacerea condițiilor 7.19.b se constată că:

$$A_{Zg} \rightarrow A_Z$$

deci, în aceste condiții, pierderile de curent la bornele de intrare, respectiv de tensiune la bornele de ieșire, ar putea fi eliminate. Pentru ca amplificatorul să nu aibă pierderi de curent la bornele de intrare, respectiv de tensiune la bornele de ieșire, indiferent de structura circuitelor externe, din condiția 7.19.b rezultă că un amplificator trebuie astfel proiectat încât impedanța de intrare, respectiv de ieșire, să tindă spre condițiile ideale:

$$Z_i = 0 \quad \text{si} \quad Z_o = 0 \quad 19.c$$

Cazul 4. Calculul valorii reale a factorului de amplificare transadmitanță: circuitul de calcul este prezentat în Figura 13. Valoarea reală a factorului de amplificare transadmitanță, notat A_{Yg} , este definită pe baza relației generale:

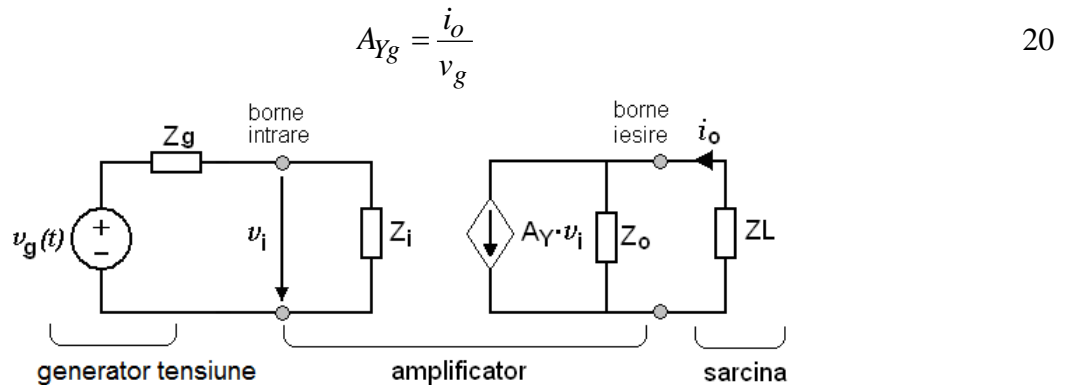


Figura 12. Circuitul de calcul utilizat pentru calculul valorii reale a factorului de amplificare transadmitanță.

La bornele sursei de curent comandate este generat curentul de la ieșirea amplificatorului izolat, cu bornele de ieșire conectate în scurtcircuit, iar valoarea acestui curent este $A_Y \times v_i$. Impedanțele Z_o și Z_L formează un divizor de curent pentru curentul $A_Y \times v_i$, deci, pe baza formulei de calcul specifice divizorului de curent, rezultă:

$$i_o = \left(\frac{Z_o}{Z_o + Z_L} \right) \cdot (A_Y \cdot v_i)$$

Impedanțele Z_g și Z_i formează un divizor de tensiune pentru tensiunea v_g , deci, pe baza formulei de calcul specifice divizorului de tensiune, rezultă:

$$v_i = \left(\frac{Z_i}{Z_g + Z_i} \right) \cdot v_g$$

Formula de calcul pentru valoarea reală a factorului de amplificare transadmitanță a amplificatorului la care sunt conectate circuitele externe este:

$$A_{Yg} = A_Y \cdot \left(\frac{Z_i}{Z_g + Z_i} \right) \cdot \left(\frac{Z_o}{Z_o + Z_L} \right) \quad 21.a$$

În relația 7.21.a, raportul din prima paranteză indică pierderea de tensiune la intrarea amplificatorului, iar raportul din a 2a paranteză indică pierderea de curent la ieșirea amplificatorului. Aceste pierderi de curent pot fi diminuate sau chiar eliminate numai dacă amplificatorul este astfel proiectat încât impedanța sa de intrare, respectiv de ieșire, satisfac următoarele condiții:

$$Z_i \gg Z_g \quad \text{și} \quad Z_o \gg Z_L \quad 21.b$$

Prin satisfacerea condițiilor 7.21.b se constată că:

$$A_{Yg} \rightarrow A_Y$$

deci, în aceste condiții, pierderile de tensiune la bornele de intrare și de curent la bornele de ieșire, ar putea fi eliminate. Pentru ca amplificatorul să nu aibă pierderi de tensiune la bornele de intrare și pierderi de curent la bornele de ieșire, indiferent de structura circuitelor externe, din condiția 7.21.b rezultă că un amplificator trebuie astfel proiectat încât impedanța de intrare, respectiv de ieșire, să tindă spre condițiile ideale:

$$Z_i = \infty \quad \text{și} \quad Z_o = \infty \quad 21.c$$