

Studiul Amplificatorului Operațional

1. Introducere teoretică

1.1. Caracteristici de bază ale amplificatoarelor

Dispozitivul care realizează creșterea nivelului energetic al semnalului, fără a modifica forma sau structura acestuia se numește *amplificator*. Principalul parametru al amplificatoarelor este *amplificarea* (sau *câștigul*) definită ca raportul dintre mărimea de ieșire și mărimea de intrare. Deoarece mărimile de intrare/ieșire pot fi tensiuni, curenți sau puteri rezultă că se pot defini: *amplificarea în tensiune*, *amplificarea în curent* sau *amplificarea în putere*. În practică, în majoritatea cazurilor, se folosește amplificarea în tensiune, care în continuare va fi numită “amplificare”. Dacă tensiunea de intrare este U_i , iar tensiunea de ieșire U_e , amplificarea va fi:

$$A = \frac{U_e}{U_i} \quad (1)$$

Deoarece amplificarea reprezintă raportul a două mărimi de același fel, ea poate fi exprimată și în decibeli (dB), conform relației:

$$A[dB] = 20 \log \frac{U_e}{U_i} \quad (2)$$

Tipul amplificatorului se alege în funcție de natura fiecărei aplicații, de caracterul semnalului, de forma și nivelul perturbațiilor, condițiile impuse *amplificatoarelor de măsurare* fiind, în general, mai severe decât cele impuse altor tipuri de amplificatoare.

O primă caracteristică, pe baza căreia se stabilește corespondența între semnalul de intrare în amplificator și semnalul de ieșire, este *caracteristica de transfer statică*, care în cazul ideal este o dreaptă ce trece prin origine (fig. 1). În realitate, această caracteristică este o curbă, în cadrul ei distingându-se trei regiuni: I, II și III.

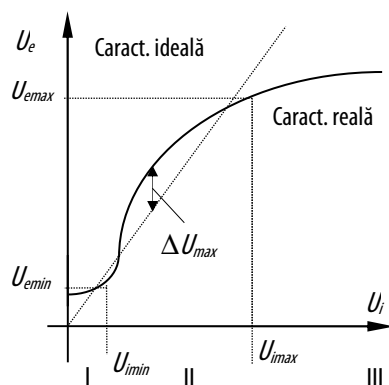


Fig. 1. Caracteristica de transfer statică a unui amplificator.

Regiunea a II-a este regiunea utilă de lucru a amplificatorului, pentru care există o relație de proporționalitate între tensiunea de ieșire și tensiunea aplicată la intrare.

În regiunea a III-a apare o aplatizare a caracteristicii de transfer statice, ceea ce se manifestă printr-o creștere ușoară sau nulă a tensiunii de ieșire la creșterea tensiunii de intrare. Aplatizarea caracteristicii apare ca urmare a limitării semnalului de ieșire din cauza dispozitivelor electronice și/sau a tensiunilor finite de alimentare și se manifestă, ca și neliniaritățile din regiunea a II-a, prin apariția *distorsiunilor de neliniaritate*.

Banda de frecvențe a amplificatoarelor se stabilește pe baza *caracteristicii amplificare-frecvență* și anume, este intervalul de frecvență pentru care amplificarea A nu se modifică cu mai mult decât o valoare prestabilită ΔA .

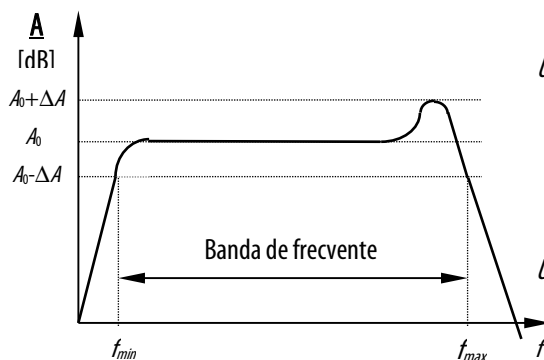


Fig. 2. Caracteristica amplificare-frecvență.

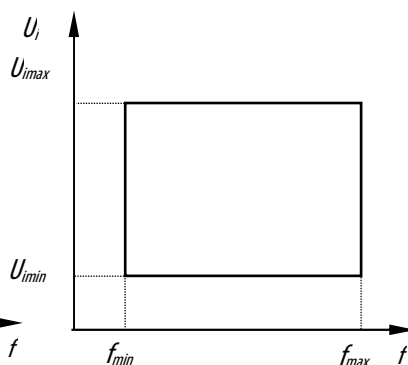


Fig. 3. Domeniul tensiunii de intrare.

Din combinația celor două caracteristici prezentate anterior se stabilește domeniul de amplitudini și frecvențe al tensiunii de intrare pentru care amplificatorul poate fi folosit (fig. 3).

Obținerea unor performanțe superioare pentru amplificatoare se poate realiza prin introducerea acestora în bucle de *reacție negativă*, ceea ce conduce la o serie de avantaje, ca:

- a) îmbunătățirea liniarității caracteristicii de transfer statice și deci, reducerea distorsiunilor de neliniaritate;
- b) asigurarea constanței amplificării la îmbătrânirea dispozitivelor electronice sau schimbarea acestora;
- c) creșterea benzii de frecvențe a amplificatorului;
- d) micșorarea nivelului de zgomot și a derivatei de zero;
- e) creșterea impedanței de intrare și micșorarea impedanței de ieșire (în anumite cazuri) etc.

Folosirea *reacției* la un amplificator presupune aducerea la intrarea acestuia a unei părți din semnalul de ieșire prin bucla de reacție, în scopul modificării caracteristicilor amplificatorului; dacă semnalul adus prin bucla de reacție produce creșterea semnalului de intrare, reacția este *pozitivă*, iar în caz contrar, *negativă*. Reacția pozitivă este folosită la oscilatoarele electronice.

1.2. Amplificatorul operațional

Amplificatorul operațional (AO) are o largă utilizare în cadrul schemelor electronice, principalele caracteristici ale sale fiind:

- este un amplificator diferențial;
- amplificarea în tensiune este foarte mare (în cazul ideal - infinită);
- rezistența de intrare este foarte mare (în cazul ideal - infinită);
- rezistența de ieșire este foarte mică (în cazul ideal - zero).

Conexiuni de bază ale AO

1.2.1. Amplificatorul inversor are schema din fig. 4. Pentru $Z_2 \rightarrow \infty$, $A_0 \rightarrow \infty$, rezultă:

$$A = \frac{U_e}{U_1} = -\frac{Z_r}{Z_1} = -\frac{R_r}{R_1} \quad (3)$$

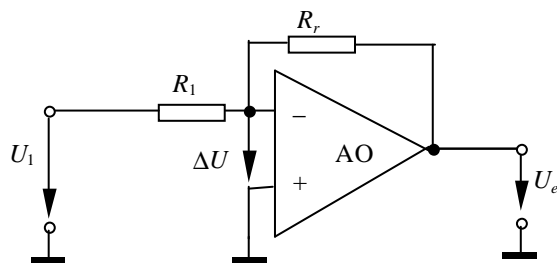


Fig. 4. Amplificator inversor.

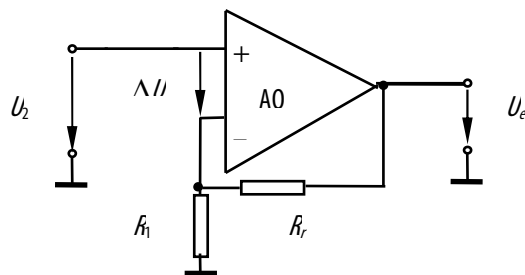


Fig. 5. Amplificatorul neinversor.

1.2.2. Amplificatorul neinversor are schema din figura 5. Pentru $Z_m \rightarrow \infty$, $A_0 \rightarrow \infty$ și $U_1=0$, rezultă:

$$A = \frac{U_e}{U_2} = 1 + \frac{Z_r}{Z_1} = 1 + \frac{R_r}{R_1} \quad (4)$$

1.2.3. Amplificatorul diferențial are schema din fig. 6, unde se notează $U_2 - U_1 = U_d$. Înlocuind în relația (2.22) valorile din figură, se obține:

$$A = \frac{U_e}{U_2 - U_1} = \frac{U_e}{U_d} = \frac{R_r}{R_1} \quad (5)$$

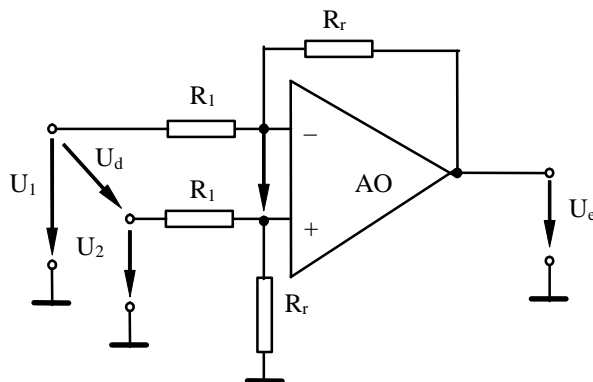


Fig. 6. Amplificator diferențial.

2. Partea practică

2.1. Se folosește o plăcuță cu 3 secțiuni diferite, în care amplificatoare operaționale 741 sunt folosite în conexiune de amplificator inversor, neinversor și respectiv generator de semnal (sau diferențial). Fiecare secțiune în parte are borne (pini) pentru conectarea semnalului la intrarea montajului și culegerea semnalului de la ieșire (pentru a fi vizualizat pe osciloscop). Semnalul de intrare se aduce de la un generator de funcții (sinus, pentru care se pot modifica amplitudinea și frecvența). Pe osciloscop se vor vizualiza atât semnalul de la ieșire cât și cel de la intrare.

Montajul se alimentează la $\pm 12V$ prin intermediul celor 3 borne de pe placă: $+12V$, \perp și $-12V$. Alimentarea se face de la o sursă dublă de tensiune continuă. Stabiliți modul în care se conectează cele 3 borne de pe placă la cele 4 borne ale sursei duble pentru a asigura tensiunile indicate pentru alimentare.

2.2. Studiul AO inversor

a) Identificați pinii (bornele) de intrare și respectiv ieșire pentru circuitul cu amplificator operațional în montaj inversor. În schema echivalentă cu AO inversor (din figura 4), pentru rezistența R_r se pot alege mai multe valori prin intermediul jumperului J1 de pe placă. Acesta se pune pe prima poziție. La intrarea amplificatorului se aduce un semnal sinusoidal de 100 mV tensiune vârf la vârf și frecvența 500Hz. Pe osciloscop se vizualizează atât semnalul de la ieșire, cât și cel de la intrare. Ce se observă? Cum este semnalul de la ieșire față de cel de intrare?

b) Pentru fiecare poziție a lui J1 se vizualizează semnalele și se notează valorile vârf la vârf pentru semnalul de intrare și respectiv cel de ieșire. Se determină amplificarea **A** folosind formula (1) (precizare: se ia valoarea rotunjită ca număr întreg). Se calculează și amplificarea în dB (formula 2).

2.3. Studiul AO neinversor

a) Pentru montajul AO neinversor se identifică pinii (bornele) de intrare și respectiv ieșire, iar valoarea rezistenței R_r se alege prin intermediul jumperului J2. La intrarea amplificatorului se aduce un semnal sinusoidal de 100 mV tensiune vârf la vârf și frecvența 500Hz. Pe osciloscop se vizualizează atât semnalul de la ieșire, cât și cel de la intrare. Ce se observă? Cum este semnalul de la ieșire față de cel de intrare?

b) Pentru fiecare poziție a lui J2 se vizualizează semnalele și se notează valorile vârf la vârf pentru semnalul de intrare și respectiv cel de ieșire. Se determină amplificarea **A** folosind formula (1) (precizare: se ia valoarea rotunjită ca număr întreg). Se calculează și amplificarea în dB (formula 2).

2.4. Caracteristica de transfer a amplificatorului în montaj inversor

Se revine la schema cu AO inversor. Se pune jumperul J1 pe poziția care asigură o amplificare de 10 și se ridică caracteristica de transfer a amplificatorului în montaj inversor: $U_e = f(U_i)$. La intrarea montajului se aduce un semnal sinusoidal cu frecvența de aproximativ 500Hz și 20 mV tensiune vârf la vârf. Cu ajutorul opțiunii de măsurări automate se măsoară pe osciloscop tensiunea vârf la vârf pentru semnalul de ieșire. Se crește tensiunea de la intrare și se notează valoarea tensiunii de ieșire în fiecare dintre punctele precizate în Tabelul 1. Ce se observă?

În același tabel se notează valorile pentru caracteristica de transfer ideală (formula 1).

Trasați pe același grafic caracteristica de transfer ideală și cea reală.

2.5. Caracteristica amplificare-frecvență a amplificatorului în montaj inversor

a) Pentru aceeași configurație, montaj inversor cu amplificare 10, se aduce la intrare un semnal sinusoidal cu 100mV tensiune vârf la vârf, valoare ce va fi menținută constantă în continuare. Se setează frecvența semnalului la 100Hz și se notează valoarea tensiunii de ieșire. Se modifică frecvența semnalului și se notează valoarea tensiunii de ieșire pentru fiecare punct din tabelul 2. Se calculează amplificarea și se notează în tabelul 2. Se trasează caracteristica amplificare-frecvență. Se identifică frecvența superioară a benzii de trecere a amplificatorului f_{max} , determinată la o scădere cu 3 dB a amplificării (frecvența de tăiere).

b) Se determină frecvența de tăiere și pentru amplificare 100. Care este relația între amplificare și banda de frecvențe a amplificatorului?

2.6. Generator de semnale cu AO

Pe cea de-a treia secțiune a montajului se identifică ieșirile la care sunt disponibile semnalele dreptunghiular și triunghiular. Se vizualizează aceste semnale pe osciloscop.

Tabel 1. Caracteristica de transfer

| U_i | $U_{er} (real)$ | $U_{ei} (ideal)$ |
|---------------|-----------------|------------------|
| 20 mV | | |
| 50 mV | | |
| 100 mV | | |
| 200 mV | | |
| 300 mV | | |
| 400 mV | | |
| 500 mV | | |
| 600 mV | | |
| 700 mV | | |
| 800 mV | | |
| 900 mV | | |
| 1 V | | |
| 1,1 V | | |
| 1,2 V | | |
| 1,3 V | | |
| 1,4 V | | |
| 1,5 V | | |

Tabel2. Caracteristica amplificare -frecvență

| f | U_e | A |
|----------------|-------|-----|
| 100 Hz | | |
| 1 kHz | | |
| 3 kHz | | |
| 5 kHz | | |
| 10 kHz | | |
| 20 kHz | | |
| 30 kHz | | |
| 40 kHz | | |
| 50 kHz | | |
| 60 kHz | | |
| 65 kHz | | |
| 70 kHz | | |
| 80 kHz | | |
| 90 kHz | | |
| 100 kHz | | |