



UNIUNEA EUROPEANĂ



GUVERNUL ROMÂNIEI



Instrumente Structurale  
2007-2013



# Platformă de e-learning și curriculă e-content pentru învățământul superior tehnic

## Elemente de Electronică Analogică

### **23. Amplificatoare operaționale**

## Parametrii electrice ai unui AO

Amplificatorul operațional (AO) realizat prin tehnicile prezentate în capitolul precedent poate fi considerat ca un element de circuit caracterizat prin comportarea sa la bornele de acces. Astfel, se pot defini *caracteristicile circuitului* (de transfer, de intrare și de ieșire) din care se deduc *parametrii circuitului* care pot fi folosiți pentru analiza circuitelor cu AO.

Având în vedere complexitatea schemei unui AO, este evident faptul că este necesar un număr mare de parametri care să caracterizeze complet comportarea unui AO în diferite regimuri de funcționare.

Parametrii AO pot fi grupați în mai multe categorii în funcție de modul în care intervin în proprietățile circuitelor cu AO depinzând și de aplicația pentru care este realizat circuitul respectiv. De remarcat faptul că toți parametrii care vor fi prezentați depind și de condițiile reale de funcționare a circuitului. Exemplele numerice se vor referi la AO de tipul  $\mu A 741$ , un AO de uz general și de frecvență joasă.

### 1) parametri de semnal mic:

- *amplificarea de tensiune în buclă deschisă*, notată cu  $A_o$  și cu valori tipice mai mari de  $10^4$ ; se va vedea că performanțele circuitelor cu AO sunt cu atât mai bune cu cât amplificarea de tensiune în buclă deschisă este mai mare și, ca urmare, valorile pentru acest parametru sunt, de regulă, mai mari, de exemplu de ordinul lui  $10^6$ , așa cum are  $\mu A 741$ ;

- *impedanța de intrare diferențială*,  $Z_i$ , cu valori tipice mai mari de 10 k $\Omega$ ; AO reprezentative dispun de impedanțe diferențiale de valori care pot ajunge și la sute de k $\Omega$  pentru AO cu tranzistoare bipolare și la valori mult mai mari pentru AO cu tranzistoare cu efect de câmp pe intrare;

- *impedanța de ieșire*,  $Z_o$ , cu valori tipice mai mici de 250 $\Omega$ ; se va vedea că, în cea mai mare parte a aplicațiilor, valoarea acestei impedanțe nu

are mare importanță deoarece aceste circuite folosesc reacția negativă de tensiune care duce la micșorarea impedanței de ieșire a circuitului cu AO;

- *factorul de rejecție a modului comun, CMR*, are valori tipice de 100 dB dar poate ajunge și la valori de 130 dB; importanța acestui parametru apare în cazul circuitelor care prelucrează semnale variabile de nivel mic suprapuse peste tensiuni continue de valori importante;

- *impedanțele de intrare pe modul comun pe cele două intrări, notate cu  $Z^+$  și  $Z$* , au, în mod obișnuit, valori foarte mari și contează numai în cazul circuitelor cu impedanță de intrare foarte mare;

- *dependențele de impedanța de sarcină a acestor parametri.*

## 2) mărimile reziduale:

- *tensiunea de decalaj raportată la intrare,  $V_D$* , definită ca fiind tensiunea care se aplică între bornele de intrare ale AO pentru ca tensiunea de la ieșirea acestuia să fie nulă; valorile tipice sunt de ordinul  $mV$  și diferă mult în funcție de structura etajului de intrare al AO;

- *curentul de polarizare la intrare,  $I_P$* , definit ca semisuma curenților de intrare pe cele două borne ale AO, necesari pentru polarizarea în curent continuu a tranzistoarelor (în cazul AO cu tranzistoare bipolare pe intrare) sau curenții reziduali de intrare ai tranzistoarelor cu efect de câmp în cazul utilizării acestei tehnologii de realizare a AO; valorile tipice sunt de ordinul zecilor de  $nA$  pentru AO cu tranzistoare bipolare și mult mai mici pentru AO cu tranzistoare cu efect de câmp pe intrare;

- *curentul de decalaj de la intrare,  $I_D$* , definit ca valoarea absolută a diferenței curenților de intrare ai AO, cu valori tipice comparabile cu cele ale curentului de polarizare;

- *derivatele termice ale acestor mărimi*, măsurate în  $\mu V/^{\circ}C$  (pentru  $V_D$ ), respectiv în  $nA/^{\circ}C$  (pentru  $I_P$  și  $I_D$ ).

### 3) mărimile legate de funcționarea în frecvență a AO

- *frecvența de tăiere a AO (banda de trecere) în buclă deschisă*, notată cu  $f_0$ ; valorile acestei mărimi depin foarte mult de complexitatea structurii interne a AO și pot fi între 10 Hz (pentru  $\mu A 741$ ) și valori mult mai ridicate pentru alte AO (de exemplu, sute de kHz pentru  $\mu A 733$ ); acest parametru devine important pentru circuite care funcționează la frecvențe mari, dar se ține seama de faptul că AO este folosit într-un circuit cu reacție negativă de tensiune care îmbunătățește comportarea în frecvență a circuitului);

- *viteza de variație a semnalului la ieșire*,  $SR$ , reprezintă raportul dintre variația de tensiune de la ieșire și timpul în care se realizează această variație, în cazul aplicării unui semnal treaptă de tensiune de valoare mare (semnal mare) la intrarea AO; valoarea acestui parametru se măsoară în  $V/\mu s$  variind, în funcție de structura AO, de la valori de  $0.75 V/\mu s$  (pentru  $\mu A 741$ ) la valori cu câteva ordine de mărime mai mari;

- *timpul de creștere și timpul de stabilire*,  $t_{cr}$  și  $t_{stab}$ , definiți pentru răspunsul AO la un semnal în formă de impuls, de amplitudine mică, de ordinul  $ns$ ; acești parametri caracterizează comportarea în regim tranzitoriu a AO și sunt luați în considerare pentru circuite cu AO funcționând în impulsuri la frecvențe mari; în principiu, răspunsul circuitului la un impuls de amplitudine mică dă indicații asupra comportării în frecvență a circuitului.

- *tensiunea echivalentă de zgomot a AO*,  $e_{zg}$ ; un AO real care conține componente active și passive ce generează și adaugă zgomot la ieșirea sa este zgomotos; în acest context, zgomotul este considerat ca tensiuni și curenți aleatorii care limitează sensibilitatea circuitului.

### 4) disponibilitățile AO la ieșire:

- *curentul maxim disponibil la ieșire*,  $I_{omax}$ , cu valori tipice de 20 mA (pentru  $\mu A 741$ ); pentru mărirea curentului disponibil la ieșire se pot folosi amplificatoare de curent cu tranzistoare în conexiunea colector comun;

- *tensiunea maximă de la ieșire* ce se poate obține fără distorsiuni majore,  $V_{omax}$ ; depinde de structura etajului de ieșire al AO și de tensiunile de alimentare fiind cu 1-2 V mai mici decât acestea; de obicei, sunt diferite pentru valorile maximă și minimă pentru că nu este aceeași structură a etajului de ieșire pentru ambele alternanțe ale semnalului; această valoare este o măsură a posibilității circuitului de a da la ieșire un semnal sinusoidal nedistorsionat pe o sarcină precizată. Limitarea se produce datorită rezistenței de sarcină, nivelelor de tensiune de alimentare, efectelor de frecvență sau rezistenței de ieșire a AO.

#### **5) caracteristici de alimentare:**

- *curenții de alimentare* absorbiți de la sursele de alimentare;
- *puterea disipată* pe fiecare dintre sursele de alimentare;
- *factorul de rejecție a surselor de alimentare, SVR*, ce reprezintă în ce măsură variațiile tensiunilor de alimentare influențează principalii parametri ai AO; AO este capabil să amplifice semnale de curent continuu, deci este inherent sensibil la schimbările propriilor surse de alimentare. De asemenea, dacă sursele de tensiune de alimentare nu sunt bine filtrate și variază cu frecvența de redresare, atunci și caracteristicile AO pot varia cu această frecvență. Este necesar ca acest factor să aibă valori cât mai mari.

#### **6) valori limită absolute:**

- *tensiunile de alimentare limită* ce pot fi aplicate AO;
- *tensiunile limită de intrare diferențiale* maxime care pot fi aplicate fără a se deteriora circuitul;
- *tensiunile limită de intrare de mod comun* maxime care pot fi aplicate fără a se deteriora circuitul.
- mai pot fi puși în evidență și alți parametri limită, importanți din punct de vedere practic, dar care pot fi neglijăți, la început, în procesul de analiză și proiectare a circuitelor cu AO.