

LUCRAREA NR. 2

STUDIUL AMPLIFICATORULUI DIFERENȚIAL

1. Scopul lucrării

În această lucrare se studiază amplificatorul diferențial realizat cu tranzistoare bipolare, în care generatorul de curent constant este o sursă de curent simplă. Se determină pe baza rezultatelor experimentale o serie de caracteristici și parametri de performanță ale acestuia.

2. Amplificatorul diferențial

Amplificatoarele diferențiale au o serie de avantaje, cum ar fi: posibilitatea de conectare directă în cascadă, fără a se introduce decalaj în curent continuu, o rejecție foarte bună a semnalelor de mod comun, derivă termică foarte mică, pot fi ușor integrate datorită împerechierii și cuplajului termic al tranzistoarelor monolitice. Din aceste motive amplificatoarele diferențiale sunt utilizate pe scară largă ca etaje de intrare în circuitele integrate analogice. Amplificatorul diferențial este alcătuit din două etaje de amplificare în montaj emitor comun, cuplate în emitor prin intermediul unui generator de curent constant. Schema clasică a unui etaj de amplificare diferențial simetric realizat cu tranzistoare bipolare este prezentată în figura 1.

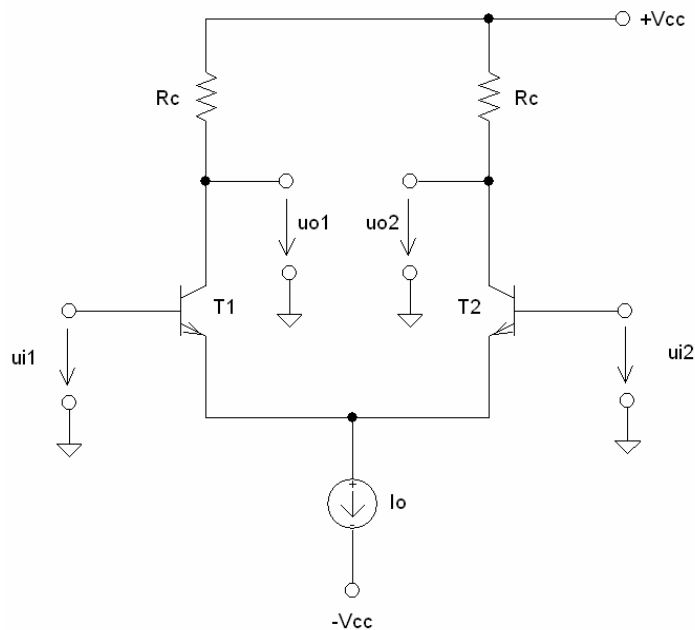


Fig. 1. Schema clasică a unui amplificator diferențial simetric cu tranzistoare bipolare.

Amplificatorul diferențial ideal amplifică tensiunea de intrare diferențială ($u_{i1} - u_{i2}$), tensiunea de intrare de mod comun ($u_{i1} + u_{i2}$) nefiind amplificată.

Amplificatorul diferențial este caracterizat prin următoarele mărimi:

- tensiunea de mod diferențial de la intrare

$$u_{id} = \frac{u_{i1} - u_{i2}}{2} \quad (1)$$

- tensiunea de mod comun de la intrare

$$u_{ic} = \frac{u_{i1} + u_{i2}}{2} \quad (2)$$

- tensiunea de mod diferențial de la ieșire

$$u_{od} = \frac{u_{o1} - u_{o2}}{2} \quad (3)$$

- tensiunea de mod comun de la ieșire

$$u_{oc} = \frac{u_{o1} + u_{o2}}{2} \quad (4)$$

Tensiunilor unui amplificator diferențial le corespund amplificările:

- amplificarea de mod diferențial

$$A_{dd} = \frac{u_{od}}{u_{id}} \quad (5)$$

- amplificarea de mod comun

$$A_{cc} = \frac{u_{oc}}{u_{ic}} \quad (6)$$

- amplificarea de la modul comun la modul diferențial

$$A_{dc} = \frac{u_{od}}{u_{ic}} \Big|_{u_{id}=0} \quad (7)$$

- amplificarea de la modul diferențial la modul comun

$$A_{cd} = \frac{u_{oc}}{u_{id}} \Big|_{u_{ic}=0} \quad (8)$$

Un amplificator diferențial este cu atât mai performant cu cât A_{cc} și A_{cd} sunt de valori mai mici. Astfel, performanțele unui amplificator diferențial pot fi determinate pe baza parametrilor (factorilor) de merit:

- factor de discriminare

$$F = \frac{A_{dd}}{A_{cc}} \quad (9)$$

- raport de rejecție al modului comun (“Common Mode Rejection Ratio” – CMRR)

$$CMRR = \left| \frac{A_{dd}}{A_{dc}} \right| \quad (10)$$

F și $CMRR$ se exprimă, de regulă, în decibeli. Cu cât parametrii F și $CMRR$ sunt mai mari cu atât amplificatorul diferențial este mai performant.

Factorul de discriminare al unui amplificator diferențial arată capacitatea acestuia de a separa efectul util al tensiunii de mod diferențial de la intrare de efectul perturbator al tensiunii de mod comun de la intrare.

Raportul de rejecție al modului comun al unui amplificator diferențial arată capacitatea acestuia de a separa tensiunile diferențiale de la ieșire datorate tensiunilor diferențiale de la intrare de cele datorate tensiunilor de mod comun de la intrare. În cazul unui amplificator diferențial real, $CMRR$ poate fi mărit prin:

- simetrizarea cât mai bună a schemei ($\Delta\beta \cong 0$ și $\Delta R_c \cong 0$);
- utilizarea unor tranzistoare cu β cât mai mare;
- mărirea rezistenței R_c , care se realizează prin înlocuirea acesteia cu o sursă de curent (folosită ca sarcină activă).

Tensiunea de mod diferențial de la ieșire este:

$$u_{od} = \frac{\alpha_0 I_0 R_c}{2} \tanh\left(-\frac{u_{id}}{U_T}\right), \quad (11)$$

în care U_T este tensiunea termică, $U_T = kT/q$ ($\cong 26$ mV pentru $T = 300$ K).

Relația de mai sus reprezintă caracteristica de transfer $u_{od} = f(u_{id})$ a unui amplificator diferențial. În figura 2 se reprezintă grafic caracteristica de transfer a unui amplificator diferențial.

Amplificatorul diferențial se comportă aproximativ liniar pentru valori $(u_{i1} - u_{i2})$ mai mici decât aproximativ 50 mV pentru $U_T \cong 26$ mV.

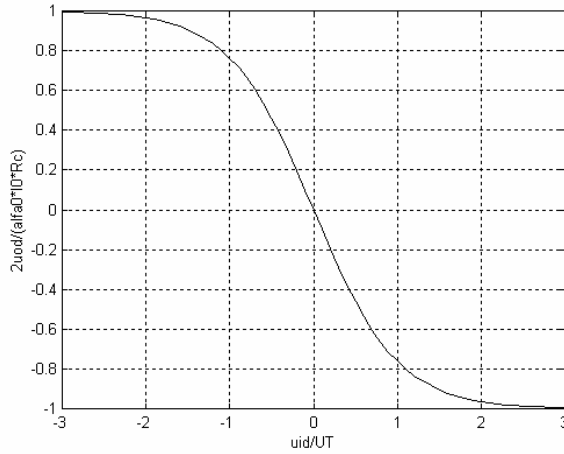


Fig. 2. Caracteristica de transfer a unui amplificator diferențial.

În cazul unui amplificator diferențial ideal (perfect simetric) amplificările pot fi approximate prin:

$$A_{dd} \cong -\frac{\beta R_c}{r_\pi} = -g_m R_c, \quad (12)$$

$$A_{cc} \cong -\frac{\beta R_c}{r_\pi + 2\beta R_E} = -\frac{g_m R_c}{1 + 2g_m R_E} \Rightarrow A_{cc} \cong -\frac{R_c}{2R_E}, \quad (13)$$

$$A_{dc} = 0, \quad (14)$$

$$A_{cd} = 0, \quad (15)$$

în care: $g_m = \frac{I_c}{U_T}$ și $r_\pi = \frac{\beta}{g_m}$, unde I_c este valoarea curentului de colector în punctul static de funcționare, iar R_E este rezistența generatorului de curent I_o .

Dacă generatorul de curent este o sursă de curent simplă, atunci rezistența R_E poate fi aproximată prin:

$$R_E \cong r_{o2} = \frac{1}{\eta g_m} = \frac{V_A}{I_o}, \quad (16)$$

în care V_A este tensiunea Early, iar I_o este curentul generat de sursă.

Pe baza expresiilor de mai sus rezultă:

$$F \cong 1 + 2\beta \frac{R_E}{r_\pi} = 1 + 2g_m R_E \Rightarrow F \cong 2g_m R_E \quad (17)$$

și

$$CMRR = \infty$$

(18)

3. Desfășurarea lucrării

Generatorul de curent al amplificatorului diferențial este o sursa de curent simplă realizată cu ajutorul a două tranzistoare npn. Toate tranzistoarele sunt din cadrul circuitului integrat CA 3086 (T_1 și T_2 sunt cele două tranzistoare din cadrul CA 3086 cu emitoarele legate împreună).

Pentru a obține semnalul de mod diferențial de la intrare se conectează baza lui T_2 la masă și se aplică semnal în baza tranzistorului T_1 (v. figura 3(a)). Pentru a obține semnalul de mod comun de la intrare același semnal se aplică în bazele ambelor tranzistoare (v. figura 3(b)).

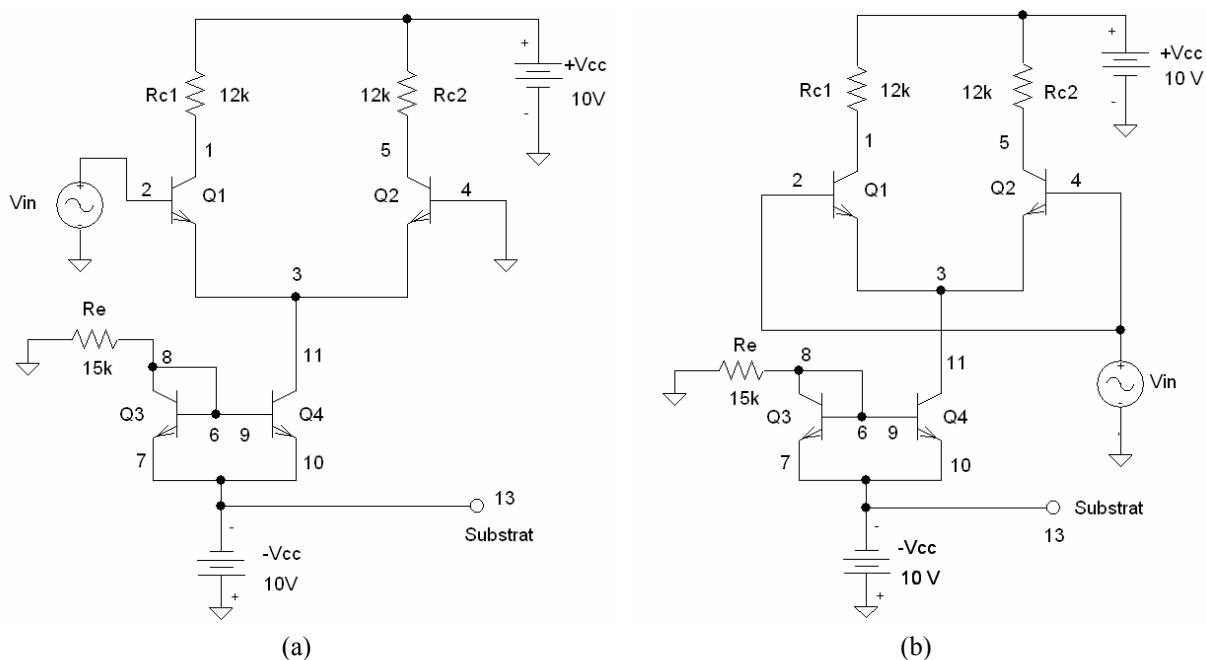


Fig. 3. Schemele folosite pentru studiul amplificatorului diferențial cu semnal de intrare: (a) de mod diferențial și (b) de mod comun.

Se efectuează următoarele:

- Se calculează valorile teoretice ale amplificărilor A_{dd} , A_{cc} , A_{dc} și A_{cd} pe baza formulelor (12)-(15) și ale parametrilor F și $CMRR$ pe baza formulelor (17) și (18).
- Se aplică ca semnal de mod diferențial de intrare un semnal sinusoidal de frecvență 1 kHz și amplitudine 30 mV. Semnalele de ieșire u_{o1} și u_{o2} se aplică la canalul 1 (CH1) și la canalul 2 (CH2) ale unui osciloscop numeric cu două canale. Se determină amplitudinea semnalului de mod diferențial de intrare până la care semnalele de ieșire nu sunt distorsionate. Se compară această valoare cu tensiunea $U_T \cong 26$ mV.

- c) Se stabilește amplitudinea semnalului de mod diferențial de la intrare la valoarea de 30 mV. Se vizualizează și se trasează grafic formele de undă ale semnalelor u_{o1} și u_{o2} și se determină amplitudinile acestora.
- d) Se vizualizează și se trasează grafic forma de undă a tensiunii de mod diferențial de la ieșire. Se determină amplitudinea acestei tensiuni și se calculează A_{dd} cu formula (5). Valoarea calculată se trece în tabelul 1.
- e) Se vizualizează tensiunea de mod comun de la ieșire. Se determină amplitudinea tensiunii obținute și se calculează A_{cd} cu formula (8). Valoarea calculată se trece în tabelul 1.
- f) Se aplică ca semnal de mod comun de intrare un semnal sinusoidal de frecvență 1 kHz și amplitudine 2 V. Semnalele de ieșire u_{o1} și u_{o2} se aplică celor două canale ale osciloscopului. Se trasează grafic formele semnalelor u_{o1} și u_{o2} și se determină amplitudinile acestora.
- g) Se vizualizează și se trasează grafic forma de undă a tensiunii de mod comun de la ieșire. Se determină amplitudinea tensiunii obținute și se calculează A_{cc} cu formula (6). Valoarea obținută se trece în tabelul 1.
- h) Se vizualizează tensiunea de mod diferențial de ieșire. Se determină amplitudinea acestei tensiuni și se calculează A_{dc} cu formula (7). Valoarea obținută se trece în tabelul 1.
- i) Se calculează pe baza amplificărilor obținute în urma rezultatelor experimentale parametrii F și $CMRR$ ai amplificatorului folosind formulele (9) și (10). Valorile obținute se trec în tabelul 1.

Tabelul 1. Rezultatele teoretice și experimentale obținute.

A_{dd}		A_{cc}		A_{dc}		A_{cd}		F [dB]		CMRR [dB]	
teor.	exp.	teor.	exp.	teor.	exp.	teor.	exp.	teor.	exp.	teor.	exp.

Întrebări:

1. Care sunt amplificările care caracterizează un amplificator diferențial ?
2. Cum poate fi mărit factorul de merit $CMRR$?
3. Să se deducă relațiile (17) - (22).