

LUCRAREA 1

AMPLIFICATORUL DIFERENȚIAL

MODULUL MCM5/EV

1.1 INTRODUCERE

Amplificatorul diferențial (AD) este întâlnit ca bloc de intrare într-o mare varietate de circuite analogice: amplificatoare operaționale, comparatoare, convertoare, multiplicatoare analogice, etc.

AD are două intrări și una sau două ieșiri. În cazul în care AD are o ieșire denumirea acestuia este *AD cu ieșire asimetrică* (fig. 1.1) iar în cazul în care are două ieșiri – *AD cu ieșire simetrică*. AD amplifică numai diferența semnalelor de pe intrări. Semnalul de ieșire al AD este proporțional cu diferența dintre cele două intrări, constanta de proporționalitate fiind chiar amplificarea diferențială. Se explică astfel denumirea de amplificator diferențial /1-3/.

Simbolul utilizat pentru AD este similar cu cel al amplificatorului operațional (fig. 1.1).

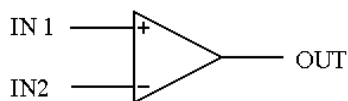


Fig. 1.1 Amplificatorul diferențial – simbol.

Față de ieșire, cele două intrări ale AD sunt astfel individualizate:

- *IN1* – intrarea neinversoare, simbolizată cu “+”;
- *IN2* – intrarea inversoare, simbolizată cu “-”.

AD poate fi utilizat atât ca amplificator de curent continuu cât și ca amplificator de curent alternativ.

1.2 PARAMETRII AD

Circuitul echivalent de intrare pentru un AD este prezentat în fig. 1.2. Tensiunile aplicate pe cele două intrări sunt v_i^+ și v_i^- , iar i_i^+ și i_i^- sunt curenții de intrare. Atât tensiunile cât și curenții de intrare au câte o parte comună ($v_{i,c}$, respectiv $i_{i,c}$) și una diferențială ($v_{i,d}$, respectiv $i_{i,d}$). Aplicând teoremele Kirchhoff pe circuitul din fig. 1.2 rezultă:

$$v_i^+ = v_{i,c} + \frac{v_{i,d}}{2} \quad (1.1)$$

$$v_i^- = v_{i,c} - \frac{v_{i,d}}{2} \quad (1.2)$$

$$i_i^+ = i_{i,c} + i_{i,d} \quad (1.3)$$

$$i_i^- = i_{i,c} - i_{i,d} \quad (1.4)$$

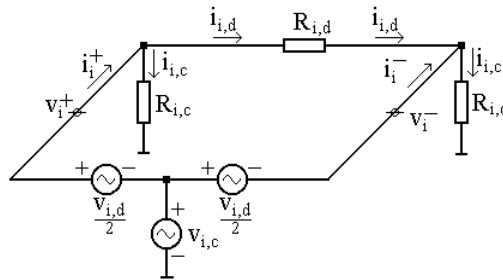


Fig. 1.2 Circuitul echivalent de intrare pentru un AD /3/.

Pe baza relațiilor (1.1) - (1.4) se obțin expresiile pentru:

- tensiunea diferențială de intrare ($v_{i,d}$);
- curentul diferențial de intrare ($i_{i,d}$);
- tensiunea de mod comun, ($v_{i,c}$);
- curentul de mod comun la intrare ($i_{i,c}$).

$$v_{i,d} = v_i^+ - v_i^- \quad (1.5)$$

$$v_{i,c} = \frac{v_i^+ + v_i^-}{2} \quad (1.6)$$

$$i_{i,d} = \frac{i_i^+ - i_i^-}{2} \quad (1.7)$$

$$i_{i,c} = \frac{i_i^+ + i_i^-}{2} \quad (1.8)$$

Modul diferențial pur presupune $v_{i,c} = 0$ și $i_{i,c} = 0$. Circuitul echivalent de intrare devine cel din fig. 1.3. Pe circuitul din fig. 1.3 se deduce:

$$v_i^+ = -v_i^- = v_{i,d} \quad (1.9)$$

$$i_i^+ = -i_i^- = i_{i,d} \quad (1.10)$$

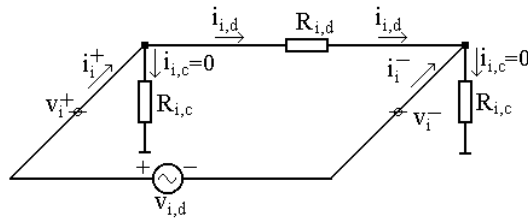


Fig. 1.3 Circuitul echivalent de intrare pentru un AD cu atac de mod diferențial pur /3/.

Rezistența de intrare pe mod diferențial este dată de relația (1.11):

$$R_{i,d} = \frac{v_{i,d}}{i_{i,d}} \quad (1.11)$$

În cazul funcționării pe mod comun pur, $v_{i,d} = 0$ și $i_{i,d} = 0$. Pentru acest caz, circuitul echivalent de intrare este dat în fig. 1.4. Ca urmare:

$$v_i^+ = v_i^- = v_{i,c} \quad (1.12)$$

$$i_i^+ = i_i^- = i_{i,c} \quad (1.13)$$

Rezistența de intrare pe mod comun este dată de relația (1.14):

$$R_{i,c} = \frac{v_{i,c}}{i_{i,c}} \quad (1.14)$$

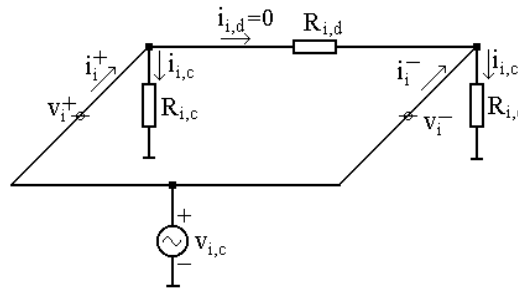


Fig. 1.4 Circuitul echivalent de intrare pentru un AD cu atac de mod comun pur /3/.

În cazul unui AD cu două ieșiri parametrii de interes se definesc similar:

➤ tensiunea de ieșire diferențială

$$v_{o,d} = v_o^+ - v_o^- \quad (1.15)$$

➤ tensiunea de ieșire de mod comun

$$v_{o,c} = \frac{1}{2} \cdot (v_o^+ + v_o^-) \quad (1.16)$$

Amplificarea de tensiune a AD presupune:

➤ **amplificarea de mod diferențial**

$$A_{v,d} = \frac{v_{o,d}}{v_{i,d}} \quad (1.17)$$

➤ **amplificarea de mod comun**

$$A_{v,c} = \frac{v_{o,c}}{v_{i,c}} \quad (1.18)$$

Prin construcție AD amplifică diferența tensiunilor aplicate pe intrări ($v_{i,d}$) și rejectează partea comună a tensiunilor ($v_{i,c}$). Acesta este motivul pentru care la un amplificator diferențial $|A_{v,d}|$ are valori ridicate, iar $|A_{v,c}| < 1$.

Raportul dintre cele două amplificări este factorul de rejectie al modului comun, CMRR (*Common-Mode Rejection Ratio*):

$$CMRR = \frac{|A_{v,d}|}{|A_{v,c}|} \quad (1.19)$$

În proiectarea unui AD se urmărește ca CMRR să aibă o valoare cât mai mare.

Dacă amplificatorul diferențial are o singură ieșire (ieșire asimetrică) în relațiile (1.17) și (1.18), tensiunile $v_{o,d}$ și $v_{o,c}$ se înlocuiesc cu v_o .

1.3 ANALIZA TEORETICĂ A AD

Pentru analiza teoretică a AD se utilizează schema din fig. 1.5. Circuitul din fig. 1.5 este un AD cu ieșire simetrică realizat cu tranzistoare bipolare considerate identice, funcționând în RAN și polarizate la un curent de colector constant. Analiza are ca scop evaluarea caracteristicii de transfer în curent continuu, amplificarea de tensiune și rezistența de intrare de mod diferențial și respectiv de mod comun. Se neglijează efectul rezistențelor de ieșire ($r_o = \infty$) ale tranzistoarelor.

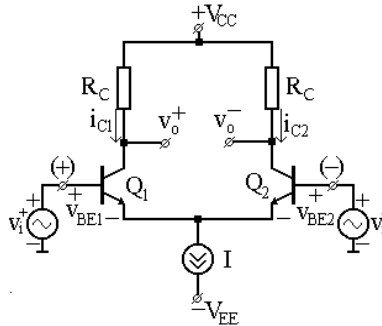


Fig. 1.5 Amplificator diferențial cu ieșire simetrică /3/.

Pe ochiul ce conține sursele de tensiune v_i^+ și v_i^- și joncțiunile BE ale celor două tranzistoare se poate scrie:

$$v_{BE1} - v_{BE2} = v_{I,D} = v_i^+ - v_i^- \quad (1.20)$$

$$i_{C1} + i_{C2} = I \quad (1.21)$$

Ecuatiile ce dau dependența curentului de colector de tensiunea v_{BE} sunt:

$$i_{C1} = I_S \cdot \exp\left(\frac{v_{BE1}}{V_{th}}\right) \quad (1.22)$$

$$i_{C2} = I_S \cdot \exp\left(\frac{v_{BE2}}{V_{th}}\right) \quad (1.23)$$

Rezultă:

$$i_{C1} = \frac{I}{1 + \exp\left(-\frac{v_{I,D}}{V_{th}}\right)} \quad (1.24)$$

$$i_{C2} = \frac{I}{1 + \exp\left(\frac{v_{I,D}}{V_{th}}\right)} \quad (1.25)$$

Dependența curenților de colector de tensiunea diferențială de intrare este dată în fig. 1.6. Se constată că AD cu tranzistoare bipolare amplifică în domeniul în care i_{C1} și i_{C2} variază cu $v_{I,D}$. Din ecuațiile (1.24) și (1.25) se deduce că acest domeniu este limitat la $|v_{I,D}| < 4V_{th} \cong 100mV$.

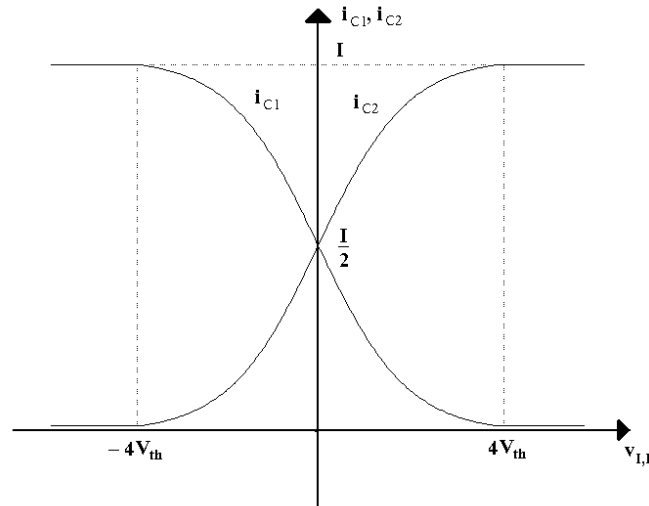


Fig. 1.6 Variația curenților de colector cu tensiunea diferențială de intrare /3/.

Pentru $v_{I,D} > 4V_{th}$, $i_{C1} = I$. Tranzistorul Q_2 este blocat ($i_{C2} = 0$). La $v_{I,D} < -4V_{th}$, rezultă un curent $i_{C1} = 0$ și $i_{C2} = I = \text{constant}$.

Tensiunea diferențială de ieșire are expresia (vezi fig. 1.5):

$$\begin{aligned} v_{O,D} &= v_O^+ - v_O^- = V_{CC} - R_C \cdot i_{C1} - (V_{CC} - R_C \cdot i_{C2}) = \\ &= -R_C \cdot (i_{C1} - i_{C2}) \end{aligned} \quad (1.26)$$

Folosind ecuațiile (1.24) și (1.25) rezultă:

$$v_{O,D} = R_C \cdot I \cdot \tanh\left(-\frac{v_{I,D}}{2V_{th}}\right) \quad (1.27)$$

Domeniul poate fi extins prin adăugarea unor rezistoare suplimentare în emitoare. Introducerea acestor rezistoare duce la circuitul din fig. 1.7.

Dependența tensiunii $v_{O,D}$ de $v_{I,D}$ este dată în fig. 1.8. Tensiunea diferențială de ieșire variază doar în cazul în care $|v_{I,D}| \leq 4V_{th}$. $v_{O,D}$ se limitează la valoarea $R_C \cdot I$ sau, $-R_C \cdot I$ dacă unul din tranzistoare (Q_1 sau Q_2) este blocat (ceea ce corespunde la $|v_{I,D}| > 4V_{th}$). Ecuația (1.27) evidențiază neliniaritatea caracteristicii de transfer /3/.

Dacă $v_{I,D} \ll \frac{V_{th}}{2}$, cele două tranzistoare Q_1 și Q_2 lucrează la semnal mic iar ecuațiile (1.25), (1.26) și (1.27) se liniarizează. Ca urmare:

$$i_{C1} \cong \frac{I}{2} + \frac{I}{2V_{th}} \cdot \frac{v_{I,D}}{2} = \frac{I}{2} + g_m \cdot \frac{v_{I,D}}{2} \quad (1.28)$$

$$i_{C2} \cong \frac{I}{2} - \frac{I}{2V_{th}} \cdot \frac{v_{I,D}}{2} = \frac{I}{2} - g_m \cdot \frac{v_{I,D}}{2} \quad (1.29)$$

$$v_{O,D} = -g_m \cdot R_C \cdot v_{I,D} \quad (1.30)$$

unde, $g_m = I/2V_{th}$ este panta tranzistoarelor la semnal mic.

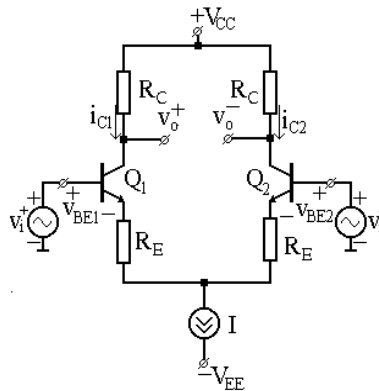


Fig. 1.7 Amplificatorul diferențial cu ieșire simetrică și extindere a domeniului de tensiuni de intrare /3/.

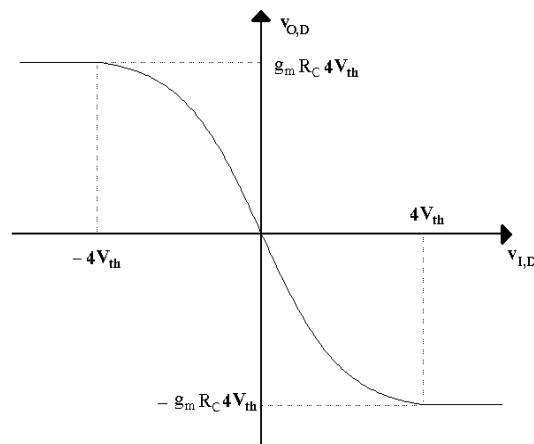


Fig. 1.8 Dependența tensiunii $v_{O,D}$ de $v_{I,D}$ /3/.

Schema de regim dinamic a AD din fig. 1.5 este reprezentată în fig. 1.9. Pe o intrare se aplică semnalul $v_{i,d}/2$ iar pe cealaltă intrare $-v_{i,d}/2$ ceea

ce înseamnă atac de mod diferențial pur. La ieșirea simetrică a fost conectată o rezistență de sarcină R_L . Deoarece tranzistoarele sunt identice, din motive de simetrie rezultă:

$$v_{be1} = -v_{be2} \tag{1.31}$$

Pe baza fig. 1.9 se obține $v_{i,d} = v_{be1} - v_{be2}$. Rezultă:

$$v_{be1} = -v_{be2} = \frac{v_{i,d}}{2} \tag{1.32}$$

Relația (1.32) demonstrează că în curent alternativ emitoarele tranzistoarelor sunt puncte *virtuale* de masă pentru funcționarea pe mod diferențial. Cele două tranzistoare se comportă ca etaje EC separate. Deoarece tranzistoarele au aceeași pantă rezultă:

$$i_{c1} = g_{m1} \cdot v_{be1} = g_m \cdot \frac{v_{i,d}}{2} \tag{1.33}$$

$$i_{c2} = g_{m2} \cdot v_{be2} = -g_m \cdot \frac{v_{i,d}}{2} \tag{1.34}$$

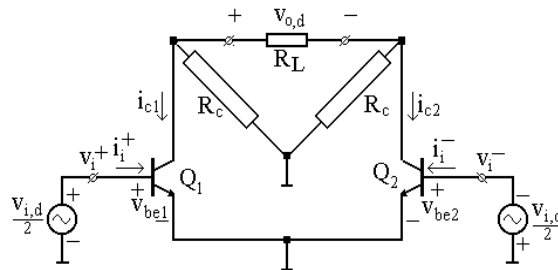


Fig. 1.9 Schema de regim dinamic a AD cu ieșire simetrică /3/.

Pe circuitul din fig. 1.9 pentru se obține:

$$v_{o,d} = (i_{c2} - i_{c1}) \cdot (R_L \parallel 2R_C) = -g_m \cdot (R_L \parallel 2R_C) \cdot v_{i,d} \tag{1.35}$$

Amplificarea de mod diferențial va fi:

$$A_{v,d} = \frac{v_{o,d}}{v_{i,d}} = -g_m \cdot (R_L \parallel 2R_C) \tag{1.36}$$

Determinarea rezistenței de intrare pe mod diferențial se realizează pe circuitul din fig. 1.10. Se obține:

$$i_{i,d} = i_{b1} = -i_{b2} \tag{1.37}$$

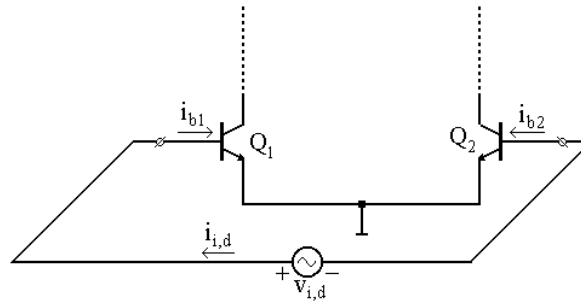


Fig. 1.10 Circuitul pentru calculul rezistenței de intrare de mod diferențial /3/.

$$R_{i,d} = \frac{v_{i,d}}{i_{i,d}} = \frac{v_{i,d}}{i_{b1}} = \frac{v_{i,d}}{\frac{v_{be1}}{r_{\pi1}}} = 2 \cdot r_{\pi1} = 2 \cdot r_{\pi} \quad (1.38)$$

Analiza de mod comun se realizează pe schema de regim dinamic (mod comun) din fig. 1.11. Deoarece tranzistoarele Q_1 și Q_2 sunt considerate identice, rezultă: $v_{be1} = v_{be2} = v_{i,c}$, $i_{c1} = i_{c2}$, $v_o^+ = v_o^- = v_{o,c}$. Prin sarcină curenții sunt nuli ($i_l = 0$) iar între emitoarele tranzistoarelor ($i = 0$). Se observă că, pentru un atac de mod comun pur AD se compune din două etaje cu sarcină distribuită, identice (fig. 1.11).

Pe circuitul din fig. 1.11 se deduce:

$$v_{i,c} = v_{be1} + 2 \cdot R_E \cdot i_{c1} = \left(\frac{1}{g_{m1}} + 2 \cdot R_E \right) \cdot i_{c1} \cong 2 \cdot R_E \cdot i_{c1} \quad (1.39)$$

$$v_o^+ = v_o^- = -R_c \cdot i_{c1} \quad (1.40)$$

Rezultă amplificarea de tensiune pe mod comun:

$$A_{v,c} = \frac{v_{o,c}}{v_{i,c}} = \frac{v_o^+ + v_o^-}{v_i^+ + v_i^-} = \frac{2v_o^+}{2v_i^+} \cong -\frac{R_c}{2R_E} \quad (1.41)$$

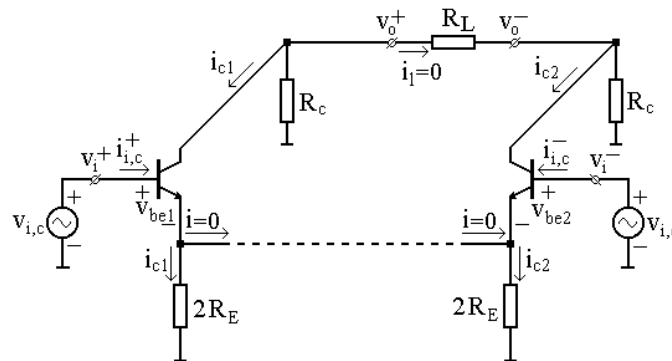


Fig. 1.11 Schema de regim dinamic la funcționarea pe mod comun /3/.

Rezistența de intrare de mod comun este:

$$R_{i,c} = \frac{v_{i,c}}{i_{i,c}} = \frac{v_i^+ + v_i^-}{i_i^+ + i_i^-} = \frac{v_i^+}{i_i^+} = \frac{v_{i,c}}{i_{b1}} =$$

$$= r_{\pi 1} + (\beta_0 + 1) \cdot 2R_E \cong 2 \cdot \beta_0 \cdot R_E \quad (1.42)$$

Factorul de rejecție al modului comun are expresia:

$$CMMR = \frac{|A_{v,d}|}{|A_{v,c}|} = 2g_m \cdot R_E \cdot \frac{(2R_C \parallel R_L)}{R_C} \quad (1.43)$$

1.4 DETERMINĂRI EXPERIMENTALE

1.4.1 OBIECTIVE

- Măsurarea și reglarea punctelor statice de funcționare ale tranzistoarelor bipolare care compun etajul diferențial.

Determinarea următorilor parametri:

- Amplificarea de mod diferențial, A_d ;
- Amplificarea de mod comun, A_c ;
- Factorul de rejecție a modului comun, $CMMR$;
- Rezistența de intrare diferențială, R_{id} ;
- Rezistența de intrare de mod comun, R_{ic} ;
- Caracteristica de transfer.

1.4.2 APARATE NECESARE

- Sursă de alimentare PS1-PSU/EV sau PSLC/EV, unitate de control individual SIS1/SIS2/SIS3 (opțional);
- Modulul MCM5/EV. Modulul poate lucra în mod independent. *La utilizarea unității de management extern comutatoarele din blocul cu 4 comutatoare trebuie să fie pe poziția închis iar comutatoarele din blocul cu 8 comutatoare trebuie să fie pe poziția deschis;*
- Multimetru;
- Osciloscop;
- Generator de semnal.

1.4.3 DESFĂȘURAREA LUCRĂRII

MCM-5	Deconectați toate șunturile
Montați SIS1	Setați toate comutatoarele pe deschis

Se pornește de la modulul aflat pe placa MCM-5 cu schema electrică prezentată în Anexa A, fig. A1.

MĂSURĂRI PE AD ÎN CURENT CONTINUU

Polarizarea de curent continuu

Schema electrică a amplificatorului diferențial rezultă în urma efectuării scurtcircuitelor pe modulul MCM-5 cu schema din fig. A1, Anexa A, realizate cu șunturile: $J_4, J_{15}, J_{18}, J_{23}, J_{26}, J_{38}, J_{34}, J_{45}, J_{43}$. Se obține schema din fig. 1.12. Se reglează semireglabilul R_{V4} cu cursorul la jumătate.

Se alimentează modulul MCM-5 cu schema electrică din fig. A1, Anexa A, cu tensiunea $V_{cc} = 12V$.

Pe circuitul din fig. 1.12 se realizează următoarele măsurători și reglaje:

- Se măsoară tensiunea între colectoarele celor două tranzistoare. În cazul ideal această tensiune ar trebui să fie zero. Datorită dispersiei parametrilor componentelor este foarte probabil ca această tensiune să fie diferită de zero. *Prima variantă* de măsurare este cu osciloscopul. Se conectează cele două canale între punctele **3**, **9** și masă. Canalele vor fi fixate pe aceeași scală (V/div), cu același tip de sondă și cu același nivel de zero. Existența offset-ului va duce la devierea spoturilor diferit. Se ajustează R_{V4} până când cele două spoturi se suprapun. A doua modalitate de reglaj a offset-ului este prin conectarea voltmetrului între punctele **3** și **9**. Se reglează R_{V4} astfel încât voltmetrul să indice zero (astfel încât diferența între curenții de colector ai celor două tranzistoare să se anuleze).
- Se măsoară tensiunea (față de masă) în punctele **3** și **9**, se calculează curenții prin cele două tranzistoare cu relațiile (1.44), (1.45) și se trec în tabelul 1.12.

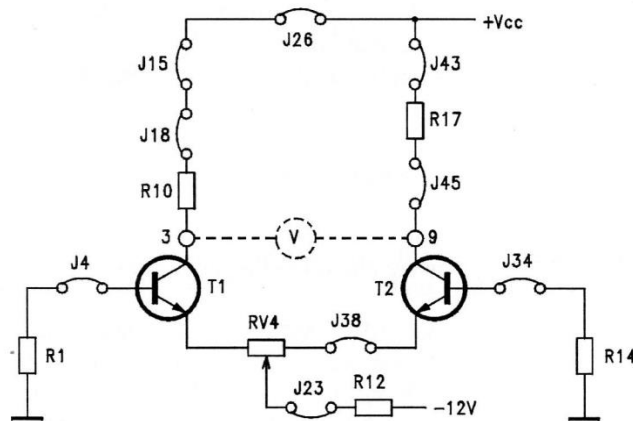


Fig. 1.12 Schema electrică de a AD pentru reglarea polarizării /1/.

$$I_{C1} = \frac{V_{CC} - V_3}{R_{10}} \quad (1.44)$$

$$I_{C2} = \frac{V_{CC} - V_9}{R_{17}} \quad (1.45)$$

Tabelul 1.1

V_3 [V]		I_{C1} [mA]	
V_9 [V]		I_{C2} [mA]	

Măsurarea amplificării de mod diferențial (A_d)

Față de fig. 1.12 se adaugă șunturile J_{27} și J_{30} pentru a realiza circuitul din fig. 1.13.

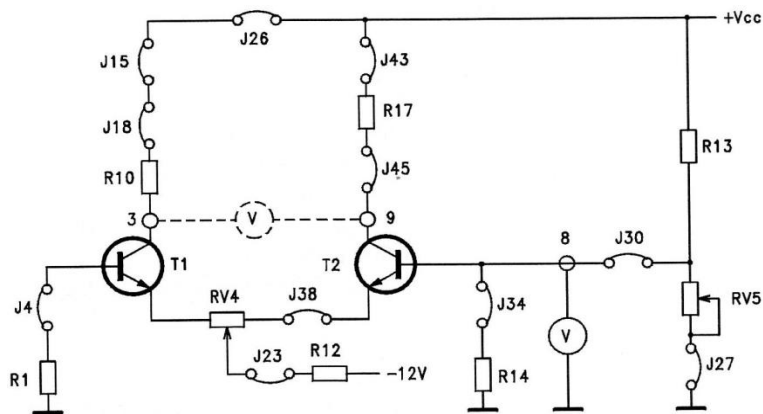


Fig. 1.13 Schema electrică a AD pentru măsurarea amplificării diferențiale /1/.

Se reglează semireglabilul R_{V5} pentru a măsura 0V între baza tranzistorului T_2 (punctul 8) și masă. Se reglează cu finețe semireglabilul R_{V4} astfel încât tensiunea măsurată între colectoarele celor două tranzistoare să fie zero. Cu ajutorul semireglabilului R_{V5} se reglează tensiunea între baza tranzistorului T_2 și masă la valorile din tabelul 1.2.

Tabelul 1.2

V_8 [mV]	$V_3 - V_9$ [mV]	A_d
150		
200		
400		

Se măsoară tensiunile corespunzătoare între colectoarele tranzistoarelor T_1 și T_2 și se trec în tabelul 1.2. Cu valorile din tabelul 1.2 se determină pentru AD amplificarea diferențială, A_d :

$$A_d = \frac{V_3 - V_9}{V_8} \quad (1.46)$$

Valorile obținute se trec în tabelul 1.2 pe pozițiile corespunzătoare.

Măsurarea amplificării de mod comun (A_c)

La fig. 1.13 se adaugă șuntul J_{32} pentru a realiza circuitul din fig. 1.14.

Se reglează semireglabilul R_{V5} astfel încât tensiunea între punctul 8 (punctul în care sunt conectate bazele celor două tranzistoare) și masă să fie zero. Se ajustează cu fînețe semireglabilul R_{V4} astfel încât tensiunea măsurată între colectoarele celor două tranzistoare să fie zero. Cu ajutorul semireglabilului R_{V5} se reglează tensiunea între bazele celor două tranzistoare (punctul 8) și masă la valorile din tabelul 1.3.

Se măsoară tensiunile corespunzătoare între colectoarele tranzistoarelor T_1 și T_2 și se trec în tabelul 1.3.

Tabelul 1.3

V_8 [mV]	$V_3 - V_9$ [mV]	A_c
150		
200		
400		

Cu relația (1.47) se determină pentru AD amplificarea de mod comun A_c și se trec valorile obținute în tabelul 1.3 pe pozițiile corespunzătoare:

$$A_c = \frac{V_3 - V_9}{V_8} \quad (1.47)$$

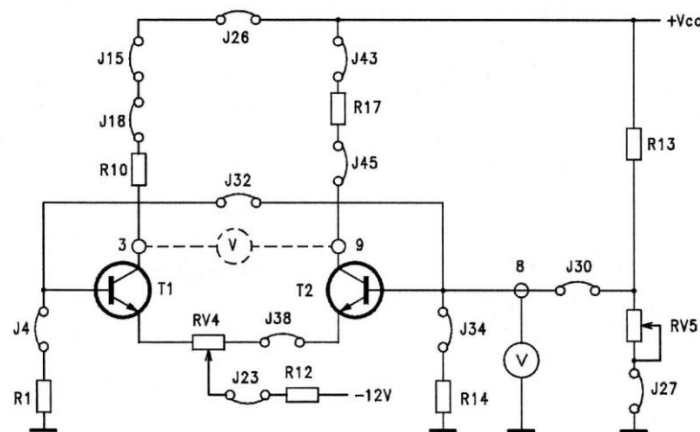


Fig. 1.14 Schema electrică a AD pentru măsurarea amplificării de mod comun /1/.

Calculul factorului de rejecție al modului comun (CMRR)

Factorul de rejecție al modului comun este un parametru prin care se poate aprecia calitatea amplificatorului diferențial. Pentru un amplificator diferențial

ideal CMRR este infinit. Utilizând tabelele 1.2 și 1.3 se calculează CMRR cu ajutorul relației (1.48) și se completează tabelul 1.4.

$$CMRR = \frac{|A_{v,d}|}{|A_{v,c}|} \quad (1.48)$$

Tabelul 1.4

V_s [mV]	CMRR
150	
200	
400	

MĂSURĂRI PE AD ÎN CURENT ALTERNATIV

Măsurarea amplificării

În schema din fig. 1.14 se scot șunturile J_{27} , J_{30} și J_{32} și se adaugă șunturile J_1 și J_2 . Rezultă circuitul din fig. 1.15. Pe circuitul din fig. 1.15 se fac următoarele reglaje și măsurători:

- Se reglează cu finețe semireglabilul R_{V4} astfel încât tensiunea continuă măsurată între colectoarele celor două tranzistoare să fie zero ($V_3 - V_9 = 0$);
- Se conectează generatorul de semnal între pinul **1** și masă. Se selectează un semnal sinusoidal și se reglează valoarea efectivă a tensiunii în pinul **1** ($V_{1,ef}$) la $100mV$ (mV_{RMS} , $RMS = \text{Root Mean Square}$) la o frecvență de $1kHz$; Această tensiune se citește cu osciloscopul.
- Valorile măsurate pentru mărimile de curent alternativ în ceea ce urmează sunt cele efective (RMS) dacă nu se va specifica altă valoare;
- Se conectează canalul 1 al osciloscopului la terminalul **1** al montajului (semnalul de intrare) și canalul 2 la terminalul **3** (semnalul de ieșire din colectorul tranzistorului T_1);
- Se măsoară valoarea efectivă a tensiunii din colectorul tranzistorului T_1 ($V_{3,ef}$) și defazajul față de semnalul de intrare. Valorile rezultate se trec în tabelul 1.5;
- Se repetă măsurătoarea pentru tranzistorul T_2 , conectând canalul 2 la terminalul **9** (tensiunea de ieșire din colectorul tranzistorului T_2). Valorile rezultate se trec în tabelul 1.5.

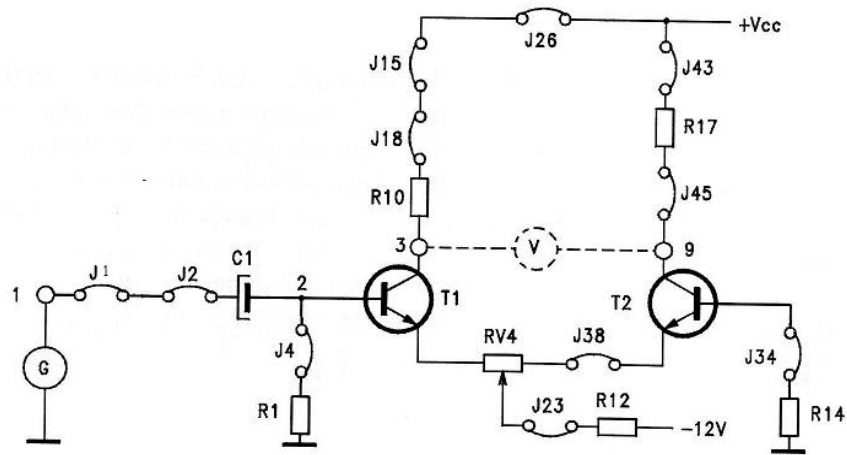


Fig. 1.15 Amplificator de semnal mic realizat cu AD pentru măsurări pe mod diferențial /1/.

Cu valorile pentru $V_{3,ef}$ și $V_{9,ef}$ din tabelul 1.5 se determină pentru AD amplificarea măsurată în punctele 3 și 9 și se completează tabelul 1.5.

$$A_3 = \frac{V_{3,ef}}{V_{1,ef}} \quad (1.49)$$

$$A_9 = \frac{V_{9,ef}}{V_{1,ef}} \quad (1.50)$$

Tabelul 1.5

$V_{1,ef}$ [mV]	100	A	$\Delta\Phi$
$V_{3,ef}$ [mV]			
$V_{9,ef}$ [mV]			

Măsurarea R_{id}

În schema din fig. 1.15 se decuplează generatorul de semnal din punctul 1 (se scoate jumper-ul J_1) și se înlocuiesc J_4 și J_{34} cu două rezistoare de $100k\Omega$ (R_{J4} și R_{J34}). Se obține circuitul din fig. 1.16. Se ajustează R_{V4} astfel încât diferența de tensiune continuă dintre colectoarele celor două tranzistoare să fie zero ($V_3 - V_9 = 0$).

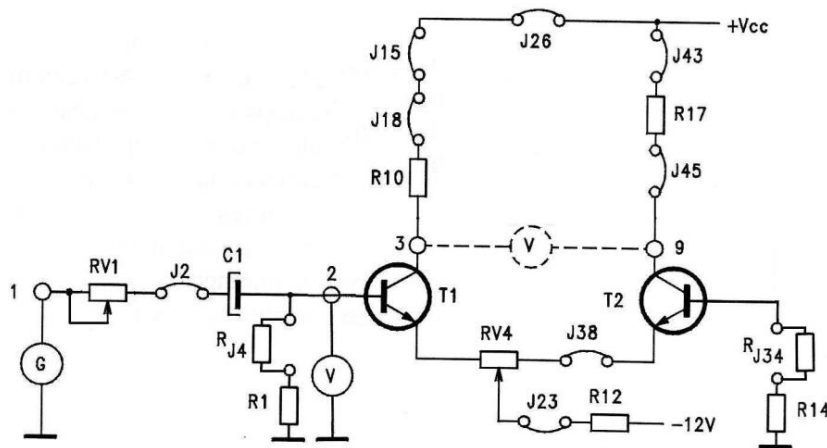


Fig. 1.16 Circuitul pentru măsurarea rezistenței diferențiale.

Se poziționează cursorul potențiometrului R_{v1} la jumătate ($23,5k\Omega$). Se fixează tensiunea în pinul I la $100mV$ valoare efectivă cu o frecvență de $1kHz$, se măsoară tensiunea în baza tranzistorului T_1 , ($V_{2,ef}$) și se trece în tabelul 1.6.

Tabelul 1.6

$V_{1,ef}$ [mV]	$V_{2,ef}$ [mV]	R_{id} [k Ω]
100		

Se calculează rezistența de intrare în amplificator cu relația (1.51):

$$R'_{id} = \frac{V_i}{I_i} = \frac{V_{2,ef}}{V_{1,ef} - V_{2,ef}} \cdot \frac{R_{v1}}{2} \quad (1.51)$$

Dar $R'_{id} = R_{id} // R_1'$ iar $R_1' = R_{j4} + R_1$. Rezultă:

$$R_{id} = \frac{R_1' \cdot R'_{id}}{R_1' - R'_{id}} \quad (1.52)$$

Valoarea rezultată se trece în tabelul 1.6.

Măsurarea R_{ic}

Pe circuitul din fig. 1.16 se adaugă șuntul J_{32} . Rezultă circuitul din fig. 1.17 (bazele tranzistoarelor T_1 și T_2 cuplate).

Se fixează tensiunea în pinul I la $100mV$ valoare efectivă, la o frecvență de $1kHz$, se măsoară tensiunea pe baza tranzistoarelor T_1 sau T_2 ($V_{2,ef}$ sau $V_{8,ef}$) și se trece în tabelul 1.7.

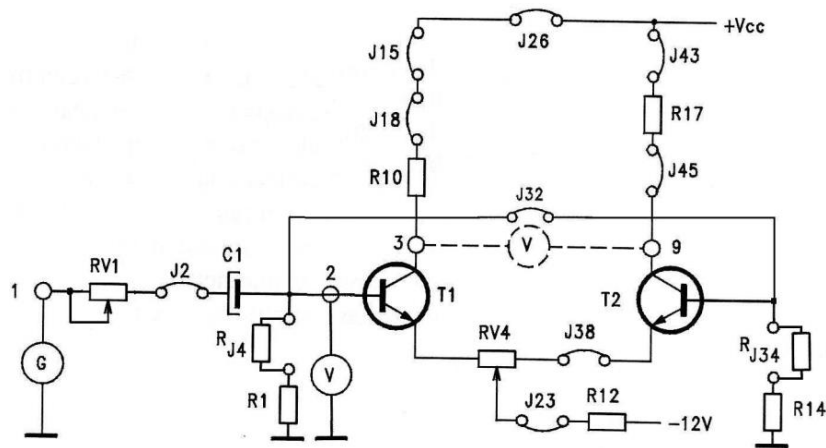


Fig. 1.17 Circuitul pentru măsurarea rezistenței mod comun.

Tabelul 1.7

$V_{1,ef}$ [mV]	$V_{2,ef}$ [mV]	R_{ic} [kΩ]
100		

Se calculează rezistența de intrare în amplificator cu relația (1.53):

$$R'_{ic} = \frac{V_i}{I_i} = \frac{V_{1,ef}}{V_{1,ef} - V_2} \cdot \frac{R_{v1}}{2} \quad (1.53)$$

Dar $R'_{ic} = R_{ic} // R'_1 // R'_{14}$, cu $R'_{14} = R_{J34} + R_{14}$. Rezultă:

$$R_{ic} = \frac{(R'_1 // R'_{14}) \cdot R'_{ic}}{(R'_1 // R'_{14}) - R'_{ic}} \quad (1.54)$$

Valoarea rezultată se trece în tabelul 1.7.

Caracteristica de transfer

Pe circuitul din fig. 1.17 se fac următoarele măsurători:

- Se conectează generatorul de semnal între pinul 1 și masă și se reglează o valoare efectivă a tensiunii de $100mV$ cu o frecvență de $1 KHz$;
- Se conectează canalul 1 al osciloscopului la terminalul 1 al montajului (semnalul de intrare) și canalul 2 la terminalul 9 (semnalul de ieșire din colectorul tranzistorului T_2);
- Se comută baza de timp în modul X-Y;
- Pe ecranul osciloscopului va apare o dreaptă extinsă în cadranele I și III (defazaj 0) din a cărei pantă se poate deduce amplificarea;
- Prin variația semnalului de intrare furnizat de generator se observă variația lungimii dreptei vizualizate. Se notează valoarea maximă a semnalului de intrare pentru care panta caracteristicii (amplificarea) rămâne constantă;

- Se repetă măsurătoarea pentru tranzistorul T_1 , conectând canalul 2 la terminalul 3 (semnalul de ieșire din colectorul tranzistorului T_1). De această dată va apare o dreaptă extinsă în cadranele II și IV (defazaj 180°) ce va avea aceeași pantă cu prima (amplificări egale);
- Și în acest caz se variază semnalul de intrare și se notează valorile acestuia pentru care panta (amplificarea) nu își schimbă valoarea.
- Se reprezintă grafic caracteristica de transfer măsurată cu osciloscopul.
- Se compară valoarea amplificării obținută din panta caracteristicii de transfer cu cea măsurată în curent continuu.
- Care sunt valorile semnalului de intrare de la care ieșirea intră în limitare?

1.5 ÎNTREBĂRI ȘI EXERCITII

1.5.1 OBIECTIVE

- Aprofundarea cunoștințelor obținute

1.5.2 ÎNTREBĂRI

I1. Cum este ieșirea amplificatorului diferențial din fig. 1.12?

- a) simetrică;
- b) asimetrică.

I2. Amplificarea diferențială teoretică a amplificatorului diferențial din fig. 1.12 este (se va considera R_{V4} poziționat cu cursorul la jumătate și curenții prin cele două tranzistoare egali):

- a) $A_v = 400$;
- b) $A_v = -195$;
- c) $A_v = 100$;
- d) $A_v = -1000$;
- e) $A_v = 50$.

I3. Amplificarea de mod comun teoretică a amplificatorului diferențial din fig. 1.12 este (se va considera R_{V4} poziționat cu cursorul la jumătate și curenții prin cele două tranzistoare egali):

- a) $A_c = -1$;
- b) $A_c = -1,1$;

- c) $A_c = -0,85$;
- d) $A_c = 100$;
- e) $A_c = -100$.

I4. Factorul de rejecție a modului comun (CMRR) calculat pentru amplificatorul diferențial din fig. 1.12 este:

- a) CMRR = 229;
- b) CMRR = 1;
- c) CMRR = -1;
- d) CMRR = -100;
- e) CMRR = ∞ .

I5. Rolul semireglabilului R_{V4} pe schema din fig. 1.12 este de:

- a) eliminare a tensiunii de offset;
- b) reducere a CMRR;
- c) creștere a A_d ;
- d) scădere a A_c ;
- e) scădere a A_d .

I6. Pentru un AD ideal CMRR este:

- a) CMRR = 1;
- b) CMRR = - 1;
- c) CMRR = - 100;
- d) CMRR = - ∞ ;
- e) CMRR = ∞ .

I7. Rolul condensatorului C_1 din fig. 1.15 este:

- a) de decuplare a generatorului de semnal în curent continuu;
- b) de eliminare a tensiunii de offset;
- c) de reducere a CMRR;
- d) de scădere a A_c ;
- e) de ajustare a *p.s.f.*

18. Rezistența de intrare diferențială depinde de:

- a) p.s.f.-ul tranzistoarelor T_1 și T_2 ;
- b) de V_{CC} ;
- c) de poziția cursorului potențiometrului R_{V4} ;
- d) de valoarea rezistorului R_{I2} ;
- e) de instrumentul cu care se realizează măsurarea acesteia.

19. Scurtcircuitarea condensatorului C_1 din fig. 1.15 duce la:

- a) dezechilibrarea curenților prin tranzistoarele T_1 și T_2 ;
- b) creșterea CMRR;
- c) reducerea CMRR;
- d) scăderea benzii de frecvență a AD;
- e) nu are nicio influență.

110. Dacă valoarea amplificării diferențiale măsurate în curent continuu este diferită de cea determinată din caracteristica de transfer obținută pe osciloscop rezultă că:

- a) amplificarea este dependentă de frecvența semnalului de intrare și de acuratețea metodei de măsură;
- b) amplificarea depinde de offset;
- c) amplificarea depinde de CMRR;
- d) amplificarea depinde de rezistența de sarcină;
- e) amplificarea depinde de tipul de aparatură utilizat pentru evaluarea acesteia.

111. Din caracteristica de transfer obținută pe osciloscop se poate deduce:

- a) amplificarea diferențială, offset-ul, defazajul și domeniul de tesioni de intrare pentru care amplificatorul lucrează liniar;
- b) rezistența de intrare de mod diferențial;
- c) rezistența de intrare de mod comun.

