Lucrarea 6

STABILIZATOARE DE TENSIUNE CONTINUĂ

Scopul lucrării

În lucrare sunt studiate diferite circuite stabilizatoare de tensiune continuă, analizându-se funcționarea elementelor constitutive.

Aparate necesare

Sursă de tensiune reglabilă, multimetru electronic, platforma de lucru din laborator.

Noțiuni teoretice

Circuitele stabilizatoare de tensiune continuă sunt circuite care asigură la ieşirea lor o tensiune constantă în condițiile în care tensiunea la intrare, curentul debitat în sarcină sau temperatura variază. Stabilizatoarele se interconectează între redresor şi circuitele care trebuie să fie alimentate cu o tensiune constantă, după cum este ilustrat în figura1.

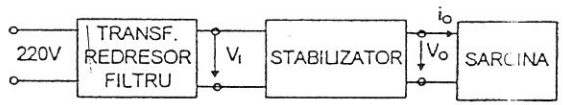


Figura 1.

Tensiunea stabilizată V_O depinde de mai multe variabile (V_I, i_O, T), iar pentru a caracteriza un circuit stabilizator pot fi folosiți mai mulți parametri, cei mai importanți fiind:

- Rezistența de ieşire: $$R_O = \left.\frac{\Delta v_O}{\Delta i_O}\right|_{v_I = V_I = ct} \qquad (1)$$

- Coeficientul de stabilizare: $$S_O = \left.\left[\frac{\Delta v_O}{\Delta v_I}\right]^{-1}\right|_{i_O = I_O = ct} \qquad (2)$$

Un circuit stabilizator de tensiune are în structura sa următoarele părți componente principale:

a. Referința de tensiune

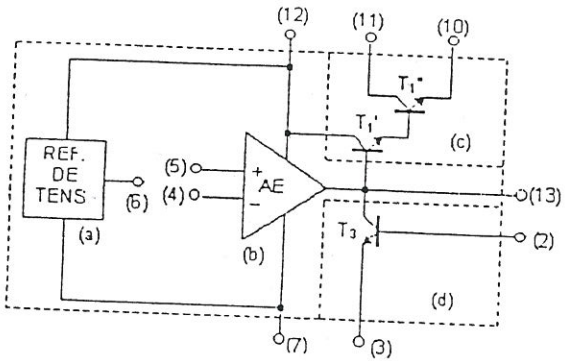
b. Amplificator de eroare

c. Element de reglaj serie (poate fi paralel în unele configurații)

d. Circuit de protecție.

Aceste părți componente se găsesc în structura circuitului integrat βA723 a cărui schemă de principiu este prezentată în fig. 2.

a. Referința de tensiune este constituită dintr-un circuit capabil să furnizeze o tensiune V_R, constantă, independentă față de variațiile tensiunii de alimentare v_I, temperaturii, etc. Caracteristica referinței de tensiune, precum și bornele circuitului integrat la care este accesibilă sunt prezentate în fig. 3.



.Figura 2

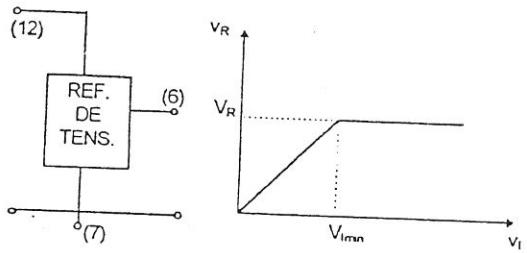


Figura 3

b. Amplificatorul de eroare este un amplificator diferențial (schema idealizată este prezentată în figura 4) care realizează o funcție exprimată prin relația:

$$v_o = A_o\left(v_+ - v_-\right) - R_o' i_o \qquad (3)$$

unde $A_o > 1000$ și R_o' este de ordinul sutelor de ohmi.

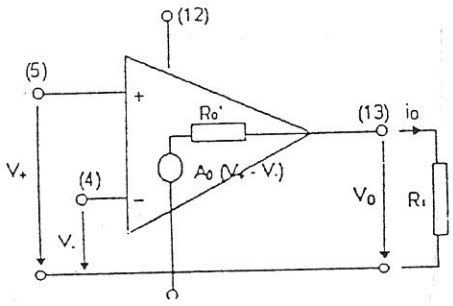


Figura 4.

c. Elementul de reglaj serie este format dintr-un tranzistor (sau mai multe, în configurație Darlington, ca în cazul tranzistoarelor T_1' și T_2' din figura 2) și joacă rolul unui amplificator de curent, capabil să furnizeze curentul necesar în sarcină. Posibilitățile de utilizare (în curent și tensiune) a stabilizatoarelor sunt în primul rând dictate de alegerea și funcționarea corectă a acestui element.

d. Pentru a evita distrugerea elementului de reglaj serie prin depășirea valorii maxim admisibile a curentului (de exemplu în cazul unui scurtcircuit la ieșire) se folosesc metode de protecție, care au la bază limitarea sau micșorarea curentului de bază al elementului serie, prin deschiderea unui tranzistor (T_3 în circuitul din figura 2) care preia o parte din curentul de ieșire al amplificatorului de eroare.

Configurații de circuite stabilizatoare de tensiune continuă

Se vor prezenta două configurații de stabilizatoare:

a. Stabilizator pentru tensiuni de ieșire mai mici decât tensiunea de referință ($V_o < V_R$). Schema de principiu este prezentată în fig.5.

Tensiunile de la intrarea amplificatorului de eroare sunt:

$$v_+ = V_R \frac{R_3}{R_2 + R_3} \quad \text{și} \quad v_- = v_o \qquad (4)$$

iar la ieșire:

$$v_o = A_o\left(v_+ - v_-\right) + v_{BE}' + v_{BE}'' \qquad (5)$$

Rezultă:

$$v_o = V_R \frac{R_3}{R_2 + R_3} \cdot \frac{A_o}{A_o + 1} + \frac{v_{BE}' + v_{BE}''}{A_o + 1} \qquad (6)$$

şi deoarece $A_o >> 1$

$$v_o = V_o \approx V_R \frac{R_3}{R_2 + R_3} \qquad (7)$$

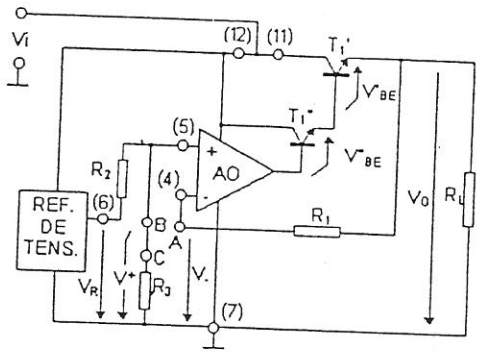


Figura 5.

b. Stabilizator pentru tensiuni de ieşire mai mari decât tensiunea de referinţă ($V_O > V_R$). Schema de principiu este prezentată în fig.6.

La intrarea amplificatorului avem tensiunile:

$$v_+ = V_R \quad \text{şi} \quad v_- = v_o \frac{R_3}{R_1 + R_3} \qquad (8)$$

La ieşirea amplificatorului tensiunea este:

$$v_o = A_o(v_+ - v_-) + v_{BE}' + v_{BE}'' \qquad (9)$$

Rezultă:

$$v_o = \frac{V_R}{R_3/R_1 + R_3 + 1/A_o} + \frac{v_{BE}' + v_{BE}''}{1 + A_o - R_3/R_1 + R_3} \qquad (10)$$

şi deoarece $A_o >> 1$

$$v_o = V_o \approx V_R - (1 + R_1/R_3) \qquad (11)$$

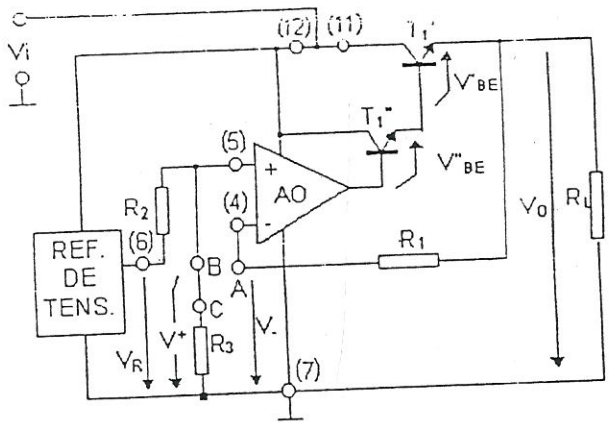


Figura 6.

Extinderea domeniului de utilizare în curent

Pentru obţinerea unui curent de ieşire mai mare decât cel care poate fi furnizat de elementul serie integrat ($T_1' + T_2'$) se poate adăuga schemei unul sau mai multe tranzistoare de putere montate pe radiator. Astfel, în circuitele prezentate în figurile 7 şi 8 s-a adăugat tranzistorul T_2.

Protecţia la supracurent

Pentru a proteja elementul serie la apariţia supracurenţilor (ex. scurtcircuit la ieşire) se pot folosi diferite mijloace de limitare a curentului. Două modalităţi de limitare vor fi prezentate în continuare:

a. Limitarea la o valoare fixă a curentului de ieşire.

În schema prezentată în figura 7, tranzistorul T_3 are baza, respectiv emitorul conectate la bornele rezistenţei R_{SC1}. Astfel, dacă curentul de ieşire depăşeşte valoarea

$$i_o = I_{SC} = \frac{V_{BE3}}{R_{SC1}} \approx \frac{0.65V}{R_{SC1}} \qquad (12)$$

tranzistorul de control T_3 se deschide, curentul de bază al tranzistorului T_1' (şi în consecinţă curentul prin T_1' şi T_2) este limitat.

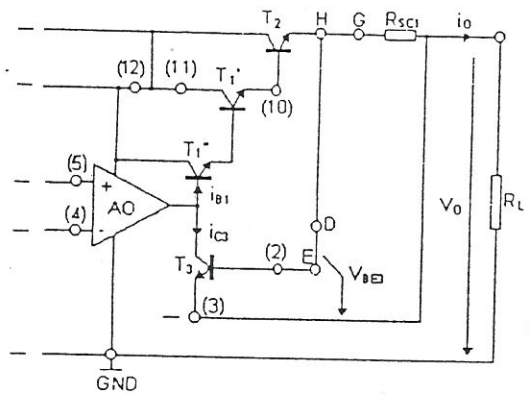


Figura 7.

b. Limitarea prin întoarcere a curentului de ieşire.

Pentru circuitul prezentat în figura 8 se pot scrie următoarele relaţii:

$$v_{B3} \approx \frac{R_5}{R_4 + R_5} v_H, v_H = R_{SC2} i_o + v_o \quad \text{şi} \quad v_{E3} = v_o \qquad (13)$$

de unde:

$$v_{BE3} = \frac{R_{SC2} R_5}{R_4 + R_5} i_o - \frac{R_4}{R_4 + R_5} v_o \qquad (14)$$

Pot fi puse în evidenţă astfel, pe caracteristica $v_o = f(i_o)$, prezentată în figura 9, două domenii de lucru pentru stabilizator:

A. - domeniul de stabilizare, $v_o = V_o$ = constant. În această situaţie V_{BE3} ia astfel de valori încât T_3 este blocat sau conduce un curent i_{C3} care nu afectează funcţionarea grupului T_1+T_2.

B. - domeniul de limitare cu întoarcere, $v_{BE3} = V_{BE3} = 0.65V$, când curentul prin T_3 modifică (micşorează) curentul i_{B1}. În această situaţie dependenţa $i_o(v_o)$ este dată de relaţia:

$$i_o = \frac{R_4 + R_5}{R_{SC2} R_5} v_{BE3} + \frac{R_4}{R_5 R_{SC2}} v_o \qquad (15)$$

ceea ce reprezintă în planul (v_o, i_o) o dreaptă cu pantă pozitivă.

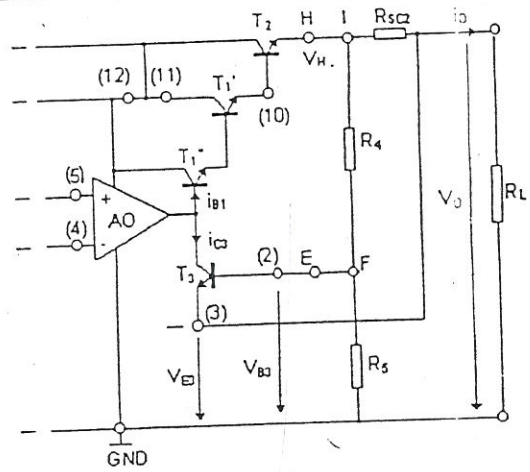


Figura 8.

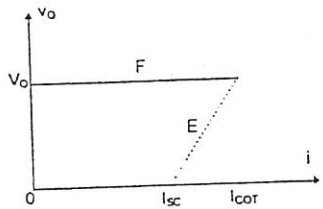


Figura 9.

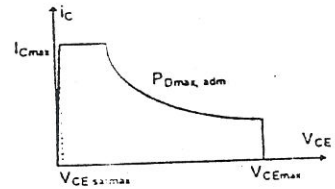


Figura10.

Cele două valori principale ale curentului $i_o(V_o) = I_{COT}$ şi $i_o(0) = I_{SC}$ sunt date de relaţiile:

$$I_{COT} = \frac{R_4 + R_5}{R_{SC2} - R_5} = V_{BE3} + \frac{R_4}{R_5 - R_{SC2}} = v_o \qquad (16 - 17)$$

$$I_{SC} = \frac{R_4 + R_5}{R_{SC2} R_5} V_{BE3}$$

În ceea ce priveşte tranzistorul T_3, trebuiesc luate măsuri ca în orice condiţii de funcţionare a schemei, punctul său de funcţionare să nu iasă din domeniul de siguranţă (figura 10).

Desfăşurarea lucrării

Montajul experimental, a cărui schemă este prezentată în figura 11, permite accesul la referinţa de tensiune a circuitului integrat precum şi realizarea celor două configuraţii de stabilizator ($V_o < V_R$ şi $V_o > V_R$). Se poate alege deasemenea tipul protecţiei la scurtcircuit. Numerele din paranteze reprezintă conexiunile circuitului integrat.

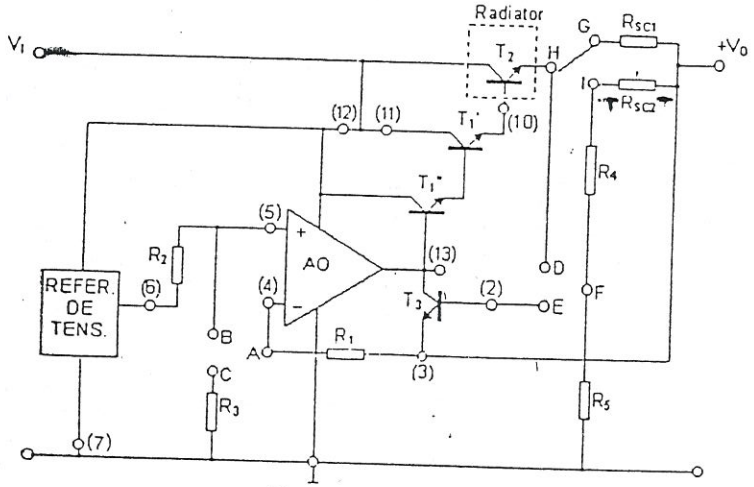


Figura 11

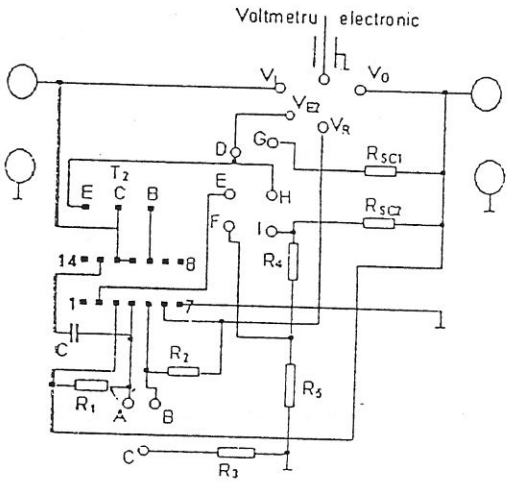


Figura12

Poziţia componentelor pe machetă este prezentată în figura 12.

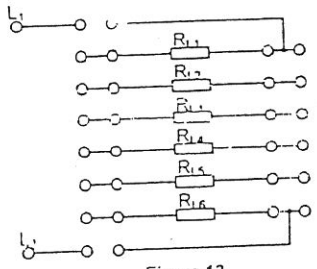


Figura 13.

Pentru a realiza variaţia rezistenţei de sarcină, respectiv a curentului de ieşire, se utilizează un set de şase rezistoare de putere (51Ω, 5%, 9W, figura 13) cu ajutorul cărora, prin combinaţii serie-paralel se pot obţine valori între aproximativ 8.5Ω (şase rezistenţe în paralel) şi aproximativ 305Ω (şase rezistenţe în serie). Datorită dispersiei de fabricaţie, valoarea fiecărei rezistenţe poate diferi de 51Ω. De aceea este necesar ca fiecare combinaţie să fie măsurată exact după ce a fost realizată, sau calculată luând în considerare valoarea exactă a fiecărei rezistenţe în parte.

Determinări experimentale

Referinţa de tensiune

1. Se conectează o sursă de tensiune reglabilă la bornele $+v_I$ şi masă ale montajului şi se ridică caracteristica de transfer a referinţei de tensiune $v_R = f(v_I)$, conform indicaţiilor din tabelul 1.

Tabelul 1.

V_I [V]	0	2	4	6	7	8	9	10	12	15	20
v_R [V]											

Stabilizator cu $V_o < V_R$ şi limitare la o valoare fixă a curentului de ieşire

2. Se realizează configuraţia de stabilizator cu $V_o < V_R$ şi limitare la o valoare fixă a curentului de ieşire (figura 11; B-C, H-G şi D-E). Se conectează la ieşire placa rezistenţelor de sarcină şi se ridică caracteristica de transfer $v_o(v_I)$ pentru două valori ale rezistenţei de sarcină conform tabelului 2.

Tabelul 2

V_I [V]		0	2	4	6	8	9	10	15	20
v_O [V]	$R_L = \infty$									
	$R_L = 26.8\ \Omega$									

3. Se fixează V_I = 10V şi se ridică caracteristica de ieşire $v_O(i_O)$, modificând valoarea rezistenţei de sarcină. În tabelul 3 sunt indicate valorile orientative ale rezistenţei de sarcină, valori care s-ar obţine dacă toate rezistenţele R_{fi}, i = 1..6 din figura 13 ar avea exact 50Ω. Se vor realiza practic combinaţiile care dau valorile cele mai apropiate de cele indicate în tabel. Valorile exacte obţinute se notează în tabel şi vor fi folosite pentru calculul curentului de ieşire. Se măsoară de asemenea potenţialul v_{E3} din emitorul lui T_2. Calculul curentului $I_{SC} = i_O$ (R_L = 0) se va face cu ajutorul valorii exacte a rezistenţei R_{SC1}.

$$I_{SC} = \frac{v_{E3}}{R_{SC1}} \qquad (18)$$

Tabelul 3.

R_L [Ω] valoare orientativă	50	26.8	16.8	10	6.8	5	3.3
R_L [Ω] valoare exactă							
v_O [V]							
$i_O = v_O/R_L$ [A]							
v_{E2} [V]							
$v_{CE2} = V_I - v_{E2}$ [V]							

Stabilizator cu $V_O > V_R$ şi limitare prin întoarcere a curentului de ieşire

4. Se realizează configuraţia de stabilizator cu $V_O > V_R$ şi limitare prin

întoarcere a curentului de ieşire (figura 11; A-C, H-I şi E-F). Se ridică caracteristica de transfer $v_O(v_I)$ pentru două valori ale rezistenţei de sarcină, conform tabelului 4.

Tabelul 4.

V_I [V]		0	2	6	10	14	16	17	18	20	22
v_O [V]	$R_L = \infty$										
	$R_L = 100\ \Omega$										

5. Se fixează V_I = 20V şi se ridică caracteristica de ieşire $v_O(i_O)$ conform indicaţiilor din tabelul 5. Se măsoară pentru fiecare sarcină potenţialul v_{E2} în emitorul tranzistorului T_2.

Tabelul 5.

R_L [Ω] valoare orientativă	330	165	110	90	76.8	66.8	50	40	30	26.8	20	16.8	10
R_L [Ω] val. Exactă													
v_O [V]													
$i_O = v_O/R_L$ [A]													
v_{E2} [V]													
$v_{CE2} = V_I - v_{E2}$ [V]													

6. În locul sursei de tensiune reglabilă se conectează un circuit redresor cu filtru C. Se alege tensiunea de ieşire a redresorului corespunzător configuraţiilor de stabilizator studiate (pentru $V_O < V_R$, aproximativ 10V, iar pentru $V_O > V_R$, aproximativ 20V). Se măsoară valoarea efectivă a ondulaţiilor tensiunii redresate V, pentru trei valori ale condensatorului de filtraj şi valoarea efectivă a componentei alternative a tensiunii stabilizate, V_O, care rezultă în acest caz.

Rezultatele măsurătorilor se trec în tabelul 6.

Tabelul 6.

		C_1=	C_2=	C_3=
$V_O < V_R$	V_i [mV]			
	V_o [mV]			
$V_O > V_R$	V_i [mV]			
	V_o [mV]			

Prelucrarea datelor experimentale. Concluzii

1. Cu ajutorul datelor din tabelul 1 se trasează caracteristica de transfer $v_R = f(v_I)$ a referinței de tensiune. Se determină v_R.

2. Se deduce valoarea minimă necesară pentru tensiunea de alimentare a circuitului βA723.

3. Se trasează pe același grafic, caracteristicile de transfer ale celor două stabilizatoare, $v_O(v_I)$, în gol ($R_L = \infty$), respectiv cu sarcinile precizate în 2 și 4. Care este efectul lui R_L asupra caracteristicilor $v_O(v_I)$?

4. Se determină tensiunea de intrare v_{Imin}, începând de la care fiecare circuit intră în regim de stabilizare. Se determină deasemenea coeficienții de stabilizare pentru fiecare situație.

$$S_o = \frac{v_{I1} - v_{I2}}{v_{o1} - v_{o2}} \qquad (19)$$

5. Se compară valorile tensiunilor stabilizate măsurate, respectiv cu valorile obținute prin aplicarea formulelor (7) și (11).

6. Se trasează pe același grafic caracteristica de ieșire experimentală pentru stabilizatorul $V_O < V_R$ și limitare la o valoare fixă a curentului de ieșire (tabelul 5) precum și caracteristica teoretică (relațiile 7 și 12).

7. Se determină rezistența de ieșire a stabilizatorului

$$R_o = \frac{v_{o1} - v_{o2}}{i_{o1} - i_{o2}} \qquad (20)$$

unde (i_{o1}, v_{o1}) și (i_{o2}, v_{o2}) sunt două puncte suficient de depărtate din zona de stabilizare a caracteristicii de ieșire.

8. Se trasează pe același grafic, caracteristica de ieșire măsurată pentru stabilizatorul $V_O > V_R$ și limitare prin întoarcere a curentului (tabelul 5) precum și caracteristica teoretică (relațiile 11 și 15). Se compară valorile curenților de scurtcircuit și întoarcere măsurate, cu valorile calculate cu relațiile 17 și 16.

9. Se determină rezistența de ieșire ca la punctul 7.

10. Se trasează pe același grafic, în planul variabilelor i_C și v_{CE}:

- domeniul de funcționare sigură al tranzistorului T_2 (BD 135, I_{CMax} = 0.5A, V_{CEOMax} = 45V, $V_{CEsatMax}$ = 0.5V, $P_{DMaxadm}$ = 6W).
- punctele de funcționare posibile pentru T_2 în configurație de stabilizator $V_O < V_R$, limitare la valoare fixă a curentului, V_I = 10V.
- punctele de funcționare posibile pentru T_2 în configurație de stabilizator $V_O > V_R$, limitare prin întoarcere a curentului, V_I = 20V.

11. Se determină limitele între care poate varia v_I în cele două situații, dacă se dorește o funcționare corectă a stabilizatoarelor.

12. Se compară avantajele și dezavantajele celor două metode de protecție la scurtcircuit.

13. Se calculează pentru fiecare stabilizator valoarea minimă a factorului de rejecție a ondulațiilor, cu relația

$$F_{Ronmin} = -20\lg\frac{V_o}{V_i}[\text{dB}] \qquad (21)$$

pe baza rezultatelor măsurătorilor de la punctul 6.

14. Se calculează pentru fiecare stabilizator randamentul maxim cu relația:

$$\eta = \frac{P_disipată_în_sarcină}{P_primită_la_intrare}[\%] \qquad (22)$$

precizându-se condițiile în care se obține aceasta.

15. Rezultatele măsurătorilor și calculele aferente acestora se centralizează în tabelul 7.

Tabelul 7.

		$V_O < V_R$ limitare curent fix	$V_O > V_R$ limitare prin întoarcere
V_O [V]	exp.		
	calc.		
I_{sc} [A]	exp.		
	calc.		
I_{cot} [A]	exp.		
	calc.		
S_O			
R_O [Ω]			
$F_{ronamin}$			
η [%]			

BIBLIOGRAFIE

1. P. Gray , R Meyer - Circuite integrate analogice . Analiză şi proiectare . Editura Tehnică 1983
2. P. Gray , R Meyer - Bazele electronicii moderne . Editura Tehnică 1973 .
3. A . Manolescu , ş.a. - Circuite integrate analogice E. D. P. 1983
4. Dan Dascălu ş.a. - Circuite elctronice E. D. P. 1981
5. C . Bulucea ş.a. - Circuite integrate liniare Editura tehnică 1975
6. Nicolau Edmond - Manualul inginerului electronist vol. 1 Editura Tehnică 1987
7. Dan Dascălu ş.a. - Dispozitive şi circuite electronice E. D. P. 1982