

Lucrarea 6.

APLICAȚII ALE A.O.

1. Surse de referință

Sursele de referință se încadrează în categoria mai largă a stabilizatoarelor de tensiune, având drept caracteristici principale o precizie deosebită a stabilizării față de factorii perturbatori, și puterea redusă pe care o pot genera pe sarcină.

Principalii factori perturbatori care pot afecta tensiunea de ieșire a unei surse de referință sunt următorii:

- a. fluctuațiile tensiunii de alimentare;
- b. variațiile de temperatură;
- c. fluctuațiile curentului de sarcină;
- d. câmpuri electromagnetice energetice cu variație rapidă în timp.

Împotriva fiecărei categorii de factori perturbatori se iau măsuri specifice de insensibilizare a sursei de referință, în funcție de precizia necesară.

Pentru a se reduce influența fluctuațiilor tensiunii de alimentare se folosesc generatoare de tensiuni de referință interne, care utilizează tensiunea V_{BE} a unui tranzistor, tensiunea termică V_T , sau tensiunea de strapungere a unei joncțiuni polarizată invers. Primele două variante prezentate au dezavantajul de a fi dependente de temperatură ($-2 \text{ mV} / ^\circ\text{C}$), iar cea de-a treia necesită tensiuni de alimentare mai mari de 6-8 V și în plus este mai zgomotoasă (există un nivel relativ ridicat al zgomotului de înaltă frecvență, suprapus peste tensiunea continuă de referință, generată).

Acolo unde este necesară obținerea de performanțe superioare, un câstig sensibil se poate obține prin alimentarea referințelor interne de tensiune din surse de curent constant, independente de tensiunea de alimentare.

În proiectarea sursei de tensiune se va ține cont de dezavantajul cel mai puțin deranjant în alegerea principiului ce urmează a fi folosit.

Efectul variațiilor de temperatură se manifestă asupra tensiunii de ieșire a surselor de referință, în principal pe două căi:

- 1) Modificarea tensiunii interne de referință ,și
- 2) Apariția unor tensiuni de offset termic la nivelul ieșirilor structurilor amplificatoare folosite, de aici rezultă și metodele ce pot fi aplicate în vederea minimizării influenței lor:
 - e. Acolo unde nu se pot folosi structuri termocompensate sau termostatate se vor folosi referințe interne bazate pe diode Zener având tensiuni de străpungere în jurul valorii de 5,1 V, deoarece aceste diode au cel mai mic coeficient termic ($-3...4 \text{ mV}^{\circ}\text{C}$) sau se vor înseria referințe care au coeficient termic pozitiv cu referințe cu coeficient termic negativ astfel încât suma variațiilor de tensiune ca urmare a modificărilor de temperatură să fie 0 sau cât mai apropiată de 0.
 - f. Vor fi folosite circuite amplificatoare de precizie, cu derivă termică redusă, cu o cât mai bună rejecție a modului comun, având grija ca impedanțele "văzute" de cele două intrări să fie cât mai apropiate în vederea minimizării efectului variației curenților de polarizare a intrărilor cu temperatura.

Modificarea tensiunii de ieșire din orice sursă de tensiune, ca urmare a variațiilor curenților de sarcină, se datorează existenței unei rezistențe interne nenule. Cu cât se reduce valoarea rezistenței interne (de ieșire) a sursei de tensiune cu atât se va obține la ieșire o tensiune mai stabilă față de variațiile curenților de sarcină. Pentru obținerea de rezistențe interne cât mai apropiate de 0 vor fi folosite A.O. cu amplificarea în buclă deschisă cât mai mare, utilizate în scheme cu reacție negativă puternică.

Pentru a se evita influența câmpurilor electromagnetice perturbatoare vor fi luate măsuri de proiectare îngrijită a circuitelor imprimate, evitându-se buclele de masă, având traseele de semnal mic cât mai scurte, eventual protejate de inele de masă. În cazuri speciale se pot folosi ecranaje totale sau parțiale, realizate din materiale cu permeabilitate magnetică mare sau cu rezistivitate redusă.

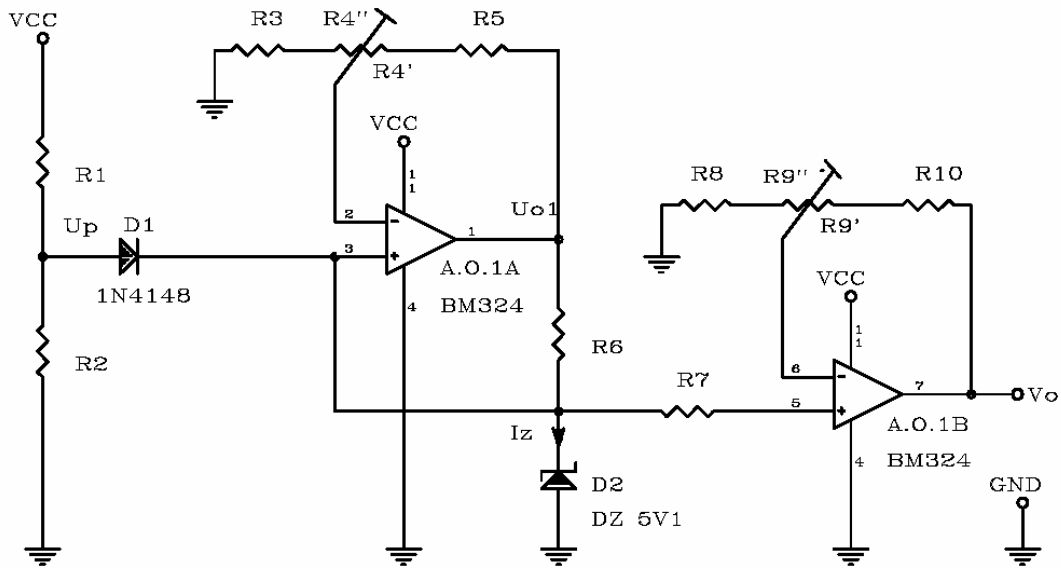


Fig. 1

În Fig. 1 este prezentată schema electrică a unei surse de referință, realizată cu două amplificatoare operationale ce reprezintă fiecare 1/4 dintr-o capsulă cvadruplă *BM 324*.

Schema este compusă din următoarele blocuri componente:

- 1.- circuitul de pornire realizat cu R_1 , R_2 și D_1 (diodă de comutație cu rolul de deconectare din circuit a grupului de pornire, imediat montajul a fost amorsat și a părăsit punctul static de funcționare M_0 , din Fig.2);
- 2.- sursa internă de tensiune de referință, cu A.O.1A, R_3 , R_4 (reglaj fin al curentului debitat), R_5 și R_6 având rol de generator de curent constant și D_2 , diodă Zener stabilizatoare de tensiune;
- 3.- etajul de ieșire realizat cu A.O.1B în conexiune amplificator neinversor împreună cu R_8 , R_9 (reglaj fin tensiune de ieșire), R_{10} și R_6 cu rol de egalizare a impedanțelor echivalente văzute de cele două intrări ale A.O.

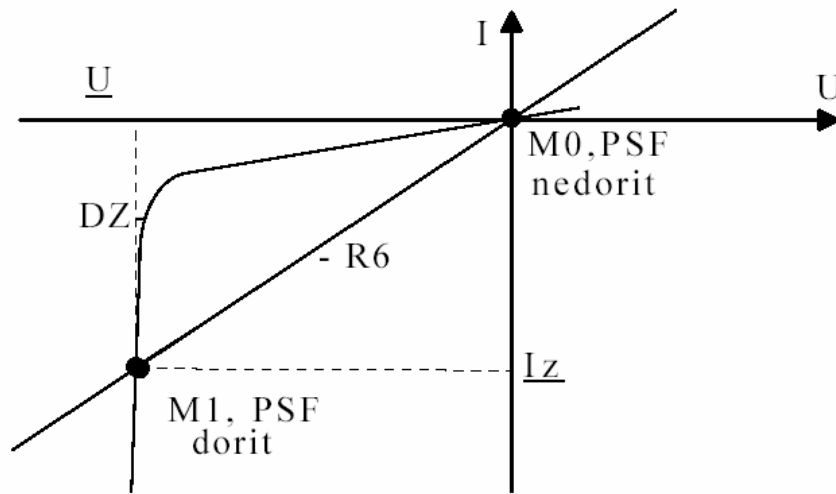


Fig. 2

Relațiile de funcționare ale schemei sunt următoarele:

1.
$$U_P = V_{CC} \frac{R_2}{R_1 + R_2};$$
2.
$$U_{O1} = U_Z \left(1 + \frac{R_4' + R_5}{R_3 + R_4''} \right);$$
3.
$$I_Z = \frac{U_{O1} - U_Z}{R_6};$$
4.
$$U_O = U_Z \left(1 + \frac{R_9' + R_{10}}{R_8 + R_9} \right);$$

2. Redresoare de precizie

Redresarea tensiunilor alternative este cea mai des utilizată operație neliniară efectuată asupra semnalelor variabile în timp.

Redresorul monoalternanță ideal poate fi privit ca un diport cu funcționare de comutator comandat de polaritatea tensiunii de intrare. Dacă polaritatea este pozitivă, comutatorul este închis și tensiunea de la intrare se regăsește la ieșire. În cazul în care tensiunea de intrare este negativă, comutatorul se deschide iar tensiunea de la ieșire devine 0.

Cele mai utilizate comutatoare pentru această funcție sunt diodele semiconductoare.

Se poate considera că redresorul dublă alternanță este un diport care aplică funcția matematică " **MODUL** " semnalului de intrare.

Această funcționare se poate obține prin cuplarea a două redresoare monoalternanță, unul direct și cel de-al doilea prin intermediul unui repetor - inversor de tensiune.

În Fig. 3 este reprezentat redresorul ideal, ca diport și sunt prezentate caracteristicile $V_o = f(V_i)$ atât pentru redresorul monoalternanță cât și pentru redresorul dublă alternanță.

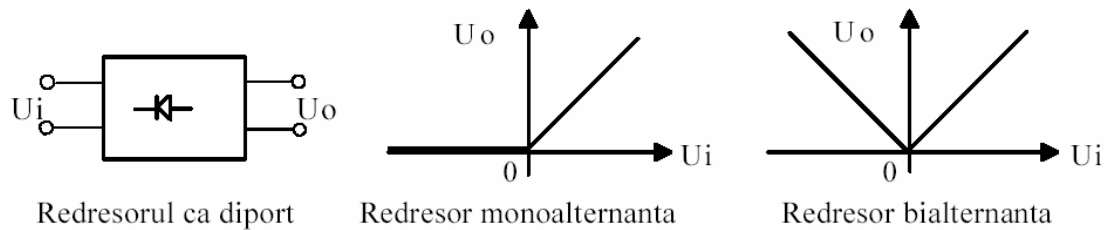


Fig. 3

Utilizarea diodelor semiconductoare pentru redresarea semnalelor alternative reprezintă o soluție deosebit de simplă și ieftină a problemei, în cazul în care se urmărește aspectul energetic, pornind de la tensiuni de intrare mult mai mari decât căderea de tensiune directă pe dioda. Întradevar, tensiunea la ieșirea redresorului monoalternanță cu diodă semiconductoare cu siliciu nu repetă identic semialternanța pozitivă a tensiunii de intrare ci prezintă un decalaj de aproximativ 0,6 V față de aceasta, adică $U_o = U_i - U_F$, unde U_F este căderea de tensiune pe dioda polarizată direct. Așa cum am arătat, pentru aplicațiile cu caracter energetic, acest mod de funcționare nu prezintă un dezavantaj semnificativ. În aplicațiile în care se are în vedere prelucrarea de informație, în măsurarea tensiunilor alternative, sau în nenumărate alte aplicații de semnal mic, este inacceptabilă distorsionarea semnalului.

Pentru înlăturarea inconvenientelor prezentate mai sus se folosesc scheme compuse din A.O. și diode semiconductoare, numite redresoare de precizie.

3. Redresorul de precizie monoalternanță

Schema cea mai simplă a unui redresor de precizie monoalternanță este prezentată în Fig. 4.

Pentru a se înțelege funcționarea schemei trebuie studiate două cazuri separate:

g. Tensiunea de intrare este pozitivă.

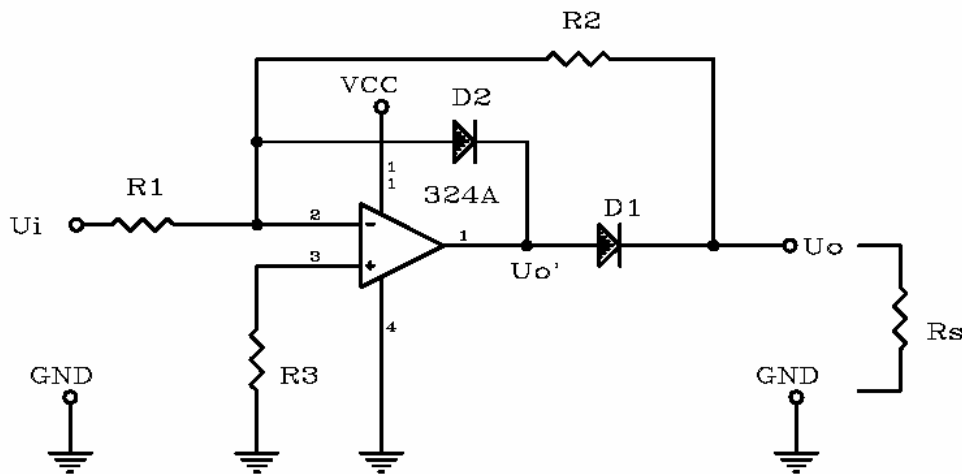


Fig. 4

În această situație A.O. lucrează în structură de amplificator inversor, tensiunea $U_{o'}$ este negativă și ca urmare dioda D_1 este blocată. Dacă este îndeplinită condiția $R_1 + R_2 \gg R_s$, la bornele rezistenței de sarcină tensiunea U_o este practic nulă.

Deoarece D_1 este blocată nu permite închiderea buclei de reacție negativă a A.O. și acesta lucrează în regim de comparator, având ieșirea saturată la $-V_{CC}$.

h. Tensiunea de intrare este negativă.

Prin R_1 această tensiune este aplicată intrării inversoare a A.O. și la ieșire rezultă o tensiune pozitivă. Dioda D_1 , polarizată direct, conduce și A.O. lucrează ca inversor repetor de tensiune ($R_1=R_2$), respectând relația $U_o = -U_i$. Trebuie remarcat că R_2 închide bucla de reacție negativă după D_1 . Din această cauză montajul cu A.O. "reduce" căderea de tensiune între intrare și ieșire de la U_F , căderea în sens direct pe o diodă în conducție, la $\frac{U_F}{A_o}$, unde A_o este amplificarea în buclă deschisă a A.O. folosit.

Deoarece în general are valori de ordinul zecilor sau sutelor de mii, distorsiunile de la ieșire vor fi datorate preponderent tensiunii de offset a amplificatorului și nu principiului de funcționare.

Principalul dezavantaj al acestei scheme este imposibilitatea de a lucra la frecvențe ridicate. După cum s-a aratat pentru valori pozitive ale tensiunii de intrare, ieșirea A.O. este saturată la $-V_{CC}$. Imediat după trecerea prin zero, către valori negative, a tensiunii de intrare este necesar ca ieșirea A.O. să

"sară" la + 0,6 V, pentru a compensa căderea de tensiune pe D_1 . Valoarea limitată a slewrate împiedică variația instantanee a tensiunii la ieșirea A.O.. Ca urmare, pe măsură ce frecvența crește, forma de undă a semnalului de ieșire diferă tot mai mult de cea a semnalului de intrare.

Rolul rezistorului R_3 este de a minimiza offsetul termic, asigurând impedanțe egale pe cele două intrări ale A.O.

Dacă se dorește și amplificarea semnalului redresat, aceasta se poate realiza prin simpla modificare a raportului $\frac{R_1}{R_2}$ la valoarea dorită a amplificării.

O îmbunătățire semnificativă a răspunsului în frecvență al redresorului de precizie se poate obține prin introducerea în schemă a unei diode suplimentare, D_2 (conectată punctat în Fig. 4). Rolul acestei diode este de a asigura închiderea buclei de reacție a A.O. în cazul în care tensiunea de intrare este pozitivă. În această situație, tensiunea U_o este negativă și ca urmare dioda D_2 , polarizată direct, conduce realizând o cale de reacție negativă totală, cu decalajul inerent de 0,6 V. Ca urmare A.O. lucrează și pentru tensiuni pozitive de intrare ca inversor - repetor și deci nu mai apare saturarea ieșirii la $-V_{CC}$. În aceste condiții ieșirea A.O. poate să urmărească semnalul de intrare (inversat). Această schemă poate redresa cu precizie mulțumitoare semnale sinusoidale cu amplitudinea de 10 V și frecvența de 100 kHz, în cazul în care se folosesc A.O. rapide, cu *slewrate* mai mare de 5.

4. Redresor de precizie bialternanță

Pentru redresarea bialternanță, de precizie, a tensiunilor alternative se poate folosi schema din Fig. 5

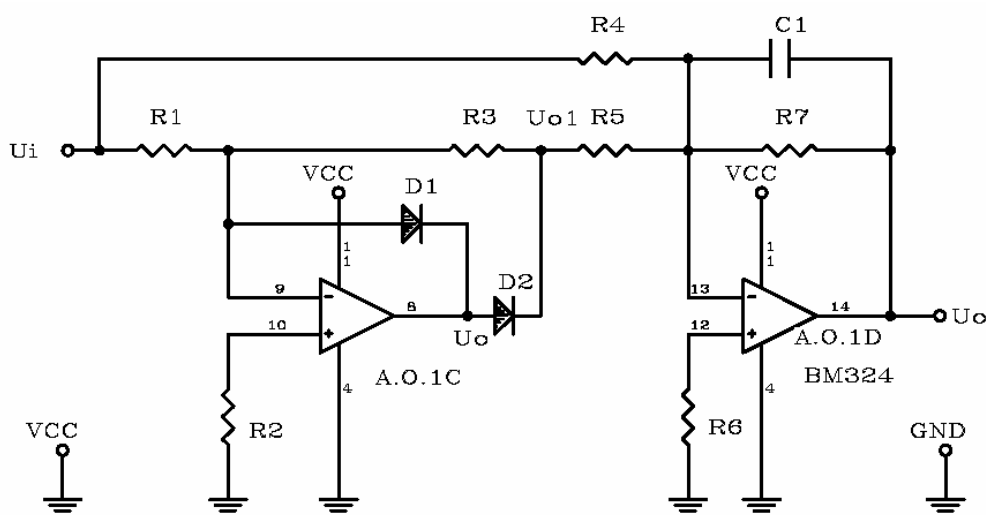


Fig. 5

Descrierea funcționării montajului.

Vom presupune că sunt respectate următoarele condiții:

$$R_1 = R_3;$$

$$R_4 = 2R_5;$$

$$R_4 = R_7;$$

$$R_2 = R_1 \parallel R_3;$$

$$R_6 = R_4 \parallel R_5 \parallel R_7.$$

A.O.1C împreună cu R_1 , R_3 , D_1 , D_2 și R_2 formează un redresor de precizie monoalternanță.

A.O.1D împreună cu R_4 , R_5 , R_6 și R_7 formează un amplificator sumator inversor. Pe cele două intrări ale acestui amplificator sumator se aplică:

- i. semnalul de intrare, - prin R_4 , și
- j. semnalul de ieșire al redresorului realizat cu A.O.1C - prin R_5 .

Vom analiza funcționarea montajului pentru cele două alternanțe ale semnalului (presupus sinusoidal) de intrare:

1. Alternanța pozitivă a semnalului de intrare.

U_{o1} este negativă, U_{o1} este 0 datorită lui D_2 care este blocată și ca urmare A.O.1D funcționează ca inversor - repetor al tensiunii U_i aplicată prin R_4 , deci tensiunea de ieșire are valoarea:

$$U_o = -U_i.$$

2. Alternanța negativă a semnalului de intrare.

Tensiunea U_{o1} are valoarea $-U_i$ și deci pe cele două intrări ale amplificatorului sumator realizat cu A.O.1D se aplică tensiunile U_i și $-U_i$.

Datorită raportului rezistentelor R_4 , R_5 și ținând cont că $R_4 = R_7$ ecuația de funcționare a A.O.1D este:

$$U_o = -(U_i + 2U_{o1}). \text{ Înlocuind } U_{o1} \text{ cu } -U_i \text{ se obține:}$$

$$U_o = U_i.$$

Se constată deci că pentru alternanța pozitivă a tensiunii de intrare se obține la ieșire semnal de aceeași amplitudine dar cu semn schimbat iar pentru alternanța negativă se obține la ieșire chiar semnalul de intrare. Putem concluziona ca redresorul de precizie prezentat realizează funcția algebrică " - **MODUL** ".

Dacă este necesară o amplificare a tensiunii obținută după redresarea de precizie, montajul poate îndeplini simultan și funcția de amplificator, amplificarea fiind dată de raportul rezistentelor R_7 și R_4 , cu păstrarea condiției $R_4 = 2R_5$.

Pentru situații în care este de dorit integrarea tensiunii de ieșire se poate realiza și această funcție prin montarea unui condensator C_1 în paralel cu rezistorul R_7 (conectat punctat în Fig. 5).

5. Modul de lucru

- 1) Se identifică pe placa de circuit imprimat sursa de tensiune de referință realizată conform schemei din Fig. 1, se determină valoarea componentelor folosite și se notează pe schemă.
- 2) Se alimentează montajul de la o sursă de tensiune de 15 V și se măsoară tensiunile U_p , U_z , U_{o1} și U_{o2} . Se calculează curentul I_z și amplificările celor două amplificatoare realizate cu A.O.1A și A.O.1B.
- 3) Se conectează cutia decadica de rezistențe la ieșirea sursei de referință și se ridică caracteristica de sarcină $U_{o2} = f(R_s)$.
- 4) Pentru $R_s=15$ se ridică caracteristica de stabilizare în funcție de alimentare $U_{o2} = f(V_{CC})$ pentru tensiuni de alimentare cuprinse între + 5 V și + 25 V, din volt în volt.

- 5) Se identifică pe placa de circuit imprimat schema din Fig. 4 (redresor de precizie dublă alternanță), se notează valorile componentelor folosite și se alimentează montajul de la o sursă de tensiune diferențială de ± 10 V.
- 6) Se studiază funcționarea redresorului monoalternanță realizat cu A.O.1C, aplicând la intrare tensiuni pozitive și negative în intervalul ± 7 V și măsurând tensiunea din ieșirea A.O., căderea de tensiune pe cele două diode și tensiunea de ieșire U_o . Se ridică caracteristica $U_o = f(U_i)$.
- 7) Se aplică la intrare semnal sinusoidal cu amplitudinea de 3... 4 V_{VV} și frecvența de 100 Hz și se compară semnalul de la intrare cu cel din ieșirea A.O.C₁ și cu cel de la ieșire (U_{o1}).
- 8) Se ridică caracteristica de frecvență a redresorului, crescând frecvența semnalului de intrare și menținând nivelul său constant, până când semnalul de la ieșire scade la jumătate din valoarea de la 100 Hz.
- 9) Se repetă punctul anterior cu dioda D₁ deconectată din circuit, vizualizând pe osciloscop ieșirea A.O..
- 10) Se trasează caracteristica $U_o = f(U_i)$, pentru redresorul dublă alternanță, pentru tensiuni de intrare în intervalul ± 7 V.
- 11) Se analizează funcționarea redresorului de precizie dublă alternanță, conform explicațiilor teoretice, aplicând la intrare semnal sinusoidal de diferite amplitudini, cu frecvența cuprinsă între 500 Hz - 1 kHz și vizualizând pe osciloscop semnalele din principalele puncte ale montajului. Se vor desena cele mai semnificative oscilograme.
- 12) Se analizează schema din Fig. 6 deducând funcționarea montajului, și ecuațiile lui de funcționare. Se determină rolul potențiometrului R₁. Stabiliți avantajele acestei scheme față de cele prezentate în partea teoretică a lucrării, și dezavantajele ei.

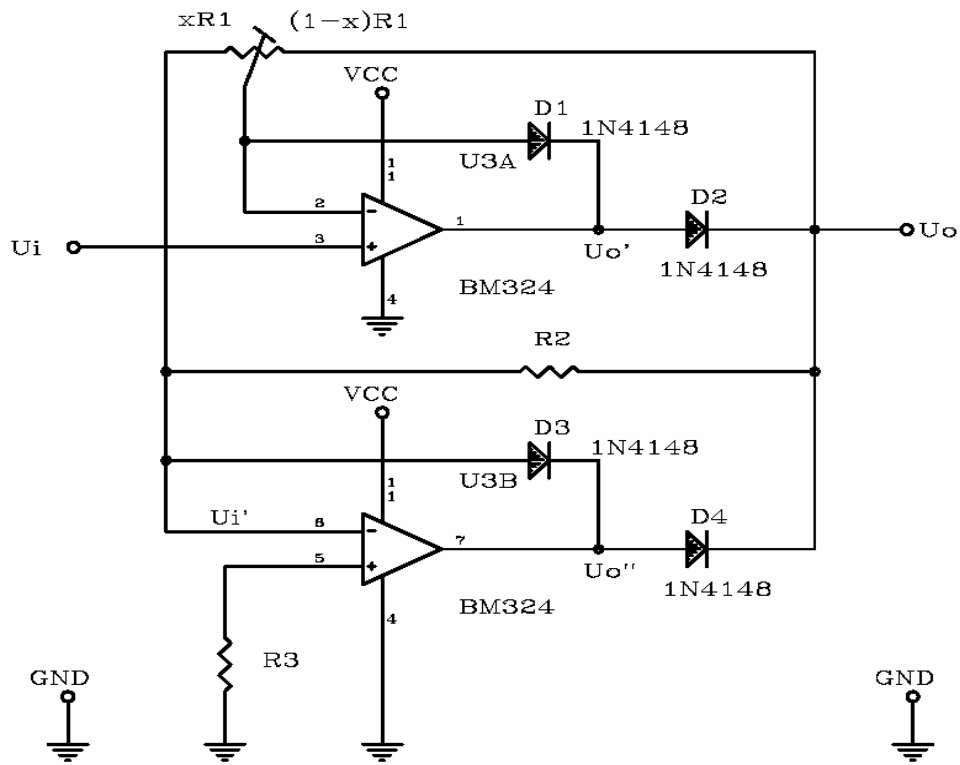


Fig. 6