

Lucrarea 12.

AMPLIFICATOARE DE CURENT (NORTON)

Circuitul integrat A 3900-aplicații

1. Descrierea circuitului

În unele aplicații este necesară utilizarea unui amplificator cu intrarea comandată în curent și ieșire în tensiune. Utilizarea unui A.O. clasic nu satisface întotdeauna, datorită faptului că introducerea unei reacții de curent este posibilă doar dacă se folosește o configurație inversoare. În plus, cu ajutorul amplificatoarelor operaționale clasice, este dificil de obținut o intrare diferențială cu impedanțe mici și tensiuni de intrare constante indiferent de curentul aplicat.

Cerințele menționate mai sus sunt îndeplinite în bune condițiuni de un etaj de intrare de tip oglindă de curent prepolarizată, care asigură scăderea curenților aplicați celor două intrări. Datorită descrierii naturale a funcționării acestui etaj cu ajutorul echivalărilor Norton, se utilizează frecvent denumirea de **Amplificatoare Norton** pentru acest tip de circuite integrate.

Circuitul integrat $\beta A3900$ este un exemplu tipic de amplificator Norton cuadru. Principalele caracteristici ale acestui circuit sunt:

- ↪ alimentare nediferențială de maxim 36V;
- ↪ excursie mare a tensiunii de ieșire, între 100mV și $V_{CC} - 1V$;
- ↪ transfer de curent între cele două intrări care se manifestă ca și cum ar fi în scurtcircuit;
- ↪ o bună împerechere între cele patru operatoare integrate împreună;
- ↪ compatibilitate directă cu schemele care folosesc A.O. clasice alimentate la +/-15V;
- ↪ compatibilitate directă cu schemele care folosesc familiile logice TTL sau C-MOS;

↳ versatilitate deosebită în aplicații.

Schema internă și funcționarea lui A 3900

În Fig. 1 este prezentată schema internă simplificată a unuia din cele patru amplificatoare Norton integrate în circuitul $\beta A3900$.

Etajul de intrare în amplificator este realizat cu ajutorul unei oglinzi de curent de construcție specială realizată cu tranzistorul T_1 și dioda D_1 .

Câștigul în tensiune este obținut cu un singur etaj, realizat cu tranzistorul T_2 , în configurație emitor comun cu sarcină activă formată din T_6 , T_3 și T_4 , funcționând în mod normal în clasă A.

Tranzistorul T_5 , repetor pe emitor servește la separarea sarcinii de etajul de intrare și asigură o impedanță mică de ieșire.

În emitorul lui T_5 este conectat generatorul de curent constant realizat cu T_7 , care determină valoarea minimă a tensiunii de ieșire la aproximativ 0,1V.

Condensatorul C_1 realizează compensarea internă de frecvență asigurând o bună stabilitate amplificatorului.

Curenții de polarizare I_{p1} și I_{p2} , necesari funcționării generatoarelor de curent sunt generați de un etaj comun celor patru amplificatoare, cu rol de compensare termică, alimentare și polarizare.

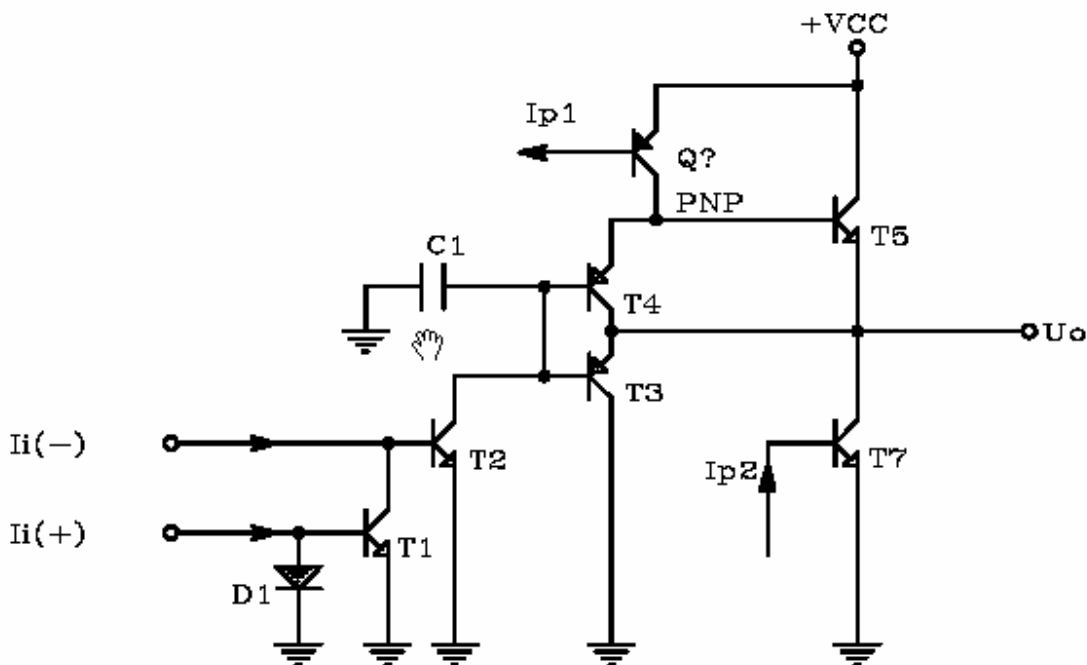


Fig. 1

Dacă vom considera factorul de transfer al oglinzii de curent formate din T_1 și D_1 unitar observăm că în baza lui T_2 se injectează un curent egal cu diferența $I_i - I_i^+$ și cum acesta este singurul tranzistor inversor din circuit se deduce că tensiunea de ieșire este proporțională (pentru funcționare în zona liniară) cu termenul $(I_i^+ - I_i)$ ceea ce reprezintă de fapt și scopul propus.

Tensiunile celor două intrări sunt practic egale între ele și egale cu tensiunea de deschidere în sens direct a unei joncțiuni B-E a unui tranzistor cu siliciu la curenți de bază de ordinul A (aproximativ 0,5V).

Pentru o variație de 100 ori a curentului intrării neinversoare (de la $5\mu\text{A}$ la $500\mu\text{A}$) rezultă o variație a tensiunii de intrare de numai 120 mV, deci se poate considera că și în cazul unor diferențe neobișnuit de mari între curenții de intrare potențialele celor două intrări rămân practic egale.

2. Amplificator inversor de curent alternativ

O schemă simplă de amplificator inversor de c.a. este prezentată în Fig. 2:

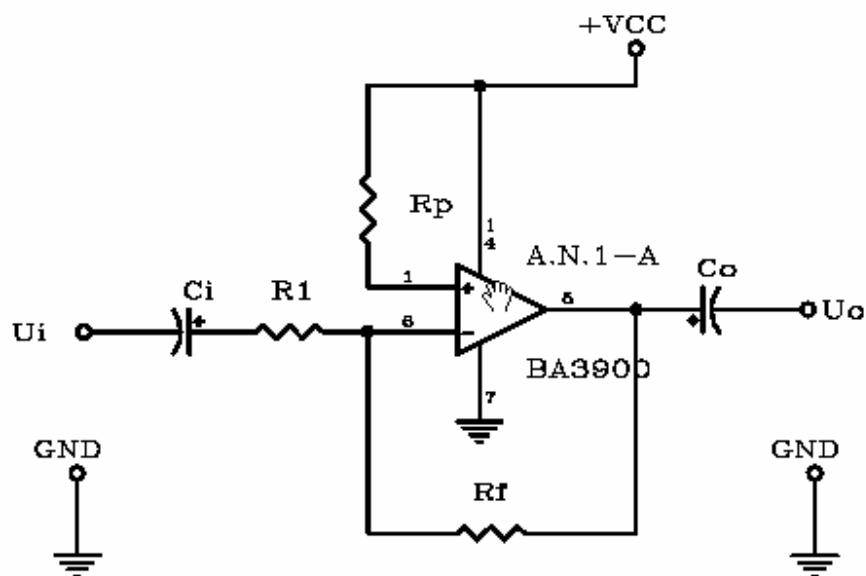


Fig. 2

În schemă se observă că amplificatorul Norton a fost figurat ca un amplificator operațional clasic. Marea majoritate a lucrărilor de specialitate (mai ales cele în limba engleză) utilizează această notație dar există și lucrări în care se figurează între intrări un generator de curent pentru a specifica faptul că este vorba de un amplificator diferențial de curent.

Semnalul de intrare este aplicat prin intermediul condensatorului C_i și al rezistenței R_1 pe intrarea inversoare. C_i are rolul de a cupla în curent alternativ și de a împiedica modificarea curentului static de polarizare a intrării prin apariția unui curent continuu către sursa de semnal alternativ, după ce s-a încărcat la tensiunea intrării inversoare.

La ieșire semnalul este aplicat rezistenței de sarcină prin condensatorul C_o cu rol de separare în c.c. C_o împiedică injectarea unui curent continuu prin sarcină.

Atât C_i cât și C_o trebuie dimensionate astfel încât reactanța capacitivă la frecvența minimă de lucru să fie cu cel puțin un ordin de mărime mai mică decât rezistența de sarcină în cazul lui C_o sau decât R_1 în cazul lui C_i , pentru a realiza un bun cuplaj.

R_p asigură polarizarea intrării neinversoare de la sursa de alimentare.

R_f este rezistența de reacție, ea asigurând și polarizarea intrării inversoare, din potențialul ieșirii.

În Fig. 3 este prezentată schema echivalentă de c.a., simplificată, amplificatorului inversor de c.a. realizat cu amplificator Norton.

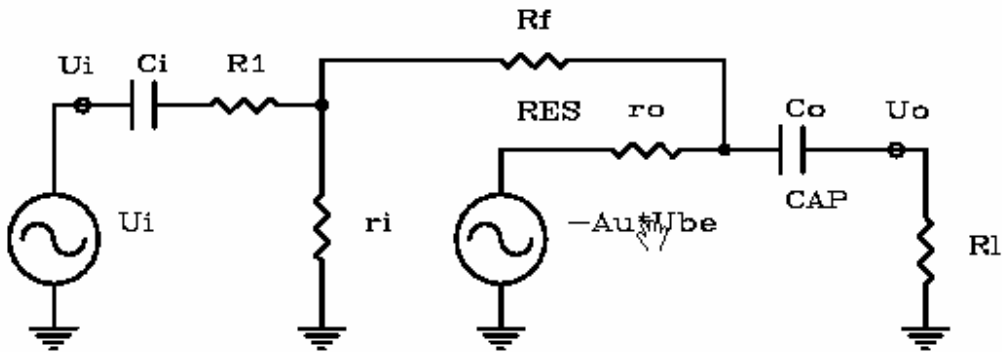


Fig. 3

Pentru a se obține amplitudinea maximă a semnalului la ieșire, nedistorsoinată de limitări în tensiune este necesar ca potențialul static al ieșirii să fie:

$$1. \quad U_o = \frac{u_{o\max} + u_{o\min}}{2} = \frac{V_{CC} - 1V - 0,1V}{2} \approx \frac{V_{CC}}{2}$$

În aceste condiții se poate obține la ieșire tensiunea maximă:

$$2. \quad U_o = \frac{u_{o\max} + u_{o\min}}{2} = \frac{V_{CC} - 1V + 0,1V}{2} \approx \frac{V_{CC}}{2}$$

Din condiția de egalitate a curenților de intrare se poate deduce:

$$3. \quad \frac{V_{CC} U_i}{2R_f} = \frac{V_{CC} U_i^+}{R_p}, \text{ sau dacă neglijăm } U_i^+ \text{ și } U_i^- \text{ față de } V_{CC} :$$

$$4. \quad \frac{V_{CC}}{2R_f} = \frac{V_{CC}}{R_p}, \text{ de unde deducem condiția :}$$

$$5. \quad 2R_f = R_p$$

Relația 5. arată modul în care trebuie polarizat amplificatorul Norton pentru schema din Fig. 2. De remarcat că ambii curenți de polarizare depind de tensiunea de alimentare și deci valoarea rezistențelor R_f și R_p trebuie recalculată pentru fiecare nouă tensiune de alimentare cu formula:

$$6. \quad R_p (M\Omega) = \frac{V_{CC} (V)}{10(\mu A)},$$

În relația de mai sus, $10 \mu A$ este curentul de polarizare a oglinzii recomandat de producător, valoare la care este de așteptat să se obțină împerecherea maximă a caracteristicilor tranzistorului de intrare și a diodei D_1 și deci egalitatea perfectă a tensiunilor celor două intrări.

Ținând cont de configurația inversoare folosită, relația din care se dimensionează R_1 pentru a obține amplificarea A_u dorită este:

$$7. \quad A_u = \frac{R_f}{R_1} \text{ sau } R_1 = \frac{R_f}{A_u}.$$

3. Amplificator neinversor de curent alternativ

Cu ajutorul amplificatoarelor Norton se pot realiza și configurații neinversoare, folosind scheme de tipul celei din Fig. 4.

După cum era de așteptat semnalul de intrare este aplicat pe intrarea neinversoare prin intermediul unui condensator (C_i) cu rol de separare în curent continuu.

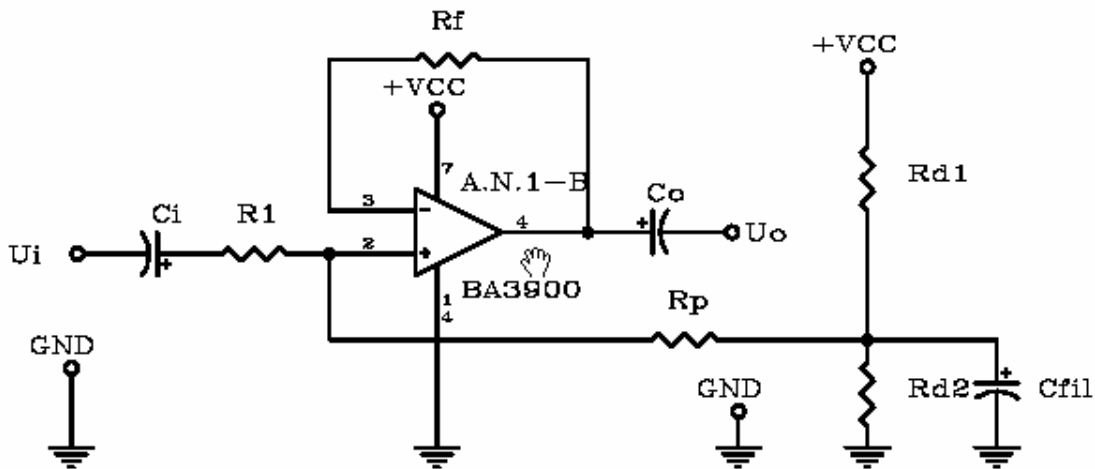


Fig. 4

Ca o noutate față de montajul precedent apare grupul format din R_{d1} , R_{d2} și C_{fil} , cu rol de sursă de referință pentru curentul de polarizare. R_{d1} și R_{d2} formează un divizor de tensiune, iar C_{fil} pe de-o parte micșorează impedanța echivalentă a divizorului în curent alternativ, iar pe de altă parte filtrează suplimentar sursa de alimentare, sporind imunitatea amplificatorului la brumul sau eventualii paraziți ce s-ar propaga prin trasele de alimentare. În plus se elimină și cuplajele parazite prin sursa de alimentare.

Din punctul de vedere al realizării efective sursa de referință nu pune probleme deosebite datorită curenților de sarcină deosebit de mici pe care trebuie să-i debiteze. Presupunând că vom utiliza aceeași sursă de referință pentru toate cele patru amplificatoare Norton dintr-un chip, curentul total debitat va fi de $4 \cdot 10 \mu A = 40 \mu A$. Se observă deci că același divizor de referință, dacă se alege un curent prin divizor de 1,6 mA poate genera curentul de referință pentru 16 amplificatoare Norton.

Un alt avantaj al utilizării unei tensiuni de referință este scăderea valorii rezistențelor de polarizare de la $M\Omega$ la sute de $k\Omega$. Într-adevăr, pentru o tensiune de referință de 5V, un curent de polarizare de $10 \mu A$, folosind formula:

$$8. \quad R_p = \frac{U_{ref} \cdot U_i^+}{I_p}, \text{ se obține pentru } R_p \text{ valoarea de } 450 \text{ k}\Omega,$$

față de 1,45 $M\Omega$ cât ar fi fost R_p , dacă s-ar fi folosit drept sursă de polarizare tensiunea de alimentare de 15V. Acesta este un avantaj

deoarece rezistoarele de valori foarte mari și precizie ridicată sunt scumpe.

Dimensionarea lui R_f se face cu ajutorul relației

$$9. \quad R_f = \frac{V_{CC} * R_p}{2 * U_{ref}};$$

$$\text{Dacă } U_{ref} = \frac{V_{CC}}{2}, \quad R_f = R_p$$

Amplificarea montajului se calculează cu relația:

$$10. \quad A_u = \frac{R_f}{R_1 + rd}, \text{ unde } rd, \text{ rezistența dinamică a diodei din}$$

intrarea neinversoare se poate calcula cu formula:

$$11. \quad rd(\Omega) = \frac{0,0025 (mV)}{I_i^+ (mA)}.$$

Pentru valori ale lui R_1 mai mari de 25 k Ω , rd poate fi neglijat.

Este de remarcat că dacă nu se folosesc elemente neliniare pentru stabilizarea tensiunii de referință, și în schema din Fig. 4 curenții de polarizare depind de tensiunea de alimentare.

În afară de soluția stabilizării tensiunii de referință cu ajutorul unei diode Zener, pentru a se obține un punct static de funcționare independent de tensiunea de alimentare, există o variantă de autopolarizare pentru amplificatoarele inversoare, numită polarizarea $n * U_{BE}$.

În Fig. 5 este prezentat un amplificator inversor de c.a a cărui tensiune statică de ieșire este independentă de V_{CC} :

Portențialul static al ieșirii va fi stabilit la valoarea :

$$12. \quad U_O = \frac{R_f + R_2}{R_2} U_{BE}, \text{ deci tensiune de ieșire se calculează ca}$$

multiplu de U_{BE} .

Amplificarea în tensiune a montajului din Fig. 5 se calculează cu formula:

$$13. \quad A_u = \frac{R_f}{R_1}.$$

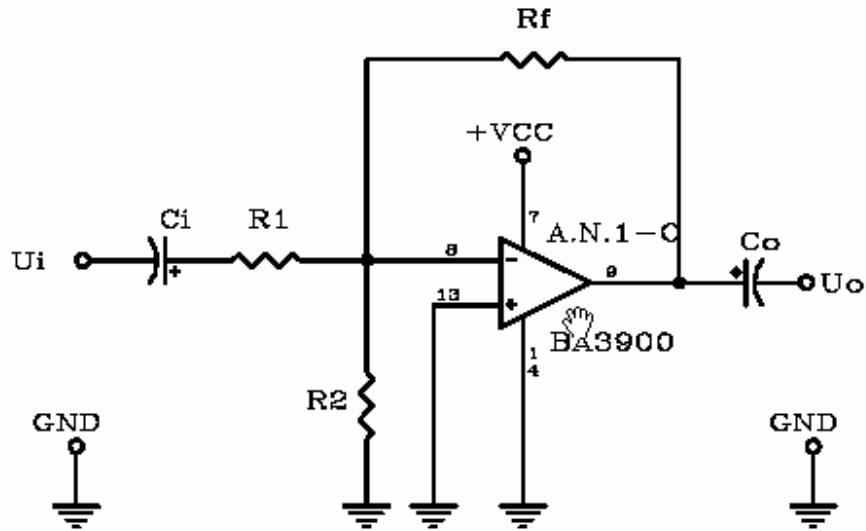


Fig. 5

4. Generator triunghiular și dreptunghiular realizat cu amplificatoare Norton

Folosind 1/2 dintr-un circuit integrat $\beta A3900$ se poate realiza un oscilator care să genereze la ieșire atât semnal triunghiular cât și semnal dreptunghiular. Schema de principiu a acestui generator este prezentată în Fig. 6:

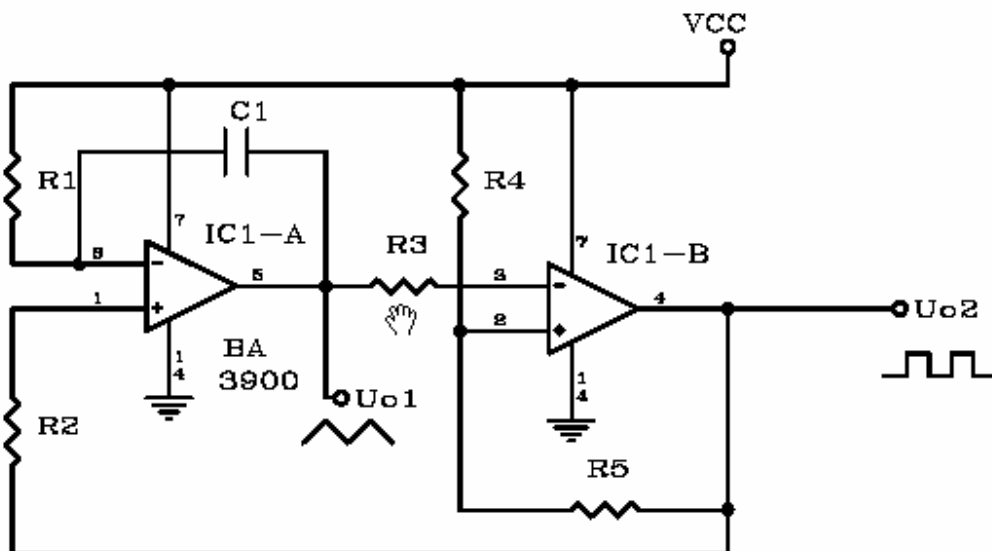


Fig. 6

Modul de funcționare

Schema este compusă din două blocuri funcționale distincte, un integrator de curent și un comparator cu histerezis.

Amplificatorul A, împreună cu C_1 , R_1 și R_2 formează un integrator inversor al curentului total din nodul intrării inversoare. Datorită proprietății (c) de transfer de curent între intrări se poate scrie ecuația:

$$14. \quad I_{c1} \frac{V_{CC} U_i}{R_1} + \frac{U_{o2} U_{i+}}{R_2} = 0$$

Pentru a simplifica analiza funcționării vom considera că putem neglija tensiunea intrărilor în raport cu tensiunea de alimentare, respectiv cu tensiunea ieșirii U_{o2} . Presupunem deasemenea că R_1 și R_2 au fost astfel alese încât se respectă relația $R_1 = 2R_2$. În acest moment analiza se desparte în două cazuri:

a: dacă tensiunea U_{o2} este zero, atunci curentul I_{c1} va avea valoarea:

$$15. \quad I_{c1} \approx \frac{V_{CC}}{R_1}.$$

b: dacă tensiunea U_{o2} este V_{CC} , atunci curentul I_{c1} va avea valoarea:

$$16. \quad I_{c1} \approx \frac{V_{CC}}{R_1} - \frac{V_{CC}}{R_2} \text{ ținând cont de relația între } R_1 \text{ și } R_2:$$

$$17. \quad I_{c1} \approx \frac{V_{CC}}{R_1}$$

Se observă schimbarea de polaritate a curentului I_{c1} în funcție de potențialul ieșirii U_{o2} . Trebuie remarcat că tensiunea la bornele unui condensator care se încarcă (descarcă) cu un curent constant crește (scade) liniar. Deoarece potențialul intrărilor în amplificatorul Norton poate fi considerat constant și aproape nul, rezultă ca tensiunea la ieșirea U_{o1} va fi liniar crescătoare atunci când ieșirea U_{o2} este 0 și liniar descrescătoare atunci când ieșirea U_{o2} este $+V_{CC}$.

Amplificatorul B împreună cu rezistențele R_3 , R_4 și R_5 formează un comparator inversor cu histerezis.

R_3 aplică pe intrarea inversoare a comparatorului un curent de valoare $I_i = \frac{U_{o1}}{R_3}$, deci liniar variabil, funcție de tensiunea U_{o1} .

R_4 asigură curentul de polarizare de aproximativ $10\mu A$, pe intrarea neinversoare.

R_5 este rezistența de reacție pozitivă, ea modificând curentul de polarizare în funcție de tensiunea U_{o2} . Valoarea curentului de polarizare va fi deci

$$18. \quad I_{pj} = \frac{V_{CC}}{R_4} \cdot U_{i+} + \frac{U_{o2}}{R_5} \cdot U_{i+}, \text{ sau}$$

$$19. \quad I_{ps} = \frac{V_{CC}}{R_4} \cdot U_{i+}.$$

Atunci când este îndeplinită condiția $I_i > I_{pj}$ (*), ieșirea comparatorului va bascula "jos" comutarea fiind accelerată de supracomanda aplicată prin reacția pozitivă. Curentul intrării neinversoare devine I_{ps} și tensiunea ieșirii U_{o1} începe să scadă (vezi funcționarea integratorului). La un moment dat este îndeplinită condiția $I_i < I_{ps}$ care determină bascularea "sus" a ieșirii U_{o2} , curentul de polarizare I_{pj} și creșterea liniară a tensiunii U_{o1} până când condiția (*) este îndeplinită, când ciclul se reia.

5. Comutator analogic cu amplificatoare Norton

O gamă largă de aplicații de automatizari industriale sau pentru aparatura Audio-Video necesită utilizarea unor comutatoare comandate în tensiune, cu ajutorul cărora să se poată efectua selecția unuia sau a mai multor canale de intrare la o singură ieșire.

Amplificatoarele Norton se pretează acestui tip de aplicații datorită posibilității de blocare a funcționării amplificatorului atunci când una dintre intrări este conectată la un potențial mai mic decât tensiunea minimă de deschidere a joncțiunii U_{BE} .

În Fig. 7 este prezentat un astfel de circuit pentru selectarea a trei canale analogice pe care se trimite semnal alternativ. Evident, prin utilizarea a mai multe amplificatoare Norton numărul de intrări se poate mări.

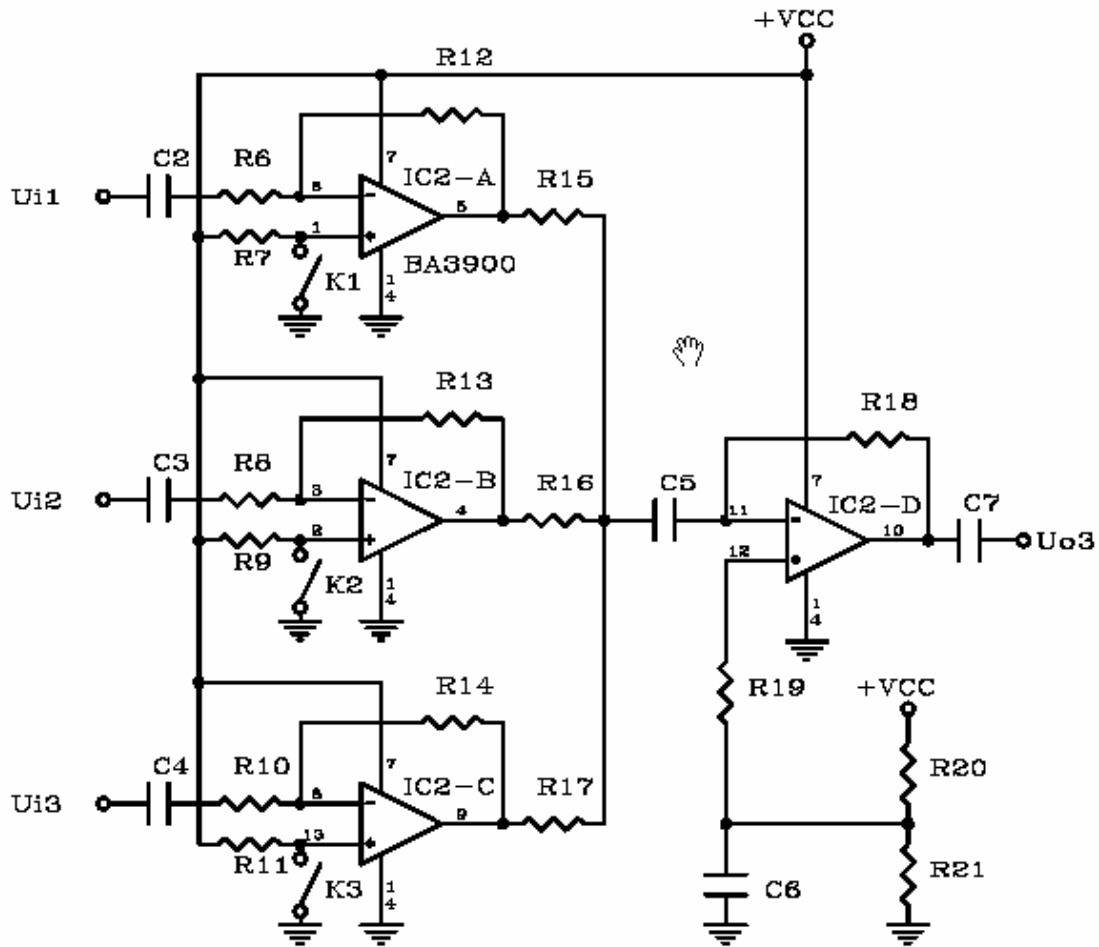


Fig. 7

Din punct de vedere funcțional schema de mai sus este compusă din două tipuri de blocuri:

- ↳ circuitele de intrare, în structură amplificator inversor de c.a. cu rol de separare între ele a surselor de semnal (realizate cu IC2-A, B și C), și
- ↳ circuitul de ieșire, inversor repetor de c.a., cu rol de sumator și adaptor de impedanțe, realizat cu IC2-D

Selecția intrărilor active se face cu ajutorul comutatoarelor $K_1 \dots K_3$.

Semnalele de intrare sunt aplicate pe intrări prin intermediul condensatoarelor C_2 , C_3 și C_4 , care au rol de cuplaj exclusiv în c.a., și prin rezistoarele R_6 , R_8 și R_{10} , care stabilesc amplificarea canalelor.

Reacția negativă și polarizarea intrărilor inversoare este asigurată de rezistoarele R_{12} , R_{13} și R_{14} .

Separarea ieșirilor și însumarea semnalelor se realizează cu ajutorul rezistoarelor R_{15} , R_{16} și R_{17} .

Condensatorul C_5 are rol de separare galvanică, la fel ca și C_7 .

R_{18} stabilește amplificarea globală a montajului și polarizarea intrării inversoare a amplificatorului D.

R_{19} determină curentul de polarizare a intrării neinversoare din sursa de referință realizată cu divizorul R_{20} , R_{21} . Condensatorul C_6 are rol de filtraj suplimentar pentru sursa de referință.

6. Modul de lucru

1. Se identifică pe placa de circuit imprimat montajul din Fig. 6, se notează pe schemă valorile componentelor folosite și se alimentează montajul cu +12 V.

2. Se vizualizează cu osciloscopul tensiunile U_{o1} și U_{o2} și se desenează diagrama lor sincronă.

3. Se vizualizează cu ajutorul osciloscopului potențialele intrărilor celor două amplificatoare Norton și se explică cele observate.

4. Se calculează cu formulele prezentate în partea de teorie valorile maximă și minimă pentru U_{o1} , la care este de așteptat să se producă basculările comparatorului și se compară cu rezultatele experimentale. În calcule se vor folosi valorile componentelor din montajul de laborator.

6. Se măsoară frecvența semnalului generat atunci când tensiunea de alimentare variază de la 5 V la 20 V și se trasează graficul frecvenței în funcție de tensiunea de alimentare.

7. Se identifică pe placa de circuit imprimat montajul din Fig. 7 și se notează pe schemă valorile componentelor folosite.

8. Se aplică la cele trei intrări semnale provenite de la generatorul studiat anterior și de la un alt generator de semnal.

9. Cu ajutorul osciloscopului se vizualizează forma semnalului de la ieșire, din punctul de însumare (C_5) și din intrările amplificatoarelor Norton, pentru diferite combinații de stări ale comutatoarelor $K_1...K_3$.