LUCRAREA nr. 6

CIRCUITE ELEMENTARE CU AMPLIFICATOARE OPERAȚIONALE

Scopul lucrării: Se studiază câteva dintre circuitele elementare ce se pot realiza cu amplificatoare operaţionale (AO), în care acestea sunt considerate ca elemente de circuit caracterizate prin parametrii de catalog, statici și dinamici.

1. Amplificatorul inversor

Amplificatorul inversor are schema din *figura* 6.1.

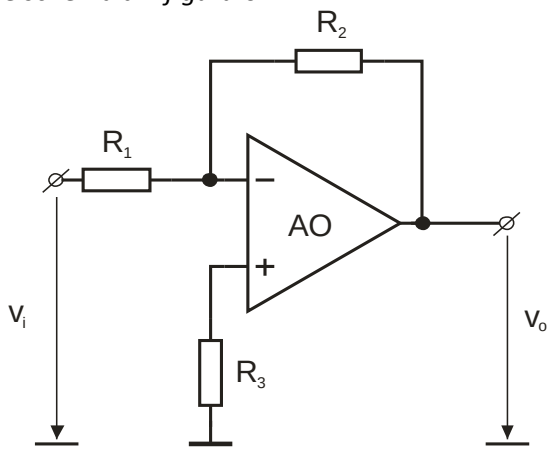


Fig. 6.1 Amplificatorul inversor

Pentru un AO ideal amplificarea de tensiune este dată de relația:

$$A_u = -\frac{R_2}{R_1} \qquad \textbf{(6.1)}$$

Relația este valabilă pentru valori mici ale amplificării de tensiune. Pentru valori mari ale amplificării de tensiune, eroarea introdusă în calcul de valoarea finită a amplificării în buclă deschisă a amplificatorului operaţional, A_0, devine importantă, relaţia (**6.1**) fiind înlocuită de relaţia :

$$A_u = -\frac{R_2}{R_1}\frac{1}{\dfrac{\dfrac{R_2}{R_1}+1}{1+\dfrac{\dfrac{R_2}{R_1}+1}{A_0}}} \qquad \textbf{(6.2)}$$

Amplificarea de tensiune cu buclă închisă este influențată și de valoarea limitată a produsului amplificare-bandă a lui AO precum și de rezistențele de intrare și de ieșire ale AO.

2. Amplificatorul neinversor

Amplificatorul neinversor are schema de principiu din figura 6.2. Considerând AO ideal, amplificarea de tensiune va fi:

$$A_u = 1 + \frac{R_1}{R_2} \qquad \textbf{(6.3)}$$

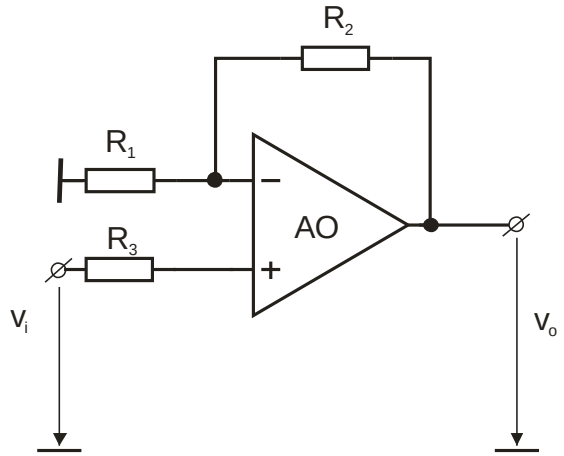


Fig. 6.2. Amplificatorul neinversor

3. Repetorul de tensiune

Repetorul de tensiune se realizează din schema din figura 6.2 cu rezisteţa R_1 necuplată ($R_1 \rightarrow \infty$). Se obţine:

$$A_u = 1 \qquad \textbf{(6.4)}$$

Repetorul de tensiune realizat cu AO prezintă amplificare de tensiune unitară, impedanţă de intrare foarte mare şi impedanţă de ieşire foarte mică.

4. Amplificatorul diferenţial realizat cu AO

Amplificatorul diferenţial realizat cu AO este reprezentat în *figura* 6.3.

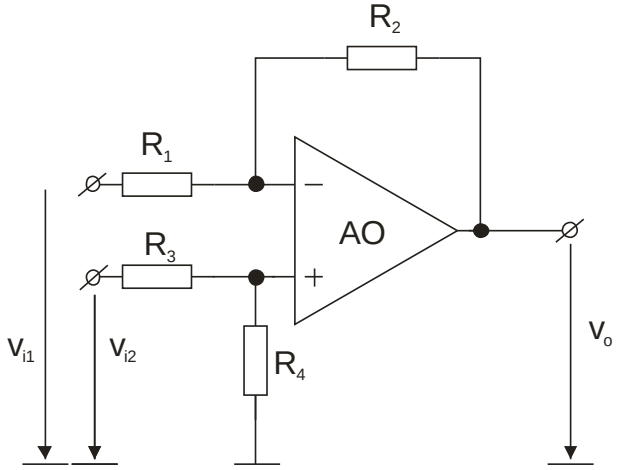


Fig. 6.3 Amplificatorul diferenţial

Pentru un AO ideal, tensiunea de ieşire se poate scrie sub forma:

$$v_o = -\frac{R_2}{R_1} v_{i1} + \frac{R_3}{R_3 + R_4}\left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right) v_{i2} \qquad \textbf{(6.5)}$$

Condiţia ca circuitul să se comporte ca un amplificator diferenţial este:

$$\frac{R_2}{R_1} = \frac{R_3}{R_4} \qquad \textbf{(6.6)}$$

Astfel, tensiunea de ieşire va fi:

$$v_o = -\frac{R_2}{R_1}\left(v_{i1} - v_{i2}\right) \qquad \textbf{(6.6)}$$

Tensiunea de mod comun este rejectată în măsura în care este îndeplinită relaţia (**6.6**).

5. Integrator cu AO

În *figura* 6.4 este reprezentat un integrator cu AO.

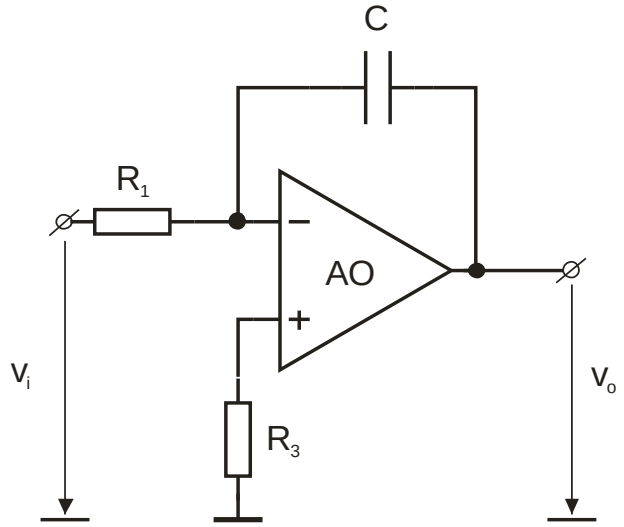


Fig. 6.4 Amplificator integrator

Pentru semnal sinusoidal de amplitudine constantă (U_1) şi cu frecvenţa variabilă (*f)* , integratorul furnizează la ieşire un semnal cu aceeași frecvenţă, cu amplitudinea dependentă de frecvenţă (prin intermediul pulsației) şi de elementele circuitului ($v_o = \frac{U_1}{\omega C R_1}$) şi defazat faţă de semnalul de intrare cu o fază dependentă de frecvenţă (Φ = *arctg* ωCR), unde ω = 2πf.

Pentru un salt de tensiune aplicat la intrarea inversoare, răspunsul este exponenţial. În cazul unei succesiuni de impulsuri, dacă durata impulsurilor este mică în raport cu constanta de timp CR_1, atunci circuitul funcţionează ca un integrator, dând la ieşire o tensiune aproape continuă, egală cu componenta continuă a impulsurilor aplicate la intrare. În *figura* 6.5 se arată

forma de undă obţinută la ieşire în cazul aplicării unor impulsuri cu factorul de umplere egal cu 0,5 .

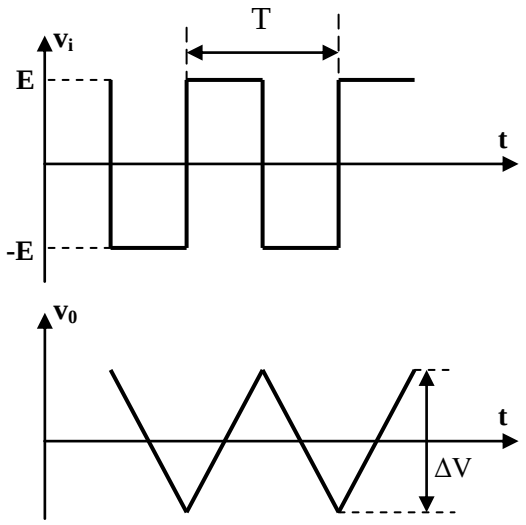


Fig. 6.5. Forma de undă a semnalului furnizat la ieșirea integratorului

Se obţine:

$$\Delta V = \frac{T}{2R_1C}E \qquad \textbf{(6.7).}$$

Capacitatea poate fi pusă în paralel cu o rezistență, obținându-se o constantă de integrare repartizată mai mică.

Eroarea de integrare este dependentă de timpul de integrare.

6. Comparatorul cu histerezis

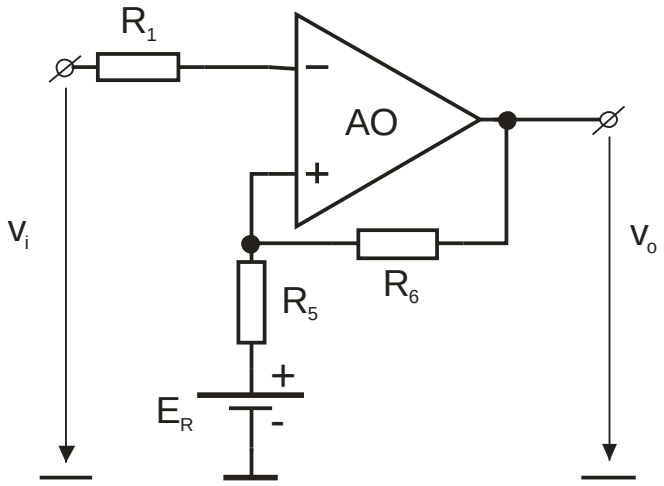


Fig.6.6 Comparatorul cu histerezis

Comparatorul cu histerezis din *figura* 6.6 foloseşte amplificatorul operaţional cu o reacţie pozitivă realizată cu rezistenţele R_5 şi R_6. Se obţine o caracteristică de transfer cu histerezis, ca în *figura* 6.7, unde s-au folosit notaţiile:

$$V_{p1} = -V_0 \frac{R_5}{R_5 + R_6} + E_R \frac{R_6}{R_5 + R_6} \quad \textbf{(6.8)}$$

$$V_{p2} = +V_0 \frac{R_5}{R_5 + R_6} + E_R \frac{R_6}{R_5 + R_6} \quad \textbf{(6.9)}$$

$$\Delta V = V_{p2} - V_{p1} = 2V_0 \frac{R_5}{R_5 + R_6} \quad \textbf{(6.10).}$$

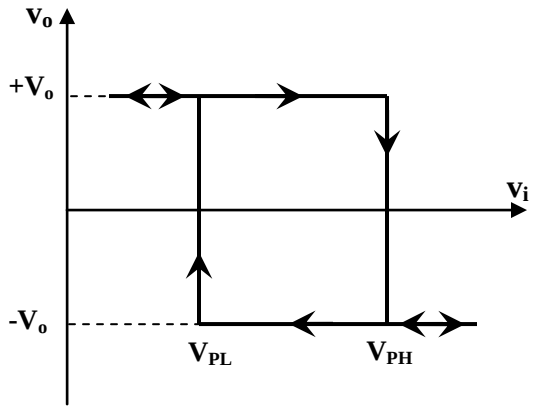


Fig.6.7 Caracteristica de transfer a comparatorului cu histerezis

Prin $\pm V_0$ s-au notat valorile maximă și minimă ale tensiunii de ieșire a AO, așa cum se observă și în *figura* 6.7. Cu ajutorul raportului rezistenţelor R_5 şi R_6 se modifică lărgimea histerezisului (ΔV_H), iar cu ajutorul tensiunii de referinţă E_R se precizează poziţia acestuia faţă de origine.

7. Generator de impulsuri dreptunghiulare cu AO

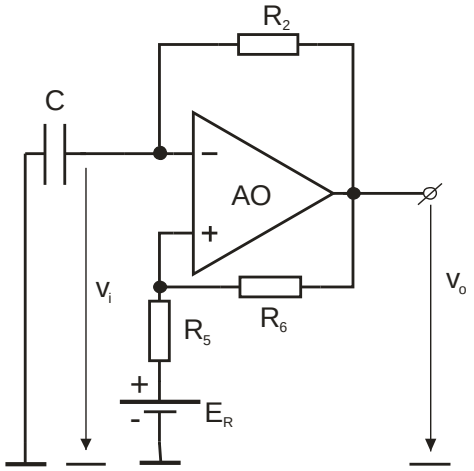


Fig.6.8 Generatorul de impulsuri dreptunghiulare

Un generator de impulsuri dreptunghiulare cu AO se poate realiza ca în *figura* 6.8, în care se foloseşte circuitul de comparare cu histerezis din *figura* 6.6, tensiunea de la intrarea sa fiind tensiunea de pe capacitatea *C*, variabilă în timp; încărcarea şi descărcarea acestei capacităţi se fac prin rezistenţa R_2 de la ieşirea AO, care stă în una din cele două stări stabile în funcţie de semnul diferenţei dintre tensiunile celor două intrări ale AO.

Pentru $E_R = 0$ (*figura* 6.9.a) se obține o formă de undă aproape simetrică (nesimetria provine numai din diferenţa valorilor absolute ale tensiunii de ieşire a AO în cele două stări).

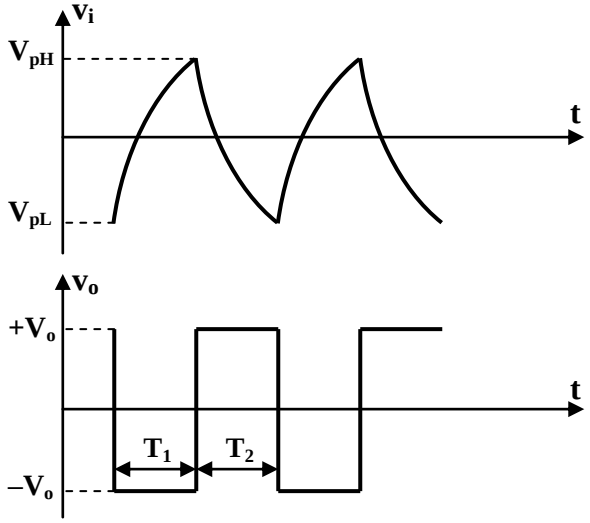


Fig.6.9 a Formele de undă de la intrarea şi de la ieşirea generatorului de impulsuri pentru E_R=0

Perioada impulsurilor va fi dată de relaţia:

$$T = T_1 + T_1 = 2R_2C\ln\left(1 + 2\frac{R_5}{R_6}\right) \qquad \textbf{(6.11)}$$

În cazul în care $E_R \neq 0$, se obţin impulsuri cu factor de umplere diferit de 0,5 (*figura 6.*9.b),

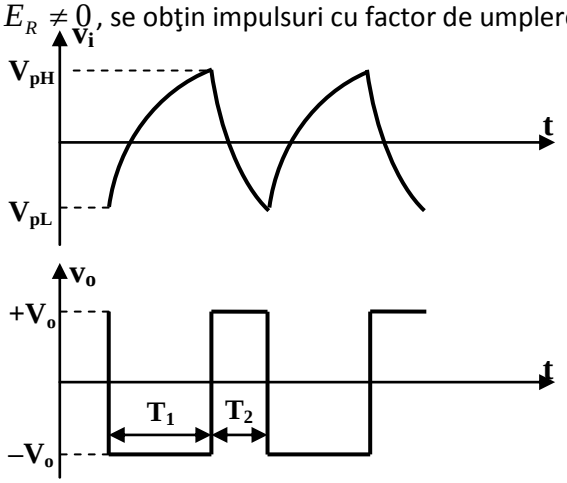


Fig.6.9 b. Formele de undă de la intrarea şi de la ieşirea generatorului de impulsuri pentru $E_R \neq 0$

caracterizate prin:

$$T_1 = \mathrm{CR}_2 \ln \frac{V_0 - V_{p1}}{V_0 - V_{p2}},\ T_2 = CR_2 \ln \frac{V_0 + V_{p1}}{V_0 + V_{p2}} \qquad \textbf{(6.12).}$$

unde V_{p1} si V_{p2} au expresiile (6.8) și (6.9), determinate pentru comparatorul cu histerezis.

Pentru $E_R = 0$, frecvenţa impulsurilor se reglează din modificarea histerezisului circuitului (raportul rezistenţelor R_5 şi R_6). Pentru $E_R \neq 0$, prin modificarea tensiunii de referinţă, se modifică atât frecvenţa cât şi factorul de umplere al impulsurilor generate:

$$f = \frac{1}{T_1 + T_2} \qquad \textbf{(6.13)}$$

$$n = \frac{T_2}{T_1 + T_2} \qquad \textbf{(6.14).}$$

DESFĂŞURAREA LUCRĂRII

Se identifică montajul din *figura* 6.10, echipat cu amplificatoare operaţionale µA741, caracterizate prin A_0 =100.000. Circuitul se alimentează cu tensiunile de alimentare +15V (borna 2 faţă de masă) şi –15V (borna 3) faţă de masă (borna 1).

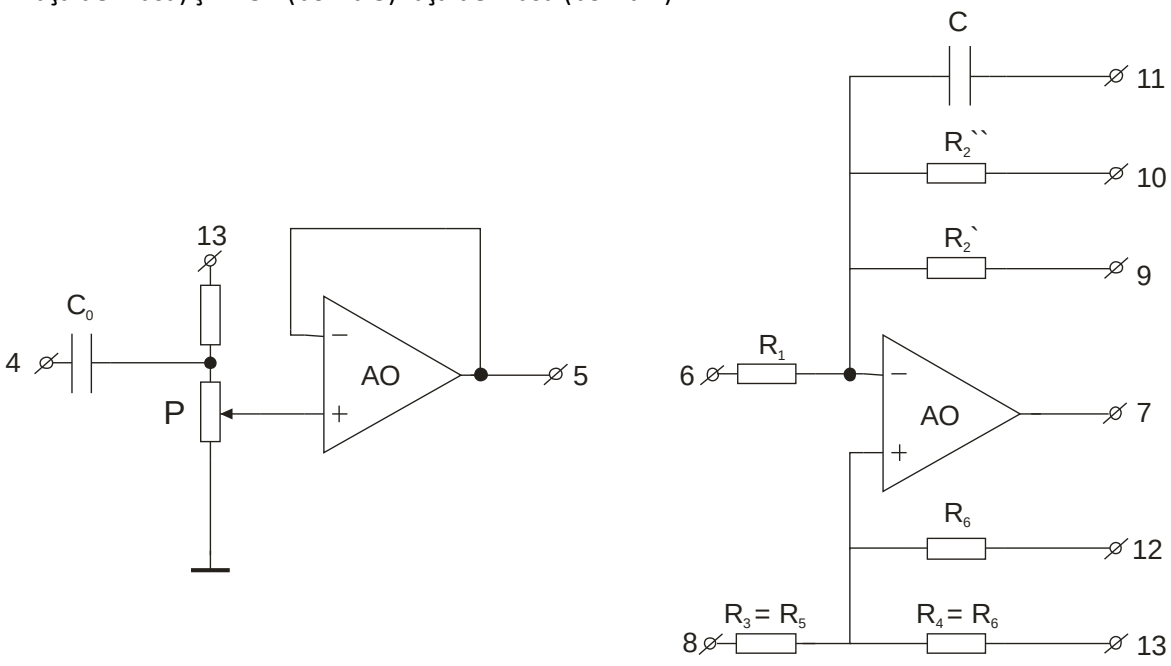


Figura 6.10 Montajul de laborator

Tensiunile de comandă se aplică prin intermediul unui repetor de tensiune realizat tot cu AO (pentru a avea o impedanţă a generatorului de semnal cât mai mică), acesta fiind comandat printr-un potenţiometru ce permite reglarea tensiunii de intrare în limite largi. Tensiunile de intrare în circuitul testat se vor măsura la ieşirea repetorului de tensiune (borna 5).

1. Se realizează schema de amplificator inversor (*figura* 6.1) cu rezistenţele R_1=1,2 kΩ şi R_2' =12 kΩ (se leagă cu un fir borna 7 cu borna 9 și se pune la masă borna 8). Se aplică semnal sinusoidal de frecvenţă 200 Hz. Pentru o tensiune de ieşire de 5V (între borna 7 și masa (borna 1) (valoare eficace), se măsoară amplificarea de tensiune (A_u) şi se compară cu rezultatul obţinut cu relaţia **(6.1)**. Se compară faza semnalului de ieşire cu faza semnalului de la intrare, pe osciloscop, constatându-se inversarea de fază a semnalului amplificat.

Se repetă măsurătoarea pentru R_2'' = 4.7 MΩ (se leaga borna 7 cu borna 10 (se scoate din borna 9)) şi se compară cu rezultatele obţinute cu relaţiile **(6.1)** şi **(6.2)**. Se vor explica diferenţele constatate.

Pentru ambele valori ale rezistenţei R_2 se trasează caracteristica de frecvenţă (pentru R_2' se ia V_i =100mV iar pentru R_2'' se ia V_i =2mV).

2. Se realizează schema de amplificator neinversor (*figura* 6.2) cu R_2' =12kΩ şi R_1 =1,2 kΩ (se leagă borna 6 la masă (borna 1) și borna 9 cu borna 7); se aplică semnal sinusoidal de frecvenţă 200 Hz şi amplitudine 100 mV şi se măsoară amplificarea de tensiune, comparându-se – cu ajutorul osciloscopului – şi fazele tensiunilor de intrare şi de ieşire.

Se realizează montajul repetor de tensiune (se elimina rezistența R_1) şi se măsoară amplificarea de tensiune.

Rezultatele măsurătorilor pentru aceste două montaje se compară cu valorile obţinute cu relaţiile **(6.3)** şi **(6.4)**. Pentru montajul de amplificator neinversor se ridică şi caracteristica de frecvenţă.

3. Se realizează schema de amplificator diferenţial (se leagă borna 13 la masă și borna 7 cu borna 10) (*figura* 6.3) cu R_1 =1,2kΩ, R_2' =12kΩ, R_3 =1,2kΩ şi R_4 =12 kΩ. Se aplică semnale cu frecvenţe de 200 Hz, astfel:

- V_{i1} =100mV ; V_{i2} =0; se măsoară V_{01}
- V_{i1} =0 ; V_{i2} =100 mV; se măsoară V_{02}
- $V_{i1}' = V_{i2}'$ = 1V; se măsoară V_{03} .

Se determină amplificarea de tensiune de mod diferenţial definită ca $\frac{V_{o1}}{V_{i1}}$ sau $\frac{V_{o2}}{V_{i2}}$ şi amplificarea de mod comun definită ca $\frac{V_{o3}}{V_{i1}'}$. Se interpretează rezultatele.

4. Se realizează montajul de integrator (se leagă borna 11 la borna 7 și borna 8 la masă) (*figura* 6.4) cu R_1 =1,2 kΩ şi C =0,22μF. Se aplică semnal eficace de 1V şi se măsoară amplificarea de tensiune ca funcţie de frecvenţă şi se va reprezenta grafic; se va pune în evidenţă, pe osciloscop, modificarea diferenţei de fază dintre intrare şi ieşire la modificarea frecvenţei semnalului de la intrare.

Se aplică la intrare impulsuri dreptunghiulare cu perioadă T=30ms şi amplitudinea cuprinsă între 1 şi 5V. Se vizualizează (cu ajutorul osciloscopului) formele de undă de la intrare şi

de la ieşire (*figura* 6.5) şi se măsoară ΔV (cu ajutorul osciloscopului), comparând rezultatul cu valoarea obţinută cu relaţia **(6.7)**.

Se modifică, în limite largi, frecvenţa impulsurilor de comandă şi se vizulalizează forma de undă de la ieşire. Se interpretează rezultatele.

5. Se realizează montajul de comparator (se introduce o sursă de tensiune înainte de borna 8 și se leagă borna 13 cu borna 7) (*figura 6.*6) cu R_1 =1,2 kΩ ; R_5 = 1,2kΩ ; R_6' =12kΩ şi E_R =0. Se aplică pe intrare o tensiune continuă reglabilă (eventual de la repetorul de tensiune cu borna 14 cuplată succesiv la cele două borne de alimentare, tensiunea fiind reglabilă prin potenţiometru) şi se măsoară tensiunile de ieşire în cele două stări şi tensiunile de prag V_{p1} şi V_{p2}. Se deduce mărimea histerezisului şi se verifică relaţia **(6.10)**.

Se vizualizează, pe osciloscop, caracteristica de transfer (*figura* 6.7), aplicând pe intrarea comparatorului, prin intermediul repetorului de tensiune, un semnal de frecvenţă 200 Hz şi amplitudine mare (potenţiometrul *P* la maxim). La intrarea **X** a osciloscopului se aplică tensiunea de intrare iar la intrarea **Y** semnalul de la ieşirea comparatorului (borna 7).

Se modifică frecvenţa semnalului şi se constată influenţa acesteia asupra formei caracteristicii de transfer; se justifică, teoretic, modificările caracteristicii de transfer.

Se repetă măsurătorile pentru R_6'' =120 kΩ; E_R =0 şi apoi pentru R_6'' =120 kΩ ; $E_R = \frac{R_6''}{R_5 + R_6''} E_+$. Se verifică relaţiile **(6.8)**, **(6.9)** şi **(6.10)**.

6. Se realizează generatorul de impulsuri dreptunghiulare (se leagă borna 11 la masă, borna 9 la borna 7, borna 13 la borna 7 și se introduce o sursă de tensiune la borna 8) (*figura* 6.8) cu R_2' =12kΩ ; R_5=1,2kΩ ; R_6'' =120 kΩ; E_R =0 şi C =0,22 μF. Se vizualizează formele de undă de la ieşirea circuitului şi de pe borna inversoare a AO. Se măsoară amplitudinile impulsurilor, frecvenţa de oscilaţie şi factorul de umplere, verificându-se relaţia *(6.11)*. Se repetă măsurătorile pentru R_6' =12 kΩ.

Pentru R_6' =12kΩ , rezistenţa R_5 se cuplează la ieşirea repetorului de tensiune, iar la borna 14 se aplică tensiunea de alimentare pozitivă, E_+. Se vizualizează forma de undă la ieşirea şi la intrarea inversorului AO, astfel încât pe osciloscop să se vadă şi componenta continuă a tensiunii vizualizate.

Se constată influenţa tensiunii de referinţă asupra frecvenţei impulsurilor şi a factorului de umplere.

Pentru E_R =0 ; 2; 3; 4 V se măsoară T_1 , T_2 , f şi n şi se compară cu valorile obţinute cu relaţiile **(6.12)**, **(6.13)** şi **(6.14)**.

Referatul va conţine:

Referatul va conţine schemele electrice ale tuturor montajelor măsurate cu :

- valorile numerice ale componentelor ;
- relaţiile de calcul specifice ;
- formele de undă vizualizate în comparaţie ;
- tensiunile de intrare, atunci când este cazul ;
- valorile mărimilor electrice măsurate şi calculate precum şi comentarii asupra acestora.

Datasheet-uri :
http://www.datasheetcatalog.org/datasheet/SGSThomsonMicroelectronics/mXssuwx.pdf