

LUCRAREA nr. 6

CIRCUITE ELEMENTARE CU AMPLIFICATOARE OPERAȚIONALE

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

1. Amplificatorul inversor

Amplificatorul inversor are schema din figura 6.1.

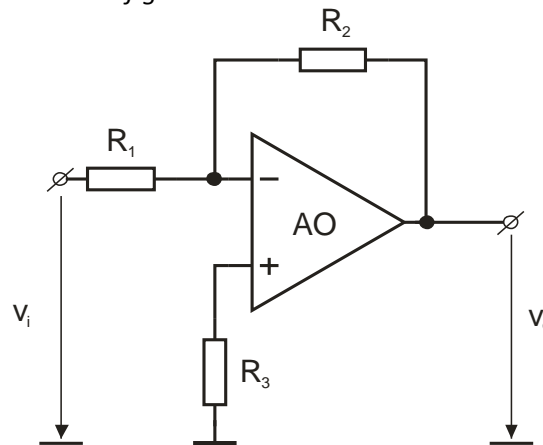


Fig. 6.1 Amplificatorul inversor

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

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

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 operațional, A_0 , devine importantă, relația (6.1) fiind înlocuită de relația :

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

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:

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

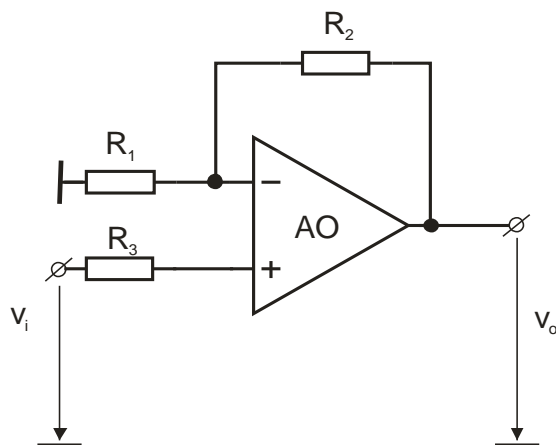


Fig. 6.2. Amplificatorul neinversor

3. Repetorul de tensiune

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

$$A_u = 1 \quad (6.4)$$

Repetorul de tensiune realizat cu AO prezintă amplificare de tensiune unitară, impedanță de intrare foarte mare și impedanță de ieșire foarte mică.

4. Amplificatorul diferențial realizat cu AO

Amplificatorul diferențial realizat cu AO este reprezentat în figura 6.3.

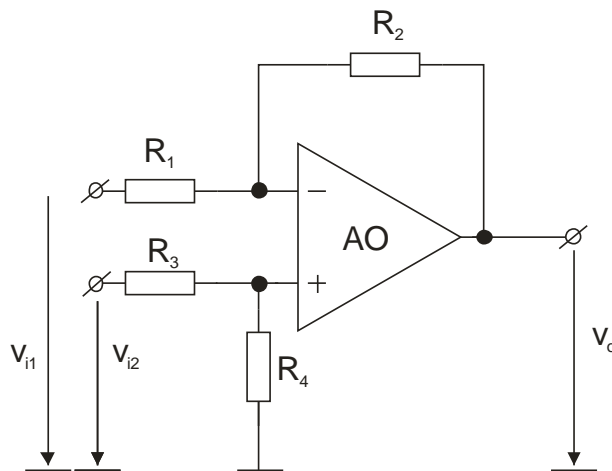


Fig. 6.3 Amplificatorul diferențial

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

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

Condiția ca circuitul să se comporte ca un amplificator diferențial este:

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

Astfel, tensiunea de ieșire va fi:

$$v_o = -\frac{R_2}{R_1}(v_{i1} - v_{i2}) \quad (6.6)$$

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

5. Integrator cu AO

În figura 6.4 este reprezentat un integrator cu AO.

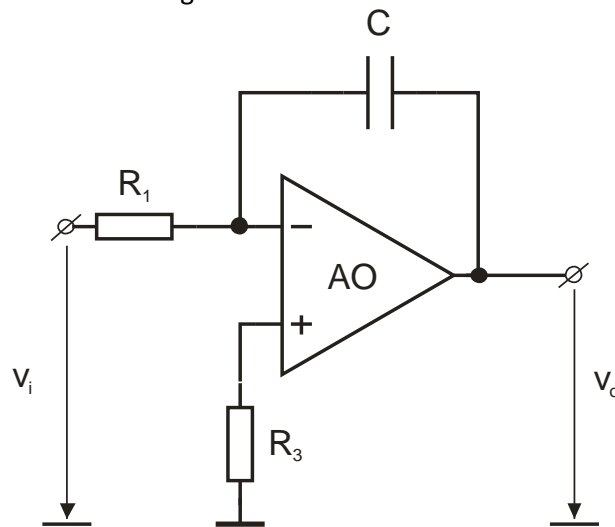


Fig. 6.4 Amplificator integrator

Pentru semnal sinusoidal de amplitudine constantă (U_1) și cu frecvență variabilă (f), integratorul furnizează la ieșire un semnal cu aceeași frecvență, cu amplitudinea dependentă de frecvență (prin intermediul pulsației) și de elementele circuitului ($v_o = \frac{U_1}{\omega CR_1}$) și defazat față de semnalul de intrare cu o fază dependentă de frecvență ($\Phi = \arctg \omega CR$), unde $\omega = 2\pi f$.

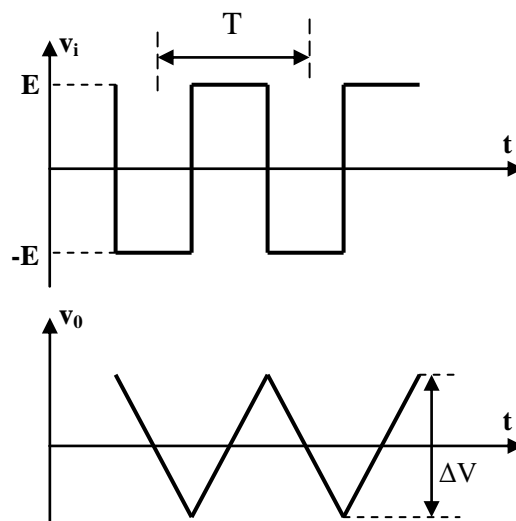


Fig. 6.5. Forma de undă a semnalului furnizat la ieșirea integratorului

Pentru un salt de tensiune aplicat la intrarea inversoare, răspunsul este exponențial. În cazul unei succesiuni de impulsuri, dacă durata impulsurilor este mică în raport cu constanta de timp CR_1 , atunci circuitul funcționează ca un integrator, dând la ieșire o tensiune aproape continuă, egală cu componenta continuă a impulsurilor aplicate la intrare. În *figura 6.5* se arată forma de undă obținută la ieșire în cazul aplicării unor impulsuri cu factorul de umplere egal cu 0,5 .

Se obține:

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

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

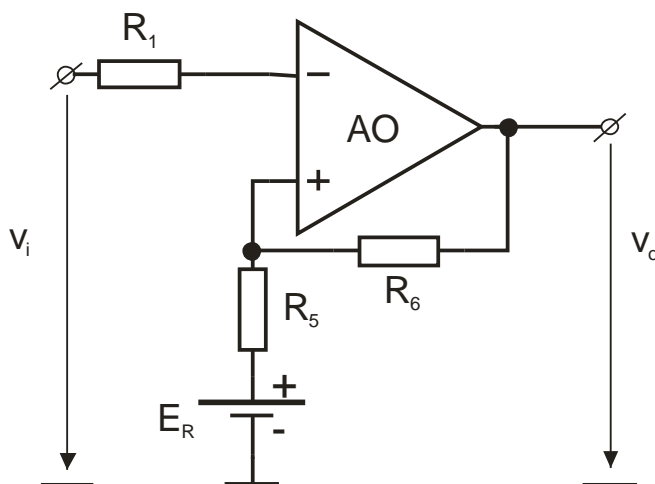


Fig.6.6 Comparatorul cu histerezis

Comparatorul cu histerezis din *figura 6.6* folosește amplificatorul operațional cu o reacție pozitivă realizată cu rezistențele R_5 și R_6 . Se obține o caracteristică de transfer cu histerezis, ca în *figura 6.7*, unde s-au folosit notațiile:

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

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

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

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 rezistențelor R_5 și R_6 se modifică lărgimea histerezisului (ΔV_H), iar cu ajutorul tensiunii de referință E_R se precizează poziția acestuia față de origine.

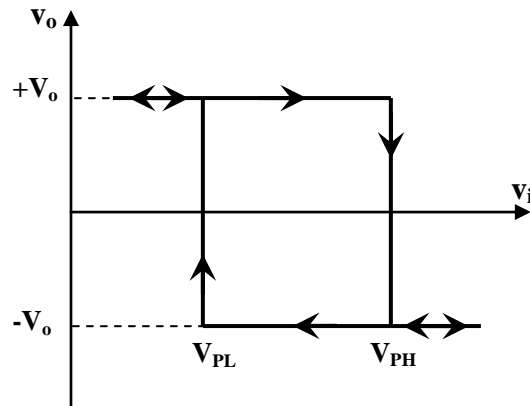


Fig.6.7 Caracteristica de transfer a comparatorului cu histerezis

7. Generator de impulsuri dreptunghiulare cu AO

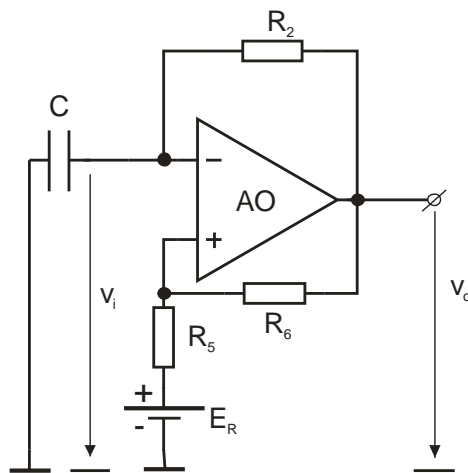


Fig.6.8 Generatorul de impulsuri dreptunghiulare

Un generator de impulsuri dreptunghiulare cu AO se poate realiza ca în *figura 6.8*, în care se folosește circuitul de comparare cu histerezis din *figura 6.6*, tensiunea de la intrarea sa fiind tensiunea de pe capacitatea C , variabilă în timp; încărcarea și descărcarea acestei capacități se fac prin rezistența R_2 de la ieșirea AO, care stă în una din cele două stări stabile în funcție de semnul diferenței 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 diferența valorilor absolute ale tensiunii de ieșire a AO în cele două stări).

Perioada impulsurilor va fi dată de relația:

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

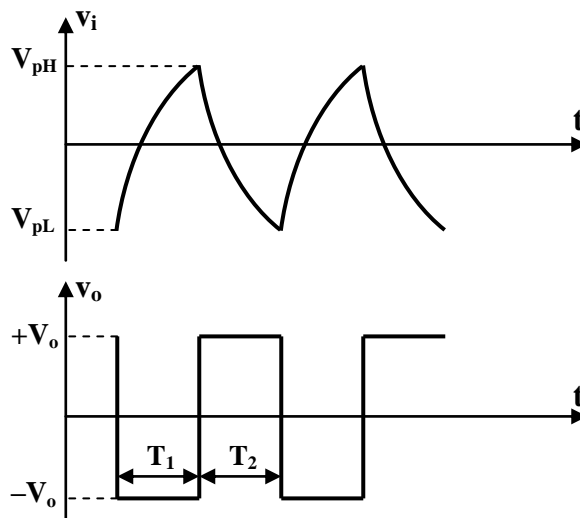


Fig.6.9 a Formele de undă de la intrarea și de la ieșirea generatorului de impulsuri pentru $E_R=0$

În cazul în care $E_R \neq 0$, se obțin impulsuri cu factor de umplere diferit de 0,5 (figura 6.9.b),

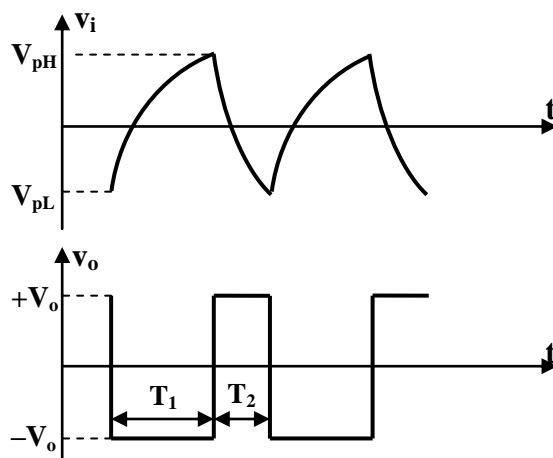


Fig.6.9 b. Formele de undă de la intrarea și de la ieșirea generatorului de impulsuri pentru $E_R \neq 0$

caracterizate prin:

$$T_1 = CR_2 \ln \frac{V_0 - V_{p1}}{V_0 - V_{p2}}, T_2 = CR_2 \ln \frac{V_0 + V_{p1}}{V_0 + V_{p2}} \quad (6.12).$$

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

Pentru $E_R = 0$, frecvența impulsurilor se reglează din modificarea histerzisului circuitului (raportul rezistențelor R_5 și R_6). Pentru $E_R \neq 0$, prin modificarea tensiunii de referință, se modifică atât frecvența cât și factorul de umplere al impulsurilor generate:

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

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

DESFĂȘURAREA LUCRĂRII

Se identifică montajul din *figura 6.10*, echipat cu amplificatoare operaționale $\mu A741$, caracterizate prin $A_0 = 100.000$. Circuitul se alimentează cu tensiunile de alimentare +15V (borna 2 față de masă) și -15V (borna 3 față de masă (borna 1)).

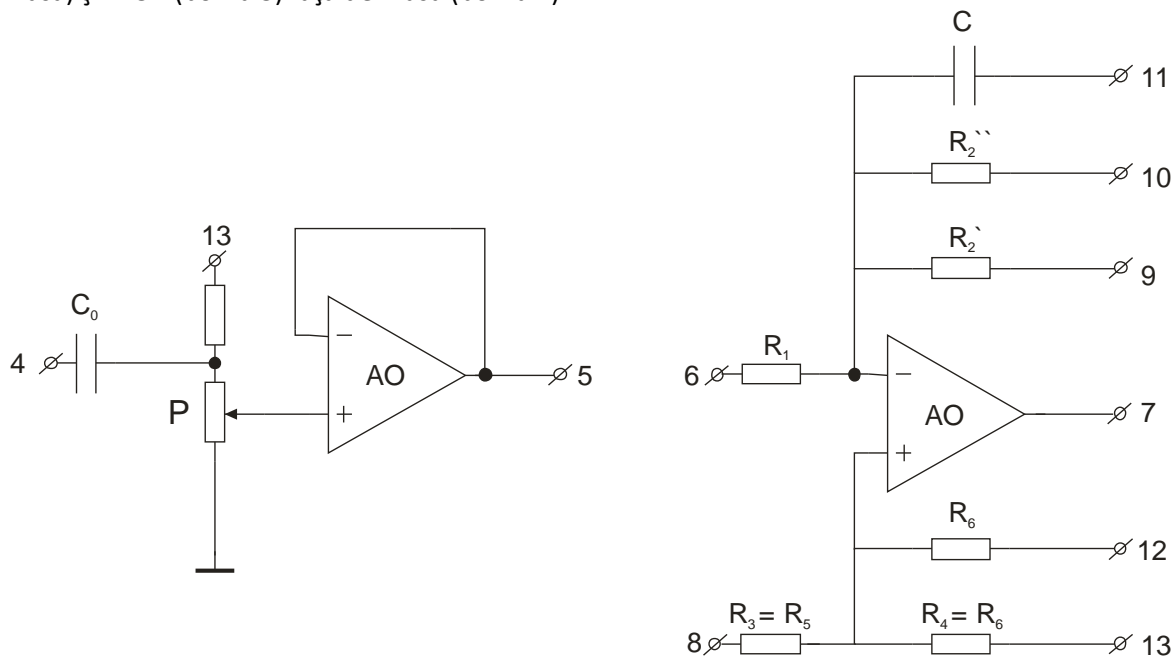


Figura 6.10 Montajul de laborator

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

1. Se realizează schema de amplificator inversor (*figura 6.1*) cu rezistențele $R_1 = 1,2 \text{ k}\Omega$ și $R_2' = 12 \text{ k}\Omega$ (se leagă cu un fir borna 7 cu borna 9 și se pune la masă borna 8). Se aplică semnal sinusoidal de frecvență 200 Hz. Pentru o tensiune de ieșire de 5V (între borna 7 și masa (borna 1) (valoare eficace), se măsoară amplificarea de tensiune (A_u) și se compară cu rezultatul obținut cu relația (6.1). Se compară faza semnalului de ieșire cu faza semnalului de la intrare, pe osciloscop, constatându-se inversarea de fază a semnalului amplificat.

Se repetă măsurătoarea pentru $R_2'' = 4.7 \text{ M}\Omega$ (se leaga borna 7 cu borna 10 (se scoate din borna 9)) și se compară cu rezultatele obținute cu relațiile (6.1) și (6.2). Se vor explica diferențele constatate.

Pentru ambele valori ale rezistenței R_2 se trasează caracteristica de frecvență (pentru R_2' se ia $V_i = 100\text{mV}$ iar pentru R_2'' se ia $V_i = 2\text{mV}$).

2. Se realizează schema de amplificator neinversor (*figura 6.2*) cu $R_2' = 12\text{k}\Omega$ și $R_1 = 1,2 \text{ k}\Omega$ (se leagă borna 6 la masă (borna 1) și borna 9 cu borna 7); se aplică semnal sinusoidal de frecvență 200 Hz și amplitudine

100 mV și se măsoară amplificarea de tensiune, comparându-se – cu ajutorul osciloscopului – și fazele tensiunilor de intrare și de ieșire.

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

Rezultatele măsurărilor pentru aceste două montaje se compară cu valorile obținute cu relațiile (6.3) și (6.4). Pentru montajul de amplificator neinvertor se ridică și caracteristica de frecvență.

3. Se realizează schema de amplificator diferențial (se leagă borna 13 la masă și borna 7 cu borna 10) (figura 6.3) cu $R_1 = 1,2\text{k}\Omega$, $R_2' = 12\text{k}\Omega$, $R_3 = 1,2\text{k}\Omega$ și $R_4 = 12\text{k}\Omega$. Se aplică semnale cu frecvențe de 200 Hz, astfel:

- $V_{i1} = 100\text{mV}$; $V_{i2} = 0$; se măsoară V_{o1}
- $V_{i1} = 0$; $V_{i2} = 100\text{mV}$; se măsoară V_{o2}
- $V_{i1}' = V_{i2}' = 1\text{V}$; se măsoară V_{o3} .

Se determină amplificarea de tensiune de mod diferențial definită ca $\frac{V_{o1}}{V_{i1}}$ sau $\frac{V_{o2}}{V_{i2}}$ și

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 $R_1 = 1,2\text{k}\Omega$ și $C = 0,22\mu\text{F}$. Se aplică semnal eficace de 1V și se măsoară amplificarea de tensiune ca funcție de frecvență și se va reprezenta grafic; se va pune în evidență, pe osciloscop, modificarea diferenței de fază dintre intrare și ieșire la modificarea frecvenței semnalului de la intrare.

Se aplică la intrare impulsuri dreptunghiulare cu perioadă $T = 30\text{ms}$ și amplitudinea cuprinsă între 1 și 5V. Se vizualizează (cu ajutorul osciloscopului) formele de undă de la intrare și de la ieșire (figura 6.5) și se măsoară ΔV (cu ajutorul osciloscopului), comparând rezultatul cu valoarea obținută cu relația (6.7).

Se modifică, în limite largi, frecvența impulsurilor de comandă și se vizualizează forma de undă de la ieșire. 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 $R_1 = 1,2\text{k}\Omega$; $R_5 = 1,2\text{k}\Omega$; $R_6' = 12\text{k}\Omega$ și $E_R = 0$. 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 potențiometrul) și se măsoară tensiunile de ieșire în cele două stări și tensiunile de prag V_{p1} și V_{p2} . Se deduce mărimea histerezisului și se verifică relația (6.10).

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

Se modifică frecvența semnalului și se constată influența acesteia asupra formei caracteristicii de transfer; se justifică, teoretic, modificările caracteristicii de transfer.

Se repetă măsurătorile pentru $R_6'' = 120 \text{ k}\Omega$; $E_R = 0$ și apoi pentru $R_6'' = 120 \text{ k}\Omega$;
 $E_R = \frac{R_6}{R_5 + R_6} E_+$. Se verifică relațiile (6.8), (6.9) și (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 $R_2' = 12 \text{ k}\Omega$; $R_5 = 1,2 \text{ k}\Omega$; $R_6'' = 120 \text{ k}\Omega$; $E_R = 0$ și $C = 0,22 \text{ }\mu\text{F}$. Se vizualizează formele de undă de la ieșirea circuitului și de pe borna inversoare a AO. Se măsoară amplitudinile impulsurilor, frecvența de oscilație și factorul de umplere, verificându-se relația (6.11). Se repetă măsurătorile pentru $R_6' = 12 \text{ k}\Omega$.

Pentru $R_6' = 12 \text{ k}\Omega$, rezistența R_5 se cuplează la ieșirea repetorului de tensiune, iar la borna 14 se aplică tensiunea de alimentare pozitivă, E_+ . Se vizualizează forma de undă la ieșirea și la intrarea inversorului AO, astfel încât pe osciloscop să se vadă și componenta continuă a tensiunii vizualizate.

Se constată influența tensiunii de referință asupra frecvenței impulsurilor și a factorului de umplere.

Pentru $E_R = 0$; 2; 3; 4 V se măsoară T_1 , T_2 , f și n și se compară cu valorile obținute cu relațiile (6.12), (6.13) și (6.14).

Referatul va conține:

Referatul va conține schemele electrice ale tuturor montajelor măsurate cu :

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

Datasheet-uri :

<http://www.datasheetcatalog.org/datasheet/SGSThompsonMicroelectronics/mXssuwx.pdf>