

Lucrarea 5.

CONFIGURAȚII DE BAZĂ ALE A.O.

ELEMENTE DE TEORIE

În prezentarea teoretică a configurațiilor de bază ale A.O. se va presupune că sunt îndeplinite condițiile A.O. ideal (impedanță de intrare și amplificarea în buclă deschisă infinite și impedanță de ieșire nulă).

1. Configurația amplificator neinversor

Schema de bază pentru această configurație este prezentată în Fig. 1. Semnalul de intrare este aplicat pe intrarea neinversoare prin rezistorul R.

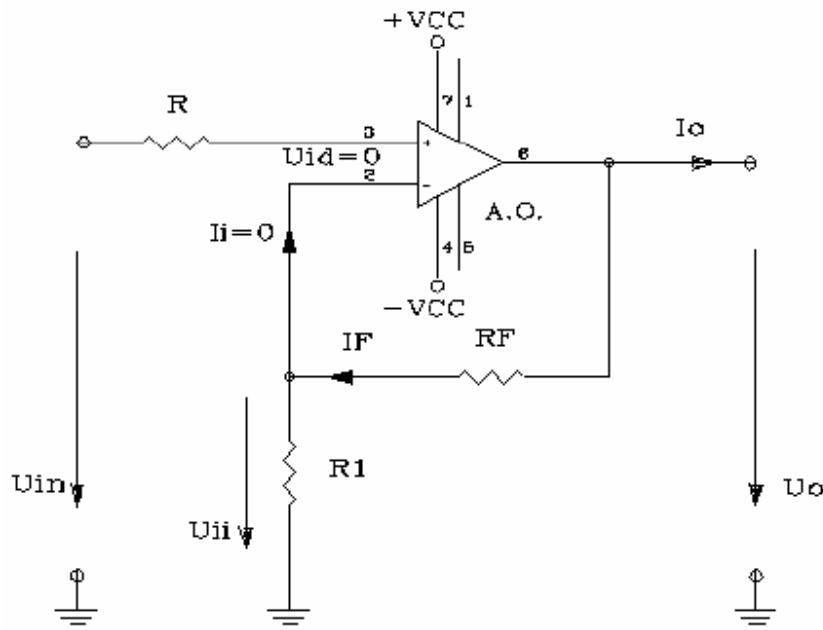


Fig. 1

Datorită faptului că prin R nu trece curent (impedanță de intrare infinită), acesta este echipotențial. În plus, tensiunea diferențială de intrare a A.O. poate fi considerată nulă (amplificare în buclă deschisă infinită) și în aceste condiții potențialul intrării inversoare este practic nul. Se observă că:

1. $U_i = U_{ii} = R_1 I_F$ și
2. $U_o = R_F I_F + R_1 I_F$; rezultă amplificarea în tensiune:
3. $A_R = \frac{U_o}{U_i} = \frac{R_F I_F + R_1 I_F}{R_1 I_F} = 1 + \frac{R_F}{R_1}$

Impedanța de intrare în etajul amplificator neinversor este dată de impedanța de intrare a circuitului integrat folosit, practic nefiind influențată de valoarea rezistenței R.

Impedanța de ieșire este aproape nulă datorită reacției negative puternice.

Trebuie observat că amplificarea în tensiune nu depinde decât de raportul $\frac{R_F}{R_1}$, ceea ce permite, în cele mai multe aplicații, înlocuirea unui A.O. cu altul de același tip fără a fi necesare reglaje suplimentare, dacă nu este necesară compensarea tensiunii de offset.

Semnul pozitiv al amplificării denotă sinfazismul tensiunii de intrare cu cea de ieșire, de unde și numele de configurație neinversoare.

Rezistorul R are rolul de a micșora deriva termică a montajului prin egalizarea căderilor de tensiune datorate curenților de polarizare.

Curenții de polarizare sunt curenți absorbiți sau injectați de intrări (în funcție de tipul de tranzistoare cu care acestea sunt realizate, respectiv NPN sau PNP). Datorită modificării tensiunii B-E cu temperatura, curenții de polarizare se modifică și ei.

Acești curenți dau naștere pe impedanțele echivalente "văzute" de intrări la căderi de tensiune. Dacă impedanțele echivalente ale celor două intrări sunt egale, se minimizează efectul variației termice a curenților de polarizare, datorită amplificării de mod comun foarte mici a A.O. Cu alte cuvinte, pentru impedanțe de intrare echivalente egale pe cele două intrări, modificarea curenților de polarizare nu generează tensiune de intrare de mod diferențial:

Tensiunea diferențială de intrare datorată inegalității curenților de polarizare este:

$$4. \quad U_{idp} = U_{inp} \quad U_{iip} = Z_1 * I_{np} \quad Z_2 * I_{ip}, \text{ sau pentru } Z_1 = Z_2 = Z,$$

$$5. \quad U_{idp} = Z(I_{np} - I_{ip})$$

Datorită modificării temperaturii apar suplimentar I'_{np} , pe intrarea neinversoare și respectiv I'_{ip} , pe intrarea inversoare:

6. $U'_{idp} = Z_1(I_{inp} + I'_{inp}) + Z_2(I_{ip} + I'_{ip})$ Pentru $Z_1 = Z_2 = Z$ se obține:

7. $U'_{idp} = Z(I_{inp} + I_{ip}) + Z(I_{inp} - I'_{ip})$

În formula de mai sus primul termen reprezintă tensiunea de intrare de mod comun iar cel de-al doilea tensiunea de intrare de mod diferențial, datorate modificării valorii curenților de polarizare a intrărilor, ca urmare a modificării de temperatură.

Deoarece tranzistoarele etajului diferențial de intrare se pot considera identice cea de-a doua paranteză este nulă ($I'_{inp} = I'_{np}$) și deci deriva termică nu afectează tensiunea diferențială de intrare.

După cum este cunoscut A.O. prezintă o importantă rejecție a tensiunii de mod comun și ca urmare componenta nenulă $Z(I_{inp} + I_{ip})$ nu generează o variație semnificativă a tensiunii de ieșire.

Pentru derivă termică minimă R se calculează cu formula:

8. $R = \frac{R_F * R_1}{R_F + R_1} R_g$, unde R_g este rezistența internă a generatorului semnalului de intrare sau pentru valori suficient de mici ale rezistenței interne a generatorului de intrare R_g ,

9. $R = \frac{R_F * R_1}{R_F + R_1}$.

2. Etajul repettor

Cu ajutorul A.O. se pot realiza două tipuri de etaje repetoare:

↳ Repettor neinversor, și

↳ Repettor inversor.

Configurația amplificator repettor se obține pornind de la configurația amplificator neinversor, ca un caz particular, atunci când R_1 tinde la infinit și/sau R_F tinde la 0.

Schema unui A.O. în configurație amplificator repettor este prezentată în Fig. 2.

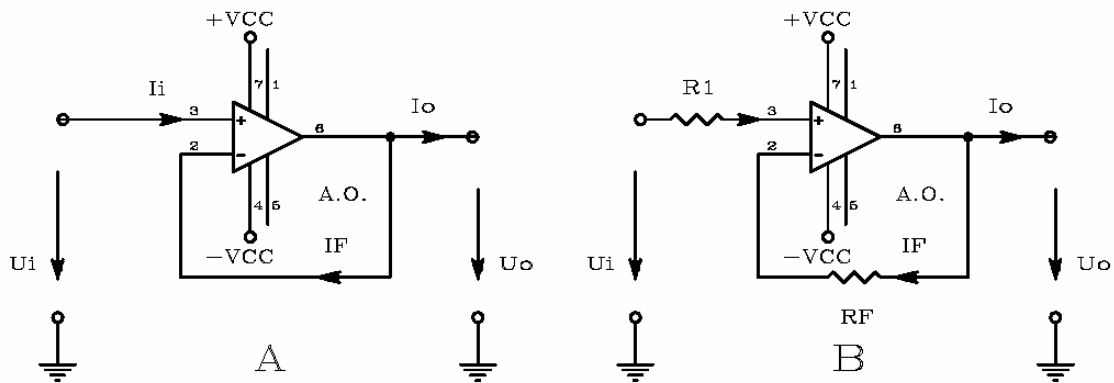


Fig. 2

Pentru ambele cazuri se obține ecuația:

10.
$$A_R = \frac{U_o}{U_i} = 1 \quad (U_{id} = 0; \quad I_F = 0),$$
 din care se observă că tensiunea de ieșire este egală și în fază cu tensiunea de intrare.

Circuitul este caracterizat de amplificarea în putere a semnalului ca urmare a impedanței mari de intrare (teoretic infinită) și a impedanței practice nule de ieșire. Aceste caracteristici justifică numele de configurație amplificator (în curent) repetor (de tensiune).

În Fig. 2-B s-au introdus suplimentar R_1 și R_F . Ele au rolul de a minimiza deriva termică a montajului. Ca și în cazul amplificatorului inversor, condiția care se pune este ca A.O. să "vadă" pe ambele intrări aceeași impedanță, ceea ce duce la transformarea tensiunii de decalaj la intrare, datorată derivatei termice a curenților de polarizare, în tensiune de mod comun.

3. Configurația amplificator diferențial

În această configurație A.O. este folosit pentru a amplifica semnale diferite aplicate pe cele două intrări, rezultând la ieșire diferența ponderată a celor două (sau mai multe) semnale.

Schema de principiu a acestei configurații este prezentată în fig. 3.

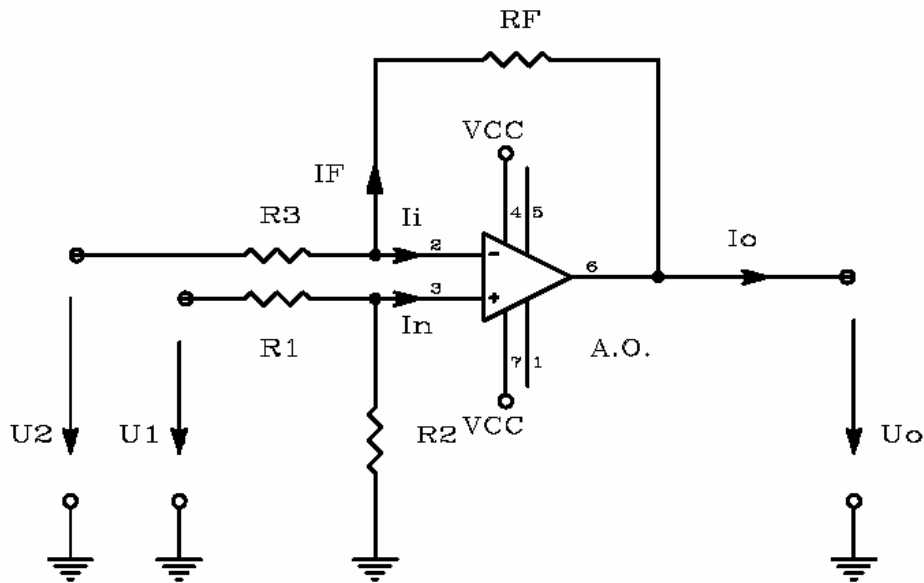


Fig. 3

Considerând schema compusă dintr-un amplificator neinversor suprapus unui amplificator inversor, cu teorema superpoziției se poate scrie direct tensiunea de ieșire:

$$11. \quad U_o = U_1 \frac{R_2}{R_1 + R_2} \left(1 + \frac{R_F}{R_3} \right) + U_2 \frac{R_F}{R_3}$$

Din relație se poate constata amplificarea diferită a celor două semnale. Condiția ce trebuie pusă pentru a obține amplificări egale pentru semnalele aplicate pe cele două intrări este :

$$12. \quad \frac{R_1}{R_2} = \frac{R_3}{R_F}.$$

Dacă este îndeplinită condiția de mai sus se obține următoarea relație pentru semnalul de ieșire:

$$13. \quad U_o = \frac{R_F}{R_3} (U_1 - U_2)$$

Această relație justifică numele de amplificator diferențial deoarece semnalul de ieșire este proporțional cu diferența semnalelor de intrare, amplificarea fiind dată de raportul $\frac{R_F}{R_3}$. Se constată deasemenea faptul că impedanțele de intrare sunt diferite pentru cele două intrări:

$$14. \quad Z_1 = R_1 + R_2; \quad Z_2 = R_3$$

Se poate extinde numărul intrărilor prin conectarea a mai multe rezistențe $R_3', R_3'' \dots$ sau similar $R_1', R_1'' \dots$, obținându-se posibilitatea de a se efectua suma algebrică între mai mulți operanzi.

În vederea micșorării derivatei termice a montajului trebuie îndeplinită condiția:

$$R_F \parallel R_3 \parallel R_3' \parallel R_3'' \dots = R_2 \parallel R_1 \parallel R_1' \parallel R_1'' \dots *$$

* Simbolul \parallel semnifică " în paralel cu ".

4. Configurația amplificator derivator

În vederea obținerii derivatei în timp a unui semnal analogic se poate folosi schema din fig. 4.

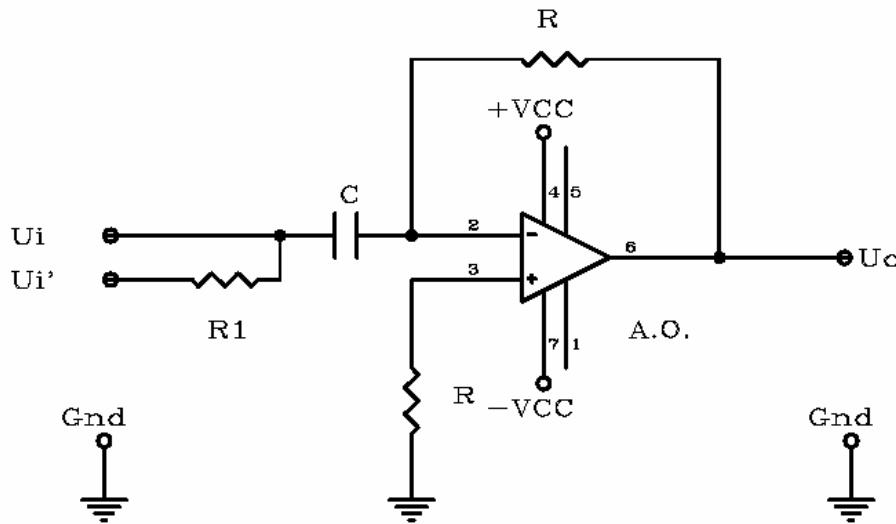


Fig. 4

Pentru început vom considera semnalul de intrare aplicat pe intrarea U_i .

Considerând A.O. ideal, din analiza circuitului din Fig. 4. se obțin relațiile:

$$15. \quad I_C = C \frac{dU_i}{dt},$$

$$16. \quad U_i = U_C,$$

$$17. \quad U_o = RI_C + U_C \quad U_i \text{ și în final, ținând cont de 16 și 17:}$$

$$18. \quad U_o = RC \frac{dU_i}{dt}.$$

Ultima relație arată că tensiunea la ieșirea circuitului amplificator derivator este proporțională cu derivata în timp a tensiunii de intrare, produsul RC jucând rolul amplificării în tensiune.

Rolul rezistorului R , conectat între intrarea neinversoare și masă, este de a minimiza deriva termică.

În practică, funcționarea circuitului este cu atât mai aproape de ecuația dată cu cât frecvența semnalului, f este mai mică decât produsul $R \cdot C$. Se constată experimental că pentru $f < 5R \cdot C$ se obține o precizie mulțumitoare.

Circuitul prezintă următoarele dezavantaje:

- ↳ impedanța de intrare este mică și dependentă de frecvență;
- ↳ circuitul are zgomot propriu pronunțat deoarece amplificarea sa crește cu frecvența;
- ↳ circuitul prezintă tendință de instabilitate.

O soluție pentru îmbunătățirea stabilității este introducerea unei rezistențe (R_1) în serie cu condensatorul C (intrarea U_i'), aceasta având și rolul de a stabiliza într-o oarecare măsură impedanța de intrare. Utilizarea unei valori mari pentru R_1 afectează ecuația tensiunii de ieșire, ceea ce nu este de dorit. De cele mai multe ori se alege o soluție de compromis, care funcționează acceptabil într-o anumită bandă de frecvențe, prin alegerea unei valori corespunzătoare pentru rezistența R_1 .

5. Configurația amplificator intergrator

Această configurație este prezentată în Fig. 5:

Considerând A.O. ideal, se pot scrie următoarele ecuații:

$$19. \quad U_i = RI_i,$$

$$20. \quad U_o = \frac{1}{C} \int_0^t U_i dt + U_C(0), \text{ sau}$$

$$21. \quad U_o = \frac{1}{RC} \int_0^t U_i dt + U_C(0).$$

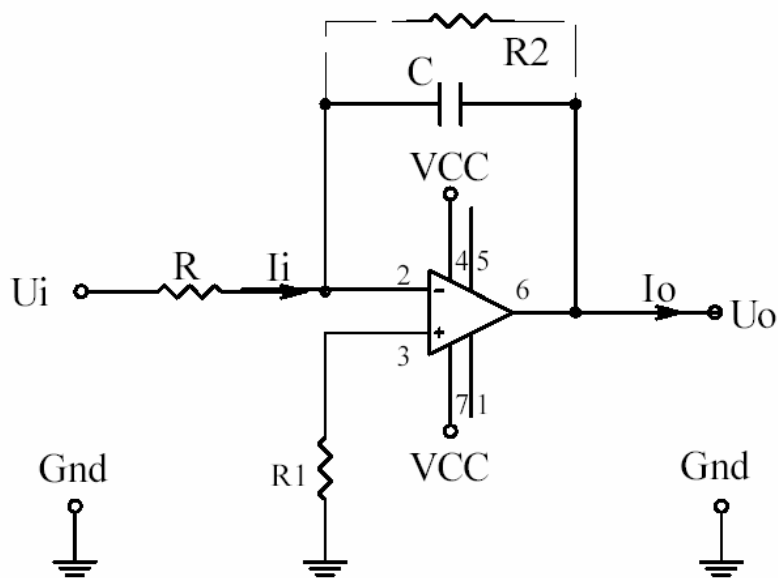


Fig. 5

Ultima relație arată proporționalitatea tensiunii de ieșire cu integrala în timp a tensiunii de intrare.

Funcționarea corectă a acestei configurații este condiționată de excursia de tensiune la ieșirea A.O.

În cazul în care se integrează tensiuni ce conțin și o componentă continuă trebuie limitat timpul de integrare la acele valori ce nu duc la saturarea A.O.

Rezistorul R_1 are rol de stabilizare termică și se dimensionează:
 $R_1 = R$.

În cazul A.O. reale funcționarea schemei este grevată de erori ce apar datorită tensiunii de offset și curenților de polarizare a intrărilor. Influența acestor factori asupra tensiunii de ieșire este dată de ecuațiile de mai jos:

↳ datorită tensiunii de offset:

$$22. \quad U_{oer1} = \frac{1}{RC} \int_0^1 U_{OFF} dt \quad , \text{ și}$$

↳ datorită integrării diferenței curenților de polarizare:

$$23. \quad U_{oer2} = \frac{1}{C} \int_0^1 I_p dt .$$

Limitarea acestor influențe negative se poate obține prin introducerea unei rezistențe (R_2) în paralel cu condensatorul C dar rezultă abateri de la ecuația integrală a tensiunii de ieșire.

Pentru un grup RC dat, schema funcționează cu atât mai bine cu cât frecvența de intrare este mai mică.

Circuitele integratoare prezintă efectul de memorie și de aceea trebuie aduse la 0 cu ajutorul unor contacte de releu sau contactoare statice care descarcă condensatorul C pentru a realiza "condiția inițială nulă" în ecuațiile 22 și 23.

6. Generator de semnal dreptunghiular (oscilator)

Utilizarea A.O. în configurații de generator permite obținerea la ieșirea acestora de oscilații întreținute. În aceste scheme A.O. poate lucra în regiunea liniară, în cazul oscilatoarelor sinusoidale, sau saturat pe intervale (în cazul generatoarelor de semnal "dreptunghiular"), ca cel prezentat în Fig. 6.

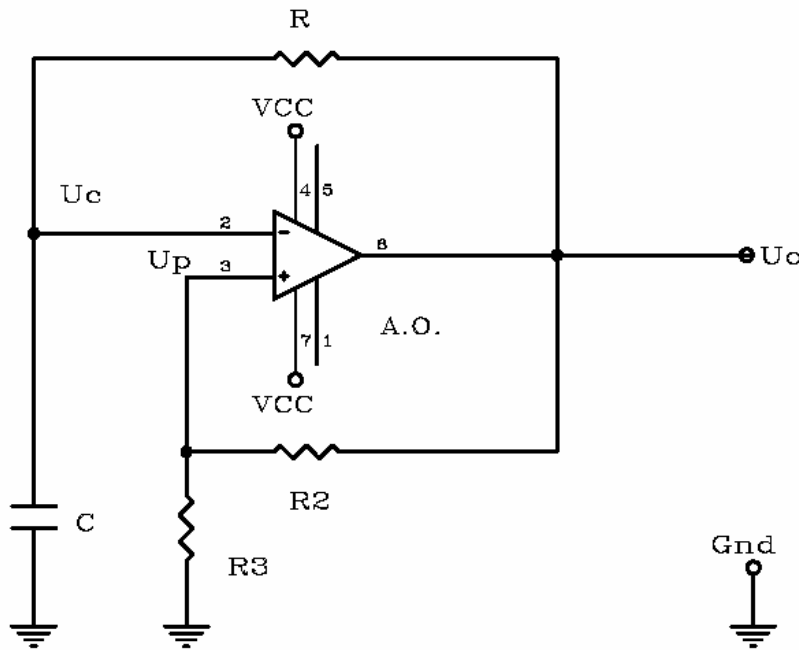


Fig. 6

Schema funcționează cu A.O. saturat pe palierile t_i și t_p (timp de impuls respectiv timp de pauză). Neglijând pierderile de tensiune pe etajul final al A.O. la saturație, se poate calcula tensiunea intrării neinversoare U_p pentru cele două cazuri de saturație (la $+V_{cc}$ și la $-V_{cc}$):

$$24. \quad U_p = V_{cc} \frac{R_3}{R_2 + R_3}, \text{ pentru } U_o = +V_{cc}, \text{ și}$$

$$25. \quad U_p = V_{CC} \frac{R_3}{R_2 + R_3}, \text{ pentru } U_o = V_{CC}.$$

Se obțin astfel două praguri de tensiune (unul pozitiv și unul negativ) între care va evolua tensiunea pe condensatorul C . Atunci când C este descărcat $U_c < U_p$ și ca urmare A.O. este saturat la $+V_{CC}$. Condensatorul C se încarcă prin rezistența R din ieșirea A.O. până când $U_c > U_p$. În această situație $U_{I+} < U_{I-}$ și deci A.O. se saturează la $-V_{CC}$. Se schimbă pragul U_p și C începe să se descarce prin R_1 către ieșirea A.O. până când $U_c < U_p$. În această situație $U_{I+} > U_{I-}$ - din nou și ciclul se reia.

Timpul de încărcare/descărcare al lui C este dat de relația:

$$26. \quad t_i = t_p = RC \ln \frac{1+g}{1-g}, \text{ unde}$$

27. $g = \frac{R_3}{R_2 + R_3}$ este factorul de transfer al căii de reacție pozitivă. Frecvența de oscilație se poate calcula cu formula:

$$28. \quad f = \frac{1}{t_i + t_p}$$

În realitate tensiunile de prag sunt afectate de pierderile de tensiune ale etajului final al A.O., tensiunea pozitivă de saturație a ieșirii fiind mai mică decât V_{CC} iar tensiunea negativă de saturație a ieșirii fiind mai mare decât $-V_{CC}$. Ca urmare timpii t_i și t_p sunt mai mici decât cei calculați cu formulele de mai sus și implicit frecvența f este mai mare. Mărimea erorii depinde de calitatea A.O. folosit (de factorul k de utilizare a tensiunii de alimentare).

7. MODUL DE LUCRU

1. Se ridică schema montajului de laborator și se notează valorile componentelor folosite.

2. Se alimentează montajul de la o sursă diferențială de tensiune cu +/- 12 V.

3. Se studiază funcționarea generatorului de semnal dreptunghiular vizualizând cu osciloscopul și desenând graficul tensiunilor din următoarele puncte:

↳ intrarea neinversoare a A.O. (tensiunile de prag U_p);

↳ intrarea inversoare (tensiunea U_c);

↳ ieșirea A.O. (se compară U_o maxim cu $+V_{CC}$ și U_o minim cu $-V_{CC}$);

↳ borna E1 (semnalul de ieșire atenuat de divizor).

Se vor măsura t_i , t_p și frecvența, și se vor compara valorile măsurate cu cele obținute prin calcul teoretic pe baza valorilor din schemă și a formulelor 27, 28 și 29.

Explicați diferența între rezultatele experimentale și cele calculate.

4. Se studiază funcționarea circuitului integrator aplicând la intrarea I_2 semnalul dreptunghiular de la ieșirea E1 a oscilatorului și se vizualizează pe osciloscopul cu două spoturi, sincron, cele două semnale. Se desenează graficul vizualizat.

5. Se studiază funcționarea circuitului derivator aplicând la intrare semnal dreptunghiular de la ieșirea E1 a oscilatorului, vizualizând sincron intrarea I3 și ieșirea E3.

Se vor desena oscilogramele sincrone intrare/ieșire.

6. Se aplică la intrarea I6 a amplificatorului neinvertor semnal de la ieșirea E1 și se vizualizează semnalul din ieșirea E6. Se calculează cu ajutorul formulei 3 amplificarea teoretică și se compară cu amplificarea obținută practic de montaj.

7. Studiul funcționării amplificatorului diferențial se va realiza aplicând următoarele semnale la intrări:

- la intrarea G , de la o sursă de tensiune continuă se aplică o tensiune în domeniul 0...7,5 V;

- la intrarea I'_5 semnal de la ieșirea E1 a oscilatorului dreptunghiular de pe placă.

Se va nota efectul modificării tensiunii continue de la sursa stabilizată.