

Mircea Bojan

Norbert C. Székely

Sorin I. Salcu

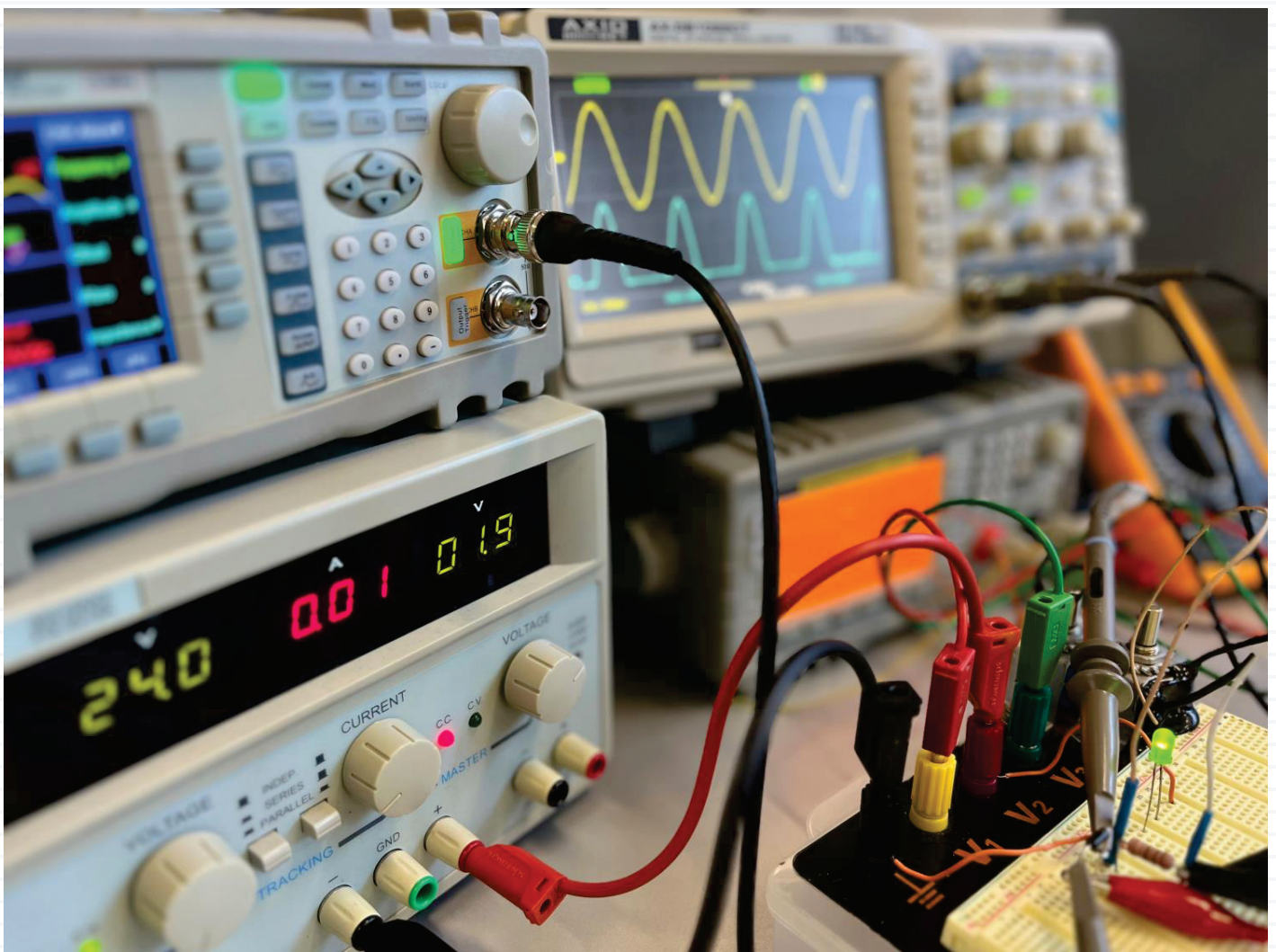
Mircea Ruba

Petre D. Teodosescu



Aplicații Practice de Bază în Electronică

VOLUMUL I



UTPRESS

Cluj-Napoca, 2023

ISBN 978-606-737-692-0

Mircea BOJAN
Norbert C. SZÉKELY
Sorin I. SALCU
Mircea RUBA
Petre D. TEODOSESCU

APLICAȚII PRACTICE DE BAZĂ ÎN ELECTRONICĂ

VOLUMUL I



UTPRESS
Cluj-Napoca, 2023
ISBN 978-606-737-692-0



Editura UTPRESS
Str. Observatorului nr. 34
400775 Cluj-Napoca
Tel.: 0264-401.999
e-mail: utpress@biblio.utcluj.ro
www.utcluj.ro/editura

Director: Dan COLȚEA

Recenzia: Prof.dr.ing. Petre Lucian Ogruțan
Prof.dr.ing. Dorin Marius Petreuş

Pregătire format electronic on-line: Gabriela Groza

Copyright © 2023 Editura UTPRESS

Reproducerea integrală sau parțială a textului sau ilustrațiilor din această carte este posibilă numai cu acordul prealabil scris al editurii UTPRESS.

ISBN 978-606-737-691-3

ISBN 978-606-737-692-0 Volumul I

Cuvânt Înainte

Înțelegerea principiilor de bază ale Electronicii reprezintă o resursă de neînlocuit în procesul de dezvoltare a competențelor studenților care activează în domeniul electric și electronic. O carte aplicativă cu utilizare în cadrul activităților practice de Electronică devine un instrument esențial prin care studenții fac legătura dintre conceptele abstracte și aplicațiile practice. Astfel, prezenta lucrare oferă studenților nu doar cunoștințe teoretice, ci și competențe practice fundamentale.

Scopul principal al acestei cărți este acela de a facilita învățarea aplicativă a principiilor Electronicii, permițând studenților să experimenteze, să construiască și să înțeleagă în detaliu conceptele esențiale ale domeniului. Prin integrarea cunoștințelor teoretice cu aplicații practice, lucrarea își propune să cultive o înțelegere profundă a componentelor și circuitelor electronice de bază.

Cartea propune o serie de experimente și aplicații practice aliniate curriculei universitare, care se adresează cu precădere studenților anului II, dar și tuturor celor interesați, care vin în contact pentru prima dată cu disciplina de Electronică. Prin urmare cele nouă lucrări aplicative, propuse în cadrul acestui manual, abordează tematici ca: studiul unor circuite pasive RC, caracteristicile statice ale diodelor, aplicații ale diodelor redresoare, caracteristicile statice ale tranzistoarelor bipolare, circuit de amplificare cu tranzistor bipolar, utilizarea amplificatorului operațional pentru realizarea mai multor funcții matematice de bază - în ceea ce privește utilizarea acestora în structura unor sisteme de comandă și reglare. Este important de subliniat faptul că prezenta lucrare este previzionată ca un preambul în acest domeniu, deoarece colectivul EPE (Electronică și Electronică de Putere), din cadrul Facultății de Inginerie Electrică a Universității Tehnice din Cluj-Napoca, are în vedere elaborarea unor alte volume asemănătoare, dar care să abordeze tematici din ce în ce mai complexe și direct corelate inclusiv cu activitățile de cercetare în care sunt angrenați studenții din anii superiori de studiu.

Dincolo de cunoștințele teoretice și practice în Electronică, lucrarea pune accent pe dezvoltarea abilităților de lucru în laborator. Ca urmare, studenții experimentează suplimentar utilizarea echipamentelor din laborator precum: osciloscop, generatoare de funcții, surse de alimentare, multimetre și o varietate de componente și circuite electrice și electronice ce populează spațiul de lucru.

Această carte cu aplicații practice de Electronică nu numai că deschide porțile cunoașterii în acest domeniu, dar și îndrumă studenții într-o călătorie aplicativă captivantă. Ea reprezintă o resursă esențială pentru orice student sau profesor implicat în educație, îmbogățind în mod semnificativ procesul de învățare și pregătind viitoarele generații de ingineri pentru provocările complexe ale lumii moderne.

Cuprins

Lucrarea 1. Studiul unor rețele pasive RC.....	6
1.1 Introducere	6
1.2 Considerații teoretice.....	6
1.3 Stand de lucru și Echipamente.....	9
1.4 Mod de Lucru	10
1.4.1 "Filtru Trece Sus"	10
1.4.2 "Filtru Trece Jos"	11
1.4.3 "Filtru Trece Bandă"	12
1.5 Întrebări și teme.....	14
Bibliografie	14
Lucrarea 2. Măsurarea și trasarea caracteristicilor diodelor	15
2.1 Introducere	15
2.2 Considerații teoretice.....	15
2.3 Stand de lucru și Echipamente.....	18
2.4 Mod de Lucru	19
2.4.1 Dioda EFD 108.....	19
2.4.2 Dioda DRR 404	21
2.4.3 Dioda F 407	21
2.4.4 Dioda PL 5V12	22
2.4.5 Dioda LED	23
2.5 Întrebări și teme.....	23
Bibliografie	24
Lucrarea 3. Redresoare necomandate.....	25
3.1 Introducere	25
3.2 Considerații teoretice.....	25
3.2.1 Redresorul monofazat mono-alternanță	25
3.2.2 Redresorul monofazat dublă-alternanță cu priză mediană	26
3.2.3 Redresorul monofazat dublă-alternanță în punte	28
3.2.4 Redresorul monofazat mono-alternanță cu dublare de tensiune (Villard)	29
3.2.5 Redresorul monofazat dublă-alternanță cu dublare de tensiune (Greinacher-Delon)	30
3.3 Stand de lucru și Echipamente.....	31

3.4 Mod de Lucru	32
3.4.1 Redresorul monofazat mono-alternanță	33
3.4.2 Redresorul monofazat dublă-alternanță cu priză mediană	34
3.4.3 Redresorul monofazat dublă-alternanță în punte	36
3.4.4 Redresorul monofazat mono-alternanță cu dublare de tensiune (Villard)	37
3.4.5 Redresorul monofazat dublă-alternanță cu dublare de tensiune (Greinacher-Delon)	39
3.5 Întrebări și teme.....	41
Bibliografie	41
Lucrarea 4. Măsurarea și trasarea familiilor de caracteristici statice ale tranzistoarelor bipolare	43
4.1 Introducere	43
4.2 Considerații teoretice aferente tranzistoarelor bipolare.....	43
4.2.1 Structura internă.....	43
4.2.2. Principii de funcționare	44
4.2.3. Caracteristicile și parametrii tranzistorului bipolar	44
4.3 Stand de lucru și Echipamente.....	46
4.4 Mod de Lucru	48
4.4.1 Măsurarea familiilor de caracteristici statice ale tranzistorului BC 338 - de tip NPN.....	48
4.4.2 Măsurarea familiilor de caracteristici statice ale tranzistorului BC 328 - de tip PNP	53
4.5 Întrebări și teme.....	55
Bibliografie	55
Lucrarea 5. Amplificator de tensiune continuă și alternativă cu un tranzistor bipolar	57
5.1 Introducere	57
5.2 Considerații teoretice.....	57
5.3 Stand de lucru și Echipamente.....	58
5.4 Mod de Lucru	59
5.4.1 Amplificator de tensiune continuă și alternativă.....	59
5.5 Întrebări și teme.....	63
Bibliografie	64
Lucrarea 6. Amplificatorul operațional – funcția sumatoare.....	65
6.1 Introducere	65
6.2 Considerații teoretice.....	65
6.3 Stand de lucru și Echipamente.....	67

6.4 Mod de Lucru	68
6.4.1 Circuit sumator-inversor echipat cu un singur A.O.....	68
6.4.2 Circuit sumator-inversor echipat cu două A.O.....	72
6.5 Întrebări și teme.....	75
Bibliografie	75
Lucrarea 7. Amplificatorul operațional – funcția de scădere	76
7.1 Scopul lucrării.....	76
7.2 Considerații teoretice.....	76
7.3 Stand de lucru și Echipamente.....	78
7.4 Mod de Lucru	79
7.4.1 Circuit de scădere realizat cu două A.O.	79
7.4.2 Circuit de scădere echipat cu un A.O.	83
7.5 Întrebări și teme.....	86
Bibliografie	86
Lucrarea 8. Amplificatorul operațional – funcția de integrare	87
8.1 Scopul lucrării.....	87
8.2 Considerații teoretice.....	87
8.3 Stand de lucru și Echipamente.....	90
8.4 Mod de Lucru	91
8.4.1 Circuit de integrare echipat cu A.O.....	91
8.4.2 Circuit sumator-integrator echipat cu A.O.....	94
8.5 Întrebări și teme.....	97
Bibliografie	97
Lucrarea 9. Amplificatorul operațional – funcția de derivare.....	98
9.1 Scopul lucrării.....	98
9.2 Considerații teoretice.....	98
9.3 Stand de lucru și Echipamente.....	100
9.4 Mod de Lucru	101
9.4.1 Circuit de derivare echipat cu A.O.	101
9.4.2 Circuit sumator-derivator echipat cu A.O.	104
9.5 Întrebări și teme.....	107
Bibliografie	107

Lucrarea 1. Studiul unor rețele pasive RC

1.1 Introducere

În această primă lucrare se face pe de o parte introducerea în modalitatea de lucru specifică activităților aplicative aferente laboratorului de electronică, iar pe de altă parte, ca exemple introductive, se studiază efectul utilizării unor rețele pasive R-C, în trei configurații diferite, asupra unor semnale de tensiune alternativă sinusoidală, respectiv asupra unor semnale de tensiune unipolare dreptunghiulare, aplicate la intrările acestor rețele.

1.2 Considerații teoretice

Atunci când o rețea pasivă R-C aflată în configurația corespunzătoare Figurii 1.1, este utilizată pentru prelucrarea unor semnale de tensiune alternativă sinusoidală, aplicate la intrare, de regulă această rețea poartă denumirea de "Filtru Trece Sus" (F.T.S.). Dacă frecvența tensiunii de intrare este cu cel puțin un ordin de mărime mai mare decât frecvența limită de tăiere (f_L) atunci această tensiune va trece la ieșire fără a fi atenuată și defazată. În schimb, dacă frecvența tensiunii de intrare este semnificativ mai mică decât frecvența limită de tăiere (f_L), atunci la ieșire se obține o tensiune cu o amplitudine mult mai mică (aproape nulă) decât aceea de la intrare și o defazare pozitivă ($+90^\circ$). Cu alte cuvinte, semnalul de la intrare va fi puternic atenuat și defazat în față, practic putem spune că semnalul de tensiune de la intrare este filtrat (eliminat) la ieșire.

Pentru frecvența limită (f_L) (de tăiere), atenuarea limită (A_L) și faza limită (φ_L), corespunzătoare rețelei pasive R-C denumită "Filtru Trece Sus" (F.T.S.), sunt valabile următoarele expresii:

$$f_L = \frac{1}{2\pi RC} \qquad A_L = \frac{U_{ieș}}{U_{in}} = \frac{1}{\sqrt{2}} \qquad \varphi_L = +45^\circ$$

Dacă aceeași rețea pasivă R-C, aflată în configurația corespunzătoare Figurii 1.1, este utilizată pentru prelucrarea unor semnale de tensiune unipolare dreptunghiulare (funcționare în regim de impulsuri), aplicate la intrare, atunci această rețea funcționează pe post de circuit formator de semnal și poartă, în mod uzual, denumirea de "Circuit de Derivare" (C.D.).

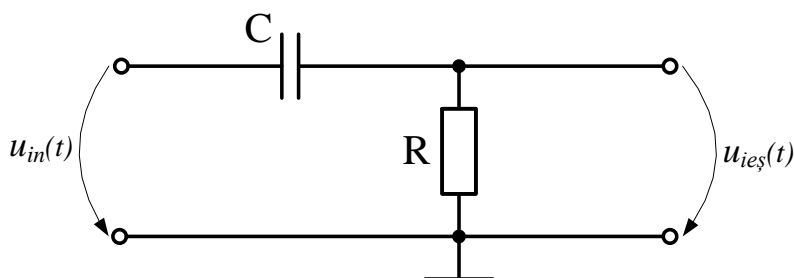


Fig.1.1. Rețeaua pasivă R-C în configurație „Filtru Trece Sus”.

În situația în care o rețea pasivă R-C aflată în configurația corespunzătoare Figurii 1.2, este utilizată pentru prelucrarea unor semnale de tensiune alternativă sinusoidală, aplicate la intrare, de regulă această rețea poartă denumirea de „*Filtru Trece Jos*” (F.T.J.). Dacă frecvența tensiunii de intrare este cu cel puțin un ordin de mărime mai mică decât frecvența limită de tăiere (f_L) atunci aceasta va trece la ieșire fără a fi atenuată și defazată. În schimb, dacă frecvența tensiunii de intrare este semnificativ mai mare în raport cu frecvența limită de tăiere (f_L), atunci la ieșire se obține o tensiune cu o amplitudine mult mai mică (aproape nulă) decât aceea de la intrare și o defazare negativă (-90°). Cu alte cuvinte, semnalul de la intrare va fi puternic atenuat și defazat în urmă, practic putem spune că semnalul de tensiune de la intrare este filtrat (suprimat) la ieșire.

Frecvența limită (f_L) (de tăiere), atenuarea limită (A_L) și faza limită (φ_L) corespunzătoare rețelei pasive R-C denumită „*Filtru Trece Jos*” (F.T.J.) sunt caracterizate de următoarele expresii:

$$f_L = \frac{1}{2\pi RC} \qquad A_L = \frac{U_{ieș}}{U_{in}} = \frac{1}{\sqrt{2}} \qquad \varphi_L = -45^\circ$$

Dacă rețeaua pasivă R-C, aflată în configurația corespunzătoare Figurii 1.2, este utilizată pentru prelucrarea unor semnale de tensiune unipolare dreptunghiulare (funcționare în regim de impulsuri), aplicate la intrare, atunci această rețea funcționează pe post de circuit formator de semnal și poartă, în mod uzual, denumirea de „*Circuit de Integrare*” (C.I.).

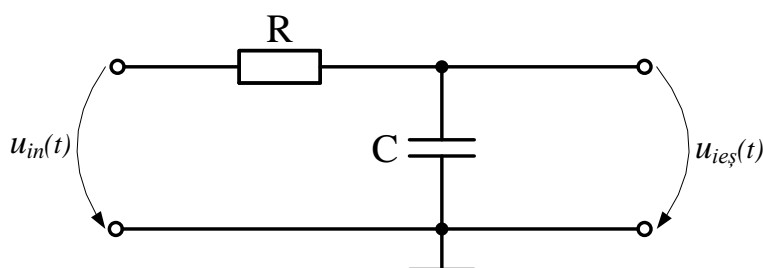


Fig.1.2. Rețeaua pasivă R-C în configurație „*Filtru Trece Jos*”.

Pentru o rețea pasivă R-C care se află în configurația corespunzătoare Figurii 1.3, utilizată la prelucrarea unor semnale de tensiune alternativă sinusoidală, aplicate la intrare, în mod uzual se folosește și denumirea de „*Filtru Trece Bandă*” (F.T.B.). Dacă pulsația tensiunii de intrare are tocmai valoarea pulsației limită a circuitului (ω_L), atunci tensiunea furnizată la ieșire este în fază cu aceea de la intrare dar atenuată de trei ori.

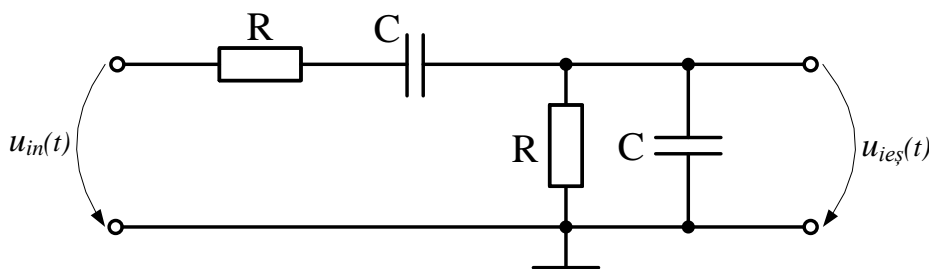


Fig.1.3. Rețeaua pasivă R-C în configurație „*Filtru Trece Bandă*”.

Practic, semnalele de tensiune aplicate la intrare și care au o frecvență mult mai mică decât frecvența limită sunt eliminate, atenuarea circuitului devenind zero iar faza tensiunii de ieșire tinzând către +90°. În mod asemănător, atenuarea circuitului tinde către zero, asociată cu o defazare a tensiunii de ieșire cu -90°, pentru tensiunile de intrare caracterizate de o frecvență mult mai mare decât frecvența limită a circuitului. Ca urmare și aceste semnale de tensiune aplicate la intrare sunt practic eliminate la ieșire.

Pentru pulsația limită (ω_L), raportul dintre pulsația semnalului de intrare și pulsația limită (Ω), atenuarea circuitului (A) și faza semnalului de ieșire (φ) în raport cu semnalul aplicat la intrare, corespunzătoare rețelei pasive R-C denumită "Filtru Trece Bandă" (F.T.B.), sunt valabile următoarele expresii:

$$\omega_L = \frac{1}{RC} \quad \Omega = \frac{\omega_{in}}{\omega_L} \quad A = \sqrt{\frac{1}{7 + \Omega^2 + \frac{1}{\Omega^2}}} \quad \varphi = \arctan \frac{1 - \Omega^2}{3\Omega}$$

Măsurătorile experimentale efectuate asupra celor trei configurații de rețele pasive R-C descrise mai sus, se vor efectua pentru cel puțin trei frecvențe diferite ale semnalelor de tensiune aplicate la intrare, indiferent de natura acestora (continuă sau discontinuă/impulsuri).

Configurația bornelor de conexiune, respectiv a câmpurilor/liniilor corespunzătoare orificiilor care permit introducerea terminalelor componentelor electronice în vederea realizării traseelor specifice circuitelor de studiat, aferente plăcii de experimentare rapidă utilizate, sunt prezentate în Figura 1.4.

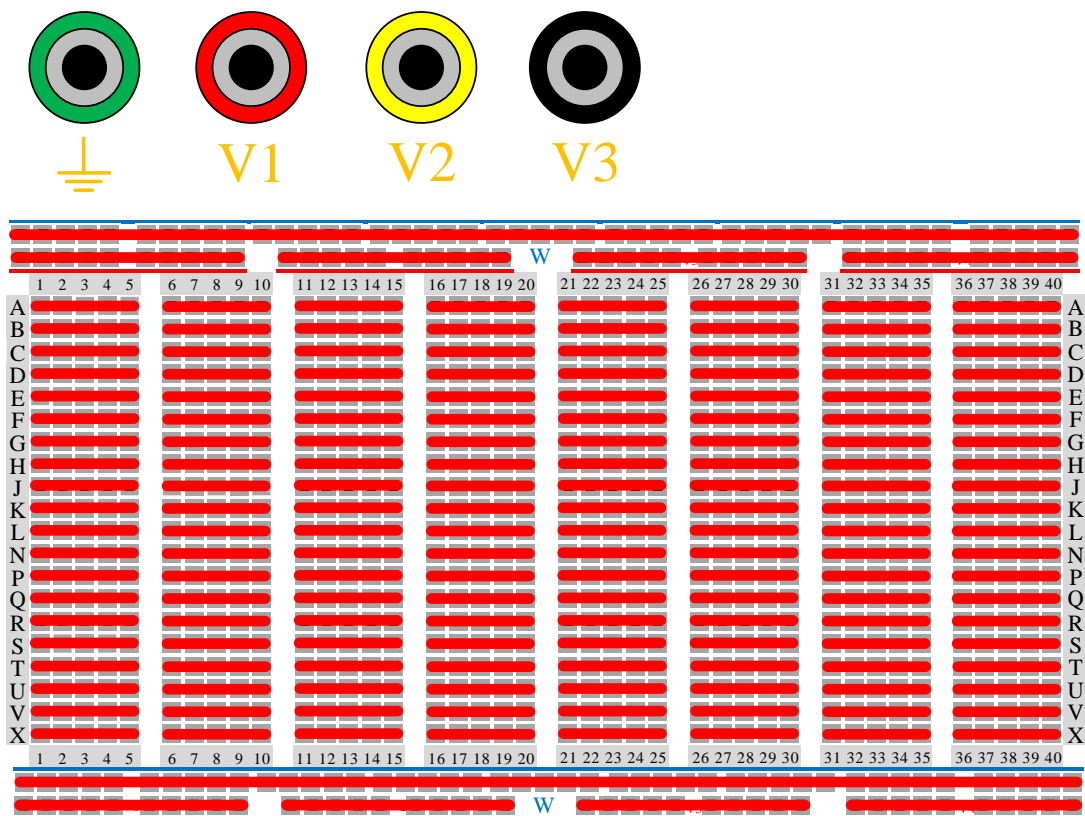


Fig. 1.4. Conexiunile interne ale plăcii de experimentare rapidă.

1.3 Stand de lucru și Echipamente

În cadrul acestui modul aplicativ, se vor realiza măsurători practice asupra unor rețele pasive RC.

Pentru realizarea tuturor aplicațiilor aferente acestei lucrări se vor utiliza următoarele componente, echipamente și aparate de măsură:

1. Placa de experimentare rapidă din Figura 1.5;
2. Condensatoare: 3,3nF - 3buc., respectiv 2,2nF - 2buc.;
3. Rezistențe: 18k Ω - 1buc., respectiv 51k Ω - 2buc.;
4. Pini de măsură: 4buc.;
5. Fire de legătură;
6. Generator semnale de tensiune;
7. Osciloscop Digital - cu minim 2 canale.

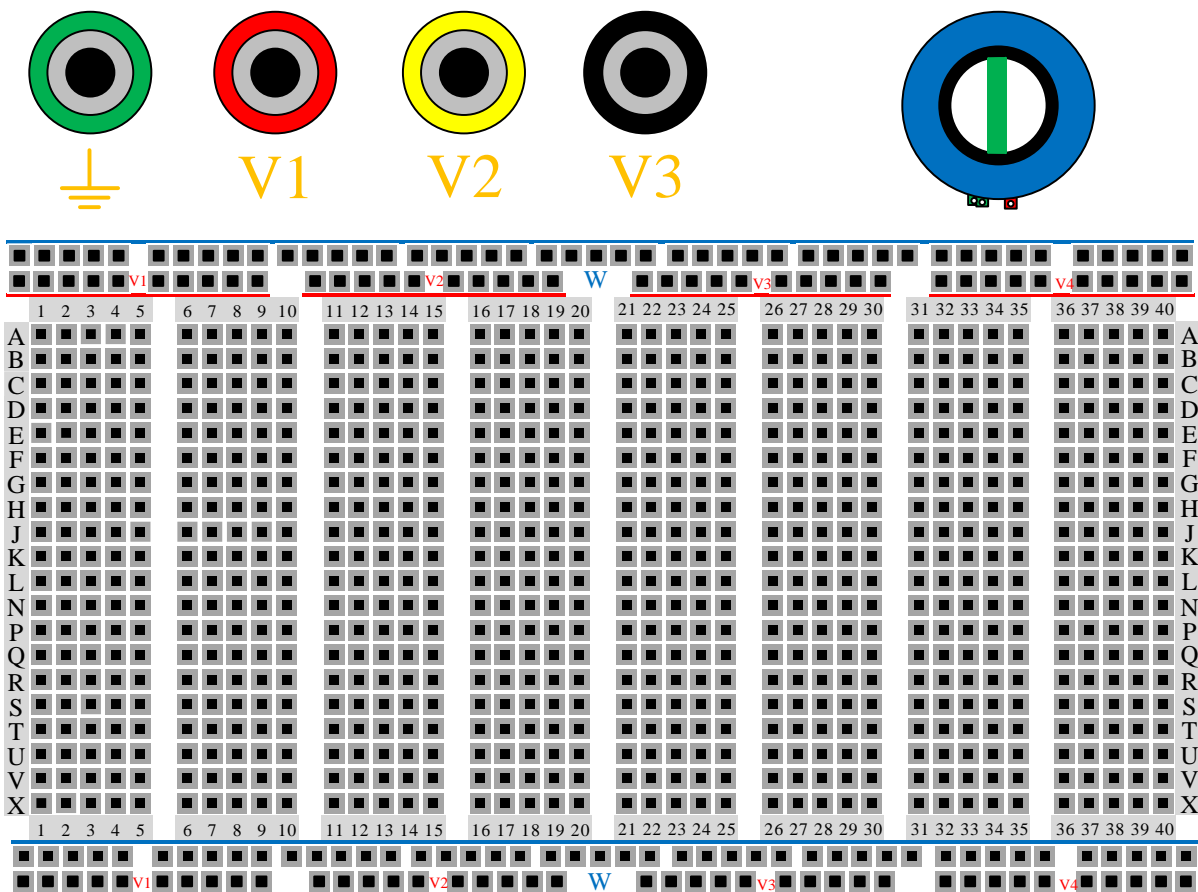


Fig. 1.5. Placă de experimentare rapidă.

1.4 Mod de Lucru

În această secțiune a prezentei lucrări sunt exemplificate modalitățile de realizare rapidă atât a montajelor experimentale cât și a măsurătorilor practice necesare, referitoare la cele trei tipuri de rețele pasive RC care au fost prezentate din punct de vedere teoretic în mod succint în capitolul 1.2.

1.4.1 "Filtru Trece Sus"

Pentru realizarea montajului experimental din Figura 1.6, corespunzător rețelei pasive RC denumită „Filtru Trece Sus”, este necesară parcurgerea secvențială a pașilor descriși mai jos:

1. Se pornește generatorul de semnal și se reglează pe canalul A un semnal sinusoidal (Sine) cu frecvența 1kHz, amplitudinea de 5 Vpp, dar nu se activează ieșirea canalului;
2. Pe placa de experimentare rapidă se realizează conexiunile între punctele: (A5 și A6), respectiv (G5 și G6);
3. Se introduc pini de măsură în punctele (D1, G1, A10 și G10);
4. Se introduce rezistența de 18k Ω între punctele (A8 și G8);
5. Se introduc condensatoarele de 3,3nF în paralel, între punctele: (A2 și D2), (A3 și D3), respectiv (A4 și D4);
6. Cu ajutorul unui cablu de conexiune (cu mufă "BNC" la un capăt și cu 2 fire dotate cu cleme la celălalt) atașat ieșirii canalului A al generatorului de semnal, conectați clema corespunzătoare polarității negative/nulului la pinul plasat în punctul G1, iar clema corespunzătoare polarității pozitive/fazei la pinul plasat în punctul D1;
7. Canalul A al Osciloscopului se conectează prin intermediul unei sonde cu borna negativă la pinul plasat în punctul G1, apoi borna pozitivă se conectează la pinul aflat în punctul D1;
8. Canalul B al Osciloscopului se conectează prin intermediul altei sonde cu borna pozitivă la pinul poziționat în punctul A10;
9. **Se verifică montajul de către cadrul didactic;**

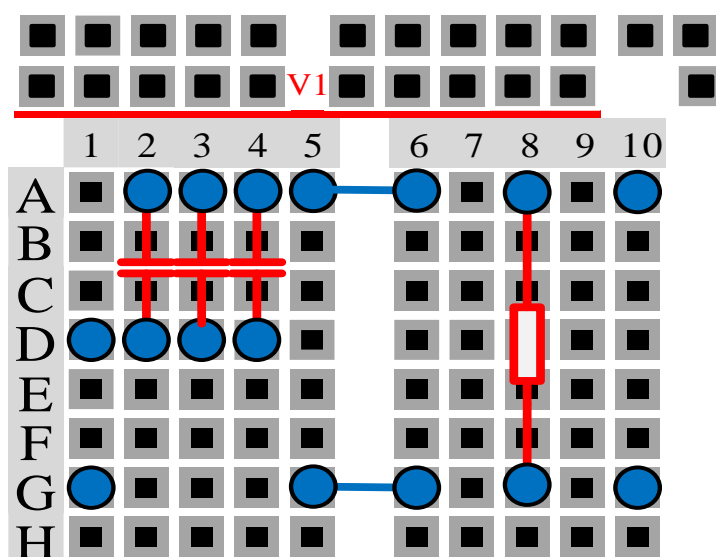


Fig.1.6. Exemplu de montaj experimental pentru „Filtru Trece Sus”.

10. Se pornește osciloscopul și se activează ieșirea generatorului de semnal;
11. Se ajustează setările aferente canalelor osciloscopului în așa fel încât formele de undă să fie clare, după care acestea se salvează pe memoria externă atașată osciloscopului (memoria USB), iar pe o foaie de hârtie se notează: denumirea circuitului, numărul pozei/imaginii salvate și semnificația formelor de undă aferente;
12. Se repetă măsurătorile pentru următoarele frecvențe: 100Hz și 10kHz, salvându-se totodată și formele de undă aferente acestor două situații noi, precum și notarea pe hârtie a semnificației lor, conform indicațiilor de la punctul anterior;
13. Pe canalul A al generatorului de semnal, se reglează un semnal de tensiune sub formă de impulsuri (Pulse) având următoarele caracteristici: frecvență 1kHz, amplitudine 5Vpp, un offset de 2,5V c.c. (dc) și un factor de umplere de 50%, după care se repetă procedurile corespunzătoare punctelor 11 respectiv 12;
14. După încheierea tuturor măsurătorilor aferente acestei configurații de circuit pasiv RC (denumită „Filtru Trece Sus”), ieșirea canalului A - aferentă generatorului de semnal, se dezactivează, iar apoi se demontează componentele montajului experimental realizat.

1.4.2 "Filtru Trece Jos"

Pentru realizarea montajului experimental din Figura 1.7, corespunzător rețelei pasive RC denumită „Filtru Trece Jos”, este necesară parcurgerea secvențială a următorilor pași:

1. Pe canalul A al generatorului de semnal se reglează un semnal sinusoidal (Sine) cu frecvența 1kHz, amplitudinea de 5 Vpp, dar nu se activează ieșirea canalului;
2. Pe placa de experimentare rapidă se realizează conexiunea între punctele (G5 și G6);
3. Se introduc pini de măsură în punctele (A1, G1, A10 și G10);
4. Se introduce rezistența de 18k Ω între punctele (A2 și A6);
5. Se introduc condensatoarele de 3,3nF în paralel, între punctele: (A7 și G7), (A8 și G8), respectiv (A9 și G9);
6. Cu ajutorul unui cablu de conexiune (cu mufă "BNC" la un capăt și cu 2 fire dotate cu cleme la celălalt) atașat ieșirii canalului A al generatorului de semnal, conectați clema corespunzătoare polarității negative/nulului la pinul plasat în punctul G1, iar clema corespunzătoare polarității pozitive/fazei la pinul plasat în punctul A1;
7. Canalul A al Osciloscopului se conectează prin intermediul unei sonde cu borna negativă la pinul plasat în punctul G1, apoi borna pozitivă se conectează la pinul aflat în punctul A1;
8. Canalul B al Osciloscopului se conectează prin intermediul altei sonde cu borna pozitivă la pinul poziționat în punctul A10;
9. **Se verifică montajul de către cadrul didactic;**
10. Se pornește osciloscopul și se activează ieșirea generatorului de semnal;
11. Se ajustează setările aferente canalelor osciloscopului în așa fel încât formele de undă să fie clare, după care acestea se salvează pe memoria externă atașată osciloscopului (memoria USB), iar pe o foaie de hârtie se notează: denumirea circuitului, numărul pozei/imaginii salvate și semnificația formelor de undă aferente;

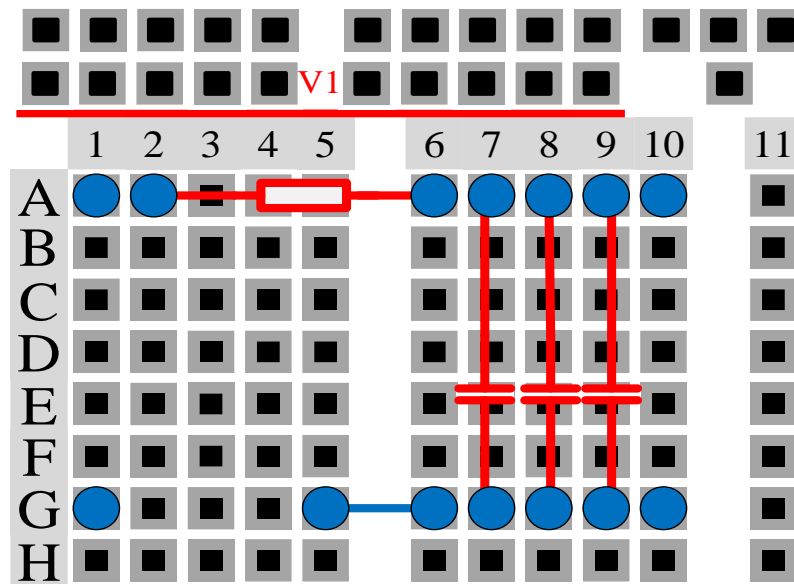


Fig.1.7. Exemplu de montaj experimental pentru „Filtru Trece Jos”.

12. Se repetă măsurătorile pentru următoarele frecvențe: 100Hz și 10kHz, salvându-se totodată și formele de undă aferente acestor două situații noi, precum și notarea pe hârtie a semnificației lor, conform indicațiilor de la punctul anterior;
13. Pe canalul A al generatorului de semnal, se reglează un semnal de tensiune sub formă de impulsuri (Pulse) având următoarele caracteristici: frecvență 1kHz, amplitudine 5Vpp, un offset de 2,5V c.c. (dc) și un factor de umplere de 50%, după care se repetă procedurile corespunzătoare punctelor 11 respectiv 12;
14. După încheierea tuturor măsurătorilor aferente acestei configurații de circuit pasiv RC (denumită „Filtru Trece Jos”), ieșirea canalului A - aferentă generatorului de semnal, se dezactivează, iar apoi se demontează componentele montajului experimental realizat.

1.4.3 ”Filtru Trece Bandă”

Pentru realizarea montajului experimental din Figura 1.8, corespunzător rețelei pasive RC denumită „Filtru Trece Bandă”, este necesară parcurgerea secvențială a pașilor descriși mai jos:

1. Pe canalul A al generatorului de semnal se reglează un semnal sinusoidal (Sine) cu frecvența 600Hz, amplitudinea de 5 Vpp, dar nu se activează ieșirea canalului;
2. Pe placa de experimentare rapidă se realizează conexiunea între punctele: (A15 și A16), (G5 și G11), respectiv (G14 și D16);
3. Se introduc pini de măsură în punctele (A1, G1, A20 și D20);
4. Se introduce o rezistență de 51kΩ între punctele (A4 și A6), iar cea de a doua rezistență de 51kΩ între punctele (A13 și G13);
5. Se introduc condensatoarele de 2,2nF între punctele: (A10 și A11), respectiv (A17 și D17);
6. Se introduc condensatoarele de 3,3nF în paralel cu cele de 2,2nF între punctele:

- (A9 și A12), respectiv (A18 și D18);
7. Cu ajutorul unui cablu de conexiune (cu mufă "BNC" la un capăt și cu 2 fire dotate cu cleme la celălalt) atașat ieșirii canalului A al generatorului de semnal, conectați clema corespunzătoare polarității negative/nulului la pinul plasat în punctul G1, iar clema corespunzătoare polarității pozitive/fazei la pinul plasat în punctul A1;
 8. Canalul A al Osciloscopului se conectează prin intermediul unei sonde cu borna negativă la pinul din punctul G1 respectiv borna pozitivă se conectează la pinul din punctul A1;
 9. Canalul B al Osciloscopului se conectează prin intermediul altei sonde cu borna pozitivă la pinul din punctul A20 ;
 10. **Se verifică montajul de către cadrul didactic;**

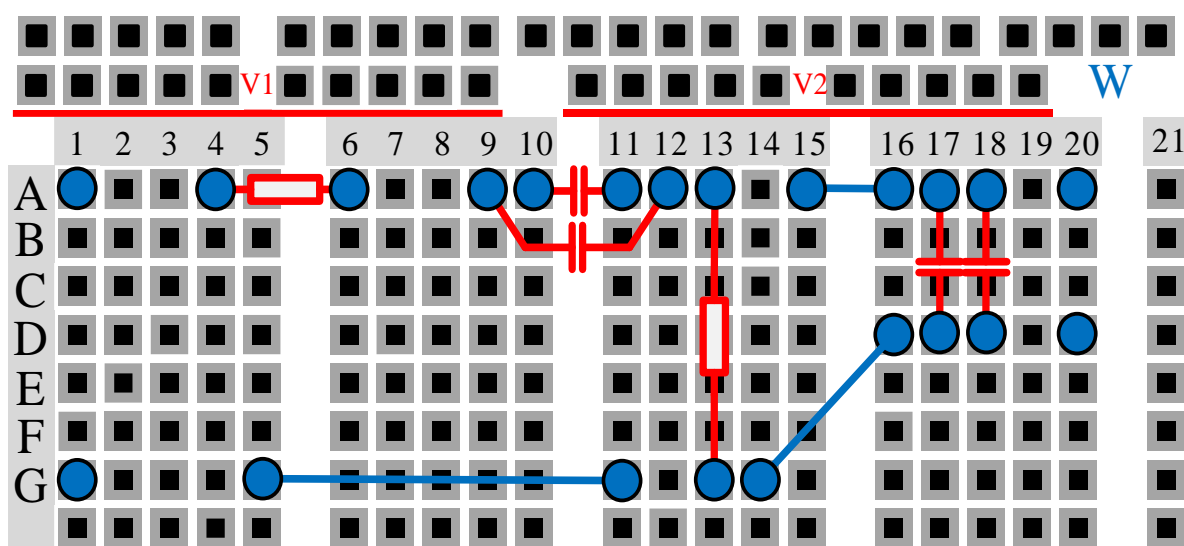


Fig.1.8. Exemplu de montaj experimental pentru "Filtru Trece Bandă".

11. Se pornește osciloscopul și se activează ieșirea generatorului de semnal;
12. Se ajustează setările aferente canalelor osciloscopului în așa fel încât formele de undă să fie clare, după care acestea se salvează pe memoria externă atașată osciloscopului (memoria USB), iar pe o foaie de hârtie se notează: denumirea circuitului, numărul pozei/imaginii salvate și semnificația formelor de undă aferente;
13. Se repetă măsurătorile pentru următoarele frecvențe: 200Hz și 1kHz, salvându-se totodată și formele de undă aferente acestor două situații noi, precum și notarea pe hârtie a semnificației lor, conform indicațiilor de la punctul anterior;
14. Pe canalul A al generatorului de semnal, se reglează un semnal de tensiune sub formă de impulsuri (Pulse) având următoarele caracteristici: frecvență 600Hz, amplitudine 5Vpp, un offset de 2,5V c.c. (dc) și un factor de umplere de 50%, după care se repetă procedurile corespunzătoare punctelor 12 respectiv 13.
15. După încheierea tuturor măsurătorilor aferente acestei configurații de circuit pasiv RC (denumită „Filtru Trece Bandă”), ieșirea canalului A - aferentă generatorului de semnal, se

dezactivează, apoi atât generatorul de semnal cât și osciloscopul utilizat se opresc, iar în cele din urmă se demontează componentele montajului experimental realizat.

1.5 Întrebări și teme

- 1) Pentru fiecare circuit și fiecare caz experimentat în parte, se imprimă în mod sistematizat pe hârtie toate imaginile/pozele salvate în memoria USB, iar apoi în dreptul lor se retranscriu toate notațiile, calculele și observațiile făcute în timpul aplicației.
- 2) În ce condiții o rețea pasivă RC poartă denumirea de „Filtru Trece Sus”?
- 3) În ce condiții o rețea pasivă RC poartă denumirea de „Filtru Trece Jos”?
- 4) În ce condiții o rețea pasivă RC poartă denumirea de „Filtru Trece Bandă”?
- 5) Care este expresia frecvenței limită corespunzătoare proiectării filtrelor pasive R-C : F.T.S., F.T.J. și F.T.B.?
- 6) În ce condiții o rețea pasivă RC poartă denumirea de „Circuit de Derivare”?
- 7) În ce condiții o rețea pasivă RC poartă denumirea de „Circuit de Integrare”?

Bibliografie

- [1] Marschalko, R. – ”Electronică pentru ingineri electrotehnicieni –Dispozitive și circuite electronice fundamentale”, Volumul I, Editura Mediamira Cluj-Napoca, 2003;
- [2] Floyd, T.L. – ”Dispozitive și circuite electronice”, Editura Teora, București, 2003;
- [3] Marschalko, R.; Bojan, M. și Salomir, C. – ”Electronică pentru ingineri electrotehnicieni, Ghid practic pentru seminar și laborator”, Volumul I, Editura Mediamira Cluj-Napoca, 2004;
- [4] Marschalko, R. – ”Electronică pentru ingineri electrotehnicieni – Circuite electronice pentru semnale continue”, Volumul II, Editura Mediamira Cluj-Napoca, 2006.
- [5] Floyd, T.L. – ”Electronic Devices” – *Conventional Current Version* – Ninth Edition, New Jersey (USA): Prentice Hall, 2012.

Lucrarea 2. Măsurarea și trasarea caracteristicilor diodelor

2.1 Introducere

Diodele fac parte din categoria dispozitivelor electronice fundamentale, adică din categoria dispozitivelor electronice care se regăsesc în componența tuturor echipamentelor electronice actuale. De aceea, pentru a putea înțelege funcționarea respectiv utilizarea diodelor este necesar a realiza măsurarea și trasarea caracteristicilor statice corespunzătoare acestor dispozitive.

2.2 Considerații teoretice

Dioda este cel mai simplu dispozitiv electronic care are la bază un material semiconductor. Aceasta se realizează pornind de la un material semiconductor tetravalent intrinsec (pur) de bază, de regulă siliciu (Si) sau germaniu (Ge), la care prin impurificare (dopare) cu elemente trivalente (de ex. indiu In) respectiv pentavalente (de ex. arseniu As), se realizează două straturi, de material semiconductor extrinsec, unul P (denumit acceptor = Si+In) și altul N (denumit donor = Si+As) delimitate de o jonctiune metalurgică, care se formează natural în urma procesului de impurificare. Stratului P i se atașează un electrod metalic care va purta denumirea de Anod (A), iar stratului N i se atașează un electrod metalic care va purta denumirea de Catod (K). Acest ansamblu cu două terminale este încapsulat într-o carcasă de: sticlă, ceramică, metal, plastic sau combinații între acestea și formează Dioda. Astfel, în Figura 2.1 se prezintă structura internă de principiu (a), respectiv simbolul general al diodei (b).

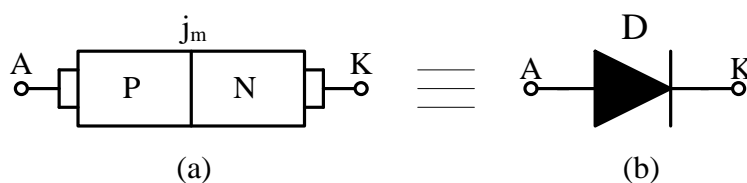


Fig.2.1. Structura internă de principiu (a) și simbolul general al diodei (b).

Din punct de vedere funcțional dioda este un dispozitiv electronic: unidirecțional, (adică permite trecerea curentului într-un singur sens, dinspre anod spre catod), necomandat și care funcționează în regim de comutație.

În cazul dispozitivelor electronice, prin comutație se înțelege procesul de trecere a dispozitivului din starea de blocare în stare de conducție (echivalent comutației directe), respectiv procesul invers de trecere a dispozitivului din starea de conducție în stare de blocare (echivalent comutației inverse).

Pentru ca o diodă să treacă din starea de blocare în stare de conducție, sau altfel spus să permită trecerea curentului prin ea, este necesar să se îndeplinească următoarele condiții:

* dioda să fie polarizată direct, adică tensiunea care se aplică celor două terminale ale diodei, U_{AK} , să fie conectată cu polaritatea pozitivă (+) la anod (A) respectiv cu polaritatea negativă (-) la catod (K);

** după polarizarea directă, tensiunea aplicată la cele două borne ale diodei (U_{AK}) trebuie să depășească o valoare de prag, denumită tensiune de deschidere (sau tensiune de basculare directă = U_{BD}), care în mod uzual este: $U_{AK} \geq U_{BD} = 0,7[V]$ dacă dioda este realizată pe bază de siliciu (Si), respectiv $U_{AK} \geq U_{BD} = 0,3[V]$ dacă dioda este realizată pe bază de germaniu (Ge).

Modalitatea de polarizare directă a diodei și starea echivalentă a acesteia se prezintă în Figura 2.2.

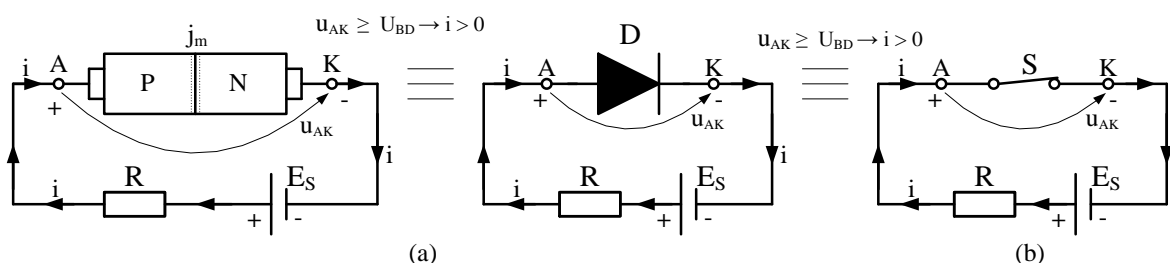


Fig.2.2. Polarizarea directă a diodei și starea echivalentă de conducție a acesteia.

Pentru ca o diodă să treacă din starea de conducție în stare blocată, sau altfel spus să se opună trecerii curentului prin ea, este necesar să se îndeplinească una din următoarele condiții:

* tensiunea aplicată între cele două terminale ale diodei să ajungă la o valoare mai mică decât tensiunea de deschidere, $U_{AK} < U_{BD}$, (evident aici este inclusă și situația în care $U_{AK} = 0[V]$);

** dioda să fie polarizată invers, adică tensiunea care se aplică celor două terminale ale diodei, U_{AK} , să fie conectată cu polaritatea negativă (-) la anod (A), respectiv cu polaritatea pozitivă (+) la catod (K);

Modalitatea de polarizare inversă a diodei și starea echivalentă a acesteia se prezintă în Figura 2.3.

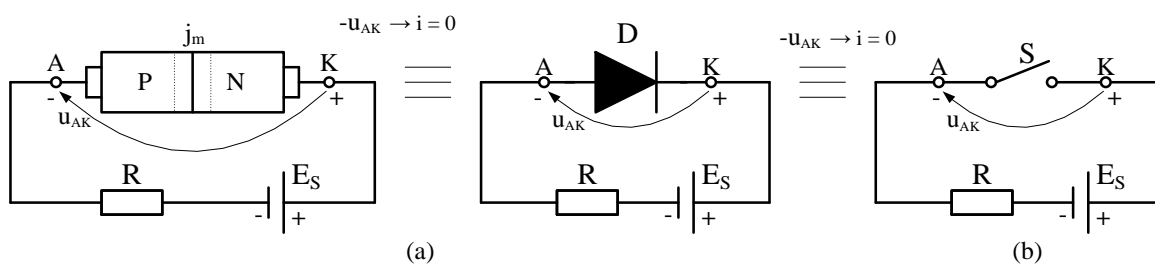


Fig.2.3. Polarizarea inversă a diodei și starea echivalentă de blocare a acesteia.

Deoarece în cazul diodei acest proces de comutație nu poate fi "controlat" printr-o comandă, ci este determinat doar de evoluția tensiunii la bornele sale, spunem că dioda este un dispozitiv electronic necomandat.

Pentru a ușura înțelegerea principiului general de funcționare al diodelor, în Figura 2.4 este prezentată caracteristica statică de funcționare a *joncțiunii p-n* care stă la baza realizării diodelor.

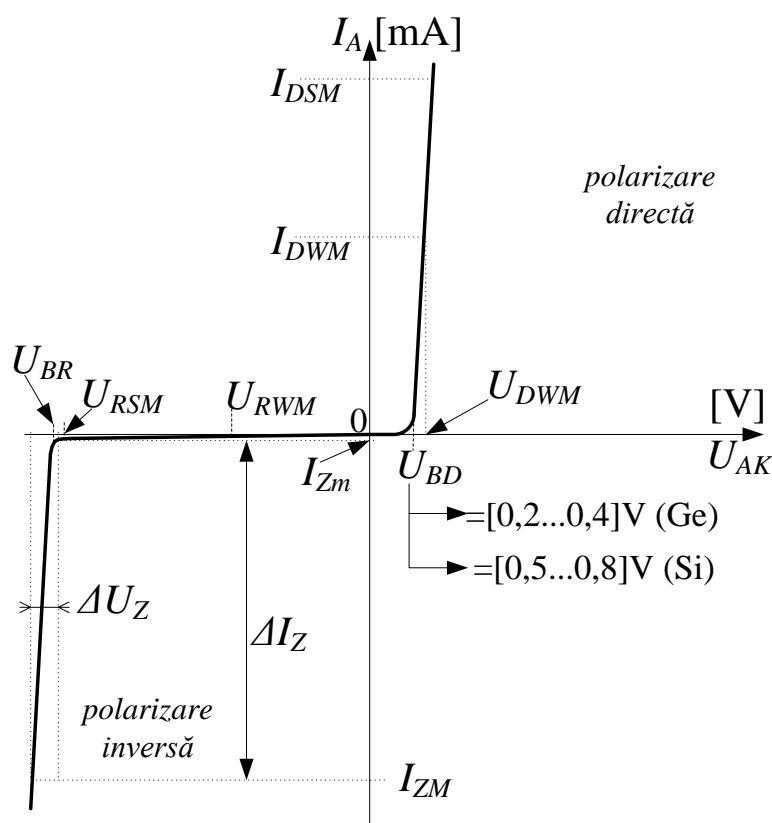


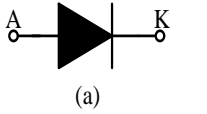
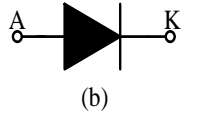
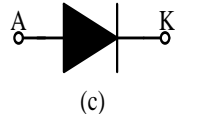
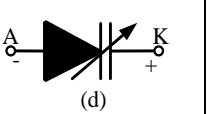
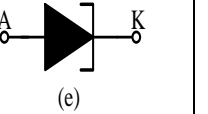
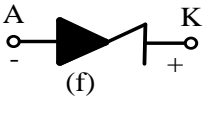
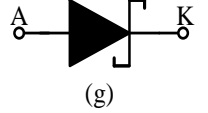
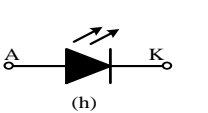
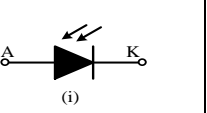
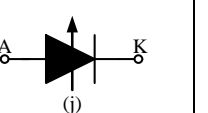
Fig.2.4. Caracteristica statică de funcționare a *joncțiunii p-n*.

În Figura 2.4 avem următoarea semnificație a termenilor:

U_{AK} – tensiunea aplicată între anod și catod;	I_A – curentul anodic (curentul prin diodă);
U_{BD} – tensiunea de deschidere (de prag);	I_{DWM} – curentul direct de lucru maxim;
U_{DWM} – tensiunea directă de lucru maximă;	I_{DSM} – curentul direct de suprasarcină maxim;
U_{RWM} – tensiunea inversă de lucru maximă;	I_Z – curentul (prin dioda) Zener;
U_{RSM} – tensiunea inversă de suprasarcină maximă;	I_{Zm} – curentul minim (prin dioda) Zener;
U_{BR} – tensiunea de străpungere;	I_{ZM} – curentul maxim (prin dioda) Zener.
U_Z – tensiunea Zener (stabilizată);	

Există mai multe tipuri de diode, între care unele categorii sunt mai des întâlnite, iar dintre acestea amintim câteva în Tabelul 2.1: diode redresoare (a), diode detectoare (b), diode de comutație (c), diode varicap (d), diode tunel (e), diode stabilizatoare de tensiune (Zener) (f), diode Schottky (g), LED-urile (h), fotodiode (i), diode laser (j), etc.

Tabelul 2.1. Câteva simboluri specifice unora dintre cele mai uzuale diode:

 (a)	 (b)	 (c)	 (d)	 (e)
 (f)	 (g)	 (h)	 (i)	 (j)

2.3 Stand de lucru și Echipamente

Pentru realizarea acestei aplicații experimentale se vor utiliza următoarele componente, echipamente și aparate de măsură:

1. Placa de experimentare rapidă din Figura 2.5;
2. Sursă de alimentare cu tensiune continuă: 1 canal reglabil 0...30V și 0...3A;
3. Pini de măsură: 4 buc.;
4. Diode: EFD 108 - 1buc., DRR 404 - 1buc., F 407 - 1buc., PL 5V12 - 1buc. și LED - 1buc.;
5. Multimetre: 3 buc.;
6. Potențiometru: 20kΩ - 1buc., din dotarea plăcii de experimentare rapidă;
7. Rezistență: 100Ω - 1buc.;
8. Fire de legătură.

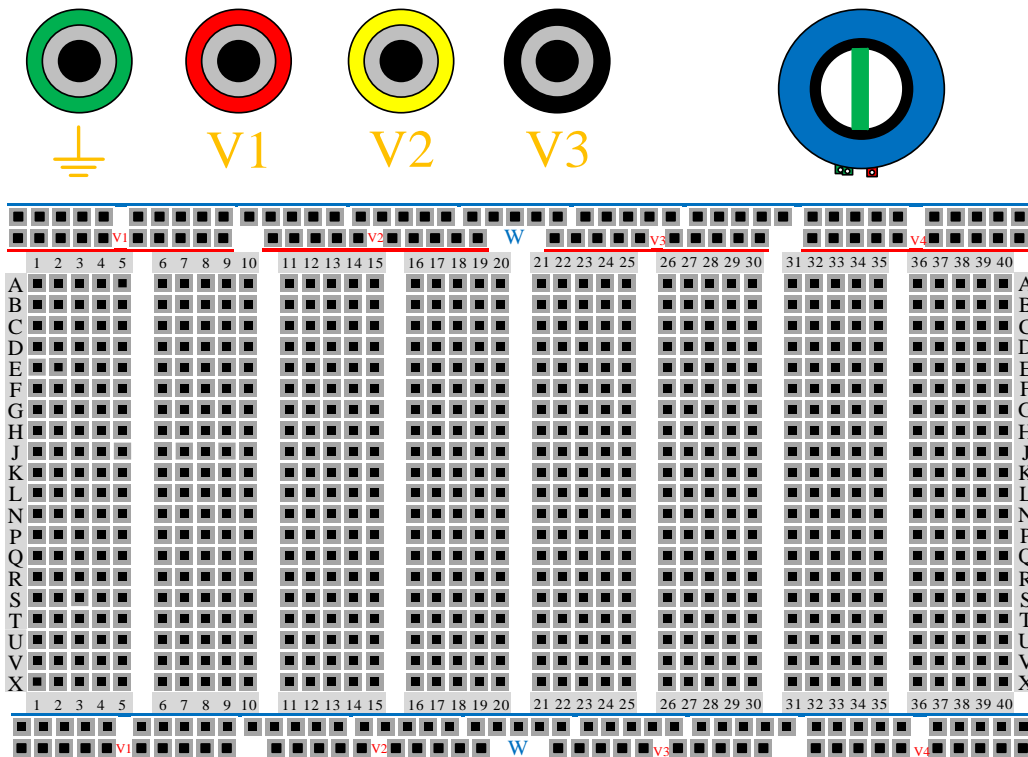


Fig. 2.5. Placă de experimentare rapidă.

2.4 Mod de Lucru

În cadrul acestei lucrări, se vor realiza măsurători practice la nivelul a 5 tipuri de diode (EFD 108, DRR 404, F407, PL 5V12 și LED) în vederea ridicării caracteristicilor statice de funcționare ale acestora. Prin urmare în secțiune de față sunt exemplificate modalitățile de realizare rapidă atât a montajelor experimentale cât și a măsurătorilor necesare.

2.4.1 Dioda EFD 108

Pentru realizarea montajului experimental din Figura 2.6, care ne permite măsurarea și apoi trasarea caracteristicii satice a diodei EFD 108, este necesară parcurgerea secvențială a următorilor pași:

1. Se pornește sursa de tensiune continuă și se reglează la ieșirea unui canal o tensiune cu valoarea de 1V c.c. la o limitare a curentului de 0,05A, după care ieșirea canalului se **dezactivează** până la realizarea montajului experimental;
2. Pe placa de experimentare rapidă, conform Figurii 2.6, se introduce dioda EFD 108 cu anodul în (B20) și catodul în (B22);
3. Se introduce rezistența de 100Ω între punctele (B14 și B17);
4. Se realizează conexiunile între borna (V1) și punctul (B7), între borna (V2) și punctul (B18) respectiv între borna (V3) și punctul (B23);
5. Terminalul de sus al potențiometrului R1 (de pe placa experimentală) se va conecta la punctul (B9), iar terminalul aferent cursorului la punctul (B11), apoi se verifică poziția cursorului astfel încât acesta să fie rotit maxim stânga;
6. Pentru unul din multimetrele puse la dispoziție se va selecta opțiunea de miliampermetru (mA c.c.) pe scala de 20mA (c.c.), iar pe un alt multimetru se va selecta opțiunea de volți (V c.c. 1) pe scala de 2V (c.c.);
7. **OBS: Voltmetrul V c.c.2 se va conecta în circuit doar începând cu măsurătorile aferente diodei DRR 404;**
8. Borna pozitivă a sursei de alimentare se conectează la borna (mA) a multimetrului care va fi utilizat pe post de miliampermetru (mA c.c.), iar borna negativă de la sursă se conectează la borna (COM) a multimetrului care va fi folosit pe post de voltmetru (V c.c. 1).
9. Se realizează conexiunile între placa de experimentare rapidă și aparatele de măsură: borna (V1) se conectează la borna (COM) al miliampermetrului, Borna (V2) se conectează la borna (VΩ) a voltmetrului, respectiv (V3) se va conecta la borna (COM) a voltmetrului;
10. **Se verifică montajul de către cadrul didactic;**
11. Se pornesc aparatele de măsură și se activează ieșirea canalului presetat anterior al sursei de alimentare. Începând de la poziția minim a cursorului potențiometrului R1 și rotind apoi spre maxim, completați valorile curentului care trece prin diodă în punctele, corespunzătoare valorilor tensiunii anod-catod, menționate în Tabelul 2.2.:
12. Se revine cu poziționarea cursorului potențiometrului R1 la minim, adică maxim stânga, apoi ieșirea sursei de alimentare se resetează la valoarea de 0,5V, după care se dezactivează;

Tabelul 2.2. Rezultatele măsurătorilor efectuate asupra diodei EFD 108:

I_A [mA]								
U_{AK} [V]	0,05V	0,1V	0,15V	0,2V	0,25V	0,3V	0,35V	0,4V
I_A [mA]								
U_{AK} [V]	0,45V	0,5V	0,55V	0,6V	0,65V	0,7V	0,75V	0,8V

13. Pe baza datelor din Tabelul 2.2 trasați pe hârtie milimetrică caracteristica directă $I_A = f(U_{AK})$ a diodei EFD 108.

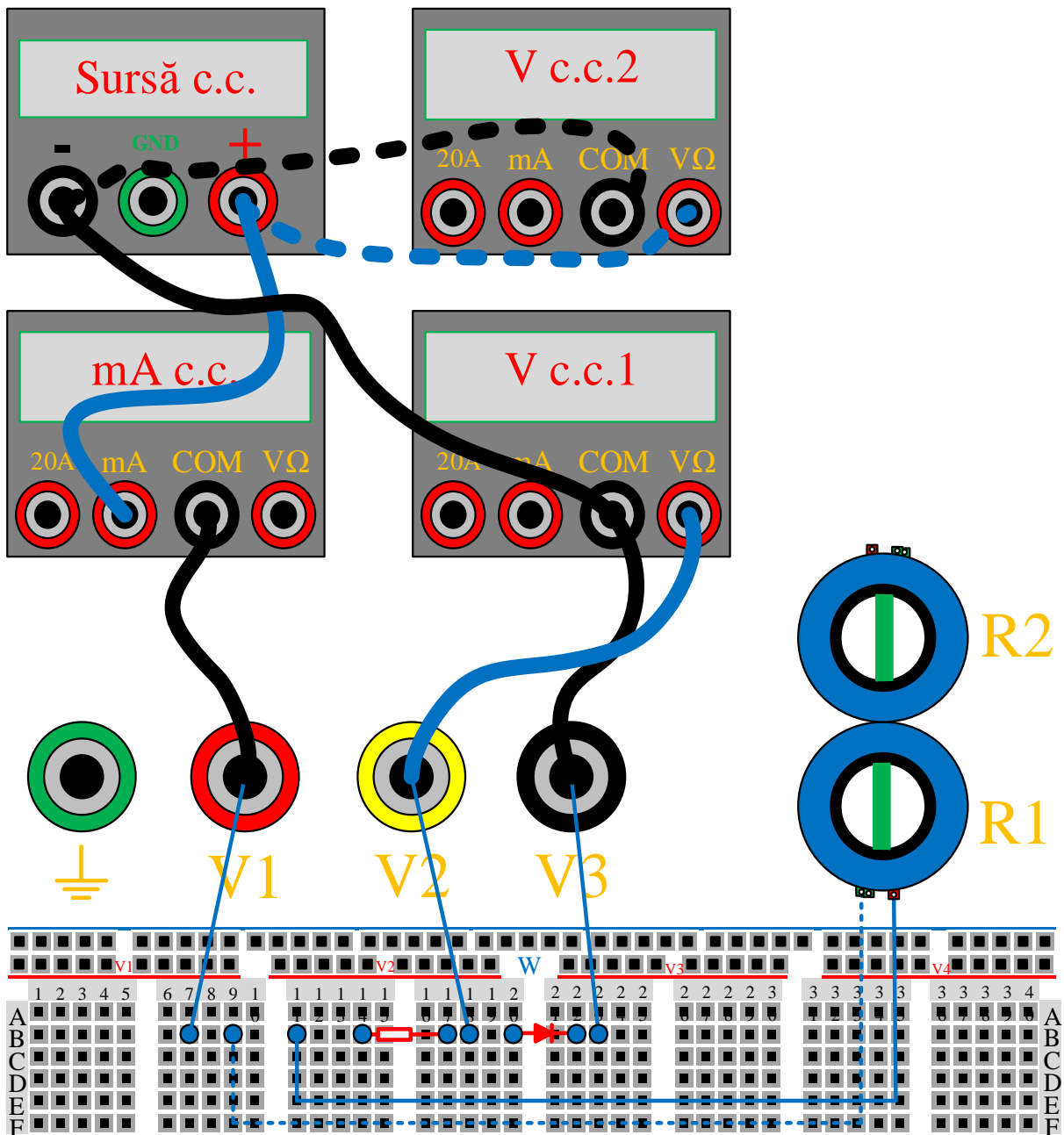


Fig.2.6. Exemplu de realizare a montajului experimental care permite măsurarea caracteristicilor statice ale diodelor.

2.4.2 Dioda DRR 404

Pentru realizarea măsurătorilor, care vor permite trasarea caracteristicii statice a diodei DRR 404, este necesară parcurgerea secvențială a următorilor pași:

1. Se păstrează conexiunile aferente măsurătorilor anterioare însă aici se înlocuiește dioda EFD 108 cu dioda DRR 404, având anodul în (B20) și catodul în (B22);
2. Se conectează Voltmetrul Vc.c.2 în paralel cu sursa de alimentare, astfel încât borna (COM) a aparatului să ajungă la borna (-) a sursei, respectiv borna (V Ω) la borna (+) de la sursă, apoi se va seta scala aparatului la 20V c.c.;
3. **Se verifică montajul de către cadrul didactic;**
4. Se pornesc aparatele de măsură și se activează ieșirea canalului sursei de alimentare;
5. Se reglează canalul sursei la valoarea de 0,5V c.c. și o limitare a curentului de 0,1A, după care se notează valoarea curentului prin diodă în rubrica aferentă din Tabelul 2.3. Se repetă procedura și pentru valorile tensiunii de alimentare la 1,3V c.c., respectiv 2V c.c., iar apoi se continuă reglarea tensiunii pe diodă doar cu ajutorul potențiometrului R1 de pe placa de experimentare rapidă;
6. **OBS:** Când se ajunge la un curent de 19 mA treceți aparatul de măsură pe scala de 200 mA!!!
7. La atingerea valorii de 0,7V c.c. pe diodă reglați ieșirea sursei de alimentare la 5V c.c., celelalte două valori rămase de setat, ale tensiunii pe diodă, se realizează tot cu ajutorul potențiometrului R1 aflat pe placa experimentală;

Tabelul 2.3. Rezultatele măsurătorilor efectuate asupra diodei DRR 404:

I_A [mA]								
U_{AK} [V]	0,05V	0,1V	0,15V	0,2V	0,25V	0,3V	0,35V	0,4V
I_A [mA]								
U_{AK} [V]	0,45V	0,5V	0,55V	0,6V	0,65V	0,7V	0,75V	0,8V

8. Se revine cu poziționarea cursorului potențiometrului R1 la minim, adică maxim stânga, apoi ieșirea sursei de alimentare se resetează la valoarea de 0,5V, după care se dezactivează;
9. Pe baza datelor din Tabelul 2.3 trasați pe hârtie milimetrică caracteristica directă $I_A = f(U_{AK})$ a diodei DRR 404.

2.4.3 Dioda F 407

Realizarea măsurătorilor, care vor permite trasarea caracteristicii statice a diodei F 407, necesită parcurgerea secvențială a pașilor descriși mai jos:

1. Se păstrează conexiunile aferente măsurătorilor anterioare însă aici se înlocuiește dioda DRR 404 cu dioda F 407, având anodul în (B20) și catodul în (B22);
2. **Se verifică montajul de către cadrul didactic;**
3. Se pornesc aparatele de măsură și se activează ieșirea canalului sursei de alimentare;
4. Se reglează canalul sursei la valoarea de 0,5V c.c. cu o limitare a curentului de 0,2A, după care se notează valoarea curentului prin diodă în rubrica aferentă din Tabelul 2.4. Se repetă

procedura și pentru valorile tensiunii de alimentare la 1,3V c.c., respectiv 2V c.c., iar apoi se continuă reglarea tensiunii pe diodă doar cu ajutorul potențiometrului R1 de pe placa de experimentare rapidă;

5. **OBS:** Când se ajunge la un curent de 19 mA treceți aparatul de măsură pe scara de 200 mA!!!
6. La atingerea valorii de 0,7V c.c. pe diodă reglați ieșirea sursei de alimentare la 5V c.c., celelalte două valori rămase de setat, ale tensiunii pe diodă, se realizează tot cu ajutorul potențiometrului R1 aflat pe placa experimentală.

Tabelul 2.4. Rezultatele măsurătorilor efectuate asupra diodei F 407:

I_A [mA]								
U_{AK} [V]	0,05V	0,1V	0,15V	0,2V	0,25V	0,3V	0,35V	0,4V
I_A [mA]								
U_{AK} [V]	0,45V	0,5V	0,55V	0,6V	0,65V	0,7V	0,75V	0,8V

7. Se revine cu poziționarea cursorului potențiometrului R1 la minim, adică maxim stânga, apoi ieșirea sursei de alimentare se resetează la valoarea de 0,5V, după care se dezactivează;
8. Pe baza datelor din Tabelul 2.4 trasați pe hârtie milimetrică caracteristica directă $I_A = f(U_{AK})$ a diodei F 407.

2.4.4 Dioda PL 5V12

Trasarea caracteristicii satice a diodei PL 5V12 este posibilă doar după parcurgerea secvențială a pașilor descriși mai jos:

1. Se păstrează conexiunile aferente măsurătorilor anterioare însă aici se înlocuiește dioda F407 cu dioda PL 5V12, ***ATENȚIE aceasta se conectează invers***, adică având anodul poziționat în (B22) și catodul în (B20);
2. Potențiometrul R1, aflat pe placa de experimentare rapidă, se trece la valoarea maximă, adică cursorul să fie rotit maxim dreapta;
3. **Se verifică montajul de către cadrul didactic;**
4. Se pornesc aparatele de măsură și se activează ieșirea canalului sursei de alimentare.
5. Se reglează canalul sursei la valoarea de 1V c.c. și o limitare a curentului de 0,1A, după care se notează valoarea curentului în rubrica aferentă din Tabelul 2.5. Se repetă procedura la următoarele valori ale tensiunii de alimentare: 2, 3, 4 și 4,5V c.c., iar apoi nu se mai reglează tensiunea, ci doar curentul prin diodă în salturi echivalente cu dublarea valorii precedente. Astfel se vor nota în tabel ambele mărimi;

Tabelul 2.5. Rezultatele măsurătorilor efectuate asupra diodei PL 5V12:

I_A [mA]								
U_{AK} [V]	-1V	-2V	-3V	-4V	-4,5V			
I_A [mA]								
U_{AK} [V]								

6. **OBS:** Când se ajunge la un curent de 19 mA treceți aparatul de măsură pe scara de 200 mA!!!
7. **OBS:** Când se ajunge la o valoare a curentului apropiată de 100 mA se vor sista măsurătorile.
8. Se revine cu poziționarea cursorului potențiometrului R1 la minim, adică maxim stânga, apoi ieșirea sursei de alimentare se resetează la valoarea de 0,5V, după care se dezactivează;
9. Pe baza datelor din Tabelul 2.5 trasați pe hârtie milimetrică caracteristica directă $I_A = f(U_{AK})$ a diodei PL 5V12.

2.4.5 Dioda LED

Măsurătorile aferente trasării caracteristicii statice a diodei LED, presupun parcurgerea secvențială a următorilor pași:

1. Se păstrează conexiunile aferente măsurătorilor anterioare însă aici se înlocuiește dioda PL 5V12 cu dioda LED, având anodul în (B20) și catodul în (B22);
2. Potențiometrul R1, aflat pe placa de experimentare rapidă, se trece la valoarea minimă, adică cursorul să fie rotit maxim stânga;
3. **Se verifică montajul de către cadrul didactic;**
4. Se pornesc aparatele de măsură și se activează ieșirea canalului sursei de alimentare;
5. Se reglează canalul sursei la valoarea de 5V c.c. cu o limitare a curentului de 0,025A;
6. Se va regla curentul prin această diodă cu ajutorul potențiometrului R1 de pe placa experimentală și se va nota tensiunea la bornele LED-ului în Tabelul 2.6;

Tabelul 2.6. Rezultatele măsurătorilor efectuate asupra diodei LED:

I_A [mA]	0,05 mA	0,1 mA	0,15 mA	0,2 mA	0,4 mA	0,6 mA	0,8 mA	1 mA
U_{AK} [V]								
I_A [mA]	2 mA	4 mA	6 mA	8 mA	10 mA	12 mA	14 mA	16 mA
U_{AK} [V]								

7. Se revine cu poziționarea cursorului potențiometrului R1 la minim, adică maxim stânga, apoi ieșirea sursei de alimentare se resetează la valoarea de 0,5V, după care atât sursa de alimentare cât și aparatele de măsură se opresc, iar în cele din urmă se demontează componentele montajului experimental realizat.
8. Pe baza datelor din Tabelul 2.6 trasați pe hârtie milimetrică caracteristica directă $U_{AK} = f(I_A)$ a diodei LED.

2.5 Întrebări și teme

1. Așa cum se precizează la sfârșitul fiecărei etape de măsurători, pe baza datelor înregistrate în tabele este necesară ridicarea caracteristicilor statice aferente fiecărei diode în parte.
2. După trasarea caracteristicilor staice ale celor cinci tipuri de diode investigate care sunt diferențele dintre diodele pe substrat de siliciu și cele pe germaniu?
3. Care dintre diodele EFD 108, DRR 404 și F 407 este pe substrat de siliciu și care este pe germaniu? Arătați cum ați determinat aceasta!

4. La ce polarizare a diodei se manifestă efectul Zener a diodei PL 5V12?

Bibliografie

- [1] Marschalko, R. – "Electronică pentru ingineri electrotehnicieni –Dispozitive și circuite electronice fundamentale", Volumul I, Editura Mediamira Cluj-Napoca, 2003;
- [2] Floyd, T.L. – "Dispozitive și circuite electronice", Editura Teora, București, 2003;
- [3] Marschalko, R.; Bojan, M. și Salomir, C. – "Electronică pentru ingineri electrotehnicieni, Ghid practic pentru seminar și laborator", Volumul I, Editura Mediamira Cluj-Napoca, 2004;
- [4] Marschalko, R. – "Electronică pentru ingineri electrotehnicieni –Circuite electronice pentru semnale continue", Volumul II, Editura Mediamira Cluj-Napoca, 2006.
- [5] Floyd, T.L. – "Electronic Devices" – *Conventional Current Version* – Ninth Edition, New Jersey (USA): Prentice Hall , 2012.

Anexă Lucrarea 2

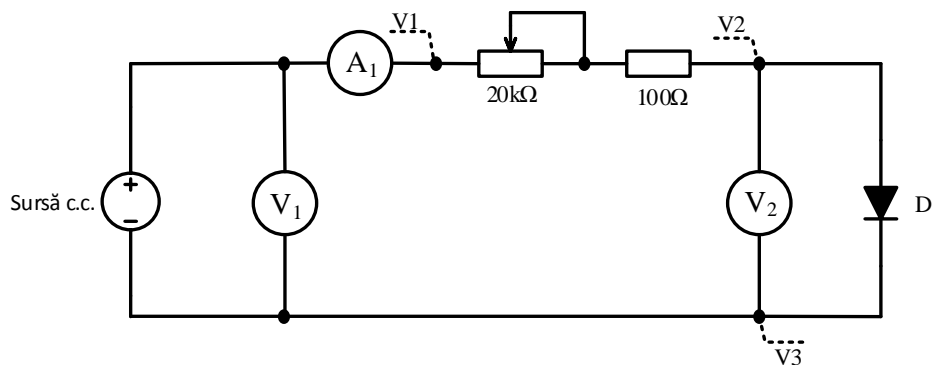


Fig.2.7. Circuitul de măsură echivalent.

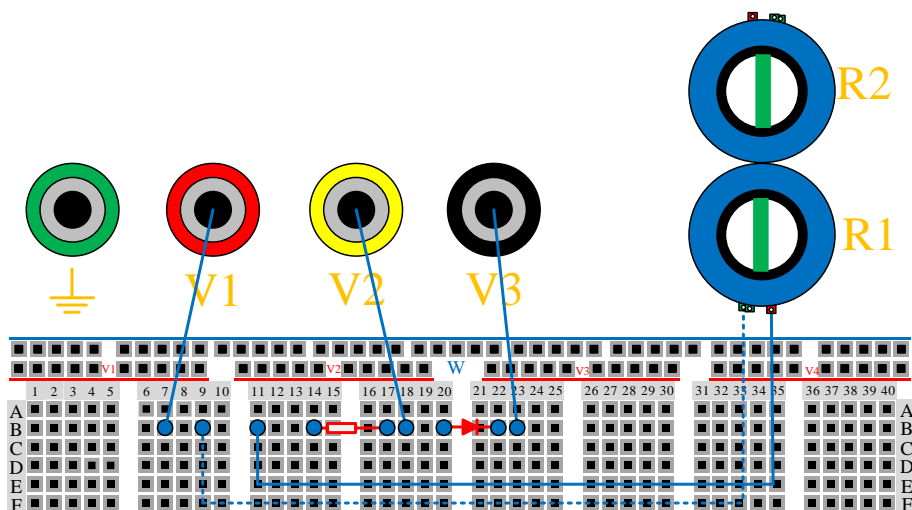


Fig.2.8. Exemplu de poziționare a componentelor pe placa experimentală.

Lucrarea 3. Redresoare necomandate

3.1 Introducere

Redresoarele sunt circuite electronice care realizează conversia tensiunii alternative de intrare, în tensiune continuă, la ieșire. Prin utilizarea dispozitivelor electronice, necomandate (a diodelor), putem identifica mai multe tipuri de redresoare: monofazate sau polifazate, mono-alternanță, dublă-alternanță sau cu mai multe pulsuri. Cele mai utilizate redresoare cu diode sunt redresoarele cu priză mediană și redresoarele în punte. De regulă la ieșirea redresoarelor se utilizează filtre capacitive destinate filtrării tensiunii de ieșire și obținerii unor oscilații cât mai reduse ale acesteia.

3.2 Considerații teoretice

În lucrarea anterioară ați avut ocazia să aflați că dioda este un dispozitiv electronic semiconductor cu o singură joncțiune *pn*. Proprietatea diodelor de a conduce curentul într-un singur sens stă la baza funcționării mai multor tipuri de circuite. O aplicație specifică diodelor este redresorul necomandat, care urmează a fi studiat în cadrul acestei lucrări experimentale. Astfel, se vor studia cinci tipuri de redresoare cu diode: mono-alternanță, dublă alternanță cu priză mediană, dublă alternanță în punte și cu dublare de tensiune: Villard respectiv Greinacher-Delon.

3.2.1 Redresorul monofazat mono-alternanță

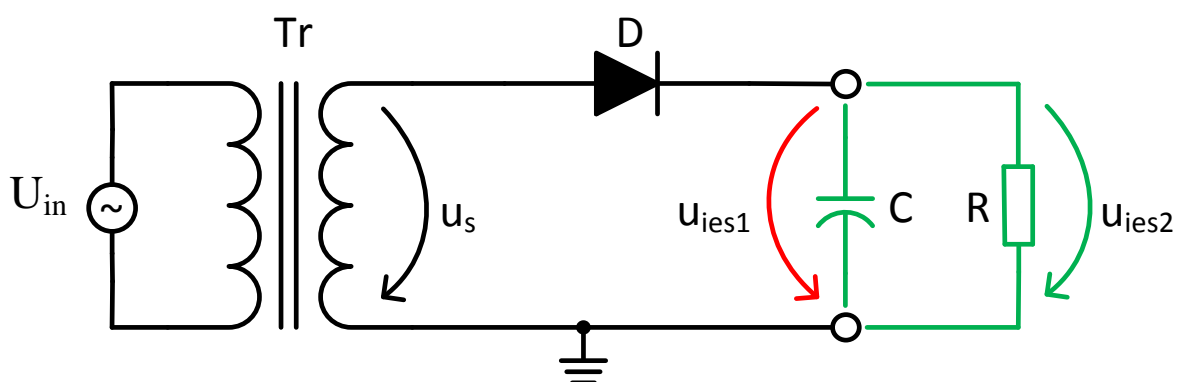


Fig.3.1 Circuitul electronic al redresorului monofazat mono-alternanță, realizat cu diodă.

Figura 3.1 prezintă configurația unui redresor necomandat monofazat mono-alternanță. Prin urmare, atunci când tensiunea (u_s) din secundarul transformatorului Tr (precizăm faptul că acest transformator poate să fie de trecere/separare galvanică, ridicător sau coborâtor de tensiune, dar poate să și lipsească din circuit) are polaritatea/semialternanța pozitivă, dioda D este polarizată direct

și permite trecerea curentului atât prin ea cât și prin rezistența de sarcină R . Apoi, când tensiunea (u_s) din secundarul transformatorului Tr prezintă polaritatea/semialternanța negativă, dioda este polarizată invers și nu mai permite trecerea curentului, ca urmare căderea de tensiune pe rezistența de sarcină este 0 V. Tensiunea redresată pentru acest caz este (u_{ies1}) reprezentată în Figura 3.2 și poartă denumirea de tensiune continuă pulsatorie mono-alternanță, în raport cu o perioadă întreagă a tensiunii de intrare (u_s). Dacă se introduce un filtru capacitiv la ieșire (condensatorul polarizat C) se obține tensiunea (u_{ies2}), reprezentată în Figura 3.2, denumită tensiune continuă redresată și filtrată, a cărei fluctuație între minim și maxim este semnificativ diminuată.

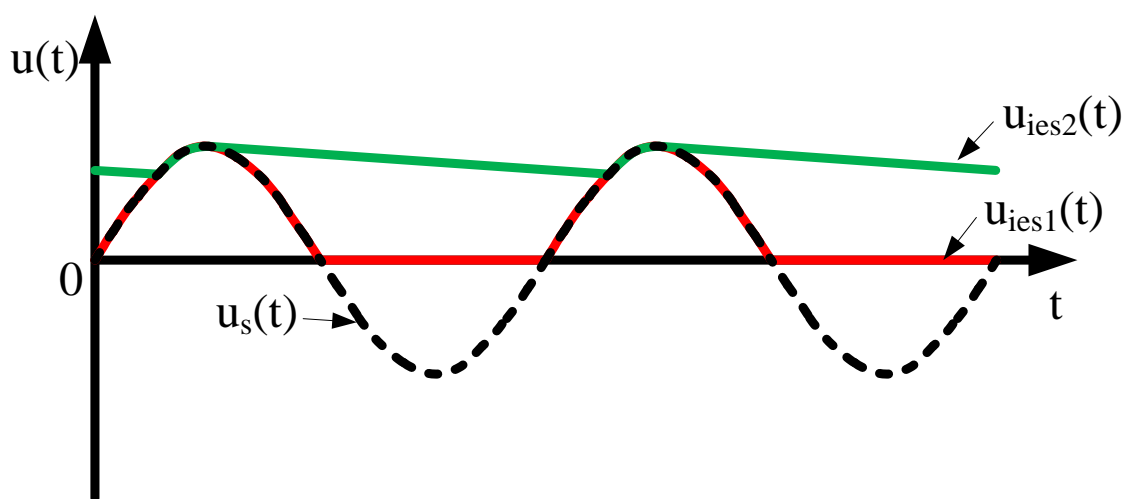


Fig.3.2. Formele de undă idealizate specifice redresorului necomandat monofazat mono-alternanță.

3.2.2 Redresorul monofazat dublă-alternanță cu priză mediană

Așa cum se poate observa și din Figura 3.3, redresorul necomandat monofazat dublă-alternanță cu priză mediană este format cu ajutorul a două diode conectate fiecare cu anodul la câte un capăt al secundarului transformatorului Tr cu priză mediană. În același timp catodii celor două diode sunt legați împreună și corespund polarității + a părții de c.c. iar priza mediană a transformatorului (corespunzătoare polarității – a părții de c.c.) reprezintă potențialul de 0 V specific masei circuitului (nulului). Tensiunea dintre capetele secundarului și priza mediană reprezintă câte o jumătate din tensiunea totală a secundarului. Demn de menționat este faptul că, din punct de vedere constructiv, acest tip de redresor este singurul care nu se poate realiza dacă nu dispunem de un transformator cu priză mediană.

Atunci când u_{s1} prezintă semialternanța pozitivă, u_{s2} se află pe semialternanța negativă. În această situație dioda $D1$ este polarizată direct, iar dioda $D2$ este polarizată invers. Așadar traseul curentului se închide prin intermediul diodei $D1$ și a rezistenței de sarcină R . Apoi, când u_{s1} este pe semialternanța negativă și u_{s2} pe semialternanța pozitivă, dioda $D2$ este polarizată direct, iar dioda $D1$ este polarizată invers. Ca urmare, acum circuitul se închide prin dioda $D2$ și rezistența de sarcină R . Forma de undă a tensiunii redresate u_{ies1} este reprezentată în Figura 3.4, iar aceasta poartă denumirea

de tensiune continuă pulsatorie dublă-alternanță, în raport cu o perioadă întreagă a tensiunii de intrare (u_s).

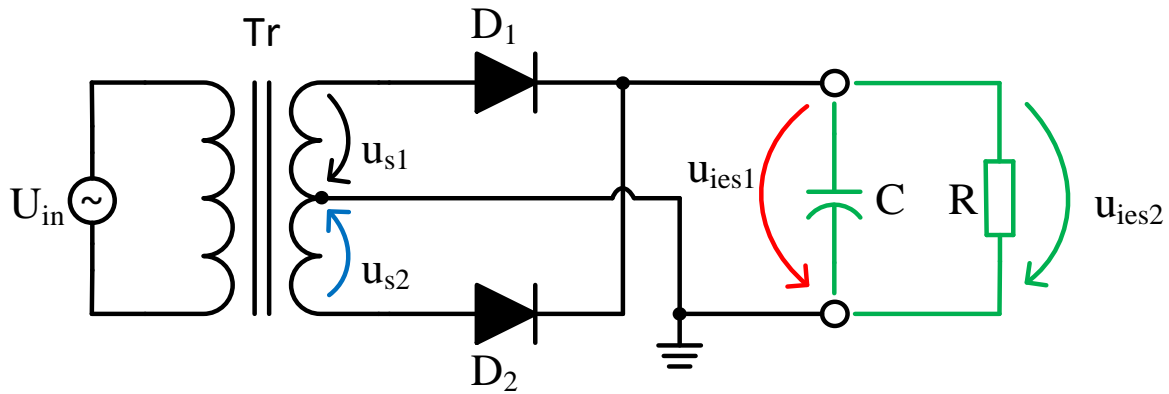


Fig.3.3. Circuitul electronic al redresorului monofazat dublă-alternanță cu priză mediană (sau cu nul), echipat cu diode.

Pentru a reduce fluctuațiile tensiunii (între minim și maxim) și pentru a obține o valoare medie mai mare a tensiunii de ieșire se introduce un filtru capacitiv (condensatorul polarizat C) la ieșirea redresorului, obținându-se tensiunea u_{ies2} reprezentată în Figura 3.4, denumită tensiune continuă redresată și filtrată.

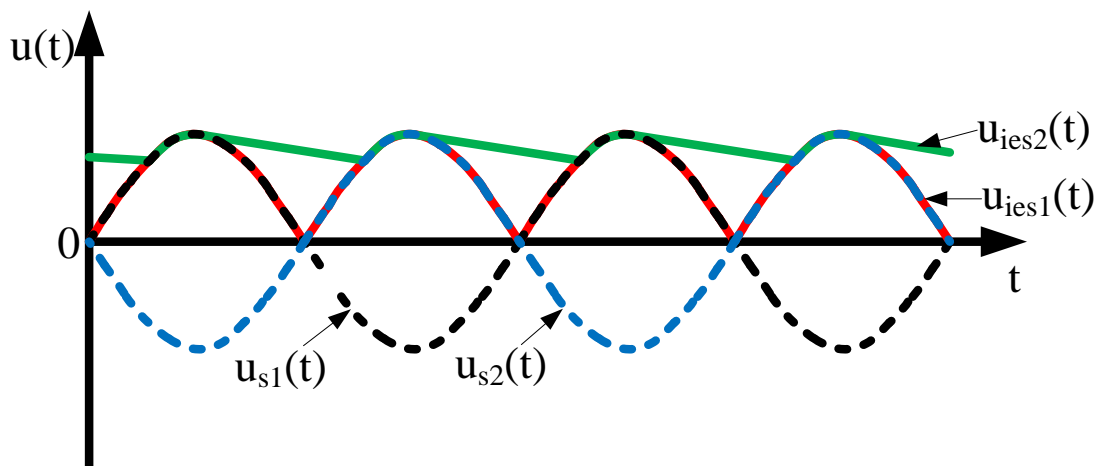


Fig.3.4. Formele de undă idealizate specifice redresorului necomandat monofazat dublă-alternanță cu priză mediană.

3.2.3 Redresorul monofazat dublă-alternanță în punte

Circuitul din Figura 3.5 ne prezintă redresorul necomandat monofazat dublă-alternanță în punte. De aici se poate observa că puntea este formată din 4 diode cuplate două câte două în paralel la secundarul transformatorului, urmate de condensatorul de filtrare C și sarcina rezistivă R .

Când tensiunea u_s din secundarul transformatorului Tr se află pe semialternanța pozitivă, diodele D_1 și D_4 sunt polarizate direct, iar curentul se va stabili prin aceste două diode și rezistența de sarcină R . Tensiunea de la ieșire va reproduce forma semialternanței pozitive a tensiunii de intrare, iar diodele D_2 și D_3 vor fi polarizate invers pe tot parcursul semialternanței pozitive.

La trecerea tensiunii u_s din secundarul transformatorului pe semialternanța negativă, diodele D_2 și D_3 vor fi polarizate direct, iar diodele D_1 și D_4 vor fi polarizate invers. Tensiunea de la ieșirea redresorului în punte este reprezentată în Figura 3.6, unde u_{ies1} reprezintă tensiunea redresată fără filtrare (denumită tensiune continuă pulsatorie dublă-alternanță), respectiv u_{ies2} reprezintă tensiunea de la ieșirea redresorului după introducerea filtrului capacitiv (C), denumită tensiune continuă redresată și filtrată.

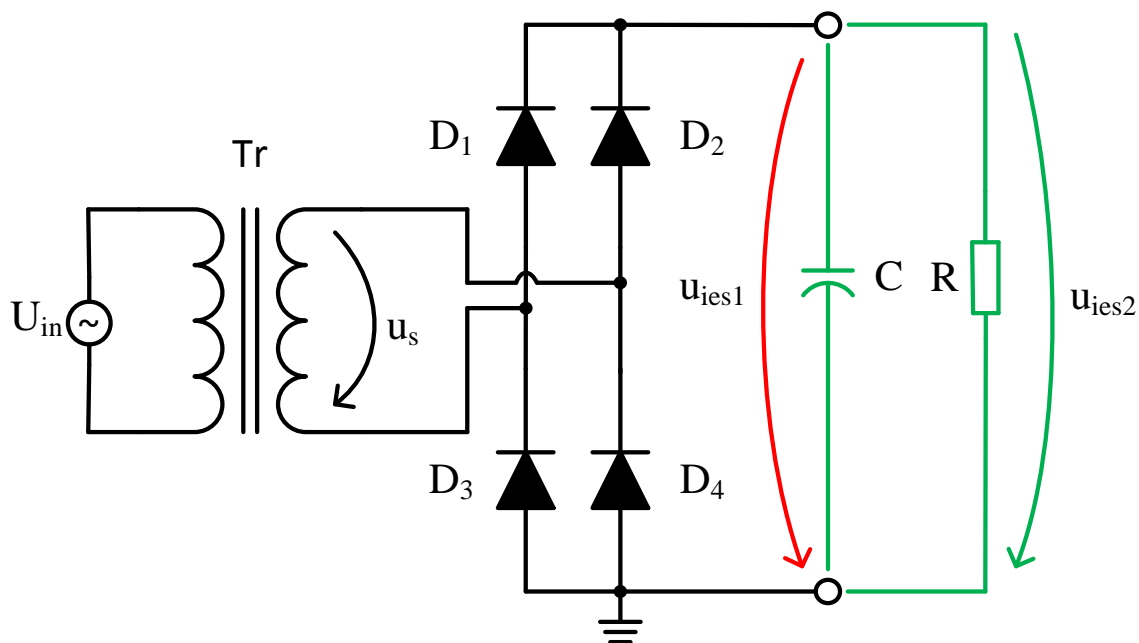


Fig.3.5. Circuitul electronic al redresorului monofazat dublă-alternanță în punte, echipat cu diode.

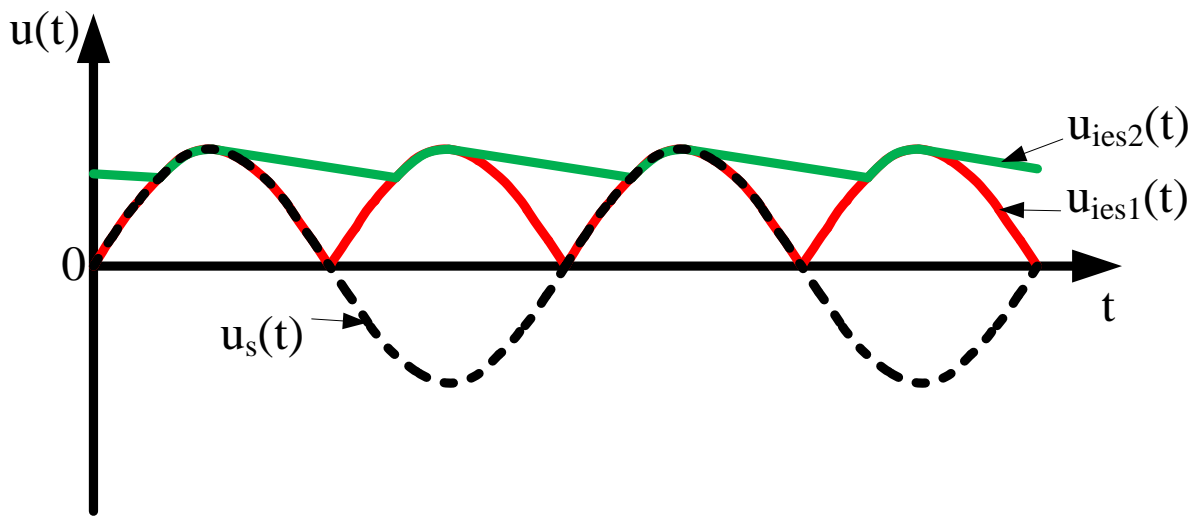


Fig.3.6. Formele de undă idealizate specifice redresorului necomandat monofazat dublă-alternanță în punte.

3.2.4 Redresorul monofazat mono-alternanță cu dublare de tensiune (Villard)

În Figura 3.7 este prezentat circuitul electronic al redresorului necomandat mono-alternanță cu dublare de tensiune, care mai poartă și numele de dublorul de tensiune "Villard". Pe semiperioada negativă a tensiunii de intrare (u_s) dioda D_1 este polarizată direct și se încarcă condensatorul C_1 aproximativ la valoarea tensiunii din secundarul transformatorului, scăzând doar căderea de tensiune pe diodă. Pentru semiperioada pozitivă a tensiunii (u_s), dioda D_1 este polarizată invers deci aceasta nu conduce, iar dioda D_2 este polarizată direct și astfel ea va intra în conducție. Deoarece condensatorul C_1 nu are posibilitatea de a se descărca, tensiunea de vârf de pe acesta se va adăuga la tensiunea furnizată de secundarul transformatorului, încărcând condensatorul C_2 până la aproximativ $2u_s$. Condensatorul C_2 are rol de filtrare capacitivă în acest circuit, așadar în prezența lui se obține la ieșire forma de undă u_{ies2} reprezentată în Figura 3.8, denumită tensiune continuă dublată redresată mono-alternanță și filtrată. Dacă C_2 este absent în circuit vom obține tensiunea u_{ies1} reprezentată în aceeași figură și vom observa faptul că u_{ies1} este de formă aproximativ sinusoidală ca și tensiunea de la intrare, doar că este decalată față de 0, practic devine o tensiune unipolară și astfel se produce o axare în jurul amplitudinii tensiunii de intrare.

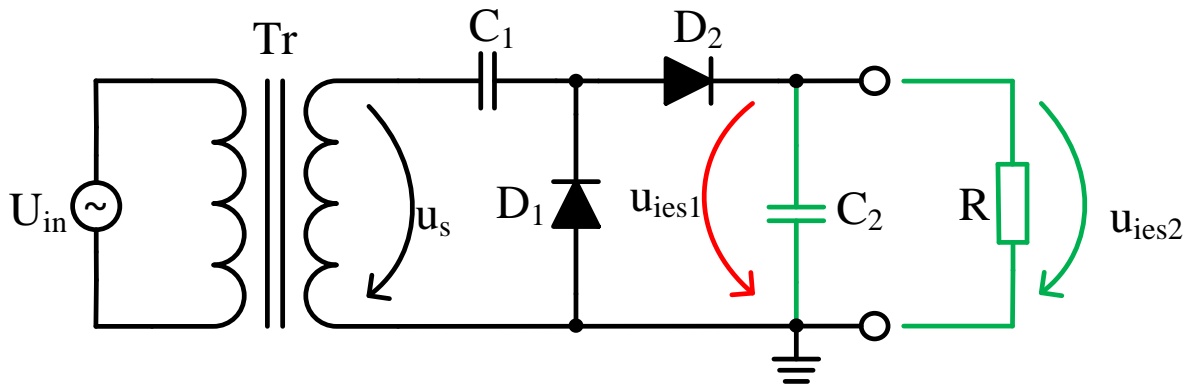


Fig.3.7. Circuitul electronic al redresorului monofazat mono-alternanță cu dublare de tensiune (Villard), realizat cu diode.

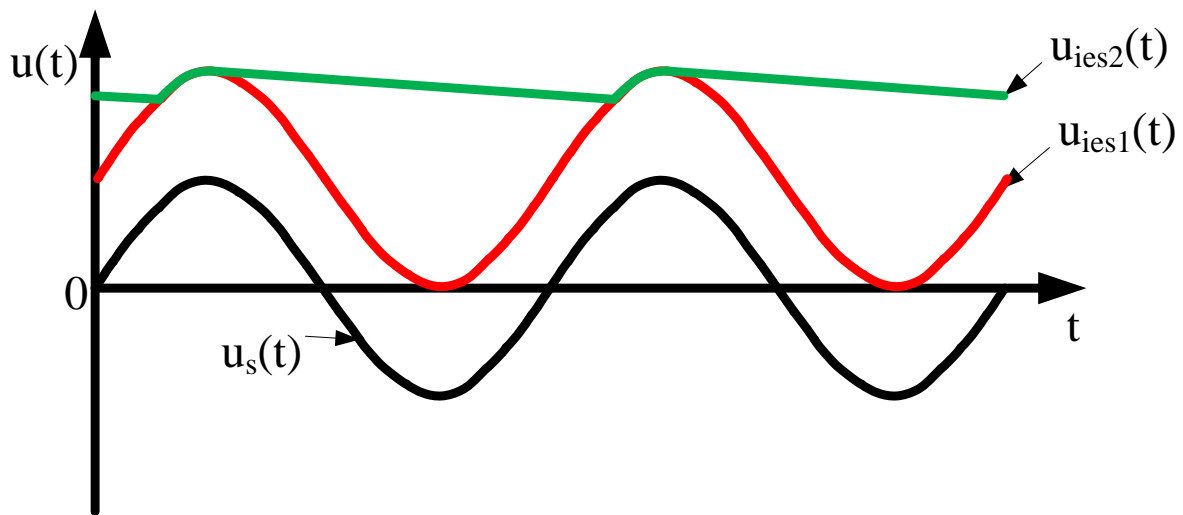


Fig.3.8. Formele de undă idealizate specifice redresorului necomandat monofazat mono-alternanță cu dublare de tensiune (Villard).

3.2.5 Redresorul monofazat dublă-alternanță cu dublare de tensiune (Greinacher-Delon)

Redresorul necomandat monofazat dublă-alternanță cu dublare de tensiune (denumit și dublorul de tensiune "Greinacher-Delon") este prezentat în Figura 3.9. Dacă tensiunea de intrare u_s din secundarul transformatorului Tr se află pe semialternanța pozitivă, dioda $D1$ este polarizată direct iar condensatorul $C1$ se încarcă aproximativ la valoarea tensiunii de pe semialternanța pozitivă. La trecerea tensiunii u_s pe semialternanța negativă, dioda $D2$ este polarizată direct și condensatorul $C2$ se încarcă aproximativ la valoarea tensiunii de pe semialternanța negativă. Tensiunea obținută la ieșire va fi dublul tensiunii de intrare de pe o semialternanță, deoarece acesta se culege de pe cele două condensatoare $C1$ și $C2$, iar în pentru acest caz ea poartă denumirea de tensiune continuă redresată dublu-alternanță dublată și filtrată.

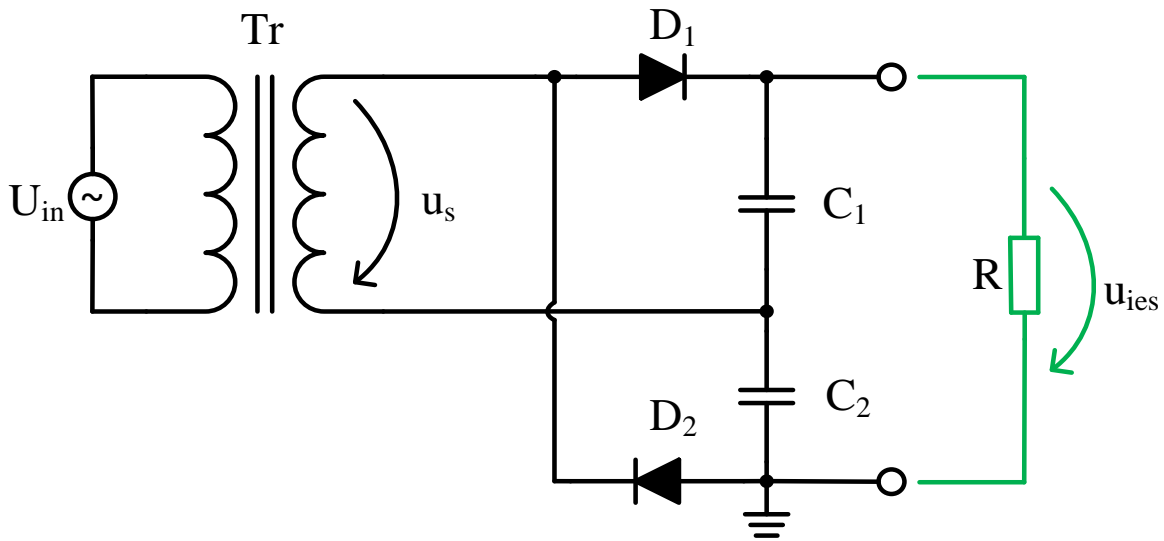


Fig.3.9. Circuitul electronic al redresorului monofazat dublă-alternanță cu dublare de tensiune (Greinacher-Delton), echipat cu diode.

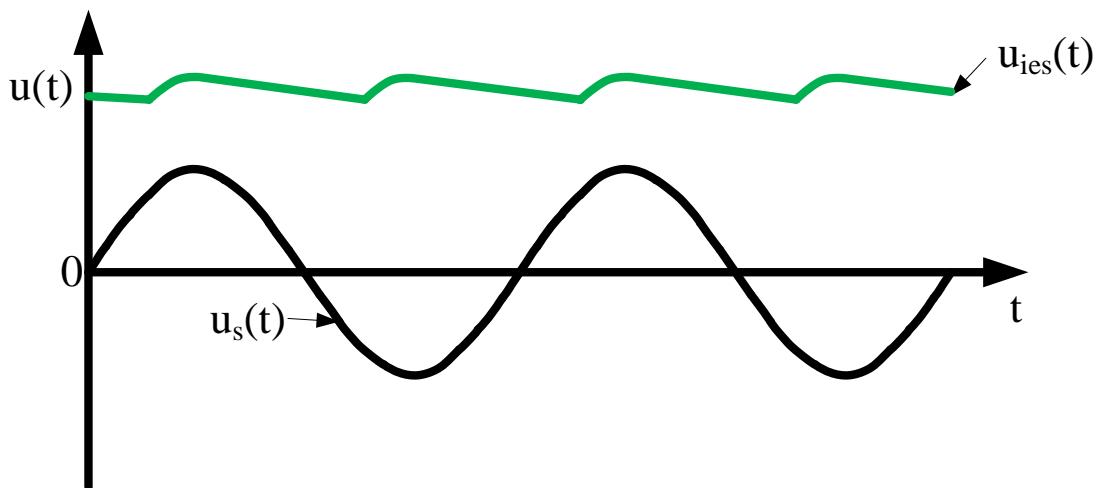


Fig.3.10. Formele de undă idealizate specifice redresorului necomandat monofazat dublă-alternanță cu dublare de tensiune (Greinacher-Delton).

3.3 Stand de lucru și Echipamente

În cadrul acestui modul aplicativ, se vor realiza măsurători practice la nivelul redresoarelor necomandate (cu diode): mono-alternanță, dublă-alternanță cu priză mediană, dublă-alternanță în punte și cu dublare de tensiune.

Realizarea acestor aplicații experimentale presupune utilizarea următoarelor componente, echipamente și aparate de măsură:

1. Placa de experimentare rapidă din Figura 3.11;

2. Diode: 1n4148 - 4 buc.;
3. Condensator: 470 μ F/25V - 1buc.;
4. Condensatoare: 1 μ F/50V - 4 buc., 2,2 μ F/50V - 1 buc., 10 μ F/50V - 1 buc.;
5. Rezistențe: 10k Ω - 1buc., 5k Ω - 1buc.;
6. Fire de legătură;
7. Generator semnale de tensiune - cu 2 canale;
8. Osciloscop Digital - cu minim 2 canale.

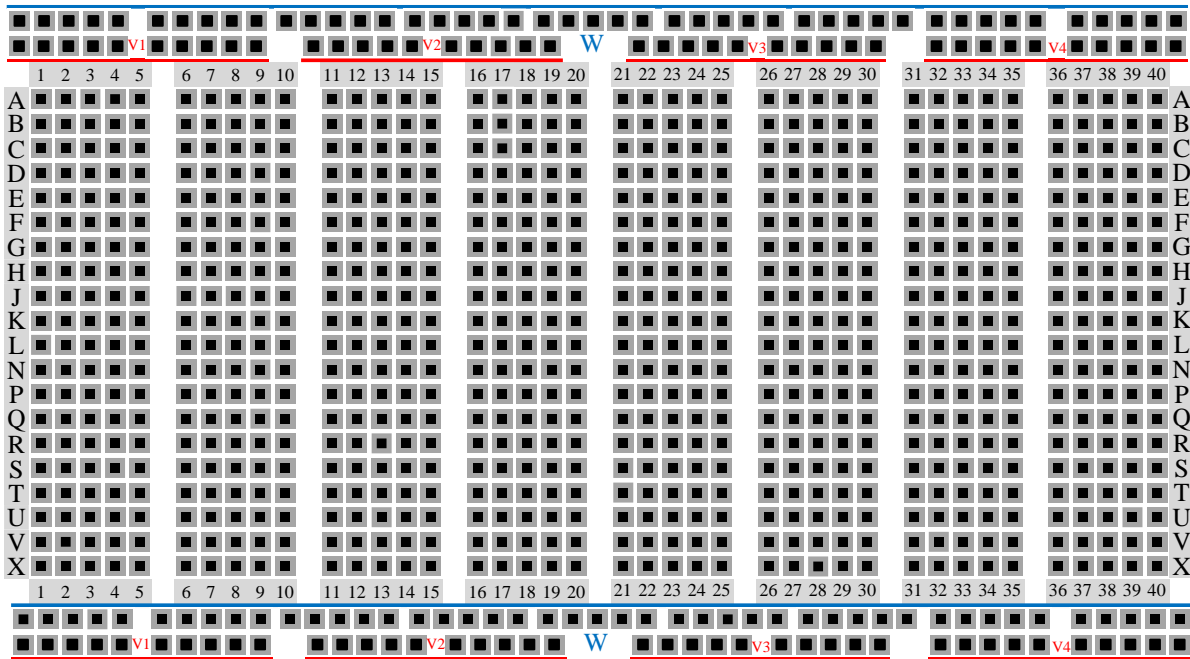
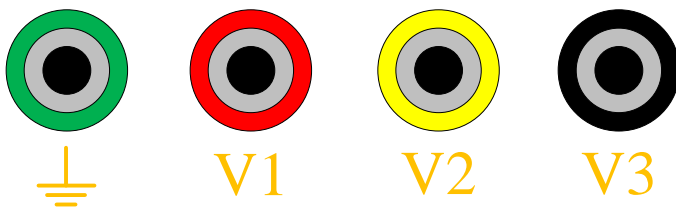


Fig.3.11. Placă de experimentare rapidă.

3.4 Mod de Lucru

În această secțiune a lucrării de față sunt exemplificate modalitățile de realizare rapidă atât a montajelor experimentale cât și a măsurătorilor practice necesare, cu trimitere directă asupra celor cinci tipuri de circuite încadrate la categoria redresoarelor necomandate și care au fost prezentate din punct de vedere teoretic în mod succint în capitolul 3.2.

3.4.1 Redresorul monofazat mono-alternanță

Pentru realizarea montajului experimental din Figura 3.12, corespunzător redresorului monofazat mono-alternanță, este necesară parcurgerea secvențială a pașilor descriși mai jos:

1. Se introduc doi pini de măsură în punctele (1-A) și (1-E) ale plăcii de experimentare rapidă;
2. Se realizează conexiunea între punctele (5-E) și (6-E);
3. Se conectează dioda cu anodul în (4-A) și catodul în (6-A);
4. Se pornește generatorul de semnal și se configurează pe canalul 1 un semnal de tensiune sinusoidală, cu amplitudinea de 10V și frecvența de 50Hz. Apoi, cu ajutorul unui cablu de conexiune (cu mufă "BNC" la un capăt și cu 2 fire dotate cu cleme la celălalt capăt) atașat ieșirii canalului, conectați clema corespunzătoare polarității negative/nulului la pinul plasat în (1-E), iar clema corespunzătoare polarității pozitive/fazei la pinul plasat în (1-A);
5. Se pornește osciloscopul iar apoi, cu ajutorul sondelor, se conectează canalul A al osciloscopului cu borna negativă la (1-E) și borna pozitivă la (1-A), după care borna pozitivă a canalului B se cuplează la catodul diodei (6-A);
6. **Înainte de a activa ieșirea Generatorului de semnal se verifică montajul de către cadrul didactic;**

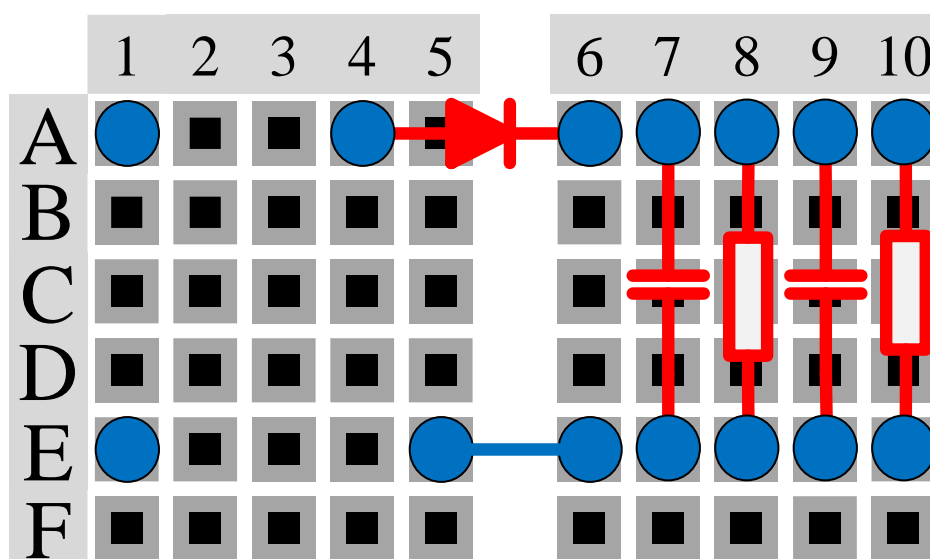


Fig.3.12. Exemplu de realizare a montajului experimental aferent Redresorului necomandat monofazat mono-alternanță.

7. Se activează ieșirea generatorului de semnal, apoi se ajustează setările aferente canalelor osciloscopului în așa fel încât formele de undă să fie clare. După aceea formele de undă vizualizate se salvează pe memoria externă atașată osciloscopului (memoria USB), iar pe o foaie de hârtie se notează: denumirea circuitului, numărul pozei/imaginii salvate și semnificația formelor de undă aferente;

8. În mod **succesiv** se introduc la ieșirea montajului realizat câte un condensator de filtrare și o rezistență de sarcină. Astfel, se definesc 5 situații distincte:
- Cazul 1 - nici o sarcină;
 - Cazul 2 - un condensator de 2,2 μ F;
 - Cazul 3 - un condensator 2,2 μ F, o rezistență de 10k Ω ;
 - Cazul 4 - două condensatoare 2,2 μ F și 10 μ F, o rezistență de 10k Ω ;
 - Cazul 5 - două condensatoare 2,2 μ F și 10 μ F, două rezistențe de: 10k Ω și 5 k Ω .

Astfel, se vor introduce componentele pasive cu bornele la linia „A” respectiv linia „E” în coloanele 7, 8, 9 și 10. Pentru toate cele 5 situații se înregistrează pe memoria USB formele de undă obținute, precum și notarea pe hârtie a semnificației lor, conform indicațiilor de la punctul 7.

3.4.2 Redresorul monofazat dublă-alternanță cu priză mediană

Pentru realizarea montajului experimental din Figura 3.13, corespunzător redresorului monofazat dublă-alternanță cu priză mediană, este necesară parcurgerea secvențială a pașilor descriși mai jos:

1. Se introduc trei pini de măsură în punctele (1-A) , (1-C) și (1-J) ale plăcii de experimentare rapidă;
2. Se realizează conexiunea între punctele: (5-J) și (6-J), (6-E) și (8-C), respectiv (10-A) și (10-C);
3. Se conectează dioda 1 cu anodul în (5-A) și catodul în (7-A), dioda 2 cu anodul în (5-C) și catodul în (7-C);
4. Se pornește generatorul de semnal și se configurează pe canalul 1 un semnal de tensiune sinusoidală, cu amplitudinea de 10V și frecvența de 50Hz. Apoi, cu ajutorul unui cablu de conexiune (cu mufă ”BNC” la un capăt și cu 2 fire dotate cu cleme la celălalt capăt) atașat ieșirii canalului, conectați clema corespunzătoare polarității negative/nulului la pinul plasat în (1-J), iar clema corespunzătoare polarității pozitive/fazei la pinul plasat în (1-A);
5. Pe canalul 2 al generatorului de semnal se configurează un semnal de tensiune sinusoidală, cu amplitudinea de 10V, frecvența de 50Hz și un defazaj de 180°. Apoi, cu ajutorul unui cablu de conexiune (cu mufă ”BNC” la un capăt și cu 2 fire dotate cu cleme la celălalt capăt) atașat ieșirii canalului, conectați clema corespunzătoare polarității negative/nulului la pinul plasat în (1-J), iar clema corespunzătoare polarității pozitive/fazei la pinul plasat în (1-C);
6. Se pornește osciloscopul iar apoi, cu ajutorul sondelor, se conectează canalul A al osciloscopului cu borna negativă la (1-J) și borna pozitivă la (1-A), după care borna pozitivă a canalului B se cuplează la (1-C);

7. Înainte de activarea ieșirilor Generatorului de semnal se verifică montajul de către cadrul didactic;

8. Se activează ieșirea generatorului de semnal, apoi se ajustează setările aferente canalelor osciloscopului în așa fel încât formele de undă să fie clare. După aceea formele de undă vizualizate se salvează pe memoria externă atașată osciloscopului (memoria USB), iar pe o foaie de hârtie se notează: denumirea circuitului, numărul pozei/imaginii salvate și semnificația formelor de undă aferente;

9. Se conectează canalul B al osciloscopului cu borna pozitivă la catodul diodei (7-A);

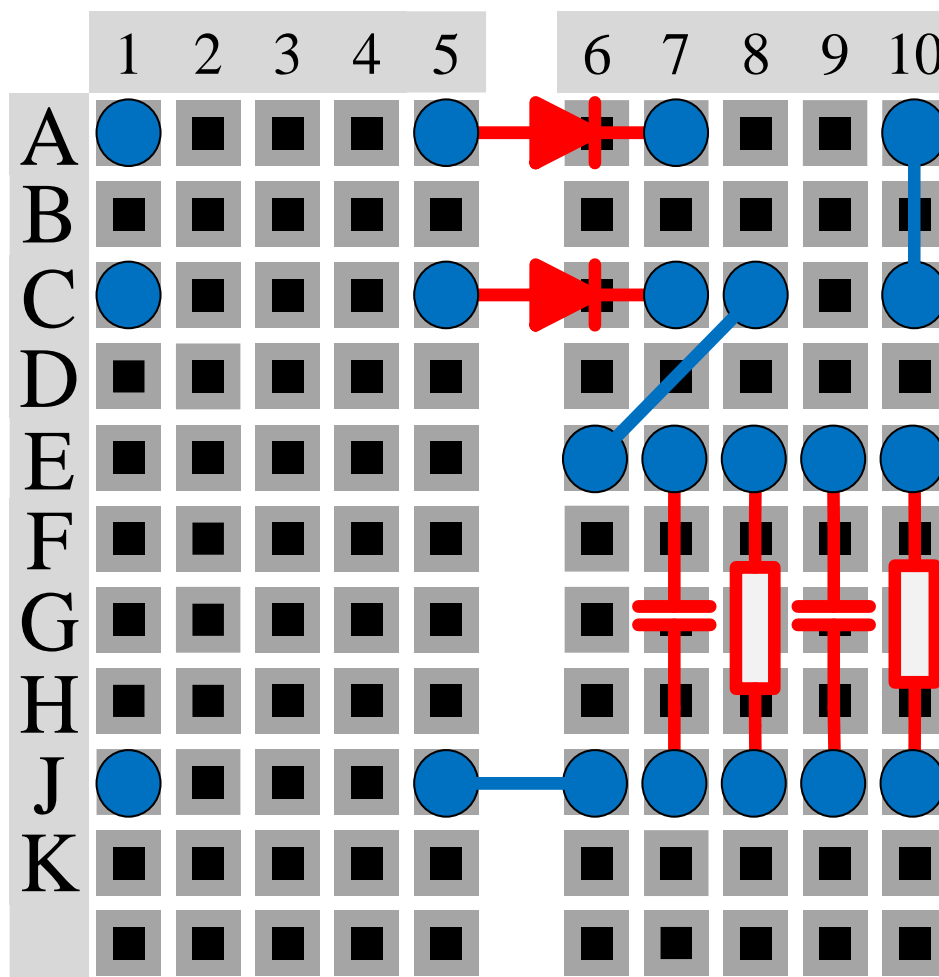


Fig.3.13. Exemplu de realizare a montajului experimental aferent Redresorului necomandat monofazat dublă-alternanță cu priză mediană.

10. În mod **succesiv** se introduc la ieșirea montajului realizat câte un condensator de filtrare și o rezistență de sarcină. Astfel, se definesc 5 situații distincte:

- Cazul 1 - nici o sarcină;
- Cazul 2 - un condensator de $2,2\mu\text{F}$;
- Cazul 3 - un condensator $2,2\mu\text{F}$, o rezistență de $10\text{k}\Omega$;
- Cazul 4 - două condensatoare $2,2\mu\text{F}$ și $10\mu\text{F}$, o rezistență de $10\text{k}\Omega$;
- Cazul 5 - două condensatoare $2,2\mu\text{F}$ și $10\mu\text{F}$, două rezistențe de: $10\text{k}\Omega$ și $5\text{k}\Omega$.

Astfel, se vor introduce componentele pasive cu bornele la linia „E” respectiv linia „J”, în coloanele 7, 8, 9 și 10. Pentru toate cele 5 situații se înregistrează pe memoria USB formele de undă obținute, precum și notarea pe hârtie a semnificației lor, conform indicațiilor de la punctul 8.

3.4.3 Redresorul monofazat dublă-alternanță în punte

Pentru realizarea montajului experimental din Figura 3.14, corespunzător redresorului monofazat dublă-alternanță în punte, este necesară parcurgerea secvențială a pașilor descriși mai jos:

1. Se introduc patru pini de măsură în punctele (1-A) , (1-D), (1-F) și (1-J) ale plăcii de experimentare rapidă;
2. Se realizează conexiunea între punctele: (5-A) și (6-A), (5-J) și (6-J), respectiv (7-J) și (6-D);
3. Se conectează dioda 1 cu anodul în (3-D) și catodul în (3-A), dioda 2 cu anodul în (4-F) și catodul în (4-A), dioda 3 cu anodul în (2-J) și catodul în (2-D), dioda 4 cu anodul în (3-J) și catodul în (3-F);
4. Se pornește generatorul de semnal și se configurează pe canalul 1 un semnal de tensiune sinusoidală, cu amplitudinea de 10V și frecvența de 50Hz. Apoi, cu ajutorul unui cablu de conexiune (cu mufă "BNC" la un capăt și cu 2 fire dotate cu cleme la celălalt capăt) atașat ieșirii canalului, conectați clema corespunzătoare polarității negative/nulului la pinul plasat în (1-F), iar clema corespunzătoare polarității pozitive/fazei la pinul plasat în (1-D);
5. Se pornește osciloscopul iar apoi, cu ajutorul unei sonde, se conectează canalul A al osciloscopului cu borna negativă la (1-F) și borna pozitivă la (1-D);
6. **Înainte de a activa ieșirea Generatorului de semnal se verifică montajul de către cadrul didactic;**

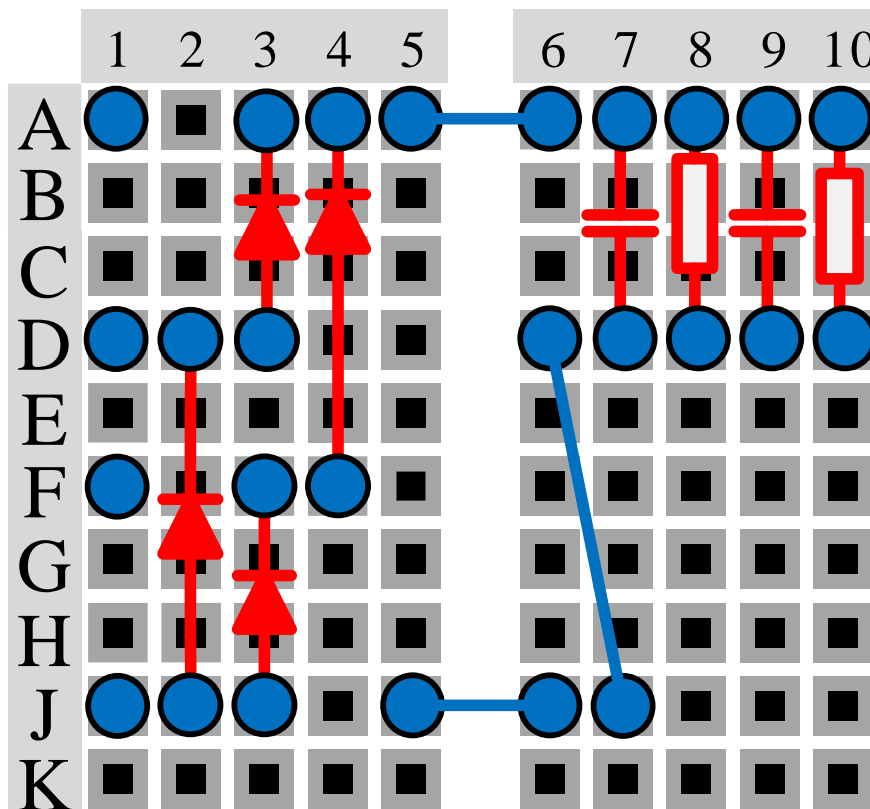


Fig.3.14. Exemplu de realizare a montajului experimental aferent Redresorului necomandat monofazat dublă-alternanță în punte.

7. Se activează ieșirea generatorului de semnal, apoi se ajustează setările aferente canalelor osciloscopului în așa fel încât formele de undă să fie clare. După aceea formele de undă vizualizate se salvează pe memoria externă atașată osciloscopului (memoria USB), iar pe o foaie de hârtie se notează: denumirea circuitului, numărul pozei/imaginii salvate și semnificația formelor de undă aferente;
8. Cu ajutorul unei sonde se conectează canalul A al osciloscopului cu borna negativă la (1-J) și borna pozitivă la catodul diodei 1 adică în (1-A);
9. În mod **succesiv** se introduc la ieșirea montajului realizat câte un condensator de filtrare și o rezistență de sarcină. Astfel, se definesc 5 situații distincte:
 - Cazul 1 - nici o sarcină;
 - Cazul 2 - un condensator de 2,2 μ F;
 - Cazul 3 - un condensator 2,2 μ F, o rezistență de 10k Ω ;
 - Cazul 4 - două condensatoare 2,2 μ F și 10 μ F, o rezistență de 10k Ω ;
 - Cazul 5 - două condensatoare 2,2 μ F și 10 μ F, două rezistențe de: 10k Ω și 5 k Ω .

Astfel, se vor introduce componentele pasive cu bornele la linia „A” respectiv linia „D”, în coloanele 7, 8, 9 și 10. Pentru toate cele 5 situații se înregistrează pe memoria USB formele de undă obținute, precum și notarea pe hârtie a semnificației lor, conform indicațiilor de la punctul 7.

3.4.4 Redresorul monofazat mono-alternanță cu dublare de tensiune (Villard)

Pentru realizarea montajului experimental din Figura 3.15, corespunzător redresorului monofazat mono-alternanță cu dublare de tensiune (Villard), este necesară parcurgerea secvențială a pașilor descriși mai jos:

1. Se introduc trei pini de măsură în punctele (1-A) , (9-D) și (1-L) ale plăcii de experimentare rapidă;
2. Se realizează conexiunea între punctele (5-L) și (6-L), (6-F) și (6-H), respectiv (10-D) și (10-F);
3. Se conectează condensatorul electrolitic (polarizat) de 470 μ F cu borna pozitivă în (4-D) și borna negativă în (4-A),
4. Se conectează dioda 1 cu anodul în (3-L) și catodul în (3-D), dioda 2 cu anodul în (5-D) și catodul în (7-D);
5. Se pornește generatorul de semnal și se configurează pe canalul 1 un semnal de tensiune sinusoidală, cu amplitudinea de 10V și frecvența de 50Hz. Apoi, cu ajutorul unui cablu de conexiune (cu mufă ”BNC” la un capăt și cu 2 fire dotate cu cleme la celălalt capăt) atașat ieșirii canalului, conectați clema corespunzătoare polarității negative/nulului la pinul plasat în (1-L), iar clema corespunzătoare polarității pozitive/fazei la pinul plasat în (1-A);
6. Se pornește osciloscopul iar apoi, cu ajutorul sondelor, se conectează canalul A al osciloscopului cu borna negativă la (1-L) și borna pozitivă la (1-A), după care borna pozitivă a canalului B se cuplează la (9-D);
- 7. Înainte de a activa ieșirea Generatorului de semnal se verifică montajul de către cadrul didactic;**

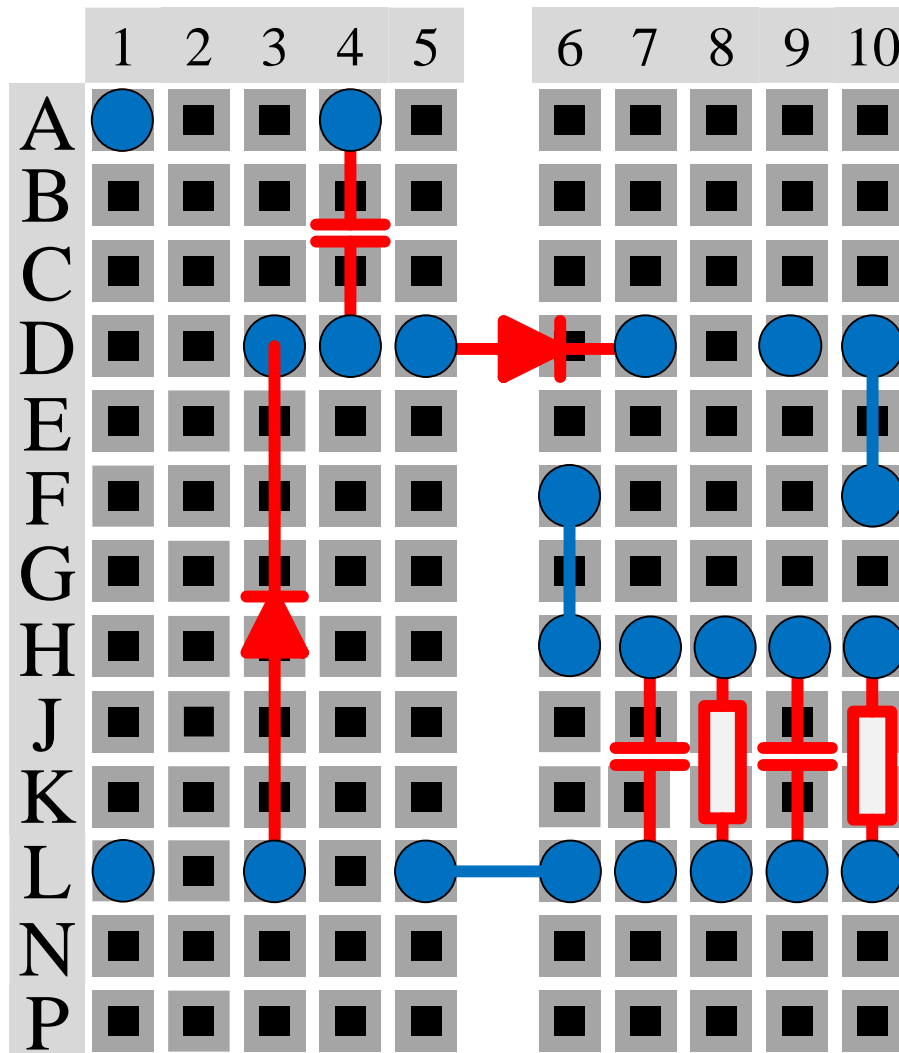


Fig.3.15. Exemplu de realizare a montajului experimental aferent Redresorului necomandat monofazat mono-alternanță cu dublare de tensiune (Villard).

8. Se activează ieșirea generatorului de semnal, apoi se ajustează setările aferente canalelor osciloscopului în așa fel încât formele de undă să fie clare. După aceea formele de undă vizualizate se salvează pe memoria externă atașată osciloscopului (memoria USB), iar pe o foaie de hârtie se notează: denumirea circuitului, numărul pozei/imaginii salvat și semnificația formelor de undă aferente;
9. În mod **succesiv** se introduc la ieșirea montajului realizat câte un condensator de filtrare și o rezistență de sarcină. Astfel, se definesc 5 situații distincte:
 - Cazul 1 - nici o sarcină;
 - Cazul 2 - un condensator de $2,2\mu\text{F}$;
 - Cazul 3 - un condensator $2,2\mu\text{F}$, o rezistență de $10\text{k}\Omega$;
 - Cazul 4 - două condensatoare $2,2\mu\text{F}$ și $10\mu\text{F}$, o rezistență de $10\text{k}\Omega$;
 - Cazul 5 - două condensatoare $2,2\mu\text{F}$ și $10\mu\text{F}$, două rezistențe de $10\text{k}\Omega$;

Astfel, se vor introduce componentele pasive cu bornele la linia „H” respectiv linia „L”, în coloanele 7, 8, 9 și 10. Pentru toate cele 5 situații se înregistrează pe memoria USB formele de undă obținute, precum și notarea pe hârtie a semnificației lor, conform indicațiilor de la punctul 8.

3.4.5 Redresorul monofazat dublă-alternanță cu dublare de tensiune (Greinacher-Delon)

Pentru realizarea montajului experimental din Figura 3.16, corespunzător redresorului monofazat dublă-alternanță cu dublare de tensiune (Greinacher-Delon), este necesară parcurgerea secvențială a pașilor descriși mai jos:

1. Se introduc patru pini de măsură în punctele (1-A), (1-F), (9-A) și (10-Q) ale plăcii de experimentare rapidă;

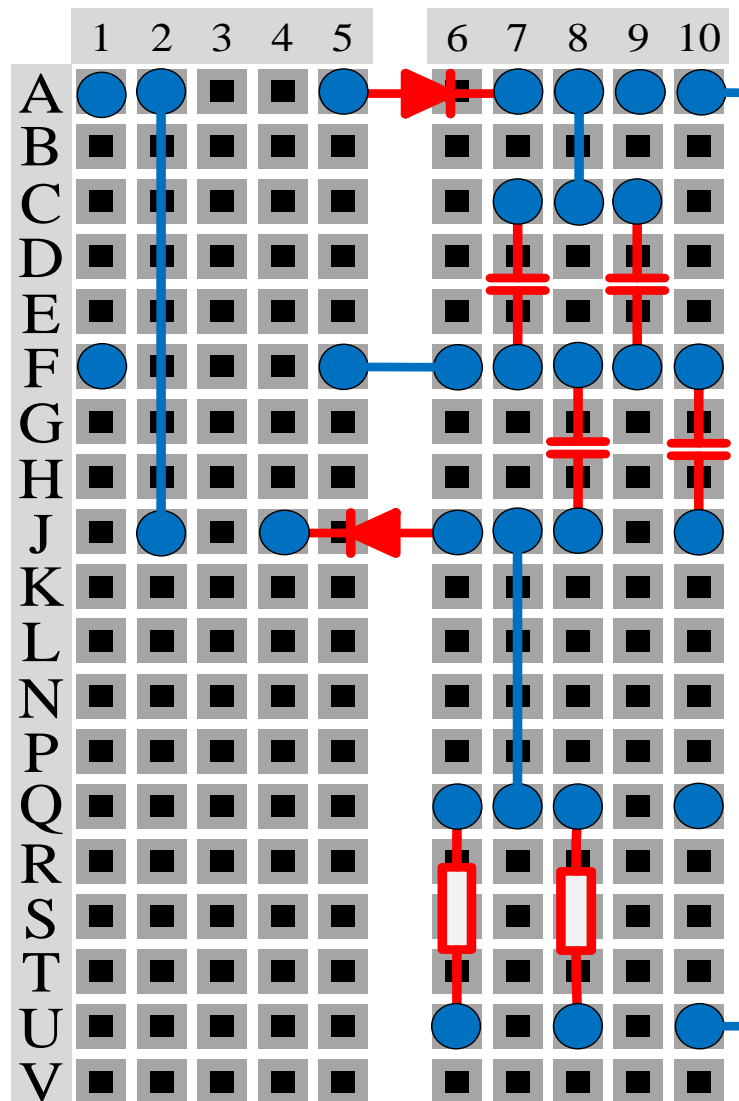


Fig.3.16. Exemplu de realizare a montajului experimental aferent Redresorului necomandat monofazat dublă-alternanță cu dublare de tensiune (Greinacher-Delon).

2. Se realizează conexiunile între punctele (2-A) și (2-J), (5-F) și (6-F), (7-J) și (7-Q), (8-A) și (8-C), respectiv între (10-A) și (10-U);
3. Se conectează două condensatoare nepolarizate de $1\mu\text{F}$ între punctele: (7-C) și (7-F) - pentru primul, iar pentru cel de al doilea între (8-F) și (8-J);
4. Se conectează dioda 1 cu anodul în (5-A) și catodul în (7-A), dioda 2 cu anodul în (6-J) și catodul în (4-J);
5. Se pornește generatorul de semnal și se configurează pe canalul 1 un semnal de tensiune sinusoidală, cu amplitudinea de 10V și frecvența de 50Hz. Apoi, cu ajutorul unui cablu de conexiune (cu mufă "BNC" la un capăt și cu 2 fire dotate cu cleme la celălalt capăt) atașat ieșirii canalului, conectați clema corespunzătoare polarității negative/nulului la pinul plasat în (1-F), iar clema corespunzătoare polarității pozitive/fazei la pinul plasat în (1-A);
6. Se pornește osciloscopul iar apoi, cu ajutorul unei sonde, se conectează canalul A al osciloscopului cu borna negativă la (1-F) și borna pozitivă la (1-A);

7. Înainte de a activa ieșirea Generatorului de semnal se verifică montajul de către cadrul didactic;

8. Se activează ieșirea generatorului de semnal, apoi se ajustează setările aferente canalelor osciloscopului în așa fel încât formele de undă să fie clare. După aceea formele de undă vizualizate se salvează pe memoria externă atașată osciloscopului (memoria USB), iar pe o foaie de hârtie se notează: denumirea circuitului, numărul pozei/imaginii salvate și semnificația formelor de undă aferente;
9. Cu ajutorul unei sonde se conectează canalul A al osciloscopului cu borna negativă la (10-Q) și borna pozitivă la (9-A), apoi se înregistrează pe memoria USB formele de undă obținute, precum și notarea pe hârtie a semnificației lor, conform indicațiilor de la punctul 8;
10. Se introduce la ieșire o rezistență de 10 k Ω în punctele (6-Q) și (6-U). Se înregistrează pe memoria USB formele de undă obținute, precum și notarea pe hârtie a semnificației lor, conform indicațiilor de la punctul 8;
11. Se conectează două condensatoare nepolarizate de $1\mu\text{F}$ în paralel cu cele introduse la subpunctul 3, primul între punctele (9-C) și (9-F), iar cel de al doilea între punctele (10-F), (10-J). Se înregistrează pe memoria USB formele de undă obținute, precum și notarea pe hârtie a semnificației lor, conform indicațiilor de la punctul 8;
12. Se introduce la ieșire încă o rezistență de 5 k Ω în punctele (8-Q) și (8-U). Se înregistrează pe memoria USB formele de undă obținute, precum și notarea pe hârtie a semnificației lor, conform indicațiilor de la punctul 8.;
13. După încheierea tuturor măsurărilor ieșirea generatorului de semnal se dezactivează, apoi generatorul de semnal și osciloscopul se opresc, iar în cele din urmă se demontează componentele montajului experimental realizat.

3.5 Întrebări și teme

- 1) Pentru fiecare circuit și fiecare caz experimentat în parte, se imprimă în mod sistematizat pe hârtie toate imaginile/pozele salvate în memoria USB, iar apoi în dreptul lor se retranscriu toate notațiile, calculele și observațiile făcute în timpul aplicației.
- 2) Identificați diferențele dintre primele trei tipuri de redresoare?
- 3) Dintre primele trei tipuri de redresoare care este mai eficient (doar din perspectiva electronicii)? Argumentați.
- 4) Tensiunea de ieșire ideală a unui filtru capacitiv este egală cu:
 - a) valoarea efectivă a tensiunii redresate;
 - b) valoare medie a tensiunii redresate;
 - c) valoare de vârf a tensiunii redresate;
- 5) Dacă una dintre diodele unui redresor dublă alternanță în punte se întrerupe, tensiunea ieșire este:
 - a) 0V;
 - b) un sfert din amplitudinea tensiunii de intrare;
 - c) tensiunea redresată mono-alternanță;
 - d) o tensiune cu frecvența de 102 Hz;
- 6) Dacă, la verificarea unui redresor dublă alternanță în punte, fără filtrare capacitivă, cu semnal de intrare de 50 Hz, remarcăți faptul că semnalul de ieșire prezintă pulsații de 50 Hz:
 - a) circuitul funcționează corect;
 - b) una dintre diode este întreruptă;
 - c) secundarul transformatorului este scurtcircuitat;
 - d) una dintre diode conduce în sens invers.

Bibliografie

- [1] Marschalko, R. – "Electronică pentru ingineri electrotehnicieni –Dispozitive și circuite electronice fundamentale", Volumul I, Editura Mediamira Cluj-Napoca, 2003;
- [2] Floyd, T.L. – "Dispozitive și circuite electronice", Editura Teora, București, 2003;
- [3] Marschalko, R.; Bojan, M. și Salomir, C. – "Electronică pentru ingineri electrotehnicieni, Ghid practic pentru seminar și laborator", Volumul I, Editura Mediamira Cluj-Napoca, 2004;
- [4] Marschalko, R. – "Electronică pentru ingineri electrotehnicieni –Circuite electronice pentru semnale continue", Volumul II, Editura Mediamira Cluj-Napoca, 2006.
- [5] Floyd, T.L. – "Electronic Devices" – *Conventional Current Version* – Ninth Edition, New Jersey (USA): Prentice Hall, 2012.

Anexă Lucrarea 3

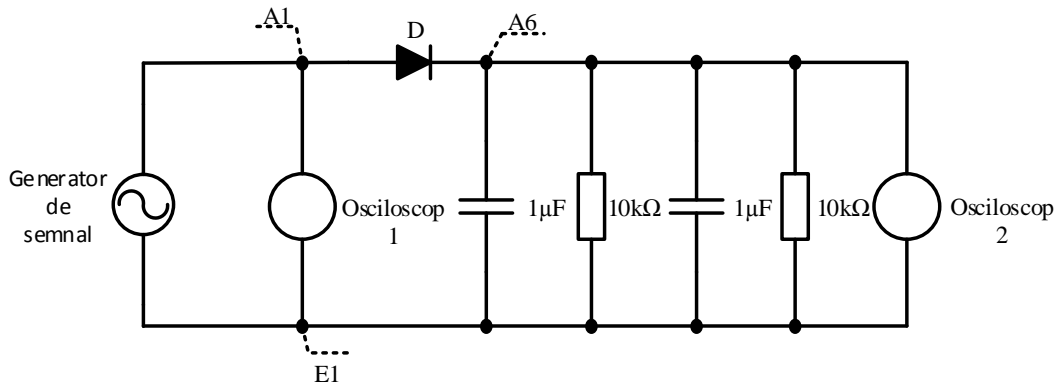


Fig.4.17. Circuitul de măsură echivalent pentru Redresorul monofazat mono-alternanță.

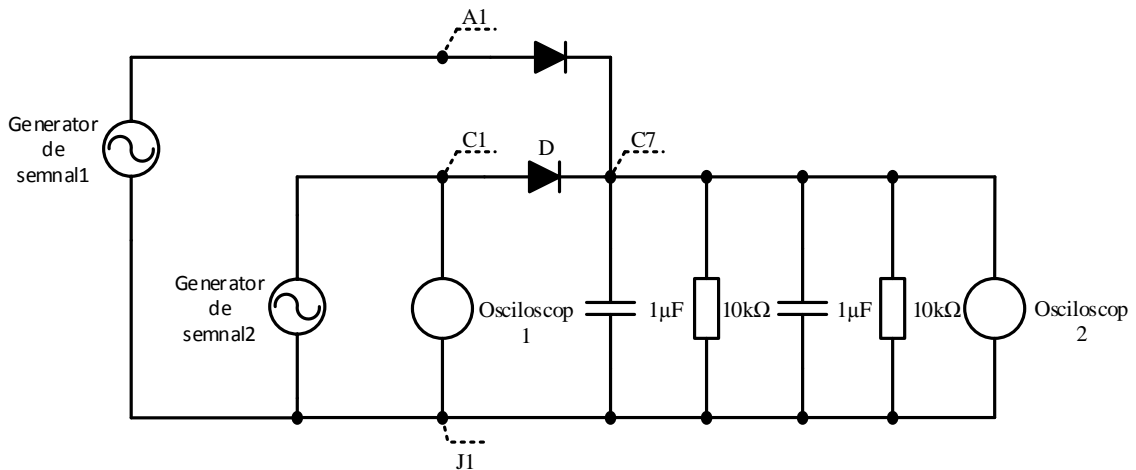


Fig.4.18. Circuitul de măsură echivalent pentru Redresorul monofazat dublă-alternanță cu priză mediană.

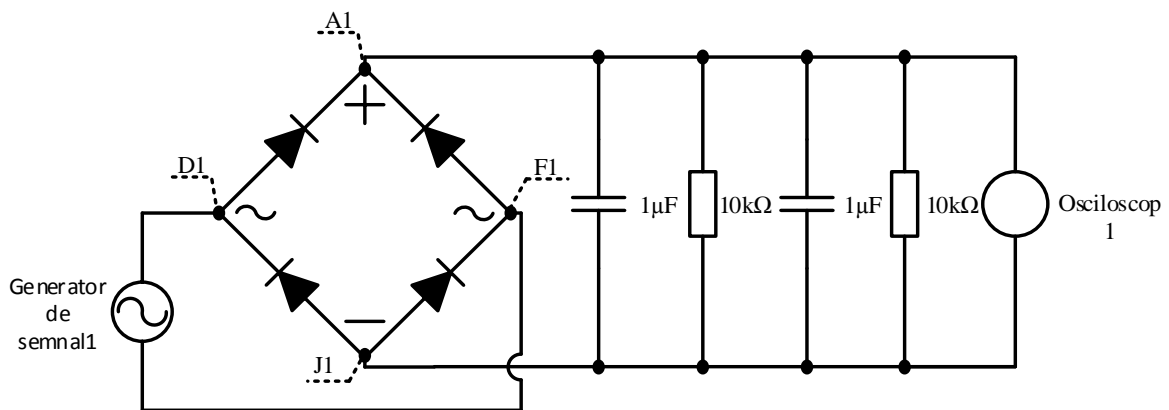


Fig.4.19. Circuitul de măsură echivalent pentru Redresorul monofazat dublă-alternanță în punte.

Lucrarea 4. Măsurarea și trasarea familiilor de caracteristici statice ale tranzistoarelor bipolare

4.1 Introducere

Tranzistoarele bipolare, la fel ca și diodele, fac parte din categoria dispozitivelor electronice fundamentale, adică din categoria dispozitivelor electronice care se regăsesc în componența tuturor echipamentelor electronice actuale. Tranzistorul este un dispozitiv electronic cu ajutorul căruia pot fi amplificate sau comutate semnale electrice. De aceea pentru a putea înțelege funcționarea, respectiv utilizarea, tranzistoarelor bipolare este necesar a realiza măsurarea și trasarea caracteristicilor statice corespunzătoare acestor dispozitive. Ca urmare, în lucrarea de față se prezintă succint cele două tipuri de tranzistoare bipolare existente, din punct de vedere constructiv și funcțional, după care se propune metodologia de lucru în vederea măsurării și testării caracteristicilor statice de funcționare specifice.

4.2 Considerații teoretice aferente tranzistoarelor bipolare

4.2.1 Structura internă

Tranzistoarele bipolare (cu joncțiuni) sunt destinate atât prelucrării de semnale, continue sau discrete, numindu-se tranzistoare de mică putere sau tranzistoare de semnal, cât și aplicațiilor de electronică de putere, caz în care sunt cunoscute ca tranzistoare de putere. Distingem două categorii de tranzistoare bipolare, de tip “nnp” și de tip “pnp” (Figura 4.1 a), b)). Se constată că tranzistorul poate fi echivalat din punct de vedere principal/constructiv (atenție nu și funcțional) cu o schemă electronică având două diode, adică cu două joncțiuni pn care au stratul p, respectiv, stratul n comun. Acest strat de material semiconductor, ca de altfel și electrodul atașat lui, poartă numele de bază, B. Ceilalți doi electrozi ai acestui dispozitiv electronic, atașați straturilor extremale de material semiconductor, poartă numele de colector, C, respectiv, emitor, E. Termenul **bipolar** indică faptul că, în structura de tranzistor, atât golurile, cât și electronii constituie purtătorii de sarcină electrică.

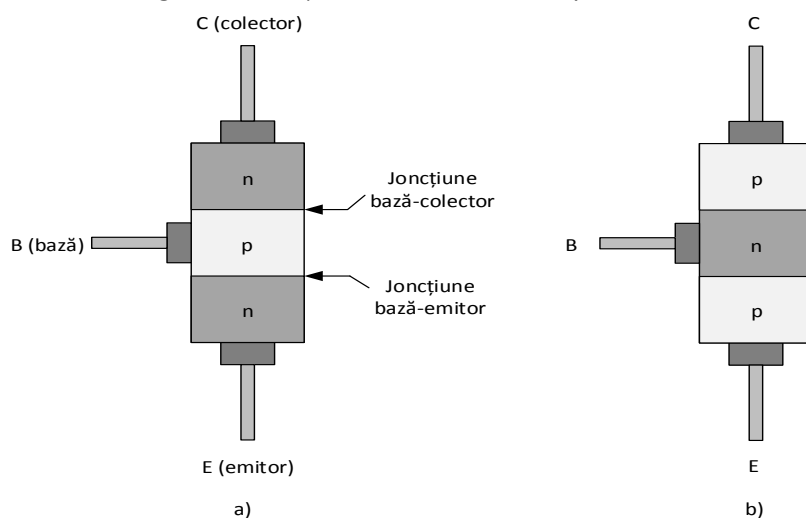


Fig. 4.1. Structura internă a tranzistorului bipolar:

a) npn; b) pnp.

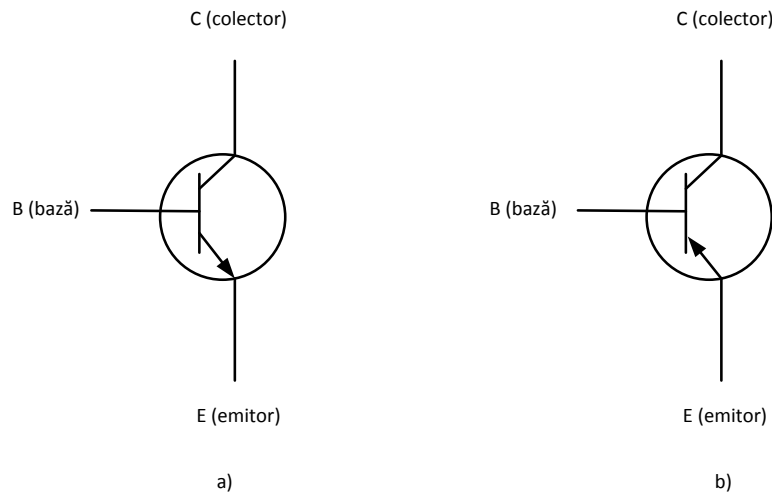


Fig. 4.2. Simbolurile standardizate ale tranzistoarelor bipolare discrete (cu jonțiuni):
a) npn; b) pnp.

4.2.2. Principii de funcționare

Figura 4.3 prezintă modul corect de polarizare atât pentru tranzistoarele npn, cât și pentru cele pnp, pentru funcționarea în regim de amplificare. Se observă că în ambele cazuri jonțiunea bază-emitor (BE) este polarizată direct, iar jonțiunea bază-colector (BC) este polarizată invers.

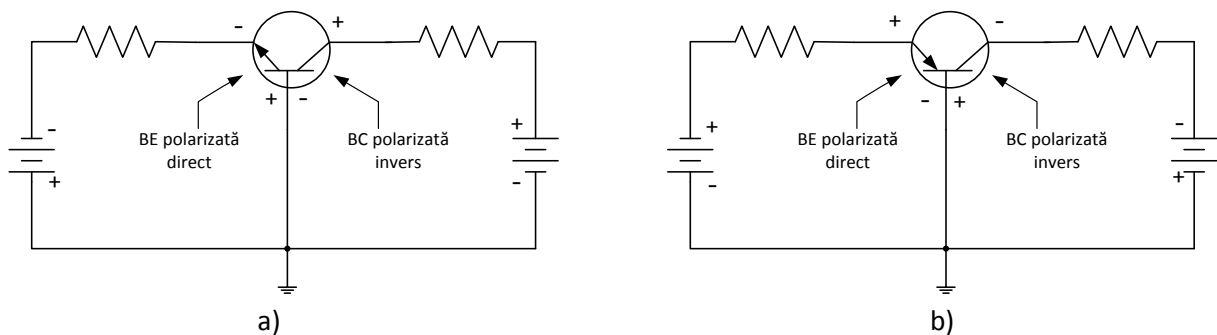


Fig.4.3. Polarizarea jonțiunilor unui tranzistor bipolar: a) npn; b) pnp.

4.2.3. Caracteristicile și parametrii tranzistorului bipolar

Putem aborda analiza caracteristicilor statice de intrare și de ieșire ale tranzistoarelor după ce vom arăta că proprietatea fundamentală a tranzistoarelor bipolare este aceea că, la polarizare corectă, curentul de colector, I_C , este un multiplu bine determinat al curentului de bază, I_B .

Raportul:

$$\beta = \frac{I_C}{I_B}$$

Îl numim factor de amplificare în curent continuu al tranzistorului bipolar. Acesta ia valori începând cu mai puțin de 20 și poate ajunge până la 200.

Raportul dintre curentul continuu prin colector, I_C , și curentul continuu prin emitor, I_E , se notează cu α și ia valori începând de la 0,95 și până la 0,99, rămânând întotdeauna subunitar:

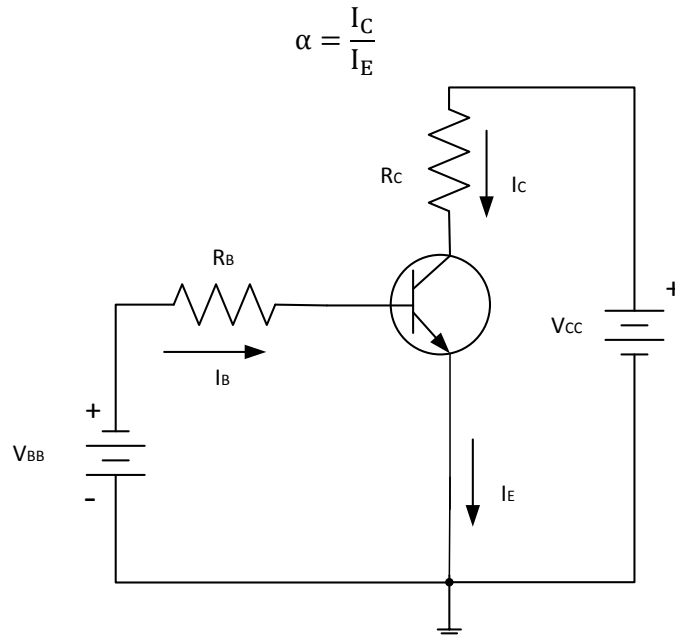


Fig. 4.4. Circuit de c.c. pentru polarizarea tranzistoarelor de tip npn.

Caracteristica de intrare a tranzistorului bipolar stabilește relația dintre curentul de bază, I_B și tensiunea bază-emitor, U_{BE} . Figura 4.5, se referă la caracteristica de intrare a unui tranzistor npn măsurată în condițiile unei tensiuni U_{CE} de valoare constantă. Pentru ca un tranzistor să poată prelua semnalele aplicate la intrare este necesar ca în prealabil circuitului bază-emitor să i se stabilească un punct static de funcționare A, adică să se genereze un curent de bază I_{B1} , căruia îi corespunde o tensiune bază-emitor U_{BE1} .

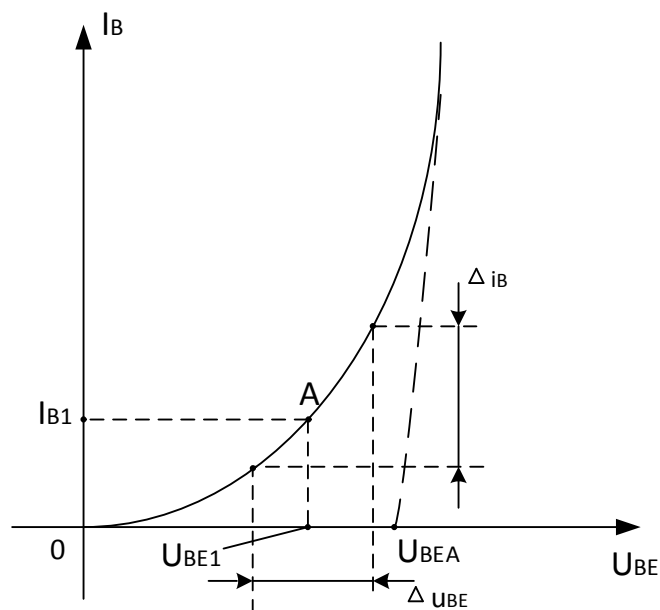


Fig. 4.5. Explicativă privind caracteristica statică de intrare a tranzistoarelor bipolare.

Caracteristica de ieșire a tranzistoarelor bipolare, Figura 4.6 , este dată în general sub formă grafică, și ne indică relația existentă între curentul de colector, I_C și tensiunea colector-emitor U_{CE} , în condițiile unui curent I_B de valoare constantă. Întrucât curentul de colector depinde de curentul de bază, vom distinge o familie de caracteristici de ieșire, având ca parametru pe I_B . Din figură reiese că funcționarea în zona activă a caracteristicii statice de ieșire a tranzistoarelor bipolare are loc pentru curenți de colector superiori zonei de blocare și la tensiuni colector-emitor superioare zonei de saturare.

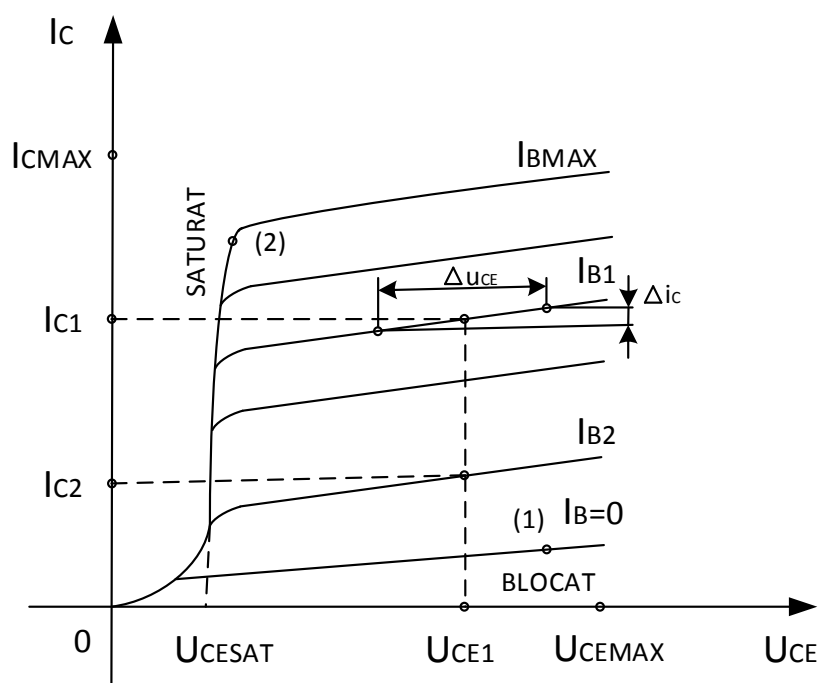


Fig. 4.6. Explicativă privind familia caracteristicilor statice de ieșire ale tranzistoarelor bipolare.

4.3 Stand de lucru și Echipamente

Pentru realizarea acestei aplicații experimentale se vor utiliza următoarele componente, echipamente și aparate de măsură:

1. Placa de experimentare rapidă din Figura 4.8;
2. Sursă de alimentare cu tensiune continuă: 1 canal reglabil 0...30V și 0...3A;
3. Tranzistoare: BC 338 - 1buc.; respectiv BC 328 - 1buc.;
4. Multimetre: 3 buc.;
5. Pini de măsură: 4buc.;
6. Potențiometre: 20k Ω - 2buc., din dotarea plăcii de experimentare rapidă și a căror terminale de conexiune sunt prezentate în Figura 4.7 a), b);
7. Rezistențe: 82k Ω - 1buc., 2k Ω - 1buc., 51k Ω - 1buc.;
8. Cleme de tip "clește": 4buc., ca în Figura 4.7.d);
9. Fire de conexiune.

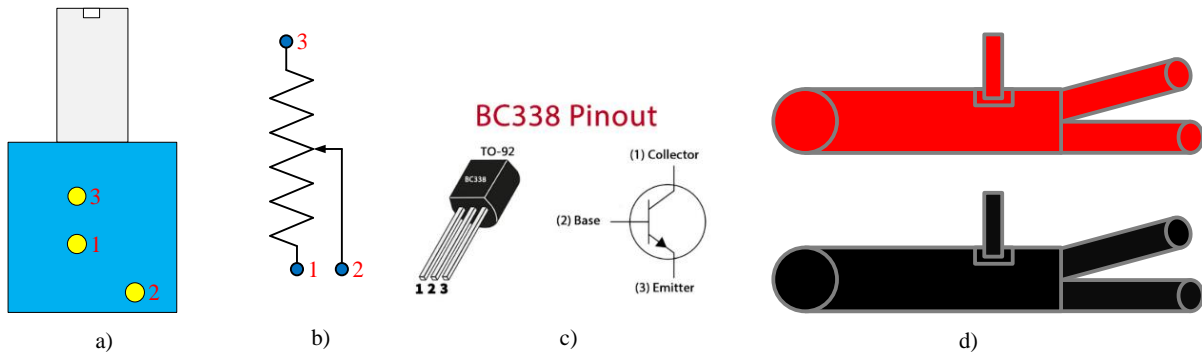


Fig. 4.7.: a) și b) - terminale de conexiune ale potențimetrelor utilizate; c) vederea de sus a tranzistorului BC 338; d) clemele de tip "clește" – utilizate la realizarea legăturilor din circuit.

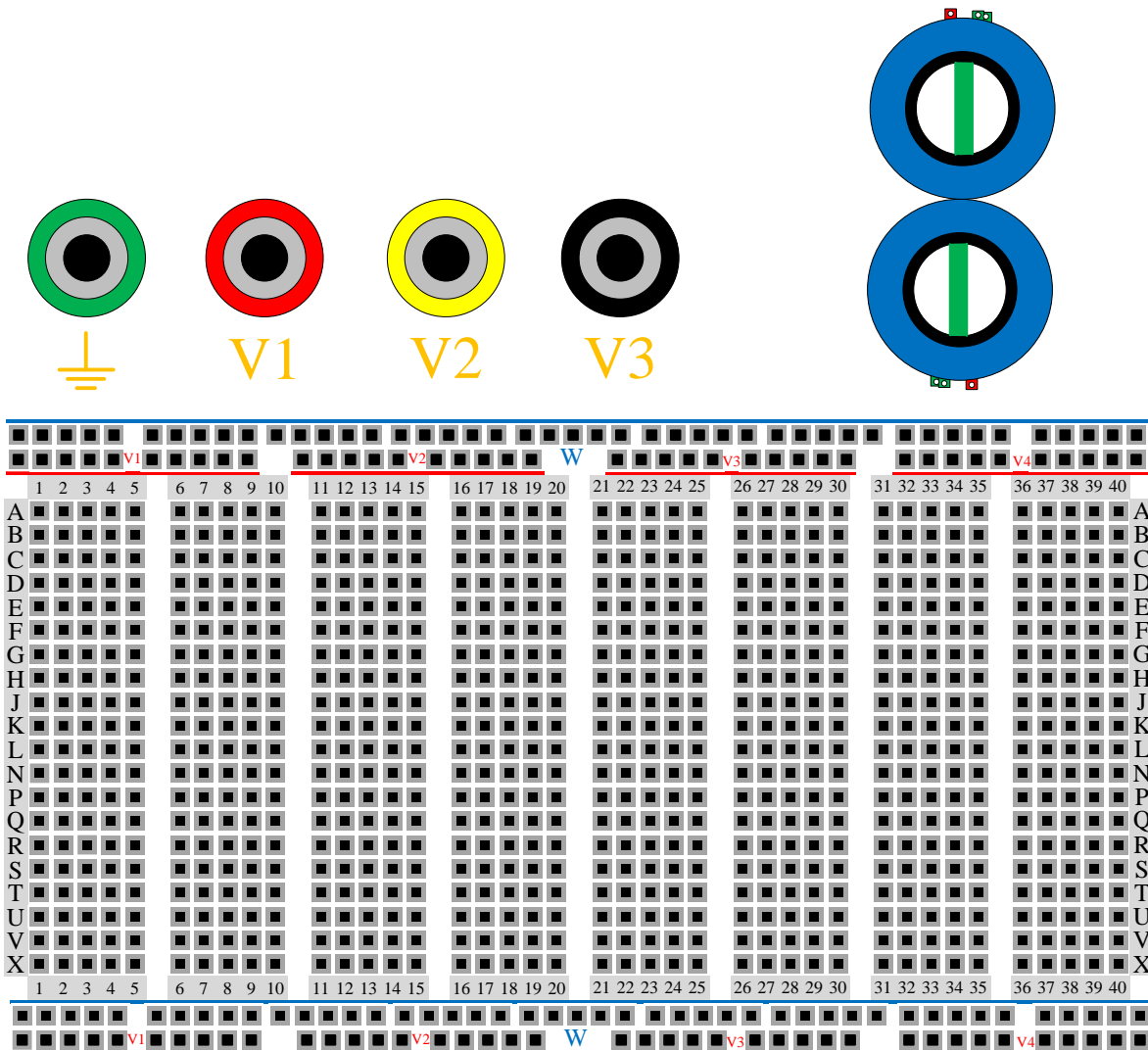


Fig. 4.8 Placă de experimentare rapidă.

4.4 Mod de Lucru

În cadrul acestei lucrări, se vor realiza măsurători practice la nivelul a 2 tipuri de tranzistoare bipolare (BC 338 - NPN și BC 328 - PNP) în vederea ridicării familiilor de caracteristici statice de funcționare. Prin urmare în secțiune de față sunt exemplificate modalitățile de realizare rapidă atât a montajelor experimentale cât și a măsurătorilor necesare.

4.4.1 Măsurarea familiilor de caracteristici statice ale tranzistorului BC 338 - de tip NPN

a) Familia caracteristicilor statice de ieșire $I_C = f(U_{CE})$ la $I_B = ct.$ ale tranzistorului BC 338

Pentru realizarea montajului experimental din Figura 4.9, care ne permite măsurarea și apoi trasarea familiei caracteristicilor statice de ieșire ale tranzistorului BC 338 - de tip NPN, este necesară parcurgerea secvențială a următorilor pași:

1. Se pornește sursa de alimentare cu tensiune continuă și se reglează la ieșirea unui canal o tensiune cu valoarea de 24V c.c la o limitare a curentului de 0,05A, după care ieșirea canalului se **dezactivează** până la realizarea montajului experimental;
2. Pe placa de experimentare rapidă, conform Figurii 4.9, se introduce tranzistorul BC 338 cu Emitorul în punctul (12-E), Baza în punctul (12-D) și Colectorul în punctul (12-C) (vederea de sus a tranzistorului BC 338 se regăsește în figura 4.7 c.);
3. Se introduce rezistența de 81,6k Ω între punctele (8-D) și (11-D);
4. Se introduce rezistența de 2,21k Ω între punctele (15-C) și (19-A);
5. Se introduce rezistența de 51k Ω între punctele (14-E) și (14-J);
6. Pe aceeași placă de experimentare rapidă, cu ajutorul unor fire, se realizează conexiunile între:
 - a. borna GROUND și punctul (2-A);
 - b. între borna V1 și punctul (6-D);
 - c. între borna V2 și punctul (20-A);
 - d. între borna V3 și punctul (21-A);
 - e. între punctul (2-K); și punctul (11-D);
 - f. între punctul (2-Q); și punctul (13-E);
7. Potențiometrul R1, având configurația din Figura 4.7 (a și b), se introduce în circuit astfel: terminalul 1 se conectează în punctul (15-E), terminalul 2 (adică cursorul) se conectează în punctul (1-A), iar terminalul 3 se conectează în punctul (5-V), după care se asigură poziționarea/rotirea cursorului potențiometrului la valoarea minimă, adică maxim spre dreapta;
8. Potențiometrul R2, având aceeași configurație ca aceea din Figura 4.7 (a și b), se introduce în circuit astfel: terminalul 1 se conectează în punctul (15-J), terminalul 2 (adică cursorul) se conectează în punctul (25-A), iar terminalul 3 se conectează în punctul (3-V), după care se asigură poziționarea/rotirea cursorului potențiometrului la valoarea minimă, adică maxim spre stânga;
9. Se introduc trei pini de măsură în punctele: (1-K), (1-Q), (1-V), ale plăcii experimentale;
10. Pentru unul din multimetrele puse la dispoziție se va selecta opțiunea de miliampermetru (mA c.c.) pe scala de 20mA(c.c.), pe un alt multimetru se va selecta opțiunea de microampermetru (μ A c.c.) pe scala de 20 μ A(c.c.), iar pe cel de-al treilea multimetru se va selecta opțiunea de măsurare a tensiunii continue (V c.c. 1), pe scala de 20V(c.c.), adică este folosit pe post de voltmetru;
11. Borna pozitivă a sursei de alimentare se conectează, prin intermediul unui fir și cu ajutorul unei clemele roșii de tip "clește", la pinul de măsură din punctul (1-V), iar borna negativă de la sursă se conectează printr-un alt fir la borna COM a multimetrelor folosite pe post de voltmetru (Vc.c. 1).

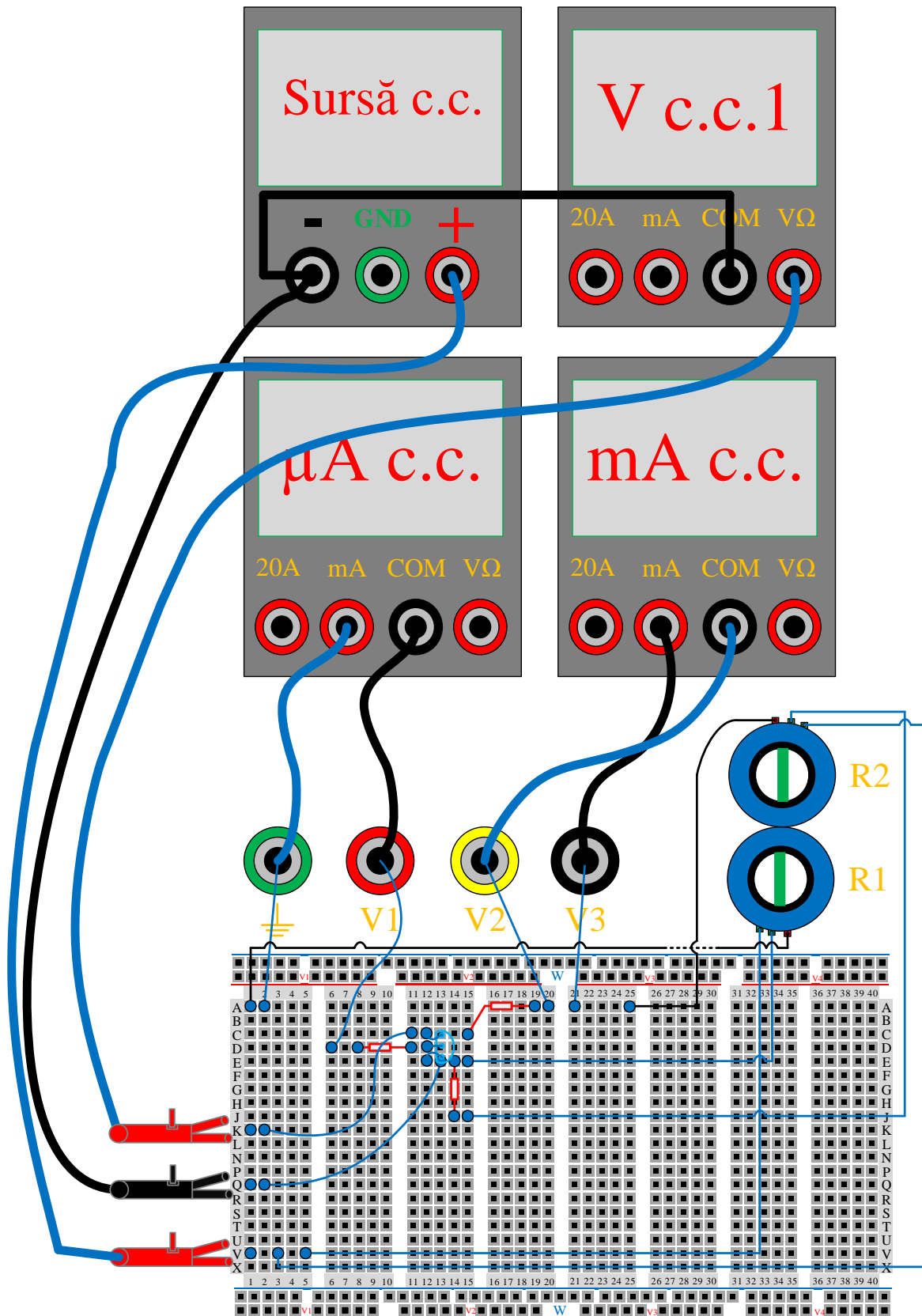


Fig. 4.9. Exemplu de realizare a montajului experimental corespunzător măsurării familiei de caracteristici $I_C=f(U_{CE})$ la $I_B=ct.$, ale tranzistoarelor bipolare.

12. Apoi se realizează conexiunile între placa de experimentare rapidă și aparatele de măsură:
- borna GROUND (de pe placă) se conectează la borna mA a microampermetrului (μA c.c.), iar borna V1 se conectează la borna COM a aceluiași microampermetru (μA c.c.);
 - borna V2 se va conecta la borna COM a miliampermetrului (mA c.c.), iar borna V3 se conectează la borna mA a miliampermetrului (mA c.c.);
 - Borna COM a voltmetrului (V c.c. 1) se conectează, prin intermediul unui fir și cu ajutorul unei clemele negre de tip "clește", la pinul de măsură din punctul (1-Q), iar borna $V\Omega$ (a aceluiași voltmetru) se conectează prin intermediul altui fir și cu ajutorul unei clemele roșii de tip "clește" la punctul (1-K).

13. Se verifică montajul de către cadrul didactic;

14. Se pornesc aparatele de măsură și se activează ieșirea canalului sursei de alimentare. După aceea, stabiliți cu ajutorul potențiometrului R1 valoarea curentului de bază I_B la $8\ \mu\text{A}$ (indicată de microampermetru);
15. Rotind cursorul potențiometrului R2 în sensul de creștere, stabiliți valorile tensiunii colector-emitor U_{CE} indicate în Tabelul 4.1 (cu ajutorul potențiometrului R1 mențineți constant curentul de bază I_B pe parcursul măsurătorilor) și notați valorile curentului de colector I_C citite de pe miliampermetru în același tabel.

Tabelul 4.1. Rezultatele măsurătorilor efectuate asupra tranzistorului BC 338:

$I_B = 8\ \mu\text{A}$								
U_{CE} [V]	0,1	0,15	0,2	0,25	0,3	0,35	0,4	0,5
I_C [mA]								
U_{CE} [V]	0,7	1	2	3	4	5	7	10
I_C [mA]								

16. Se revine cu poziționarea cursorului potențiometrului R2 la minim, adică maxim stânga;
17. Repetați cerințele de la punctele 15 și 16 pentru următoarele valori ale curentului de bază I_B : $10\ \mu\text{A}$, $13\ \mu\text{A}$ și $16\ \mu\text{A}$. Apoi, valorile curentului de colector I_C citite de la miliampermetru se vor trece în Tabelele: 4.2, 4.3, și 4.4;

Tabelul 4.2. Rezultatele măsurătorilor efectuate asupra tranzistorului BC 338:

$I_B = 10\ \mu\text{A}$								
U_{CE} [V]	0,1	0,15	0,2	0,25	0,3	0,35	0,4	0,5
I_C [mA]								
U_{CE} [V]	0,7	1	2	3	4	5	7	10
I_C [mA]								

Tabelul 4.3. Rezultatele măsurătorilor efectuate asupra tranzistorului BC 338:

$I_B = 13\ \mu\text{A}$								
U_{CE} [V]	0,1	0,15	0,2	0,25	0,3	0,35	0,4	0,5
I_C [mA]								
U_{CE} [V]	0,7	1	2	3	4	5	7	10
I_C [mA]								

Tabelul 4.4. Rezultatele măsurătorilor efectuate asupra tranzistorului BC 338:

$I_B = 16\mu A$								
U_{CE} [V]	0,1	0,15	0,2	0,25	0,3	0,35	0,4	0,5
I_C [mA]								
U_{CE} [V]	0,7	1	2	3	4	5	7	10
I_C [mA]								

18. După terminarea tuturor măsurătorilor ieșirea sursei de alimentare se dezactivează;

19. Pe baza datelor din Tabelele: 4.1, 4.2, 4.3 și 4.4 trasați pe hârtie milimetrică familia caracteristicilor de ieșire, $I_C = f(U_{CE})$ pentru $I_B = \text{constant}$, ale tranzistorului BC 338.

b) Familia caracteristicilor statice de intrare $I_B = f(U_{BE})$ la $U_{CE} = \text{ct.}$ ale tranzistorului BC 338

Pentru realizarea montajului experimental din Fig. 4.10, care facilitează măsurarea și apoi trasarea familiei caracteristicilor statice de intrare ale tranzistorului BC 338 - de tip NPN, este necesară păstrarea conexiunilor aferente montajului experimental precedent (din Fig. 4.9) cu operarea doar a câtorva modificări care presupun parcurgerea secvențială a următorilor pași:

1. Se elimină miliampermetru din circuit și se scurtcircuitază bornele V2 și V3 de pe placa experimentală;
2. Se elimină rezistența de 51kΩ din circuit, iar terminalul 1 al potențiometrului R2 se mută din punctul (15-J) în punctul (14-E);
3. Cu ajutorul unui fir se realizează conexiunea între punctul (15-d) și punctul (2-F);
4. Se introduce un pin de măsură în punctul (1-F);
5. Multimetrul eliminat din circuitul precedent se trece pe post de voltmetru (V c.c. 2) selectând tensiunea pe scara de 2 Vc.c., după care se conectează cu borna COM, prin intermediul unui fir, la minusul sursei de alimentare, iar borna VΩ se conectează prin intermediul altui fir și cu ajutorul unei clemele roșii de tip "clește" la pinul de măsură din punctul (1-F);
6. **Se verifică montajul de către cadrul didactic;**
7. Se pornesc aparatele de măsură și se activează ieșirea sursei de alimentare (presetată la valoarea de 24V c.c.). După aceea, stabiliți cu ajutorul potențiometrului R2 valoarea tensiunii colector-emitor U_{CE} la 2Vc.c. (indicată de voltmetrul V c.c.1);
8. Rotind cursorul potențiometrului R1 în sensul de creștere, stabiliți valorile tensiunii bază-emitor U_{BE} indicate în Tabelul 4.5 și afișate de către voltmetrul (V c.c.2) (aici cu ajutorul potențiometrului R2 mențineți constantă tensiunea colector-emitor U_{CE} pe parcursul măsurătorilor), iar apoi notați valorile curentului de bază I_B citite de pe microampermetru în același tabel.

Tabelul 4.5. Rezultatele măsurătorilor efectuate asupra tranzistorului BC 338:

$U_{CE} = 2V$							
U_{BE} [V]	0	0,05	0,15	0,2	0,25	0,30	0,35
I_B [μA]							
U_{BE} [V]	0,4	0,45	0,5	0,55	0,6	0,65	0,7
I_B [μA]							

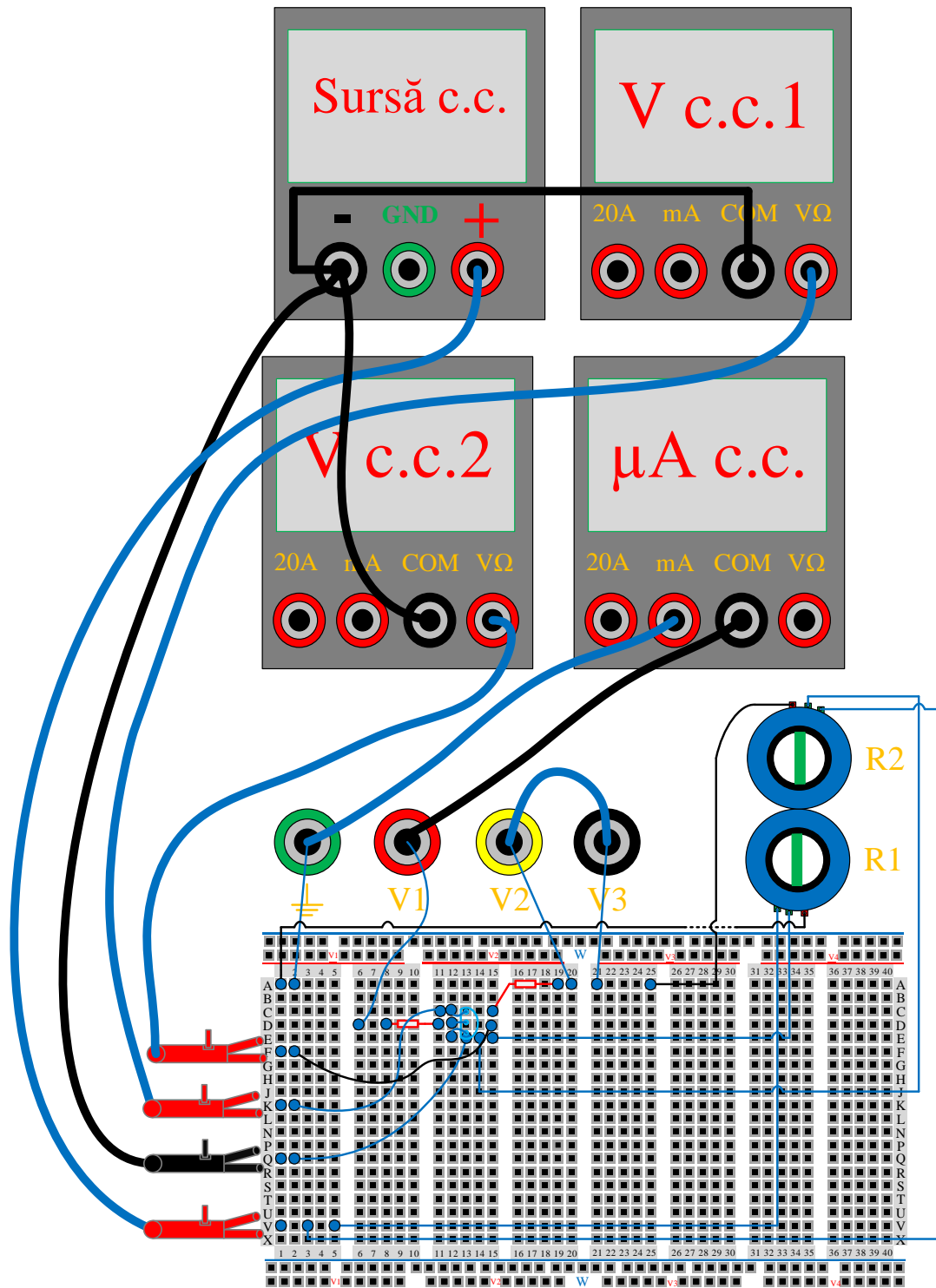


Fig. 4.10. Exemplu de realizare a montajului experimental corespunzător măsurării familiei de caracteristici $I_B=f(U_{BE})$ la $U_{CE}=ct.$, ale tranzistoarelor bipolare.

- Repetăți cerințele de la punctele 7 și 8 pentru următoarele valori ale tensiunii colector-emitor U_{CE} : 5V și 8V. Apoi, valorile tensiunii bază-emitor U_{BE} citite de la voltmetrul (V c.c.2) se vor trece în Tabelele: 4.6 și 4.7;

Tabelul 4.6. Rezultatele măsurătorilor efectuate asupra tranzistorului BC 338:

$U_{CE}=5V$							
U_{BE} [V]	0	0,05	0,15	0,2	0,25	0,30	0,35
I_B [μA]							
U_{BE} [V]	0,4	0,45	0,5	0,55	0,6	0,65	0,7
I_B [μA]							

Tabelul 4.7. Rezultatele măsurătorilor efectuate asupra tranzistorului BC 338:

$U_{CE}=8V$							
U_{BE} [V]	0	0,05	0,15	0,2	0,25	0,30	0,35
I_B [μA]							
U_{BE} [V]	0,4	0,45	0,5	0,55	0,6	0,65	0,7
I_B [μA]							

10. După terminarea tuturor măsurătorilor ieșirea sursei de alimentare se resetează la valoarea de 0,5V, apoi atât sursa de alimentare cât și aparatele de măsură se opresc;
11. Pe baza datelor din Tabelele: 4.5, 4.6 și 4.7 trasați pe hârtie milimetrică familia caracteristicilor de intrare, $I_B = f(U_{BE})$ pentru $U_{CE} = \text{constant}$, ale tranzistorului BC 338.

4.4.2 Măsurarea familiilor de caracteristici statice ale tranzistorului BC 328 - de tip PNP

În acest caz, mersul lucrării este identic cu cel de la ridicarea caracteristicilor statice ale tranzistorului BC 338 singurele deosebiri fiind: înlocuirea tranzistorului BC 338 cu modelul BC 328, iar toate conexiunile corespunzătoare polarităților + și – se schimbă între ele. Rezultatele măsurătorilor efectuate se vor trece în următoarele tabele:

a) Familia caracteristicilor statice de ieșire $I_C=f(U_{CE})$ la $I_B = \text{ct. a tranzistorului BC 328}$

Tabelul 4.8. Rezultatele măsurătorilor efectuate asupra tranzistorului BC 328:

$I_B = 8 \mu A$								
U_{CE} [V]	0,1	0,15	0,2	0,25	0,3	0,35	0,4	0,5
I_C [mA]								
U_{CE} [V]	0,7	1	2	3	4	5	7	10
I_C [mA]								

Tabelul 4.9. Rezultatele măsurătorilor efectuate asupra tranzistorului BC 328:

$I_B = 10 \mu A$								
U_{CE} [V]	0,1	0,15	0,2	0,25	0,3	0,35	0,4	0,5
I_C [mA]								
U_{CE} [V]	0,7	1	2	3	4	5	7	10
I_C [mA]								

Tabelul 4.10. Rezultatele măsurătorilor efectuate asupra tranzistorului BC 328:

$I_B = 13\mu A$								
U_{CE} [V]	0,1	0,15	0,2	0,25	0,3	0,35	0,4	0,5
I_C [mA]								
U_{CE} [V]	0,7	1	2	3	4	5	7	10
I_C [mA]								

Tabelul 4.11. Rezultatele măsurătorilor efectuate asupra tranzistorului BC 328:

$I_B = 16\mu A$								
U_{CE} [V]	0,1	0,15	0,2	0,25	0,3	0,35	0,4	0,5
I_C [mA]								
U_{CE} [V]	0,7	1	2	3	4	5	7	10
I_C [mA]								

Pe baza datelor din Tabelele: 4.8, 4.9, 4.10 și 4.11 trasați pe hârtie milimetrică familia caracteristicilor de ieșire, $I_C = f(U_{CE})$ pentru $I_B = \text{constant}$, ale tranzistorului BC 328.

b) Familia caracteristicilor statice de intrare $I_B = f(U_{BE})$ la $U_{CE} = \text{ct.}$ a tranzistorului BC 328

Tabelul 4.12. Rezultatele măsurătorilor efectuate asupra tranzistorului BC 328:

$U_{CE} = 2V$							
U_{BE} [V]	0	0,05	0,15	0,2	0,25	0,30	0,35
I_B [μA]							
U_{BE} [V]	0,4	0,45	0,5	0,55	0,6	0,65	0,7
I_B [μA]							

Tabelul 4.13. Rezultatele măsurătorilor efectuate asupra tranzistorului BC 328:

$U_{CE} = 5V$							
U_{BE} [V]	0	0,05	0,15	0,2	0,25	0,30	0,35
I_B [μA]							
U_{BE} [V]	0,4	0,45	0,5	0,55	0,6	0,65	0,7
I_B [μA]							

Tabelul 4.14. Rezultatele măsurătorilor efectuate asupra tranzistorului BC 328:

$U_{CE} = 8V$							
U_{BE} [V]	0	0,05	0,15	0,2	0,25	0,30	0,35
I_B [μA]							
U_{BE} [V]	0,4	0,45	0,5	0,55	0,6	0,65	0,7
I_B [μA]							

Pe baza datelor din Tabelele: 4.12, 4.13 și 4.14 trasați pe hârtie milimetrică familia caracteristicilor de intrare, $I_B = f(U_{BE})$ pentru $U_{CE} = \text{constant}$, ale tranzistorului BC 328.

După terminarea tuturor măsurătorilor ieșirea sursei de alimentare se resetează la valoarea de 0,5V, apoi atât sursa de alimentare cât și aparatele de măsură se opresc, iar în cele din urmă se demontează componentele montajului experimental realizat.

4.5 Întrebări și teme

- 1) Așa cum se precizează la sfârșitul fiecărei etape de măsurători, pe baza datelor înregistrate în tabele este necesară ridicarea familiilor de caracteristici statice aferente celor două tipuri de tranzistoare bipolare investigate (BC 338 - NPN și BC 328 - PNP).
- 2) Identificați diferențele dintre cele două tranzistoare bipolare?
- 3) Desenați circuitele electronice obținute în urma realizării montajelor experimentale din figurile 4.9 și 4.10;
- 4) În câte regimuri poate funcționa un tranzistor bipolar?
- 5) În starea de blocare, U_{CE} este:
 - d) 0V;
 - e) minim;
 - f) maxim;
 - g) egal cu tensiunea de alimentare;
 - h) răspunsurile (a) și (b);
 - i) răspunsurile (c) și (d);
- 6) În starea de saturație, U_{CE} este:
 - e) 0,7V;
 - f) egală cu tensiunea de alimentare;
 - g) maxim;
 - h) minim;
- 7) În cazul unui tranzistor saturat, continuarea creșterii curentului de bază va avea ca rezultat:
 - e) creșterea curentului de colector;
 - f) scăderea curentului de colector;
 - g) neafectarea circuitului de colector;
 - h) intrarea tranzistorului în blocare.

Bibliografie

- [1] Marschalko, R. – "Electronică pentru ingineri electrotehnicieni –Dispozitive și circuite electronice fundamentale", Volumul I, Editura Mediamira Cluj-Napoca, 2003;
- [2] Floyd, T.L. – "Dispozitive și circuite electronice", Editura Teora, București, 2003;
- [3] Marschalko, R.; Bojan, M. și Salomir, C. – "Electronică pentru ingineri electrotehnicieni, Ghid practic pentru seminar și laborator", Volumul I, Editura Mediamira Cluj-Napoca, 2004;

[4] Marschalko, R. – "Electronică pentru ingineri electrotehnicieni –Circuite electronice pentru semnale continue", Volumul II, Editura Mediamira Cluj-Napoca, 2006.

[5] Floyd, T.L. – "Electronic Devices" – *Conventional Current Version* – Ninth Edition, New Jersey (USA): Prentice Hall , 2012.

Lucrarea 5. Amplificator de tensiune continuă și alternativă cu un tranzistor bipolar

5.1 Introducere

Având în vedere faptul că în ședința aplicativă anterioară s-au realizat măsurătorile necesare ridicării caracteristicilor statice care descriu funcționarea tranzistoarelor bipolare, în lucrarea de față se investighează funcționarea unui amplificator de mică putere echipat cu un tranzistor bipolar, aflat în conexiune emitor-comun (E-C), polarizat prin divizor rezistiv și prevăzut cu reacție negativă de curent.

5.2 Considerații teoretice

Pentru o înțelegere cât mai facilă a funcționării amplificatoarelor electronice, de mică putere, echipate cu tranzistoare bipolare, se face precizarea faptului că studenții trebuie să-și amintească toate aspectele teoretice prezentate la curs, respectiv punctate și în cadrul activităților corespunzătoare ședinței aplicative precedente, referitoare la: condițiile necesare pentru ca un tranzistor bipolar să poată funcționa în regim de amplificare, modalitățile de polarizare ale unui tranzistor bipolar în circuit și stabilirea corectă a punctului static de funcționare (pe caracteristicile statice de intrare și ieșire ale tranzistorului bipolar), implicit alegerea clasei de funcționare, respectiv de modurile de conexiune ale unui tranzistor bipolar în circuit (împreună cu modelul de semnal mic), cu toate avantajele și dezavantajele specifice acestora.

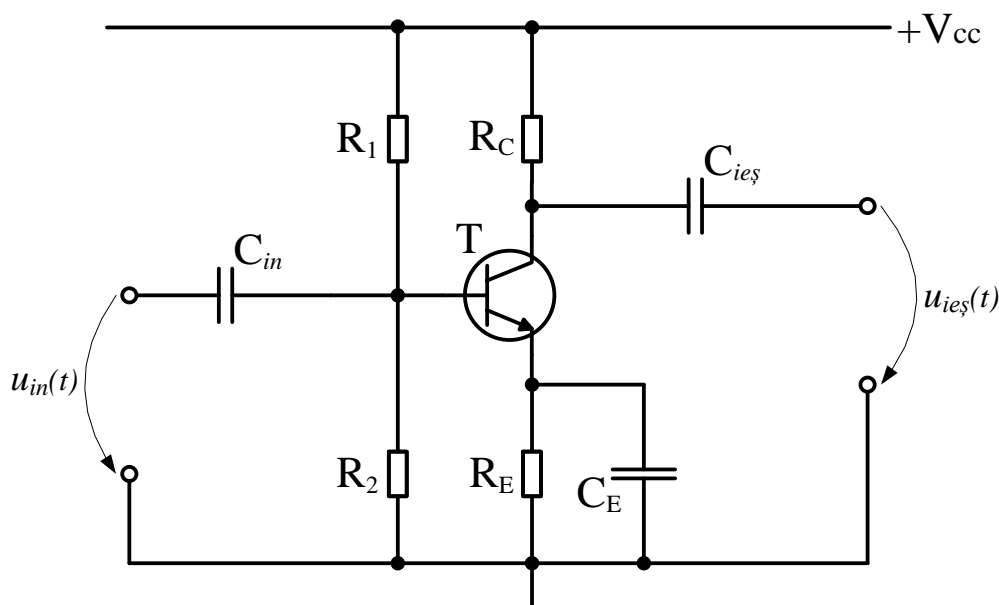


Fig. 5.1. Schema electronică de principiu aferentă amplificatorului de c.c. și c.a. cu un tranzistor bipolar, în conexiune emitor-comun cu reacție negativă de curent, supus investigării.

Așa cum s-a precizat și în introducere, în lucrarea de față se urmărește investigarea funcționării atât în c.c. cât și în c.a. a unui amplificator de mică putere echipat cu un tranzistor bipolar (T), aflat în conexiune emitor-comun (E-C), polarizat de la o singură sursă ($+V_{CC}$) prin intermediul unui divizor rezistiv (R_1, R_2), prevăzut cu reacție negativă de curent (R_E) - necesară pentru obținerea stabilității termice a punctului static de funcționare - dar care este decuplată cu ajutorul condensatorului (C_E), din punctul de vedere al tensiunii de intrare $u_{in}(t)$, pentru obținerea factorului de amplificare maxim. Astfel, schema electronică de principiu este prezentată în Figura 5.1.

5.3 Stand de lucru și Echipamente

Realizarea acestei aplicații experimentale presupune utilizarea următoarelor componente, echipamente și aparate de măsură:

1. Placa de experimentare rapidă din Figura 5.3;
2. Sursă de alimentare cu tensiune continuă: 1 canal reglabil 0...30V și 0...3A;
3. Tranzistor bipolar: BC 338 - 1buc.;
4. Multimetre: 2 buc.;
5. Pini de măsură: 4buc.;
6. Potențiometre: 20k Ω - 2buc., din dotarea plăcii de experimentare rapidă și a căror terminale de conexiune sunt prezentate în Figura 5.2 a), b);
7. Rezistențe: 82k Ω - 2buc., 5.1k Ω - 1buc., 51k Ω - 1buc., 100 Ω - 1buc., 330k Ω - 1buc.;
8. Condensatoare: 3,3nF - 3buc.;
9. Fire de legătură;
10. Generator semnale de tensiune;
11. Osciloscop Digital - cu minim 2 canale.

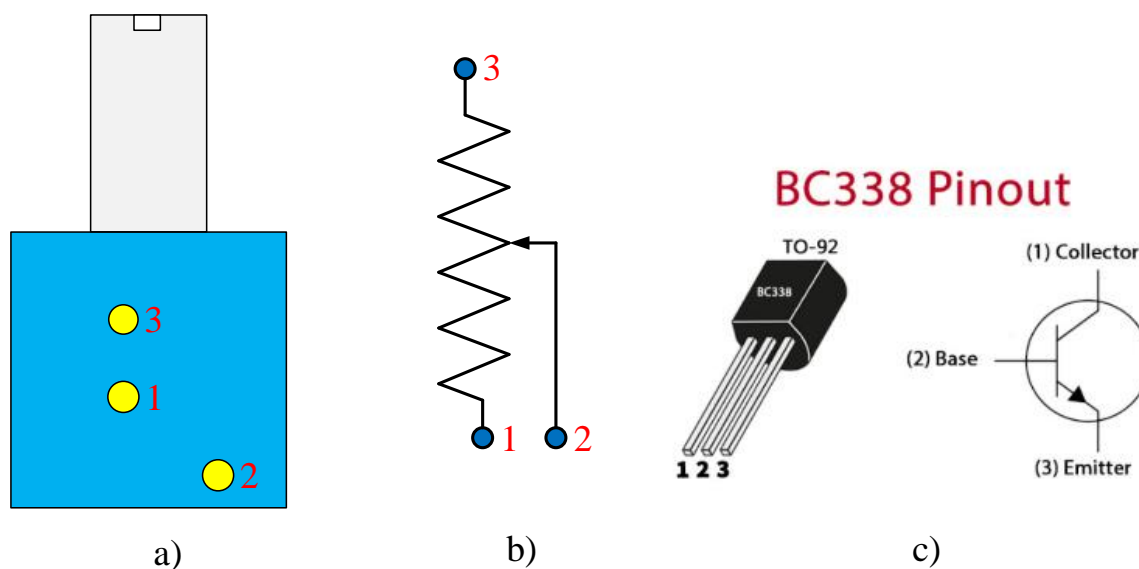


Fig. 5.2.: a) și b) - terminalele de conexiune ale potențioanelor utilizate; c) vederea de sus a tranzistorului BC 338, utilizat în circuit.

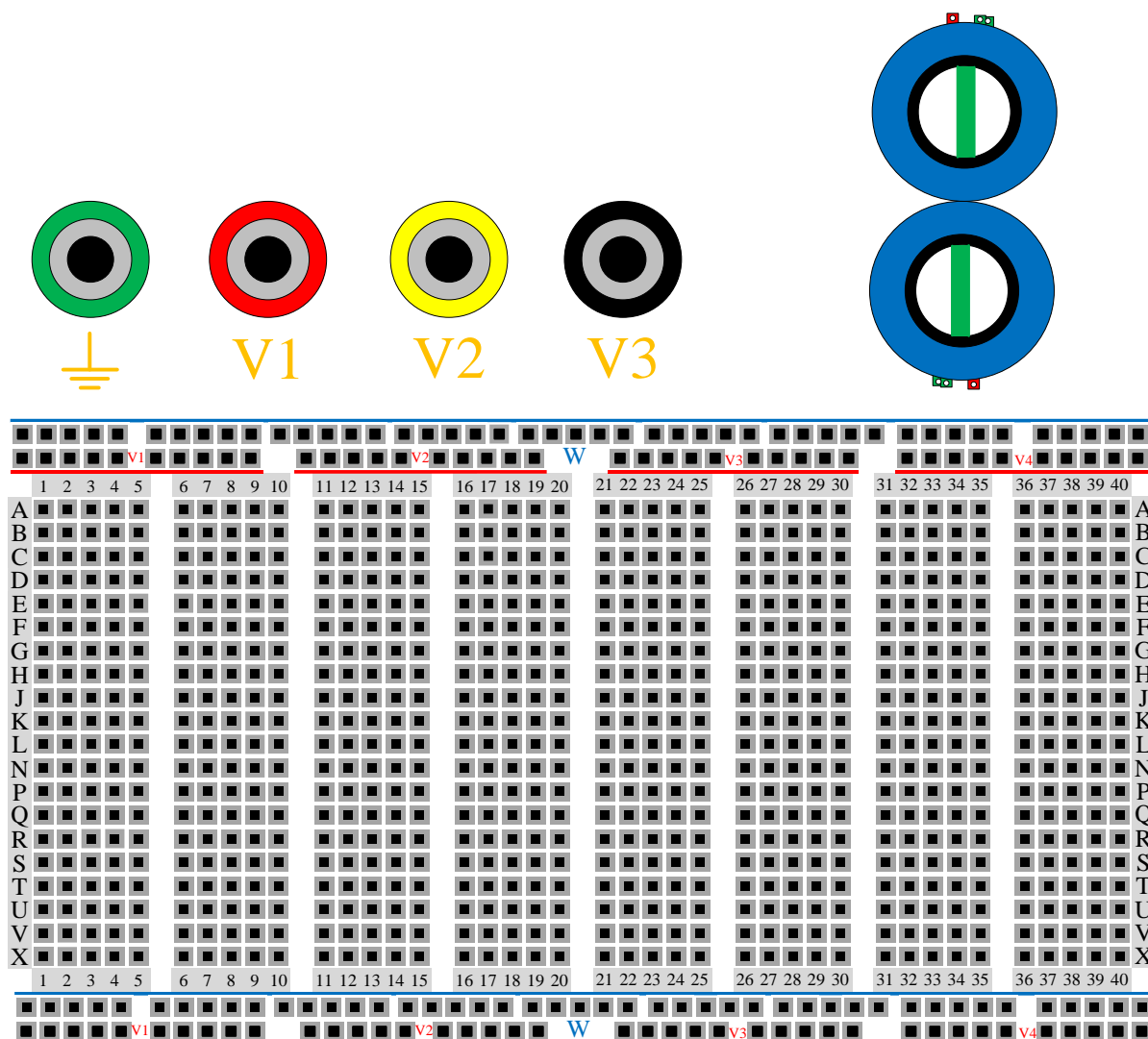


Fig. 5.3 Placă de experimentare rapidă.

5.4 Mod de Lucru

În cadrul acestui modul aplicativ, se vor realiza măsurători practice la nivelul amplificatorului echipat cu un tranzistor bipolar (BC 338 – NPN), aflat în configurația amintită anterior, pentru punerea în evidență a particularităților funcționale referitoare la utilizarea sa ca amplificator de tensiune continuă sau amplificator de tensiune alternativă. Prin urmare în secțiune de față sunt exemplificate modalitățile de realizare rapidă atât a montajelor experimentale cât și a măsurătorilor necesare.

5.4.1 Amplificator de tensiune continuă și alternativă

a) Amplificatorul de tensiune continuă (c.c.);

Pentru realizarea montajului experimental din Figura 5.4, corespunzător amplificatorului de c.c. cu un tranzistor bipolar, în conexiune emitor-comun cu reacție negativă de curent, este necesară parcurgerea secvențială a pașilor descriși mai jos:

1. Se pornește sursa de alimentare cu tensiune continuă și se reglează la ieșirea unui canal o tensiune cu valoarea de 24V c.c la o limitare a curentului de 0,05A, după care ieșirea canalului se **dezactivează** până la realizarea montajului experimental;
2. Pe placa de experimentare rapidă, conform Figurii 5.4, se introduce tranzistorul BC 338 cu Emitorul în punctul (9-E), Baza în punctul (9-F) și Colectorul în punctul (9-G) (vederea de sus a tranzistorului BC 338 se regăsește în Figura 5.2.c.);
3. Se introduce prima rezistență de 81,6k Ω între punctele (15-F) și (17-A);
4. Se introduce a doua rezistență de 81,6k Ω între punctele (14-F) și (18-H);
5. Se introduce rezistența de 330k Ω între punctele (10-X) și (12-X);
6. Se introduce rezistența de 100 Ω între punctele (8-B) și (linia minus - de sus a plăcii);
7. Se introduce rezistența de 5,1k Ω între punctele (4-G) și (6-G);
8. Se introduce rezistența de 51k Ω între punctele (12-F) și (linia minus - de sus a plăcii);
9. Se introduce primul condensator de 3,3nF între punctele (6-B) și (linia minus - de sus a plăcii);
10. Se introduce al doilea condensator de 3,3nF între punctele (9-P) și (9-S);
11. Se introduce al treilea condensator de 3,3nF între punctele (11-P) și (11-S);
12. Pe aceeași placă de experimentare rapidă, cu ajutorul unor fire, se realizează conexiunile între:
 - a. borna GROUND și linia superioară care reprezintă minusul plăcii (în punctul indicat în Figura 5.4);
 - b. între borna V1 și punctul (1-G);
 - c. între borna V2 și punctul (19-A);
 - d. între borna V3 și punctul (8-G);
 - e. între punctul (7-G) și punctul (7-P);
 - f. între punctul (6-P) și punctul (6-X);
 - g. între punctul (10-B) și punctul (10-E);
 - h. între punctul (10-F) și punctul (11-F);
 - i. între punctul (13-F) și punctul (13-P);
 - j. între punctul (15-X) și punctul (linia minus - de sus a plăcii);
13. Se introduc trei pini de măsură în punctele: (8-P), (8-S), (14-S) și (linia minus), ale plăcii experimentale;
14. Potențiometrul R1 având configurația din Figura 5.2. (a și b), se introduce în circuit astfel: terminalul 1 se conectează în punctul din (linia minus - de sus a plăcii), terminalul 2 (adică cursorul) se conectează în punctul (20-H), iar terminalul 3 se conectează în punctul (3-G), după care se asigură poziționarea/rotirea cursorului potențiometrului la valoarea minimă, adică maxim spre dreapta;
15. Potențiometrul R2, având configurația din Figura 5.2. (a și b), se introduce în circuit astfel: terminalul 1 se conectează în punctul (2-G), terminalul 2 (adică cursorul) se conectează în punctul (20-A), iar terminalul 3 se conectează în punctul din (linia minus - de sus a plăcii), după care se asigură poziționarea/rotirea cursorului potențiometrului la valoarea minimă, adică maxim spre stânga;
16. Pentru unul din multimetrele puse la dispoziție se va selecta opțiunea primului voltmetru (Vc.c. 1) și scala de 2V(c.c.), iar pentru cel de-al doilea multimetru se va selecta opțiunea de al doilea voltmetru (Vc.c. 2) și scala de 20V(c.c.);

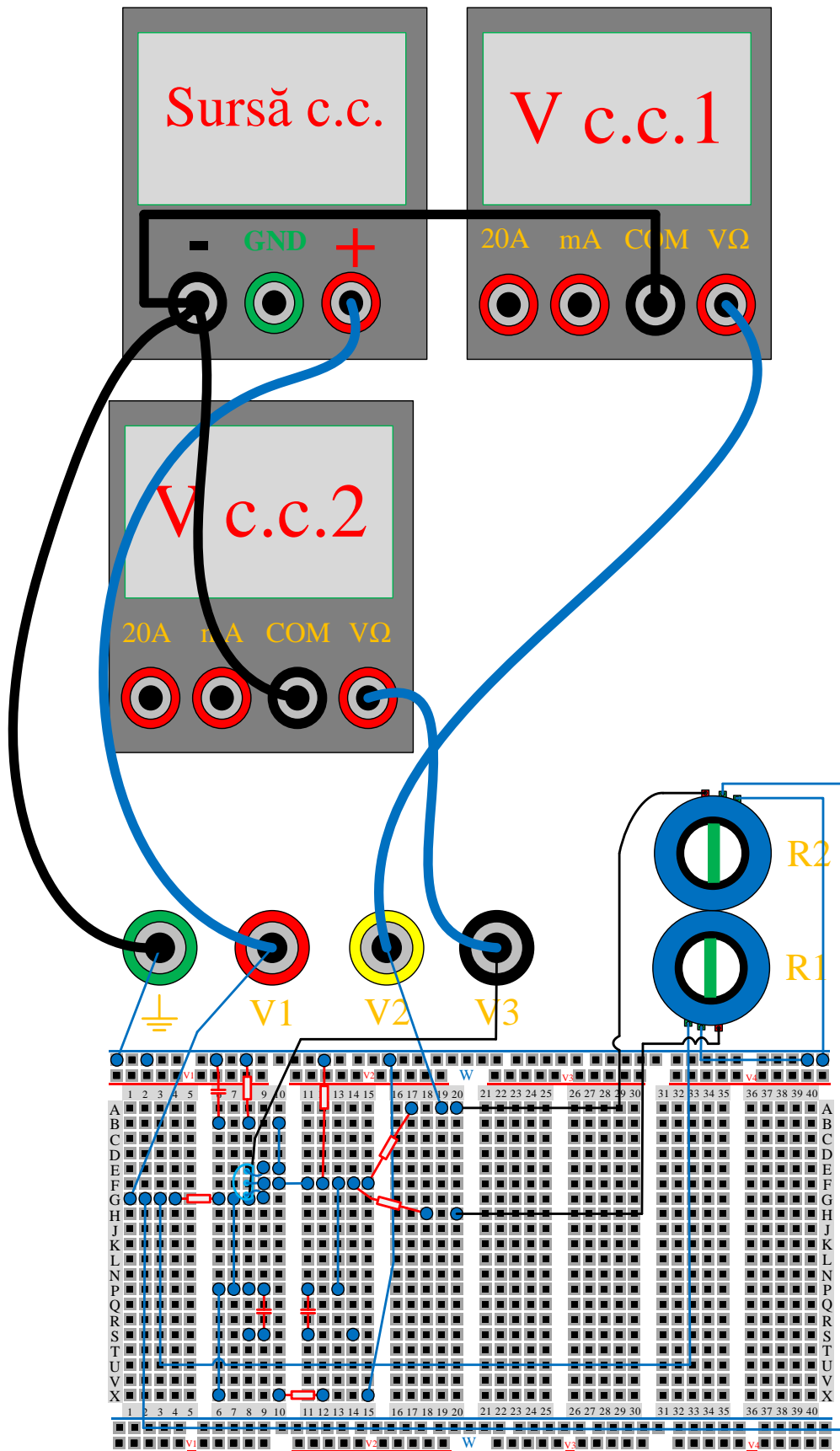


Fig. 5.4. Exemplu de realizare a montajului experimental.

17. Borna pozitivă a sursei de alimentare se conectează, prin intermediul unui fir, la borna V1, iar borna negativă de la sursă se conectează printr-un alt fir la borna GROUND a plăcii experimentale și cu ajutorul altor două fire la bornele COM ale celor două voltmetre (Vc.c. 1 și Vc.c. 2);
18. Apoi se realizează conexiunile între placa de experimentare rapidă și aparatele de măsură:
 - a. Borna V2 se va conecta la borna VΩ a primului voltmetru (Vc.c. 1);
 - b. Borna V3 se va conecta la borna VΩ a celui de al doilea voltmetru (Vc.c. 2).
19. **Se verifică montajul de către cadrul didactic;**
20. Se pornesc aparatele de măsură și se activează ieșirea canalului presetat anterior al sursei de alimentare;
21. Având cursorul potențiometrului R2 pe poziția de minim, reglați din cursorul potențiometrului R1 valoarea tensiunii de ieșire, $U_{IEȘ}$, la 18V. În continuare ajustați cursorul potențiometrului R2 astfel încât să obțineți valorile tensiunii de intrare, U_{IN} , menționate în Tabelul 5.1. În acest fel U_{IN} joacă rolul semnalului de intrare, iar dumneavoastră trebuie să citiți și să notați de fiecare dată în tabel valoarea corespunzătoare tensiunii de ieșire, $U_{IEȘ}$;

Tabelul 5.1. Rezultatele măsurătorilor efectuate asupra amplificatorului de c.c.:

U_{IN} [V]	0	0,05	0,1	0,15	0,2	0,25	0,3	0,35	0,4
$U_{IEȘ}$ [V]	18								
A_U									
U_{IN} [V]	0,45	0,5	0,55	0,6	0,65	0,7	0,75	0,8	
$U_{IEȘ}$ [V]									
A_U									
U_{IN} [V]	0,85	0,9	0,95	1	2	3	-	-	
$U_{IEȘ}$ [V]									
A_U									

22. Se revine cu poziționarea cursorului potențiometrului R2 la minim, adică maxim stânga;
23. După terminarea tuturor măsurătorilor ieșirea sursei de alimentare se dezactivează iar aparatele de măsură se opresc;
24. Amplificarea în tensiune continuă se va determina pe baza expresiei: $A_U = \frac{U_{ies}}{U_{in}}$, unde $U_{IEȘ}$ și U_{IN} reprezintă valorile corespunzătoare tensiunilor de ieșire și intrare, care se modifică pentru fiecare punct consecutiv în parte.

b) Amplificatorul de tensiune alternativă (c.a.)

Pentru realizarea măsurătorilor, corespunzătoare amplificatorului de c.a. cu un tranzistor bipolar, în conexiune emitor-comun cu reacție negativă de curent, este necesară păstrarea conexiunilor aferente montajului experimental precedent (din Fig. 5.4) cu operarea doar a câtorva modificări care presupun parcurgerea secvențială a următorilor pași:

1. Se elimină rezistența de 81,6 kΩ dintre punctele (15-F) și (17-A);
2. Se pornește generatorul de semnal și se configurează pe canalul 1 un semnal de tensiune sinusoidală, cu amplitudinea de 100mV și frecvența de 20kHz. Apoi, cu ajutorul unui cablu de

conexiune (cu mufă "BNC" la un capăt și cu 2 fire dotate cu cleme la celălalt capăt) atașat ieșirii canalului, conectați clema corespunzătoare polarității negative/nulului la pinul plasat în (linia minus - de sus a plăcii), iar clema corespunzătoare polarității pozitive/fazei la pinul plasat în (14-S);

3. Se pornește osciloscopul iar apoi, cu ajutorul sondelor, se conectează canalul A al osciloscopului cu borna negativă la pinul plasat în (linia minus - de sus a plăcii) și borna pozitivă la (14-S), după care borna pozitivă a canalului B se cuplează la pinul de măsură din punctul (8-P);
4. **Înainte de a activa ieșirea Generatorului de semnal se verifică montajul de către cadrul didactic;**
5. Se pornesc aparatele de măsură și se activează ieșirea canalului presetat anterior al sursei de alimentare;
6. Se activează ieșirea generatorului de semnal, apoi se ajustează setările aferente canalelor osciloscopului astfel încât formele de undă să fie clare. După aceea formele de undă vizualizate se salvează pe memoria externă atașată osciloscopului (memoria USB), iar pe o foaie de hârtie se notează: denumirea circuitului, numărul pozei/imaginii salvate și semnificația formelor de undă aferente;
7. Bornă pozitivă a canalului B se decuplează de la pinul de măsură din punctul (8-P) și se reconectează la pinul de măsură din punctul (8-S);
8. Pentru mai multe valori ale tensiunii de intrare sinusoidale (de exemplu. din 50 în 50 de mV - până la valoarea maximă de 400mV menținând o frecvență constantă de 20kHz) se analizează limitele de funcționare ale amplificatorului din punctul de vedere al schimbării amplitudinii semnalului tensiunii de intrare. Pentru toate cazurile investigate se înregistrează pe memoria externă USB formele de undă obținute, se calculează valoarea factorului de amplificare în tensiune ($A_U = \frac{U_{ies}}{U_{in}}$), precum și notațiile aferente după metodologia precizată la punctul 6;
9. Se revine la setarea canalului 1 al generatorului de semnal pentru cazul tensiunii sinusoidale, cu amplitudinea de 100mV și frecvența de 20kHz. Apoi se analizează limitele de funcționare ale amplificatorului din punctul de vedere al schimbării frecvenței semnalului tensiunii de intrare pentru cel puțin alte trei domenii de frecvență diferite (de exemplu: 100Hz, 100kHz și 1MHz). Și aici se înregistrează formele de undă vizualizate la osciloscop, făcându-se totodată notațiile și calculele aferente, după metodologia precizată la punctele 6 și 8.
10. După încheierea tuturor măsurărilor ieșirea generatorului de semnal se dezactivează, apoi generatorul de semnal, sursa de alimentare, osciloscopul și aparatele de măsură utilizate se opresc, iar în cele din urmă se demontează componentele montajului experimental realizat.

5.5 Întrebări și teme

- 1) La amplificatorul de tensiune alternativă echipat cu un tranzistor bipolar, în conexiune emitor-comun cu reacție negativă de curent, pentru fiecare caz experimentat în parte se imprimă în mod sistematizat pe hârtie toate imaginile/pozele salvate în memoria USB, iar apoi în dreptul lor se retranscriu toate notațiile, calculele și observațiile făcute în timpul aplicației.

- 2) Folosind oscilogramele tensiunii de ieșire, determinați și notați:
 - a) valoarea maximă a semnalului de intrare la care apar distorsiuni;
 - b) domeniul de frecvențe pentru care amplificarea rămâne aproximativ constantă;
 - c) frecvențele superioare și inferioare la care semnalul de ieșire este practic nul.
- 3) Ce se întâmplă cu amplificarea când scade tensiunea de alimentare?
- 4) Ce se întâmplă cu distorsiunile când scade tensiunea de alimentare?

Bibliografie

[1] Marschalko, R. – "Electronică pentru ingineri electrotehnicieni –Dispozitive și circuite electronice fundamentale", Volumul I, Editura Mediamira Cluj-Napoca, 2003;

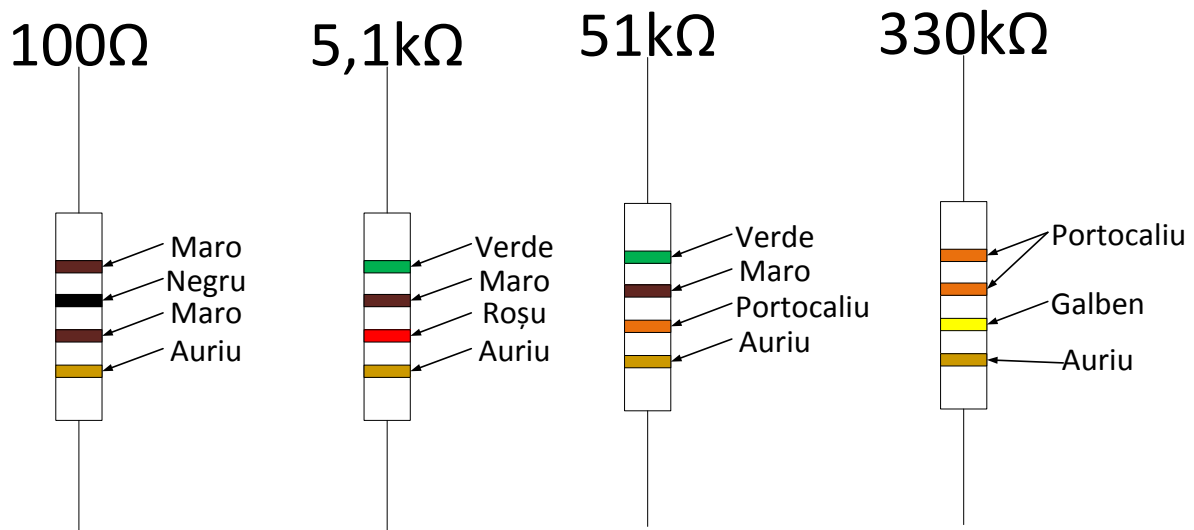
[2] Floyd, T.L. – "Dispozitive și circuite electronice", Editura Teora, București, 2003;

[3] Marschalko, R.; Bojan, M. și Salomir, C. – "Electronică pentru ingineri electrotehnicieni, Ghid practic pentru seminar și laborator", Volumul I, Editura Mediamira Cluj-Napoca, 2004;

[4] Marschalko, R. – "Electronică pentru ingineri electrotehnicieni –Circuite electronice pentru semnale continue", Volumul II, Editura Mediamira Cluj-Napoca, 2006.

[5] Floyd, T.L. – "Electronic Devices" – *Conventional Current Version* – Ninth Edition, New Jersey (USA): Prentice Hall , 2012.

Anexă Lucrarea 5



Lucrarea 6. Amplificatorul operațional – funcția sumatoare

6.1 Introducere

Prezenta aplicație are ca scop analiza teoretică și practică a funcționării amplificatorului operațional cu funcția sumatoare, cunoscut în literatura de specialitate ca circuit de însumare sau *circuit sumator cu amplificator operațional* (A.O.). Importanța acestui studiu este marcată de utilizarea pe scară largă a acestei arhitecturi, fiind regăsită des în etajele de comandă, de procesare de semnal sau de filtrare ale circuitelor electronice.

În prima parte a lucrării se va pune accentul asupra suportului teoretic și fenomenului care stă la baza funcționării circuitului sumator cu amplificator operațional, iar în partea a doua a lucrării se vor valida experimental discuțiile și conceptele teoretice. Se va analiza o structură simplă, pentru consolidarea cunoștințelor asupra funcționării circuitului sumator, iar în partea a doua a lucrării se vor înscrie două asemenea circuite echipate cu amplificatoare operaționale pentru a experimenta și metodologia de interconectare a acestora.

6.2 Considerații teoretice

Detaliile teoretice ample care stau ca suport pentru funcționarea tuturor amplificatoarelor operaționale sunt descrise detaliat în referințele bibliografice. În cele ce urmează, se va discuta despre configurația unui circuit sumator echipat cu amplificator operațional, considerând în mod particular cel cu patru intrări din Figura 6.1. Semnalele aplicate la cele patru intrări ale circuitului sunt semnale continue de tensiune. Trebuie să subliniem faptul că, aceste circuite sumatoare, nu realizează operații matematice cu numere sau numere codificate, ci cu semnale de tensiune. Așadar, funcție de valoarea circuitului rezistiv construit în jurul fiecărei intrări, acesta va realiza suma tensiunilor de intrare, redând-o la ieșire.

Toate discuțiile se vor referi la circuitul sumator echipat cu amplificator operațional ideal, la care curenții de pe cele două intrări (inversoare și neinversoare) sunt nuli, a cărui bornă neinversoare este conectată la potențialul 0 de masă. Din punct de vedere funcțional, este foarte simplu a analiza circuitul, aplicând teorema lui Kirchoff referitoare la curenți putem exprima:

$$i_1 + i_2 + i_3 + i_4 + i_e = 0 \quad (1)$$

Ecuția (1) poate fi rescrisă sub forma:

$$\frac{u_1}{R_1} + \frac{u_2}{R_2} + \frac{u_3}{R_3} + \frac{u_4}{R_4} + \frac{u_e(t)}{R} = 0 \quad (2)$$

Prelucrând ecuația (2) se poate ajunge la scrierea semnalului sumă de ieșire din amplificator, cu observația fundamentală că acesta are semnul minus înainte. Aceasta înseamnă că discutăm despre un *circuit sumator-inversor* echipat cu amplificator operațional:

$$u_e(t) = -\left(\frac{R}{R_1}u_1 + \frac{R}{R_2}u_2 + \frac{R}{R_3}u_3 + \frac{R}{R_4}u_4\right) \quad (3)$$

Dacă notăm cu k_1, k_2, k_3 și k_4 ponderile fiecărui semnal de intrare, se poate observa clar că acestea pot fi alese și calibrate independent prin intermediul valorilor rezistențelor.

$$k_1 = \frac{R}{R_1}; k_2 = \frac{R}{R_2}; k_3 = \frac{R}{R_3}; k_4 = \frac{R}{R_4} \quad (4)$$

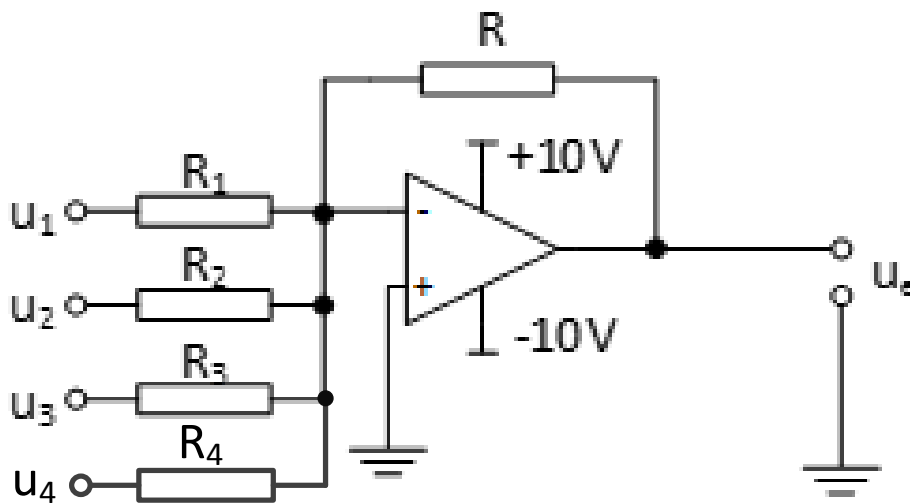


Fig. 6.1. Circuit sumator-inversor cu patru intrări echipat cu un singur amplificator operațional.

Arhitectura din Figura 6.1. este aceea pe care se vor face primul set de măsurători, unde rezistențele de intrare sunt $R_1=x[k\Omega]$, $R_2=x[k\Omega]$, $R_3=x[k\Omega]$ iar rezistența de reacție $R=x[k\Omega]$.

Figura 6.2 indică cel de al doilea circuit care se va analiza în cadrul prezentei aplicații practice. Acesta este un *circuit sumator în două etaje*, utilizând două amplificatoare operaționale. Având deja primul etaj, de circuit sumator-inversor, analizat teoretic, conectându-l în serie cu cel de al doilea, putem scrie valoarea tensiunii de ieșire, bazată pe același algoritm ca în ecuațiile (1-4). Astfel, tensiunea de ieșire din cel de al doilea etaj, scrisă funcție cea din primul etaj va fi:

$$\frac{u_e(t)}{R_4} + \frac{u_{e2}(t)}{R_r} = 0 \quad (5)$$

Dacă luăm în considerare forma din ecuația (3) și o înlocuim în ecuația (5) se va ajunge la:

$$u_{e2}(t) = \frac{R_r}{R_4} \left(\frac{R}{R_1}u_1 + \frac{R}{R_2}u_2 + \frac{R}{R_3}u_3 \right) \quad (6)$$

Ecuția (6) definește valoarea tensiunii de ieșire a celor două circuite sumatoare-inversoare conectate în serie. Trebuie observat faptul că la ieșirea celui de al doilea amplificator operațional nu mai avem inversare (adică ieșirea nu mai este „negativată”) aceasta fiind rezultatul înserierii celor două etaje bazate pe amplificatoare inversoare.

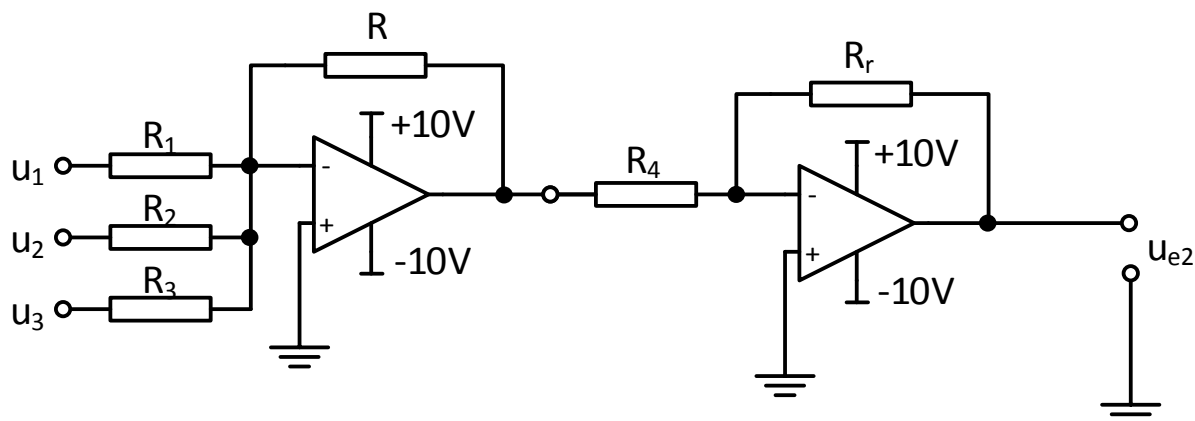


Fig. 6.2. Arhitectură de circuit sumator-inversor echipat cu două amplificatoare operaționale.

O altă mențiune importantă este faptul că, din ecuația (6) se poate observa că la alegerea rezistențelor R_r și R_4 de valori egale, rolul celui de al doilea etaj nu mai este unul de amplificator inversor, ci devine un *circuit repetor inversor*. Inversând semnalul de tensiune negativ $-u_e(t)$ de la intrarea lui, va reda la ieșire valoarea pozitivă a acestuia $+u_e(t)$.

6.3 Stand de lucru și Echipamente

Pentru realizarea acestei aplicații experimentale se vor utiliza următoarele componente, echipamente și aparate de măsură:

1. Placa de experimentare rapidă "Analog System Lab Kit PRO" producător Texas Instruments din Figura 6.3.;
2. Surse de alimentare cu tensiune continuă: 2 canale reglabile 0...30V și 0...3A - 2 buc.;
3. Multimetre: 2 buc.;
4. Fire de legătură și cleme de tip "clește";
5. Generator semnale de tensiune;
6. Osciloscop Digital - cu minim 2 canale.

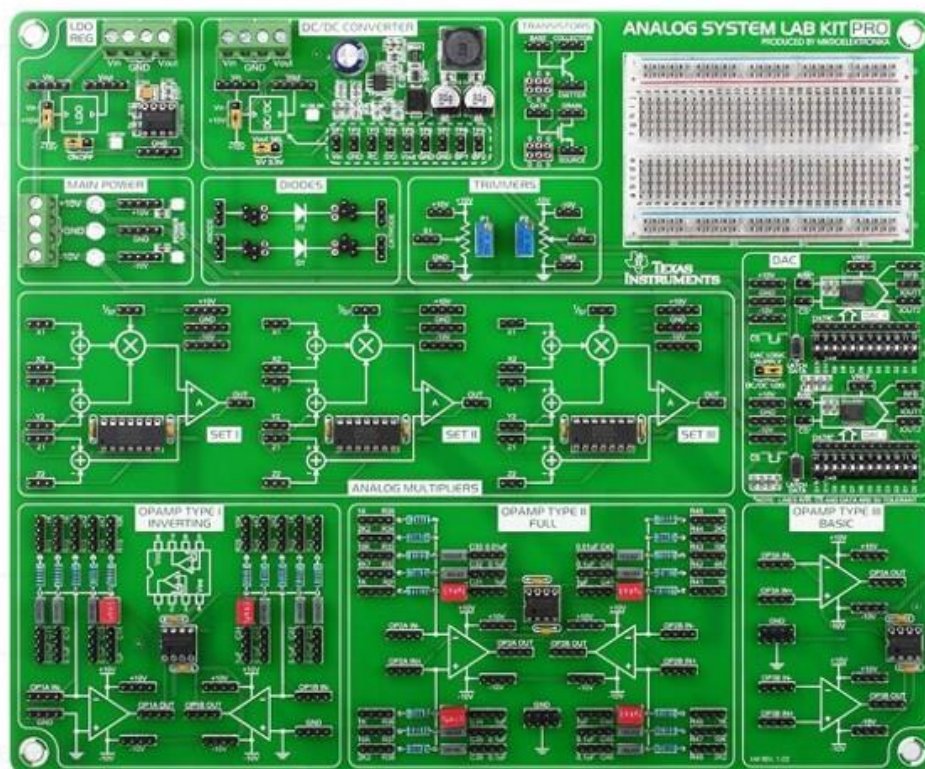


Fig. 6.3. Placa de experimentare rapidă "Analog System Lab Kit PRO".

6.4 Mod de Lucru

În această secțiune a prezentei lucrări sunt exemplificate modalitățile de realizare rapidă atât a montajelor experimentale cât și a măsurătorilor practice necesare, referitoare la cele două tipuri de circuite sumatoare realizate cu amplificatoare operaționale și care au fost prezentate din punct de vedere teoretic în mod succint în capitolul 6.2.

6.4.1 Circuit sumator-inversor echipat cu un singur A.O.

Pentru realizarea montajului experimental din Figura 6.4, care ne permite investigarea funcționării circuitului electronic sumator-inversor cu un A.O., este necesară parcurgerea secvențială a următorilor pași:

1. Se utilizează placa de dezvoltare didactică de la Texas Instruments, denumită "Analog System Lab Kit PRO" unde sunt delimitate sectoare pentru diferite tipuri de aplicații. În cazul nostru vom utiliza sectorul "OPAMP TYPE I INVERTING". Acest segment este dotat cu un circuit integrat care înglobează două amplificatoare operaționale "OP1A" și "OP1B" dintre care îl vom utiliza pe primul "OP1A". Acesta are pre-conectate o parte din capetele rezistențelor R_{11} - R_{15} către pinul de intrare inversoare, celelalte capete ale rezistențelor urmând a fi conectate la tensiunile care se doresc a fi însumate. Având de analizat un circuit cu patru intrări, vom face analogia Figurilor 6.1 și 6.4;

2. Se pornesc sursele de alimentare cu tensiune continuă și se reglează la ieșirile primelor două o tensiune cu valoarea de 10V c.c la o limitare a curentului de 0,2A, iar la ieșirea celei de a treia se reglează o tensiune cu valoarea de 0,2V c.c la o limitare a curentului de 0,2A, după care ieșirea acestor canale se **dezactivează** până la realizarea montajului experimental;
 3. Cu ajutorul unor fire, se realizează conexiunile:
 - a) între borna „+” de la sursa 1 (Sursă c.c.1) și borna „-” de la sursa 2 (Sursă c.c.2) ;
 - b) între borna „-” de la sursa 1 (Sursă c.c.1) și borna „-” de pe placa experimentală conectată la pinul -10V din sectorul „MAIN POWER”;
 - c) între borna „+” de la sursa 2 (Sursă c.c.2) și borna „+” de pe placa experimentală conectată la pinul +10V din sectorul „MAIN POWER”;
 - d) între una din bornele care reprezintă punctul comun al surselor 1 respectiv 2 și borna „masă” de pe placa experimentală conectată la pinul „GND” din sectorul „MAIN POWER”;
 - e) între una din bornele care reprezintă punctul comun al surselor 1 respectiv 2 și borna „-” a celei de a treia surse (Sursă c.c.3) respectiv borna „COM” a celor două voltmetre (Vc.c. 1) și (Vc.c. 2);
 - f) între borna „+” de la sursa 3 (Sursă c.c.3) și borna „VΩ” a primului voltmetru (Vc.c. 1);
 - g) Se ia un fir care are la un capăt mufă tip „cuplă” și la celălalt capăt mufă tip „fișă”, apoi se conectează mufa tip „cuplă” la unul din pinii aflați la ieșirea amplificatorului operațional „OP1A OUT”, iar la mufa tip „fișă” se conectează cu ajutorul unei cleme de conexiune de tip „clește” la borna „VΩ” a celui de al doilea voltmetru (Vc.c. 2). **Atenție la așezarea pe masă a firelor, să nu provocați din greșeală contacte nedorite sau scurtcircuite;**
 - h) Se ia un fir care are pe ambele capete mufă tip „cuplă” și se realizează conexiunea între unul din pinii de la ieșirea amplificatorului operațional „OP1A OUT” și unul din pinii de la rezistența R_{15} , care reprezintă de altfel rezistența de reacție a amplificatorului operațional;
 - i) borna „+” de la sursa 3 (Sursă c.c.3) se conectează cu ajutorul unei cleme tip „clește” la unul din pinii aferenți rezistenței R_{11} ;
 4. Se ia un fir care are pe un capăt mufă tip „cuplă” și pe celălalt capăt mufă tip „fișă”, apoi se conectează mufa tip „cuplă” la unul din pinii „GND” plasați în intrarea neinversoare a amplificatorului operațional, iar la mufa tip „fișă” se conectează cu ajutorul unei sonde borna negativă (de masă) a osciloscopului. **Atenție la așezarea pe masă a firelor, să nu provocați din greșeală contacte nedorite sau scurtcircuite;**
 5. Canalul A al osciloscopului se conectează cu borna pozitivă a sondei la unul din pinii amplasați la intrarea inversoare a amplificatorului operațional „OP1A IN-”;
 6. Borna pozitivă a sondei corespunzătoare canalului B al osciloscopului se conectează la unul din pinii plasați la ieșirea amplificatorului operațional „OP1A OUT”;
 7. Astfel: - rezistențele din Figura 6.1 se asociază pe placa experimentală cu $R_1=R_{11}=1k\Omega$, $R_2=R_{12}=1k\Omega$, $R_3=R_{13}=2,2k\Omega$, $R_4=R_{14}=4,7k\Omega$, respectiv $R_5=R_{15}=10k\Omega$;
- semnalele tensiunilor de însumat, reglate de la cea de a treia sursă (Sursă c.c.3), vor fi $u_1=u_2=u_3=u_4= 0,2V$, acestea fiind conectate cu fire la cele 4 rezistențe R_1, R_2, R_3 și R_4 ;
- rezistența de reacție este reprezentată de $R=R_{15}$.
- 8. Se verifică montajul de către cadrul didactic;**

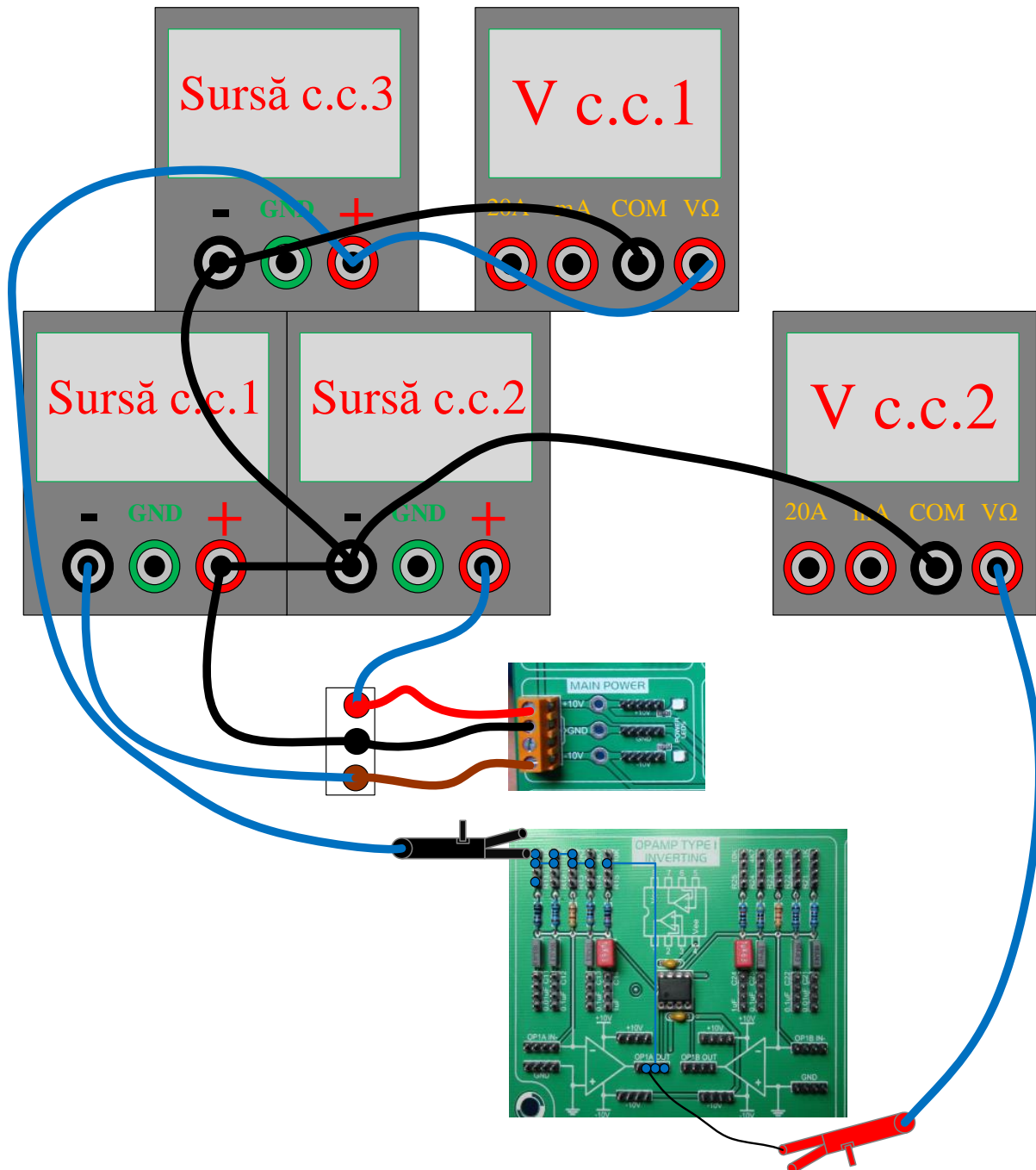


Fig. 6.4. Exemplu de realizare a montajului experimental aferent circuitului electronic sumator-inversor echipat cu un A.O.

9. După punerea în funcțiune a circuitului (pornirea aparatelor de măsură, a osciloscopului și activarea canalelor surselor de alimentare) se vor lua în considerare următoarele faze:
 - a) Cu ajutorul primului voltmetru ($V_{c.c.1}$) se verifică de fiecare dată exactitatea indicației afișajului ieșirii celei de a treia surse de alimentare (Sursă c.c.3), care livrează tensiunea distribuită pe toate intrările amplificatorului operațional;

- b) Se va măsura cu ajutorul celui de al doilea voltmetrul digital (Vc.c. 2) tensiunea de la ieșirea amplificatorului operațional, iar valoarea ei se va nota în Tabelul 6.1. Totodată, de pe osciloscop, se vor salva în memoria externă USB formele de undă aferente tensiunilor de intrare și ieșire din A.O.;
- c) Se ia un fir care are la ambele capete mufă tip "cuplă" și se realizează conexiunea între unul din pinii aferenți rezistenței R_{11} și unul din pinii de lângă rezistența R_{12} , după care se repetă punctul b);
- d) Cu un alt fir care are la ambele capete mufă tip "cuplă" se realizează conexiunea între unul din pinii amplasați lângă rezistența R_{12} și unul din pinii aferenți rezistenței R_{13} , după care se repetă punctul b);
- e) În cele din urmă se ia din nou un fir care are pe ambele capete mufă tip "cuplă" și se realizează conexiunea între unul din pinii aferenți rezistenței R_{13} și unul din pinii de lângă rezistența R_{14} , după care se repetă punctul b).

Pentru fiecare intrare în parte se calculează factorul de amplificare k , după care se notează în Tabelul 6.1. Apoi, tot în acest tabel, se calculează valoarea semnalului de ieșire aplicând ecuația (3) și se notează valoarea sa. În cele din urmă se va calcula abaterea procentuală " $\zeta\%$ " a tensiunii de ieșire măsurată față de valoarea calculată.

Tabelul 6.1. Datele calculate și măsurate în cazul primei probe:

Intrarea	U_{in}	U_R	k	U_{Amp}	U_{e_calc}	U_{e_mas}	$\zeta\%$
1							
2							
3							
4							
1+2							
1+2+3							
1+2+3+4							

10. După terminarea tuturor măsurătorilor ieșirile surselor de alimentare se dezactivează iar aparatele de măsură se opresc.

6.4.2 Circuit sumator-inversor echipat cu două A.O.

Pentru realizarea montajului experimental din Figura 6.5, care face posibilă investigarea funcționării circuitului electronic sumator-inversor echipat cu două A.O., presupune parcurgerea secvențială a pașilor descriși mai jos:

1. La această probă practică se utilizează și cel de al doilea amplificator operațional "OP1B", iar circuitul deja realizat pentru primul amplificator, "OP1A" rămâne neschimbat. Prin urmare din analogia Figurilor 6.2 și 6.5 constatăm faptul că: rezistența R_4 din Figura 6.2 este rezistența $R_{22}=1k\Omega$ de pe placa experimentală, conform Figurii 6.5; iar rezistența R_r din Figura 6.2 este asociată rezistenței $R_{23}=2,2k\Omega$ de pe placa experimentală, în cazul primei măsurători, urmând apoi ca ea să fie înlocuită cu $R_{21}=1k\Omega$, în cazul celei de a doua măsurători;
2. Se ia un fir care are la un capăt mufă tip "cuplă" și la celălalt capăt mufă tip "fișă", apoi se conectează mufa tip "cuplă" la unul din pinii amplasați la ieșirea amplificatorului operațional "OP1B OUT", iar la mufa tip "fișă" se conectează cu ajutorul unei cleme tip "clește" la borna „V Ω ” a celui de al doilea voltmetru (Vc.c. 2). **Atenție la așezarea pe masă a firelor, să nu provocați din greșală contacte nedorite sau scurtcircuite;**
3. Se ia un fir care are pe ambele capete mufă tip "cuplă" și se realizează conexiunea între unul din pinii aflați la ieșirea primului amplificator operațional "OP1A OUT" și unul din pinii de lângă rezistența R_{22} ;
4. Borna pozitivă a sondei corespunzătoare canalului B al osciloscopului se conectează la unul din pinii plasați la ieșirea amplificatorului operațional "OP1B OUT";
5. Cu un alt fir care are pe ambele capete mufă tip "cuplă" se realizează conexiunea între unul din pinii amplasați la ieșirea amplificatorului operațional "OP1B OUT" și unul din pinii aferenți rezistenței R_{21} ;

6. Se verifică montajul de către cadrul didactic;

7. După punerea în funcțiune a circuitului (pornirea aparatelor de măsură și activarea canalelor surselor de alimentare) se vor lua în considerare următoarele faze:
 - a) Având datele din Tabelul 6.1, este cunoscută valoarea tensiunii de ieșire a amplificatorului "OP1A". Pentru cele 2 măsurători care trebuie realizate la această probă se va completa Tabelul 6.2 cu valorile tensiunii de intrare în amplificatorul "OP1B" (preluate din Tabelul 6.1) și valoarea tensiunii de ieșire pentru cele 2 rezistențe de reacție diferite, $R_{21}=1k\Omega$, respectiv $R_{23}=2,2k\Omega$;
 - b) În ambele cazuri se vor salva formele de undă ale tensiunilor vizualizate cu ajutorul osciloscopului și se calculează conform relației (6) valoarea tensiunii de ieșire după care se va compara cu cea măsurată;
8. După încheierea tuturor măsurătorilor ieșirile surselor de alimentare se dezactivează, apoi sursele de alimentare, osciloscopul și aparatele de măsură utilizate se opresc, iar în cele din urmă se deconectează toate firele de legătură utilizate la realizarea montajului experimental.

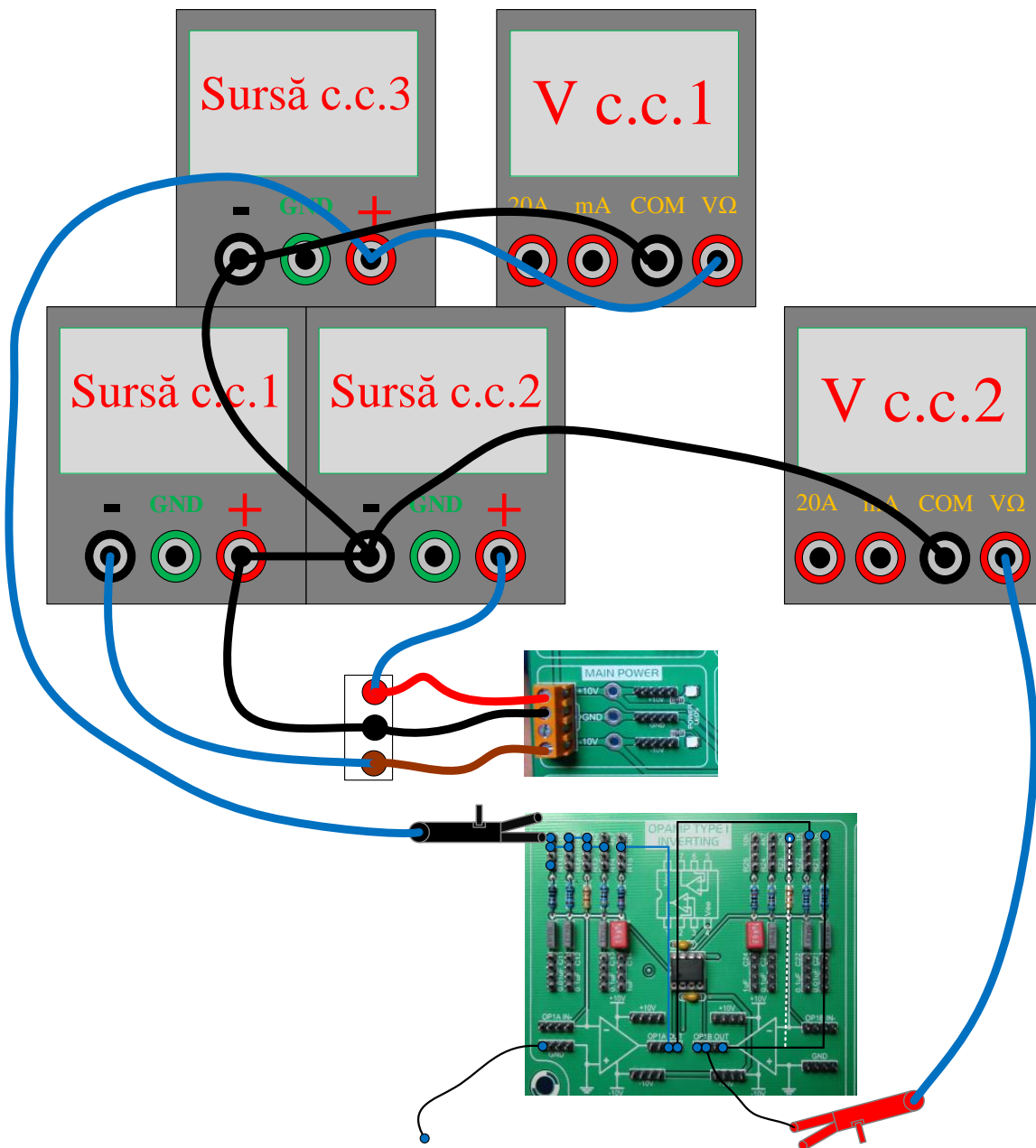


Fig. 6.5. Exemplu de realizare a montajului experimental aferent circuitului electronic sumator-inversor echipat cu două A.O.

Tabelul 6.2. Datele calculate și măsurate în cazul celei de a doua probe:

Cazul	U_{in}	U_R	k	U_{e_calc}	U_{e_mas}	$\zeta\%$
$R_f=1k\Omega$						
$R_f=2,2k\Omega$						

Dacă se dorește prelucrarea unor semnale de tensiune cu caracter sinusoidal, cu ajutorul celor două tipuri de circuite sumatoare investigate, atunci este necesară și utilizarea unui generator de semnal în conformitate cu Figura 6.6., păstrând aceeași procedură de lucru.

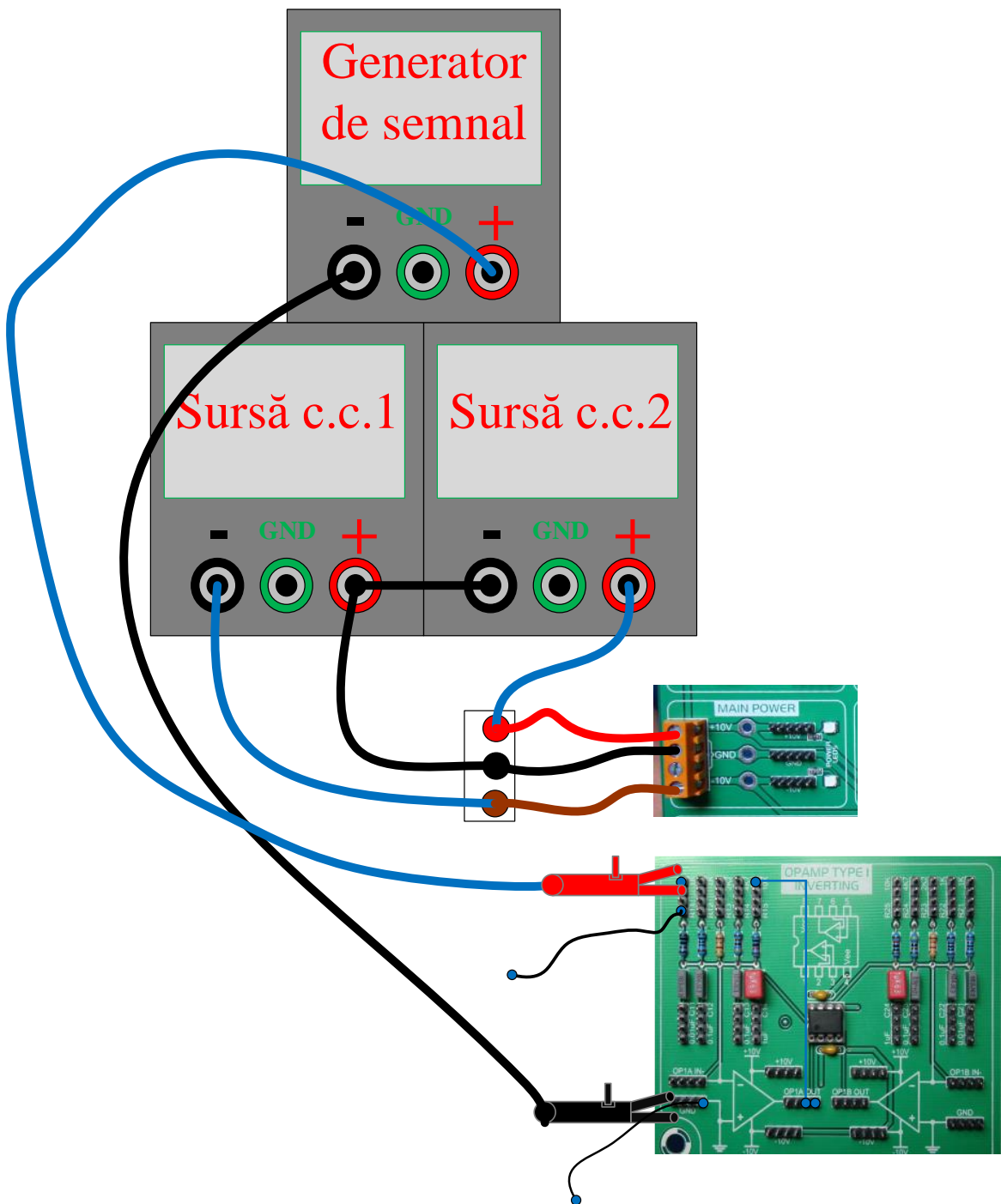


Fig. 6.6. Exemplu de realizare a montajului experimental aferent circuitului electronic sumator echipat cu A.O. care prelucrează tensiuni de intrare cu caracter sinusoidal (funcția „sin”).

6.5 Întrebări și teme

- 1) Așa cum se precizează la sfârșitul fiecărei etape de măsurători, pe baza datelor înregistrate în tabele este necesară calcularea abaterii procentuale a tensiunii de ieșire. Apoi, pentru fiecare caz experimentat în parte se imprimă în mod sistematizat pe hârtie toate imaginile/pozele salvate în memoria USB, după care se retranscriu în dreptul lor toate notațiile și observațiile făcute în timpul aplicației.
- 2) Care sunt limitele de prelucrabilitate în tensiune ale circuitelor sumatoare investigate?
- 3) Ce se întâmplă dacă scad cele două tensiuni de alimentare ale A.O.?
- 4) Ce se întâmplă dacă dispare tensiunea de alimentare a A.O.?

Bibliografie

- [1] Marschalko, R. – "Electronică pentru ingineri electrotehnicieni –Dispozitive și circuite electronice fundamentale", Volumul I, Editura Mediamira Cluj-Napoca, 2003;
- [2] Floyd, T.L. – "Dispozitive și circuite electronice", Editura Teora, București, 2003;
- [3] Marschalko, R.; Bojan, M. și Salomir, C. – "Electronică pentru ingineri electrotehnicieni, Ghid practic pentru seminar și laborator", Volumul I, Editura Mediamira Cluj-Napoca, 2004;
- [4] Marschalko, R. – "Electronică pentru ingineri electrotehnicieni –Circuite electronice pentru semnale continue", Volumul II, Editura Mediamira Cluj-Napoca, 2006.
- [5] Floyd, T.L. – "Electronic Devices" – *Conventional Current Version* – Ninth Edition, New Jersey (USA): Prentice Hall , 2012.

Lucrarea 7. Amplificatorul operațional – funcția de scădere

7.1 Scopul lucrării

Prezenta aplicație are ca scop analiza teoretică și practică a funcționării amplificatorului operațional cu funcția de scădere, cunoscut în literatura de specialitate ca circuit de scădere sau *circuit diferențial cu amplificator operațional* (A.O.). Această arhitectură este foarte des utilizată în prelucrarea semnalelor, acolo unde este necesară monitorizarea unui anumit semnal față de o referință sau diferențierea a două sau mai multe semnale cunoscute.

Se vor prezenta o serie de baze teoretice care apoi vor fi validate experimental prin încercări de laborator. Discuțiile teoretice și cele practice vor fi în jurul a două dintre cele mai utilizate configurații ale circuitelor de scădere cu amplificator operațional. Unul format prin conlucrarea a două etaje cu amplificatoare operaționale înseriate și unul folosind un singur amplificator operațional.

7.2 Considerații teoretice

Suportul teoretic detaliat care stă la baza acestei lucrări practice se regăsește în referințele bibliografice. În prima fază vom discuta despre structura unui circuit de scădere cu două etaje, ca și cel din Figura 7.1, aceasta pentru a pune în evidență funcționalitatea și conceptul unui asemenea circuit. Semnalul de intrare u_2 trece prin primul etaj al circuitului, care lucrează ca amplificator inversor. Semnalul intermediar u_{e2} la limita dintre cele două etaje este dat de relația:

$$u_{e2} = -\frac{R_4}{R_3}u_2 \quad (1)$$

În cazul în care se aleg valori egale ale rezistențelor din ecuația (1), primul etaj devine un *circuit repetor-inversor*. Al doilea etaj al circuitului, este un sumator inversor având două semnale la intrare. Conform relațiilor de însumare cu amplificatoare operaționale, și considerând raporturile rezistențelor din circuite, putem calcula semnalul la ieșire ca fiind:

$$u_e(t) = -\left(\frac{R}{R_1}u_1 + \frac{R}{R_2}u_{e2}\right) \quad (2)$$

Dacă substituim în ecuația (2) relația (1) putem scrie pentru semnalul tensiunii de ieșire următoarea expresie:

$$u_e(t) = -\left(\frac{R}{R_1}u_1 - \frac{R}{R_2}\frac{R_4}{R_3}u_2\right) \quad (3)$$

Pentru a pune în evidență funcția de scădere a circuitului, vom considera că toate rezistențele acestuia au valoare egală. În aceste condiții ieșirea din circuit va fi de forma:

$$u_e(t) = -(u_1 - u_2) \quad (4)$$

Dacă se doresc mai multe semnale ale căror diferență trebuie calculată, se vor multiplica circuitele funcție de numărul de semnale dorite.

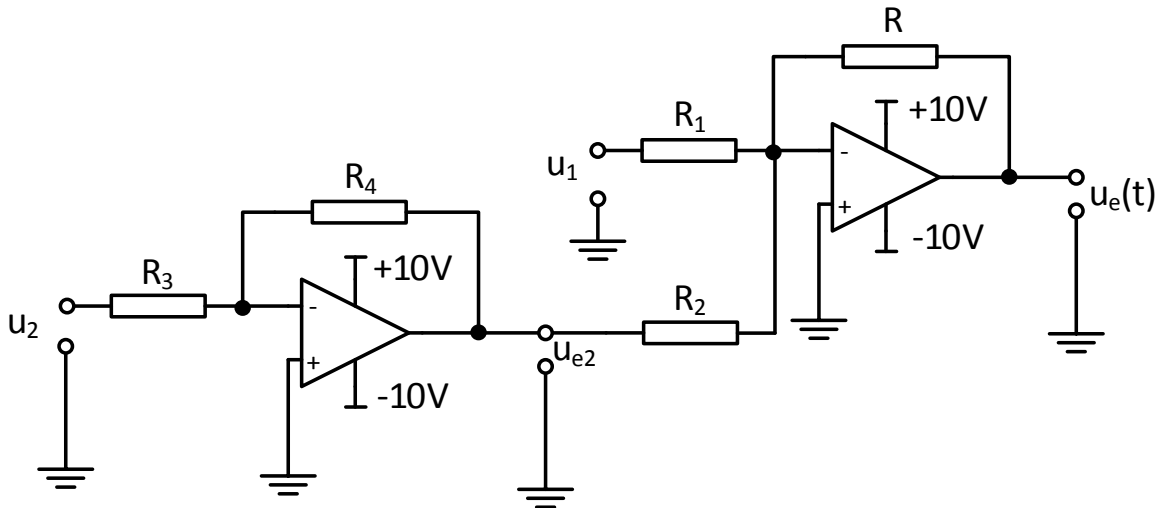


Fig. 7.1. Circuitul de scădere cu două amplificatoare operaționale.

Din punct de vedere practic, în cazul diferenței dintre două semnale de tensiune, un circuit ca și cel indicat în Figura 7.1 este mai puțin utilizat tocmai din cauza numărului mare de componente. Reducerea acestora înseamnă un avantaj din punct de vedere financiar, care poate fi implementat utilizând schema din Figura 7.2.

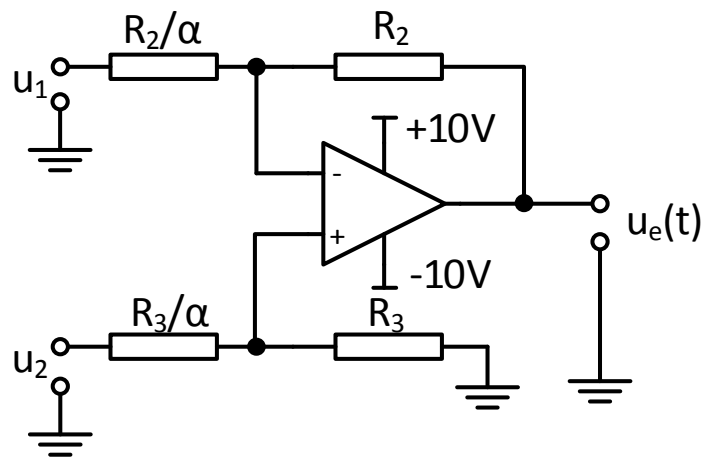


Fig. 7.2. Circuitul de scădere cu un singur amplificator operațional.

Această arhitectură este foarte des utilizată și cunoscută și sub numele de *circuit diferențial cu amplificator operațional*. În discuția care urmează, vom nota cu n toate elementele legate de borna inversoare, respectiv cu p toate elementele legate de borna neinversoare ale amplificatorului operațional. Astfel, tensiunile de la aceste două borne sunt descrise de următoarele ecuații:

$$u_p = \frac{R_3}{R_3 + \frac{R_3}{\alpha}} u_2 \quad (5)$$

$$u_n = \frac{R_2}{R_2 + \frac{R_2}{\alpha}} [u_1 - u_e(t)] + u_e(t)$$

În regim stabilizat, tensiunile la cele două borne ale amplificatorului operațional sunt egale. În aceste condiții, dacă se exprimă egalitatea și se realizează calculele algebrice necesare se ajunge la forma:

$$\frac{\alpha}{\alpha + 1} u_1 = \frac{\alpha}{\alpha + 1} [u_1 - u_e(t)] + u_e(t) \quad (6)$$

Dacă se exprima egalitatea din relația (6) funcție de tensiunea de ieșire din circuit și se realizează și operațiile algebrice necesare, se ajunge la expresia:

$$u_e(t) = -\alpha(u_1 - u_2) \quad (7)$$

Relația (7) exprimă faptul că la ieșirea circuitului din Figura 7.2 se va regăsi diferența semnalelor u_1 respectiv u_2 cu factorul de amplificare α . Analizând acest circuit și făcând apel la cunoștințele însușite în lucrările anterioare, se observă că acest circuit poate funcționa și cu altă destinație decât acela de circuit de scădere. Dacă borna neinversoare este conectată la masă, sau lăsată liberă, acesta va opera ca amplificator inversor cu factor de amplificare α a semnalului u_1 , sau dacă se conectează la masă sau se lasă liberă borna inversoare, se obține un circuit repetor al semnalului u_2 cu același factor de amplificare.

Aplicațiile des întâlnite ale acestui circuit sunt în domeniul măsurării tensiunilor în special a celor de valoare mare fără a fi necesară separarea galvanică între amplificator și etajul de tensiune mare. În acest caz, factorul de amplificare va fi calculat pentru a avea valoare mult subunitară. Detalii mai multe despre această aplicație se regăsesc în referința [4].

7.3 Stand de lucru și Echipamente

Pentru realizarea acestei aplicații experimentale se vor utiliza următoarele componente, echipamente și aparate de măsură:

1. Placa de experimentare rapidă "Analog System Lab Kit PRO" producător Texas Instruments din Figura 7.3.;
2. Surse de alimentare cu tensiune continuă: 2 canale reglabile 0...30V și 0...3A - 2 buc.;
3. Multimetre: 3 buc.;
4. Fire de legătură și cleme de tip "clește";
5. Osciloscop Digital - cu minim 2 canale.

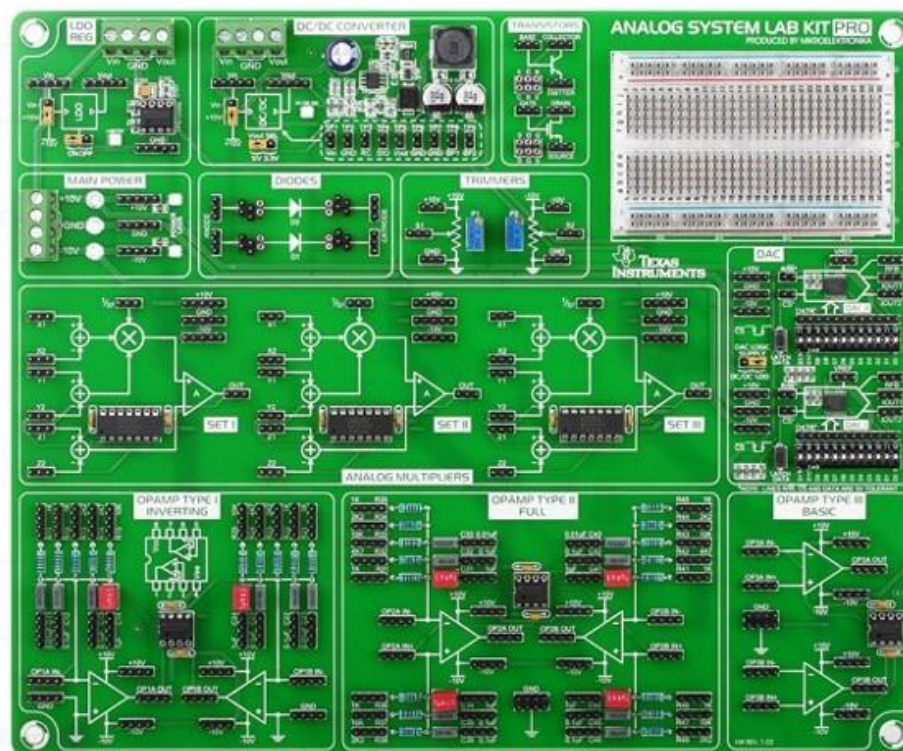


Fig. 7.3. Placa de experimentare rapidă "Analog System Lab Kit PRO".

7.4 Mod de Lucru

Secțiunea de față a prezentei lucrări exemplifică modalitățile de realizare rapidă atât a montajelor experimentale cât și a măsurătorilor practice necesare, referitoare la cele două tipuri de circuite de scădere realizate cu amplificatoare operaționale și care au fost prezentate din punct de vedere teoretic în mod succint în capitolul 7.2.

7.4.1 Circuit de scădere realizat cu două A.O.

Pentru realizarea montajului experimental din Figura 7.4, care ne permite investigarea funcționării circuitului electronic de scădere echipat cu două A.O., este necesară parcurgerea secvențială a următorilor pași:

1. Se utilizează placa de dezvoltare didactică de la Texas Instruments, denumită "Analog System Lab Kit PRO" unde sunt delimitate sectoare pentru diferite tipuri de aplicații. În cazul nostru vom utiliza sectorul "OPAMP TYPE I INVERTING". Acest segment este dotat cu un circuit integrat care înglobează două amplificatoare operaționale "OP1A" și "OP1B", iar pentru acest circuit se vor utiliza ambele amplificatoare operaționale. Acestea au pre-conectate rezistențele R_{11} - R_{15} către pinul de intrare inversoare al operaționalului "OP1A", respectiv R_{21} - R_{25} către pinul de intrare inversoare al operaționalului "OP1B", celelalte capete ale rezistențelor urmând a fi conectate de către utilizator după necesități. Pentru configurația de față, vom face analogia Figurilor 7.1 și 7.4;

2. Se pornesc sursele de alimentare cu tensiune continuă și se reglează la ieșirile primelor două o tensiune cu valoarea de 10V c.c la o limitare a curentului de 0,2A, iar la ieșirea celei de a treia se reglează o tensiune cu valoarea de 0,2V c.c. (livrată pe intrările u_1 și u_2) la o limitare a curentului de 0,05A, după care ieșirea acestor canale se **dezactivează** până la realizarea montajului experimental;
3. Cu ajutorul unor fire, se realizează conexiunile:
 - a) între borna „+” de la sursa 1 (Sursă c.c.1) și borna „-” de la sursa 2 (Sursă c.c.2) ;
 - b) între borna „-” de la sursa 1 (Sursă c.c.1) și borna „-” de pe placa experimentală conectată la pinul -10V din sectorul „MAIN POWER”;
 - c) între borna „+” de la sursa 2 (Sursă c.c.2) și borna „+” de pe placa experimentală conectată la pinul +10V din sectorul „MAIN POWER”;
 - d) între una din bornele care reprezintă punctul comun al surselor 1 respectiv 2 și borna „masă” de pe placa experimentală conectată la pinul „GND” din sectorul „MAIN POWER”;
 - e) între una din bornele care reprezintă punctul comun al surselor 1 respectiv 2 și borna „-” a celei de a treia surse (Sursă c.c.3) respectiv borna „COM” a celor trei voltmetre (Vc.c. 1), (Vc.c. 2) și (Vc.c. 3);
 - f) între borna „+” de la sursa 3 (Sursă c.c.3) și borna „V Ω ” a primului voltmetru (Vc.c. 1);
 - g) Bornă „+” de la sursa 3 (Sursă c.c.3) se conectează cu ajutorul unei cleme tip „clește” la unul din pinii aferenți rezistenței R_{14} ;
 - h) Se ia un fir care are la un capăt mufă tip „cuplă” și la celălalt capăt mufă tip „fișă”, apoi se conectează mufa tip „cuplă” la unul din pinii aflați la ieșirea amplificatorului operațional „OP1A OUT”, iar la mufa tip „fișă” se conectează cu ajutorul unei cleme de conexiune de tip „clește” la borna „V Ω ” a celui de al treilea voltmetru (Vc.c. 3). **Atenție la așezarea pe masă a firelor, să nu provocați din greșeală contacte nedorite sau scurtcircuite;**
 - i) Cu un fir care are la un capăt mufă tip „cuplă” și la celălalt capăt mufă tip „fișă” se conectează mufa tip „cuplă” la unul din pinii aflat la ieșirea amplificatorului operațional „OP1B OUT”, iar la mufa tip „fișă” se conectează cu ajutorul unei cleme de conexiune de tip „clește” la borna „V Ω ” a celui de al doilea voltmetru (Vc.c. 2). **Atenție la așezarea pe masă a firelor, să nu provocați din greșeală contacte nedorite sau scurtcircuite;**
 - j) Prin intermediul unui fir care are pe ambele capete mufă tip „cuplă” se realizează conexiunea între unul din pinii de la ieșirea amplificatorului operațional „OP1A OUT” și unul din pinii de la rezistența R_{15} , care reprezintă de altfel rezistența de reacție a primului amplificator operațional;
 - k) Cu un fir care are pe ambele capete tot mufe tip „cuplă” se realizează conexiunea între unul din pinii de la ieșirea amplificatorului operațional „OP1A OUT” și unul din pinii de la rezistența R_{25} , plasată pe intrarea inversoare a celui de al doilea amplificator operațional;
 - l) Cu un alt fir care are pe ambele capete mufe tip „cuplă” se realizează conexiunea între unul din pinii de la ieșirea amplificatorului operațional „OP1B OUT” și unul din pinii de la rezistența R_{24} , care reprezintă de altfel rezistența de reacție a celui de al doilea amplificator operațional;
 - m) Tot cu ajutorul unui fir care are pe ambele capete mufă tip „cuplă”, se realizează conexiunea între unul din pinii amplasați la un capăt al rezistenței R_{14} respectiv R_{23} ;

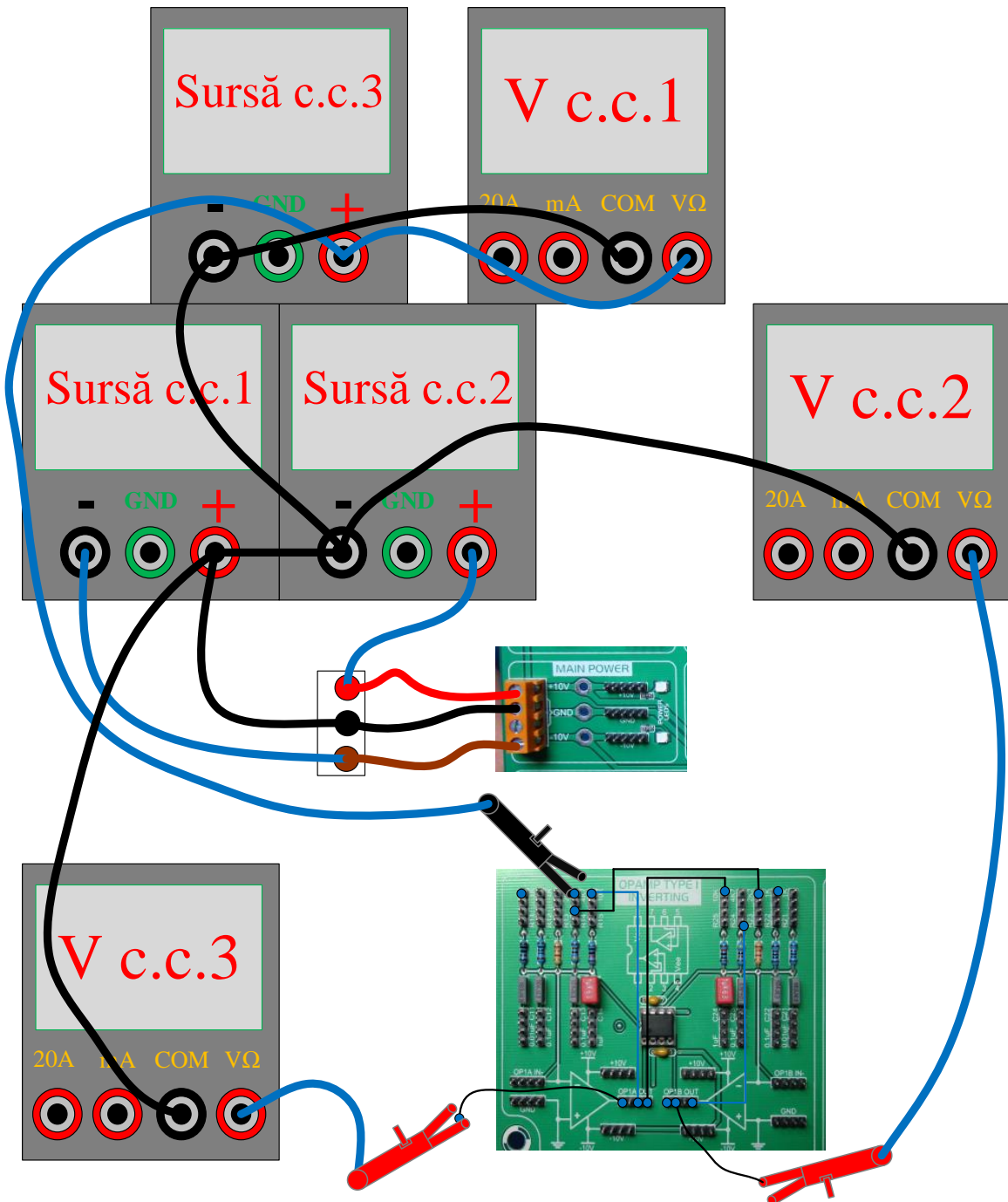


Fig. 7.4. Exemplu de realizare a montajului experimental aferent circuitului electronic de scădere cu două etaje (echipat cu două A.O.).

4. La unul din pinii "GND" plasați în intrarea neinversoare a primului amplificator operațional se conectează cu ajutorul unei sonde borna negativă (de masă) a osciloscopului;
5. Canalul A al osciloscopului se conectează cu borna pozitivă a sondei la unul din pinii amplasați la intrarea inversoare a amplificatorului operațional "OP1A IN-";

6. Borna pozitivă a sondei corespunzătoare canalului B al osciloscopului se conectează la unul din pinii plasați la ieșirea amplificatorului operațional "OP1B OUT";
7. Astfel: - rezistențele din Figura 7.1 se asociază pe experimentală cu $R_3=R_{14}=4,7k\Omega$, $R_4=R_{15}=10k\Omega$, la amplificatorul "OP1A", iar la cel de al doilea operațional "OP1B" ele se asociază cu $R_2=R_{25}=10k\Omega$, $R_1=R_{23}=2,2k\Omega$ și $R=R_{24}=4,7k\Omega$;
- semnalele tensiunilor de scăzut, preluate de la sursa externă 3 (Sursă c.c.3) vor fi $u_1 = u_2 = 0,3V$;
 - rezistența de reacție a primului amplificator operațional "OP1A" este reprezentată de $R_4=R_{15}$, respectiv rezistența de reacție a celui de al doilea amplificator operațional "OP1B" este $R=R_{24}$;

8. Se verifică montajul de către cadrul didactic;

9. După punerea în funcțiune a circuitului (pornirea aparatelor de măsură, a osciloscopului și activarea canalelor surselor de alimentare) se vor lua în considerare următoarele faze:
- f) Cu ajutorul primului voltmetru (Vc.c. 1) se verifică de fiecare dată exactitatea indicației afișajului ieșirii celei de a treia surse de alimentare (Sursă c.c.3), care livrează tensiunea distribuită la intrările u_1 și u_2 ale celor două amplificatoare operaționale, iar valorile se notează în Tabelul 7.1;
- g) Prin intermediul celui de al treilea voltmetru (Vc.c. 3) se măsoară tensiunea intermediară u_{e2} , de la ieșirea primului A.O., trecându-se valoarea sa în Tabelul 7.1;
- h) Se va măsura cu ajutorul celui de al doilea voltmetru digital (Vc.c. 2) tensiunea de la ieșirea generală a circuitului de scădere cu două A.O., iar valoarea ei se va nota în Tabelul 7.1. Totodată, de pe osciloscop, se vor salva în memoria externă USB formele de undă aferente tensiunilor de intrare și ieșire din circuit.

Valorile tensiunilor de ieșire calculate (U_{e_calc}) se obțin prin aplicarea ecuațiilor (1-3) după care se notează în Tabelul 7.1. În cele din urmă se va calcula abaterea procentuală " $\zeta\%$ " a tensiunii de ieșire măsurată față de valoarea calculată.

Tabelul 7.1. Datele calculate și măsurate în cazul primei probe:

Intrarea	U_{in}	U_R	U_{e_calc}	$U_{e_măs}$	$\zeta\%$
u_1			-----	-----	-----
u_{e2}					
u_2					

10. După încheierea tuturor măsurătorilor ieșirile surselor de alimentare se dezactivează, apoi sursele de alimentare, osciloscopul și aparatele de măsură utilizate se opresc, iar în cele din urmă se deconectează toate firele de legătură utilizate la realizarea montajului experimental.

7.4.2 Circuit de scădere echipat cu un A.O.

Pentru realizarea montajului experimental din Figura 7.5, care face posibilă investigarea funcționării circuitului electronic sumator-inversor echipat cu un singur A.O., presupune parcurgerea secvențială a pașilor descriși mai jos:

1. De pe aceeași placa de dezvoltare didactică "Analog System Lab Kit PRO", vom utiliza pentru cea de a doua aplicație sectorul "OPAMP TYPE II FULL". Acest segment este dotat cu un circuit integrat care înglobează două amplificatoare operaționale "OP2A" și "OP2B" dintre care îl vom utiliza pe primul "OP2A". Acesta are pre-conectate rezistențele R_{31} - R_{35} și condensatoarele C_{31} - C_{33} către pinul de intrare inversoare al operaționalului "OP1A", respectiv rezistențele R_{36} - R_{38} și condensatoarele C_{34} - C_{36} către pinul de intrare neinversoare, celelalte capete ale rezistențelor și condensatoarelor urmând a fi conectate de către utilizator după necesități. Pentru configurația de față, vom face analogia Figurilor 7.2 și 7.5;
2. Se pornesc sursele de alimentare cu tensiune continuă și se reglează la ieșirile primelor două o tensiune cu valoarea de 10V c.c la o limitare a curentului de 0,2A, iar la ieșirea celei de a treia se reglează o tensiune cu valoarea de 0,2V c.c. (livrată pe intrările u_1 și u_2) la o limitare a curentului de 0,05A, după care ieșirea acestor canale se **dezactivează** până la realizarea montajului experimental;
3. Cu ajutorul unor fire, se realizează conexiunile:
 - a) între borna „+” de la sursa 1 (Sursă c.c.1) și borna „-” de la sursa 2 (Sursă c.c.2) ;
 - b) între borna „-” de la sursa 1 (Sursă c.c.1) și borna „-” de pe placa experimentală conectată la pinul -10V din sectorul "MAIN POWER";
 - c) între borna „+” de la sursa 2 (Sursă c.c.2) și borna „+” de pe placa experimentală conectată la pinul +10V din sectorul "MAIN POWER";
 - d) între una din bornele care reprezintă punctul comun al surselor 1 respectiv 2 și borna „masă” de pe placa experimentală conectată la pinul "GND" din sectorul "MAIN POWER";
 - e) între una din bornele care reprezintă punctul comun al surselor 1 respectiv 2 și borna „-” a celei de a treia surse (Sursă c.c.3) respectiv borna „COM” a celor două voltmetre (Vc.c. 1) și (Vc.c. 2);
 - f) între borna „+” de la sursa 3 (Sursă c.c.3) și borna „V Ω ” a primului voltmetru (Vc.c. 1);
 - g) borna „+” de la sursa 3 (Sursă c.c.3) se conectează cu ajutorul unei cleme tip "clește" la unul din pinii aferenți rezistenței R_{34} ;
 - h) Se ia un fir care are la un capăt mufă tip "cuplă" și la celălalt capăt mufă tip "fișă", apoi se conectează mufa tip "cuplă" la unul din pinii aflați la ieșirea amplificatorului operațional "OP2A OUT", iar la mufa tip "fișă" se conectează cu ajutorul unei cleme de conexiune de tip „clește” la borna „V Ω ” a celui de al doilea voltmetru (Vc.c. 2). **Atenție la așezarea pe masă a firelor, să nu provocați din greșeală contacte nedorite sau scurtcircuite;**
 - i) Prin intermediul unui fir care are pe ambele capete mufă tip "cuplă" se realizează conexiunea între unul din pinii de la ieșirea amplificatorului operațional "OP2A OUT" și unul din pinii de la rezistența R_{35} , care reprezintă de altfel rezistența de reacție a amplificatorului operațional;

j) Tot cu ajutorul unui fir care are pe ambele capete mufe tip "cuplă", se realizează conexiunea între unul din pinii amplasați la un capăt al rezistenței R_{36} (având celălalt capăt în intrarea neinversoare a amplificatorului operațional "OP2A In+") și unul din pinii "GND" (plasați între cele două amplificatoare operaționale);

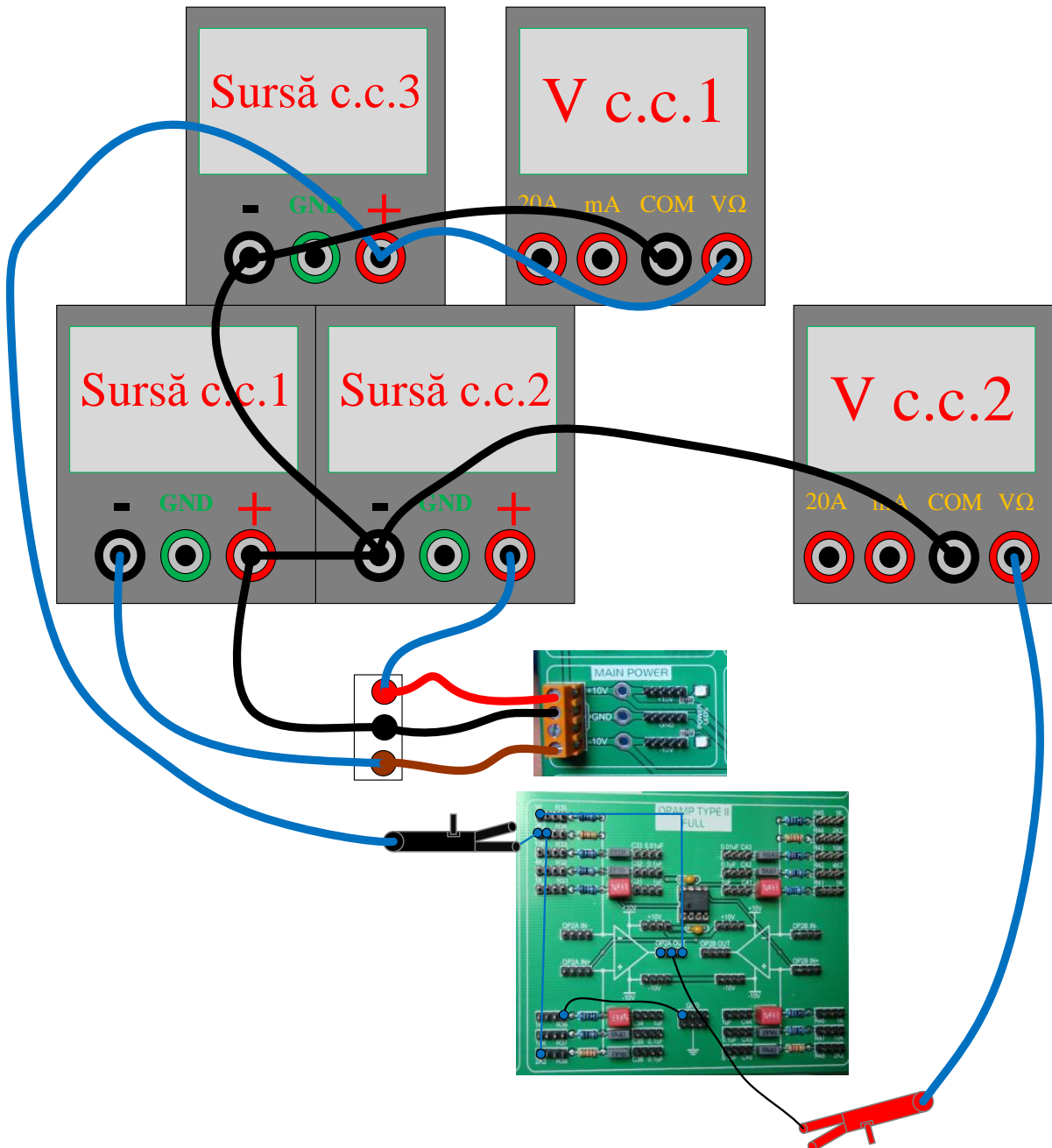


Fig. 7.5. Exemplu de realizare a montajului experimental aferent circuitului electronic de scădere echipat cu un singur amplificator operațional.

4. La unul din pinii "GND" se conectează cu ajutorul unei sonde bornă negativă (de masă) a osciloscopului;

5. Canalul A al osciloscopului se conectează cu borna pozitivă a sondei la unul din pinii amplasați la unul din pinii aferenți rezistenței R_{34} ;
6. Borna pozitivă a sondei corespunzătoare canalului B al osciloscopului se conectează la unul din pinii plasați la ieșirea amplificatorului operațional "OP2A OUT";
7. Astfel: - rezistența R_2 din Figura 7.2 se asociază pe experimentală cu $R_{35}=1k\Omega$ iar rezistența R_2/α echivalează cu $R_{34}=2,2k\Omega$, conform Figurii 7.4;
 - rezistența R_3 din Figura 7.2 se asociază pe experimentală cu $R_{36}=1k\Omega$ iar rezistența R_3/α echivalează cu $R_{38}=2,2k\Omega$;
 - semnalele tensiunilor de scăzut, preluate de la sursa externă 3 (Sursă c.c.3) vor fi $u_1 = u_2 = 2V$;

8. Se verifică montajul de către cadrul didactic;

9. După punerea în funcțiune a circuitului (pornirea aparatelor de măsură, a osciloscopului și activarea canalelor surselor de alimentare) se vor lua în considerare următoarele faze:
 - a) Cu ajutorul primului voltmetru (Vc.c. 1) se verifică exactitatea indicației afișajului ieșirii celei de a treia surse de alimentare (Sursă c.c.3), care livrează tensiunea distribuită pe intrarea "-" (inversoare) a amplificatorului operațional, iar valoarea ei se va nota în Tabelul 7.2. la rubrica "borna n";
 - b) Se va măsura cu ajutorul celui de al doilea voltmetrul digital (Vc.c. 2) tensiunea de la ieșirea amplificatorului operațional, iar valoarea ei se va nota în Tabelul 7.2. Totodată, de pe osciloscop, se vor salva în memoria externă USB formele de undă aferente tensiunilor de intrare și ieșire din A.O.;
 - c) Borna „+” de la sursa 3 (Sursă c.c.3) se conectează cu ajutorul unei cleme tip "clește" la unul din pinii aferenți rezistenței R_{38} ;
 - d) Cu ajutorul primului voltmetru (Vc.c. 1) se verifică exactitatea indicației afișajului ieșirii celei de a treia surse de alimentare (Sursă c.c.3), care livrează tensiunea distribuită pe intrarea "+" (neinversoare) a amplificatorului operațional, iar valoarea ei se va nota în Tabelul 7.2. la rubrica "borna p", după care se repetă punctul b);
 - e) În cele din urmă cu un fir care are la ambele capete mufă tip "cuplă" și se realizează conexiunea între unul din pinii aferenți rezistenței R_{34} și unul din pinii de lângă rezistența R_{38} , după care se repetă punctul b);

Pentru fiecare intrare în parte se calculează factorul de amplificare α , după care se notează în Tabelul 7.2. Apoi, tot în acest tabel, se calculează valoarea semnalului de ieșire aplicând ecuația (7) și se notează valoarea sa. În cele din urmă se va calcula abaterea procentuală " $\zeta\%$ " a tensiunii de ieșire măsurată față de valoarea calculată.

Tabelul 7.2. Datele calculate și măsurate în cazul celei de a doua probe:

Borna	α	U_{calc}	U_{mas}	U_{e_calc}	$\zeta\%$
p					
n					
e	-----				

10. După încheierea tuturor măsurătorilor ieșirile surselor de alimentare se dezactivează, apoi sursele de alimentare, osciloscopul și aparatele de măsură utilizate se opresc, iar în cele din urmă se deconectează toate firele de legătură utilizate la realizarea montajului experimental.

7.5 Întrebări și teme

- 1) Așa cum se precizează la sfârșitul fiecărei etape de măsurători, pe baza datelor înregistrate în tabele este necesară calcularea abaterii procentuale a tensiunii de ieșire. Apoi, pentru fiecare caz experimentat în parte se imprimă în mod sistematizat pe hârtie toate imaginile/pozele salvate în memoria USB, după care se retranscriu în dreptul lor toate notațiile și observațiile făcute în timpul aplicației.
- 2) Care sunt limitele de prelucrabilitate în tensiune ale circuitelor de scădere investigate?
- 3) Ce se întâmplă dacă dispăre tensiunea de alimentare a A.O.?
- 4) Cum se mai numesc circuitele de scădere studiate din punctul de vedere al sistemelor de comandă și reglare automate?

Bibliografie

- [1] Marschalko, R. – "Electronică pentru ingineri electrotehnicieni –Dispozitive și circuite electronice fundamentale", Volumul I, Editura Mediamira Cluj-Napoca, 2003;
- [2] Floyd, T.L. – "Dispozitive și circuite electronice", Editura Teora, București, 2003;
- [3] Marschalko, R.; Bojan, M. și Salomir, C. – "Electronică pentru ingineri electrotehnicieni, Ghid practic pentru seminar și laborator", Volumul I, Editura Mediamira Cluj-Napoca, 2004;
- [4] Marschalko, R. – "Electronică pentru ingineri electrotehnicieni –Circuite electronice pentru semnale continue", Volumul II, Editura Mediamira Cluj-Napoca, 2006.
- [5] Floyd, T.L. – "Electronic Devices" – *Conventional Current Version* – Ninth Edition, New Jersey (USA): Prentice Hall, 2012.

Lucrarea 8. Amplificatorul operațional – funcția de integrare

8.1 Scopul lucrării

Prezenta aplicație are ca scop analiza teoretică și practică a funcționării amplificatorului operațional cu funcția de integrare, sau mai exact a *circuitului de integrare echipat cu amplificator operațional* (A.O.). Dincolo de operațiile matematice de adunare și scădere care au fost studiate până acum, prelucrarea semnalelor, necesită uneori și operații de integrare sau derivare.

Lucrarea prezintă baza teoretică, circuitul de principiu și modelul matematic care descrie fenomenul efectiv al integrării unui semnal de tensiune. Partea practică a lucrării pune în evidență funcționarea circuitului de integrare prin testarea acestuia de sine stătător, respectiv într-o configurație de circuit sumator-integrator.

8.2 Considerații teoretice

Modelul matematic, explicații detaliate și diferite configurații specifice circuitelor de integrare echipate cu A.O., cu sau fără impunerea condițiilor inițiale, sunt prezentate în referințele bibliografice. Modificarea esențială la aceste circuite vine din schimbarea rezistenței de reacție cu un condensator, asemenea modelului indicat în Figura 8.1.

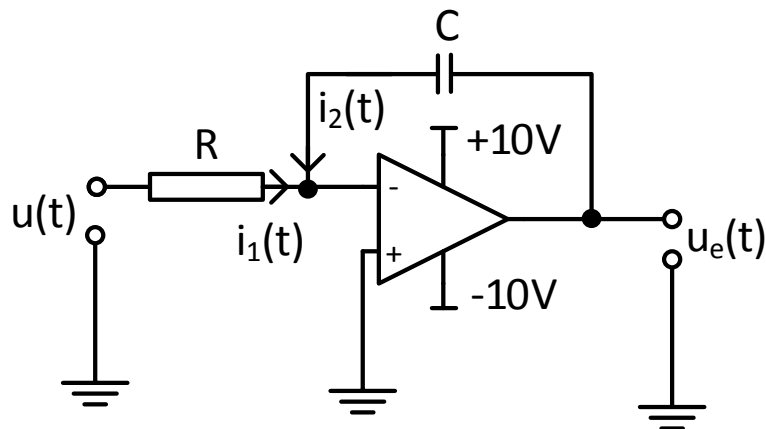


Fig. 8.1. Schema de principiu a circuitului de integrare cu amplificator operațional (A.O.).

Putem în aceste condiții să descriem ecuația care caracterizează curentul de reacție al condensatorului astfel:

$$i_2(t) = C \frac{d[u_e(t) - u_n]}{dt} \quad (1)$$

Pe de altă parte, curentul care vine dinspre intrarea circuitului poate fi exprimat astfel:

$$i_1(t) = \frac{u(t) - u_n}{R} \quad (2)$$

Dacă aplicăm teorema lui Kirchhoff pentru nodul de curent aferent bornei inversoare, și admitem că borna neinversoare este conectată la masă, considerăm valabile următoarele:

$$\begin{aligned} i_1(t) + i_2(t) &= 0 \\ u_1 &= u_2 = 0 \end{aligned} \quad (3)$$

Ca atare, dacă înlocuim în relațiile (1) și (2) ecuația (3) obținem modelul în regim stabilizat:

$$\frac{u(t)}{R} + C \frac{du_e(t)}{dt} = 0 \quad (4)$$

Rearanjând ecuația (4) putem exprima variația tensiunii de ieșire:

$$\frac{du_e(t)}{dt} = -\frac{1}{RC}u(t) \quad (5)$$

Relația (5) descrie funcționarea circuitului, care exprimă faptul că semnalul de ieșire reprezintă integrala celui de intrare conform:

$$u_e(t) = -\frac{1}{RC} \int u(t)dt + U_{e0} \quad (6)$$

Unde U_{e0} reprezintă condiția inițială a integratorului, adică tensiunea de la ieșirea circuitului în momentul aplicării tensiunii de intrare. De fapt această tensiune este tocmai tensiunea cu care condensatorul C este încărcat la momentul aplicării semnalului de intrare.

Raportul constant $1/RC$ descrie constanta de timp a integratorului, iar dacă acesta are valoare unitară spunem că circuitul realizează integrala totală a mărimii $u(t)$.

Fenomenul efectiv este simplu de înțeles. Având în vedere că discutăm despre apariția în circuit a unui condensator, este știut că acesta are rolul de a înmagazina energie reactivă. Reactanța lui capacitivă este dependentă de frecvență ca atare, dacă pe intrare se aplică un semnal sinusoidal de tip:

$$u(t) = \hat{U} \sin \omega t \quad (7)$$

Semnalul de la ieșirea circuitului va fi:

$$u_e(t) = -\frac{1}{RC} \int \hat{U} \sin \omega t = +\frac{1}{RC} \hat{U} \cos \omega t \quad (8)$$

Ca atare, amplitudinea semnalului de ieșire va fi:

$$\hat{U}_e = \frac{1}{\omega RC} \hat{U} \quad (9)$$

Din ecuația (9) putem deduce faptul că, atenuarea circuitului de integrare poate fi calculată ca fiind:

$$k_{ul} = \frac{\hat{U}_e}{\hat{U}} = \frac{1}{\omega RC} = f(\omega) \quad (10)$$

Drept urmare, atenuarea este dependentă puternic de frecvență și este cu atât mai mare cu cât frecvența semnalului aplicat la intrare este mai mare.

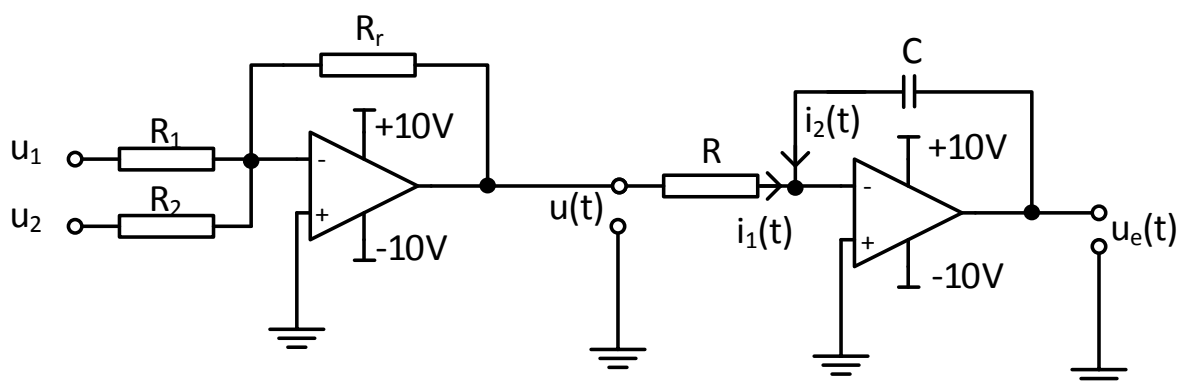


Fig. 8.2. Schema de principiu a circuitului sumator-integrator echipat cu A.O.

O aplicație care să pună și mai bine în evidență rolul și funcționalitatea acestui circuit este *configurația de sumator-integrator*, formată cu ajutorul a două amplificatoare operaționale, un etaj cu rol sumator iar cel de al doilea etaj cu rol integrator. Etajul sumator al circuitului din Figura 8.2 are la intrare două semnale de tip sinusoidal:

$$\begin{aligned} u_1(t) &= \hat{U}_1 \sin \omega t \\ u_2(t) &= \hat{U}_2 \sin \omega t \end{aligned} \quad (11)$$

Ieșirea din circuitul sumator, adică nivelul de tensiune intermediar $u(t)$ va fi guvernat de ecuația:

$$u(t) = -\left(\frac{R_r}{R_1} u_1(t) + \frac{R_r}{R_2} u_2(t)\right) \quad (12)$$

Dacă aplicăm funcția de integrare acestui semnal intermediar rezultă că la ieșirea circuitului din Figura 8.2 vom obține:

$$\begin{aligned}
 u_e(t) &= -\frac{1}{RC} \int -\left(\frac{R_r}{R_1} \hat{U}_1 \sin \omega t + \frac{R_r}{R_2} \hat{U}_2 \sin \omega t\right) dt = \\
 &= -\frac{1}{\omega RC} \left(\frac{R_r}{R_1} \hat{U}_1 + \frac{R_r}{R_2} \hat{U}_2\right) \cos \omega t
 \end{aligned}
 \tag{13}$$

Aplicația de sumator-integrator este un caz particular al acestui circuit. În referința bibliografică [3] sunt detaliate și circuite de integrare a diferenței, circuite care au stabilită condiția inițială respectiv circuite capabile să preia condiția inițială de la un circuit exterior.

8.3 Stand de lucru și Echipamente

Pentru realizarea acestei aplicații experimentale se vor utiliza următoarele componente, echipamente și aparate de măsură:

1. Placa de experimentare rapidă "Analog System Lab Kit PRO" producător Texas Instruments din Figura 8.3.;
2. Surse de alimentare cu tensiune continuă: 2 canale reglabile 0...30V și 0...3A - 2 buc.;
3. Fire de legătură și cleme de tip "clește";
4. Generator semnale de tensiune;
5. Osciloscop Digital - cu minim 2 canale.

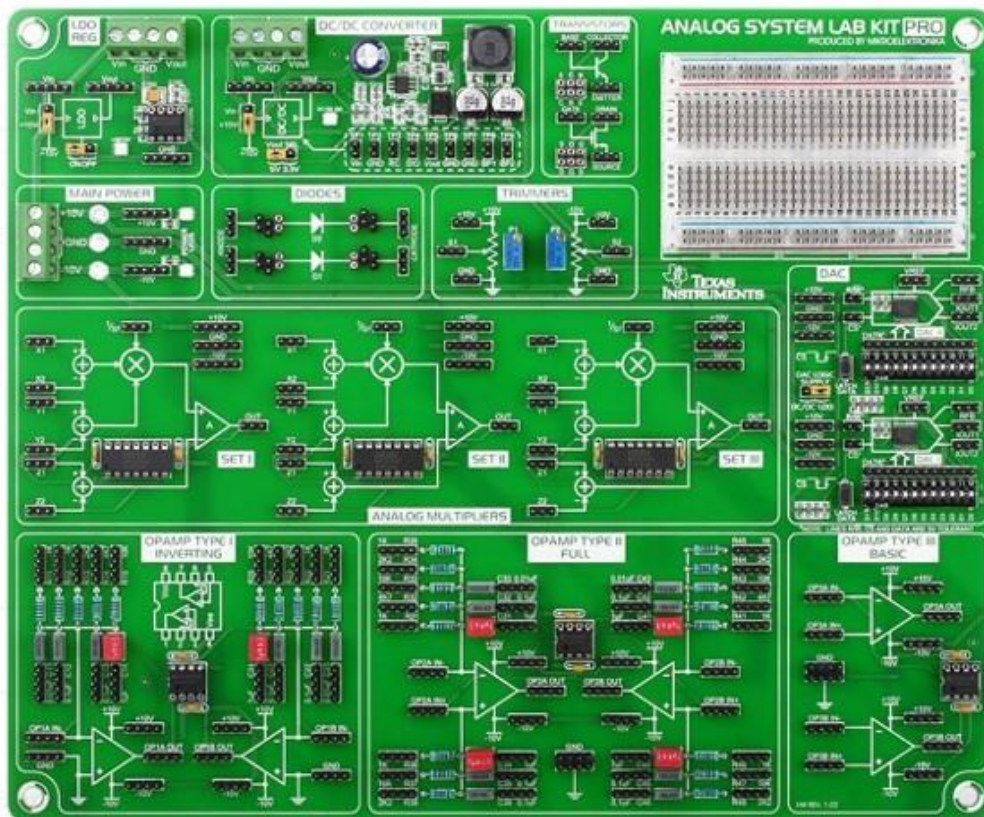


Fig. 8.3. Placa de experimentare rapidă "Analog System Lab Kit PRO".

8.4 Mod de Lucru

În această secțiune a prezentei lucrări sunt exemplificate modalitățile de realizare rapidă atât a montajelor experimentale cât și a măsurătorilor practice necesare, referitoare la cele două tipuri de circuite de integrare realizate cu amplificatoare operaționale și care au fost prezentate din punct de vedere teoretic în mod succint în capitolul 8.2.

8.4.1 Circuit de integrare echipat cu A.O.

Pentru realizarea montajului experimental din Figura 8.4, care ne permite investigarea funcționării circuitului electronic de integrare echipat cu un A.O., este necesară parcurgerea secvențială a următorilor pași:

1. Se utilizează placa de dezvoltare didactică de la Texas Instruments, denumită "Analog System Lab Kit PRO" unde sunt delimitate sectoare pentru diferite tipuri de aplicații. În cazul nostru vom utiliza sectorul "OPAMP TYPE I INVERTING". Acest segment este dotat cu un circuit integrat care înglobează două amplificatoare operaționale "OP1A" și "OP1B" dintre care îl vom utiliza pe primul "OP1A". Acesta are pre-conectate o parte din capetele rezistențelor R_{11} - R_{15} , respectiv condensatoarelor C_{11} - C_{14} , către pinul de intrare inversoare al operaționalului "OP1A", celelalte capete ale rezistențelor și condensatoarelor urmând a fi conectate de către utilizator după necesități. Pentru configurația de față, vom face analogia Figurilor 8.1 și 8.4;
2. Se pornesc sursele de alimentare cu tensiune continuă și se reglează la ieșirile lor o tensiune cu valoarea de 10V c.c la o limitare a curentului de 0,2A, după care ieșirea acestor canale se **dezactivează** până la realizarea montajului experimental;
3. Se pornește generatorul de semnal și se configurează pe canalul 1 un semnal de tensiune sinusoidală, cu amplitudinea de 600mVpp și frecvența de 80Hz, **dar ieșirea sa nu se activează**. Apoi, cu ajutorul unui cablu de conexiune (cu mufă "BNC" la un capăt și cu 2 fire dotate cu cleme la celălalt capăt) atașat ieșirii canalului, conectați clema corespunzătoare polarității negative/nulului la unul din pinii plasați la masa circuitului (GND unde este legată și intrarea neinversoare a operaționalului), iar clema corespunzătoare polarității pozitive/fazei la unul din pinii amplasați la un capăt al rezistenței R_{11} ;
4. Cu ajutorul unor fire, se realizează conexiunile:
 - a) între borna „+” de la sursa 1 (Sursă c.c.1) și borna „-” de la sursa 2 (Sursă c.c.2) ;
 - b) între borna „-” de la sursa 1 (Sursă c.c.1) și borna „-” de pe placa experimentală conectată la pinul -10V din sectorul "MAIN POWER";
 - c) între borna „+” de la sursa 2 (Sursă c.c.2) și borna „+” de pe placa experimentală conectată la pinul +10V din sectorul "MAIN POWER";
 - d) între una din bornele care reprezintă punctul comun al surselor 1 respectiv 2 și borna „masă” de pe placa experimentală conectată la pinul "GND" din sectorul "MAIN POWER";
 - e) Prin intermediul unui fir care are pe ambele capete mufe tip "cuplă" se realizează conexiunea între unul din pinii de la ieșirea amplificatorului operațional "OP1A OUT" și unul din pinii de la condensatorul C_{11} , care reprezintă de altfel condensatorul C de pe ramura de reacție a amplificatorului operațional;

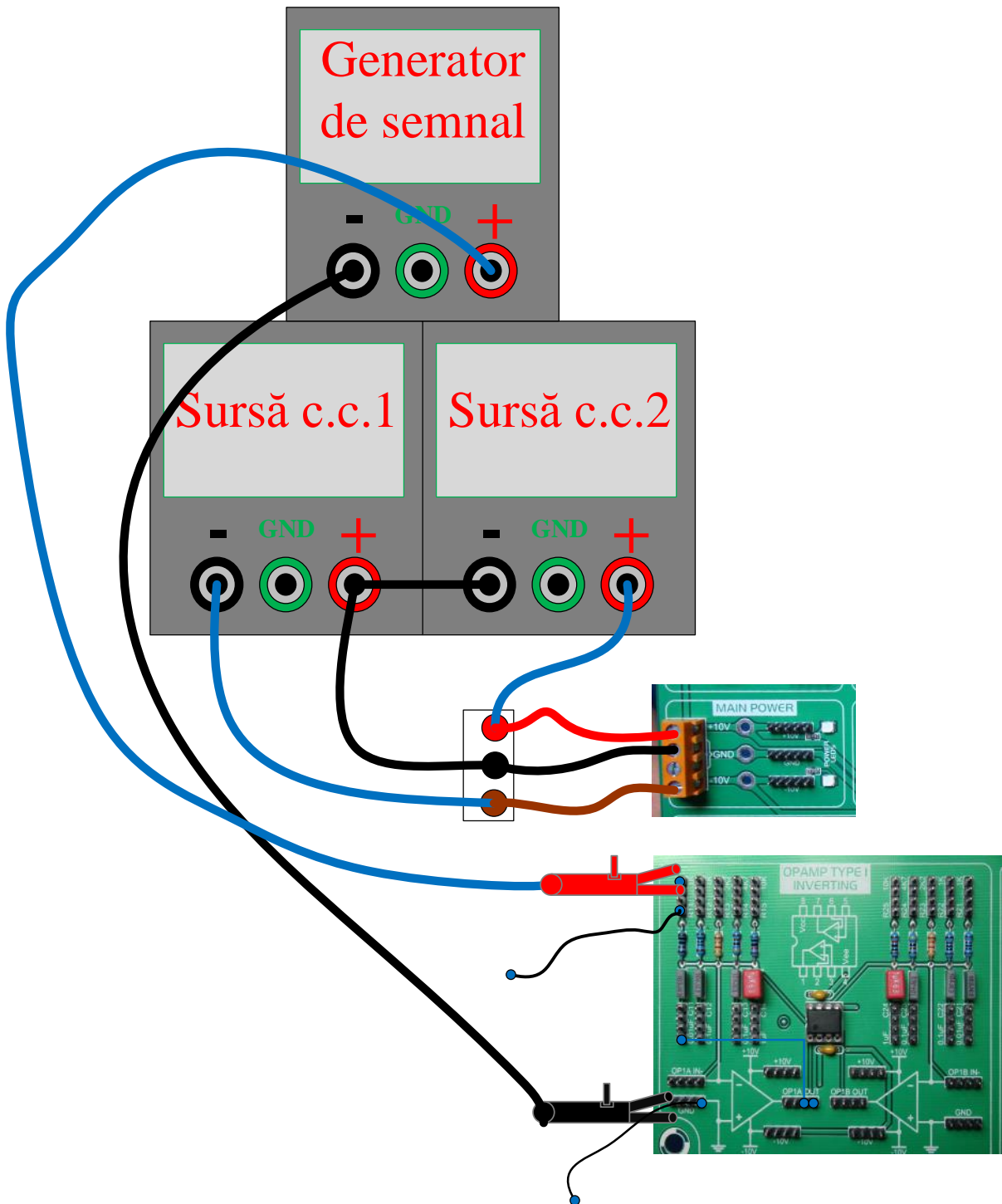


Fig. 8.4. Exemplu de realizare a montajului experimental aferent circuitului electronic de integrare echipat cu amplificator operațional.

- 5) Canalul A al osciloscopului se conectează cu borna negativă (de masă) la unul din pinii "GND" plasați în intrarea neinversoare a amplificatorului operațional, iar borna pozitivă a sondei la unul din pinii amplasați la un capăt al rezistenței R_{11} ;

- 6) Borna pozitivă a sondei corespunzătoare canalului B al osciloscopului se conectează la unul din pinii plasați la ieșirea amplificatorului operațional "OP1A OUT";
- 7) Astfel: - rezistența din Figura 8.1 se asociază pe placa experimentală cu $R_1=R_{11}= 1k\Omega$, iar condensatorul $C=C_{11}= 0,01\mu F$;
 - semnalul sinusoidal de tensiune alternativă de integrat va fi preluat de la ieșirea generatorului de semnal și va fi $u_1 = 0,3\sin\omega t[V]$, cu frecvența de 80Hz;

8) Se verifică montajul de către cadrul didactic;

- 9) După punerea în funcțiune a circuitului (pornirea osciloscopului și activarea ieșirii generatorului de semnal, precum și a canalelor surselor de alimentare) se vor lua în considerare următoarele faze:
 - a) Cu ajutorul canalului A al osciloscopului se va măsura valoarea de vârf a tensiunii alternative de la intrarea în circuit " \hat{U}_{in} " și se va trece în rubrica aferentă din Tabelul 8.1;
 - b) Cunoscând frecvența și valoarea componentelor din circuitul RC, se va calcula constanta de timp a circuitului, iar valoarea ei se va nota în Tabelul 8.1.
 - c) Aplicând relația (9) se va calcula valoarea de vârf a tensiunii de ieșire " \hat{U}_{e_calc} ", care apoi se va trece în același Tabel 8.1;
 - d) Cu ajutorul canalului B al osciloscopului se va măsura valoarea de vârf a tensiunii de ieșire din circuit " \hat{U}_{e_mas} ", se va trece în tabel și se va calcula abaterea procentuală " $\zeta\%$ " față de cea măsurată;
 - e) Se repetă toți pașii aferenți punctelor a, b, c și d atât pentru valoarea de 800Hz cât și pentru pentru valoarea de 8kHz corespunzătoare frecvenței semnalului de intrare;
 - f) Fără a mai face vre-o notație în tabel, se reiau vizualizarea formelor de undă aferente tensiunilor de intrare și ieșire din A.O. pentru cazurile în care se schimbă forma de undă a semnalului tensiunii alternative de intrare atât în semnal dreptunghiulat cât și triunghiular.

Pentru fiecare caz în parte, de pe osciloscop, se vor salva în memoria externă USB formele de undă aferente tensiunilor de intrare și ieșire din A.O.;

Tabelul 8.1. Datele calculate și măsurate în cazul primului circuit:

Frecvența	\hat{U}_{in}	$1/\omega RC$	\hat{U}_{e_calc}	\hat{U}_{e_mas}	$\zeta\%$
80Hz					
800Hz					
8kHz					

- 10) După încheierea tuturor măsurătorilor ieșirile surselor de alimentare și a generatorului de semnal se dezactivează, apoi se deconectează firul care face legătura între ieșirea amplificatorului operațional "OP1A OUT" și condensatorul C_{11} .

8.4.2 Circuit sumator-integrator echipat cu A.O.

Pentru realizarea montajului experimental din Figura 8.5, care face posibilă investigarea funcționării circuitului electronic sumator-integrator echipat cu două A.O., presupune parcurgerea secvențială a pașilor descriși mai jos:

1. Se utilizează placa de dezvoltare didactică de la Texas Instruments, denumită "Analog System Lab Kit PRO" unde sunt delimitate sectoare pentru diferite tipuri de aplicații. În cazul nostru vom utiliza sectorul "OPAMP TYPE I INVERTING". Acest segment este dotat cu un circuit integrat care înglobează două amplificatoare operaționale "OP1A" și "OP1B", iar pentru acest circuit se vor utiliza ambele amplificatoare operaționale. Acestea au pre-conectate rezistențele R_{11} - R_{15} către pinul de intrare inversoare al operaționalului "OP1A", respectiv R_{21} - R_{25} și condensatoarele C_{21} - C_{24} către pinul de intrare inversoare al operaționalului "OP1B", celelalte capete ale rezistențelor și condensatoarelor urmând a fi conectate de către utilizator după necesități. Pentru configurația de față, vom face analogia Figurilor 8.2 și 8.5;
2. Se pornesc sursele de alimentare cu tensiune continuă și se reglează la ieșirile lor o tensiune cu valoarea de 10V c.c la o limitare a curentului de 0,2A, după care ieșirea acestor canale se **dezactivează** până la realizarea montajului experimental;
3. Se pornește generatorul de semnal și se configurează pe canalul 1 un semnal de tensiune sinusoidală, cu amplitudinea de 600mVpp și frecvența de 1kHz, **dar ieșirea sa nu se activează**. Apoi, cu ajutorul unui cablu de conexiune (cu mufă "BNC" la un capăt și cu 2 fire dotate cu cleme la celălalt capăt) atașat ieșirii canalului, conectați clema corespunzătoare polarității negative/nulului la unul din pinii plasați la masa circuitului (GND unde este legată și intrarea neinversoare a operaționalului), iar clema corespunzătoare polarității pozitive/fazei la unul din pinii amplasați la un capăt al rezistenței R_{11} ;
4. Se configurează pe canalul 2 al generatorului un semnal de tensiune sinusoidală, cu amplitudinea de 1Vpp și frecvența de 1kHz, **dar ieșirea sa nu se activează**. Apoi, cu ajutorul unui cablu de conexiune (cu mufă "BNC" la un capăt și cu 2 fire dotate cu cleme la celălalt capăt) atașat ieșirii canalului, conectați clema corespunzătoare polarității negative/nulului la unul din pinii plasați la masa circuitului (GND unde este legată și intrarea neinversoare a operaționalului), iar clema corespunzătoare polarității pozitive/fazei la unul din pinii amplasați la un capăt al rezistenței R_{13} ;
5. Cu ajutorul unor fire, se realizează conexiunile:
 - a) între borna „+” de la sursa 1 (Sursă c.c.1) și borna „-” de la sursa 2 (Sursă c.c.2) ;
 - b) între borna „-” de la sursa 1 (Sursă c.c.1) și borna „-” de pe placa experimentală conectată la pinul -10V din sectorul "MAIN POWER";
 - c) între borna „+” de la sursa 2 (Sursă c.c.2) și borna „+” de pe placa experimentală conectată la pinul +10V din sectorul "MAIN POWER";
 - d) între una din bornele care reprezintă punctul comun al surselor 1 respectiv 2 și borna „masă” de pe placa experimentală conectată la pinul "GND" din sectorul "MAIN POWER";
 - e) Prin intermediul unui fir care are pe ambele capete mufe tip "cuplă" se realizează conexiunea între unul din pinii de la ieșirea amplificatorului operațional "OP1A OUT" și unul

din pinii de la rezistența R_{15} , care reprezintă de altfel rezistența R_r de reacție a primului amplificator operațional;

f) Cu un alt fir care dispune pe ambele capete de mufă tip "cuplă" se realizează conexiunea între unul din pinii de la ieșirea amplificatorului operațional "OP1A OUT" și unul din pinii de la rezistența R_{23} , care reprezintă în același timp rezistența R de pe intrarea inversoare "OP1B In" a celui de al doilea amplificator operațional;

g) Tot printr-un fir care are pe ambele capete mufe tip "cuplă" se realizează conexiunea între unul din pinii de la ieșirea amplificatorului operațional "OP1B OUT" și unul din pinii de la condensatorul C_{24} , care reprezintă de altfel condensatorul C de pe ramura de reacție a celui de al doilea amplificator operațional;

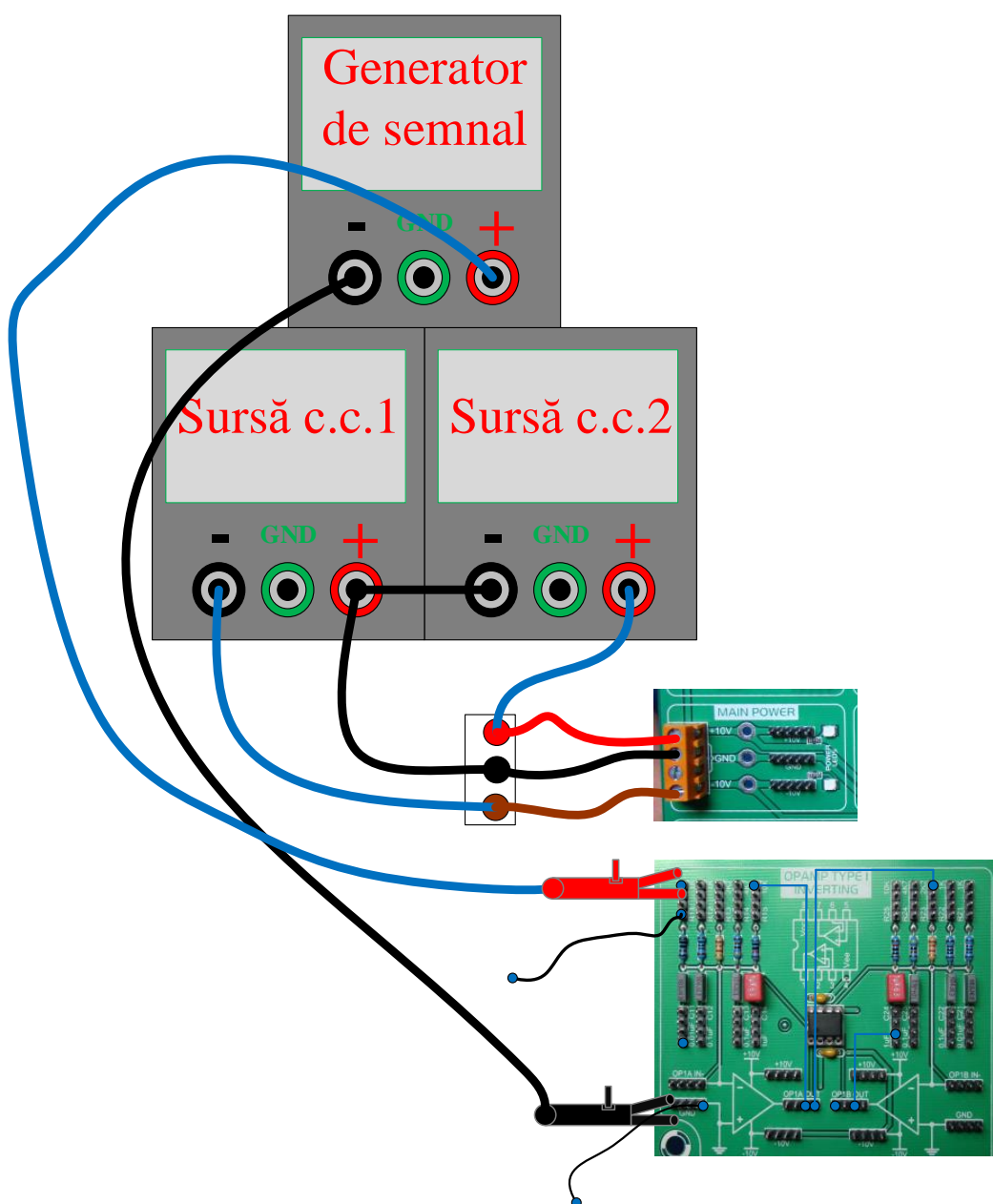


Fig. 8.5. Exemplu de realizare a montajului experimental aferent circuitului electronic sumator-integrator echipat cu amplificatoare operaționale.

6. Canalul A al osciloscopului se conectează cu borna negativă (de masă) la unul din pinii "GND" plasați în intrarea neinversoare a primului amplificator operațional, iar borna pozitivă a sondei la unul din pinii amplasați la un capăt al rezistenței R_{11} ;
7. Bornă pozitivă a sondei corespunzătoare canalului B al osciloscopului se conectează la unul din pinii plasați la un capăt al rezistenței R_{13} ;
8. Astfel: -rezistențele din Figura 8.2 din jurul amplificatorului operațional "OP1A" se asociază pe placa experimentală cu $R_1=R_{11}=1k\Omega$, $R_2=R_{13}=2,2k\Omega$, iar $R_f=R_{15}=10k\Omega$;
 -rezistența din Figura 8.2 din jurul amplificatorului operațional "OP1B" se asociază pe placa experimentală cu $R=R_{23}=2,2k\Omega$, iar condensatorul $C=C_{24}=1\mu F$;
 -semnalele de tensiune alternativă de însumat vor fi preluate de la ieșirile generatorului de semnal și vor fi $u_1= 0,3\sin\omega t[V]$ și $u_2= 0,5\sin\omega t[V]$ având frecvența de 1kHz;
 - rezistența din Figura 8.2 plasată la intrarea inversoare a amplificatorului operațional "OP1B IN-" se asociază pe placa experimentală cu $R=R_{23}=2,2k\Omega$;

9. Se verifică montajul de către cadrul didactic;

10. După punerea în funcțiune a circuitului (activarea ieșirilor generatorului de semnal, precum și a canalelor surselor de alimentare) se vor lua în considerare următoarele faze:
 - a) Cu ajutorul canalelor A și B ale osciloscopului se vor măsura valorile de vârf ale celor două tensiuni alternative (u_1 și u_2) livrate la cele două intrări în circuit " $\hat{U}_{in\ mas}$ " și se vor trece în rubrica aferentă din Tabelul 8.2;
 - b) Conform relației (12) se va calcula valoarea de vârf a tensiunii-sumă " $\hat{U}_{t\ calc}$ " din etajul intermediar, iar apoi se va trece în Tabelul 8.2;
 - c) Bornă pozitivă a sondei corespunzătoare canalului B al osciloscopului se conectează la unul din pinii plasați la un capăt al rezistenței R_{23} , cu ajutorul căreia se măsoară valoarea de vârf a tensiunii-sumă " $\hat{U}_{t\ mas}$ " din etajul intermediar, după care aceasta se va nota în tabel;
 - d) Aplicând relația (13) și calculând constanta de timp a circuitului, se va calcula valoarea de vârf a tensiunii de ieșire " $\hat{U}_{e\ calc}$ " a circuitului integrator, iar valoarea ei se va nota în tabel;
 - e) Bornă pozitivă a sondei corespunzătoare canalului B al osciloscopului se conectează la unul din pinii amplasați la ieșirea amplificatorului operațional "OP1B OUT", cu ajutorul căreia se măsoară valoarea de vârf a tensiunii de ieșire din circuit " $\hat{U}_{e\ mas}$ ", apoi se va trece în tabel și se va calcula abaterea procentuală " $\zeta\%$ " față de cea măsurată;

Pentru fiecare caz în parte, de pe osciloscop, se vor salva în memoria externă USB formele de undă aferente tensiunilor de intrare și ieșire din circuit.

Tabelul 8.2. Datele calculate și măsurate în cazul celui de al doilea circuit:

Intrarea	$\hat{U}_{in\ mas}$	$\hat{U}_{t\ calc}$	$\hat{U}_{t\ mas}$	$\hat{U}_{e\ calc}$	$\hat{U}_{e\ mas}$	$\zeta\%$
u_1						
u_2						

11. După încheierea tuturor măsurătorilor ieșirile surselor de alimentare și ale generatorului de semnal se dezactivează, apoi sursele de alimentare, generatorul de semnal și osciloscopul se opresc, iar în cele din urmă se deconectează toate firele de legătură utilizate la realizarea montajului experimental.

8.5 Întrebări și teme

- 1) Așa cum se precizează la sfârșitul fiecărei etape de măsurători, pe baza datelor înregistrate în tabele este necesară calcularea abaterii procentuale a tensiunii de ieșire. Apoi, pentru fiecare caz experimentat în parte se imprimă în mod sistematizat pe hârtie toate imaginile/pozele salvate în memoria USB, după care se retranscriu în dreptul lor toate notațiile și observațiile făcute în timpul aplicației.
- 2) Care sunt limitele de prelucrabilitate în tensiune ale circuitelor de scădere investigate?
- 3) Ce se întâmplă dacă dispăre tensiunea de alimentare a A.O.?
- 4) Cum se mai numesc circuitele de integrare studiate din punctul de vedere al sistemelor de comandă și reglare automate?

Bibliografie

- [1] Marschalko, R. – "Electronică pentru ingineri electrotehnicieni –Dispozitive și circuite electronice fundamentale", Volumul I, Editura Mediamira Cluj-Napoca, 2003;
- [2] Floyd, T.L. – "Dispozitive și circuite electronice", Editura Teora, București, 2003;
- [3] Marschalko, R.; Bojan, M. și Salomir, C. – "Electronică pentru ingineri electrotehnicieni, Ghid practic pentru seminar și laborator", Volumul I, Editura Mediamira Cluj-Napoca, 2004;
- [4] Marschalko, R. – "Electronică pentru ingineri electrotehnicieni –Circuite electronice pentru semnale continue", Volumul II, Editura Mediamira Cluj-Napoca, 2006.
- [5] Floyd, T.L. – "Electronic Devices" – *Conventional Current Version* – Ninth Edition, New Jersey (USA): Prentice Hall , 2012.

Lucrarea 9. Amplificatorul operațional – funcția de derivare

9.1 Scopul lucrării

Această aplicație are ca rol prezentarea atât din punct de vedere matematic cât și practic a funcționării amplificatorului operațional cu funcția de derivare, sau mai exact a *circuitului de derivare echipat cu amplificator operațional* (A.O.). Modelul matematic evidențiază principiul pe care se bazează acesta, în două variante și anume: în configurație simplă de derivare, respectiv derivarea unei sume de semnale.

Din punct de vedere teoretic, dar și practic, față de arhitectura de integrare, diferența vine din interschimbarea locului rezistenței cu a condensatorului de pe reacție.

9.2 Considerații teoretice

Ecuțiile matematice și explicațiile detaliate privind funcționarea acestui circuit de derivare, echipat cu amplificator operațional, sunt descrise în referințele bibliografice. Schema de principiu a circuitului de derivare, este indicată în Figura 9.1, unde se poate observa mențiunea privitoare la interschimbarea celor două componente pasive, având acum condensatorul pe intrare și rezistența pe reacție.

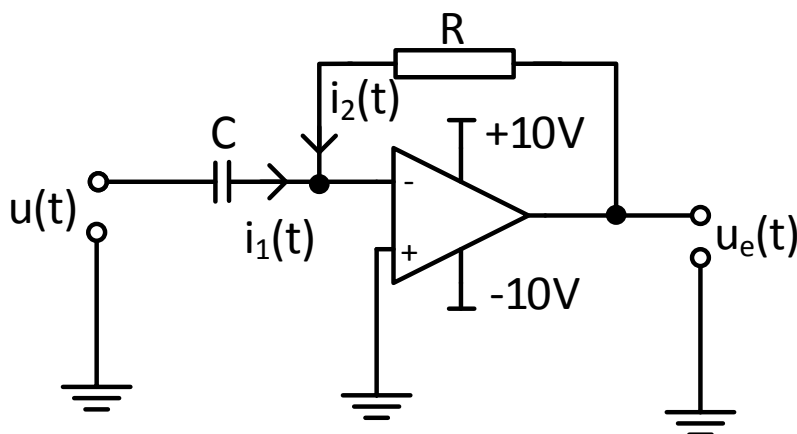


Fig. 9.1. Schema de principiu a circuitului de derivare cu amplificator operațional (A.O.).

Analizând din punct de vedere electric curenții care ajung spre borna inversoare a amplificatorului operațional putem spune că dinspre intrare avem:

$$i_1(t) = C \frac{du(t)}{dt} \quad (1)$$

Din circuitul de reacție curențul care circulă spre borna inversoare are forma:

$$i_2(t) = \frac{u_e(t)}{R} \quad (2)$$

Dacă aplicăm teorema lui Kirchhoff pentru nodul de curent aferent bornei inversoare, și admitem că borna neinversoare este conectată la masă, considerăm valabile următoarele:

$$\begin{aligned} i_1(t) + i_2(t) &= 0 \\ u_1 &= u_2 = 0 \end{aligned} \quad (3)$$

Ca atare, dacă înlocuim în relațiile (1) și (2) ecuația (3) obținem modelul în regim stabilizat:

$$\frac{u_e(t)}{R} + C \frac{du(t)}{dt} = 0 \quad (4)$$

Rearanjând ecuația (4) putem exprima tensiunea de ieșire ca fiind:

$$u_e(t) = -RC \frac{du(t)}{dt} \quad (5)$$

Relația (5) descrie funcționarea circuitului, care exprimă faptul că semnalul de ieșire reprezintă derivata celui de intrare. Admițând că la intrare avem un semnal de tensiune sinusoidal de o anumită amplitudine și frecvență de forma:

$$u(t) = \hat{U} \sin \omega t \quad (6)$$

Dacă înlocuim în expresia (5) ecuația (6), ceea ce rezultă este forma derivată a tensiunii de intrare scrisă pentru valoare de vârf:

$$u_e(t) = -\omega RC \hat{U} \cos \omega t \quad (7)$$

Ca atare, amplitudinea semnalului de ieșire va avea forma:

$$\hat{U}_e = -\omega RC \hat{U} \quad (8)$$

Putem deci defini un factor de atenuare a semnalului diferențiat, a cărui amplitudine crește cu creșterea frecvenței semnalului de intrare:

$$k_{uD} = \frac{\hat{U}_e}{\hat{U}} = \omega RC = f(\omega) \quad (9)$$

Cel de al doilea circuit de analizat, indicat în Figura 9.2, este un *sumator-derivator* format din două etaje echipate cu amplificatoare operaționale, un etaj cu rol de însumare a semnalelor și cel de al doilea etaj cu rol de derivare a sumei.

Etajul sumator al circuitului din Figura 9.2 are la intrare două semnale de tensiune de formă sinusoidală:

$$u_1(t) = \hat{U}_1 \sin \omega t \quad (10)$$

$$u_2(t) = \hat{U}_2 \sin \omega t$$

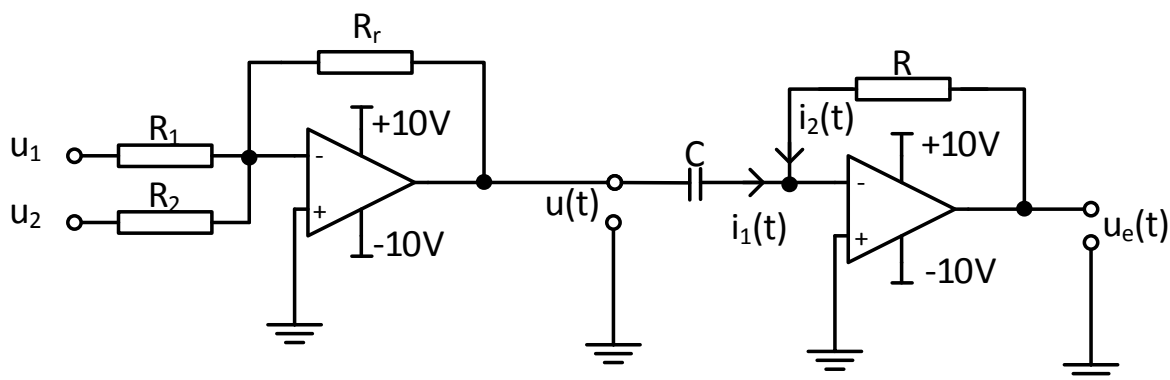


Fig. 9.2. Schema de principiu a circuitului sumator-derivator echipat cu amplificatoare operaționale.

Ieșirea din circuitul sumator, adică nivelul de tensiune intermediar $u(t)$ va fi guvernat de ecuația:

$$u(t) = -\left(\frac{R_r}{R_1}u_1(t) + \frac{R_r}{R_2}u_2(t)\right) \quad (11)$$

Dacă aplicăm funcția de derivare acestui semnal intermediar rezultă că la ieșirea circuitului din Figura 9.2 vom obține:

$$\begin{aligned} u_e(t) &= -\frac{1}{RC} \frac{d}{dt} \left(-\left(\frac{R_r}{R_1} \hat{U}_1 \sin \omega t + \frac{R_r}{R_2} \hat{U}_2 \sin \omega t\right) \right) \\ &= -\omega RC \left(\frac{R_r}{R_1} \hat{U}_1 + \frac{R_r}{R_2} \hat{U}_2 \right) \cos \omega t \end{aligned} \quad (12)$$

Această relație este valabilă atunci când pulsația celor două semnale este aceeași, adică ambele au aceeași frecvență.

9.3 Stand de lucru și Echipamente

Pentru realizarea acestei aplicații experimentale se vor utiliza următoarele componente, echipamente și aparate de măsură:

1. Placa de experimentare rapidă "Analog System Lab Kit PRO" producător Texas Instruments din Figura 9.3.;
2. Surse de alimentare cu tensiune continuă: 2 canale reglabile 0...30V și 0...3A - 2 buc.;
3. Fire de legătură și cleme de tip "clește";
4. Generator semnale de tensiune;
5. Osciloscop Digital - cu minim 2 canale.

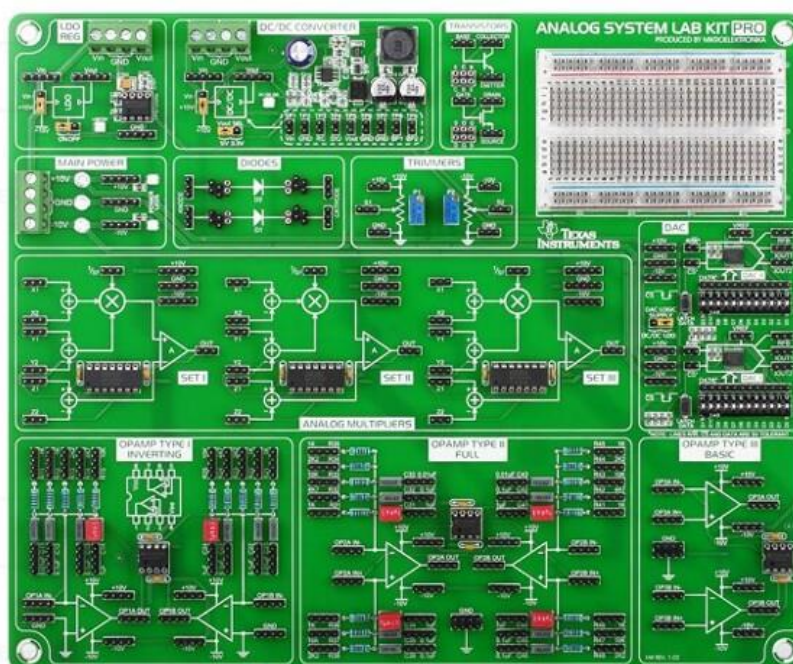


Fig. 9.3. Placa de experimentare rapidă "Analog System Lab Kit PRO".

9.4 Mod de Lucru

Secțiunea de față a prezentei lucrări exemplifică modalitățile de realizare rapidă atât a montajelor experimentale cât și a măsurătorilor practice necesare, referitoare la cele două tipuri de circuite de derivare realizate cu amplificatoare operaționale și care au fost prezentate din punct de vedere teoretic în mod succint în capitolul 9.2.

9.4.1 Circuit de derivare echipat cu A.O.

Pentru realizarea montajului experimental din Figura 9.4, care ne permite investigarea funcționării circuitului electronic de derivare echipat cu un A.O., este necesară parcurgerea secvențială a următorilor pași:

1. Se utilizează placa de dezvoltare didactică de la Texas Instruments, denumită "Analog System Lab Kit PRO" unde sunt delimitate sectoare pentru diferite tipuri de aplicații. În cazul nostru vom utiliza sectorul "OPAMP TYPE I INVERTING". Acest segment este dotat cu un circuit integrat care înglobează două amplificatoare operaționale "OP1A" și "OP1B" dintre care îl vom utiliza pe al doilea "OP1B". Acesta are pre-conectate o parte din capetele rezistențelor R_{21} - R_{25} , respectiv condensatoarelor C_{21} - C_{24} , către pinul de intrare inversoare al operaționalului "OP1B", celelalte capete ale rezistențelor și condensatoarelor urmând a fi conectate de către utilizator după necesități. Pentru configurația de față, vom face analogia Figurilor 9.1 și 9.4;
2. Se pornesc sursele de alimentare cu tensiune continuă și se reglează la ieșirile lor o tensiune cu valoarea de 10V c.c la o limitare a curentului de 0,2A, după care ieșirea acestor canale se **dezactivează** până la realizarea montajului experimental;

3. Se pornește generatorul de semnal și se configurează pe canalul 1 un semnal de tensiune sinusoidală, cu amplitudinea de 600mVpp și frecvența de 80Hz, **dar ieșirea sa nu se activează**. Apoi, cu ajutorul unui cablu de conexiune (cu mufă "BNC" la un capăt și cu 2 fire dotate cu cleme la celălalt capăt) atașat ieșirii canalului, conectați clema corespunzătoare polarității negative/nulului la unul din pinii plasați la masa circuitului (GND unde este legată și intrarea neinversoare a operaționalului), iar clema corespunzătoare polarității pozitive/fazei la unul din pinii amplasați la un capăt al condensatorului C_{24} ;
4. Cu ajutorul unor fire, se realizează conexiunile:
 - a) între borna „+” de la sursa 1 (Sursă c.c.1) și borna „-” de la sursa 2 (Sursă c.c.2) ;
 - b) între borna „-” de la sursa 1 (Sursă c.c.1) și borna „-” de pe placa experimentală conectată la pinul -10V din sectorul "MAIN POWER";
 - c) între borna „+” de la sursa 2 (Sursă c.c.2) și borna „+” de pe placa experimentală conectată la pinul +10V din sectorul "MAIN POWER";
 - d) între una din bornele care reprezintă punctul comun al surselor 1 respectiv 2 și borna „masă” de pe placa experimentală conectată la pinul "GND" din sectorul "MAIN POWER";
 - e) Prin intermediul unui fir care are pe ambele capete mufe tip "cuplă" se realizează conexiunea între unul din pinii de la ieșirea amplificatorului operațional "OP1B OUT" și unul din pinii de la rezistența R_{23} , care reprezintă de altfel rezistența R de pe ramura de reacție a amplificatorului operațional;
5. Canalul A al osciloscopului se conectează cu borna negativă (de masă) la unul din pinii "GND" plasați în intrarea neinversoare a amplificatorului operațional, iar borna pozitivă a sondei la unul din pinii amplasați la un capăt al condensatorului C_{24} ;
6. Borna pozitivă a sondei corespunzătoare canalului B al osciloscopului se conectează la unul din pinii plasați la ieșirea amplificatorului operațional "OP1B OUT";
7. Astfel: - rezistența din Figura 9.1 se asociază pe placa experimentală cu $R = R_{23} = 2,2k\Omega$, iar condensatorul $C = C_{24} = 1\mu F$;
- semnalul sinusoidal de tensiune alternativă de derivat va fi preluat de la ieșirea generatorului de semnal și va fi $u = 0,3\sin\omega t[V]$, cu frecvența de 80Hz;

8. Se verifică montajul de către cadrul didactic;

9. După punerea în funcțiune a circuitului (pornirea osciloscopului și activarea ieșirii generatorului de semnal, precum și a canalelor surselor de alimentare) se vor lua în considerare următoarele faze:
 - g) Cu ajutorul canalului A al osciloscopului se va măsura valoarea de vârf a tensiunii alternative de la intrarea în circuit " \hat{U}_{in} " și se va trece în rubrica aferentă din Tabelul 9.1;
 - h) Cunoșcând frecvența și valoarea componentelor din circuitul RC, se va calcula constanta de timp a circuitului, iar valoarea ei se va nota în Tabelul 9.1.
 - i) Aplicând relația (8) se va calcula valoarea de vârf a tensiunii de ieșire " \hat{U}_{e_calc} ", care apoi se va trece în același Tabel 9.1;
 - j) Cu ajutorul canalului B al osciloscopului se va măsura valoarea de vârf a tensiunii de ieșire din circuit " \hat{U}_{e_mas} ", se va trece în tabel și se va calcula abaterea procentuală " $\zeta\%$ " față de cea măsurată;

- k) Se repetă toți pașii aferenți punctelor a, b, c și d atât pentru valoarea de 800Hz cât și pentru valoarea de 8kHz corespunzătoare frecvenței semnalului de intrare;
- l) Fără a mai face vre-o notație în tabel, se reiau vizualizarea formelor de undă aferente tensiunilor de intrare și ieșire din A.O. pentru cazurile în care se schimbă forma de undă a semnalului tensiunii alternative de intrare atât în semnal dreptunghiular cât și triunghiular.

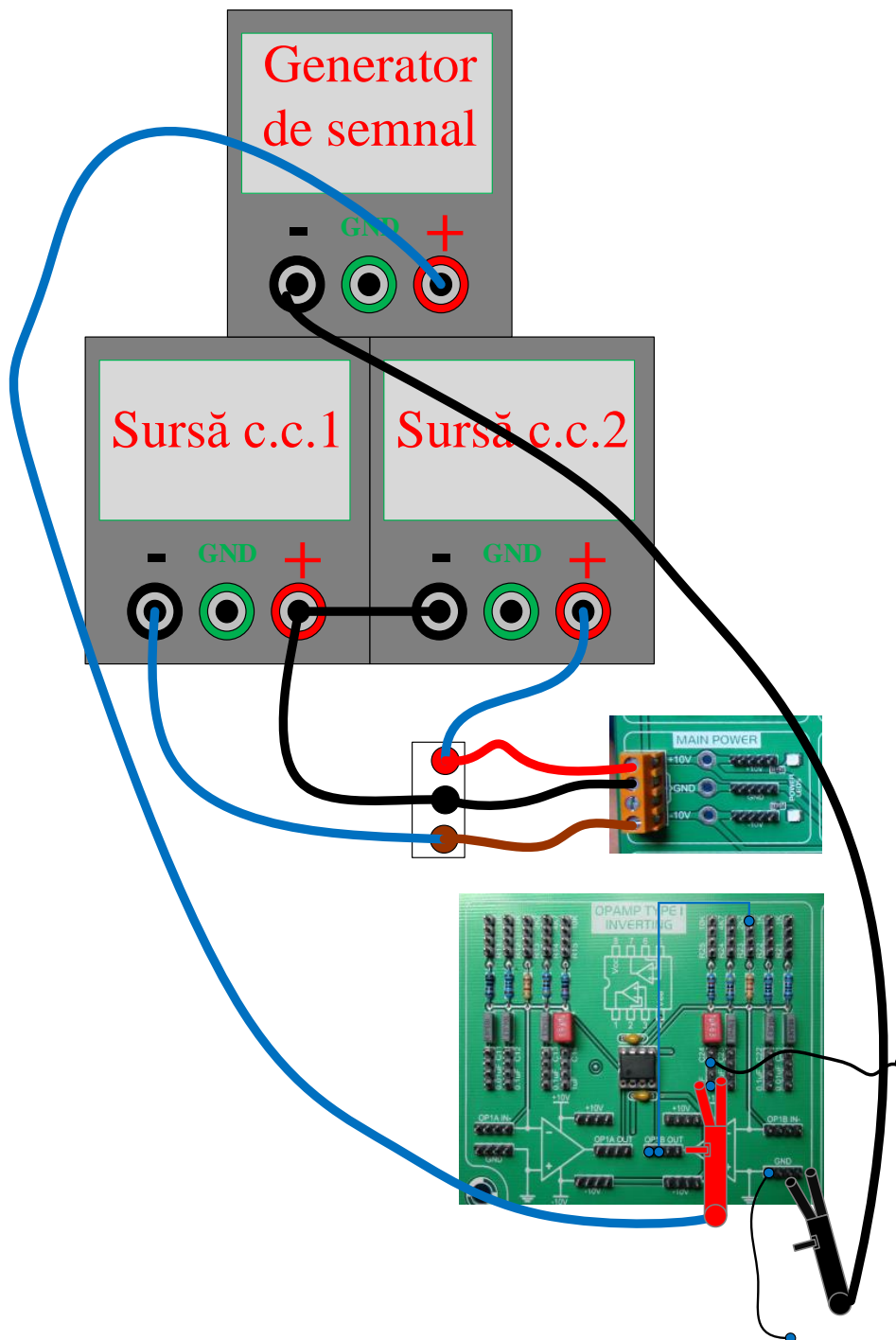


Fig. 9.4. Exemplu de realizare a montajului experimental aferent circuitului electronic de derivare echipat cu amplificator operațional.

Tabelul 9.1. Datele calculate și măsurate în cazul primului circuit:

Frecvența	\hat{U}_{in}	ωRC	$\hat{U}_{e\ calc}$	$\hat{U}_{e\ mas}$	$\zeta\%$
80Hz					
800Hz					
8kHz					

Pentru fiecare caz în parte, de pe osciloscop, se vor salva în memoria externă USB formele de undă aferente tensiunilor de intrare și ieșire din A.O.;

- După încheierea tuturor măsurătorilor ieșirile surselor de alimentare și a generatorului de semnal se dezactivează, apoi se deconectează de pe placa experimentală atât sonda canalului a osciloscopului, cât și cablul de conexiune care sosește de la generatorul de semnal.

9.4.2 Circuit sumator-derivator echipat cu A.O.

Pentru realizarea montajului experimental din Figura 9.5, care face posibilă investigarea funcționării circuitului electronic sumator-derivator echipat cu două A.O., presupune parcurgerea secvențială a pașilor descriși mai jos:

- Se utilizează placa de dezvoltare didactică de la Texas Instruments, denumită "Analog System Lab Kit PRO" unde sunt delimitate sectoare pentru diferite tipuri de aplicații. În cazul nostru vom utiliza sectorul "OPAMP TYPE I INVERTING". Acest segment este dotat cu un circuit integrat care înglobează două amplificatoare operaționale "OP1A" și "OP1B", iar pentru acest circuit se vor utiliza ambele amplificatoare operaționale. Acestea au pre-conectate rezistențele R_{11} - R_{15} către pinul de intrare inversoare al operaționalului "OP1A", respectiv R_{21} - R_{25} și condensatoarele C_{21} - C_{24} către pinul de intrare inversoare al operaționalului "OP1B", celelalte capete ale rezistențelor și condensatoarelor urmând a fi conectate de către utilizator după necesități. Pentru configurația de față, vom face analogia Figurilor 9.2 și 9.5;
- Se pornesc sursele de alimentare cu tensiune continuă și se reglează la ieșirile lor o tensiune cu valoarea de 10V c.c la o limitare a curentului de 0,2A, după care ieșirea acestor canale se **dezactivează** până la realizarea montajului experimental;
- Se pornește generatorul de semnal și se configurează pe canalul 1 un semnal de tensiune sinusoidală, cu amplitudinea de 600mVpp și frecvența de 1kHz, **dar ieșirea sa nu se activează**. Apoi, cu ajutorul unui cablu de conexiune (cu mufă "BNC" la un capăt și cu 2 fire dotate cu cleme la celălalt capăt) atașat ieșirii canalului, conectați clema corespunzătoare polarității negative/nulului la unul din pinii plasați la masa circuitului (GND unde este legată și intrarea neinversoare a operaționalului), iar clema corespunzătoare polarității pozitive/fazei la unul din pinii amplasați la un capăt al rezistenței R_{11} ;
- Se configurează pe canalul 2 al generatorului un semnal de tensiune sinusoidală, cu amplitudinea de 1Vpp și frecvența de 1kHz, **dar ieșirea sa nu se activează**. Apoi, cu ajutorul unui cablu de conexiune (cu mufă "BNC" la un capăt și cu 2 fire dotate cu cleme la celălalt capăt) atașat ieșirii canalului, conectați clema corespunzătoare polarității negative/nulului la unul din pinii plasați la masa circuitului (GND unde este legată și intrarea neinversoare a operaționalului), iar clema corespunzătoare polarității pozitive/fazei la unul din pinii amplasați la un capăt al rezistenței R_{13} ;

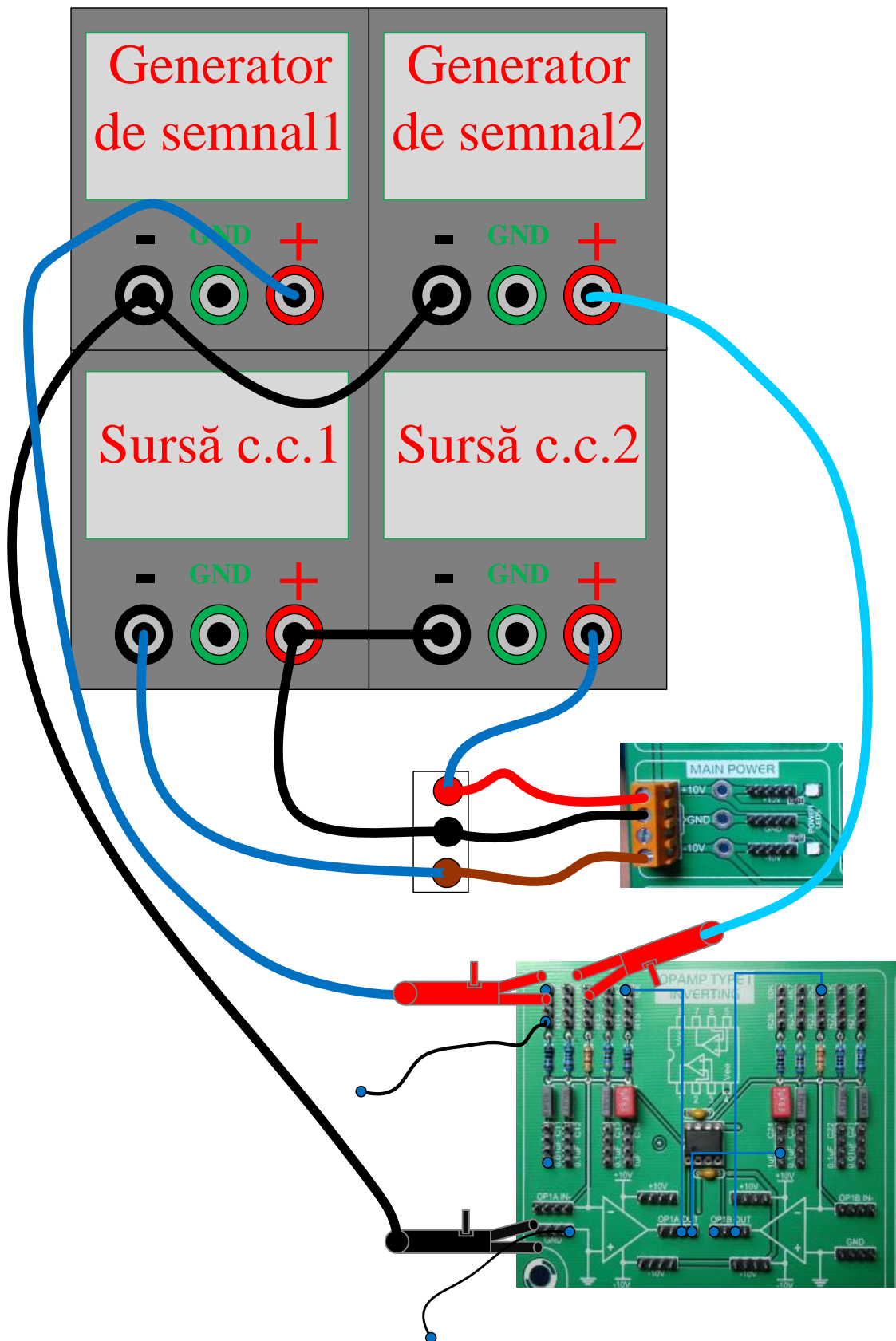


Fig. 9.5. Exemplu de realizare a montajului experimental aferent circuitului electronic sumator-derivator echipat cu amplificatoare operaționale.

5. Cu ajutorul unor fire, se realizează conexiunile:
 - a) între borna „+” de la sursa 1 (Sursă c.c.1) și borna „-” de la sursa 2 (Sursă c.c.2) ;
 - b) între borna „-” de la sursa 1 (Sursă c.c.1) și borna „-” de pe placa experimentală conectată la pinul -10V din sectorul „MAIN POWER”;
 - c) între borna „+” de la sursa 2 (Sursă c.c.2) și borna „+” de pe placa experimentală conectată la pinul +10V din sectorul „MAIN POWER”;
 - d) între una din bornele care reprezintă punctul comun al surselor 1 respectiv 2 și borna „masă” de pe placa experimentală conectată la pinul „GND” din sectorul „MAIN POWER”;
 - e) Prin intermediul unui fir care are pe ambele capete mufe tip „cuplă” se realizează conexiunea între unul din pinii de la ieșirea amplificatorului operațional „OP1A OUT” și unul din pinii de la rezistența R_{15} , care reprezintă de altfel rezistența R_r de reacție a primului amplificator operațional;
 - f) Cu un alt fir care dispune pe ambele capete de mufă tip „cuplă” se realizează conexiunea între unul din pinii de la ieșirea amplificatorului operațional „OP1A OUT” și unul din pinii de la condensatorul C_{24} , care reprezintă de altfel condensatorul C de pe intrarea inversoare „OP1B In-” a celui de al doilea amplificator operațional;
 - g) Tot printr-un fir care are pe ambele capete mufe tip „cuplă” se realizează conexiunea între unul din pinii de la ieșirea amplificatorului operațional „OP1B OUT” și unul din pinii de la rezistența R_{23} , care reprezintă în același timp rezistența R de pe ramura de reacție a celui de al doilea amplificator operațional;
6. Canalul A al osciloscopului se conectează cu borna negativă (de masă) la unul din pinii „GND” plasați în intrarea neinversoare a primului amplificator operațional, iar borna pozitivă a sondei la unul din pinii amplasați la un capăt al rezistenței R_{11} ;
7. Bornă pozitivă a sondei corespunzătoare canalului B al osciloscopului se conectează la unul din pinii plasați la un capăt al rezistenței R_{13} ;
8. Astfel: -rezistențele din Figura 9.2 din jurul amplificatorului operațional „OP1A” se asociază pe placa experimentală cu $R_1=R_{11}=1k\Omega$, $R_2=R_{13}=2,2k\Omega$, iar $R_r=R_{15}=10k\Omega$;
 -rezistența din Figura 9.2 din jurul amplificatorului operațional „OP1B” se asociază pe placa experimentală cu $R=R_{23}=2,2k\Omega$, iar condensatorul plasat la intrarea inversoare a amplificatorului operațional „OP1B IN-” se asociază pe placa experimentală cu $C=C_{24}=1\mu F$;
 -semnalele de tensiune alternativă de însumat vor fi preluate de la ieșirile generatorului de semnal și vor fi $u_1= 0,3\sin\omega t[V]$ și $u_2= 0,5\sin\omega t[V]$ având frecvența de 1kHz;

9. Se verifică montajul de către cadrul didactic;

10. După punerea în funcțiune a circuitului (activarea ieșirilor generatorului de semnal, precum și a canalelor surselor de alimentare) se vor lua în considerare următoarele faze:
 - a) Cu ajutorul canalelor A și B ale osciloscopului se vor măsura valorile de vârf ale celor două tensiuni alternative (u_1 și u_2) livrate la cele două intrări în circuit „ $\hat{U}_{in\ mas}$ ” și se vor trece în rubrica aferentă din Tabelul 9.2;
 - b) Conform relației (11) se va calcula valoarea de vârf a tensiunii-sumă „ $\hat{U}_{t\ calc}$ ” din etajul intermediar, iar apoi se va trece în Tabelul 9.2;
 - c) Bornă pozitivă a sondei corespunzătoare canalului B al osciloscopului se conectează la unul din pinii plasați la un capăt al condensatorului C_{24} , cu ajutorul căreia se măsoară

valoarea de vârf a tensiunii-sumă " \hat{U}_{t_mas} " din etajul intermediar, după care aceasta se va nota în tabel;

d) Aplicând relația (12) și calculând constanta de timp a circuitului, se va calcula valoarea de vârf a tensiunii de ieșire " \hat{U}_{e_calc} " a circuitului integrator, iar valoarea ei se va nota în tabel;

e) Borna pozitivă a sondei corespunzătoare canalului B al osciloscopului se conectează la unul din pinii amplasați la ieșirea amplificatorului operațional "OP1B OUT", cu ajutorul căreia se măsoară valoarea de vârf a tensiunii de ieșire din circuit " \hat{U}_{e_mas} ", apoi se va trece în tabel și se va calcula abaterea procentuală " $\zeta\%$ " față de cea măsurată;

Pentru fiecare caz în parte, de pe osciloscop, se vor salva în memoria externă USB formele de undă aferente tensiunilor de intrare și ieșire din circuit.

Tabelul 9.2. Datele calculate și măsurate în cazul celui de al doilea circuit:

Intrarea	\hat{U}_{in_mas}	\hat{U}_{t_calc}	\hat{U}_{t_mas}	\hat{U}_{e_calc}	\hat{U}_{e_mas}	$\zeta\%$
u_1						
u_2						

- După încheierea tuturor măsurătorilor ieșirile surselor de alimentare și ale generatorului de semnal se dezactivează, apoi sursele de alimentare, generatorul de semnal și osciloscopul se opresc, iar în cele din urmă se deconectează toate firele de legătură utilizate la realizarea montajului experimental.

9.5 Întrebări și teme

- Așa cum se precizează la sfârșitul fiecărei etape de măsurători, pe baza datelor înregistrate în tabele este necesară calcularea abaterii procentuale a tensiunii de ieșire. Apoi, pentru fiecare caz experimentat în parte se imprimă în mod sistematizat pe hârtie toate imaginile/pozele salvate în memoria USB, după care se retranscriu în dreptul lor toate notațiile și observațiile făcute în timpul aplicației.
- Care sunt limitele de prelucrabilitate în tensiune ale circuitelor de scădere investigate?
- Ce se întâmplă dacă dispare tensiunea de alimentare a A.O.?
- Cum se mai numesc circuitele de derivare studiate din punctul de vedere al sistemelor de comandă și reglare automate?

Bibliografie

[1] Marschalko, R. – "Electronică pentru ingineri electrotehnicieni –Dispozitive și circuite electronice fundamentale", Volumul I, Editura Mediamira Cluj-Napoca, 2003;

[2] Floyd, T.L. – "Dispozitive și circuite electronice", Editura Teora, București, 2003;

[3] Marschalko, R.; Bojan, M. și Salomir, C. – ”Electronică pentru ingineri electrotehnicieni, Ghid practic pentru seminar și laborator”, Volumul I, Editura Mediamira Cluj-Napoca, 2004;

[4] Marschalko, R. – ”Electronică pentru ingineri electrotehnicieni –Circuite electronice pentru semnale continue”, Volumul II, Editura Mediamira Cluj-Napoca, 2006.

[5] Floyd, T.L. – ”Electronic Devices” – *Conventional Current Version* – Ninth Edition, New Jersey (USA): Prentice Hall, 2012.