

Lucrarea nr. 4

REDRESOARE CU DIODE SEMICONDUCTOARE

1. Scopurile lucrării

- vizualizarea și măsurarea cu ajutorul osciloscopului a formelor de undă pe sarcina redresorului;
- determinarea prin măsurări a valorilor mărimilor electrice necesare trasării caracteristicii externe a redresorului;
- determinarea experimentală și prin calcul a factorului de ondulație pentru redresoarele cu filtru capacitiv.

2. Considerații teoretice

Funcționarea majorității circuitelor electronice se bazează pe utilizarea energiei de la una sau mai multe surse de alimentare în curent continuu.

Deși se pot folosi baterii sau alte surse de energie portabile, de cele mai multe ori tensiunea continuă se obține prin conversia tensiunii alternative ($\sim 220\text{V}$) din rețeaua de distribuție cu frecvența de 50 Hz. Această conversie se realizează cu ajutorul redresoarelor. Transformarea tensiunii alternative într-o tensiune continuă este posibilă datorită elementelor neliniare pe care le conține circuitul redresor.

Structura tipică a unei surse de alimentare stabilizată este prezentată în fig. 1.

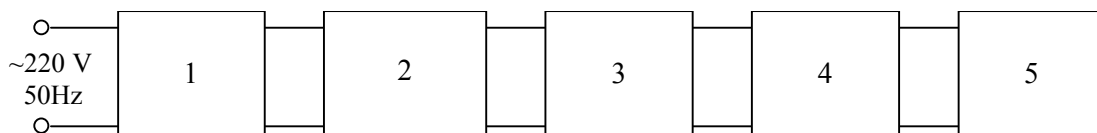


Fig. 1. Schema bloc a unei surse stabilizate:
1 – Transformator; 2 – Redresor; 3 – Filtru;
4 – Stabilizator de tensiune; 5 – Sarcină.

Transformatorul:

- modifică tensiunea alternativă a rețelei la nivelul necesar obținerii tensiunii continue dorite;
- izolează aparatul electric (sarcina) alimentat de redresor, de rețeaua de curent alternativ.

Redresorul:

- este circuitul care transformă tensiunea alternativă într-o tensiune pulsatorie;
- conține elemente neliniare (una sau mai multe diode semiconductoare) care pe baza conducției unidirecționale suprimă una din alternanțele tensiunii alternative.

Filtrul, pe baza proprietății de acumulare și redare a energiei:

- extrage componenta continuă;
- elimină pe cât posibil componentele alternative ce apar la ieșirea circuitului redresor contribuind la micșorarea pulsației (ondulației, riplului) tensiunii redresate.

Stabilizatorul de tensiune este necesar de fiecare dată când sarcina ce trebuie alimentată nu admite variații prea mari ale tensiunii de alimentare, variații ce pot interveni datorită variației tensiunii pe rețea sau datorită consumului de curent diferit al sarcinii în diferite regimuri de funcționare.

Sarcina reprezintă „consumatorul” care poate fi un circuit electronic, aparatură electronică, etc.

2.1 Redresorul monoalternanță fără filtru

Procesul de redresare și modul de obținere a formei curentului redresat în cazul unui redresor monofazat monoalternanță sunt prezentate în figura 2.

Forma curentului redresat se obține pe cale grafică considerând succesiv intersecțiile caracteristicii diodei cu dreapta de sarcină MP. Unghiul α al dreptei de sarcină este legat de valoarea rezistenței de sarcină R_s prin relația:

$$\alpha = \arctg R_s \quad (1)$$

Curentul redresat are formă pulsatorie, cu variații între zero și maxim, ca urmare a suprimării semialternanțelor negative de către dioda redresoare. Deoarece sarcina redresorului este rezistivă, forma tensiunii la ieșire (la bornele rezistenței de sarcină) este identică cu cea a curentului.

Curentul redresat se poate descompune în serie Fourier astfel:

$$i_A = I_{AM} \left(\frac{1}{\pi} + \frac{1}{2} \sin \omega t + \frac{2}{3\pi} \cos 2\omega t + \frac{2}{15\pi} \cos 4\omega t + \dots \right) \quad (2)$$

în care:

$$\frac{1}{\pi} I_{AM} = I_{A_0} \quad \text{reprezintă componenta continuă;}$$

$$\frac{I_{AM}}{2} = I_{A_1} \quad \text{reprezintă amplitudinea fundamentalei;}$$

ceilalți termeni reprezintă armonicile superioare.

Fără a neglija tensiunea maximă la bornele diodei în conducție U_{AM} față de valoarea maximă a tensiunii alternative U , curentul redresat are, în intervalele de conducție ale diodei, expresia:

$$i_s = \frac{U \sin \omega t}{R_s + R_T + R_i} \quad (3)$$

unde:

R_T este valoarea rezistenței echivalente a transformatorului;

R_i este rezistența internă a diodei.

Având în vedere caracteristica reală a diodei semiconductoare (fig.2), se poate constata că dioda conduce doar dacă tensiunea depășește o anumită tensiune directă, numită tensiune de prag U_p .

Această proprietate a diodei se manifestă prin reducerea unghiului de conducție 2θ , care devine mai mic decât 180° ($2\theta < \pi$) și este sesizabil la tensiuni redresate de valoare mică.

Valoarea tensiunii de prag, pentru diodele cu siliciu, este $U_p = 0,5 \div 0,7V$ și poate fi neglijată la tensiuni redresate mai mari decât $10V$.

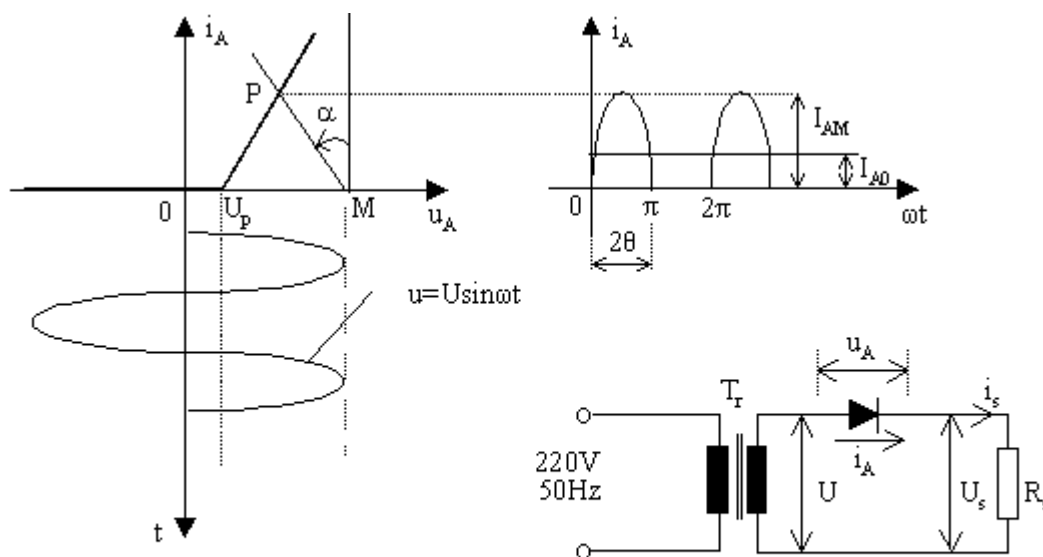


Fig. 2. Redresorul monoalternanta și formarea curentului pulsatoriu

2.2 Redresorul dublă alternanță fără filtru

Pentru realizarea redresării dublă alternanță se utilizează mai multe variante de legare a elementelor redresoare. Mai des utilizată este schema cu patru diode redresoare conectate în punte ca în figura 3. Fenomenele care se produc sunt identice ca în cazul redresorului monoalternanță dar valoarea tensiunii redresate se dublează. Forma tensiunii redresate este reprezentată în figura 3. Se observă că în același interval de timp (aceeași perioadă $T = 2\pi$) au loc două pulsuri de curent, respectiv de tensiune U_s .

Pentru situația reprezentată în figura 3, în alternanțele în care sensul tensiunii din secundarul transformatorului este cel figurat conduc diodele D1 și D3, iar în semialternanțele în care sensul tensiunii din secundar este opus conduc diodele D2 și D4. În acest fel se obține pe sarcină o tensiune pulsatorie cu două pulsuri într-o perioadă.

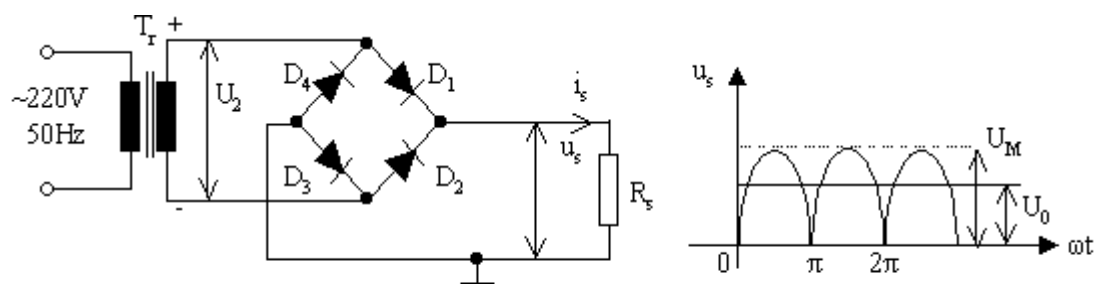


Fig. 3. Redresorul în punte și forma tensiunii pulsatorii pe sarcină

Pe fiecare semiperioadă conduc câte două diode în serie ceea ce face ca rezistența internă R_i și tensiunea de prag U_p pentru redresorul în punte să fie duble ca valoare comparativ cu schemele de redresoare monoalternanță. Avantajul redresării dublă alternanță îl constituie dublarea valorii medii a tensiunii redresate și a frecvenței fundamentale, deci utilizarea eficientă a tensiunii alternative.

Pentru filtrarea tensiunii continue cu pulsații de la ieșirea redresorului se poate folosi fie un condensator de mare capacitate (sute ÷ mii de μF) fie un filtru în π realizat prin asocierea a două condensatoare de filtraaj cu o bobină.

2.3 Redresorul monoalternanță cu filtru

În figura 4 este reprezentată schema unui redresor monoalternanță cu filtru capacitiv, forma tensiunii filtrate și a tensiunii pe condensator.

Filtrul capacitiv este format din condensatorul C.

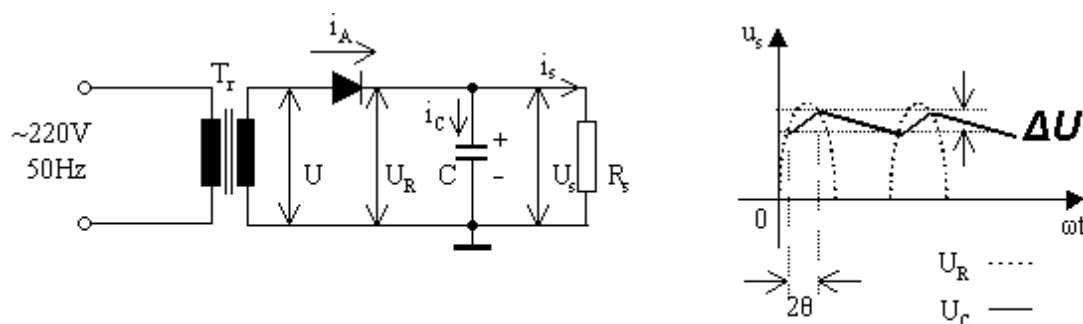


Fig. 4. Redresorul monoalternanță cu filtru capacitiv

În intervalele de timp cât tensiunea redresată U_R depășește valoarea tensiunii de pe condensator, acesta se încarcă pe circuitul format din secundarul transformatorului și diodă cu polaritatea din figură și absoarbe curent de la sursă. Când tensiunea redresată U_R scade sub valoarea tensiunii de pe condensator, dioda se blochează iar condensatorul se descarcă de la placa (+) prin sarcină la placa (-) menținând pe sarcină o tensiune continuă cu pulsație mult mai mică comparativ cu pulsația tensiunii pe sarcina redresorului fără filtru.

Tensiunea filtrată este mult mai netedă decât tensiunea redresată și valoarea medie a tensiunii pe sarcină este mai mare deoarece condensatorul are tendința să se încarce până la valoarea de vârf a tensiunii redresate.

Efectul de filtru al condensatorului se explică prin aceea că reactanța condensatorului

$X_C = \frac{1}{\omega C}$ scade odată cu creșterea frecvenței armonicilor conținute de tensiunea redresată, iar curenții corespunzători nu se închid prin sarcină ($R_s = XC$) ci prin condensator.

Eficiența utilizării filtrului se pune în evidență prin valoarea factorului de ondulație γ . Pentru a calcula γ este necesar să se determine valoarea amplitudinii ondulației vârf la vârf ΔU , care reprezintă diferența dintre valoarea instantanee cea mai mare și valoarea instantanee cea mai mică a tensiunii filtrate. Mărimea ΔU este cunoscută și sub denumirea de pulsație și se poate calcula cu relațiile:

$$\Delta U = U \left(1 - e^{-\frac{T}{R_s C}} \right) \quad (4)$$

în situația în care $R_s C \gg T$ relația (4) se simplifică la expresia

$$\Delta U = U \frac{T}{R_s C} \quad (5)$$

relații în care:

- U - reprezintă valoarea maximă a tensiunii redresate;
- T - reprezintă perioada tensiunii redresate;
- R_s - reprezintă valoarea rezistenței de sarcină;
- C - reprezintă valoarea capacității condensatorului de filtraj.

Din relația (5) rezultă expresia factorului de ondulație:

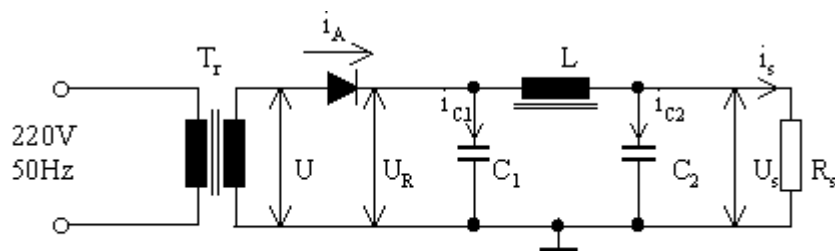
$$\gamma = \frac{\Delta U}{U} \quad (6)$$

Procesul de redresare și filtrare este cu atât mai bun cu cât factorului de ondulație γ are o valoare mai mică.

Utilizarea filtrului în π , după elementul redresor (fig.5), permite obținerea unei filtrări mai eficiente a tensiunii pulsatorii. Inductanța L prin reactanța acesteia ($X_L = \omega L$) se opune trecerii spre sarcină a componentelor alternative datorate armonicilor superioare din curentul redresat, iar condensatoarele (două de această dată C1 și C2) permit închiderea la masă a acestor componente.

În cazul redresorului dublă alternanță, funcționarea filtrelor este asemănătoare, pulsația tensiunii redresate fiind cu mult micșorată.

Valoarea tensiunii redresate, măsurate pe sarcină U_s , depinde de valoarea curentului debitat pe sarcina R_s . Această dependență este definită caracteristica externă a redresorului: $U_s = f(I_s)$.

Fig. 5. Redresorul monolternanță cu filtru în π

3. Desfășurarea lucrării:

Pentru studiul redresoarelor se utilizează macheta de laborator a cărei schemă este reprezentată în figura 6. Pentru efectuarea de măsurări se conectează următoarele aparate:

- la bornele 12 – 16 se conectează voltmetrul de curent continuu;
- la bornele 13 – 14 se conectează miliampermetrul de curent continuu;
- la bornele 15 – 19 se conectează osciloscopul.

Interconectarea celorlalte elemente ale schemei se va face în funcție de tipul redresorului studiat, potrivit precizărilor de mai jos.

Se alimentează montajul conectând bornele 1 și 2 la rețea ($\sim 220\text{V}, 50\text{Hz}$).

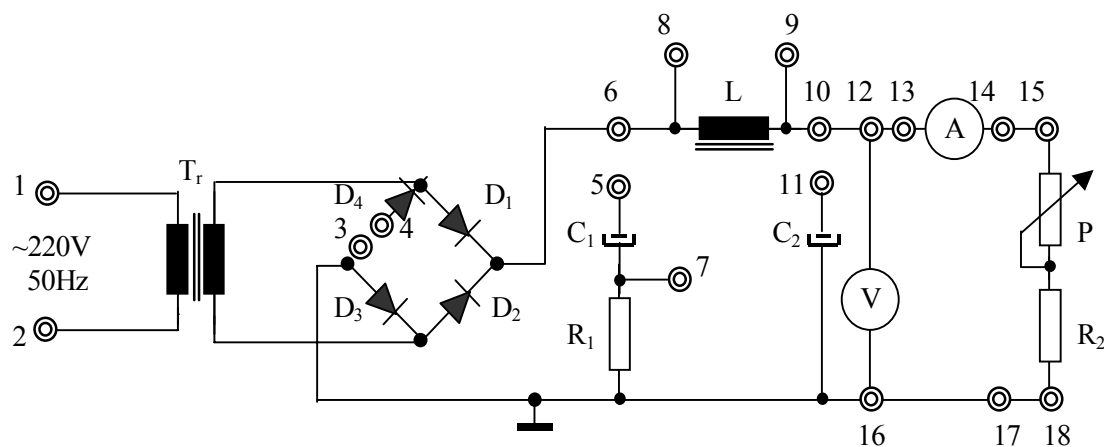


Fig. 6. Schema electrică a machetei de laborator

3.1 Redresorul monoalternanță

Se studiază în situațiile:

a) fără filtru

- bornele 3 – 4 rămân libere;
- se scurtcircuitează bornele 8 – 9 pentru scoaterea din circuit a bobinei de filtrare;
- se pune potențiometrul P pe valoare maximă.

Se efectuează observații și măsurări ale tensiunii (cu voltmetrul), curentului (cu miliampermetrul) și ondulației pe sarcină (cu osciloscopul), completând rubricile corespunzătoare din tabelul 1.

b) cu filtru capacitiv

- bornele 3 – 4 rămân libere;
- se scurtcircuitează bornele 8 – 9 pentru scoaterea din circuit a bobinei de filtrare;
- se scurtcircuitează bornele 10 - 11 pentru conectarea condensatorului de filtrare C2 cu valoarea de 1000 μ F.

Se efectuează observații și măsurări ale tensiunii (cu voltmetrul), curentului (cu miliampermetrul) și ondulației pe sarcină (cu osciloscopul), completând rubricile corespunzătoare din tabelul 1.

Tabelul 1

Valori măsurate Tipul filtrului	Us [V]	Is [mA]	Forma și valoarea vârf la vârf a tensiunii și ondulației pe sarcină ΔU [V _{VV}]
Fără filtru			
Cu filtru capacitiv			
Cu filtru în π			

c) cu filtru π

- bornele 3 – 4 rămân libere;
- se scurtcircuitează bornele 10 - 11 pentru conectarea condensatorului de filtrare C2 cu valoarea de 1000 μ F;
- se scurtcircuitează bornele 5 - 6 pentru conectarea condensatorului de filtrare C1 cu valoarea de 1000 μ F, înseriat cu rezistorul R1;

Se efectuează observații și măsurări ale tensiunii (cu voltmetrul) curentului (cu miliampermetrul) și ondulației pe sarcină (cu osciloscopul), completând rubricile corespunzătoare din tabelul 1.

3.2 Redresorul dublă alternanță

Se studiază în situațiile:

a) fără filtru

- se scurtcircuitează bornele 3 – 4 pentru realizarea conectării în punte a diodelor redresoare;
- se scurtcircuitează bornele 8 – 9 pentru scoaterea din circuit a bobinei de filtrare.

Se efectuează observații și măsurări ale tensiunii (cu voltmetrul), curentului (cu miliampermetrul) și ondulației pe sarcină (cu osciloscopul), completând rubricile corespunzătoare într-un tabel asemănător tabelului 1.

b) cu filtru capacitiv

- se scurtcircuitează bornele 3 – 4 pentru realizarea conectării în punte a diodelor redresoare;
- se scurtcircuitează bornele 8 – 9 pentru scoaterea din circuit a bobinei de filtrare;
- se scurtcircuitează bornele 10 - 11 pentru conectarea condensatorului de filtrare C2 cu valoarea de 1000 μ F.

Se efectuează observații și măsurări ale tensiunii (cu voltmetrul) curentului (cu miliampermetrul) și ondulației pe sarcină (cu osciloscopul), completând rubricile corespunzătoare într-un tabel asemănător tabelului 1.

c) cu filtru π

- se scurtcircuitează bornele 3 – 4 pentru realizarea conectării în punte a diodelor redresoare;
- se scurtcircuitează bornele 10 - 11 pentru conectarea condensatorului de filtrare C2 cu valoarea de 1000 μ F;
- se scurtcircuitează bornele 5 - 6 pentru conectarea condensatorului de filtrare C1 cu valoarea de 1000 μ F, înseriat cu rezistorul R1;

Se efectuează observații și măsurări ale tensiunii (cu voltmetrul), curentului (cu miliampermetrul) și ondulației pe sarcină (cu osciloscopul), completând rubricile corespunzătoare într-un tabel asemănător tabelului 1.

3.3 Ridicarea caracteristicii externe a redresorului

Pentru fiecare din redresoarele studiate se ridică caracteristica externă $U_s = f(I_s)$ parcurgând etapele:

- se stabilesc, în mod corespunzător, conexiunile tipului de redresor studiat;
- se modifică cu ajutorul potențiometrului P valoarea curentului prin sarcină I_s de la minim la valoarea de 100 mA, potrivit tabelului 2;
- se notează valorile corespunzătoare ale tensiunii pe sarcină U_s ;

- se completează tabelul 2.

Cu ajutorul datelor obținute se trasează pe o singură diagramă, caracteristicile externe ale redresoarelor studiate.

Tabelul 2

Tip de redresor		Is[mA]	0	20	40	60	80	100
Redresor monoalternanță	a	Us[v]						
	b	Us[v]						
	c	Us[v]						
Redresor de dublă alternanță	a	Us[v]						
	b	Us[v]						
	c	Us[v]						

3.4 Determinarea ondulației (ΔU) și a factorului de ondulație (γ)

Pentru redresoarele monoalternanță și dublă alternanță cu filtru capacitiv (configurate pe macheta de laborator în mod corespunzător) se măsoară cu osciloscopul amplitudinea ondulației vârf la vârf ΔU [V_{VV}], corespunzătoare unui curent de 100mA.

Rezultatul măsurătorilor se trece în tabelul 3.

Se calculează amplitudinea ondulației, pentru cazurile prevăzute în tabelul 3, cu ajutorul relațiilor:

$$\Delta U = U \frac{T}{R_s C} \quad \text{în care} \quad R_s = \frac{U_s}{I_s}$$

iar condensatorul are capacitatea $C = 1000 \mu\text{F}$.

Pe baza măsurătorilor se calculează factorul de ondulație γ cu relația (6), rezultatele se trec în tabelul 3.

Tabelul 3

Tipul de redresor	Is [mA]	Us [V]	U [V]	ΔU măsurat	ΔU calculat	$\gamma = \frac{\Delta U}{U}$
monoalternanță cu filtru capacitiv						
dublă alternanță cu filtru capacitiv						