

## LUCRAREA 2

# REDRESOARE ȘI MULTIPLICATOARE DE TENSIUNE

### 1 *Prezentare teoretică*

#### 1.1 Redresoare

Prin redresare înțelegem transformarea curentului alternativ în curent continuu. Prin alimentarea circuitelor electronice și a altor consumatoare de curent continuu este necesară obținerea energiei de curent continuu prin redresarea tensiunii alternative de la rețea. Circuitele care realizează această transformare se numesc redresoare. Redresoarele pot fi clasificate în redresoare comandate, care furnizează la ieșire o tensiune reglabilă și necomandate, care la ieșire furnizează o tensiune fixă. După tipul tensiunii alternative redresate, redresoarele sunt monofazate sau polifazate. Redresoarele monofazate se folosesc pentru puteri mai mici de 1 kW și se conectează la rețeaua alternativă 220V/50 Hz prin intermediul unui transformator monofazat. Ele se pot clasifica în redresoare monoalternanță, când redresează o singură alternanță a tensiunii alternative, sau dublă alternanță, când redresează ambele alternanțe. Ca elemente redresoare se utilizează diodele redresoare semiconductoare sau tiristoarele. Tiristoarele se folosesc în redresoarele de putere a căror tensiune poate fi variată independent de sarcină.

Ne vom referi la redresoarele monofazate necomandate, de mica putere, realizate cu diode semiconductoare. În componența unui redresor intră un transformator TR, blocul redresor propriu-zis R și filtrul de netezire F. Schema bloc a unui redresor este prezentată în figura 2.1.

Gama tensiunilor continue necesare pentru alimentarea diversilor consumatori variază între ordinul volților și sute sau mii de volți, de aceea redresorul se conectează la rețeaua de c.a. prin intermediul unui transformator de rețea, cu rolul de a furniza în secundar o tensiune alternativă mai mare sau mai mică decât cea din primar, în funcție de valoarea necesară a tensiunii redresate.

Tensiunea din secundarul transformatorului de rețea este aplicată blocului redresor propriu-zis. Principalii parametri de catalog ai unei diode redresoare sunt:

- curentul mediu redresat  $I_0$  (curentul mediu la care poate fi solicitată dioda),
- curentul de vârf maxim  $I_{FM}$ ,
- tensiunea inversă maximă  $V_{RM}$
- curentul direct continuu maxim admisibil  $I_F$ .

Prin nedepășirea curenților maximi admisibili se evită supraîncalzirea, iar prin nedepășirea tensiunii inversă maximă se evită străpungerea. Diodele redresoare se pot clasifica, după valoarea curentului  $I_F$ , în diode redresoare pentru curenți mici ( $I_F < 1A$ ), pentru curenți medii ( $I_F$  unități – zeci de A) și pentru curenți mari ( $I_F > 100A$ ).

Filtrul de netezire F are rolul de a reduce pulsațiile tensiunii redresate, permițând transferul componentei continue într-o măsură foarte mică a componentei alternative.

Filtrul poate fi de tipul cu intrare pe capacitate sau cu intrare pe inductanță. În cazul filtrului LC, bobina permite componentei continue să treacă ( $X_L$  este nul în c.c.) și tot curentul continuu de la ieșirea bobinei traversează  $R_L$  ( $X_C = \infty$  în c.c.). Componenta alternativă este blocată de bobină ( $X_L$  este mare la frecvența respectivă) și tot curentul alternativ ce trece prin bobină traversează condensatorul ( $X_C \ll R_L$ ). Deci grupul LC se comportă ca un divizor ce atenuează componenta alternativă. Filtrul LC atenuează bine ondulațiile, dar prezintă inconvenientul unui volum mare și unui cost ridicat. Se utilizează în circuitele de putere, la curenți de sarcină mari. Aceste considerații ne conduc la un filtru RC, care face o detecție de vârf în locul unei detecții a valorii medii.

Principalele caracteristici ale unui redresor sunt:

- caracteristica externă  $U_0=U_0(I_0)$ , cu  $U_0$  tensiunea medie redresată și  $I_0$  curentul mediu redresat,
- randamentul  $\eta=P_{cc}/P_{ca}$ ,
- factorul de ondulație  $\gamma=\Delta U_0/U_0$ , unde  $\Delta U_0$  reprezintă amplitudinea tensiunii de ondulație și  $U_0$  tensiunea redresată medie,
- curentul maxim prin diodă  $I_{FM}$ ,
- tensiunea maximă inversă pe diodă  $V_{RM}$ .

Pentru alimentarea aparaturii electronice este foarte important ca tensiunea redresată să fie bine filtrată, deoarece partea ei variabilă reprezintă o perturbație în semnalul util transmis. Calitatea filtrării se apreciază prin factorul de ondulație (de pulsație):

$$U_0 = U_{Lmax} \cong 2U_{2max} \quad (2.1)$$

unde  $\Delta U_0$  reprezintă amplitudinea tensiunii de ondulație și  $U_0$  tensiunea redresată medie.

O sursă de c.c. se îmbunătățește prin intercalarea unui stabilizator de tensiune continuă între F și sarcina  $R_L$ .

Rezistența de sarcină  $R_L$  este dată de relația:

$$R_L = \frac{U_0}{I_0} \quad (2.2)$$

unde  $U_0$  reprezintă tensiunea medie redresată și  $I_0$  curentul mediu redresat.

Vom prezenta redresorul monoalternanță și redresorul dublă alternanță în punte, cu și fără filtru de netezire.

Figura 2.2.a. prezintă schema electrică a unui redresor monofazat monoalternanță fără filtru. Circuitul transformă tensiunea alternativă în tensiunea pulsatorie. În semialternanța pozitivă dioda este direct polarizată, ca urmare conduce, în timp ce în semialternanța negativă este blocată. Forma de undă pentru tensiunea pe diodă este reprezentată în figura 2.2.b, iar curentul și tensiunea pe rezistența de sarcină  $R_L$  în figura 2.2.c. Frecvența semnalului de la ieșirea redresorului este egală cu frecvența semnalului de intrare.

Valoarea medie a tensiunii pe sarcină se determină prin relația:

$$U_0 = \frac{1}{2\pi} \int u_L(t) dt = \frac{U_{2max}}{\pi} \quad (2.3)$$

unde  $U_{2max}$  reprezintă valoarea maximă a tensiunii în secundarul transformatorului.

Puterea utilă este dată de expresia:

$$P_0 = U_0 I_0 = \frac{2U_{2ef}^2}{\pi^2 R_L} \quad (2.4)$$

Puterea de c.a. absorbită de la rețea este:

$$P_a = \frac{1}{2} \frac{U_{2ef}^2}{R_L} \quad (2.5)$$

Randamentul redresorului este deci:

$$\eta = \frac{P_0}{P_a} = \frac{4}{\pi^2} = 40,5\% \quad (2.6)$$

În deducerea relațiilor anterioare am neglijat elementele interne transformatorului și diodele redresoare. Rezultatul obținut pentru randament este maximal.

Tensiunea inversă de vârf este egală cu  $U_{2\max}$  și trebuie să fie mai mică decât tensiunea inversă maximă admisibilă specificată.

Caracteristica externă este dată de relația:

$$U_0 = \frac{U_{2\max}}{\pi} - R_i I_0 \quad (2.7)$$

unde  $R_i$  reprezintă rezistența totală de pierderi  $R_i = R_T + R_d$ , cu  $R_T = r_1 \left( \frac{n_2}{n_1} \right)^2 + r_2$  și  $R_d$  rezistența asociată diodei. Caracteristica externă este prezentată în fig.2.3 și arată că tensiunea redresată scade pe măsură ce curentul de sarcină crește, datorită pierderilor pe rezistența de pierdere. Acest avantaj este înlăturat cu ajutorul stabilizatoarelor.

Redresorul în punte reprezintă, față de redresorul bialternanță cu priză mediană, avantajul utilizării unui transformator cu secundarul obișnuit. Schema redresorului în punte este prezentată în fig.2.4.a. În semialternanță pozitivă diodele  $D_1$  și  $D_3$  conduc, fiind direct polarizate. În semialternanță negativă conduc diodele  $D_2$  și  $D_4$ . Curenții prin rezistența de sarcină  $R_L$  circulă în aceeași direcție în ambele semialternanțe. Formele de undă ale circuitului prin diode, respectiv tensiunii pe diode sunt reprezentate în fig.2.4.b, iar fig.2.4.c prezintă formele de undă ale tensiunii și curentului prin rezistența de sarcină. Frecvența semnalului la ieșirea din redresor este dublul frecvenței semnalului de la intrare.

Valoarea medie a tensiunii redresate este:

$$U_0 = 2 \frac{U_{L\max}}{\pi} = 2 \frac{U_{2\max}}{\pi} \quad (2.8)$$

iar curentul mediu redresat:

$$I_0 = 2 \frac{U_{L\max}}{\pi R_L} \quad (2.9)$$

Puterea de c.c. absorbită de sarcină este:

$$P_0 = \frac{4}{\pi^2} \frac{U_{L\max}^2}{R_L} = \frac{8}{\pi^2} \frac{U_{2ef}^2}{R_L} \quad (2.10)$$

iar puterea absorbită de la rețea este:

$$P_a = \frac{U_{2ef}^2}{R} \quad (2.11)$$

rezultând randamentul:

$$\eta = \frac{8}{\pi^2} = 81\% \quad (2.12)$$

Tensiunea inversă de vârf este egală cu  $U_{2\max}$  și trebuie să îndeplinească condiția  $U_{2\max} < V_{RM}$ , unde  $V_{RM}$  este tensiunea inversă maximă admisibilă.

Caracteristica externă a redresorului este dată de relația:

$$U_0 = \frac{2U_{2\max}}{\pi} - R_i I_0 \quad (2.13)$$

Tensiunile și curenții rezultați la ieșirea redresorului sunt funcții periodice nesinusoidale, putându-se descompune în serie Fourier. Forma de undă a tensiunii redresate se caracterizează prin factorul de ondulație.

Pentru redresorul monoalternanță, alimentat de la rețeaua c.c. de frecvență 50Hz, armonica cea mai importantă este componenta de 50 Hz, amplitudine  $U_{01} = U_{2\max}/2$ . Factorul de ondulație este:

$$\gamma = \frac{U_{L\max}/2}{U_{L\max}/\pi} = \frac{\pi}{2} = 1,57 \quad (2.14)$$

și pune în evidență că amplitudinea componentei alternative maxime depășește valoarea componentei continue. În cazul redresorului dublă alternanță armonica cea mai importantă este frecvența de 100 Hz și amplitudinea  $U_{02} = 4U_{2\max}/3\pi$ ; factorul de ondulație devine:

$$\gamma = \frac{4U_{L\max}/3\pi}{2U_{L\max}/\pi} = 0,667 \quad (2.15)$$

și pune în evidență că redresoarele dublă alternanță furnizează o tensiune redresată mai apropiată de componenta continuă.

Vom prezenta filtrul cu intrare pe capacitate, când filtrul este format numai din capacitatea de intrare, în paralel cu  $R_L$ . Fig.2.5.a prezintă schema electrică a unui redresor monoalternanță cu filtru cu intrare pe capacitate, iar în fig.2.5.b sunt reprezentate formele de undă pentru tensiunea indusă în secundarul transformatorului  $u_2(t)$  și tensiunea pe sarcină  $u_L(t)$ .

Condensatorul se încarcă în intervalul în care dioda conduce prin rezistență mică furnizată de diodă și transformator. Din momentul în care valoarea tensiunii  $u_L(t)$  depășește  $u_2(t)$  dioda se blochează, iar condensatorul se descarcă lent pe  $R_L$ . Tensiunea pe sarcină tinde să se apropie de o tensiune continuă, cu atât mai mult cu cât valoarea condensatorului de filtraj este mai ridicată. Trebuie asigurată deci o constantă de timp  $R_L C \gg T$ , unde  $T$  este perioada semnalului. Diferența față de o tensiune continuă constă în ondulațiile cauzate de încărcarea, respectiv descărcarea condensatorului. În apropierea următorului vârf dioda conduce și reîncarcă condensatorul.

Descărcarea condensatorului pe rezistența de sarcină se face după o lege exponențială:

$$\Delta U_0 = U_{L\max} \left[ 1 - \exp\left(-\frac{T}{R_L C}\right) \right] \quad (2.16)$$

Dacă  $R_L C \gg T$ , variația de tensiune devine:

$$\Delta U_0 \cong U_{L\max} \frac{2\pi}{\omega R_L C} \quad (2.17)$$

și factorul de ondulație :

$$\gamma = \frac{\Delta U_0}{U_0} = \frac{2\pi}{\omega R_L C} \quad \text{cu} \quad \omega = \frac{2\pi}{T} \quad (2.18)$$

Caracteristica externă a redresorului este:

$$U_0 = U_{2\max} - \frac{2\pi}{\omega C} I_0 \quad (2.19)$$

Redresorul dublă alternanță cu condensator furnizează o tensiune mult mai apropiată de cea continuă, condensatorul fiind încărcat și descărcat de două ori în același interval de timp T. Factorul de ondulație în cazul redresorului dublă alternanță este dat de relația:

$$\gamma = \frac{2\pi}{\omega R_L C} \quad \text{cu} \quad \omega = \frac{4\pi}{T} \quad (2.20)$$

Se observă că factorul de ondulație este de două ori mai mic pentru aceeași rezistență de sarcină și același condensator de filtraj.

Pentru micșorarea factorului de ondulație se pot utiliza schemele de filtraj care conțin mai multe capacități și rezistențe.

## 1.2 Multiplicatoare de tensiune

Un multiplicator de tensiune conține cel puțin două redresoare de vârf care produc o tensiune continuă egală cu multiplul tensiunii de vârf de intrare (2Vp, 3Vp etc.). Aceste circuite sunt utilizate în aplicații în care este necesară o valoare ridicată a tensiunii și un curent slab (de exemplu: alimentarea tuburilor cinescop). În fig.2.7 sunt reprezentate două variante de scheme de redresoare cu dublare de tensiune. Analiza se face în cazul în care rezistența de sarcină are valori mari. În fig.2.7.a condensatorul C<sub>1</sub> se încarcă prin dioda D<sub>1</sub> în alternanța pozitivă a tensiunii din secundar. Tensiunea pe capacitate ajunge la aproximativ valoarea maximă a acestei tensiuni. În alternanță negativă a tensiunii din secundar condensatorul C<sub>2</sub> se încarcă prin dioda D<sub>2</sub> la aceeași valoare. Căderea de tensiune pe rezistența de sarcină are, în acest caz, valoarea maximă egală cu:

$$U_0 = U_{L\max} \cong 2U_{2\max} \quad (2.21)$$

Pentru circuitul din fig.2.7.b. condensatorul C<sub>1</sub> se încarcă în alternanța negativă prin dioda D<sub>1</sub>, cu tensiunea maximă U<sub>2max</sub>, iar condensatorul C<sub>2</sub> se încarcă în alternanța pozitivă a tensiunii din secundar, prin dioda D<sub>2</sub> cu tensiunea u<sub>2</sub>+u<sub>C1</sub>, astfel că tensiunea maximă la bornele condensatorului C<sub>2</sub>, deci și la bornele sarcinii, este de 2U<sub>2max</sub>.

## 2 *Lucrarea practică*

### 2.1 Aparate necesare

- multimetru analogic sau numeric
- osciloscop

### 2.2 Determinări experimentale

1. Se utilizează schema din fig.2.2 respectiv 2.5. pentru obținerea redresorului monoalternanță, cu și fără condensator de filtraaj. Pentru fiecare valoare a rezistenței  $R_L$ , conform tabelului 2.1, se vizualizează tensiunea pe sarcină și se măsoară tensiunea continuă  $U_0$  pe  $R_L$ . Măsurătorile se vor realiza pentru cele două valori ale condensatorului de filtraaj (4,7 mF, 47 mF).
2. Se realizează configurația de redresor dublă alternanță în punte, cu și fără condensator de filtraaj. Făcând aceleași masuratori ca la punctul anterior, se completează un tabel similar tabelului 2.1. Se vizualizează în fiecare caz tensiunea pe rezistența de sarcină.
3. Pentru multiplicatorul din fig.2.6. se vor repeta măsurătorile de la punctul 1 și se va completa un tabel similar tabelului 2.1. Se vizualizează în fiecare caz tensiunea pe rezistența de sarcină.

|                         |          |     |    |   |      |     |
|-------------------------|----------|-----|----|---|------|-----|
| $R_L(K\Omega)$          | $\infty$ | 100 | 10 | 1 | 0,47 | 0,1 |
| $U_0(V)$                |          |     |    |   |      |     |
| $I_0(mA)=U_0/R_L$       |          |     |    |   |      |     |
| $\gamma=\Delta U_0/U_0$ |          |     |    |   |      |     |

Tabelul 2.1.

### 2.3 Prelucrarea și interpretarea datelor experimentale

1. Se vor reprezenta grafic caracteristicile externe  $U_0=U_0(I_0)$  ale redresoarelor mono- și dublă alternanță, cu și fără condensator de filtraaj, și ale multiplicatoarelor de tensiune, utilizând datele de la punctele 2.3.1., 2.3.2. și 2.3.3.
2. Se vor compara perechile de caracteristici externe obținute și se vor explica diferențele dintre acestea.
3. Se vor comenta rezultatele obținute la rularea programelor de simulare.

Figuri



Fig.2.1

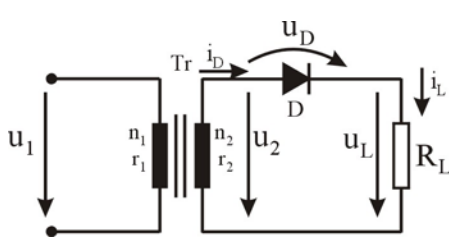


Fig.2.2.a

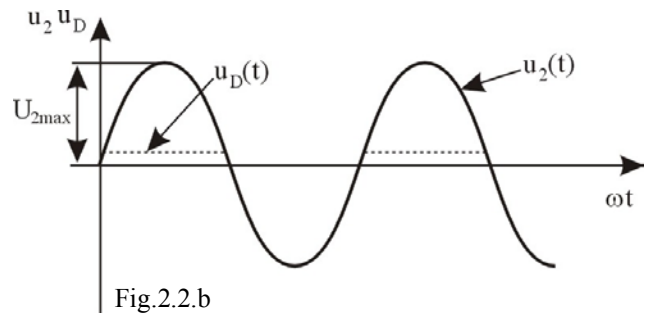


Fig.2.2.b

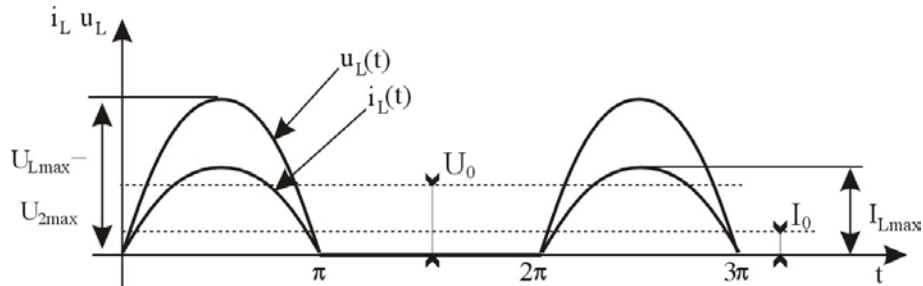


Fig.2.2.c

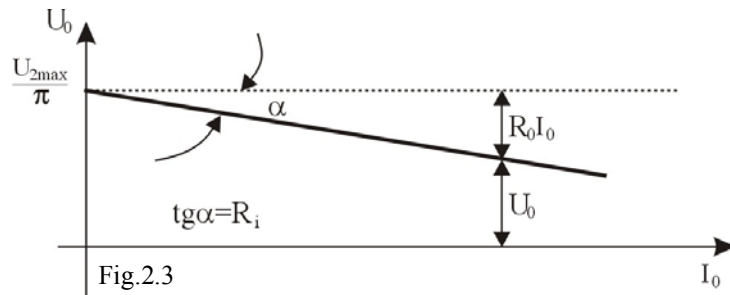


Fig.2.3

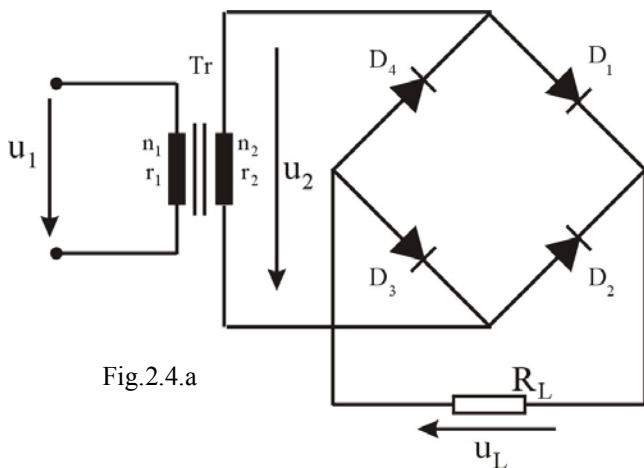


Fig.2.4.a

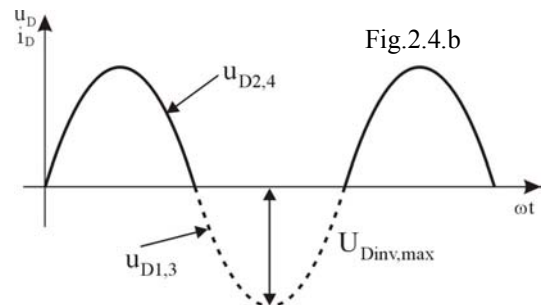


Fig.2.4.b

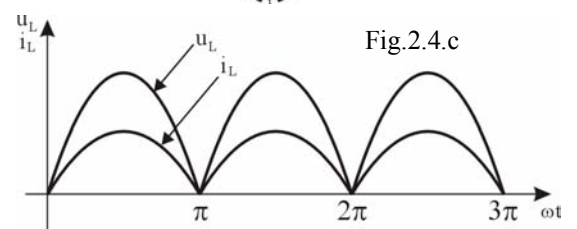


Fig.2.4.c

