

## Capitolul 7

### Redresoare monofazate

#### 7.1. Introducere

Blocul electronic care face conversia energiei de la rețeaua de curent alternativ în energie de curent continuu se numește **sursă de tensiune continuă**. Un astfel de aparat conține:

- **bloc redresor;**
- **bloc stabilizator.**

Pentru unele circuite electronice, cum ar fi amplificatoarele de putere, sursa de alimentare poate să conțină numai blocul redresor.

#### 7.2. Definire și clasificare

**Redresorul este un circuit electronic ce realizează conversia energiei de curent alternativ în energie de curent continuu.**

Un redresor poate conține:

- transformator (opțional);
- bloc elemente redresoare;
- filtru (opțional);
- sarcină.

**Transformatorul** se alimentează la intrare cu tensiune alternativă de la rețea ( ~ 220 V, 50 Hz) și furnizează la ieșire o tensiune alternativă de o anumită amplitudine, în funcție de tensiunea necesară la ieșirea redresorului.

**Blocul elementelor redresoare** realizează conversia tensiunii alternative într-o formă de undă cu componentă continuă diferită de zero.

**Filtrul** are rolul de a micșora ondulațiile (variațiile) tensiunii redresate, fără să micșoreze componenta continuă. Ca urmare, se utilizează filtre trece jos.

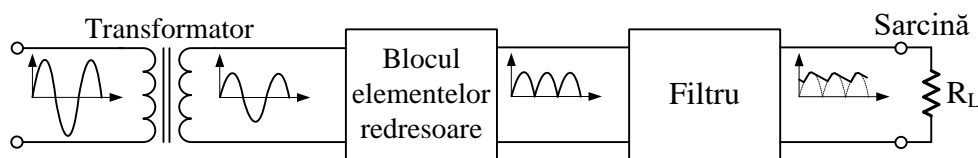


Fig. 7.1. Structura unui redresor

#### Clasificarea redresoarelor

##### a) După control:

- redresoare necomandate;
- redresoare comandate (conține cel puțin un tiristor);

##### b) După numărul de faze:

- redresoare monofazate;
- redresoare polifazate (uzual trifazate).

##### c) După filtru:

- redresoare fără filtru;
- redresoare cu filtru (uzual capacitiv).

### 7.3. Caracteristicile redresoarelor

Principalele caracteristici ale unui redresor sunt:

- caracteristica externă;
- randamentul redresării;
- factorul de ondulație;
- valorile maxime ale parametrilor diodelor.

**Caracteristica externă** (fig. 7.2b) se definește pentru componenta medie a tensiunii de la ieșirea redresorului,  $V_O$  și reprezintă variația acesteia în funcție de curentul mediu prin sarcină,  $I_O$ .

$$V_O = V - R_i \cdot I_O \quad (7.1)$$

**Randamentul redresării ( $\eta$ )** se definește ca raportul dintre puterea de curent continuu pe sarcină și puterea totală.

$$\eta = \frac{P_{CC, R_L}}{P_t} \quad (7.2)$$

**Factorul de ondulație ( $\gamma$ )** se definește pentru tensiunea de ieșire a redresorului,  $v_o$ , ca **raportul dintre amplitudinea componentei alternative de frecvență minimă și** mărimea componentei continue (**componenta medie**).

$\gamma$  caracterizează forma de undă a tensiunii de la ieșirea redresorului.

**Valorile maxime ale parametrilor uzuali ai diodelor** sunt:

$I_{AO}$  – curentul mediu;

$I_{AM}$  – curentul maxim, repetitiv;

$I_{AMM}$  – curentul maxim maximorum (accidental);

$V_{ARM}$  – tensiunea inversă maximă.

Valorile acestor parametri trebuie să fie mai mici decât cele ale parametrilor de catalog ai diodelor:

$$I_{AO} < I_{FAVM}$$

$$I_{AM} < I_{FRM}$$

$$I_{AMM} < I_{FSM}$$

$$V_{ARM} < V_{RRM}$$

în care:

$I_{FAVM}$  – (*Maximum Average Forward Current*) curentul direct mediu maxim;

$I_{FRM}$  – (*Repetitive Peak Forward Current*) curentul direct de vârf repetitiv;

$I_{FSM}$  – (*Surge Forward Current*) curentul direct de vârf de suprasarcină accidentală;

$V_{RRM}$  – (*Repetitive Peak Reverse Voltage*) tensiunea inversă de vârf repetitivă.

### 7.4. Redresorul monoalternanță fără filtru

În fig. 7.3 sunt prezentate schema electrică și formele de undă ale acestui tip de redresor. Tensiunea pe înfășurarea primară,  $v_1(t)$  este cea de la rețeaua de curent alternativ și are expresia:

$$v_1(t) = V_1 \cdot \sin \omega t, \quad V_1 = 220\sqrt{2} \cong 311 \text{ V}, \quad \omega = 2\pi \cdot f = 2\pi \cdot 50 \text{ rad/s}$$

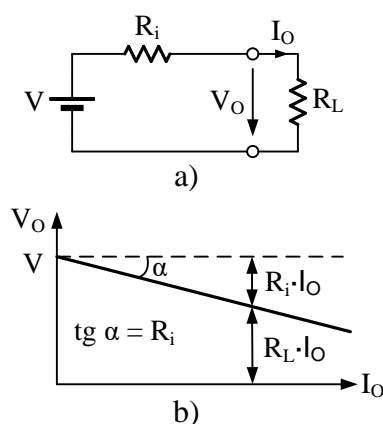


Fig. 7.2. Redresor monoalternanță: a) modelul de curent continuu; b) caracteristica externă

În secundar, tensiunea este tot sinusoidală și are expresia:

$$v_2(t) = V_2 \cdot \sin \omega t$$

Rezistența de pierderi în înfășurările transformatorului,  $R_T$  este:

$$R_T = r_1 \cdot \left( \frac{n_2}{n_1} \right)^2 + r_2, \quad (7.3)$$

$$\frac{n_1}{n_2} = \frac{V_1}{V_2}$$

unde  $r_1$  și  $r_2$  sunt rezistențele înfășurării primare, respectiv secundare, iar  $n_1$  și  $n_2$  reprezintă numărul de spire pentru înfășurarea primară, respectiv secundară.

Efectul de redresare se datorează neliniarității caracteristicii diodei semiconductoare. Pentru polarizarea directă a diodei se preferă o liniarizare a caracteristicii sale exponențiale pe două porțiuni, delimitate de tensiunea  $V_\gamma$ , așa cum s-a ilustrat în fig. 7. 4.

Parametrii acestui model sunt:

$V_\gamma$  - tensiunea de deschidere și

$R_f$  - rezistența echivalentă a diodei.

De exemplu, pentru o diodă cu siliciu la care  $I_M = 50$  mA, valorile celor doi parametrii pot fi:

$V_\gamma \cong 0,65$  V și

$R_f \cong 5,5$   $\Omega$ .

Rezistența totală de pierderi, în înfășurările transformatorului și diodă, este:

$$R_i = R_T + R_f \quad (7.4)$$

Dacă se neglijează  $V_\gamma$ , curentul prin sarcină se poate explicita astfel:

$$i_o = \begin{cases} I_M \cdot \sin \omega t & \text{pentru } 0 < \omega t \leq \pi \\ 0 & \text{pentru } \pi < \omega t \leq 2\pi \end{cases}, \quad \text{unde } I_M = \frac{V_2}{R_i + R_L}$$

Dezvoltarea în serie Fourier pentru  $i_o$  conduce la următoarea expresie [6]:

$$i_o = I_M \cdot \left[ \frac{1}{\pi} + \frac{1}{2} \cdot \sin \omega t - \frac{2}{\pi} \cdot \sum_{k=2,4,6,\dots} \frac{\cos k \omega t}{(k+1) \cdot (k-1)} \right] \quad (7.5)$$

Rezultă curentul mediu redresat:

$$I_O = \frac{I_M}{\pi}$$

Tensiunea medie redresată este:

$$V_O = R_L \cdot I_O = R_L \cdot \frac{I_M}{\pi} = \frac{R_L}{R_i + R_L} \cdot \frac{V_2}{\pi} \quad (7.6)$$

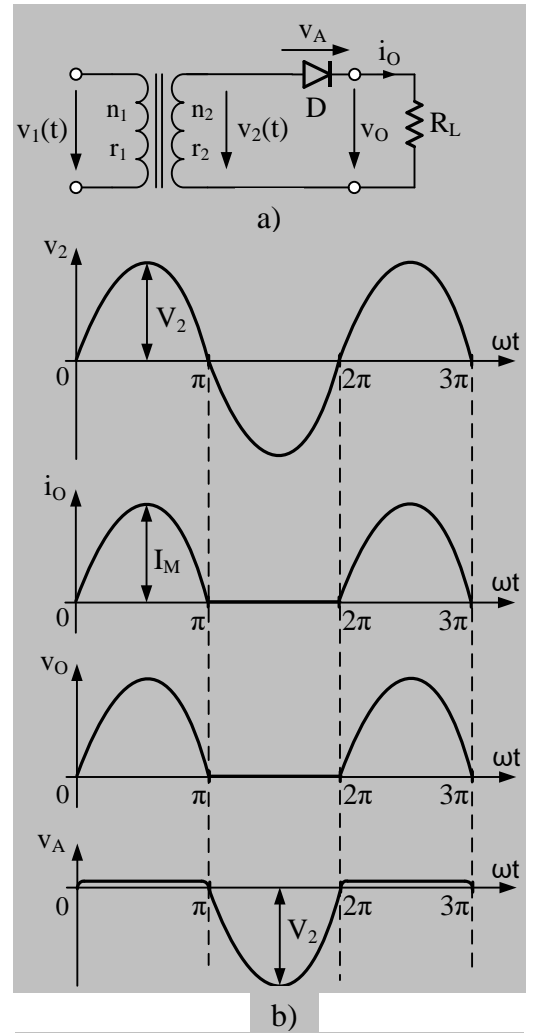


Fig. 7.3. Redresor monoalternanță:  
a) schemă electrică;  
b) forme de undă

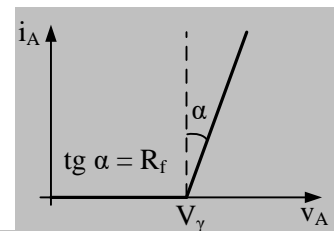


Fig. 5.4. Caracteristica liniarizată a diodei redresoare

Amplitudinea componentei variabile de frecvență minimă și diferită de zero este pe frecvența tensiunii  $v_2(t)$ :

$$V_{01} = R_L \cdot I_{01} = R_L \cdot \frac{I_M}{2} = \frac{R_L}{R_i + R_L} \cdot \frac{V_2}{2} \quad (7.7)$$

Valoarea eficace a curentului total în sarcină este:

$$I_{OEF}^2 = \frac{1}{T} \int_0^T i_o^2 dt = \frac{1}{2\pi} \int_0^\pi I_M^2 \sin^2 \omega t dt = \frac{I_M^2}{4} \Rightarrow I_{OEF} = \frac{I_M}{2} \quad (7.8)$$

Valoarea eficace a undulațiilor este:

$$I_{Oef}^2 = I_{OEF}^2 - I_o^2 = \frac{I_M^2}{4} - \frac{I_M^2}{\pi^2} \quad (7.9)$$

**Caracteristica externă**

$$V_o = \frac{V_2}{\pi} - R_i \cdot I_o \quad (7.10)$$

**Randamentul redresării**

$$\eta = \frac{R_L \cdot I_o^2}{(R_i + R_L) \cdot I_{OEF}^2} = \frac{\left(\frac{I_o}{I_{OEF}}\right)^2}{1 + \frac{R_i}{R_L}} = \frac{4}{\pi^2} \cdot \frac{1}{1 + \frac{R_i}{R_L}} < 0,4 \quad (7.11)$$

Pentru  $R_i \ll R_L$  rezultă că  $\eta \rightarrow 40\%$ .

**Factorul de undulație**

$$\gamma = \frac{V_{01}}{V_o} = \frac{R_L \cdot \frac{I_M}{2}}{R_L \cdot \frac{I_M}{\pi}} = \frac{\pi}{2} \cong 1,57 \quad (7.12)$$

**Valorile maxime ale parametrilor diodelor**

$$I_{AM} = I_M < I_{FRM}, \quad I_{AO} = I_o = \frac{I_M}{\pi} < I_{FAVM}, \quad V_{ARM} = V_2 < V_{RRM} \quad (7.13)$$

### Aplicația 7.1

Pentru redresorul din fig. 5.3a se cunoaște:  $V_1 = 311V$ ,  $n_1/n_2 = 10$ ,  $r_1 = 100 \Omega$ ,  $r_2 = 1 \Omega$ ,  $D$  ( $R_f = 1 \Omega$ ,  $V_\gamma = 0,7 V$ ) și  $R_L = 100\Omega$ .

**Se cere:**

- Tensiunea medie pe sarcină și curentul mediu prin sarcină;
- Randamentul redresării;
- Factorul de undulație al tensiunii pe sarcină;
- Valorile pentru:  $I_{AO}$ ,  $I_{AM}$  și  $V_{ARM}$ .

### Rezolvare

$$a) \quad \frac{V_1}{V_2} = \frac{n_1}{n_2} \Rightarrow V_2 = V_1 \cdot \frac{n_2}{n_1} = 311 \cdot \frac{1}{10} = 31,1 V$$

$$R_T = r_1 \cdot \left( \frac{n_2}{n_1} \right)^2 + r_2 = 100 \cdot \left( \frac{1}{10} \right)^2 + 1 = 2 \Omega$$

$$R_i = R_f + R_T = 2 + 1 = 3 \Omega$$

$$I_M = \frac{V_2 - V_\gamma}{R_i + R_L} = \frac{31,1 - 0,7}{3 + 100} = 0,295 \text{ A}$$

$$I_O = \frac{I_M}{\pi} = \frac{0,295}{3,14} = 0,0939 \approx 0,094 \text{ A}$$

$$V_O = R_L \cdot I_O = 100 \cdot 0,094 = 9,4 \text{ V}$$

$$\text{b) } \eta = \frac{R_L}{R_L + R_i} \cdot \frac{4}{\pi^2} = \frac{100}{100 + 3} \cdot \frac{4}{\pi^2} = 0,3935 \Rightarrow \eta \approx 39\%$$

$$\text{c) } \gamma = \frac{\pi}{2} = 1,57$$

$$\text{d) } I_{AO} = I_O = 0,096 \text{ A}$$

$$I_{AM} = I_M = 0,295 \text{ A}$$

$$V_{RM} = V_2 = 31,1 \text{ V}$$

## 7.5. Redresoare dublă alternanță fără filtru

### 7.5.1. Redresorul dublă alternanță cu priză mediană (14 dec. 2021)

Circuitul este format din două redresoare monoalternanță în antifază.

Curentul prin sarcină,  $i_O$  este suma curenților prin cele două diode:

$$i_O = i_1 + i_2 \approx I_M \cdot |\sin \omega t|$$

Rezistența internă a redresorului are aceeași expresie cu cea de la redresorul monoalternanță, cu observația ca pentru înfășurarea secundară se vor folosi parametrii unei jumătăți,  $r_2$  și  $n_2$ .

Dacă se neglijează tensiunea de deschidere a diodei, rezultă:

$$I_M = \frac{V_2}{R_i + R_L}$$

Din dezvoltarea în serie Fourier pentru  $i_O$  se obține [6]:

$$i_O = I_M \cdot \left[ \frac{2}{\pi} - \frac{4}{\pi} \cdot \sum_{k=2,4,6,\dots} \frac{\cos k \omega t}{(k+1) \cdot (k-1)} \right] \quad (7.14)$$

Rezultă curentul mediu redresat:  $I_O = \frac{2 \cdot I_M}{\pi}$

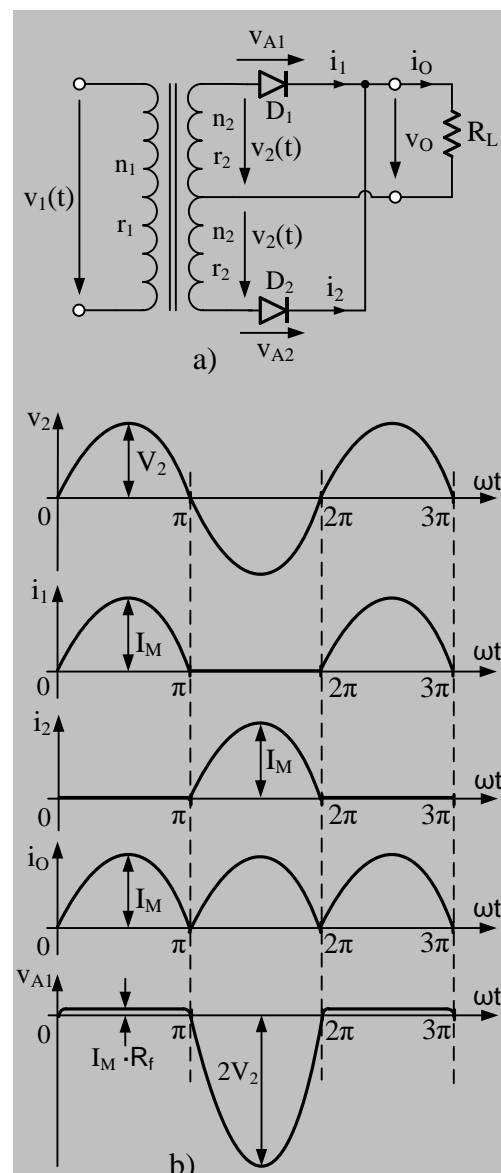


Fig. 7.5. Redresor dublă alternanță cu priză mediană: a) schemă electrică; b) forme de undă

Tensiunea medie redresată este:

$$V_o = R_L \cdot I_o = R_L \cdot \frac{2 \cdot I_M}{\pi} = \frac{R_L}{R_i + R_L} \cdot \frac{2 \cdot V_2}{\pi} \quad (7.15)$$

Amplitudinea componentei variabile de frecvență minimă și diferită de zero, numită și componentă fundamentală, este:

$$V_{o2} = R_L \cdot I_{o2} = R_L \cdot \frac{4 \cdot I_M}{3\pi} = \frac{R_L}{R_i + R_L} \cdot \frac{4 \cdot V_2}{3\pi} \quad (7.16)$$

Frecvența componentei fundamentale este dublul frecvenței tensiunii  $v_2$ .

Valoarea eficace a curentului total în sarcină se determină cu relația:

$$I_{OEF}^2 = \frac{1}{T} \int_0^T i_o^2 dt = \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} I_M^2 \sin^2 \omega t dt = \frac{I_M^2}{2} \Rightarrow I_{OEF} = \frac{I_M}{\sqrt{2}} \quad (7.17)$$

**Caracteristica externă**

$$V_o = \frac{2 \cdot V_2}{\pi} - R_i \cdot I_o \quad (7.18)$$

**Randamentul redresării**

$$\eta = \frac{R_L \cdot I_o^2}{(R_i + R_L) \cdot I_{OEF}^2} = \frac{\left(\frac{I_o}{I_{OEF}}\right)^2}{1 + \frac{R_i}{R_L}} = \frac{8}{\pi^2} \cdot \frac{1}{1 + \frac{R_i}{R_L}} \quad (7.19)$$

Pentru  $R_i \ll R_L$  rezultă că  $\eta \rightarrow 80\%$ .

**Factorul de undulație**

$$\gamma = \frac{V_{o2}}{V_o} = \frac{R_L \cdot \frac{4 \cdot I_M}{3\pi}}{R_L \cdot \frac{2 \cdot I_M}{\pi}} = \frac{2}{3} \cong 0,67 \quad (7.20)$$

**Valorile maxime ale parametrilor diodelor**

$$I_{AM} = I_M < I_{FRM}, \quad I_{AO} = \frac{I_o}{2} = \frac{I_M}{\pi} < I_{FAVM},$$

$$V_{ARM} = 2 \cdot V_2 < V_{RRM} \quad (5.21)$$

### 7.5.2. Redresorul dublă alternanță în punte

Structura realizată cu patru diode redresoare dispuse în punte (câte o diodă pe fiecare din cele patru laturi), ca în fig. 7.6a, se numește punte redresoare.

Parametrii acestui tip de redresor sunt identici cu cei ai redresorului cu priză mediană, mai puțin tensiunea inversă maximă pe diode, care este pe jumătate:

$$V_{ARM} = V_2 < V_{RRM}$$

și rezistența internă, care este:  $R_i = R_T + 2 \cdot R_f$

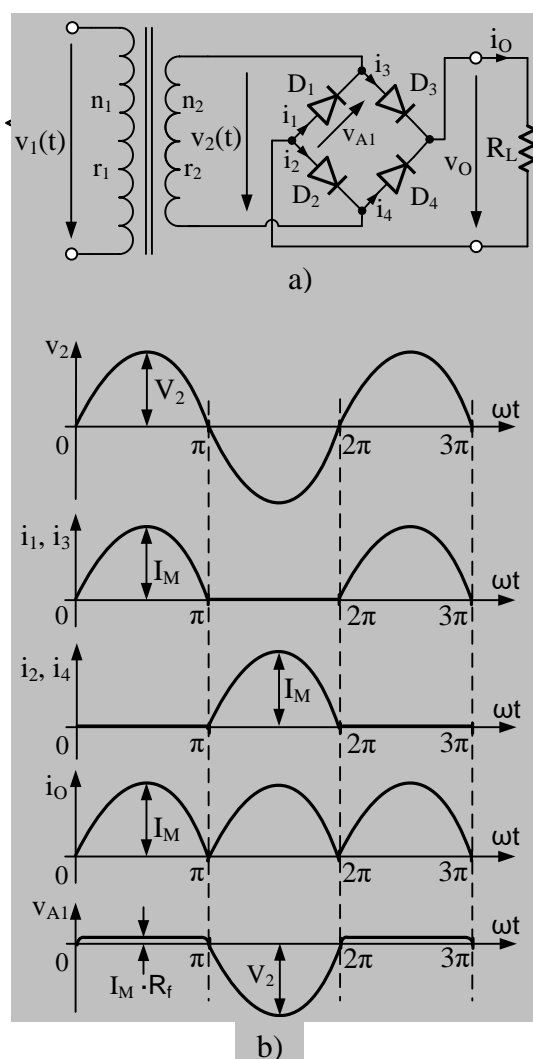


Fig. 7.6. Redresor dublă alternanță în punte: a) schemă electrică; b) forme de undă

În aplicații în care nivelul semnalului prelucrat este foarte mic și consumul este scăzut se preferă redresorul cu priză mediană deoarece, prin structura sa simetrică din secundar permite o reducere a perturbațiilor provenite din rețeaua de alimentare.

## 7.6. Redresorul monoalternanță cu filtru capacitiv

Utilizarea filtrului la un redresor conduce la scăderea factorului de ondulație. Pentru simplificarea calculelor se neglijează pierderile ( $R_i = 0$ ). Se consideră o capacitate  $C$  mare, ceea ce conduce la:  $\omega \cdot C \cdot R_L \gg 1$ . Dioda se va afla în conducție numai în intervalul în care tensiunea din secundar,  $v_2(t)$  este mai mică decât tensiunea pe sarcină,  $v_O$ . Acest interval se numește unghi de conducție al diodei.

$$\theta = \theta_2 - \theta_1$$

Deoarece am considerat rezistența de pierderi și căderea de tensiune pe diodă nule, în fig. 7.7b conducția diodei are loc pentru  $v_2(t) = v_O$ .

Tensiunea de ieșire are o componentă medie,  $V_O$  și o componentă variabilă (ondulație) de amplitudine  $V_O = \Delta v_O$ . Ca urmare, ținând cont de neglijarile precizate anterior, rezultă:

$$V_O = V_2 - \Delta v_O$$

Dacă presupunem că  $C$  se descarcă liniar (ceea ce este acceptabil pentru  $\omega \cdot C \cdot R_L \gg 1$ ) și punem condiția ca sarcina acumulată la încărcare să fie egală cu cea pierdută la descărcarea condensatorului, atunci:

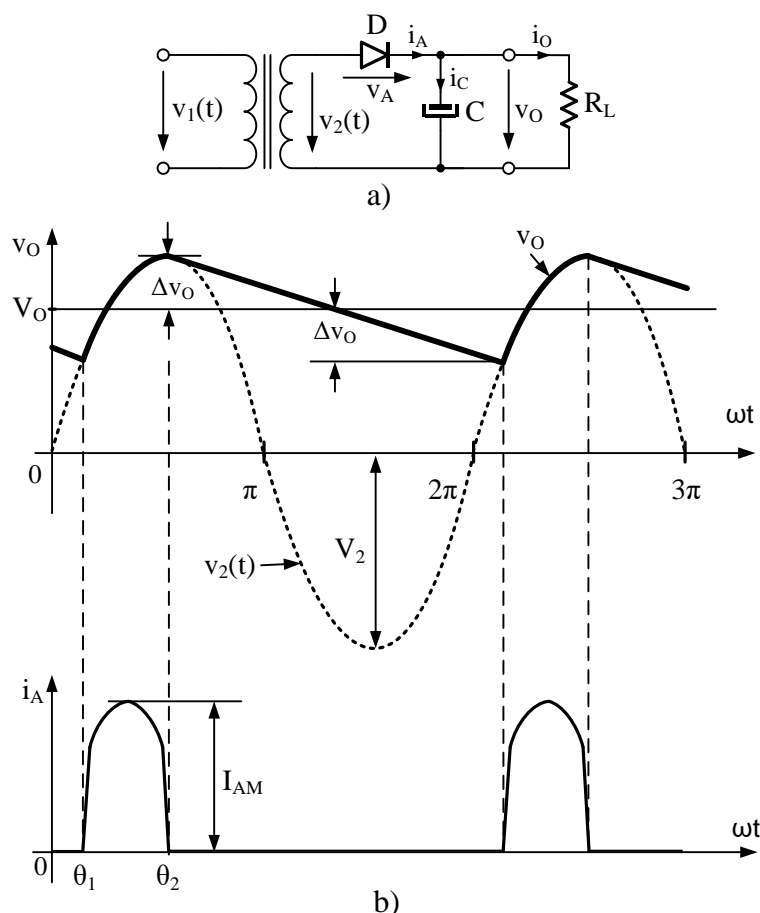


Fig. 7.7. Redresor monoalternanță cu filtru capacitiv:  
a) schemă electrică; b) forme de undă

$$2 \cdot C \cdot \Delta v_o = I_o \cdot T = I_o \cdot \frac{2\pi}{\omega} \Rightarrow \Delta v_o = \frac{\pi \cdot I_o}{\omega \cdot C}$$

**Caracteristica externă**

$$V_o = V_2 - \frac{\pi}{\omega \cdot C} \cdot I_o \quad (7.22)$$

**Factorul de ondulație**

$$\gamma = \frac{\Delta v_o}{V_o} = \frac{\pi \cdot I_o}{\omega \cdot C} \cdot \frac{1}{R_L \cdot I_o} = \frac{\pi}{\omega \cdot R_L \cdot C} \quad (7.23)$$

De remarcat că factorul de ondulație este invers proporțional cu capacitatea de filtraj,  $C$ . În gol ( $I_o = 0$ ) rezultă  $V_o = V_2$ , mult mai mare decât la redresorul monoalternanță fără filtraj.

**Valorile maxime ale parametrilor diodelor**

$$I_{AO} = I_o = \frac{V_o}{R_L} < I_{FAVM}, \quad V_{ARM} = 2 \cdot V_2 < V_{RRM}$$

Estimarea curentului maxim prin diodă,  $I_M$  se poate face cu relația:

$$I_{AM} = I_{AO} \sqrt{\pi \cdot \omega \cdot R_L \cdot C} < I_{FRM} \quad (7.24)$$

dacă  $\omega \cdot C \cdot R_L \gg 1$ .

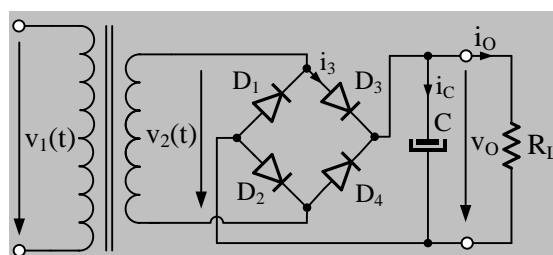


Fig. 7.8. Redresor dublă alternanță în punte cu filtru capacitiv

**7.7. Redresoare dublă alternanță cu filtru capacitiv (09.12.2024)**

Prin adăugarea unui condensator în paralel cu sarcina în fig. 7.5 și 7.6 se obțin redresoarele dublă alternanță cu filtru capacitiv. Frecvența oscilațiilor este egală cu dublul frecvenței rețelei de alimentare. Ca urmare, filtrul are o eficiență mai mare, rezultând un **factor de ondulație** de două ori mai mic:

$$\gamma = \frac{\pi}{2 \cdot \omega \cdot R_L \cdot C} \quad (7.25)$$

**Caracteristica de ieșire**

$$V_o = V_2 - \frac{\pi}{2 \cdot \omega \cdot C} \cdot I_o \quad (7.26)$$

**Valorile maxime ale parametrilor diodelor**

- redresor cu priză mediană:

$$V_{ARM} = 2 \cdot V_2 < V_{RRM}$$

- redresor în punte:

$$V_{ARM} = V_2 < V_{RRM}$$

Ceilați parametri rămân ca la redresorul monoalternanță cu filtru capacitiv.

**Aplicația 7.2**

Pentru redresorul dublă alternanță în punte cu filtru capacitiv din fig. 7.8 se cunoaște:  $C = 1000 \mu F$ ,  $R_L = 50 \Omega$ ,  $V_2 = 44 V$  și  $f = 50 Hz$ . Se va considera că rezistența internă a redresorului și căderile de tensiune pe diode sunt neglijabile.

**Să se determine:**



- a) Factorul de ondulație al tensiunii de ieșire;
- b) Valoarea componentei medii a tensiunii de ieșire;
- c) Valorile maxime ale parametrilor diodelor:  $I_{AO}$ ,  $I_{AM}$  și  $V_{ARM}$ ;
- d) Să se verifice prin simulare valorile obținute pentru parametrii, la punctele anterioare.

### Rezolvare

$$a) \quad \gamma = \frac{\Delta v_o}{V_o} = \frac{\pi}{2 \cdot \omega \cdot R_L \cdot C} = \frac{\pi}{2 \cdot 2\pi \cdot 50 \cdot 50 \cdot 10^{-3}} = 0,1$$

$$b) \quad V_o = V_2 - \Delta v_o = V_2 - \gamma \cdot V_o \Rightarrow V_o = \frac{V_2}{1+\gamma} = \frac{44}{1+0,1} = 40V$$

$$c) \quad I_{AO} = \frac{I_o}{2} = \frac{1}{2} \cdot \frac{V_o}{R_L} = \frac{40}{2 \cdot 50} = 0,4 A$$

$$I_{AM} = I_{AO} \sqrt{\pi \cdot \omega \cdot R_L \cdot C} = 0,8 \sqrt{\pi \cdot 2 \cdot \pi \cdot 50 \cdot 50 \cdot 10^{-3}} = 5,62 A$$

$$V_{ARM} \cong V_2 = 44 V$$

d) În fig. 7.9 s-au ilustrat formele de undă pentru tensiunea de ieșire,  $v_o$  și pentru curentul prin dioda  $D_3$ ,  $i_3$ . Din forma de undă (1) se determină  $\gamma$  și  $V_o$ :

$$\gamma = \frac{\Delta v_o}{V_o} = \frac{v_{o\max} - v_{o\min}}{\frac{v_{o\max} + v_{o\min}}{2}} = 2 \cdot \frac{41,8 - 35,8}{41,8 + 35,8} = 0,15$$

$$V_o = \frac{v_{o\max} + v_{o\min}}{2} = \frac{41,8 + 35,8}{2} = 38,8V$$

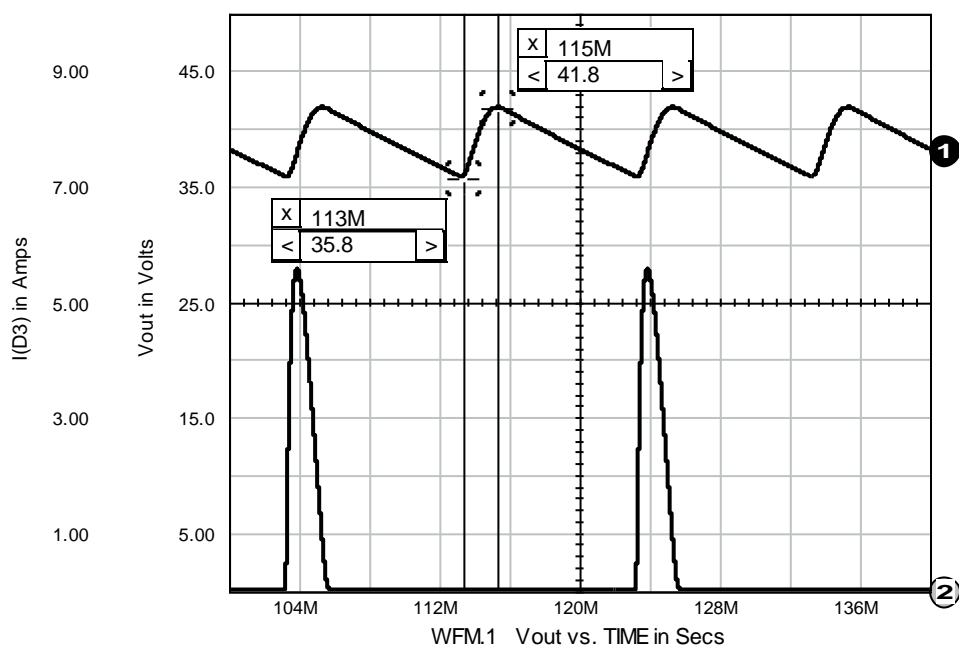


Fig. 7.9. Rezultate obținute prin simularea SPICE a circuitului din fig. 7.8:

(1) – tensiunea  $v_o$  și (2) – curentul prin dioda  $D_3$

Din forma de undă (2) se observă că:

$$I_{AM} \cong 5,6A$$

Din simulare a rezultat că:

$$I_{AO} = 0,388 \text{ A}$$

**Observație:** Rezultatele obținute prin simularea în mediul SPICE, pentru parametrii redresorului analizat sunt apropiate de cele obținute prin calcul manual. Eroarea cea mai mare s-a obținut pentru factorul de ondulație și este determinată de precizia formulei de calcul (7.25) și în mare parte de neglijările făcute pentru pierderile în transformator și diode și pentru tensiunea pe diode în conducție.

În fig. 7.10 s-au ilustrat: (1) curentul prin dioda  $D_3$ ,  $i(D3)$  și (2) curentul prin condensatorul  $C$ ,  $i(C)$ . În intervalele de timp în care  $i(C)$  este pozitiv, condensatorul se încarcă de la transformator

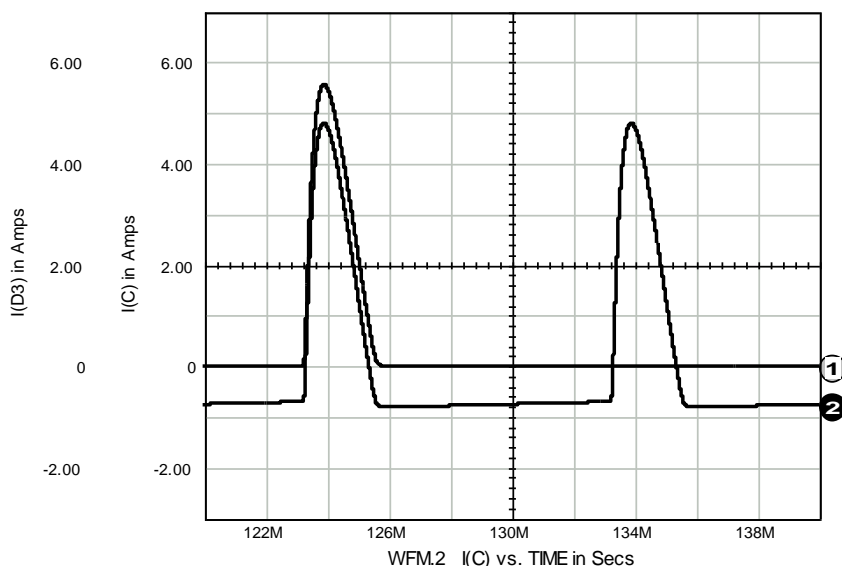


Fig. 7.10. Rezultate obținute prin simularea SPICE a circuitului din fig. 7.8:

(1) – curentul prin dioda  $D_3$  și (2) – curentul prin condensatorul  $C$

prin una din perechile de diode:  $D_3$ ,  $D_2$  sau  $D_4$ ,  $D_1$ . Când  $i(C)$  este negativ, condensatorul se descarcă pe rezistorul de sarcină,  $R_L$ . Valoarea medie pe o perioadă pentru  $i(C)$  este nulă deoarece, într-o perioadă, sarcina primită de condensator este egală cu cea cedată (neglijând pierderile în condensator). Într-un redresor cu filtru capacitiv, condensatorul are rolul de „rezervor” de energie.

## Bibliografie

1. O. Dragomirescu, D. Moraru, *Componente și circuite electronice pasive*, Ed. BREN, București, 2003.
2. N. Drăgulănescu, C. Miroiu, D. Moraru, *ABC Electronica în imagini. Componente pasive*, Ed. Tehnică, București, 1990.
3. N. Drăgulănescu, *Agenda radioelectronistului*, ediția a II-a, Ed. Tehnică, București, 1989.
4. I. Liță, M. Răducu, *Componente și circuite pasive, Îndrumar de laborator*, Ed. Universității din Pitești, Pitești, 1997.
5. S. Pașca, N. Tomescu, I. Sztojanov, *Electronică analogică și digitală, vol. 1*, Ed. Albastră, Cluj-Napoca, 2004.
6. D. Dascălu, A. Rusu, M. Profirescu, I. Costea, *Dispozitive și circuite electronice*, Ed. Didactică și Pedagogică, București, 1982.
7. G. Vasilescu, Ș. Lungu, *Electronică*, Ed. Didactică și Pedagogică, București, 1981.
8. David Comer, Donald Comer, *Fundamentals of Electronic Circuit Design*, John Wiley & Sons, Inc., USA, 2003.
9. Thomas L. Floyd, *Dispozitive electronice*, Ed. Teora, 2003.
10. M. Răducu, *Metode și tehnici de macromodelare a circuitelor electronice analogice*, teză de doctorat, Pitești, 2003.