

CAPITOLUL 3

REDRESOARE

3.2.3. Filtru L

Redresoarele de putere fie au sarcina inductiva care filtrează curentul fie utilizează filtre L.

Filtrul L (schema și forma tensiunilor sunt date în figura 3.11, pentru redresorul monofazat monoalternanță) are efectul filtrării, ca și în cazul filtrului C, proporțional cu constanta de timp a circuitului format din elementul reactiv și rezistența de sarcină. Dacă în cazul filtrului C constanta este RC , și deci cu cât R este mai mare, adică curentul mai mic, cu atât filtrul este mai eficace, pentru filtrul L constanta de timp este L/R și deci cu cât R este mai mic, adică curentul mai mare (cazul circuitelor de putere), cu atât filtrul este mai eficace.

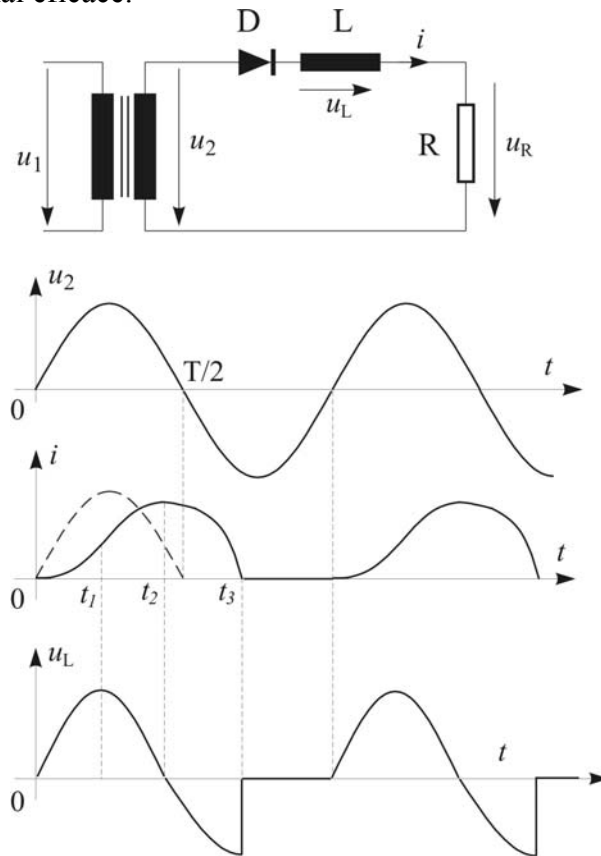


Fig. 3.11. Filtru L și forma mărimilor.

Se observă că intervalul de conducție al diodei, notat β este mai mare decât jumătate de perioadă (punctat este curentul pentru cazul fără filtru, curent ce durează doar jumătate de perioadă). Fenomenul de prelungire a conducției se datorează tensiunii inverese ce apare pe bobină în perioada în care curentul scade, conform relației cunoscute:

$$u_L = L \frac{di}{dt} \quad (3.24)$$

tensiune care menține dioda deschisă peste momentul în care tensiunea de intrare, aici u_2 , trece prin zero. Filtrul nu este utilizat sub această formă deoarece filtrajul este nesatisfăcător, iar curentul este întrerupt.

Se obține o îmbunătățire substanțială a formei curentului prin conectarea unei diode D_1 în paralel cu grupul L, R (figura 3.12). Dioda poartă numele de diodă de întoarcere (free-wheel diode) deoarece asigură o cale de întoarcere a curentului prin circuitul RL . Curentul nu se mai întrerupe la blocarea diodei redresoare ci continuă să circule pe calea închisă, R, L, D_1 , perioadă în care scade exponențial după cum este cunoscut de la regimul tranzitoriu al circuitului RL . Există o semiperioadă în care este deschisă dioda D , curentul crește și o a doua în care este deschisă dioda D_1 , curentul scade.

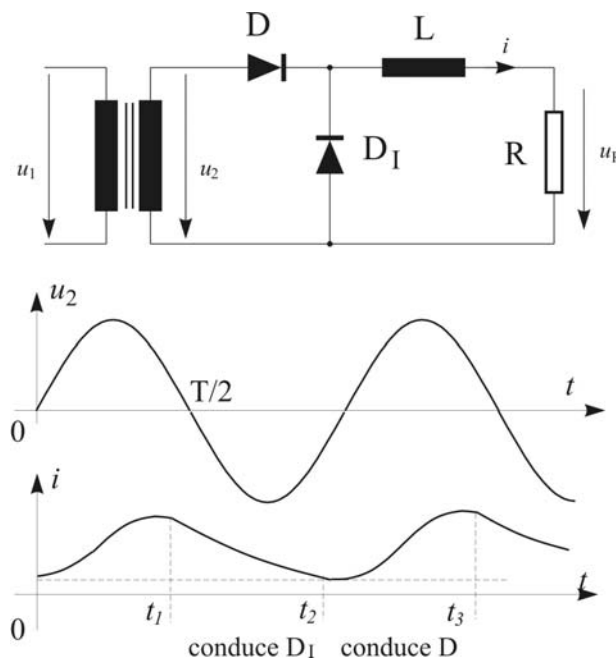


Fig. 3.12. Filtrul L cu diodă de întoarcere și forma mărimilor.

Filtrul L este foarte eficient și astfel, în analiza diferitelor scheme de redresoare de multe ori se consideră, cu o bună aproximație, că valoarea curentului de ieșire al redresorului cu filtru L este constantă.

3.2.4. Redresoare comandate

În numeroase aplicații apare nevoia reglajului nivelului tensiunii redresate. Printre soluții putem numi: introducerea unor rezistențe sau reactanțe reglabile în

circuitul primar sau secundar, utilizarea unui autotransformator sau a unui regulator de inducție. Cea mai bună soluție din punct de vedere al randamentului și în unele cazuri și al prețului, este utilizarea redresoarelor comandate. Schemele redresoarelor comandate au configurații identice cu cele ale redresoarelor necomandate, cu deosebirea că, în locul diodelor sunt folosite tiristoare. În plus, mai este nevoie de un bloc de comandă pentru tiristoare, care în prezentarea schemelor de forță se consideră subînțeles și nu este figurat.

Vom lua ca exemplu redresorul comandat monofazat cu punct median cu sarcina rezistiva din figura 3.13.

Blocul de comandă furnizează tensiunile de comandă U_{p1} și U_{p2} pentru aprinderea tiristoarelor. Unghiul α , cu care este întârziată aprinderea tiristoarelor față de trecerea prin 0 a tensiunii, este reglabil și se numește unghi de comandă.

Stingerea tiristoarelor se face atunci când tensiunea pe înfășurarea corespunzătoare trece la valori negative. Este o stingere naturală, de la rețea.

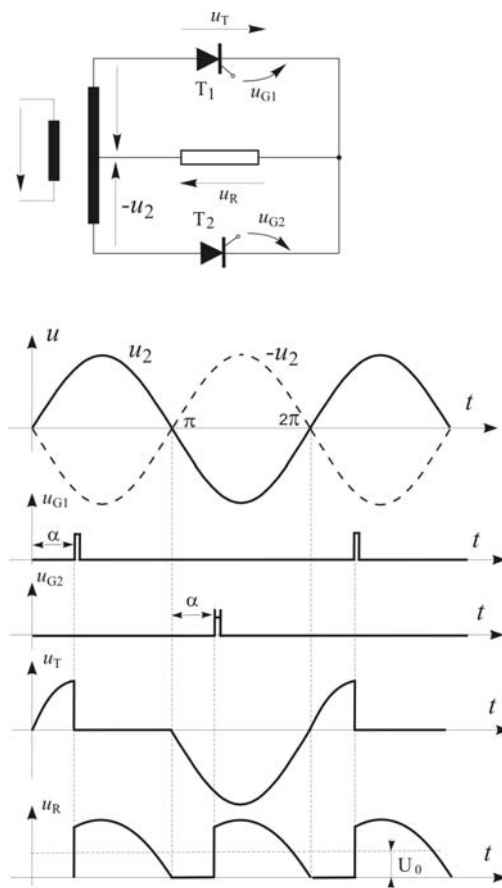


Fig. 3.13. Redresor comandat.

Tensiunea medie U_0 poate fi modificată între o valoare maximă corespunzătoare unghiului de comandă $\alpha = 0$ și o valoare minimă egală cu 0 (lipsa comenzii sau unghi de comandă între π și 2π). Într-adevăr:

$$\begin{aligned}
U_0 &= \frac{1}{T} * \int_0^T f(t) * d(t) = \frac{1}{\pi} * \int_{\alpha}^{\pi} U_M * \sin(\omega t) d(\omega t) = \\
&= \frac{1}{\pi} * \sqrt{2} U_2 * [-\cos(\omega t)] \Big|_{\alpha}^{\pi} = \frac{1}{\pi} * \sqrt{2} U_2 * (-\cos(\pi) + \cos(\alpha)) = \\
&= \frac{\sqrt{2} U_2}{\pi} * [1 + \cos(\alpha)]
\end{aligned} \tag{3.25}$$

Se pot observa următoarele situații limită:

- $\alpha=0$, redresorul fiind necomandat;
- $U_{oM} = \frac{2\sqrt{2}U_2}{\pi}$;
- $\alpha=\pi$;
- $U_{om} = 0$.

Varianta în care $U_0 = f(\alpha)$, aproximată pentru 1+4 puncte.

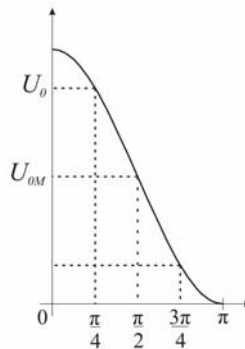


Fig. 3.14. Varianta $U_0 = f(\alpha)$.

3.3. Redresoare trifazate

Redresoarele trifazate au un randament superior celor monofazate și sunt utilizate la puteri mari, kW până la MW.

Cele mai utilizate variante sunt:

- redresorul trifazat cu punct median sau în stea;
- redresorul trifazat în punte.

3.3.1. Redresor trifazat cu punct median (stea)

Schema redresorului și formele de undă sunt prezentate în figura 3.15. Transformatorul trifazat este în cazul redresoarelor realizat în varianta triunghi-stea.

Pe fiecare fază a secundarului este câte o diodă care sunt legate în continuare la un punct comun. Sarcina este conectată între acest punct comun și centrul stelei înfășurărilor secundare. Tensiunile pe cele trei faze sunt prezentate în figura. 3.15. Funcționarea într-o perioadă a tensiunii rețelei se subîmparte în trei părți care corespund celor trei subintervale în care, pe rând, una din cele trei tensiuni ale fazelor este mai mare (sau mai mică dacă diodele ar fi fost conectate invers) decât celelalte două.

De exemplu, în intervalul $\pi/6 - 5\pi/6$ tensiunea mai mare este u_{12} . În acest subinterval este deschisă dioda corespunzătoare fazei, adică în cazul acesta D_1 . Celelalte două diode sunt blocate. Tensiunea pe sarcină este egală cu u_{12} .

În momentul $5\pi/6$ tensiunea u_{22} devine mai mare decât u_{12} . În acest moment se blochează dioda D_1 și se deschide dioda D_2 iar tensiunea pe sarcină devine egală cu u_{22} . Apoi, se deschide D_3 și în continuare ciclul se reia. În acest fel tensiunea pe sarcină este înfășurătoarea pozitivă a sistemului de tensiuni trifazate.

Dacă sensul diodelor ar fi fost invers, atunci pe sarcină ar fi fost o tensiune negativă, înfășurătoarea negativă a sistemului de tensiuni trifazate.

Se observă că spre deosebire de redresoarele anterioare pulsațiile tensiunii redresate, Δu , sunt mult micșorate.

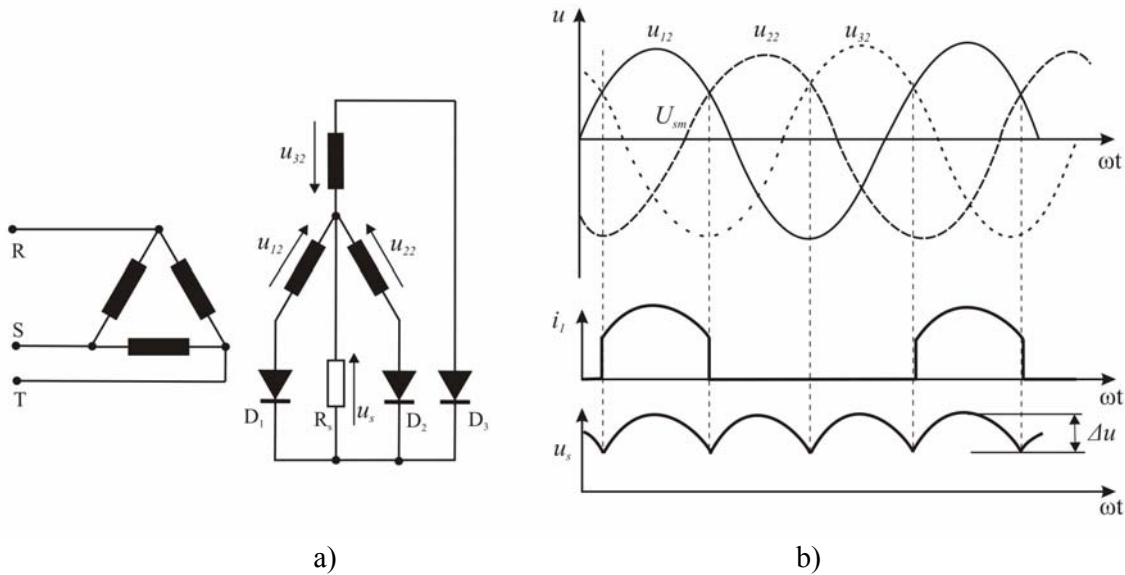


Fig. 3.15. Redresor trifazat în stea: a) schema de forță; b) forma tensiunilor.

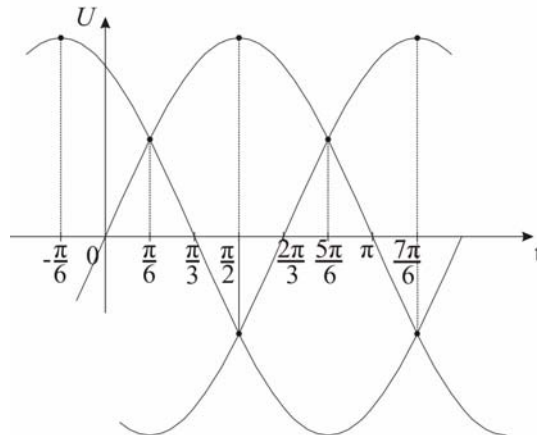


Fig. 3.16. Punctele importante pentru un redresor trifazat comandat. Valoarea medie a tensiunii redresate este:

$$\begin{aligned}
U_0 &= \frac{1}{T} * \int_0^T f(t) * d(t) = \frac{1}{2\pi} * \int_{\frac{\pi}{6}}^{\frac{5\pi}{6}} U_M * \sin(\omega t) d(\omega t) = \\
&= \frac{3}{2\pi} * \sqrt{2} U_2 * [-\cos(\omega t)] \Big|_{\frac{\pi}{6}}^{\frac{5\pi}{6}} = \frac{3\sqrt{2}}{2\pi} * U_2 * [-\cos(\frac{5\pi}{6}) + \cos(\frac{\pi}{6})] = \\
&= \frac{3\sqrt{6}}{\pi} * U_2
\end{aligned} \tag{3.26}$$

3.3.2. Redresor trifazat în punte

Redresorul trifazat în punte are schema și formele de undă prezentate în figura 3.17.

Funcționarea schemei se împarte în subintervale egale cu a șasea parte dintr-o perioadă sau $\pi/3$ dacă considerăm formele de undă așa cum sunt desenate, funcție de unghi, ωt .

În fiecare subinterval sunt deschise două dintre diodele punții și anume una din grupul de trei din stanga, cu anodul conectat în comun și una din grupul de trei din dreapta, cu catodul conectat în comun. În grupul cu anodul comun va fi deschisă aceea căreia îi corespunde tensiunea de fază cea mai mare, pozitivă, aplicată între anod și centrul stelei înfășurărilor secundare ale transformatorului. În grupul cu catodul comun va fi deschisă aceea căreia îi corespunde tensiunea de fază cea mai mică, negativă, aplicată între catod și centrul stelei înfășurărilor secundare ale transformatorului.

De exemplu, în intervalul $\pi/6 - 3\pi/6$ cea mai mare tensiune de fază este u_{21} și corespunzător este deschisă dioda D_1 iar cea mai mică tensiune de fază este u_{22} și corespunzător este deschisă dioda D_5 . Astfel schema echivalentă a redresorului în acest interval este aceea din figura 3.18 (s-au păstrat ramurile punții corespunzătoare diodelor deschise, celelalte sunt marcate cu linie întreruptă). Aplicând teorema a doua a lui Kirchhoff se obține expresia tensiunii de sarcină pe subintervalul $\pi/6 - 3\pi/6$:

$$u_s = u_{21} - u_{22} \tag{3.27}$$

Această tensiune corespunde de fapt suprafeței umbrite din sistemul trifazat de tensiuni, iar pe sarcină are forma de asemenea umbrită din graficul tensiunii de sarcină.

Valoarea maximă a tensiunii pe sarcină este:

$$U_{SMax} = \sqrt{3} U_2 \tag{3.28}$$

Acest tip de redresor are cele mai bune performanțe. Randament maxim și pulsații minime ale tensiunii pe sarcină.

Valoarea medie a tensiunii redresate obținută este:

$$\begin{aligned}
 U_0 &= \frac{1}{T} * \int_0^T f(t) * d(t) = \frac{1}{\pi} * \int_{-\frac{\pi}{6}}^{\frac{\pi}{6}} \sqrt{3} U_M * \cos(\omega t) d(\omega t) = \\
 &= \frac{3}{\pi} * \sqrt{3} U_M * [\sin(\omega t)] \Big|_{-\frac{\pi}{6}}^{\frac{\pi}{6}} = \frac{3\sqrt{3}}{\pi} * U_M * \left(\frac{1}{2} + \frac{1}{2}\right) = \\
 &= \frac{3\sqrt{3}}{\pi} * U_M = \frac{6\sqrt{3}}{\pi} * U_2
 \end{aligned} \tag{3.29}$$

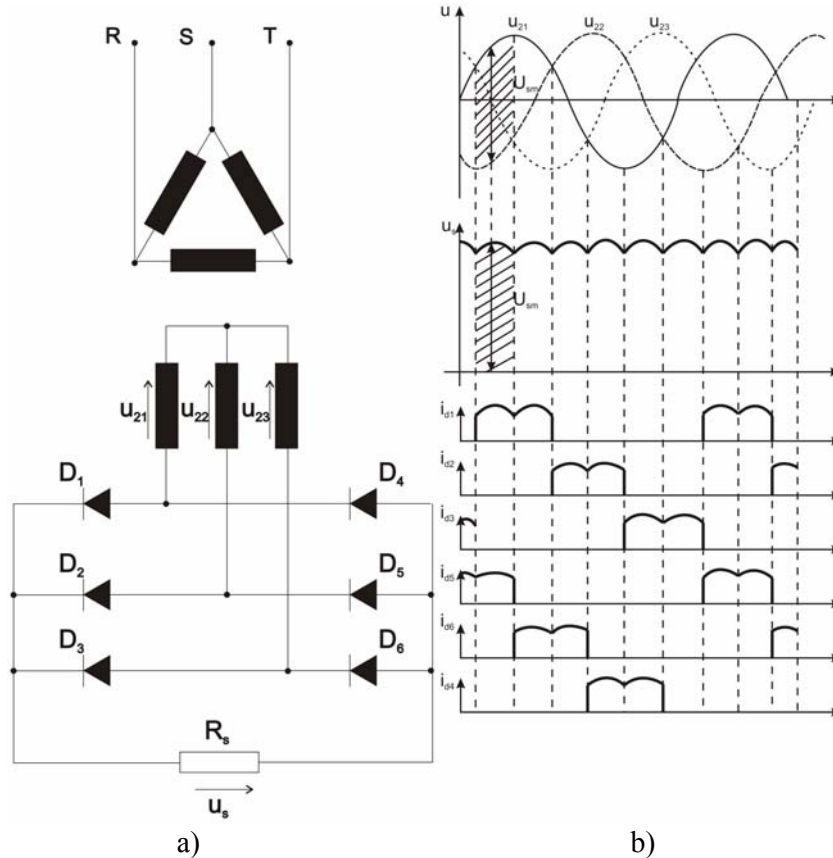


Fig. 3.17. Redresor trifazat în punte: a) schema; b) forma tensiunilor.

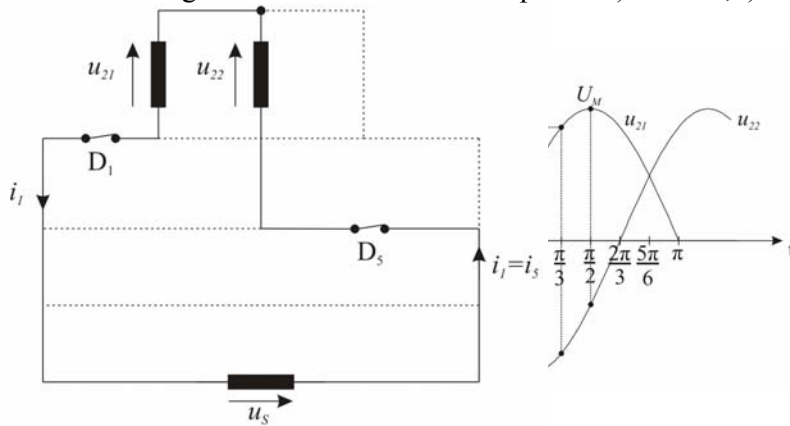


Fig. 3.18. Schema echivalentă a redresorului într-un subinterval de funcționare.

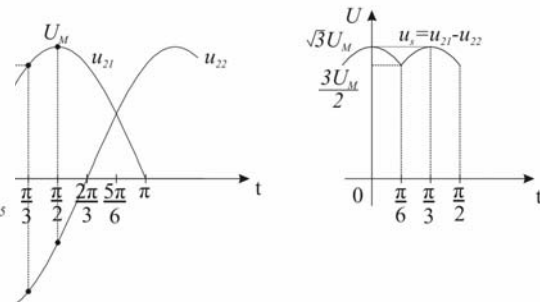


Fig. 3.19. Puncte importante pentru redresorul trifazat.

Pentru redresoarele de putere trifazate, în multe cazuri sarcina este puternic inductivă sau sunt folosite filtre L și atunci, într-o primă analiză a redresorului se poate considera curentul de sarcină constant.