

5. Redresoare

Funcțiunea de redresare: producerea unui semnal de ieșire care să aibă mereu o singură polaritate, pe baza variației în timp a unui semnal de intrare, chiar dacă acesta are polaritate variabilă. Circuitul care îndeplinește această funcțiune se numește *redresor*.

Redresarea poate fi folosită în scop informațional sau în scop energetic. În cazul în care energia semnalului este esențială (electronica de putere), redresorul este un caz particular al circuitelor numite *convertoare (statice) de energie electrică*. Mai fac parte din aceeași categorie *invertoarele*, *variatoarele de c.c.* și *variatoarele de c.a.*. Semnalele vehiculate în circuitele de conversie a energiei sînt numai analogice (chiar dacă comanda circuitelor poate fi și numerică).

Redresarea în scop informațional: modulul unui semnal, maximum unui semnal, demodulare de anvelopă.

Performanțele unui redresor:

- tensiunea medie
- tensiunea de vîrf
- ondulația tensiunii (raportul dintre excursia vîrf-vîrf a tensiunii și componenta medie), atunci cînd există filtru
- curentul maxim.

La analiza redresorului se determină nu numai performanțele menționate mai sus, ci și valorile limită pe care le suportă dispozitivele (vor fi folosite la proiectare):

- tensiune inversă maximă
- curent mediu
- curent de vîrf.

5.1 Redresoare de mică putere

Pentru alimentarea circuitelor electronice (scop energetic) se folosesc cîteva tipuri de redresoare:

- monoalternanță (figura 5.1a)
- bialternanță (figura 5.1b)
- punte (figura 5.1c)

Schemele lor de principiu, în ipoteza că lucrează pe sarcină rezistivă, sînt prezentate în figura 5.1. Există și situația cînd sarcina are caracter reactiv (va fi tratată odată cu analiza filtrului).

Aceste circuite (sarcină rezistivă) vor fi analizate, pentru a determina performanțele și valorile limită menționate mai sus. Peste tot, se face ipoteza că se cunoaște valoarea efectivă a tensiunii pe secundar, U_2 (de fapt, aceasta depinde de tensiunea de mers în gol a secundarului, de rezistența secundarului și de curentul absorbit).

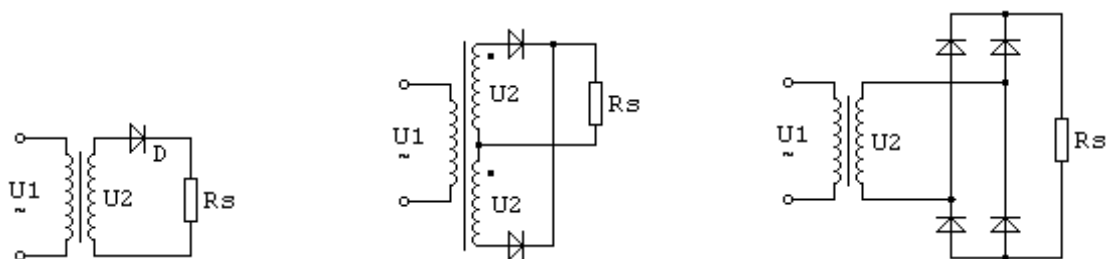


Figura 5.1: Scheme ale redresoarelor de mică putere uzuale

Redresor monoalternanță

Diagramele tensiunilor sînt prezentate în figura 5.2, 1 puls pe perioadă. Dacă se neglijează căderea de tensiune pe diodă, tensiunea medie pe sarcină are expresia:

$$U_{s_med} \cong \frac{1}{T} \int_0^{T/2} U_2 \sqrt{2} \cdot \sin(\omega t) \cdot dt = \frac{U_2 \sqrt{2}}{\omega T} \int_0^{\pi} \sin \alpha \cdot d\alpha = \frac{U_2 \sqrt{2}}{\pi} \quad (5.1)$$

Valorile limită pentru diodă:

$$U_{D_max} = U_2 \sqrt{2}$$

$$I_{D_max} = \frac{U_2 \sqrt{2}}{R_s}$$

$$I_{D_med} = \frac{U_{s_med}}{R_s}$$

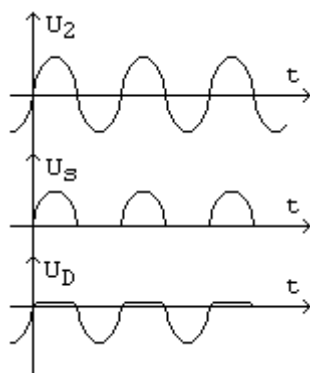


Figura 5.2: Diagramele semnalelor la redresorul monoalternanță

Redresorul bialternanță

Diagramele tensiunilor sînt prezentate în figura 5.3, 2 pulsuri pe perioadă. Dacă se neglijează căderea de tensiune pe diode, tensiunea medie pe sarcină are expresia:

$$U_{s_med} \cong \frac{1}{T} \int_0^{T/2} U_2 \sqrt{2} \cdot \sin(\omega t) \cdot dt + \frac{1}{T} \int_{T/2}^T U_2 \sqrt{2} \cdot (-\sin \omega t) \cdot dt = \frac{2U_2 \sqrt{2}}{\pi} \quad (5.2)$$

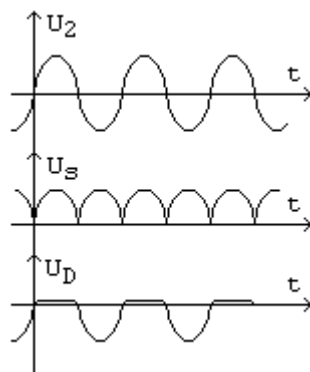


Figura 5.3: Diagramele semnalelor la redresorul bialternanță

Pentru fiecare diodă:

$$U_{D_max} = 2U_2 \sqrt{2}$$

$$I_{D_max} = \frac{U_2 \sqrt{2}}{R_s}$$

$$I_{D_med} = \frac{1}{2} \frac{U_{s_med}}{R_s}$$

Redresor în punte

Diagramele tensiunilor sînt cele din figura 5.3, 2 pulsuri pe perioadă. Dacă se neglijează căderea de tensiune pe cele două diode deschise, tensiunea medie pe sarcină are expresia (5.2):

$$U_{s_med} \cong \frac{2U_2 \sqrt{2}}{\pi}.$$

Totuși, pentru tensiuni redresate mici, tensiunea care se pierde pe diodă are o pondere mai mare, deci este utilă evaluarea mai exactă a tensiunii medii.

Valorile limită pentru diode:

$$U_{D_max} \cong U_2 \sqrt{2}$$

$$I_{D_max} = \frac{U_2 \sqrt{2}}{R_s}$$

$$I_{D_med} = \frac{1}{2} \frac{U_{s_med}}{R_s}$$

Pentru redresorul în punte (figura 5.1c), se mai folosește simbolul din figura 5.4.

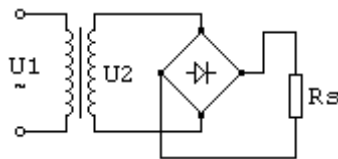


Figura 5.4: Simbol pentru redresorul în punte

Dintre cele trei variante de redresor, lucrînd pe sarcină rezistivă, redresorul monoalternanță folosește transformatorul în mod ineficace, deoarece curentul prin secundar este nesinusoidal. Rețeaua electrică este poluată cu armonice superioare ale frecvenței de bază și este necesar un transformator de putere nominală mai mare decît cea transmisă sarcinii.

Redresor trifazat

Figura 5.5a conține schema unui redresor trifazat necomandat (cu diode), lucrînd pe sarcină rezistivă. Diagrama tensiunii pe sarcină este prezentată în figura 5.5b. Sînt produse 6 pulsuri pe perioadă.

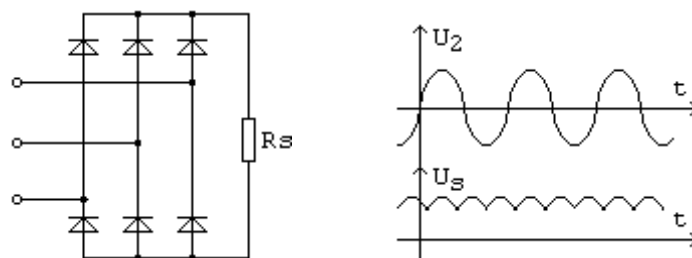


Figura 5.5: Redresor trifazat cu diode, sarcină rezistivă

Expresia tensiunii medii redresate, în care U_2 este tensiunea efectivă de linie:

$$U_{\text{med}} = 6 \cdot \frac{1}{\omega T} U_2 \sqrt{2} \int_{\pi/3}^{2\pi/3} \sin \alpha \cdot d\alpha = \frac{3U_2 \sqrt{2}}{\pi} \quad (5.3)$$

Evaluarea valorilor limită pentru diode decurge la fel ca la circuitele precedente (semnificația lui U_2 ca mai sus).

$$U_{D_max} \cong U_2 \sqrt{2}$$

$$I_{D_max} = \frac{U_2 \sqrt{2}}{R_s}$$

$$I_{D_med} = \frac{1}{3} \frac{U_{s_med}}{R_s}$$

5.2 Filtrul

De regulă, alimentarea circuitelor electronice se face cu tensiune netedă, deci formele de undă ale tensiunii de sarcină din figurile 5.2 și 5.3 nu sînt satisfăcătoare. Este necesar un filtru pentru tensiunea de sarcină.

Filtrare = schimbarea componenței spectrale a semnalului, prin eliminarea unor componente din spectrul semnalului de intrare. Circuitul care îndeplinește funcțiunea de filtrare se numește *filtru*. Există filtre care nu folosesc o sursă de energie externă (*filtre pasive*) și filtre care au în componența lor amplificatoare, deci folosesc surse externe de energie (*filtre active*). Acestea din urmă există atît în varianta analogică (prelucrează semnal analogic) cît și numerică (prelucrează semnal numeric). Noțiunea de filtru este foarte generală, se poate aplica multor categorii de circuite. Aici este subînțeleasă intenția de a realiza exclusiv modificarea spectrului.

Noțiunea de filtru există atît în contextul circuitelor de semnal mic, cît și al celor de putere. În cazul circuitelor de alimentare, se pune exclusiv problema filtrării trece-jos, adică eliminarea armonicilor superioare și furnizarea către sarcină a componentei medii (se mai spune că se „netezește” mărimea de ieșire). În figura 5.6 apar variante simple de filtru, folosite pentru netezirea tensiunii, respectiv curentului. În prezent, varianta filtrului inductiv (netezirea curentului) nu se mai folosește pentru alimentarea circuitelor electronice. Ea nu este adecvată deoarece toate circuitele solicită tensiune de alimentare constantă, la curent variabil.

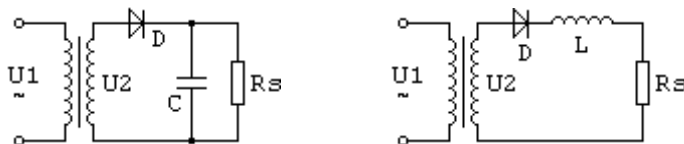


Figura 5.6: Filtrarea tensiunii redresate: filtru C, filtru L

Diagramele semnalelor din redresorul cu filtru C sînt prezentate în figura 5.7. Deși condensatorul este componentă liniară, comportarea circuitului rămîne neliniară, din cauza diodelor. Se observă următorul fenomen: diodele conduc doar o parte din perioadă, cînd condensatorul acumulează energie. În restul perioadei, diodele sînt blocate, energia transmisă sarcinii provine din condensator. Tensiunea de undulație pe sarcină este chiar valoarea tensiunii descărcate de pe condensator, ea va scădea odată cu creșterea capacității (tensiunea pe sarcină devine mai netedă pe măsură ce capacitatea condensatorului este mai mare). Tensiunea medie pe sarcină tinde spre valoarea de vîrf a tensiunii din secundar.

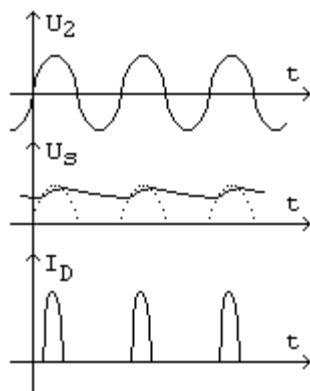


Figura 5.7: Redresor monoalternanță cu filtru C, tensiunea filtrată și curentul prin diode

Evaluarea aproximativă a tensiunii de ondulație se face presupunând durata conducției prin diode foarte mică și curentul de sarcină constant:

$$\Delta U_s \cong \frac{\Delta Q}{C} \cong \frac{T \cdot I_{s_med}}{C} \quad (5.4)$$

(pentru redresare bilaternanță, durata T se înlocuiește cu $T/2$, corespunzătoare duratei maxime între reîncărcările condensatorului). Relația (5.4) întărește ideea că, dacă dorim tensiune foarte netedă, trebuie ales un condensator cu capacitatea foarte mare. Din păcate, prețul plătit pentru netezirea tensiunii este foarte mare, el va fi explicat în continuare.

Pentru același curent mediu de sarcină, creșterea capacității determină scurtarea intervalului de conducție a diodelor. Aceeași energie trebuie transmisă în timp mai scurt. Ca urmare, vârful de curent prin diodă crește, odată cu creșterea capacității. Se ajunge la situația în care creșterea capacității nu mai ameliorează semnificativ ondulația, dar mărește substanțial vârful de curent prin diode. Nu numai diodele trebuie supradimensionate din acest motiv, ci și transformatorul. În figura 5.8 este prezentat un grafic al raportului dintre valoarea de vârf și valoarea medie a curentului de sarcină. Acest grafic este util la dimensionarea diodelor (parametrul din catalog: curent de vârf repetitiv maxim).

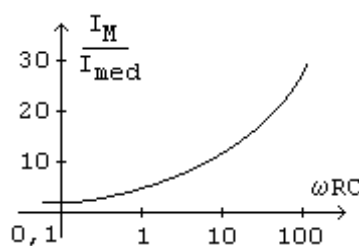


Figura 5.8: Graficul curentului de vârf la filtrarea capacitivă

În concluzie, este necesar un compromis între filtrare și dimensionarea diodelor și transformatorului. Practicienii obișnuiesc să fixeze acest compromis menținând tensiunea de ondulație între 5-10% din valoarea medie, pentru curentul nominal prin sarcină. (Problema aceasta nu se pune la redresoarele pentru prelucrarea informației, din cauza puterilor foarte mici.)

5.3 Redresoare cu multiplicarea tensiunii

Uneori sînt folosite redresoare care multiplică tensiunea secundarului. Fac parte din categoria circuitelor cu capacități comutate (aici, comutarea este indusă de tensiunea alternativă de la rețea). Există și circuite cu capacități comutate autonom, folosite tot pentru alimentare de putere mică. Ele nu folosesc redresor și vor fi studiate la alt curs.

Aplicații ale redresoarelor cu multiplicare: redresoarele de tensiuni foarte mari și curent mic (accelerare în TV, osciloscop, electrizare).

Cîteva exemple apar în figura 5.9. Motivul pentru care ele nu sînt folosite la puteri mai mari este că, pe măsură ce curentul crește, este nevoie de condensatoare mai mari, deci se accentuează curentul de vîrf prea mare prin diode și transformator.

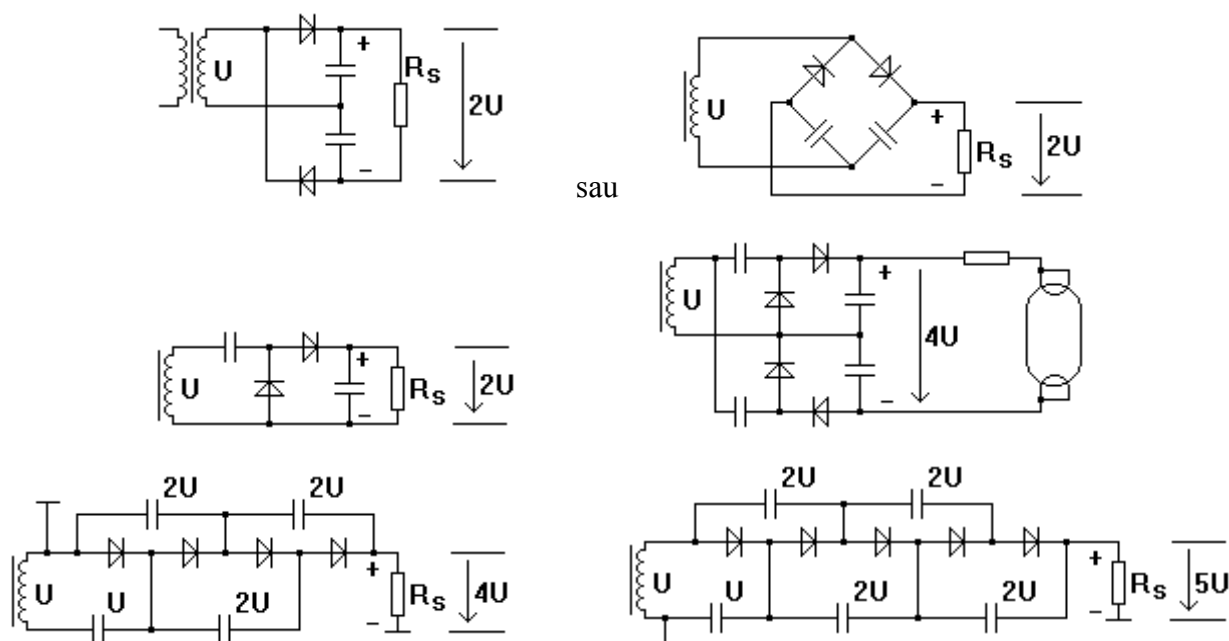


Figura 5.9: Redresoare cu multiplicarea tensiunii

5.4 Redresoare comandate

Redresoarele prezentate pînă aici au folosit doar diode, ca dispozitive cu conducție unidirecțională. Diodele nu pot fi comandate, intrarea și ieșire lor din conducție sînt decise de tensiunea la borne. În practica industrială și de laborator, este nevoie de surse de alimentare cu tensiune variabilă (exemplu: acționarea motoarelor cu viteză variabilă). Acestea folosesc dispozitive semiconductoare care pot fi comandate: tiristoare și tranzistoare de putere.

În figura 5.10a este prezentat un redresor monoalternanță cu tiristor. Schema a fost aleasă în scop didactic, pentru că un astfel de redresor nu este folosit în practică. (De regulă, se folosesc scheme bifazate sau în punte.) Tensiunea medie pe sarcină (presupusă rezistivă) este dată în (5.5):

$$U_{s-med} = \frac{U_2 \sqrt{2}}{2\pi} \int_{\alpha}^{\pi} \sin \alpha \cdot d\alpha . \quad (5.5)$$

În figura 5.11 este prezentat un redresor trifazat complet comandat, cu tiristoare, lucrînd pe sarcină preponderent inductivă. O astfel de sarcină are proprietatea că poate prelungi conducția curentului, pe seama energiei acumulate, chiar și cînd tensiunea medie este negativă.

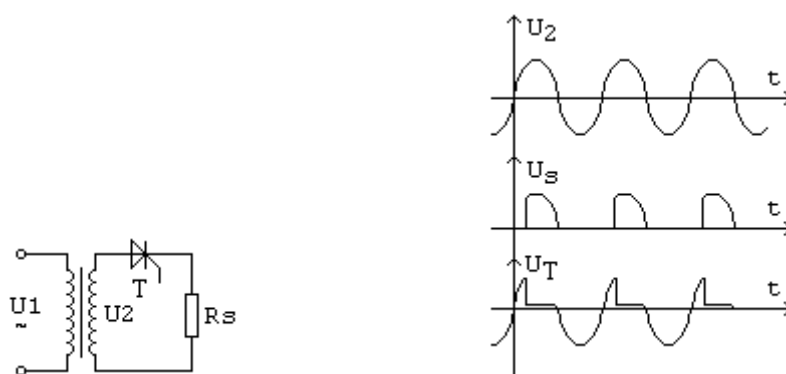


Figura 5.10: Redresor monoalternanță comandat



Figura 5.11: Redresor trifazat comandat, cu sarcină predominant inductivă