

Lucrarea 12

REDRESORUL TRIFAZAT CU PUNCT MEDIAN (M3)

1. Introducere

Redresoarele cu punct median necesită pentru alimentare un transformator prevăzut cu un punct median în secundar. În cazul redresorului trifazat M3 transformatorul poate lipsi dacă există acces la nulul rețelei. De multe ori, prezența transformatorului este justificată și de necesitatea adaptării nivelului tensiunii de la ieșirea redresorului la cel cerut de sarcină. Pe de altă parte însă, utilizarea lui este deficitară deoarece înfășurările secundare alimentează redresorul cu punct median doar pe o singură alternanță. În consecință, pentru o anumită putere electrică vehiculată, transformatorul trebuie supradimensionat. Avantajele redresoarelor cu punct median constau în reducerea numărului semiconductoarelor de putere utilizate și în simplitatea schemelor de comandă. Dacă se ia în calcul tendința din electronica de putere modernă de a elimina sau a reduce, pe cât posibil, inductanțele și capacitățile din sistemele electronice de putere prin adoptarea unor alternative pe bază de siliciu, se explică de ce redresoarele cu punct median sunt rar utilizate. Tratarea lor în cărțile de electronică este justificată mai mult din motive didactice deoarece sunt mai simple și structurile în punte sunt obținute prin combinarea a două structuri cu punct median.

În aplicațiile ale căror puteri depășesc 1kW sunt recomandate redresoare trifazate. Varianta unui redresor trifazat se impune deoarece în comparație cu cel monofazat prezintă următoarele avantaje:

- încarcă simetric rețeaua trifazată de alimentare;
- frecvența pulsurilor din forma de undă a tensiunii continue este mai mare, ceea ce permite o micșorare a filtrelor față de varianta monofazată;
- pentru o aceeași tensiune alternativă la intrare, valoarea maximă a tensiunii continue de ieșire este mai mare la redresoarele trifazate;
- regimul de curent întrerupt poate să apară peste un unghi de comandă de 30° la structura cu punct median M3 și peste un unghi de 60° la structura în punte B6 (la redresoarele monofazate regimul de curent întrerupt poate să apară imediat ce unghiul de comandă părăsește valoarea de 0°).

2. Redresorul trifazat cu punct median (M3)

Structura trifazată cu punct median M3 este prezentată în Fig.12.1. Aceasta include un transformator trifazat a cărui înfășurări secundare sunt legate în stea și alimentează o structură formată din trei diode (redresor necomandat) sau trei tiristoare (redresor comandat) ale căror terminale de catod sunt legate împreună. Sarcina de c.c. se conectează între punctul comun al terminalelor de catod și punctul comun (median) al înfășurărilor secundare, așa cum reiese și din schema de mai jos. Pentru simplitate se va analiza redresorul cu o sarcină pasivă de tip $L-C$ (redresor cu filtru de curent).

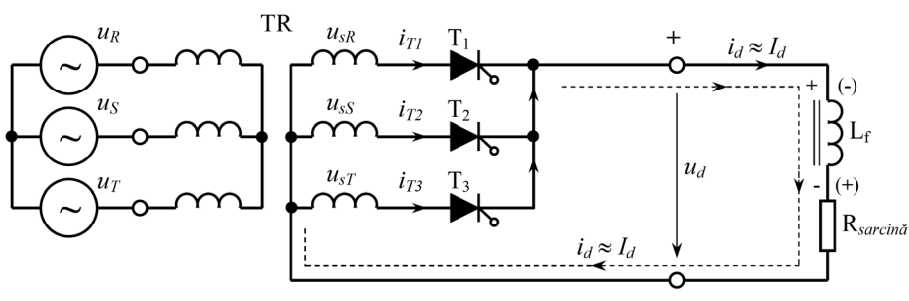


Fig. 12.1 Redresorul trifazat cu punct median M3.

Inductanța de filtrare L_f din circuitul de sarcină al redresorului se consideră suficient de mare pentru a filtra bine curentul continuu și a menține convertorul într-un regim normal de funcționare – conducția continuă. În consecință, se poate aproxima: $i_d(t) = I_d = \text{constant}$. Acest curent parcurge ciclic ramurile pe care se află tiristoarele T_1 , T_2 și T_3 în urma unor procese repetitive de comutație naturală.

a) Procesul comutației naturale în cazul redresorului M3

Conform definiției *sensul extins al comutației constă în trecerea curentului electric de pe o ramură de circuit pe o altă ramură ca efect al schimbării stării de conducție a dispozitivelor semiconductoare de putere de pe cele două ramuri*. Dacă dispozitivele nu au capacitate de blocare, curentul nu poate fi întrerupt forțat și obligat să devieze pe o altă ramură. În acest caz se utilizează **comutația naturală** la care trecerea curentului de pe o ramură pe o altă ramură se face sub „presiunea” unei **tensiuni de comutație** ce apare după deschiderea dispozitivului aflat pe ramura care urmează să preia curentul. O comutare ciclică a curentului între două sau mai multe ramuri de circuit poate avea loc dacă tensiunea sau tensiunile de comutație sunt alternative. Din acest motiv comutația naturală o întâlnim doar în structurile de forță conectate la tensiuni alternative.

Pentru a explica procesul comutației naturale la convertorul M3 se va considera situația inițială în care conduce tiristorul T_1 . Astfel, schema echivalentă care poate descrie procesul comutației curentului I_d de pe ramura (1) a tiristorului T_1 pe ramura (2) a tiristorului T_2 este prezentată în Fig.12.2(a).

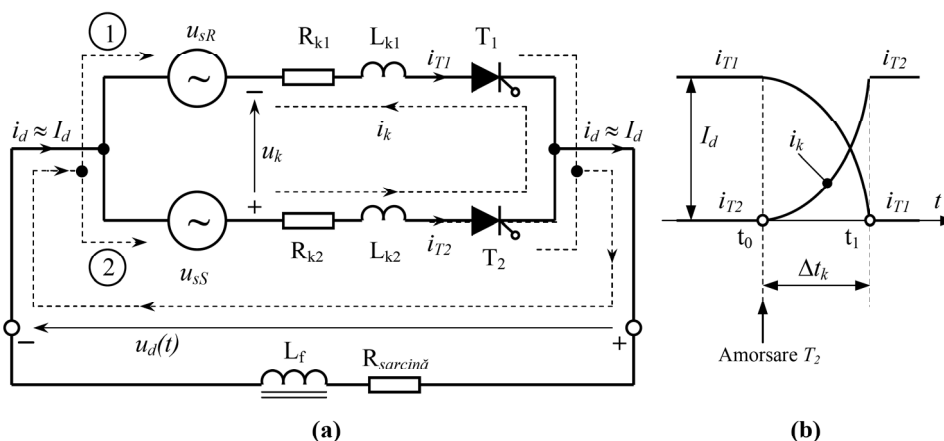


Fig. 12.2 (a) Schema echivalentă pentru ilustrarea procesului comutației naturale;
(b) Evoluția curentilor prin cele două ramuri de circuit pe durata comutației.

În cazul cel mai general, fiecare ramură care participă la procesul comutației poate fi echivalată cu un circuit serie format din sursa de tensiune alternativă, rezistența ramurii de comutație R_k , inductanța echivalentă L_k văzută de curentul de comutație și bineînțeles semiconductorul de putere (T_1 , T_2) a cărui moment de intrare în conducție declanșează procesul comutației naturale.

Sursele din Fig.12.2 sunt tensiunile induse în secundarele transformatorului, respectiv u_{sR} , u_{sS} și u_{sT} . Datorită acestor tensiuni apar și tensiunile de comutație u_k a căror polaritate face posibilă comutația curentului. În figură a fost reprezentată polaritatea tensiunii u_k astfel încât să favorizeze trecerea curentului I_d de pe ramura (1) pe ramura (2).

Inductanțele L_k de pe ramurile de comutație sunt cele care își spun cuvântul asupra duratei procesului de comutație. Datorită prezenței lor curentul nu se poate întrerupe brusc de pe traseul ramurii care a condus pentru a trece, la fel de brusc, pe traseul ramurii care trebuie să preia conducția. Astfel, apare un interval de comutație în care I_d se va ramifica prin ambele ramuri ($I_d = i_{T1} + i_{T2}$) – vezi Fig.12.2(b). O explicație sugestivă poate fi realizată dacă se ia în considerație curentul de comutație i_k determinat de tensiunea de comutație notată cu u_k . Așa cum se reprezintă și în figură, acesta va diminua curentul de pe ramura (1) și va amorsa, respectiv crește, curentul de pe ramura (2):

$$i_{T1}(t) = I_d - i_k(t); \quad i_{T2}(t) = i_k(t) \quad (12.1)$$

Pentru a determina forma de undă a curentului i_k și a obține astfel durata comutației se va scrie ecuația de echilibru a tensiunilor (Kirchhoff) în bucla formată din cele două ramuri:

$$u_k = R_{k2} \cdot i_k + L_{k2} \cdot \frac{di_k}{dt} - R_{k1} \cdot (I_d - i_k) - L_{k1} \cdot \frac{d(I_d - i_k)}{dt} \quad (12.2)$$

unde tensiunea de comutație u_k este dată de o diferență între două tensiuni armonice:

$$u_k = u_{sS} - u_{sR} = \sqrt{2} \cdot (\sqrt{3} \cdot U_s) \cdot \sin(\omega t - 150^\circ) \quad (12.3)$$

Cu U_s s-a notat valoarea efectivă a tensiunii de fază din înfășurările secundare ale transformatoarelor. $\sqrt{3} \cdot U_s$ este tensiunea de linie din secundarul transformatorului trifazat. Pentru simplitate, în continuare se va considera tensiunea de comutație u_k origine de fază scrisă sub forma:

$$u_k = U_{k(\max)} \sin \omega t \quad (12.4)$$

Ținând cont de faptul că derivata în raport cu timpul a curentului constant I_d este zero, relația (12.2) devine:

$$(R_{k1} + R_{k2}) \cdot i_k + (L_{k1} + L_{k2}) \cdot \frac{di_k}{dt} = U_{k(\max)} \sin \omega t + R_{k1} \cdot I_d \quad (12.5)$$

S-a obținut o ecuație diferențială de ordinul I a cărei soluție este formată din 3 termeni după cum urmează:

1) Soluția liberă a ecuației omogene:

$$i_{kf}(t) = K \cdot e^{-\tau t} \quad (12.6)$$

unde K este constanta de integrare, iar $\tau = \frac{L_{k1} + L_{k2}}{R_{k1} + R_{k2}}$ este constanta de timp a buclei formată din cele două ramuri.

2) Soluția forțată dată de termenul $U_{k(\max)} \sin \omega t$:

$$i_{kf1}(t) = \frac{U_{k(\max)}}{Z_k} \cdot \sin(\omega t - \varphi_k) \quad (12.7)$$

unde $Z_k = \sqrt{(R_{k1} + R_{k2})^2 + \omega^2 (L_{k1} + L_{k2})^2}$ este impedanța totală a celor două ramuri, iar $\varphi_k = \arctg \frac{\omega \cdot (L_{k1} + L_{k2})}{R_{k1} + R_{k2}}$ este defazaajul dintre armonica fundamentală a curentului i_k și unda tensiunii de comutație u_k .

3) Soluția forțată, dată de termenul $R_{k1} \cdot I_d$ al ecuației, evaluează partea din curentul continuu I_d care va circula pe ramura (2) în regim permanent dacă se iau în considerație numai rezistențele căilor de curent:

$$i_{kf2}(t) = \frac{R_{k1}}{R_{k1} + R_{k2}} \cdot I_d \quad (12.8)$$

Astfel, soluția ecuației diferențiale (12.5) poate fi scrisă:

$$\begin{aligned} i_k(t) &= i_{kl}(t) + i_{kf1}(t) + i_{kf2}(t) = \\ &= K \cdot e^{-\tau \cdot t} + \frac{U_{k(\max)}}{Z_k} \cdot \sin(\omega t - \varphi_k) + \frac{R_{k1}}{R_{k1} + R_{k2}} \cdot I_d \end{aligned} \quad (12.9)$$

Dacă se consideră că la momentul $t_0 = \alpha/\omega$ este declanșat procesul comutației naturale prin amorsarea tiristorului T_2 (vezi Fig.12.2), constanta de integrare K poate fi calculată știind că în acel moment curentul de comutație pornește din zero:

$$i_k(t_0) = 0 \Rightarrow K = e^{\tau \cdot t_0} \left(-\frac{U_{k(\max)}}{Z_k} \cdot \sin(\omega t_0 - \varphi_k) - \frac{R_{k1}}{R_{k1} + R_{k2}} \cdot I_d \right) \quad (12.10)$$

După introducerea valorii constantei K în expresia (3.42) se poate calcula durata procesului de comutație care se consideră terminat atunci când ramura tiristorului T_2 a preluat tot curentul I_d (momentul t_1), situație descrisă matematic de egalitatea:

$$\begin{aligned} i_k(t_1) &= I_d \Leftrightarrow \\ \Leftrightarrow K \cdot e^{-\tau \cdot t_1} + \frac{U_{k(\max)}}{Z_k} \cdot \sin(\omega t_1 - \varphi_k) &= \frac{R_{k2}}{R_{k1} + R_{k2}} \cdot I_d \end{aligned} \quad (12.11)$$

Ecuația (12.11) poate fi rezolvată prin metode numerice obținându-se timpul t_1 , cu ajutorul căruia poate fi calculat mărimea intervalului de comutație:

$$\Delta t_k = t_1 - t_0 = f(\alpha, I_d) \quad (12.12)$$

Se observă că durata procesului de comutație este influențată de valoarea unghiului de comandă $\alpha = \omega \cdot t_0$ și de mărimea curentului de sarcină I_d .

Corespunzător duratei de comutație poate fi definit un unghi electric, mărime utilizată de obicei în practică. Acest unghi este numit **unghi de comutație** sau **unghi de suprapunere la comutație** sau **unghi de suprapunere anodică**. Ultima denumire este justificată de faptul că pe durata comutației conduc ambele tiristoare sau diode, ceea ce este echivalent cu o suprapunere (scurtcircuitare) a terminalelor de anod. În literatura de specialitate găsim diferite notații pentru unghiul de comutație: μ , μ , γ etc. Oricare ar fi notația, valoarea lui este dată de relația:

$$\gamma = \omega \cdot \Delta t_k \quad [^\circ \text{el}] \quad (12.13)$$

În continuare se va adopta notația unghiului de comutație cu γ (*gamma*). În condițiile în care Δt_k depinde de curentul de sarcină și unghiul de comandă prin intermediul constantei K , este evident că și unghiul de comutație depinde de aceste variabile: $\gamma = f(\alpha, I_d)$. Acest aspect este foarte important deoarece unghiul de comutație modifică valoarea medie a tensiunii de la ieșirea redresorului cu comutație naturală.

Dacă se analizează schema echivalentă din Fig.12.2(a) pe durata comutației și se aplică Legea a II-a a lui Kirchhoff se pot scrie următoarele egalități:

$$\text{Pentru ramura (1):} \quad u_d(t) = u_{sR} + R_{k1} \cdot i_k + L_{k1} \frac{di_k}{dt} \quad (12.14)$$

$$\text{Pentru ramura (2):} \quad u_d(t) = u_{sS} - R_{k2} \cdot i_k - L_{k2} \frac{di_k}{dt} \quad (12.15)$$

Luând în considerație faptul că în redresoare ramurile de circuit între care se produce comutația curentului I_d sunt simetrice, se poate scrie: $R_{k1} = R_{k2}$ și $L_{k1} = L_{k2}$. În aceste condiții, dacă se sumează relația (12.14) cu relația (12.15) obținem:

$$2 \cdot u_d(t) = u_{sR}(t) + u_{sS}(t) \Rightarrow u_d(t) = \frac{u_{sR}(t) + u_{sS}(t)}{2} \quad (12.16)$$

Relația (12.16) evidențiază faptul că *pe durata comutației Δt_k tensiunea la ieșirea redresorului este media tensiunilor alternative de pe cele două ramuri care comută.*

b) Analiza redresorului trifazat cu punct median M3

Formele de undă care pun în evidență funcționarea redresorului comandat cu punct median M3 luând în considerare și procesul comutației naturale sunt prezentate în Fig.12.3. Punctul de comutație naturală pentru tiristorul T_2 se află în poziția în care tensiunea de comutație $u_k = u_{sS} - u_{sR}$ trece prin zero și devine pozitivă. Se observă că *punctele de comutație naturală pentru redresoarele trifazate se situează la intersecția formelor de undă a tensiunilor de fază.* Pentru tiristoarele care lucrează pe alternanțele pozitive, cum este cazul celor din structura M3, aceste puncte au fost notate cu P_1 , P_2 și P_3 (vezi Fig.12.3). Față de ele sunt comandate tiristoarele T_1 , T_2 , respectiv T_3 cu un același unghi (în figură s-au reprezentat undele pentru $\alpha = 60^\circ$).

Figura 12.2 prezintă curentul de comutație i_k în situația în care scade curentul i_{T1} și crește curentul i_{T2} pe durata unghiului de comutație γ . După o treime de perioadă a tensiunii alternative ($T/3$) are loc comutația curentului de pe ramura tiristorului T_2 pe ramura tiristorului T_3 , urmată apoi de comutația din nou pe ramura tiristorului T_1 . Astfel, fiecare tiristor conduce un interval $T_p = T/3$ sau un unghi de $2\pi/3$ radiani.

Analizând forma de undă a tensiunii de la ieșirea redresorului se observă că, pe durata unghiului de suprapunere la comutație γ , tensiunea $u_d(t)$ are valoarea egală cu media tensiunilor de fază de pe ramurile care comută, conform relației (12.16).

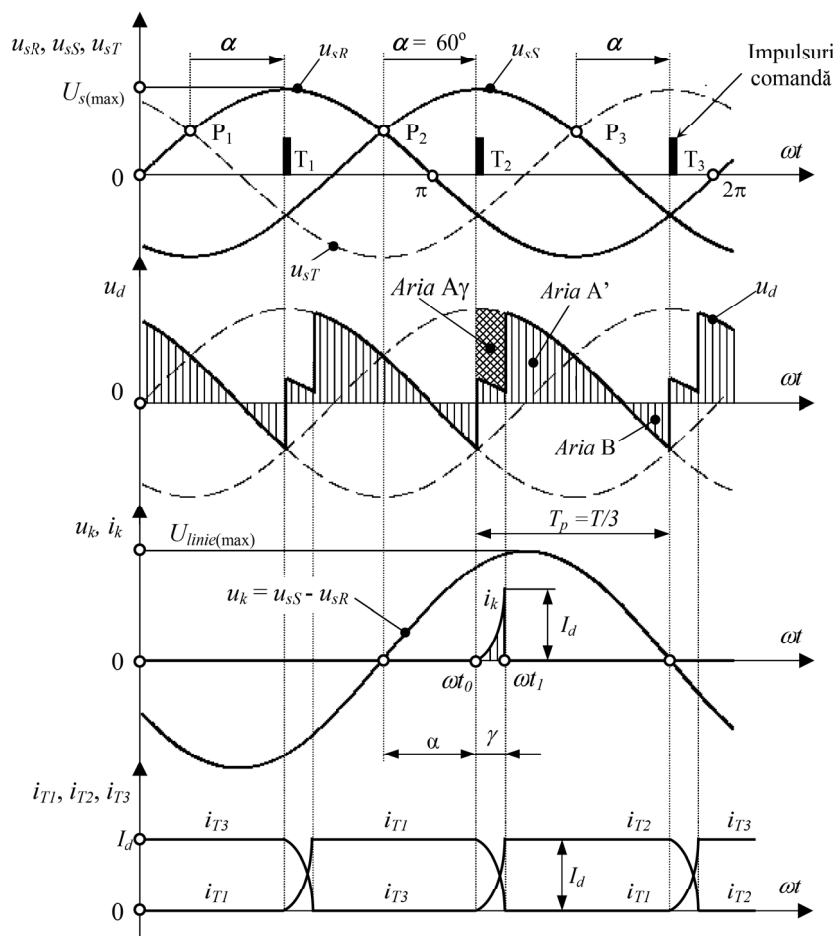


Fig. 12.3 Formele de undă reale care pun în evidență procesul comutației naturale la redresorul trifazat cu punct median M3.

În condițiile unei comutații ideale ($\gamma = 0 \Rightarrow L_{k1} = L_{k2} = L_{k3} = 0$) și în condițiile în care sunt neglijate rezistențele ramurilor de comutație ($R_{k1} = R_{k2} = R_{k3} = 0$) forma de undă a tensiunii $u_d(t)$ este formată din impulsuri succesive date de porțiuni identice ale tensiunilor de fază u_{sR}, u_{sS}, u_{sT} , fără decupările $A\gamma$ de pe duratele reale ale comutațiilor, așa cum se prezintă în Fig.12.4. Astfel, valoarea tensiunii continue se poate calcula aplicând formula valorii medii pe durata (perioada) T_p a unui impuls:

$$U_{d\alpha} = \text{val. medie } u_d(t) = \frac{1}{T_p} \int_{t_0}^{t_0+T_p} u_d(t) \cdot dt = \frac{1}{2\pi/3} [\text{Aria A} + \text{Aria B}] \quad (12.17)$$

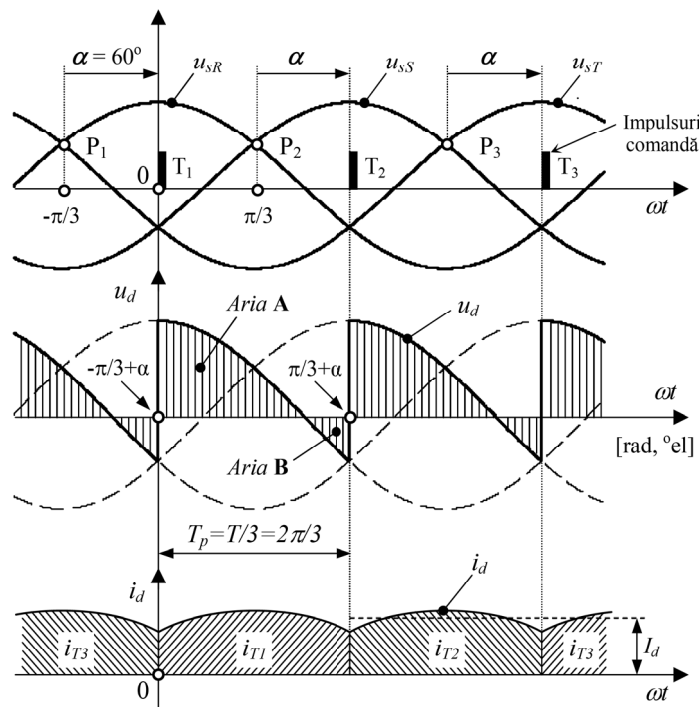


Fig. 12.4 Formele de undă simplificate în cazul comutației ideale la redresorul trifazat cu punct median M3 comandat.

O metodă rapidă pentru a determina expresia $U_{d\alpha}$ constă în a considera originea timpului în dreptul pulsului căruia i se aplică formula valorii medii, la jumătatea distanței dintre două puncte de comutație naturală, așa cum s-a reprezentat în Fig.12.4 În consecință, în expresia (12.17), $u_d(t)$ poate fi descrisă cu funcția cosinus pe durata T_p ($2\pi/3$ rad) a unui puls. Rezultă că:

$$U_{d\alpha} = \frac{1}{2\pi/3} \int_{-\frac{\pi}{3}+\alpha}^{\frac{\pi}{3}+\alpha} \sqrt{2}U_s \cos(\omega t) \cdot d(\omega t) = \frac{3\sqrt{2}U_s}{2\pi} [\sin(\omega t)]_{-\frac{\pi}{3}+\alpha}^{\frac{\pi}{3}+\alpha} =$$

$$= \frac{3\sqrt{2}U_s}{2\pi} \left[\sin\left(\frac{\pi}{3} + \alpha\right) - \sin\left(-\frac{\pi}{3} + \alpha\right) \right] = \frac{3\sqrt{6} \cdot U_s}{2\pi} \cdot \cos \alpha \quad (12.18)$$

Dacă se consideră unghiul de comandă $\alpha = 0^\circ$ funcționarea redresorului cu tiristoare devine asemănătoare cu cea a unui redresor cu diode și tensiunea medie devine:

$$U_{d0} = \frac{3\sqrt{6} \cdot U_s}{2\pi} \cdot \cos 0^\circ = \frac{3\sqrt{6} \cdot U_s}{2\pi} \cong 1,17 \cdot U_s \quad (12.19)$$

Astfel, tensiunea medie de ieșire a aceluiași redresor comandat în cazul unei comutații ideale (instantanee) poate fi scrisă:

$$U_{d\alpha} = U_{d0} \cdot \cos \alpha \quad (12.20)$$

Relație cunoscută și valabilă, așa cum s-a mai precizat, dacă redresorul funcționează în regim de curent neîntrerupt (conducție continuă sau permanentă) și în condițiile unei comutații ideale.

În cazul comutației reale trebuie luată în calcul Aria $A\gamma$ care lipsește din valoarea Ariei $A > 0$. Corespunzător ariei lipsă tensiunea medie la ieșire scade cu valoarea:

$$\Delta U_{d\alpha} = \frac{1}{T_p} \cdot \text{Aria } A\gamma = \frac{1}{2\pi/3} \cdot \text{Aria } A\gamma \quad (12.21)$$

Valoarea Ariei $A\gamma$ din Fig.12.3 poate fi calculată utilizând expresia căderii de tensiune care o determină:

$$\begin{aligned} \text{Aria } A\gamma &= \int_{t_0}^{t_1} \frac{u_k(t)}{2} dt = \int_{t_0}^{t_1} \left(R_k \cdot i_k + L_k \frac{di_k}{dt} \right) dt = \\ &= \int_{\alpha}^{\alpha+\gamma} \left(R_k \cdot i_k + L_k \frac{di_k}{dt} \right) d(\omega t) \end{aligned} \quad (12.22)$$

În relația (12.22) s-au considerat rezistențele și inductanțele egale pe cele două ramuri de comutație: $R_{k1} = R_{k2} = R_k$ și $L_{k1} = L_{k2} = L_k$.

Este destul de dificil de a calcula Aria $A\gamma$ cu ajutorul relației (12.22). Din acest motiv se neglijează rezistențele ramurilor de comutație ($R_k \approx 0$) care sunt mult inferioare reactanțelor inductive ($R_k \ll \omega L_k$). În aceste condiții simplificatoare integrala din relația (12.22) poate fi ușor rezolvată:

$$\text{Aria } A\gamma = \int_{\alpha}^{\alpha+\gamma} L_k \frac{di_k}{dt} d(\omega t) = \omega \cdot L_k \int_0^{I_d} di_k = \omega \cdot L_k \cdot I_d \quad (12.23)$$

Ținând cont de relația (12.21) se poate obține expresia tensiunii medii la ieșirea redresorului comandat M3 dacă se ia în calcul procesul comutației reale, dar

neglijând căderile de tensiune pe rezistențele ramurilor de comutație și pe rezistențele surselor de tensiune alternativă:

$$U'_{d\alpha} = U_{d0} \cdot \cos \alpha - \Delta U_{d\alpha} = U_{d0} \cdot \cos \alpha - \frac{\omega L_k I_d}{2\pi/3} \quad (12.24)$$

Relația (12.24) pune în evidență faptul că tensiunea continuă de la ieșirea redresoarelor nu depinde exclusiv de unghiul de comandă, prezentând variații odată cu modificarea curentului de sarcină I_d datorită fenomenului comutației așa cum reiese din Fig.12.5 unde sunt prezentate *caracteristicile de sarcină* a căror pantă este determinată de procesul comutației naturale și de rezistențele interne ale surselor.

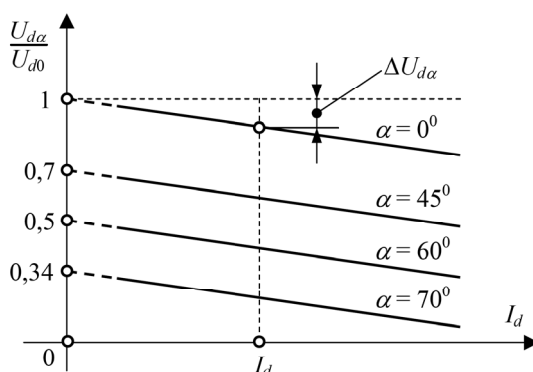


Fig. 12.5 Caracteristicile de sarcină reale ale redresoarelor cu comutație naturală.

Abaterrea $\Delta U_{d\alpha}$ dată în relația (12.24) este și mai mare dacă se vor lua în considerație rezistențele ramurilor de comutație (R_k) și rezistențele interne ale surselor de tensiune alternativă (R_s).

$$\Delta U_{d\alpha} = f(\omega L_k, R_k, R_s, I_d) \quad (12.25)$$

Caracteristicile de sarcină din Fig.12.5 au fost prezentate întrerupte în preajma ordonatei deoarece la curenți de sarcină mici, oricât s-ar mări inductanța de filtrare, redresorul funcționează în regim de curent întrerupt și tensiunea medie prezintă o creștere care nu este dată în figură.

Dependența tensiunii $U_{d\alpha}$ de curentul de sarcină poate fi micșorată dacă redresoarele sunt alimentate de la transformatoare ale căror inductanțe de scăpări și rezistențe ale înfășurărilor sunt reduse la minim. Un câștig deosebit în acest sens poate fi obținut dacă redresorul se alimentează direct de la rețea, fără transformator. În această variantă în procesul comutației naturale intervin doar valorile scăzute ale inductanței și rezistenței liniei (L_s, R_s).

3. Montajul de laborator

Pentru realizarea montajului structurii trifazate cu punct median M3 se va utiliza o instalație de laborator flexibilă concepută și realizată special pentru studiul redresoarelor trifazate – Fig.12.6.

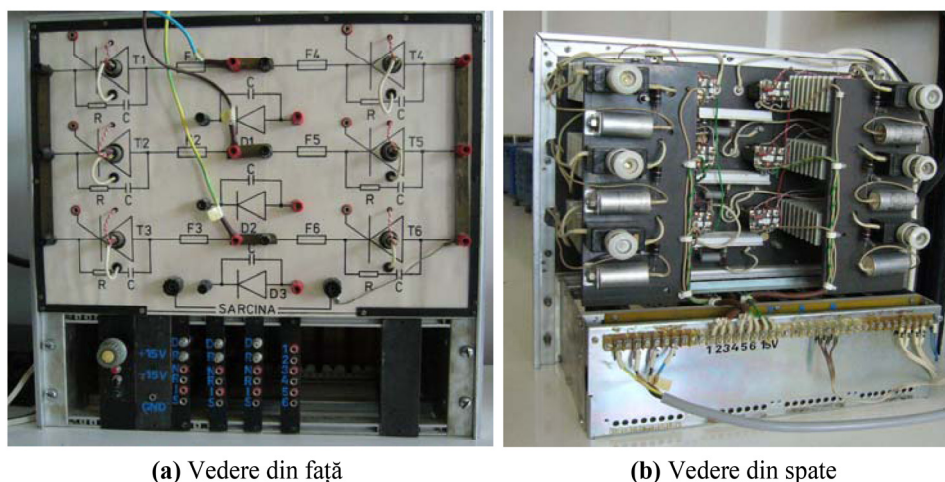


Fig. 12.6 Instalație de laborator flexibilă pentru studiul redresoarelor trifazate.

Instalația conține două părți: partea de forță și partea de comandă. Elementele de circuit aparținând părții de forță (tiristoare, diode redresoare, radiatoare, grupuri R-C de protecție, siguranțe etc.) sunt montate pe spatele unui panou așa cum se prezintă în Fig.12.5(b). Pe fața panoului este desenată schema de forță cu semiconductoarele disponibile (tiristoare, diode) și sunt montate borne standard de legătură cu terminalele acestora. Astfel, prin intermediul unor bare concepute special (eclise) și a unor conductoare cu banane pot fi modificate legăturile între borne în scopul obținerii unor topologii diferite de convertoare trifazate: structură M3 comandată, punte trifazată B6 complet comandată, punte trifazată semicomandată. Bornele aflate pe panoul frontal permit și un acces facil la diferite puncte din schemă pentru a măsura sau oscilografia anumite variabile (tensiuni, curenți) inclusiv impulsurile de comandă pe grilă.

Partea de comandă este realizată într-o structură modulară sub forma unor „carduri” montate într-un sertar special prin intermediul unor ghidaje și a unor cuple. Pot fi enumerate următoarele module (de la stânga la dreapta în fotografia din Fig.12.5.a):

- ✓ modulul de comandă ce include butoanele START/STOP ale contactorului ce alimentează schema de forță și potențiometrul unghiului de comandă α ;
- ✓ modulul sursei stabilizate duble ($\pm 15V_{cc}$) pentru alimentarea schemei de comandă;

- ✓ 3 module cu circuitele de comandă ale tiristoarelor aparținând celor 3 brațe ale punții trifazate;
- ✓ modulul de distribuție a impulsurilor de comandă la cele 6 tiristoare;
- ✓ modulul transformatoarelor de sincronizare.

Circuitele de comandă pe grilă pentru tiristoare sunt realizate cu integratele specializate β A4145 (UAA145) într-o schemă performantă (cu generator de curent constant pentru obținerea unei rampe liniare a semnalului dinte de fierăstrău, cu semireglabile plasate pe panoul frontal al modulelor pentru reglarea lății impulsurilor de zero și a lății impulsurilor de comandă etc.). Tot pe panoul frontal al fiecărui modul sunt borne de măsură (oscilografice) pentru următoarele semnale: impulsuri de zero, semnalul dinte de fierăstrău, impulsuri de comandă și tensiunea de sincronizare. Aceasta din urmă este obținută prin intermediul unor transformatoare de sincronizare alimentate cu tensiunile de linie deoarece trecerile prin zero ale acestora marchează punctele de comutație naturală pentru tiristoarele din structurile trifazate. Fiecare circuit (modul) de comandă generează impulsuri cu fază variabilă, atât pentru tiristorul superior din brațul punții corespunzător fazei după care este sincronizat, cât și pentru tiristorul inferior din brațul punții respective.

Datorită faptului că printre topologiile vizate a fi obținute cu ajutorul standului de laborator descris este și puntea trifazată cu tiristoare schema de comandă este completată cu un modul de distribuție a impulsurilor care conține o structură combinațională cu rol de a trimite pe grila fiecărui tiristor câte două impulsuri decalate cu 60° el. Al doilea impuls este util pentru pornirea redresorului trifazat în punte și atunci când acesta funcționează în regim de curent întrerupt (vezi Referatul 13).

Transformatoarele de impuls sunt plasate în imediata apropiere a fiecărui tiristor pentru a evita posibilitatea inducerii unor semnale de comandă false. Tot în acest scop firele de legătură ce transmit impulsurile de comandă sunt torsadate.

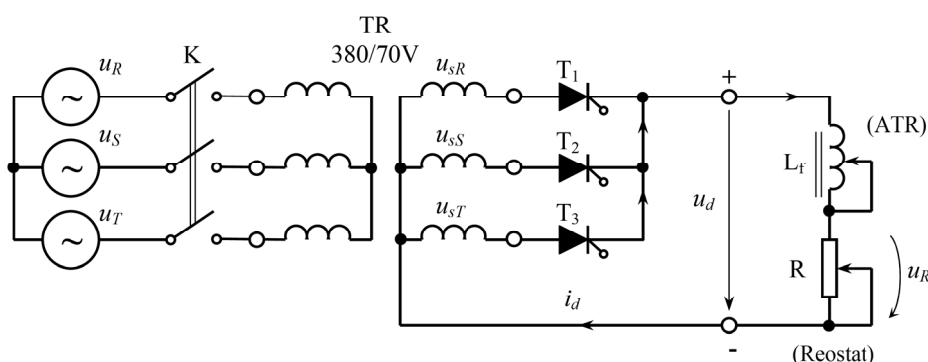


Fig. 12.7 Montajul de laborator pentru studiul redresorului trifazat cu punct median.

În scopul obținerii structurii cu punct median M3 (a schemei din Fig.12.7) se vor utiliza, din instalația descrisă mai sus, numai tiristoarele care lucrează pe alternanța pozitivă T_1, T_2, T_3 . Astfel, terminalele de anod ale acestora vor fi conectate, prin intermediul unor cabluri cu banane, la secundarele transformatorului trifazat, iar sarcina rezistiv-inductivă se leagă între bara ce conectează terminalele de catod ale tiristoarelor și punctul de nul (median) al înfășurărilor secundare conectate în stea. Ca inductanță de filtrare se va utiliza un autotransformator (ATR), iar ca rezistență de sarcină un reostat (R). În Fig.12.8 este prezentată imaginea montajului experimental a cărui schemă este dată mai sus.

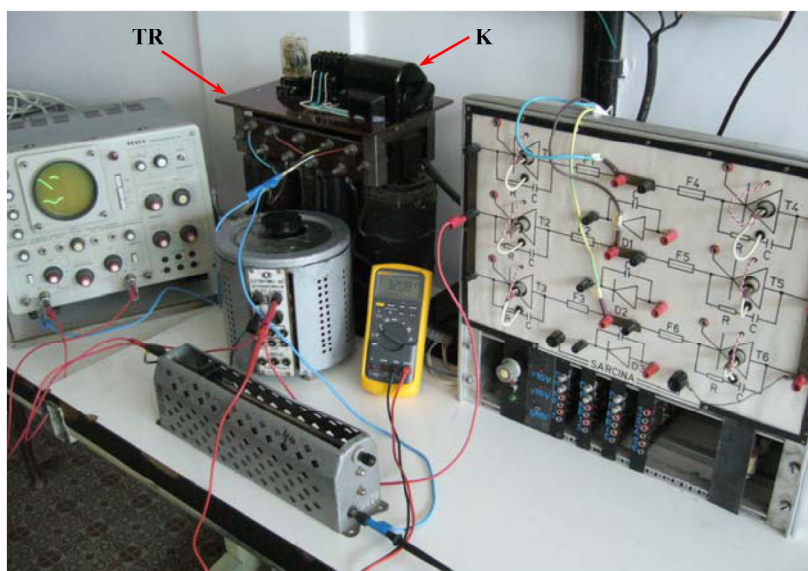


Fig. 12.8 Imaginea montajului din laborator al lucrării.

Pentru a oscilografia simultan semnalele u_d și i_d (u_R) se va folosi un osciloscop cu două spoturi, iar pentru măsurarea valorii medii a tensiunii de ieșire $U_{d\alpha}$ se va utiliza un voltmetru. Se pot oscilografia formele de undă corespunzătoare redresorului M3 în cazul unei sarcini pur rezistive aducând cursorul autotransformatorului în poziția zero.

4. Modul de lucru

1. Se va analiza procesul comutației la structura trifazată cu punct median M3 și modul cum este afectată unda de tensiune de la ieșirea redresorului pe durata unghiului de comutație;
2. Se vor studia aspectele teoretice cu privire la funcționarea redresorului trifazat cu punct median prevăzut cu un filtru de curent la ieșire: forme de unde, relația de

calcul a tensiunii medii de la ieșire în cazul comutației ideale și în cazul comutației reale, caracteristicile de sarcină etc.

3. Se va realiza schema din Fig.12.7 pe instalația din laborator și se va pune în funcțiune în regim de curent neîntrerupt (L_f mare) pentru a vizualiza formele de undă u_d și i_d pentru diferite unghiuri de comandă în regim global de redresor.
 4. Se va măsura componenta continuă $U_{d\alpha}$ pentru diferite unghiuri de comandă cu ajutorul voltmetrului în cazul conducției continue;
 5. Se va fixa un unghi de comandă peste 30° el. și se va scădea progresiv inductanța din circuitul de sarcină acționând asupra cursorului autotransformatorului până se instalează regimul de curent întrerupt și se va observa creșterea tensiunii medii pe măsură ce acest regim se accentuează;
 6. Se va oscilografia formele de undă u_d și i_d la limită când inductanța L_f este anulată (sarcină este pur rezistivă) și se va observa instalarea regimului de curent întrerupt după ce unghiul de comandă $\alpha > 30^\circ$ el.
-