
Lucrarea 14

REDRESORUL TRIFAZAT ÎN PUNTE SEMICOMANDATĂ

1. Introducere

Conform definiției date în referatul Lucrării 11 o punte semicomandată se obține dintr-o punte *complet comandată* la care jumătate din tiristoare sunt înlocuite cu diode. Astfel, redresorul devine *mai simplu, mai ieftin și mai ușor de comandat*. În schimb, poate fi utilizat doar ca o sursă de c.c. reglabilă cu funcționare într-un singur cadran. Totodată, din Lucrarea 13 rezultă că o punte trifazată (B6) este formată din trei brațe cu diode în cazul redresorului necomandat sau cu tiristoare în cazul redresorului complet comandat. În total, rezultă 6 dispozitive redresoare ce pot fi grupate în două structuri cu punct median M_{3p} și M_{3n} . La *redresorul trifazat în punte semicomandată* cele două structuri componente M3 sunt realizate cu dispozitive diferite, diode, respectiv tiristoare, așa cum se prezintă în Fig.14.1

2. Redresorul trifazat în punte semicomandată

În Fig.14.1 s-a ales structura M_{3p} ca fiind formată din tiristoare (T_1, T_2, T_3) și structura M_{3n} ca fiind formată din diode (D_1, D_2, D_3). Nu s-a păstrat numerotarea cu ordinea de intrare în conducție a dispozitivelor, cum s-a realizat în cazul punții trifazate complet comandate, deoarece s-ar crea confuzii în ceea ce privește numărul total de tiristoare și diode din puntea semicomandată. Astfel, primul braț al punții, alimentat de tensiunea u_R , este format din tiristorul T_1 și dioda D_1 , brațul al doilea din tiristorul T_2 și dioda D_2 ș.a.m.d. S-a ales soluția simplă de conectare a punții direct la rețeaua trifazată și s-au figurat doar inductanțele echivalente ale fazelor sursei de c.a. (L_s), rezistențele fiind neglijate.

Tiristoarele vor lucra doar pe alternanțele pozitive ale tensiunilor de fază. Acestea se vor comanda cu unghiul α măsurat față de punctele de comutație naturală notate cu P_1, P_2, P_3 în Fig.14.2. Diodele vor lucra doar pe alternanțele negative și vor comuta singure în punctele de comutație naturală notate cu N_1, N_2, N_3 în aceeași figură. Indicii punctelor de comutație naturală păstrează corespondența cu tiristoarele și diodele, inclusiv cu ordinea fazele R, S, T .

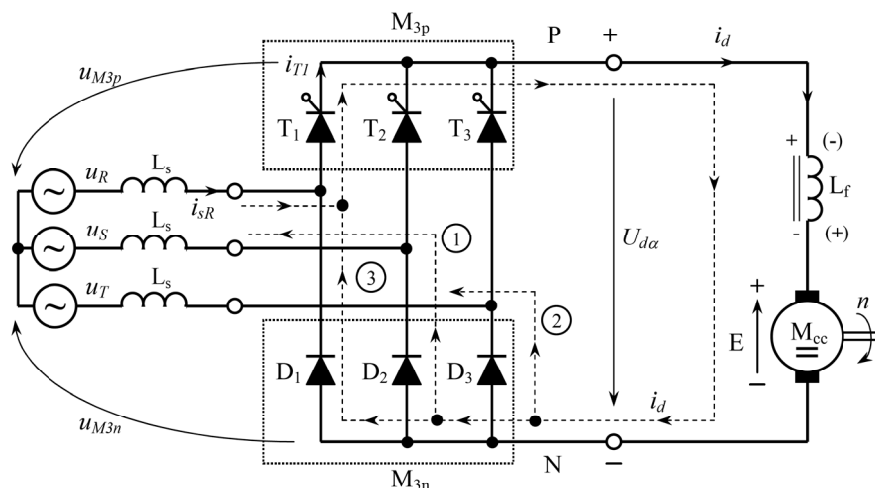


Fig. 14.1 Redresor trifazat în punte semicomandată.

Funcționarea punții trifazate semicomandate este mai complexă decât a punții monofazate deoarece prezintă particularități în funcție de valoarea unghiului de comandă. În continuare se va trata această punte în trei ipostaze de funcționare distincte în care unda de tensiune de la ieșirea prezintă forme diferite. Cele trei situații sunt date de următoarele valori ale unghiului de comandă α :

- 1) $\alpha \in [0^\circ \div 60^\circ)$,
- 2) $\alpha = 60^\circ$ el.
- 3) $\alpha \in (60^\circ \div 180^\circ)$

1) $\alpha \in [0^\circ \div 60^\circ)$

Formele de undă corespunzătoare acestui interval de comandă sunt prezentate în Fig.14.2. Se observă că unda tensiunii de ieșire $u_d(t)$ prezintă doar trei pulsuri identice într-o perioadă a tensiunii de alimentare T , cu perioada $T_p = 2\pi/3$ rad. La rândul lui fiecare puls principal este format din două pulsuri secundare diferite ca formă. La primul lățimea scade odată cu creșterea unghiului de comandă ($\pi/3 - \alpha$), iar la al doilea crește odată cu creșterea unghiului de comandă ($\pi/3 + \alpha$).

Această diferență față de puntea complet comandată se datorează faptului că unda u_{M3n} are o formă fixă indiferent de comandă (înfașurătoarea semialternanțelor negative ale tensiunilor de fază), iar unda u_{M3p} este formată din pulsuri care se deplasează spre dreapta odată cu creșterea unghiului de comandă. Astfel, din combinația celor două tensiuni rezultă forma de undă mai „ciudată” din Fig.14.2:

$$u_d(t) = u_{M3p}(t) - u_{M3n}(t) \quad (14.1)$$

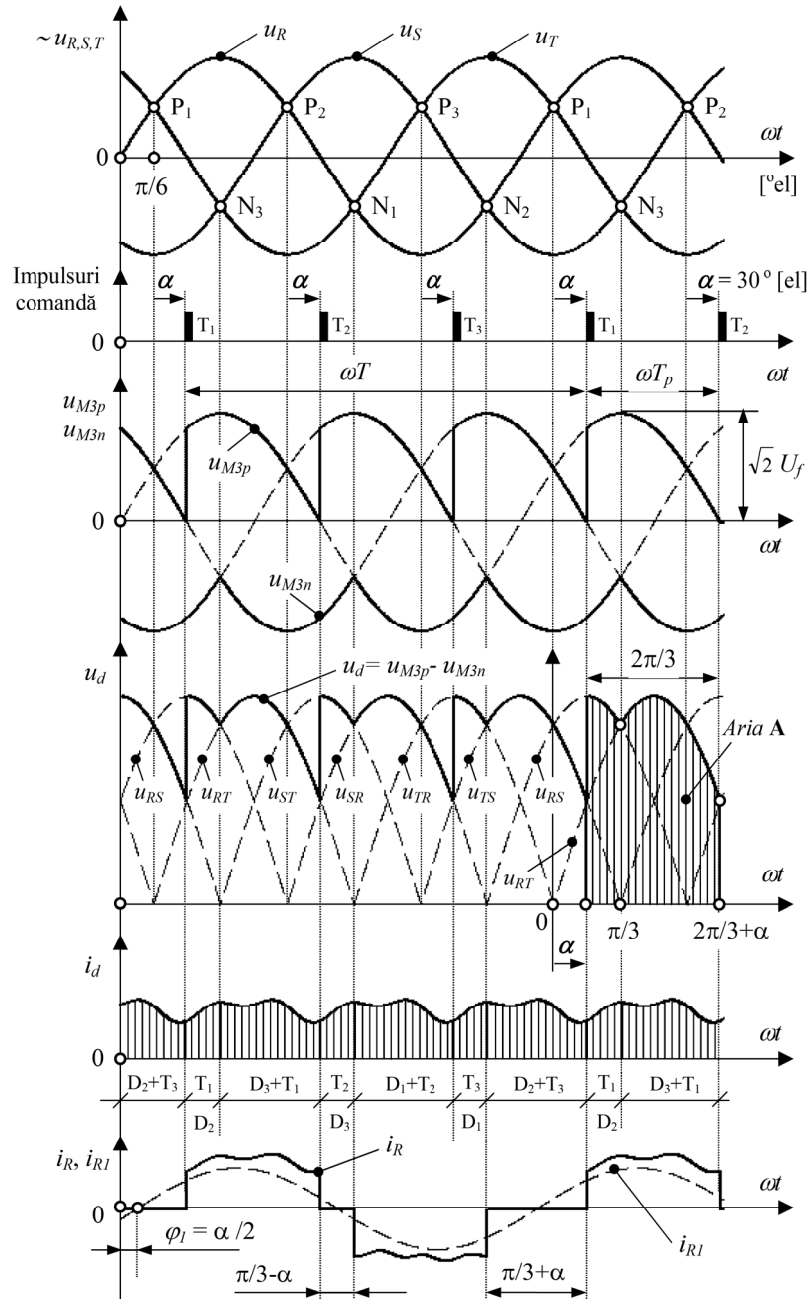


Fig. 14.2 Formele de undă corespunzătoare unui redresor trifazat în punte semicomandată - unghi de comandă: $\alpha=30^\circ$ [el].

Pentru a calcula componenta continuă a acestei tensiuni se aplică formula valorii medii pe un interval T_p în condițiile în care originea s-a ales ca în figură:

$$\begin{aligned} U'_{d\alpha} &= \frac{1}{2\pi/3} \int_{\alpha}^{2\pi/3+\alpha} u_d(\omega t) \cdot d(\omega t) = \frac{\text{Aria } \mathbf{A}}{2\pi/3} = \\ &= \frac{3}{2\pi} \cdot \int_{\alpha}^{\frac{\pi}{3}} u_{RS}(\omega t) \cdot d(\omega t) + \frac{3}{2\pi} \int_{\frac{\pi}{3}}^{\frac{2\pi}{3}+\alpha} u_{RT}(\omega t) \cdot d(\omega t) \end{aligned} \quad (14.2)$$

Tensiunile de linie din relația de mai sus pot fi scrise astfel (vezi Fig.14.2):

$$\begin{aligned} u_{RS}(\omega t) &= \sqrt{2} \cdot U_l \cdot \sin\left(\omega t + \frac{\pi}{3}\right) \\ u_{RT}(\omega t) &= \sqrt{2} \cdot U_l \cdot \sin(\omega t) \end{aligned} \quad (14.3)$$

Astfel, introducând expresiile (14.3) în (14.2) și calculând integralele se obține:

$$U'_{d\alpha} = \frac{3\sqrt{2}}{2\pi} \cdot U_l \cdot (1 + \cos \alpha) = \frac{U_{d0}}{2} \cdot (1 + \cos \alpha) \geq 0 \quad (14.4)$$

unde $U_{d0} = (3\sqrt{2}/\pi) \cdot U_l$ este tensiunea medie la ieșirea redresorului B6 *necomandat*.

Se observă ca s-a obținut aceeași relație de calcul ca în cazul punții monofazate semicomandate (vezi Referat 11). Este evident, atât din relația (14.4), cât și din Fig.14.2, că tensiunea medie de la ieșirea punții trifazate semicomandate este tot timpul pozitivă, indiferent de valoarea unghiului de comandă $\alpha \in [0^\circ \div 60^\circ)$.

Dacă inductanța de filtrare este limitată ca valoare, curentul i_d nu este perfect filtrat și forma de undă a acestuia prezintă pulsații, așa cum se prezintă în Fig.14.2. Acesta este preluat, ca și în cazul punții complet comandate, de 6 combinații ale dispozitivelor redresoare, perechi formate dintr-un tiristor și dintr-o diodă. Deosebirea constă în faptul că duratele de conducție ale celor 6 perechi, puse în evidență în Fig.14.2, sunt inegale. Astfel, perechile formate din tiristorul de pe un braț și dioda de pe brațul următor ($T_1+D_2, T_2+D_3, T_3+D_1$) au un interval de conducție descrescător cu unghiul de comandă ($\pi/3-\alpha$), iar perechile formate din tiristorul de pe un braț și dioda de pe brațul anterior ($T_2+D_1, T_3+D_2, T_1+D_3$) au un interval de conducție crescător cu unghiul de comandă ($\pi/3+\alpha$).

Cu toate că au loc la distanțe inegale în timp, comutațiile curentului i_d se produc *succesiv*, la fel ca în cazul punții complet comandate. Pe durata conducției unei diode are loc o comutație *comandată* a curentului între două tiristoare și pe durata conducției unui tiristor are loc o comutație *necomandată* a curentului între două diode din partea inferioară a punții. În Fig.14.1 sunt prezentate cu linie întreruptă traseele (1) și (2) între care are loc comutația curentului $i_d = i_{T1}$ de pe dioda D_2 pe dioda D_3 .

Perturbații introduse în rețeaua de alimentare

În ultima diagramă din Fig.14.2 este prezentată forma de undă a curentului de fază (i_R) pentru a evidenția modul în care puntea semicomandată interferează cu rețeaua. Se observă că unda curentului absorbit de aceasta este alternativă și prezintă întreruperi. Întreruperile dintre ciclurile identice sunt mai mari și cresc odată cu unghiul de comandă ($\pi/3+\alpha$), iar cele de la jumătatea perioadei sunt mai mici și scad odată cu unghiul de comandă ($\pi/3-\alpha$).

Forma dreptunghiulară a alternanțelor curentului de fază, cu întreruperile menționate mai sus, determină o poluare armonică consistentă a rețelei de către puntea trifazată semicomandată. În plus, dacă filtrarea curentului i_d nu este perfectă, între alternanța pozitivă a curentului de fază și alternanța negativă apare o ușoară asimetrie.

Un aspect care trebuie evidențiat constă în *defazarea armonicilor fundamentale a curentului de fază (i_{R1}) în urma tensiunii cu jumătatea unghiului de comandă ($\varphi_1=\alpha/2$)*, așa cum reiese din ultima diagramă a figurii 14.2. Această caracteristică include și puntea trifazată semicomandată, alături de puntea monofazată semicomandată, în categoria *redresoarelor cu puterea reactivă redusă*.

2) $\alpha = 60^\circ$ el.

Un jalon deosebit în gama de comandă a unei punți trifazate semicomandate este unghiul $\alpha = 60^\circ$ el. Pentru această valoare are loc o suprapunere de comutații sau o **comutație dublă** a curentului i_d , atât între două tiristoare din partea superioară a punții, cât și între două diode din partea inferioară a punții. Formele de undă, corespunzătoare acestui unghi de comandă sunt prezentate în Fig.14.3.

Se observă că, la un unghi de $\alpha=60^\circ$, intervalele de conducție ale perechilor (T_1+D_2), (T_2+D_3) și (T_3+D_1) dispar și rămân să se rotească pentru conducție doar cele trei perechi de dispozitive redresoare (T_1+D_3), (T_2+D_1) și (T_3+D_2) pe intervalele ($\pi/3+\alpha$). Astfel, într-o perioadă a tensiunii de alimentare T în forma de undă a tensiunii u_d apar trei pulsuri bine conturate, fără pulsuri secundare. Fiecare puls este format dintr-o porțiune a semialternanțelor tensiunilor de linie: u_{RT} , u_{SR} și u_{TS} .

3) $\alpha \in (60^\circ \div 180^\circ)$

Dacă unghiul de comandă $\alpha > 60^\circ$ forma de undă a tensiunii instantanee redresate u_d conține, ca și în cazul $\alpha=60^\circ$, trei pulsuri identice ale tensiunilor de linie într-o perioadă T a tensiunii de alimentare, așa cum se prezintă în Fig.14.4.

Deosebirea față de cazul anterior constă în faptul că lățimea pulsurilor scade odată cu mărirea unghiului de comandă. În plus, apar intervale în care tensiunea u_d se anulează, atunci când aceasta are tendința să își schimbe polaritatea, datorită apariției căilor de descărcare formate din tiristorul aflat în conducție și dioda de pe același braț cu el, exact ca în cazul punții monofazate semicomandate.

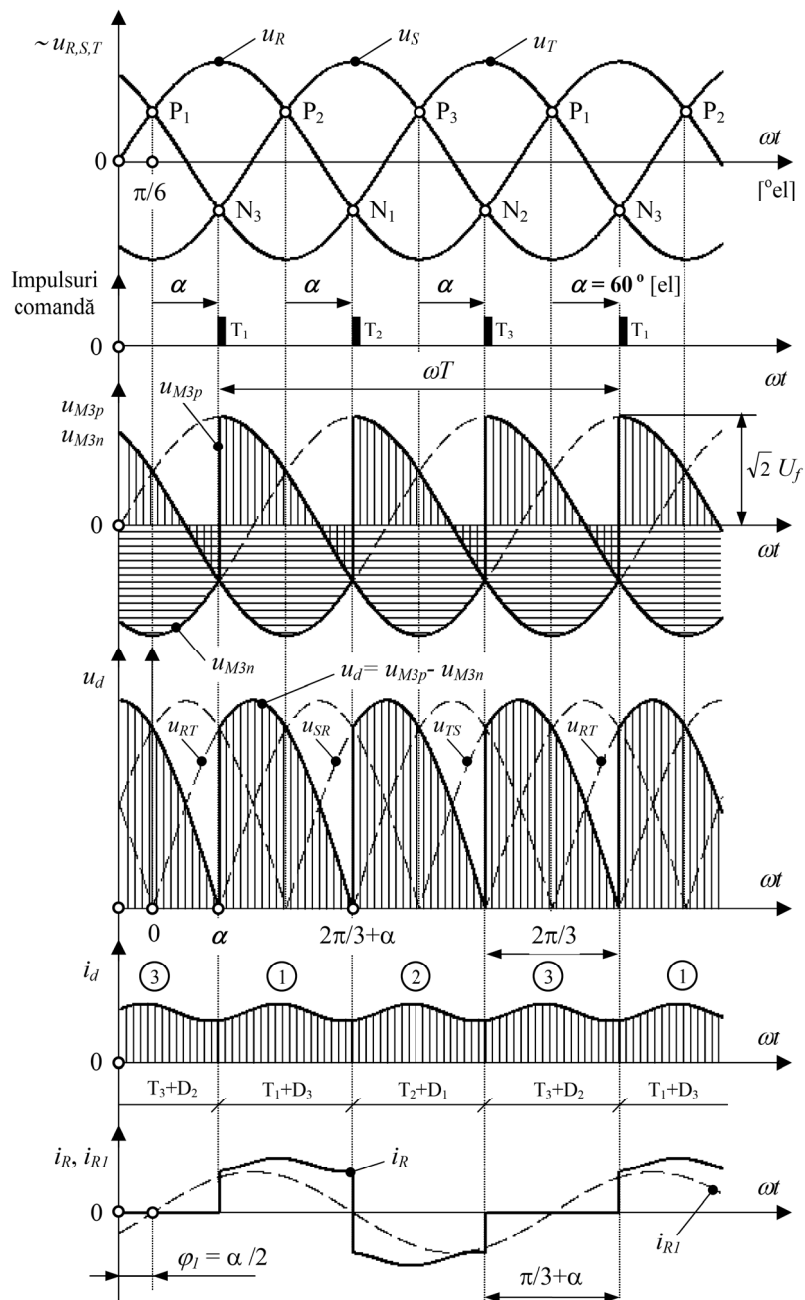


Fig. 14.3 Formele de undă corespunzătoare unui redresor trifazat în punte semicomandată - unghi de comandă: $\alpha=60^\circ$ [el].

Pentru a înțelege modul în care apar ramurile de descărcare să presupunem că sarcina include o inductanță de filtrare importantă care nivelează bine curentul i_d (conducție continuă prin sarcină), așa cum se prezintă în Fig.14.4. Ne poziționăm în timp, imediat după comanda tiristorului T_1 , în intervalul de conducție a perechii T_1+D_3 . La momentul $\omega t = \pi$, figurat pe diagrama u_d în dreptul punctului de comutație naturală N_1 , dioda D_1 preia conducția de la dioda D_3 . Astfel, curentul i_d , întreținut de inductanța sarcinii, va circula pe traseul (3) din Fig.14.1, ocolind sursa de c.a. Pe acest interval nu mai apare un schimb energetic între sursă de c.a. și sarcina de c.c. Fenomenul durează până când este comandat următorul tiristor, în cazul descris tiristorul T_2 care va prelua conducția și va provoca blocarea lui T_1 .

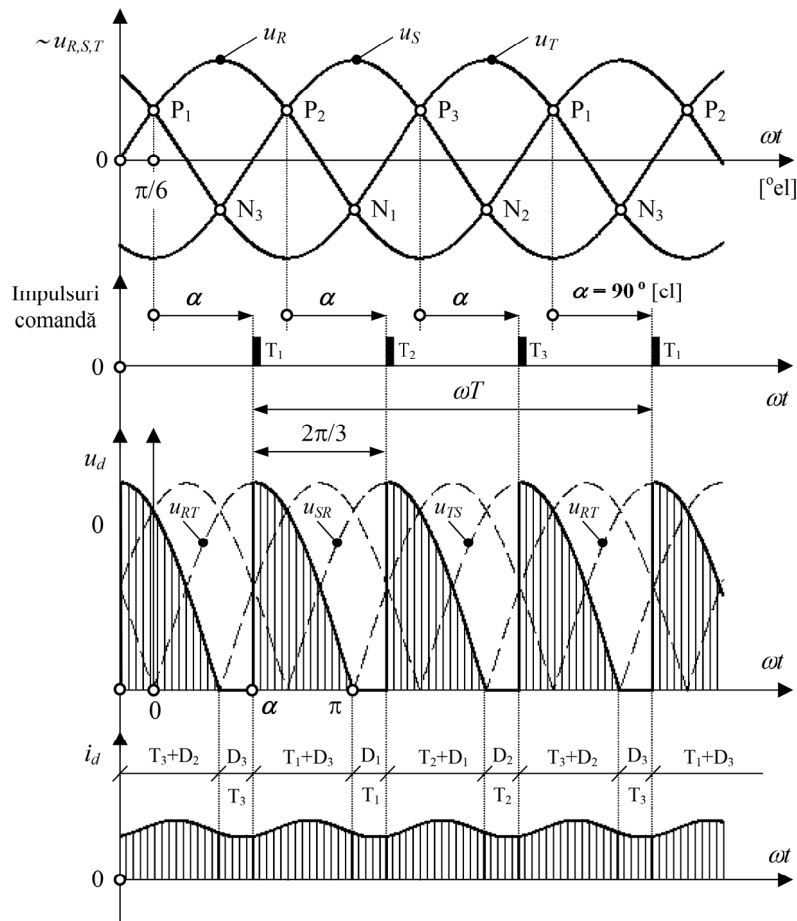


Fig. 14.4 Formele de undă corespunzătoare unui redresor trifazat în punte semicomandată - unghi de comandă: $\alpha=90^\circ$ [el].

Deoarece forma de undă a tensiunii instantanee redresate pentru $\alpha=60^\circ$ este un caz particular al gamei de comandă ($60^\circ \div 180^\circ$), tensiunea medie redresată se calculează pentru ambele situații după cum urmează:

$$\begin{aligned} U'_{d\alpha} &= \frac{1}{2\pi/3} \int_{\alpha}^{\pi} u_{RT}(\omega t) \cdot d(\omega t) = \frac{3\sqrt{2}}{2\pi} \cdot U_l \int_{\alpha}^{\pi} \sin(\omega t) \cdot d(\omega t) = \\ &= \frac{U_{d0}}{2} \cdot (\cos \alpha - \cos \pi) = \frac{U_{d0}}{2} \cdot (1 + \cos \alpha) \end{aligned} \quad (14.5)$$

Relație identică cu (14.5) pentru gama $0^\circ \leq \alpha < 60^\circ$. Pentru a avea o imagine despre cum variază tensiunea continuă de ieșire pentru întreaga gamă de comandă în Fig.14.5 se prezintă comparativ graficul caracteristicii de reglaj $U_{d\alpha}' = f(\alpha)$ al punții B6 semicomandate comparativ cu graficul $U_{d\alpha} = f(\alpha)$ al unei punți B6 complet comandate.

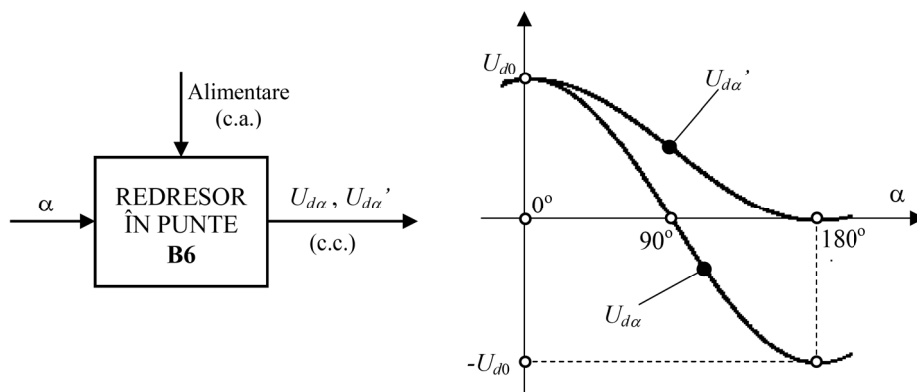


Fig. 14.5 $U_{d\alpha}' = f(\alpha) \rightarrow$ caracteristica pentru un redresor în punte semicomandată;
 $U_{d\alpha} = f(\alpha) \rightarrow$ caracteristica pentru un redresor în punte complet comandată.

Trebuie precizat că, asemeni punții semicomandate monofazate, unghiul de comandă nu poate fi apropiat foarte mult de valoarea 180° deoarece poate să apară **fenomenul de basculare** descris pe larg în Lucrarea 11. În cazul punții trifazate semicomandate, atunci când unghiul de comandă tinde spre 180° , se atinge din nou situația comutațiilor duble. Dacă, de exemplu, se ia cazul tiristorului T_1 care trebuie să preia conducția de la T_3 , la unghiul de comandă precizat fenomenul comutației naturale între cele două dispozitive nu se finalizează până în punctul de comutație naturală N_1 când se declanșează fenomenul comutației curentului i_d între diodele D_3 și D_1 . Deja după punctul N_1 tensiunea u_T este mai pozitivă decât u_R (tensiunea de comutație $u_k = u_R - u_T$ devine negativă) motiv pentru care T_1 este forțat să recadă în starea de blocare și T_3 își continuă conducția. Datorită acestui fapt are loc un salt al tensiunii medii redresate de la o valoare foarte mică la valoarea maximă determinând o creștere necontrolată a curentului de sarcină.

Dacă se dorește evitarea fenomenului de basculare al punții trifazate semicomandate, la dispoziția utilizatorului stau două soluții:

- 1) Comanda punții semicomandate cu un unghi maxim α_{\max} astfel încât tiristorul care a condus să fie blocat ferm înainte ca tensiunea de comutație să își schimbe polaritatea:

$$\alpha_{\max} = 180^\circ - \gamma - q \tag{14.6}$$

unde γ este unghiul de suprapunere la comutație, iar $q = \omega \cdot t_q$ este unghiul electric corespunzător timpului de blocare t_q al tiristoarelor utilizate de redresorul în punte semicomandată (parametru de catalog).

- 2) Adăugarea unei diode de descărcare (de fugă) D_d în antiparalel cu puntea, așa cum se prezintă în Fig.14.6.

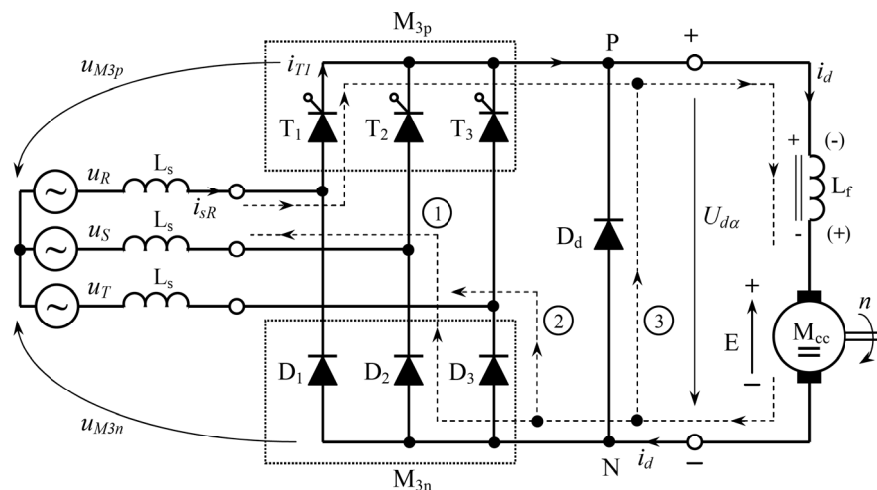


Fig. 14.6 Redresor trifazat în punte semicomandată cu diodă de descărcare (D_d).

În structura din Fig.14.6, imediat ce polaritatea tensiunii u_d are tendința să devină negativă, dioda de descărcare se deschide înaintea diodelor de pe ramurile de descărcare precizate mai sus (T_1+D_1 , T_2+D_2 , T_3+D_3), deoarece pentru amorsarea acestora este nevoie de o tensiune negativă a cărei amplitudine trebuie să fie mai mare decât căderea de tensiune de pe cele două dispozitive înseriate, iar pentru dioda de descărcare este necesară doar tensiunea de prag a acesteia. Astfel, curentul de sarcină deviază pe traseul notat în figură cu (3), ocolind puntea semicomandată, punctele P și N sunt legate împreună prin dioda de descărcare și tensiunea instantanee redresată este considerată zero pe aceste intervale. Totodată, în aceste intervale dispozitivele din structura punții se blochează toate, motiv pentru care este evitat procesul comutației

naturale atunci când este comandat următorul tiristor și implicit fenomenul de basculare atunci când $\alpha \rightarrow 180^\circ$.

Prima soluție, din cele două prezentate mai sus, poate fi obținută ușor limitând unghiul α prin circuitele de comandă ale tiristoarelor. A doua soluție este mai scumpă deoarece implică utilizarea unei componente de putere (diode) în plus. Pe de altă parte, apare un dezavantaj al primei soluții care constă în reducerea gamei de reglaj a punții semicomandate deoarece tensiunea medie redresată nu poate fi anulată prin comandă ($U'_{\alpha(\max)} > 0$).

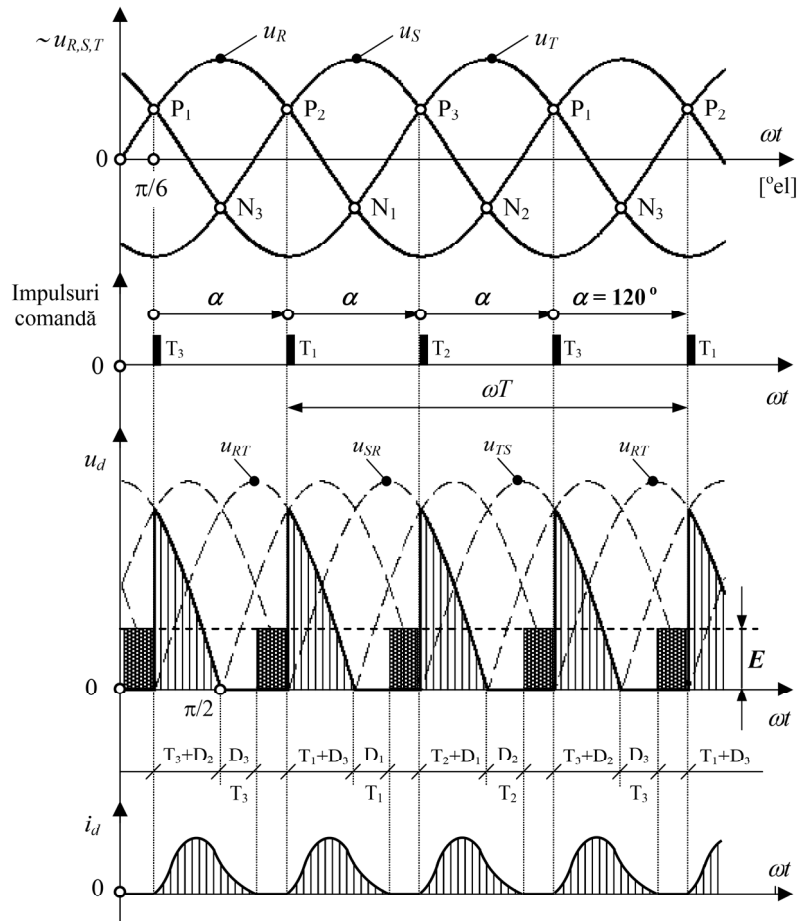


Fig. 14.7 Conducția întreruptă (discontinuuă) în cazul unui redresor trifazat în punte semicomandată cu sarcină de tip $R-L-E$ ($\alpha=120^\circ$ [el]).

Asemănător cu cele arătate la puntea semicomandată monofazată și la puntea semicomandată trifazată poate să apară **regimul de curent întrerupt** (conducția discontinuă) **prin sarcină** indiferent de tipul acesteia. Dacă sarcina este pasivă de tip R sau $R-L$, formele de undă ale tensiunii u_d sunt cele prezentate mai sus pentru toată gama de comandă a unghiului α (Fig.14.2, Fig.14.3, Fig.14.4). Trebuie precizat că **regimul de curent întrerupt prin sarcină poate să apară dacă unghiul de comandă este mai mare de 60°** . În acest caz tensiunea medie redresată $U'_{d\alpha}$ poate fi controlată exclusiv prin intermediul unghiului de comandă α .

Un caz aparte îl constituie sarcina activă de tip $R-L-E$. Aceasta favorizează conducția discontinuă prin sarcină care poate să apară și la unghiuri de comandă mai mici de 60° dacă inductanța de filtrare este total insuficientă. În condițiile existenței unei inductanțe L_f suficient de mari, regimul de curent întrerupt apare pentru unghiuri de comandă $\alpha > 60^\circ$. În Fig.14.7 sunt prezentate formele de undă u_d și i_d la ieșirea punții trifazate semicomandate pentru un unghi $\alpha = 120^\circ$. Se observă că, pe durata întreruperii curentului de sarcină (i_d), în forma de undă a tensiunii u_d apare tensiunea E a sarcinii active (dreptunghiul înnegrit). În consecință, tensiunea medie redresată $U'_{d\alpha}$ va depinde, pe lângă unghiul de comandă, de mărimea curentului de sarcină (variabilă aleatorie). Astfel, se poate afirma că și puntea trifazată semicomandată este necontrolabilă dacă funcționează cu o sarcină activă în regim de curent întrerupt.

Consecințele apariției regimului de curent întrerupt prin sarcina de c.c. a unui redresor trifazat în punte semicomandată cu sarcină activă $R-L-E$ (motor de c.c.) sunt aceleași cu cele prezentate pentru puntea similară complet comandată în Lucrarea 13.

3. Montajul de laborator

Pentru realizarea montajului experimental al punții trifazate semicomandate se va utiliza aceeași instalație de laborator flexibilă descrisă în referatul dedicat structurii cu punct median M3, instalație utilizată și pentru montajul punții B6 complet comandate. Pe acest stand de laborator se vor realiza legăturile din partea de forță în scopul obținerii structurii trifazate în punte semicomandată într-un prim experiment cu sarcină rezistiv-inductivă ($R-L$), respectiv cu sarcină activă $R-L-E$ (motor de c.c.) ca în Fig.14.1. Trecerea de la configurația punții trifazate complet comandate la configurația în punte semicomandată se face desfăcând legăturile de la tiristoarele structurii M_{3n} după care se conectează în locul lor diodele figurate pe panoul frontal al instalației. Schimbarea conexiunilor poate fi realizată simplu deoarece legăturile sunt obținute cu ajutorul unor lamele (eclise) interschimbabile fixate de borne care pot fi desfăcute sau strânse manual cu ușurință. Conectarea elementelor de circuit exterioare punții (L_f , M_{cc} , $R_{sarcină}$), precum și a voltmetrului, șuntului, respectiv a osciloscopului se va realiza prin intermediul unor cabluri prevăzute cu banane la capete. În Fig.14.8 este prezentată imaginea lucrării de laborator în care se utilizează ca sarcină a punții semicomandate motorul de c.c. în serie cu inductanța de filtrare.

În cazul sarcinii $R-L$, ca inductanță de filtrare se va utiliza un autotransformator, iar ca rezistență de sarcină un reostat. Prin modificarea poziției cursorului la autotransformator poate fi reglată valoarea inductanței L_f și poate fi indus regimul de curent întrerupt. La limită, atunci când cursorul este adus în poziția zero, sarcina poate fi considerată pur rezistivă. Pe de altă parte, prin modificarea poziției la cursorul reostatului se modifică rezistența de sarcină și implicit amplitudinea curentului mediu de la ieșirea redresorului.

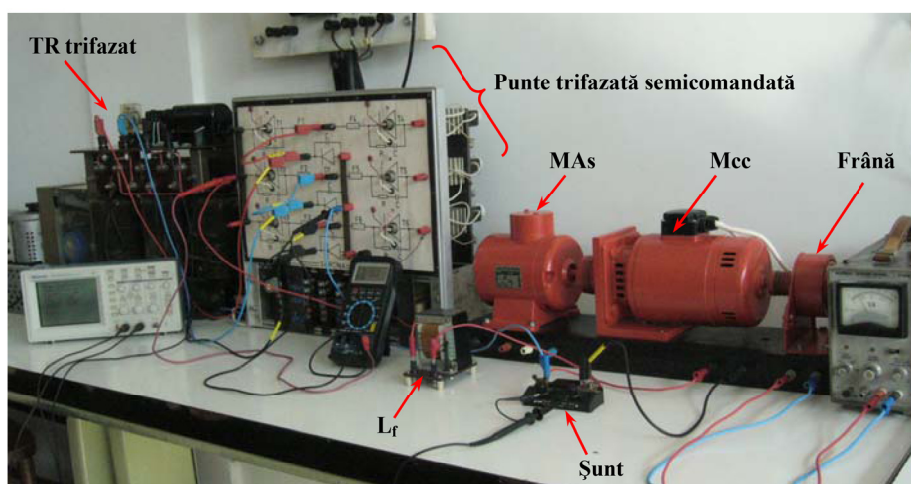


Fig. 14.8 Imaginea montajului din laborator al lucrării.

În cazul sarcinii active, ca inductanță de filtrare se poate utiliza același autotransformator sau o inductanță de valoare fixă special realizată pentru montaje de laborator (vezi Fig.14.8). Prin utilizarea autotransformatorului se poate obține regimul de curent întrerupt prin circuitul de sarcină. Modificarea amplitudinii curentului mediu de ieșire I_d poate fi realizată prin intermediul unei frâne electromagnetice cuplate mecanic pe axul motorului de c.c. Aceasta este alimentată de la o sursă reglabilă și prin modificarea tensiunii acesteia poate fi ajustat cuplul de frânare și implicit curentul prin indusul motorului. Pentru oscilografiera formelor de undă ale curentilor i_d și i_R se vor folosi șunturi de laborator.

Pentru a oscilografia simultan semnalele u_d și i_d 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.

4. Modul de lucru

1. Se vor studia aspectele teoretice cu privire la funcționarea redresorului trifazat în punte semicomandată prevăzut cu filtru de curent la ieșire: forme de unde,

determinarea relațiilor de calcul ale tensiunii medii în toate cele trei situații distincte de funcționare, regimul de curent întrerupt prin sarcină etc.

2. Pe instalația din laborator prezentată se vor realiza legăturile pentru a obține schema redresorului trifazat în punte semicomandată cu sarcină $R-L$, așa cum s-a prezentat mai sus;
3. Se va pune în funcțiune schema de comandă și se vor oscilografia succesiv impulsurile de pe grila fiecărui tiristor component al punții semicomandate pentru a vedea dacă sunt întrunite condițiile de fazare, respectiv funcționare a convertorului. Se va fixa pentru început unghiul $\alpha \in [0^\circ \div 60^\circ]$;
4. Se va alimenta schema de forță apăsând butonul de START al instalației și se vor oscilografia formele de undă ale tensiunilor u_{M3p} , respectiv u_{M3n} furnizate de cele două structuri M3 din componența punții semicomandate. Cele două unde trebuie să rezulte identice cu cele din a doua diagrama a figurii 14.2;
5. Se va păstra valoarea unghiului de comandă și se vor oscilografia undele u_d , respectiv i_d de la ieșirea punții semicomandate care trebuie să prezinte aceleași forme ca în Fig.14.2. Se va observa că tensiunea u_d rezultă din diferența celor două tensiuni u_{M3p} și u_{M3n} .
6. Se vor oscilografia undele u_d și i_d pentru unghiurile de comandă $\alpha=60^\circ$ el. și $\alpha \in (60^\circ \div \alpha_{\max} < 180^\circ)$ care trebuie să prezinte aceleași forme ca cele din Fig.14.3, respectiv din Fig.14.4;
7. Se va măsura componenta continuă $U_{d\alpha'}$ pentru diferite unghiuri de comandă în gama $(0^\circ \div \alpha_{\max} < 180^\circ)$ cu ajutorul voltmetrului în cazul conducției continue și se va trasa caracteristica de reglaj $U_{d\alpha'} = f(\alpha)$. Valoarea unghiului de comandă poate fi apreciată cu ajutorul osciloscopului;
8. Se va fixa un unghi de comandă peste 60° el., se va scădea progresiv inductanța de filtrare acționând asupra cursorului autotransformatorului până se instalează regimul de curent întrerupt prin sarcină și se va observa că tensiunea medie rămâne invariabilă la puntea semicomandată trifazată pe măsură ce acest regim se accentuează (sarcină $R-L$);
9. Se va conecta la ieșirea punții trifazate semicomandate o sarcină activă $R-L-E$, un motor de c.c. ca în Fig.14.1;
10. Se va pune în evidență variația vitezei motorului odată cu modificarea unghiului de comandă în gama $(0^\circ \div \alpha_{\max} < 180^\circ)$ în prezența unui cuplu sarcină relativ ușor impus de frâna electromagnetică;
11. În condițiile utilizării unei inductanțe de filtrare variabile (autotransformator) se va induce regimul de curent întrerupt prin sarcină. Se observă modificarea formei de undă a tensiunii u_d și creșterea tensiunii medii la ieșirea redresorului, respectiv

mărirea vitezei motorului după instalarea acestui regim dacă unghiul de comandă este menținut constant la o valoare $\alpha \in (60^\circ \div \alpha_{\max} < 180^\circ)$;

12. Se va fixa valoarea inductanței de filtrare la limita regimului de curent întrerupt și se va observa dispariția conducției discontinue dacă este crescut cuplul de sarcină al motorului de c.c. cu ajutorul frânei electromagnetice;
13. Se va oscilografia și se va interpreta forma de undă a curentului de fază cu ajutorul unui șunt conectat pe conductorul de alimentare al fazei R . Se va pune în evidență modificarea formei acestuia odată cu modificarea unghiului de comandă.
14. Instalația de laborator are prevăzută și o diodă de descărcare cu borne de acces pe panoul frontal pentru a fi conectată cu ușurință în antiparalel cu puntea semicomandată. Astfel, se poate realiza structura din Fig.14.6. În aceste condiții se va observa posibilitatea creșterii unghiului de comandă spre 180° , fără a apare fenomenului de basculare.

