

---

Lucrarea 11

## REDRESORUL MONOFAZAT ÎN PUNTE SEMICOMANDATĂ

### 1. Introducere

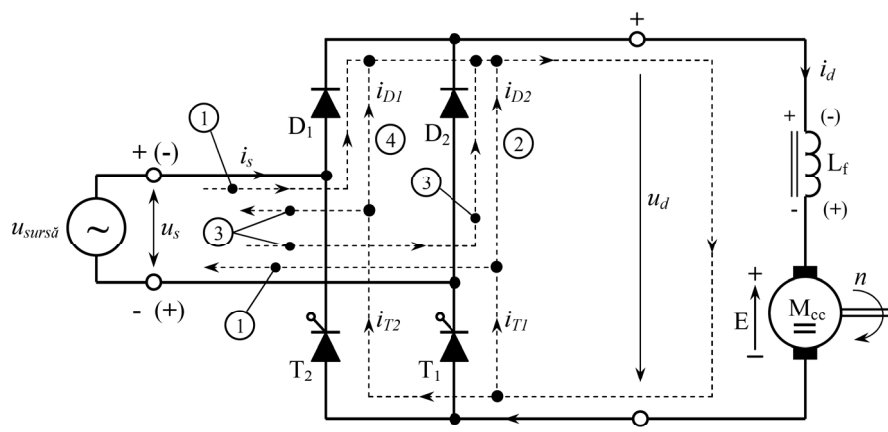
Redresorul monofazat în punte semicomandată conține în structura sa două diode și două tiristoare. Se poate afirma că provine dintr-o punte *complet comandată* realizată integral cu tiristoare în care jumătate din numărul tiristoarelor au fost înlocuite cu diode. În acest fel, structura devine *mai simplă, mai ieftină și mai ușor de comandat*. Sunt avantaje ce recomandă puntea semicomandată în multe aplicații unde este necesară o sursă de c.c. reglabilă cu funcționare într-un cadran.

Trecerea în cadranul 4 în regim global de invertor este exclusă deoarece diodele care înlocuiesc tiristoarele creează căi de descărcare a curentului de sarcină atunci când tensiunea la ieșirea redresorului își schimbă polaritatea. Acesta este un dezavantaj al punții semicomandate care nu permite utilizarea ei în redresoarele reversibile (cu funcționare în 4 cadrane). Pe de altă parte, datorită prezenței ramurilor de descărcare redresorul va funcționa într-un regim de curent întrerupt impus chiar dacă prin sarcina de c.c. acesta nu se întrerupe fiind bine filtrat de o inductanță importantă. În ciuda conducției discontinue, convertorul este controlabil deoarece forma de undă a tensiunii de ieșire este asemănătoare cu cea a redresorului comandat cu sarcină pur rezistivă.

### 2. Structura redresorului monofazat în punte semicomandată

Cele două diode din puntea monofazată semicomandată pot fi plasate într-o parte a punții așa cum se prezintă în Fig.11.1 (*structura asimetrică*) sau pot forma un braț din cele două ale punții (*structura simetrică*). Spre deosebire de varianta monofazată, la puntea trifazată semicomandată există doar varianta plasării celor trei diode într-o singură parte a punții, respectiv structura asimetrică.

Deși apar diferențe legate de procesul de comutație între cele două structuri posibile ale punții semicomandate, pentru sarcina de c.c. aceste fenomene trec neobservate deoarece forma de undă a tensiunii  $u_d(t)$  văzută la ieșirea punții este aceeași la ambele topologii. În consecință, pentru a pune în evidență aspectele particulare de funcționare a punții semicomandate în comparație cu puntea complet comandată se va lua în discuție doar structura asimetrică, prezentată în Fig.11.1.



**Fig. 11.1** Redresor monofazat în punte semicomandată (structura asimetrică).

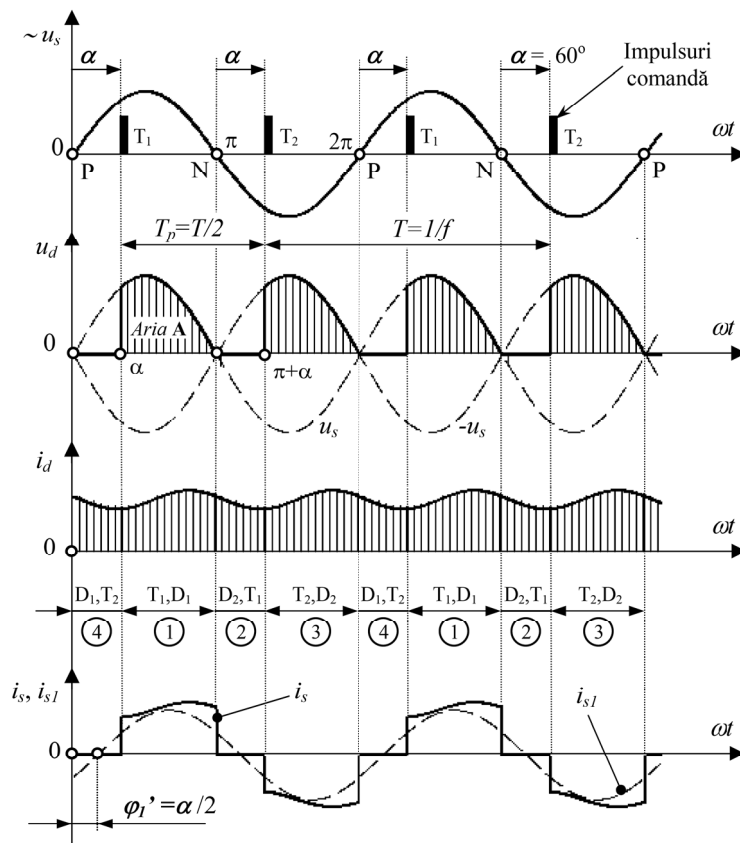
Formele de undă corespunzătoare acestei scheme sunt prezentate în Fig.11.2. Dacă tiristoarele structurii semicomandate sunt comandate cu un unghi  $\alpha > 0^\circ$  conducția fiecărui tiristor ( $T_1$ ,  $T_2$ ) se menține până ce are loc trecerea prin zero a tensiunii alternative deoarece, așa cum s-a precizat mai sus, după aceste momente se creează căi de descărcare prin diode (traseele 2 și 4) și curentul de sarcină  $i_d(t)$  nu mai circulă prin partea de c.a. până când nu este comandat următorul tiristor.

Pe intervalul în care este ruptă legătura cu partea de c.a. tensiunea instantanee la ieșirea redresorului este ușor negativă, egală cu tensiunea de pe cele două dispozitive (tiristor + diodă) aflate în conducție pe ramura de descărcare. În analiza schemei se vor considera dispozitivele ideale și căderile de tensiune pe acestea nule pe durata conducției lor:

$$u_d(\omega t) = 0 \text{ pentru } k\pi < \omega t \leq k\pi + \alpha, \quad k = 0, 1, 2, 3, \dots \quad (11.1)$$

Pentru a înțelege mai bine funcționarea punții semicomandate din Fig.11.1 se vor analiza procesele de comutație începând cu momentul comenzii tiristorului  $T_1$  ( $\omega t = \alpha$ ). Fiind polarizat direct acesta va intra în conducție și curentul  $i_d$  va circula în subciclu 1 pe traseul (1) prin  $D_1$  și  $T_1$ .

După  $\omega t = \pi$ , tensiunea  $u_s(t)$  își schimbă polaritatea și determină un potențial negativ pe bara superioară a redresorului datorită faptului că dioda  $D_1$  se află încă în conducție. Atunci când potențialul negativ depășește pragul diodei  $D_2$  aceasta se deschide și deturnează curentul  $i_d$  de pe traseul (1) pe traseul (2). Se formează o cale directă de descărcare a energiei din inductanța circuitului de sarcină (inclusiv inductanța de filtrare  $L_f$ ) prin cele două dispozitive înseriate  $T_1$ ,  $D_2$  în subciclu 2 de funcționare.



**Fig. 11.2** Formele de undă corespunzătoare unui redresor monofazat în punte semicomandată ( $\alpha=60^\circ$  [el]).

Imediat ce s-a intrat pe alternanța negativă tiristorul  $T_2$  devine polarizat direct (punctul de comutație naturală  $N$ ) deoarece potențialul negativ regăsit acum pe borna superioară a sursei se aplică primului braț al punții, deci pe catodul lui  $T_2$ , iar potențialul pozitiv se aplică prin  $T_1$ , aflat în conducție, anodului acestuia. În momentul ( $\omega t = \pi + \alpha$ ) este comandat  $T_2$  care intră în conducție determinând comutația naturală a curentului  $i_d$  de pe traseul (2) pe traseul (3) prin  $T_2, D_2$  (subciclul 3 în Fig.11.2).

După  $\omega t = 2\pi$  tensiunea  $u_s(t)$  își schimbă polaritatea trecând din nou pe semialternanța pozitivă și, după un același mecanism descris mai sus (trecerea în subciclul 2), blochează dioda  $D_2$  aducând în conducție dioda  $D_1$ . Astfel, curentul  $i_d$  ocolește sursa de c.a. formându-se calea de descărcare de pe traseul (4), prin cele două dispozitive înseriate  $T_2, D_1$  (subciclul 4 de funcționare).

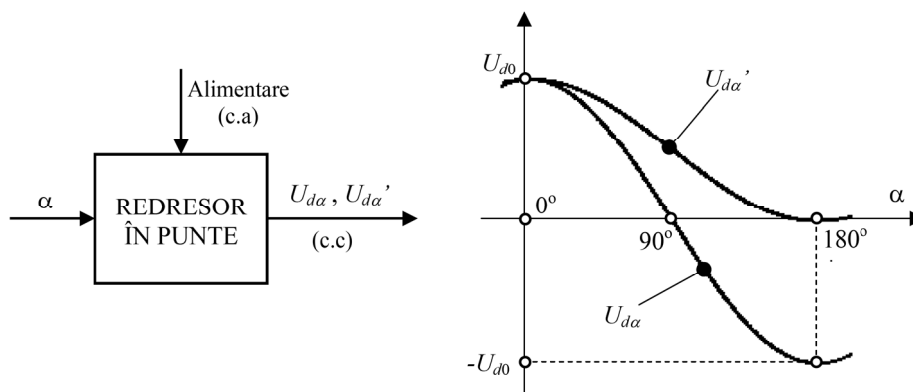
Începutul subciclului (4) marchează și punctul de comutație naturală pentru tiristorul  $T_1$  (punctele  $P$ ), pe tot acest interval de timp el fiind pregătit pentru a prelua conducția. Atunci când pe grila tiristorului  $T_1$  se aplică un impuls de comandă la un unghi oarecare  $\alpha$  se produce fenomenul comutației naturale a curentului  $i_d$  de pe traseul (4) pe traseul (1) și astfel s-a încheiat un ciclu de funcționare al punții semicomandate.

Dacă sunt neglijate micile valori negative ale tensiunii  $u_d(t)$  atunci când curentul circulă prin ramurile de descărcare (subciclurile 2 și 4) precum și căderile de tensiune provocate de fenomenele comutației curentului  $i_d$  (4 comutații/ciclu) tensiunea continuă de la ieșirea redresorului în punte semicomandată se calculează aplicând formula valorii medii pe un interval  $T_p$  (vezi Fig.11.2):

$$\begin{aligned} U'_{d\alpha} &= \frac{1}{\pi} \int_{\alpha}^{\pi+\alpha} u_d(\omega t) \cdot d(\omega t) = \frac{1}{\pi} \int_{\alpha}^{\pi} u_d(\omega t) \cdot d(\omega t) + \frac{1}{\pi} \int_{\pi}^{\pi+\alpha} 0 \cdot d(\omega t) = \\ &= \frac{1}{\pi} \cdot \text{Aria A} = \frac{1}{\pi} \int_{\alpha}^{\pi} \sqrt{2}U_s \sin(\omega t) \cdot d(\omega t) = \frac{\sqrt{2}U_s}{\pi} [-\cos(\omega t)]_{\alpha}^{\pi} = \quad (11.2) \\ &= \frac{\sqrt{2}U_s}{\pi} (\cos \alpha - \cos \pi) = \frac{\sqrt{2}U_s}{\pi} \cdot (1 + \cos \alpha) = \frac{U_{d0}}{2} \cdot (1 + \cos \alpha) \geq 0 \end{aligned}$$

unde  $U_{d0}$  este tensiunea medie pentru un unghi de comandă  $\alpha = 0^\circ$ , atât pentru puntea complet comandată, cât și pentru puntea semicomandată.

Relația (11.2) este identică cu relația obținută la ieșirea unei punți comandate cu sarcină pur rezistivă ( $R$ ). Nu apar intervale în care să existe regimuri instantanee de inverter. Din această cauză tensiunea medie este tot timpul pozitivă chiar dacă unghiul de comandă se află în intervalul  $90^\circ < \alpha < 180^\circ$ , așa cum reiese din Fig.11.3.



**Fig. 11.3**  $U_{da}' = f(\alpha) \rightarrow$  caracteristica pentru un redresor în punte semicomandată;  
 $U_{da} = f(\alpha) \rightarrow$  caracteristica pentru un redresor în punte complet comandată.

Analizând graficul caracteristicii de reglaj  $U_{d\alpha}'=f(\alpha)$  al punții semicomandate comparativ cu graficul  $U_{d\alpha}=f(\alpha)$  al unei punți complet comandate se observă că unghiul de comandă  $\alpha$  poate fi modificat în limite largi ( $0^\circ \leq \alpha < 180^\circ$ ) fără a avea grija posibilității trecerii redresorului în regim global de invertor cu toate manevrele și consecințele prezentate în Referatul 9.

Trebuie precizat că, asemeni punții complet comandate, unghiul de comandă nu poate fi apropiat foarte mult de valoarea  $180^\circ$  deoarece apare **fenomenul de basculare** al punții semicomandate. Dacă la puntea complet comandată bascularea se face din regimul global de invertor în regimul global de redresor, determinând o creștere bruscă a curentului spre valori periculoase, la puntea semicomandată bascularea are loc doar în cadrul regimului de redresor de la o tensiune de ieșire foarte mică la tensiunea continuă maximă. Bineînțeles, și această creștere bruscă a tensiunii determină o creștere necontrolată a curentului de sarcină.

Pentru a explica fenomenul basculării considerăm că suntem în subciclul 4 de funcționare unde conduce tiristorul  $T_2$  și dioda  $D_1$ , iar unghiul de comandă tinde spre  $180^\circ$ . În momentul în care este comandat  $T_1$  începe procesul de comutație naturală a curentului  $i_d$  de pe ramura lui  $T_2$  pe ramura lui  $T_1$ . Pentru o blocare fermă a tiristorului  $T_2$  trebuie să se asigure o tensiune de comutație și de polarizare negativă pe toată durata unghiului de suprapunere la comutație  $\gamma$  plus durata timpului de blocare  $t_q$ . Dacă intervalul de timp din momentul aplicării impulsului de comandă și momentul schimbării polarității tensiunii alternative  $u_s$  (punctul de comutație naturală N) este mai mic decât suma celor două intervale precizate mai sus, tiristorul  $T_2$  nu este blocat ferm înainte de a fi din nou polarizat direct și își păstrează conducția în dauna lui  $T_1$ . În consecință, după punctul N subciclul 2 dispare trecându-se direct în subciclul 3. Astfel, în forma de undă a tensiunii  $u_d(t)$  apare o întregă semialternanță în loc de un mic fragment din aceasta și tensiunea medie crește la spre valoarea maximă.

Dacă se dorește evitarea fenomenului de basculare la dispoziția utilizatorului stau următoarele soluții:

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

$$\alpha_{\max} = 180^\circ - \gamma - q \quad (11.3)$$

unde  $q = \omega \cdot t_q$  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) în antiparalel cu puntea, astfel încât după schimbarea alternanței tensiunii  $u_s(t)$  (punctele P și N) aceasta să intre în conducție preluând curentul  $i_d$  și blocând toate dispozitivele din structura punții.

- 3) Utilizarea unei structuri de punte semicomandată simetrică în care diodele formează un braț al punții și tiristoarele celălalt braț.

Prima soluție poate fi obținută ușor intervenind în circuitele de comandă ale tiristoarelor prin limitarea tensiunii de comandă la o anumită valoare, la maxim sau la minim în funcție de rampa semnalelor dinte de fierăstrău, crescătoare, respectiv descrescătoare. A doua soluție este mai scumpă deoarece implică utilizarea unei componente de putere (diode) în plus. Dezavantajul primei soluții constă în reducerea gamei de reglaj a tensiunii medii la ieșire deoarece nu poate fi obținută valoarea zero spre deosebire de soluția a treia la care, teoretic, se poate merge cu reglajul valorii medii până la  $U_{d\alpha}'|_{\alpha=180^\circ} = 0V$ .

În condițiile în care inductanța văzută la ieșirea redresorului ( $L_d = L_f + L_a$ ) este suficientă, curentul prin sarcina de c.c.  $i_d(t)$  nu se întrerupe, așa cum se prezintă în Fig.11.2. Cu toate acestea, datorită apariției ramurilor de descărcare din subciclii 2 și 4, curentul absorbit de puntea semicomandată de la sursa de c.a. prezintă întreruperi după cum o arată forma de undă  $i_s(t)$ . Se demonstrează că sinusoida armonicii fundamentale  $i_{s1}(t)$  a  $i_s(t)$  trece prin zero pe la jumătatea intervalelor în care acest curent periodic și alternativ se anulează. Rezultă o scădere a defazajului dintre armonica fundamentală  $i_{s1}(t)$  și sinusoida tensiunii de alimentare  $u_s(t)$  la un unghi:

$$\varphi_1' = \frac{\alpha}{2} \quad (11.4)$$

Înjumătățirea defazajului ( $\varphi_1' = \varphi_1 / 2$ ) are drept efect reducerea puterii reactive de comandă absorbite de o punte semicomandată față de puntea complet comandată pentru un același unghi  $\alpha$ . Totuși, dacă se dorește o tensiune medie la ieșire mai mică decât tensiunea maximă  $U_{d0}$  trebuie ținut cont de faptul că unghiul de comandă la puntea semicomandată trebuie să fie mai mare decât la puntea complet comandată (vezi Fig.11.3). Chiar și în aceste condiții puntea semicomandată își păstrează caracteristica de *redresor cu putere reactivă redusă*.

### Exemplu

Pentru a susține afirmația de mai sus se va considera exemplul unei sarcini de c.c. care trebuie alimentată cu o tensiune continuă având valoarea de  $U_{d0}/2$  în două variante: în prima variantă cu o punte complet comandată și în a doua cu o punte semicomandată.

Pentru a aceeași putere în partea de c.c.  $P_d = U_d \cdot I_d = \frac{U_{d0}}{2} \cdot I_d$  avem:

a) Pentru puntea complet comandată:

- Tensiunea medie:  $U_{d\alpha} = U_{d0} \cdot \cos \alpha = \frac{U_{d0}}{2} \Rightarrow \alpha = 60^\circ$ , unde  $U_{d0} = \frac{2\sqrt{2} \cdot U_s}{\pi}$

- Puterea activă:  $P = U_s \cdot I_{s1} \cdot \cos \varphi_1 = U_s \cdot I_{s1} \cdot \cos \alpha = \frac{1}{2} \cdot U_s \cdot I_{s1}$
- Valoarea efectivă a armonicii fundamentale a curentului poate fi calculată din egalitatea puterii active cu puterea consumată în partea de c.c.:

$$P = P_d \Leftrightarrow \frac{1}{2} \cdot U_s \cdot I_{s1} = \frac{U_{d0}}{2} \cdot I_d \Rightarrow I_{s1} = \frac{U_{d0} \cdot I_d}{U_s}$$

- Puterea reactivă:  $Q = U_s \cdot I_{s1} \cdot \sin \varphi_1 = U_s \cdot \frac{U_{d0} \cdot I_d}{U_s} \cdot \sin 60^\circ = \sqrt{3} \cdot \frac{U_{d0} \cdot I_d}{2}$

b) Pentru puntea semicomandată:

- Tensiunea medie:  $U_{d\alpha'} = \frac{U_{d0}}{2} (1 + \cos \alpha') = \frac{U_{d0}}{2} \Rightarrow \alpha' = 90^\circ$
- Puterea activă:  $P' = U_s \cdot I'_{s1} \cdot \cos \varphi'_1 = U_s \cdot I'_{s1} \cdot \cos \frac{\alpha'}{2} = \frac{\sqrt{2}}{2} \cdot U_s \cdot I'_{s1}$
- Valoarea efectivă a armonicii fundamentale a curentului poate fi calculată la fel ca mai sus:

$$P' = P_d \Leftrightarrow \frac{\sqrt{2}}{2} \cdot U_s \cdot I'_{s1} = \frac{U_{d0}}{2} \cdot I_d \Rightarrow I'_{s1} = \frac{U_{d0} \cdot I_d}{\sqrt{2} \cdot U_s}$$

- Puterea reactivă:  $Q' = U_s \cdot I'_{s1} \cdot \sin \varphi'_1 = U_s \cdot \frac{U_{d0} \cdot I_d}{\sqrt{2} \cdot U_s} \cdot \sin 45^\circ = \frac{U_{d0} \cdot I_d}{2}$

Se observă că puterea reactivă  $Q'$  absorbită de puntea semicomandată de la sursa de c.a. este mai mică de  $\sqrt{3}$  ori față de puterea reactivă  $Q$  absorbită de puntea complet comandată pentru a alimenta sarcina de c.c. cu o aceeași tensiune medie  $U_{d0}/2$  și o aceeași putere  $P_d$ .

Oricare ar fi tipul sarcinii de c.c. și pentru puntea semicomandată poate fi evidențiat un regim de curent întrerupt sau o conducție discontinuă ce poată să apară la nivelul sarcinii. Toate aspectele descrise în Referatul 8 pentru puntea complet comandată rămân valabile și pentru puntea semicomandată cu foarte mici deosebiri. De exemplu, în formele de undă ale tensiunii  $u_d(t)$  nu mai pot apare intervale cu tensiuni negative în cazul sarcinilor  $R-L$  sau  $R-L-E$  (dispar *Ariile B*). În Fig.11.4 sunt prezentate formele de undă în cazul conducției întrerupte prin sarcina de c.c. la un redresor în punte semicomandată cu sarcină activă de tip  $R-L-E$ .

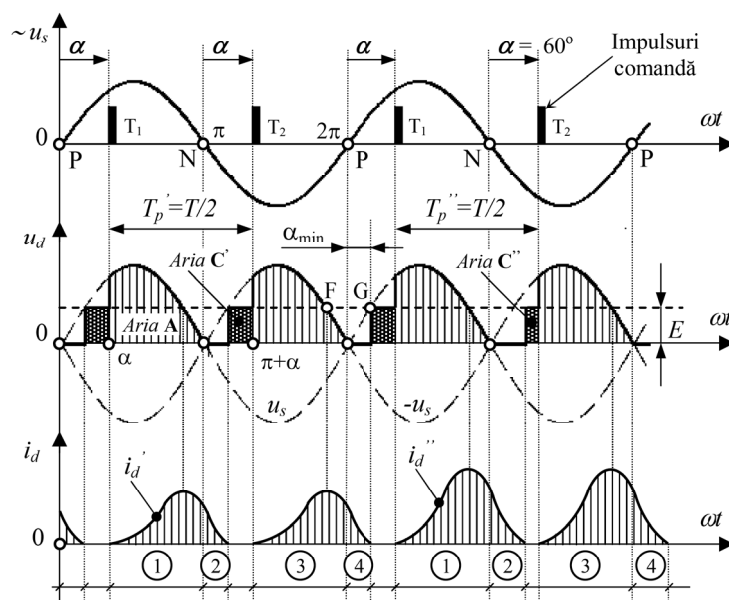


Fig. 11.4 Conducția întreruptă (discontinuuă) în cazul unui redresor monofazat în punte semicomandată cu sarcină de tip  $R-L-E$  ( $\alpha=60^\circ$  [el]).

Se observă că, pe durata în care prin sarcină curentul  $i_d$  se întrerupe, în forma de undă a tensiunii  $u_d$  apare tensiunea  $E$  a sarcinii active (tensiunea electromotoare dacă sarcina este un motor de c.c.). În figură sunt prezentate formele de undă pentru doi curenți de sarcină diferiți  $i_d'$  și  $i_d''$  pentru a pune în evidență modul în care depinde tensiunea medie  $U_{d\alpha}$  de sarcină în cazul regimului de curent întrerupt. Acesta apare dacă sarcina scade sub o anumită valoare ( $I_d < I_d^*$ ) sau dacă, pentru o anumită sarcină, bobina de netezire (filtrare)  $L_f$  este subdimensionată.

Consecințele apariției regimului de curent întrerupt prin sarcina de c.c. a unui redresor în punte semicomandată sunt aceleași cu cele prezentate pentru puntea complet comandată în Referatul 8. În continuare vor fi enumerate doar cele specifice unui redresor în punte semicomandată cu sarcină activă  $R-L-E$  (motor de c.c.):

- Funcționarea necorespunzătoare a sarcinii (a motorului de c.c.):
  - funcționare zgomotoasă datorită anulării cuplului electromagnetic pe intervalele în care se întrerupe curentul;
  - creșterea pierderilor în sarcină (a pierderilor în fier și a pierderilor pe rezistența indusului).



- Redresorul devine necontrolabil datorită faptului că valoarea medie a tensiunii de ieșire depinde, pe lângă unghiul de comandă  $\alpha$  și de o variabilă aleatoare cum este curentul de sarcină  $I_d$ . Așa cum s-a precizat, dependența tensiunii continue de curentul de sarcină reiese din figură unde sunt prezentate formulele de undă pentru doi curenți diferiți  $i_d'(t)$  și  $i_d''(t)$ :

- În cazul curentului  $i_d'(t)$  tensiunea continuă se calculează aplicând formula valorii medii pentru intervalul  $T_p'$  (perioada pulsului  $\rightarrow \pi$  rad.):

$$U_{d\alpha}' = \frac{1}{\pi} \int_{\alpha}^{\pi+\alpha} u_d(\omega t) \cdot d(\omega t) = \frac{1}{\pi} \cdot (\text{Aria A} + \text{Aria C}') \quad (11.5)$$

- În cazul curentului  $i_d''(t)$  tensiunea continuă se calculează aplicând formula valorii medii pentru intervalul  $T_p''$ :

$$U_{d\alpha}'' = \frac{1}{\pi} \int_{2\pi+\alpha}^{3\pi+\alpha} u_d(\omega t) \cdot d(\omega t) = \frac{1}{\pi} \cdot (\text{Aria A} + \text{Aria C}'') \quad (11.6)$$

Având în vedere că valoarea medie  $I_d'' > I_d'$  rezultă:

$$\text{Aria C}' > \text{Aria C}'' \Rightarrow U_{d\alpha}' > U_{d\alpha}'' \quad (11.7)$$

- Limitarea unghiului de comandă la un minim impus de necesitatea amorsării tiristoarelor:

$$\alpha > \alpha_{\min} \quad (11.8)$$

- Oscilația ansamblului convertor-motor atunci când redresorul trece de la conducție continuă la o conducție întreruptă.

În concluzie, se poate afirma că regimul de curent întrerupt prin sarcina unui redresor în punte semicomandată este la fel de dăunător ca și în cazul unui redresor realizat integral cu tiristoare.

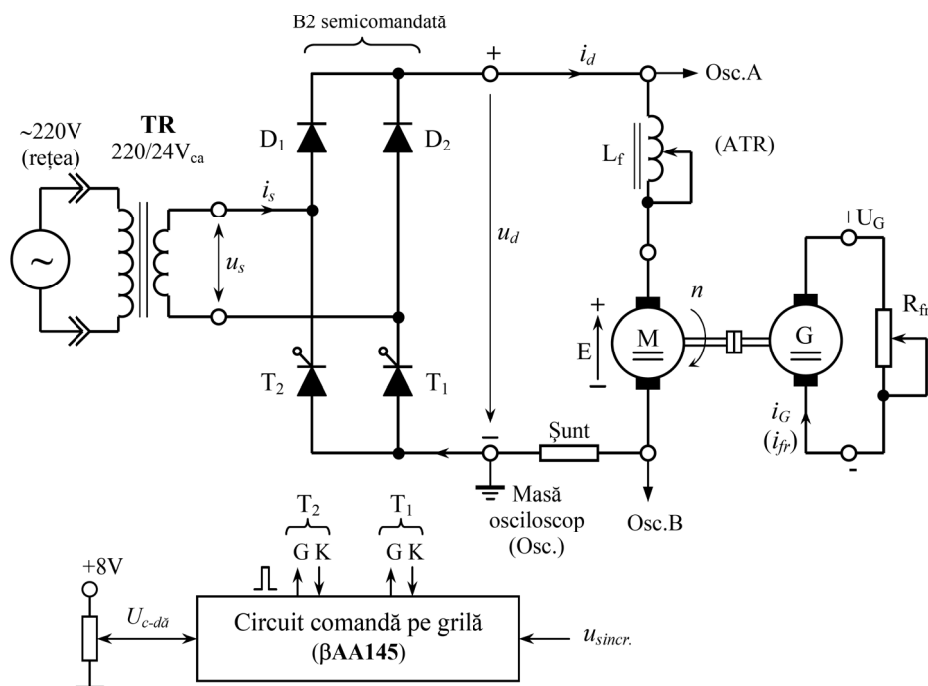
### 3. Montajul de laborator

Pentru a realiza standul experimental al punții monofazate semicomandate se va utiliza aceeași platformă din laborator ca în cazul punții B2 complet comandate cu deosebirea că se va schimba modulul de putere care acum va fi o punte semicomandată prinsă, de asemenea, pe un radiator care susține și bornele de legătură cu terminalele de forță și comandă. Conform celor prezentate în Referatul 8, montajul mai include următoarele elemente de circuit:

- un transformator (TR) de alimentare a montajului cu o tensiune joasă (24V<sub>ca</sub>);
- un autotransformator (ATR.) conectat între borna 0 și cursor în poziția inductanței  $L_f$  a cărei valoare poate fi reglată continuu;

- un circuit de comandă pe grilă al punții redresoare realizat cu ajutorul integratului specializat  $\beta$ AA145 (circuit descris în Lucrarea 3 de laborator);
- un motor de c.c. cu magneți permanenți (M) cuplat pe același ax cu o altă mașină identică (G) care va funcționa în regim de generator cu rol de a încălca mecanic motorul și a obține, în acest fel, o variație a curentului absorbit de la puntea semicomandată în scopul studiului conducției întrerupte pentru diferite sarcini;
- un șunt pentru oscilografiera formei de undă a curentului  $i_d$  ;
- un reostat în poziția rezistenței de frânare  $R_{fr}$ , legată ca sarcină pentru generatorul de c.c.;

Modul de interconectare al elementelor de circuit din instalația descrisă este prezentat în Fig.11.5. Imaginea montajului de laborator este prezentată în Fig.11.6.



**Fig. 11.5** Montajul de laborator al punții B2 semicomandate cu sarcină activă (motor - M).

Toate elementele de circuit menționate pot fi interconectate prin intermediul unor conductoare prevăzute cu banane la capete, așa cum se prezintă în imaginea din Fig.11.6. Se va utiliza un voltmetru pentru a măsura valoarea medie a tensiunii  $u_d$  și un osciloscop cu două spoturi pentru a oscilografia semnalele  $i_d$  și  $u_d$ .

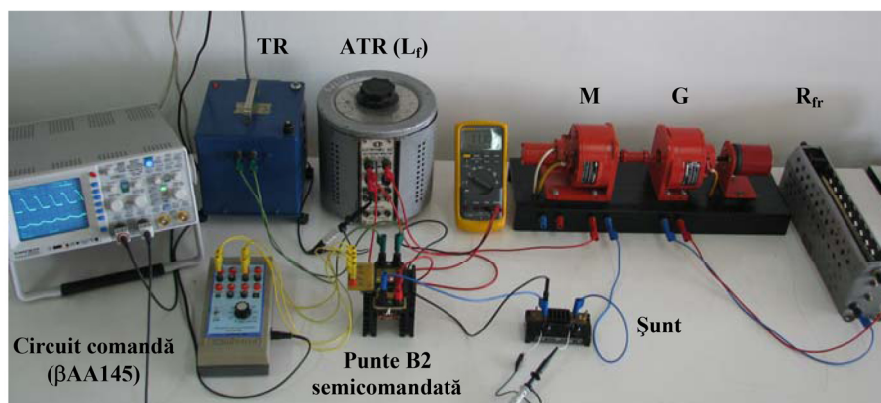


Fig. 11.6 Imaginea montajului din laborator a punții semicomandate.

### 7. Modul de lucru

1. Se vor studia aspectele teoretice cu privire la funcționarea redresorului monofazat în punte semicomandată: forme de unde, relația de calcul a tensiunii medii de la ieșire, caracteristica de reglaj etc.
2. Se va aprofunda și compara ce înseamnă curent întrerupt la nivelul punții semicomandate și ce înseamnă curent întrerupt la nivelul sarcinii. Pentru cel de-al doilea caz se vor analiza formele de undă și consecințele care apar datorită instalării acestui regim prin sarcină;
3. Se va realiza schema din Fig.11.5, se va pune în funcțiune în regim de curent neîntrerupt ( $L_f$  mare) și se vor vizualiza formele de undă  $u_d$  și  $i_d$  pentru diferite unghiuri de comandă;
4. Se va măsura componenta continuă  $U_{d\alpha}$  pentru diferite unghiuri de comandă cu ajutorul unui voltmetru, se va urmări variația vitezei motorului odată cu modificarea valorii tensiunii redresate și se va trasa caracteristica de reglaj  $U_{d\alpha}' = f(\alpha)$  din Fig.11.3;
5. Se va micșora inductanța de filtrare pentru a provoca un regim de curent întrerupt la nivelul sarcinii și se va observa comportamentul motorului în acest regim;
6. Se va evidenția creșterea tensiunii medii la ieșirea redresorului după instalarea conductiei intermitente și variația tensiunii odată cu modificarea curentului de sarcină prin încărcarea diferită a generatorului cuplat mecanic cu motorul prin intermediul rezistențe de frânare  $R_{fr}$ ;
7. Se va pune în evidență oscilația ansamblului convertor-motor atunci când unghiul de comandă este coborât progresiv spre zero în regim de curent întrerupt;