

CAPITOLUL 4

CONTACTOARE STATICE

4.1. Chestiuni generale

Contactoarele statice (prescurtat CS) servesc la cuplarea sau decuplarea unei sarcini la o sursă de energie electrică. Ele sunt echivalate (figura 4.1) cu un contact ideal care poate fi făcut sau desfăcut prin comandă. Alături de blocul de forță, desenat punctat, există și un bloc de comandă care nu este desenat dar se presupune că el furnizează semnale pentru comanda blocului de forță în succesiunea și la parametrii ceruți.

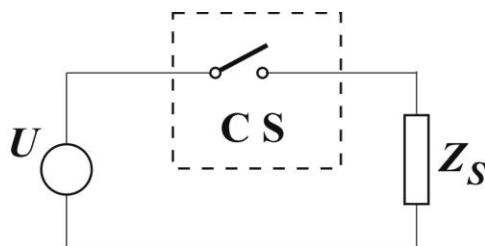


Fig. 4.1. Contactor static; reprezentare simplificată

Ele sunt realizate cu dispozitive semiconductoare, tranzistoare, triacuri, tiristoare. În cazul puterilor mari se utilizează în exclusivitate tiristoarele. Se numesc statice deoarece nu conțin părți în mișcare, cum este cazul la contactoarele electromagnetice.

După natura sursei de energie electrică se împart în două categorii:

- Contactoare de curent alternativ
- Contactoare de curent continuu.

După tipul de ventil sunt:

- Cu dispozitive semicomandate unidirecționale (tiristoare)
- Cu dispozitive semicomandate bidirecționale (triacuri, celule bidirecționale realizate cu tiristoare)
- Cu dispozitive comandate unidirecționale (tranzistoare MOS, tranzistoare IGBT, tiristoare cu stingere pe poartă)
- Cu dispozitive comandate bidirecționale (celule bidirecționale realizate cu tranzistoare MOS, tranzistoare IGBT)

După numărul de faze sunt:

- Monofazate
- Trifazate

Contactoarele statice reprezintă partea principală și în alte circuite electronice de putere, cum ar fi convertoarele de frecvență și de tensiune.

Sarcina are obișnuit un caracter inductiv și poate fi desemnată printr-o impedanță, Z_s care se va echivala cu o rezistență în serie cu o inductanță

Față de contactoarele electromecanice au avantaje importante cum sunt siguranța mare în funcționare și uzura minimă. Dezavantajul este prețul mai mare, mai ales la puteri mari și foarte mari.

Contactoarele statice nu produc scântei, așa cum se întâmplă cu contactoarele electromecanice, putând fi folosite cu succes în medii care prezintă pericol de explozie.

Problema scânteiilor sau, în cazul contactoarelor statice, a supratensiunilor la bornele dispozitivelor este de cea mai mare importanță.

4.2. Contactoare de curent alternativ monofazat

Schemele contactoarelor de curent alternativ sunt relativ simple. Vor fi prezentate contactoare cu tiristoare dar acestea pot fi înlocuite cu orice alt tip de ventil din cele amintite mai devreme.

Aprinderea tiristoarelor se face de la un bloc de comandă iar stingerea este naturală, prin inversiunea tensiunii sursei. Principalele scheme utilizate sunt prezentate în fig. 4.2, 4.3, 4.4.

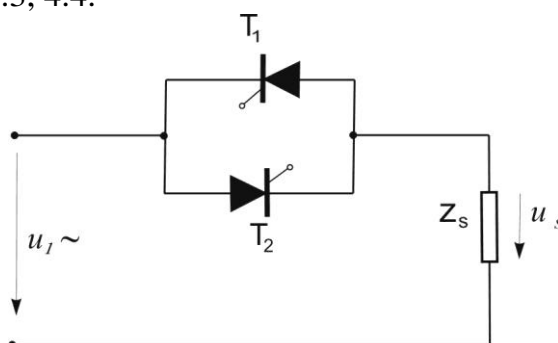


Fig. 4.2. Contactor static
cu ventile antiparalel

Prima dintre ele este formată din două tiristoare legate într-o combinație care se numește antiparalel. Pentru semiperioada pozitivă a tensiunii poate fi comandat și aprins T_2 . În momentul inversării tensiunii, T_2 se stinge, și poate fi aprins T_1 .

Schema are dezavantajul că tiristoarele sunt comandate cu două circuite de comandă separate, flotante, iar asta implică separări multiple.

Circuitul din figura 4.3 elimină dezavantajul deoarece circuitul de comandă are un punct comun la ambele tiristoare. La schema aceasta, dacă tiristoarele sunt blocate atunci indiferent de polaritatea sursei una dintre diode va fi blocată și nu există cale de rezistență mică în nici o direcție.

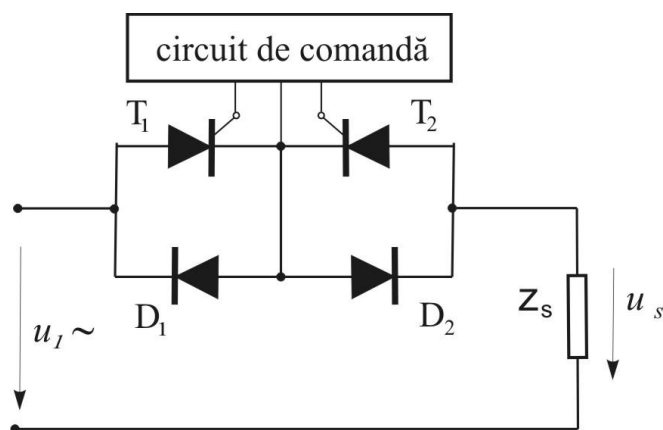


Fig. 4.3. Contactor static cu două ventile cu punct comun de comandă.

Dar dacă presupunem semialternanță pozitivă, și dacă se aprinde T_1 atunci curentul poate circula prin T_1 și D_2 . Pentru semialternanță negativă, + pe anodul T_2 , dacă se aprinde T_2 atunci curentul poate circula prin T_2 și D_1 .

A treia schemă utilizează un singur tiristor și 4 diode semiconductoare (fig.4.4). În semiperioada pozitivă, dacă se comanda aprinderea tiristorului curentul se închide prin D_1 , T , D_2 și sarcina, iar semiperioada negativă prin D_2 , T , D_4 și sarcina.

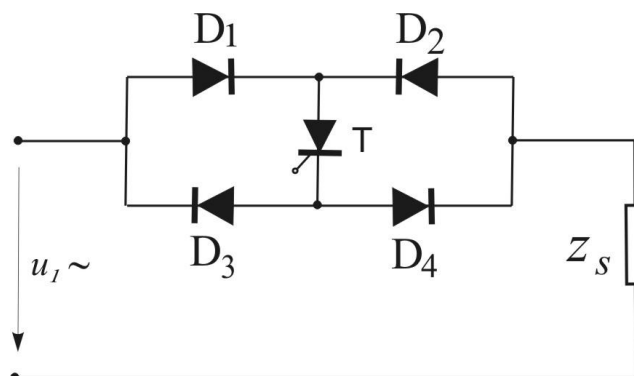


Fig. 4.4. Contactor static cu un singur ventil comandabil și punte de diode.

4.3. Variatoare de curent alternativ monofazat

Contactoarele statice sunt utilizate mult pentru reglajul puterii cedate sarcinii de la rețeaua de curent alternativ. Circuitele acestea se mai numesc și variatoare de tensiune alternativă.

Sarcina este inductivă astfel că pentru a înțelege cum funcționează variatoarele de tensiune alternativă se va reaminti cum se comportă tranzitoriu un circuit RL conectat la rețeaua de 50 Hz.

4.3.1. Circuit RL în regim tranzitoriu la conectarea rețelei de c.a.

Se consideră situația din figura 4.5 unde este reprezentat un circuit RL serie conectat printr-un contactor static la o sursă de tensiune alternativă. Faza inițială a fost considerată zero și se presupune că la momentul $t_0=0$, cu o întârziere dată de unghiul α :

$$\alpha = \omega t_0 \quad (4.1)$$

se conectează contactorul.

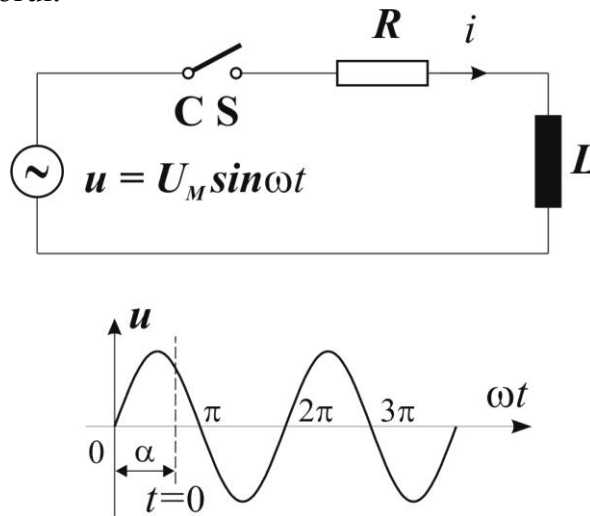


Fig. 4.5. Contactor de la rețea pe sarcină RL

Ecuția circuitului după conectare este:

$$U_M \sin \omega t = Ri + L \frac{di}{dt} \quad (4.2)$$

Care este o ecuație liniară de ordinul întâi cu coeficienți constanți
Rezolvarea se poate face în mai multe moduri, prezentate în literatură.
Soluția este o sumă:

$$i = i_{\text{permanent}} + i_{\text{tranzitoriu}} \quad (4.3)$$

sau:

$$i = \frac{U_M}{\sqrt{R^2 + \omega^2 L^2}} \sin(\omega t - \varphi) + C_1 \exp\left(-\frac{t - t_0}{\tau}\right) \quad (4.4)$$

Unde:

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{\omega L}{R} \quad (4.5)$$

$$\tau = \frac{L}{R} \quad (4.5)$$

Iar C_1 este o constantă egală cu valoarea cu semn schimbat a curentului prin circuit, la momentul t_0 dacă am fi în regim permanent. Astfel curentul va fi o sumă dintre valoarea de regim permanent și o mărime exponențială cu amplitudine variabilă între zero și curentul maxim de regim permanent, mărimea care se atenuează exponențial funcție de constanta de timp a circuitului RL.

În figurile următoare este prezentată această variație pentru mai multe valori ale α (sau t_0).

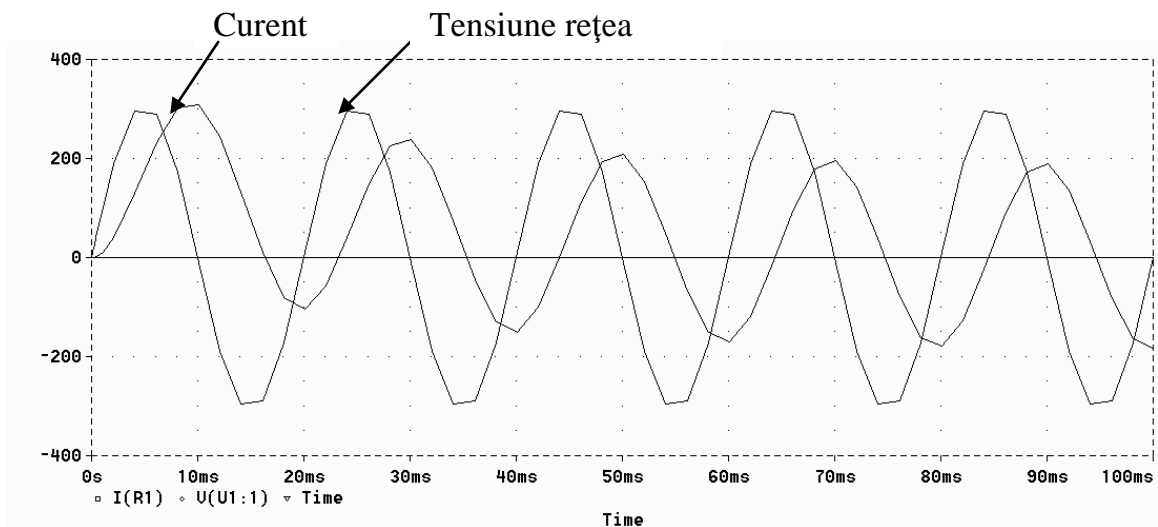


Fig 4.6. Declansarea regimului se face la momentul 0.

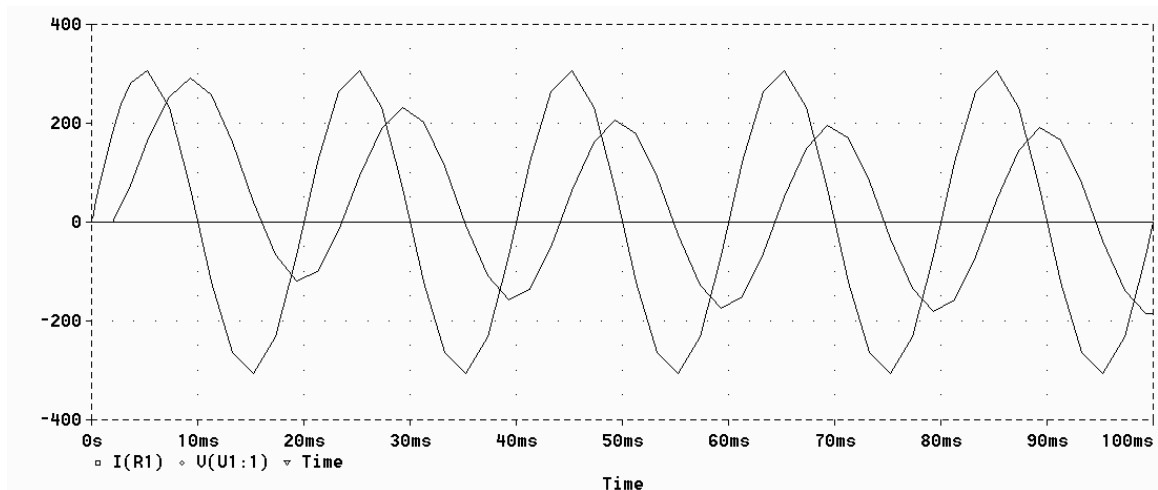


Fig 4.7. Declansarea regimului se face la momentul 2 ms.

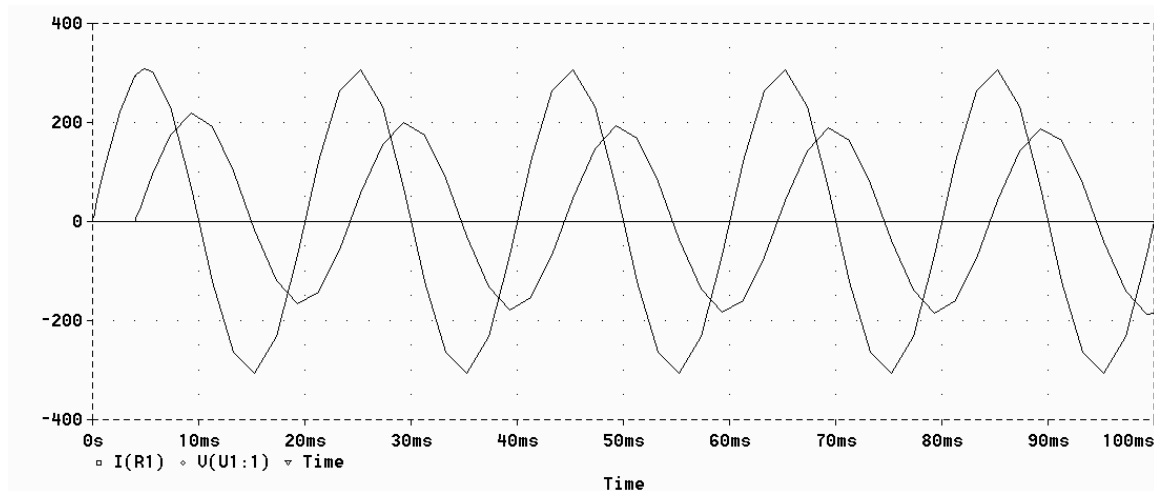


Fig 4.8. Declansarea regimului se face la momentul 4 ms.

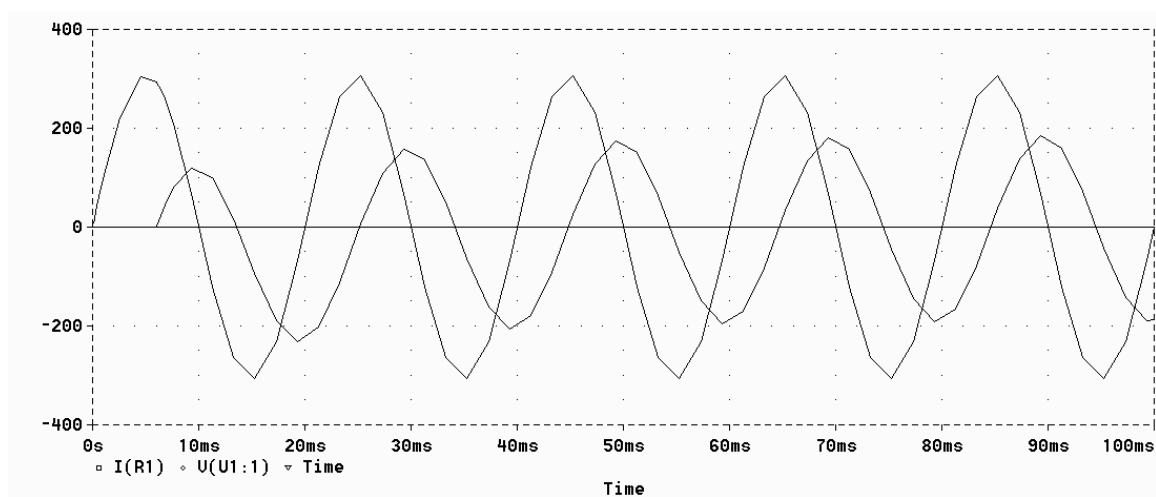


Fig 4.9. Declansarea regimului se face la momentul 6 ms.

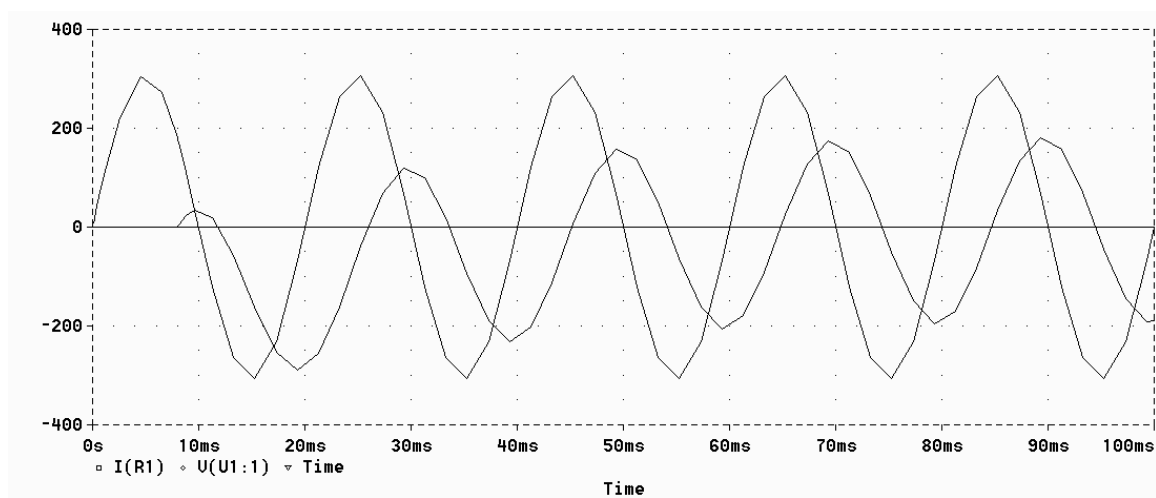


Fig 4.10. Declansarea regimului se face la momentul 8 ms.

Circuitul este:

- RL (0,2 ohmi , 5 mH)
- alimentat cu tensiune sinusoidală de la rețeaua monofazată de 50 Hz

Se poate observa că în anumite condiții curentul maxim (care trebuie să fie suportat de ventilul sau ventilele contactorului) poate ajunge până aproape la dublul valorii de regim permanent.

Dar se poate observa și că acest supracurent poate fi evitat, dacă:

$$\alpha = \varphi$$

atunci :

$$i(0) = 0$$

și termenul tranzitoriu este zero, circuitul intrând direct în regimul permanent (fig. 4.8).

Dacă avem celule bidirecționale, după primul puls de curent nivelul de zero care e și momentul stingerii se atinge la un moment greu de apreciat, dar pentru continuarea conducției trebuie aprins imediat ventilul doi. Obisnuit ambele ventilele sunt comandate permanent pentru intrarea în conducție.

4.3.2. Metode de comandă pentru variatoarele de c.a.

Cu ajutorul contactoarelor statice se poate regla puterea cedată sarcinii, prin două metode:

- Se poate modifica numărul de semiperioade al tensiunii aplicate sarcinii (fig. 4.11);
- Se poate realiza un unghi de comandă α variabil pentru fiecare semiperioada (fig.4.12).

Pentru primul caz se poate regla doar în trepte puterea, alegând un raport între semiperioadele de conectare și cele de pauză. În figura 4.11 raportul este 3/2.

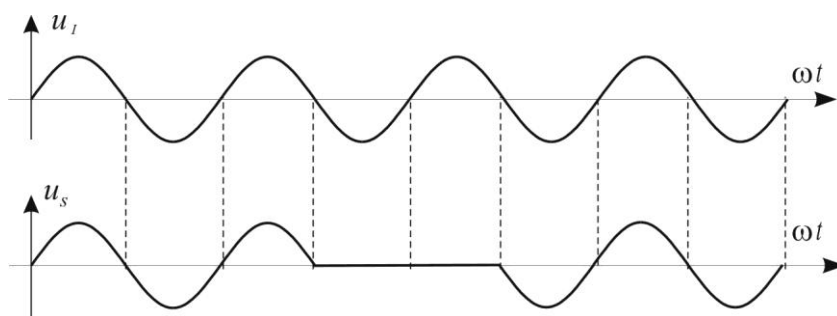


Fig. 4.11. Reglaj în trepte al puterii.

Pentru al doilea caz se poate regla continuu puterea, variind unghiul de comandă.

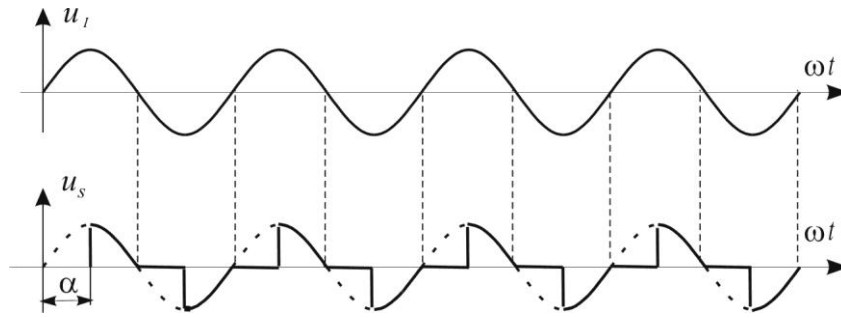


Fig. 4.12. Reglaj continuu al puterii.

Pentru puteri mici este foarte utilizată o schemă simplă de contactor cu unghi de comandă reglabil realizat cu un triac comandat de la un circuit de defazare RC printr-un diac (fig. 4.13.).

Tensiunea pe condensator u_o este defazată în urma tensiunii sursei. În momentul în care această tensiune u_o depășește valoarea tensiunii de deschidere a diacului U_D prin el se aplică un impuls de comandă care aprinde triacul. Stingerea are loc natural prin inversarea tensiunii.

Valoarea unghiului de comandă α depinde atât de valoarea tensiunii de deschidere a diacului U_D cât și de valorile elementelor R și C . Prin variația valorii rezistenței poate fi modificat unghiul α de comandă, și deci valoarea efectivă a tensiunii pe sarcină.

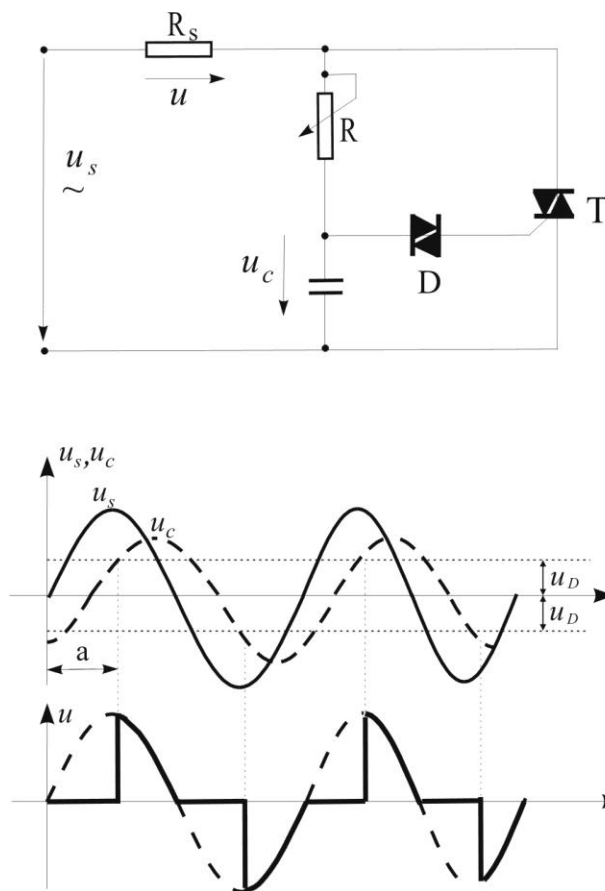


Fig. 4.13. Variator simplu cu diac, triac și defazaj RC.

4.4. Contactoare de curent alternativ trifazat

În cazul rețelilor și sarcinilor trifazate, contactoarele trifazate pot fi ușor realizate, utilizând câte un contactor monofazat pe fiecare fază (figura 4.14).

CS poate să fie oricare din tipurile de celule bidirecționale prezentate.

Există pentru sistemele trifazate unele variante specifice de contactoare care au fost imaginat pentru a micșora numărul ventilelor și a simplifica și ieftin sistemele.

Două sunt prezentate aici, prima care utilizează doar trei ventile comandabile și trei diode (figura 4.15a) iar a doua care reduce numărul ventilelor la doar trei ventile comandabile (figura 4.15b).

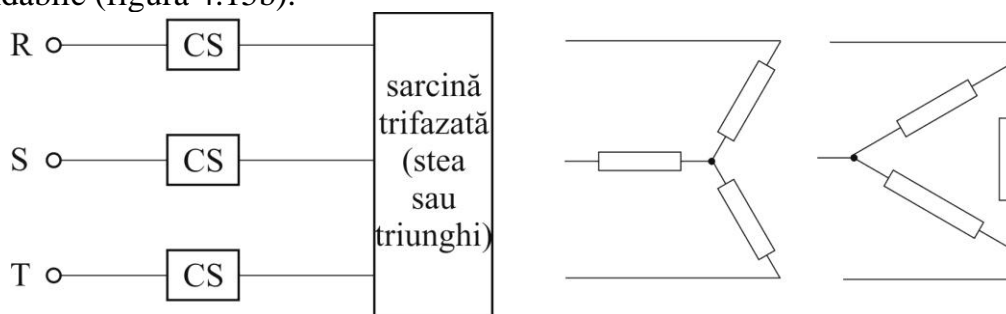


Fig. 4.14. Contactor trifazat cu trei contactoare monofazate.

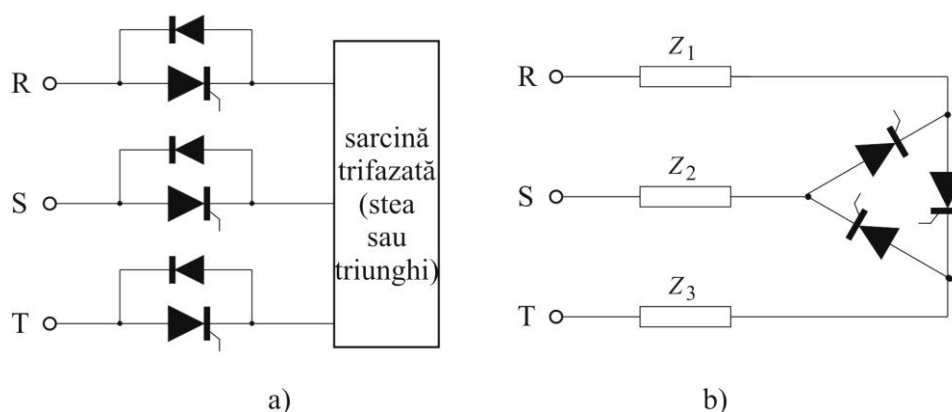


Fig. 4.15. Contactor trifazat cu număr redus de ventile.

4.5. Contactoare de curent continuu

Contactoarele statice de curent continuu sunt partea principală la convertoarele de tensiune continuă și vor fi prezentate pe larg acolo. Aici se prezintă doar o schema simplă, cu tiristor ca ventil principal, pentru a vedea mecanismul clasic de stingere a ventilului în cazul în care acesta este semicomandabil, figura 4.16. Pentru stingere se utilizează un tiristor secundar și două elemente suplimentare, o rezistență și un condensator.

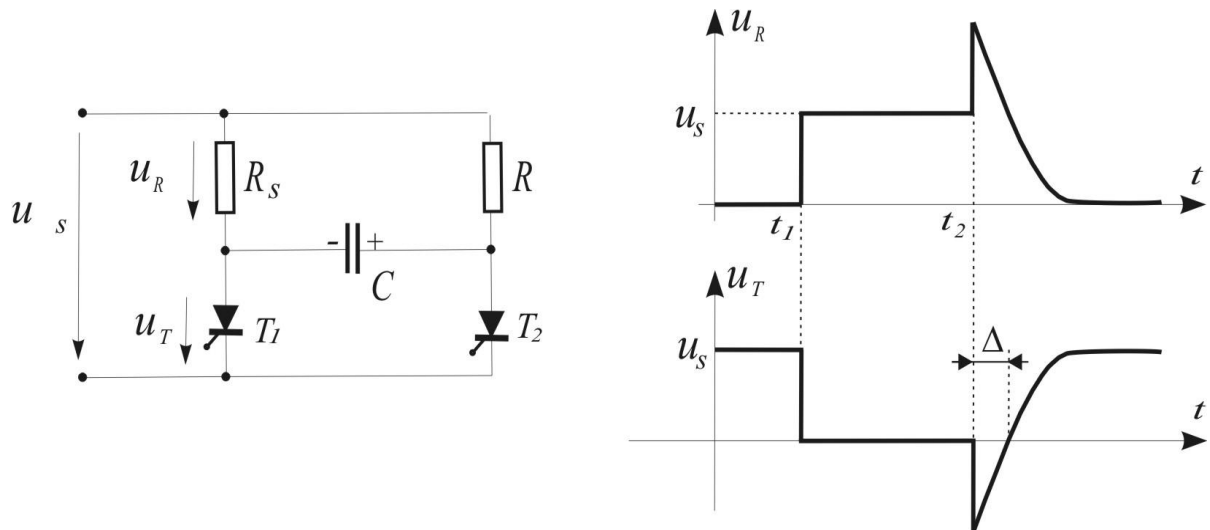


Fig. 4.16. Contactor static de curent continuu.

Tiristorul principal este T_1 , iar R_s este rezistența de sarcină. Tiristorul T_2 , condensatorul C și rezistența R formează circuitul de stingere. Tiristorul T_2 este de putere mult mai mică decât tiristorul principal.

Dacă în momentul t_1 se comandă aprinderea tiristorului T_1 , tensiunea sursei U_s se aplică rezistenței de sarcină. Sarcina a fost conectată la sursă. Prin rezistența R condensatorul se încarcă cu o tensiune egală cu U_s , cu semnul din figură.

Când dorim întreruperea contactului sarcină-sursă se comandă aprinderea tiristorului T_2 (în momentul t_2). Tensiunea pe condensator se va aplica între anodul și catodul tiristorului T_1 și fiind de polaritate inversă va bloca tiristorul T_1 . Condensatorul se descarcă prin R_s și după un interval Δ de timp va trece la valori pozitive, încarcându-se cu semn opus față de momentul inițial. Tiristorul T_2 va rămâne aprins, până la aprinderea lui T_1 când printr-un proces similar, datorită condensatorului C se va stinge.



Fig. 4.17. Convertor de frecvență.

4.6. Cicloconvertoare

Cicloconvertoarele fac parte din categoria mai largă a convertoarelor de frecvență (figura 4.17) care transforma o sursă de energie de curent alternativ de frecvență f_1 și tensiune u_1 în sursă de energie de curent alternativ de frecvență f_2 și tensiune u_2 .

Sursele pot fi mono sau trifazate, frecvența poate să fie mărită sau micșorată, variabilă sau fixă, forma poate fi sinusoidală sau nu (dreptunghiulară sau mai des de forma mai complexă care conduce la curenți apropiați de forma sinusoidală prin efectul de filtrare al sarcinilor inductive)

Există două categorii importante de convertoare de frecvență:

- convertoare de frecvență cu circuit intermediar de curent continuu;
- convertoare de frecvență directe.

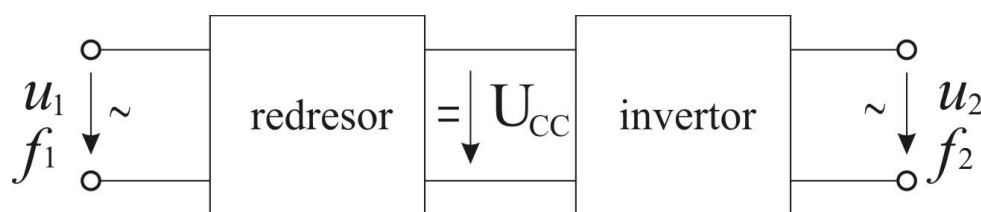


Fig. 4.18. Convertor de frecvență cu circuit intermediar de c.c.

Convertoarele de frecvență cu circuit intermediar de curent continuu au schema bloc din figura 4.18. Un redresor face o primă transformare c.a.-c.c., la ieșirea lui fiind de obicei și un element de stocare a energiei de curent continuu, baterie sau condensator de valoare mare, iar apoi un invertor face transformarea inversă, c.c.-c.a.. Dacă invertorul decide valoarea frecvenței de ieșire, reglabila în majoritatea cazurilor, reglajul tensiunii de ieșire se face mai des prin utilizarea unui redresor comandat care face reglajul tensiunii intermediare de curent continuu.

Cicloconvertoarele sunt categoria cea mai răspândită de convertoare de frecvență directe. Ele pornesc de la o sursă de c.a., de obicei rețeaua, și realizează o micșorare a frecvenței acesteia, de la valoarea nominală, 50 Hz în cazul curent până la frecvențe foarte joase, Hz sau fracțiuni de Hz. Utilizarea obișnuită este comanda turației motoarelor de c.a.

Schemele cicloconvertoarelor sunt similare celor ale redresoarelor, cu deosebirea că în locul ventilelor unidirecționale sunt puse ventile bidirecționale (contactoare statice).

Cea mai simplă schema de cicloconvertor, care ilustrează principiul de funcționare este prezentată în figura 4.19 și e similară schemei redresorului monofazat dublă alternanță cu punct median.

Prin comanda tiristoarelor într-o anumită succesiune (ciclu) se obține pe sarcină o tensiune alternativă, de frecvență mai mică, chiar dacă în cazul de față nu este sinusoidală.

Prin ciclul de comandă $T_1, T_3, T_1, T_2, T_4, T_1$, se obține o tensiune alternativă cu frecvența de 3 ori mai mică decât frecvența inițială.

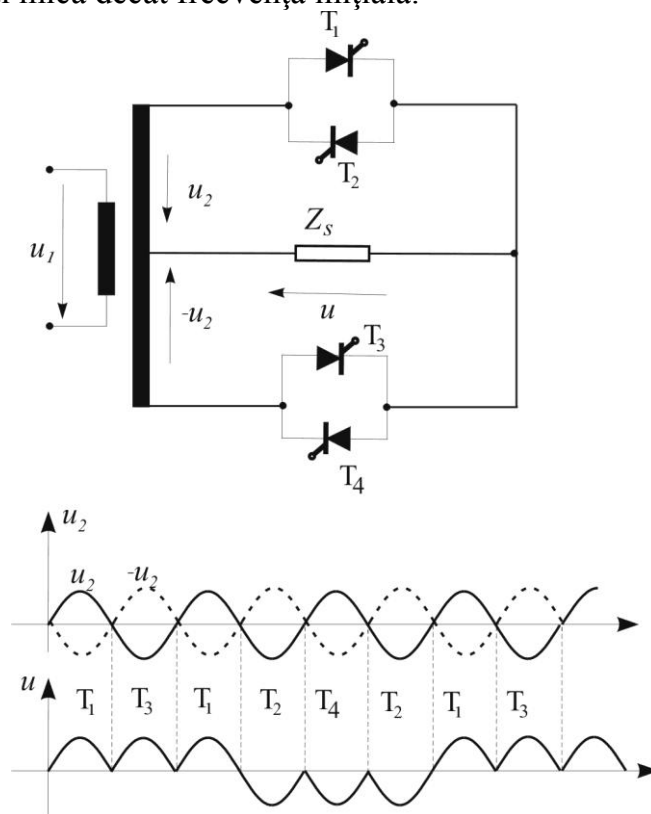


Fig. 4.19. Cicloconvertor din sursă monofazăată.

Pornind de la redresorul trifazat cu punct median se pot obține forme mai apropiate de sinusoidă (figura 4.20).

De la o schema cu șase pulsuri (punte trifazăată) se pot obține forme complexe care duc la curenți aproape sinusoidali.

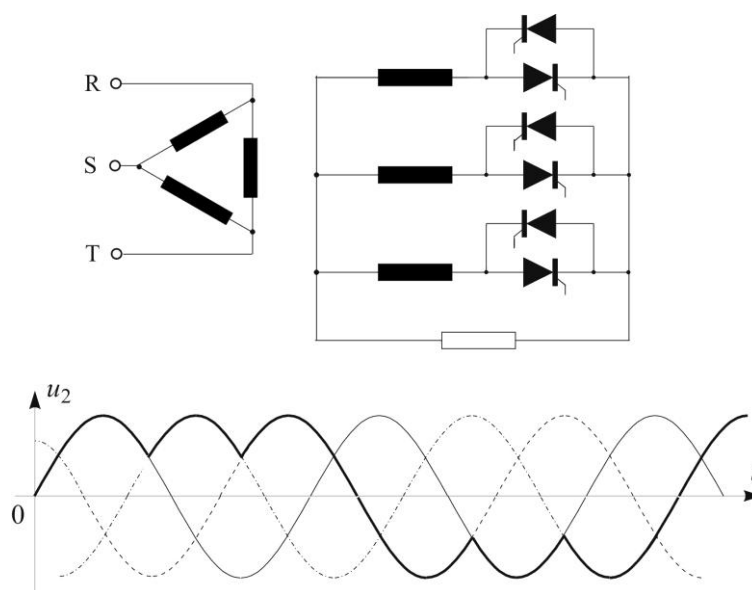


Fig. 4.20. Cicloconvertor din sursă trifazăată.