

Capitolul 5

5. TIRISTORUL ȘI TRIACUL

Tiristorul este un dispozitiv semiconductor cu o structură *pnpn* (dispuse alternativ), care are trei electrozi (terminale) numiți anod (A), catod (K) și grilă (G) sau poartă (fig. 5.1).

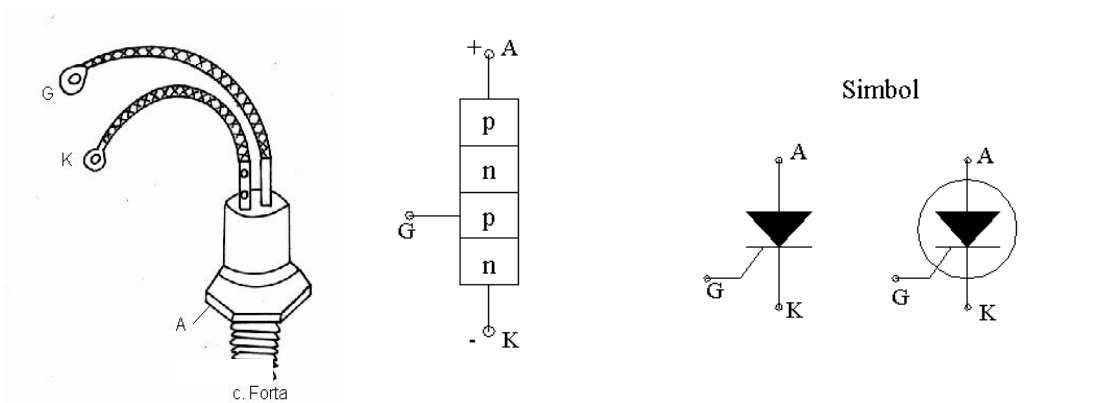


Fig. 5.1.

Tensiunile care se aplică tiristorului și curenții prin acesta se arată în figura 5.2.

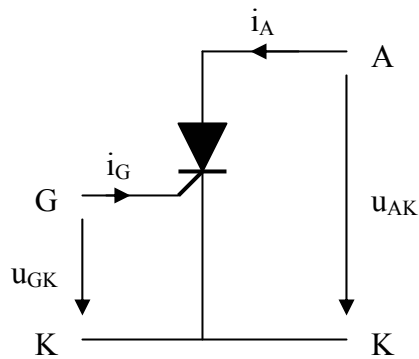


Fig. 5.2.

5.1. Caracteristica statică și funcționarea tiristorului

Caracteristica statică a tiristorului sau caracteristica curent-tensiune se arată în figura 5.3.

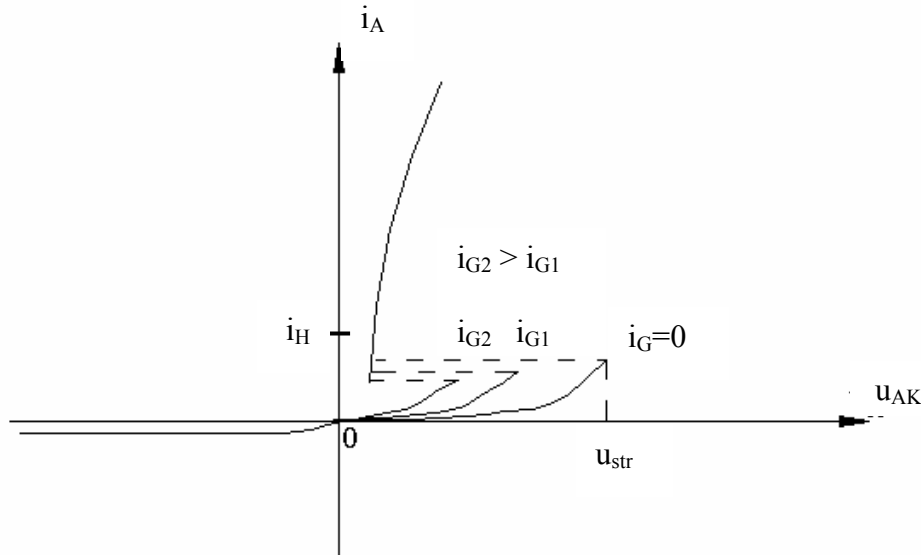


Fig. 5.3.

Caracteristica corespunzătoare *polarizării directe* ($u_{AK} > 0$) prezintă un curent i_A foarte mic corespunzător stării de blocare a tiristorului, până la o valoare critică a tensiunii $u_{AK} = u_{str}$ (numită tensiune de străpungere sau de aprindere a tiristorului). După atingerea acestei valori tiristorul basculează într-o stare de conducție caracterizată prin tensiune la borne foarte mică și curent i_A limitat numai de circuitul exterior tiristorului. Valoarea tensiunii de aprindere a tiristorului este controlată cu ajutorul curentului de comandă i_G injectat în grilă, fiind cu atât mai mică cu cât i_G este mai mare.

Grila tiristorului are rol numai în declanșarea aprinderii tiristorului, urmând ca după amorsarea conducției tiristorului, grila să nu mai influențeze cu nimic starea dispozitivului. Conducția tiristorului încetează numai dacă valoarea curentului i_A scade sub valoarea curentului de menținere (holding) i_H .

Operația de amorsare a tiristorului este asemănătoare cu amorsarea unei pompe de apă aspiratoare. Pentru ca pompa să tragă apă, trebuie mai întâi să introducem apă în corpul pompei, pentru a înlătura aerul.

Durata de timp cât se aplică curentul de comandă i_G trebuie să fie suficient de mare (tipică de câteva zeci de microsecunde) pentru a permite curentului anodic i_A să depășească valoarea de menținere i_H , deci tiristorul să intre în conducție. De asemenea, circuitul de comandă al tiristorului trebuie să furnizeze o putere instantanee suficientă pentru ca aprinderea tiristorului să fie sigură.

Pentru o polarizare inversă ($u_{AK} < 0$) tiristorul rămâne blocat. Caracteristica corespunzătoare polarizării inverse a tiristorului este asemănătoare cu cea a unei joncțiuni pn polarizată invers.

Trecerea tiristorului din starea de conducție (aprins) în starea de blocare (stins) se poate realiza în două moduri:

1. întreruperea curentului i_A anod-catod (tensiunea u_{AK} ajunge la zero sau trece prin zero spre valoarea negativă);
2. micșorarea curentului i_A sub valoarea curentului de menținere i_H , fără inversarea polarității tensiunii u_{AK} .

Se constată că tiristorul se poate afla în timpul funcționării în două stări posibile: starea de conducție și starea de blocare.

Un tiristor poate conduce numai într-un singur sens. El poate să conducă numai atunci când tensiunea anod-catod este pozitivă. Ori de câte ori tensiunea anod-catod este negativă, tiristorul va rămâne blocat, indiferent dacă se aplică sau nu impulsuri de comandă între grilă și catod.

5.2. Structura și schema echivalentă a unui tiristor

Realizarea constructivă a tiristorului ca dispozitiv electronic cu structură $pnpn$ este prezentată în figura 5.4 a. Se constată că tiristorul poate fi privit ca fiind format din două tranzistoare complementare (unul pnp și celălalt npn), conectate între ele conform schemei echivalente din figura 5.4 b. Fiecare tranzistor are baza legată cu colectorul celuilalt.

Aspectul caracteristicii statice la $i_G = 0$ se poate explica și cu ajutorul schemei echivalente. Astfel, datorită modului de conectare a celor două tranzistoare, se constată că la o creștere a curentului $i_{C1} = i_{B2}$ se realizează o creștere de β_2 ori mai mare a lui $i_{C2} = i_{B1}$, care provoacă o mărire în continuare

a lui i_{C1} de $\beta_1 \cdot \beta_2$ ori față de valoarea inițială, și așa mai departe. (Se cunoaște că pentru tranzistorul bipolar cu joncțiuni este valabilă relația $i_C = \beta \cdot i_B$.) Prin urmare, pe bucla care se deschide între cele două colectoare și baze, apariția unei perturbații poate duce la un proces în avalanșă în urma căruia ambele tranzistoare se vor afla în final în conducție (saturație).

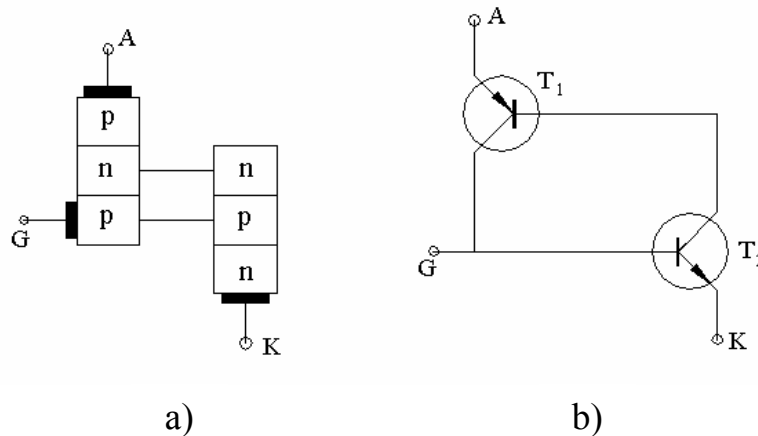


Fig. 5.4.

Dacă $i_G = 0$, la tensiuni mici și medii curenții reziduali care străbat structura sunt foarte mici, ceea ce face ca factorii de amplificare în curent ai celor două tranzistoare să aibă valori scăzute, amplificarea pe bucla descrisă să fie subunitară și trecerea în conducție să fie deci imposibilă. Mărind însă substanțial tensiunea u_{AK} , are loc procesul de multiplicare în avalanșă al purtătorilor de sarcină, în urma căruia crește curentul prin structură și amplificarea pe buclă devine supraunitară. În acest mod structura comută în starea de conducție.

Rezultă că tiristorul este un dispozitiv comandat în curent. Modul de lucru normal al tiristorului este următorul: se aplică între anod și catod o tensiune $u_{AK} < u_{str}$ și în momentul în care se dorește intrarea în conducție (aprindere), se injectează un curent i_G prin grilă. Blocarea (stingerea) tristorului se realizează prin întreruperea curentului anod-catod (tensiunea ajunge la zero sau trece prin zero spre valoarea negativă).

După ce tiristorul s-a deschis (conduce), tensiunea U_A nu influențează funcționarea sa. Aceasta este deosebirea esențială între rolul grilei unui tiristor

(de comandă a intrării în conducție) și rolul jucat de baza unui tranzistor (de control a valorii curentului de colector).

5.3. Transferul controlat al puterii către o sarcină cu ajutorul tiristorului

Cantitatea de energie electrică transferată de la o sursă de curent alternativ $e = E \sin \omega t$ către o sarcină (consumator) poate fi controlată cu ajutorul unui tiristor interpus între sursă și sarcină (fig. 5.5).

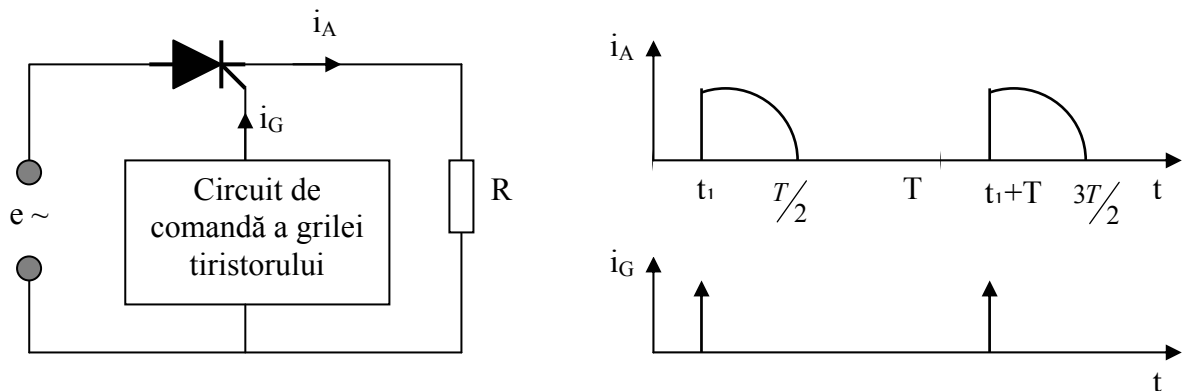


Fig. 5.5.

Circuitul de comandă al grilei tiristorului furnizează impulsuri de comandă în momentele $t_1 + kT$ ($0 < t_1 < \frac{T}{2}$). Valoarea medie a curentului prin sarcină este

$$I_{med} = \frac{1}{T} \int_{t_1}^{\frac{T}{2}} \frac{E}{R} \sin \omega t dt = f(t_1) \quad (5.1)$$

Dacă $t_1 \rightarrow 0$, curentul tinde către valoarea maximă

$$(I_{med})_{max} = \frac{E}{\pi R} \quad (5.2)$$

și de asemenea puterea tinde către maximul său. Atunci când $t_1 \rightarrow \frac{T}{2}$, $I_{med} \rightarrow 0$ și puterea transferată sarcinii tinde către zero.

În aplicațiile industriale care folosesc tiristoare, cea mai răspândită tehnică de comandă a tiristoarelor este cu ajutorul circuitelor integrate specializate acestui scop. Exemplul cel mai cunoscut este circuitul integrat *UAA 145* (sau circuitul integrat românesc $\beta A 145$). Alte circuite de comandă pe grilă a tiristoarelor sunt prezentate în [DCE, T. Dănilă].

5.4. Triacul

5.4.1. Prezentare generală

Tiristorul este un dispozitiv electronic cu conducție comandată unilaterală (de la anod la catod). În multe aplicații este nevoie de un dispozitiv similar, dar care să prezinte conducție bilaterală comandată, pentru a se putea utiliza ambele alternanțe ale tensiunii alternative. Aceasta se realizează punând două tiristoare în paralel inversate (antiparalel), formându-se astfel un dispozitiv denumit *triac*.

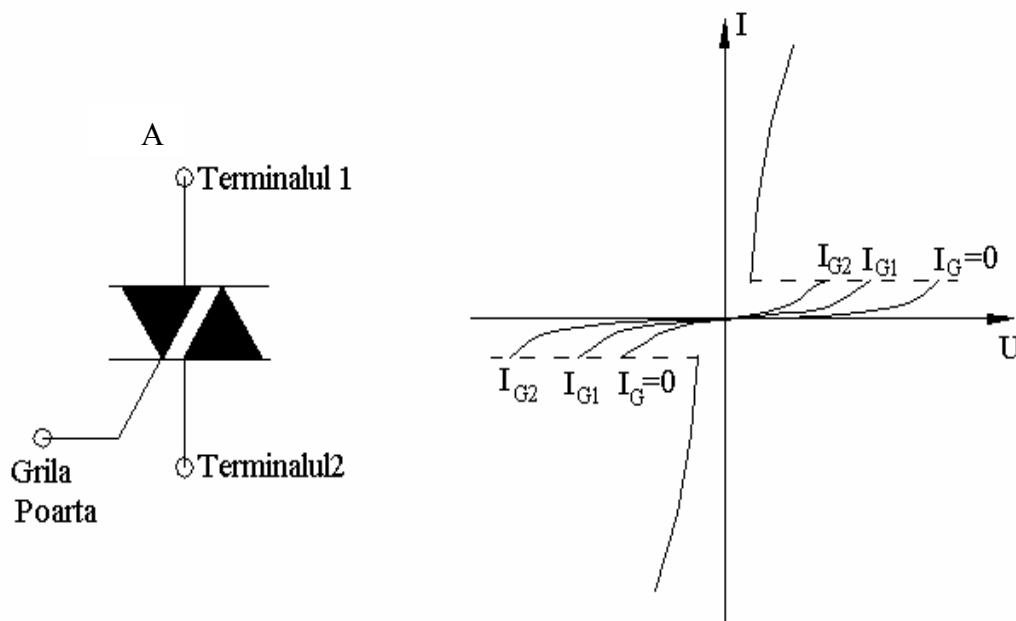


Fig. 5.6.

Noțiunea de anod A și catod K își pot pierde sensul în cazul triacului și în locul lor se poate folosi noțiunea de terminalul 1 și terminalul 2. Triacul poate fi trecut în stare de conducție pentru tensiuni pozitive cât și pentru tensiuni negative, aplicate între terminalul 1 (A) și terminalul 2 (K). Simbolul și caracteristica statică a triacului sunt prezentate în figura 5.6.

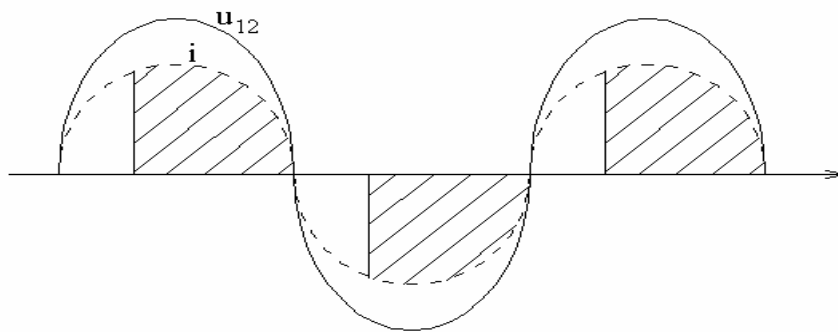


Fig. 5.7.

În figura 5.7 se arată intervalele de timp cât triacul conduce sau este blocat pentru semialternanțele pozitive sau negative ale tensiunii alternative aplicate între terminalele 1 și 2 ale triacului.

Un triac, atunci când este deschis, suportă între terminalele 1 (A) și 2 (K) curenți mari cu intensități de ordinul amperilor sau zecilor de amperi. Triacul, atunci când este închis, suportă între terminalele 1 (A) și 2 (K) tensiuni de ordinul sutelor de volți.

Atunci când triacul este închis (blocat), rezistența electrică între terminalele de putere A și K este foarte mare. Rezistența electrică între terminalele de putere A și K este foarte mică atunci când triacul este deschis.

Intrarea în conducție a unui triac se obține prin aplicarea unor impulsuri de tensiune între grila de comandă G și unul dintre terminalele A sau K.

5.4.2. Aplicații ale triacului

5.4.2.1. Comanda unei lămpi electrice

Aplicația, conform [E. Gh. Bistriceanu, Introducere în electronică și aplicațiile ei, 1996] ilustrează o posibilitate de folosire a triacului. Utilitatea

practică a schemei din figura 5.8 este redusă, însă datorită simplității este recomandată pentru înțelegerea funcționării triacului.

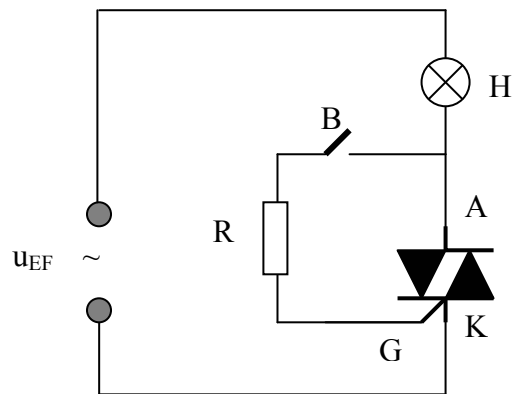


Fig. 5.8

Lampa H va fi stinsă atunci când triacul este închis (blocat) și va fi aprinsă atunci când triacul este deschis (în conducție).

Dacă tensiunea de alimentare u_{EF} crește în valoare absolută peste o anumită limită, atunci tensiunea dintre grilă și catod devine suficient de mare pentru a aduce în conducție triacul. Tensiunea dintre grilă și catod depinde de rezistența internă a lămpii electrice, de valoarea rezistenței R și de rezistența grilă - catod a triacului.

Rezistorul R are rolul de a limita tensiunea între grila și catodul triacului.

Triacul va fi blocat atunci când nu are aplicată tensiune de comandă între grilă G și catod K. Blocarea triacului se păstrează atât timp cât butonul B nu este apăsat (are contactul deschis).

Tensiunea alternativă u_{EF} va aprinde lampa H atunci când butonul B este apăsat și triacul trece în starea de conducție datorită tensiunii de comandă aplicate între grilă și catod.

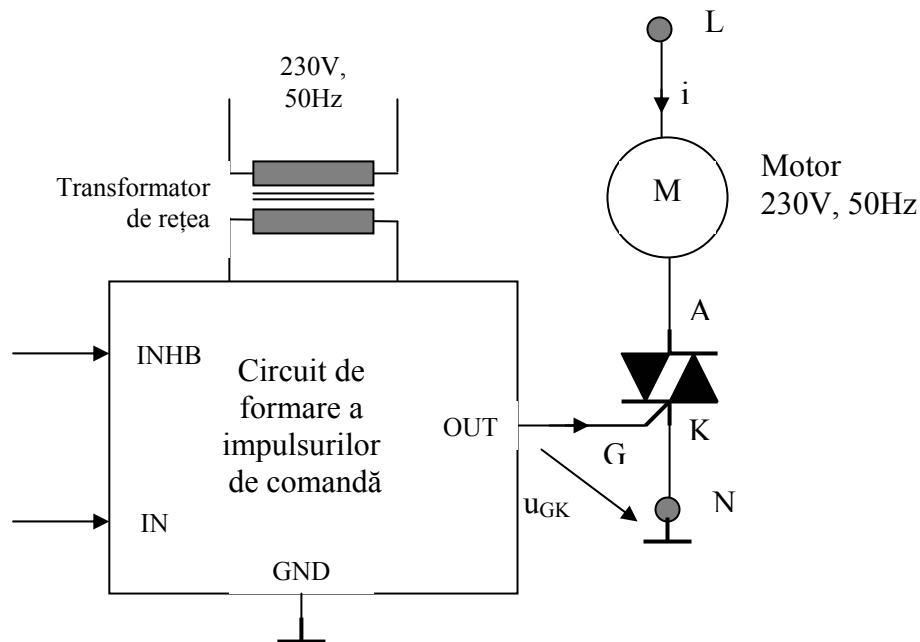
Schema din figura 5.8 se poate folosi și pentru verificarea stării de funcționare a triacelor. În acest caz, între bornele E și F se aplică tensiune continuă. Procedura de verificare a triacelor și funcționarea schemei se prezintă în continuare.

Se aplică o tensiune continuă $U_{EF} > 0$ și lampa H va rămâne stinsă până când se va închide contactul butonului B. Din acest moment lampa se aprinde și

va rămâne aprinsă și după deschiderea contactului butonului B. Se deconectează sursa de tensiune continuă de la bornele E și F și se conectează la aceleași borne invers. Acum tensiunea continuă aplicată între E și F va fi negativă. Lampa H va fi stinsă până când se apasă butonul B; din acest moment becul se aprinde și rămâne aprins și după eliberarea butonului B (deschiderea contactului butonului). Stingerea lămpii H se obține prin deconectarea sursei de tensiune continuă.

5.4.2.2. Comanda unui motor electric de curent alternativ

Schema electronică pentru comanda unui motor electric de curent alternativ monofazat cu ajutorul triacului se prezintă în figura 5.9.



Motorul se alimentează cu energie electrică de la rețeaua monofazată cu tensiunea de 230 V, prin intermediul triacului, care trece în starea de conducție. Oprirea motorului se realizează prin trecerea triacului în starea blocat. Un circuit de comandă pe grilă a triacului formează impulsurile de comandă care deschid triacul.

Circuitul de formare a impulsurilor de comandă are nevoie de tensiunea alternativă a rețelei (obținută cu ajutorul transformatorului coborât de tensiune) pentru a produce impulsuri de comandă sincronizate cu rețeaua. Acest

circuit sesizează trecerile prin zero ale tensiunii rețelei și produce câte un impuls de comandă după fiecare trecere prin zero a tensiunii de rețea.

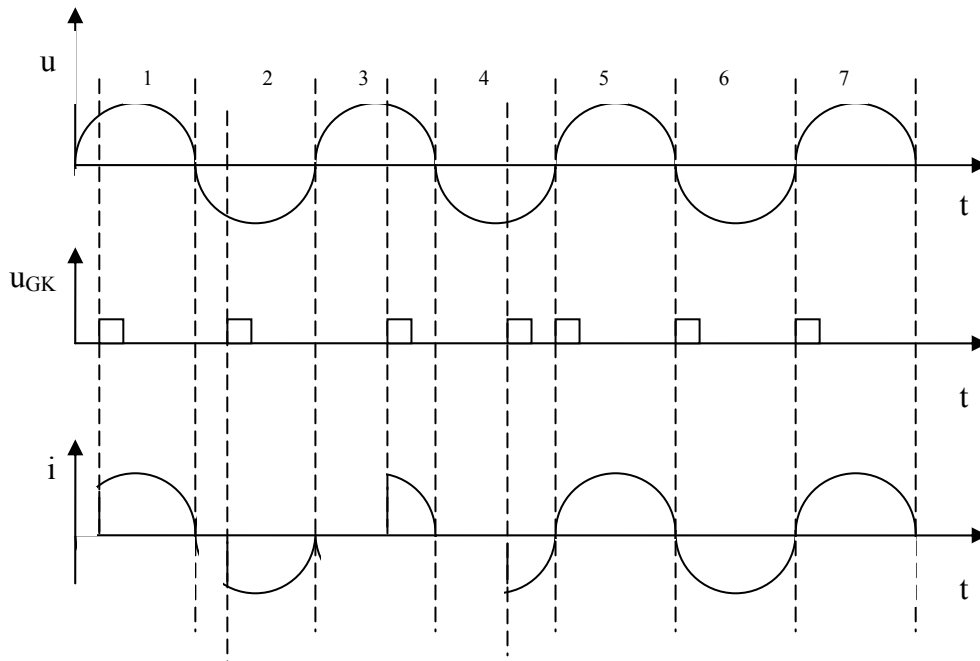


Fig. 5.9.

Între momentul anulării tensiunii de rețea și momentul apariției impulsului de comandă este intervalul de timp Δt care este reglabil. Mărimea intervalului de timp Δt depinde de valoarea tensiunii aplicate între intrarea IN și punctul de masă al circuitului.

Intervalul de timp Δt poate avea și valoarea egală cu zero, caz în care se emite câte un impuls de comandă la fiecare trecere prin zero a tensiunii de rețea. În acest caz, atât timp cât impulsurile de comandă sunt aplicate pe grila triacului, motorul funcționează ca și cum ar fi conectat direct la rețea.

Impulsurile de la borna OUT a circuitului de formare a impulsurilor de comandă pot dispărea (pot fi inhibate) dacă intrarea notată INHB are potențialul egal cu zero volți. Această funcție a circuitului de comandă este utilă pentru oprirea sau pornirea motoarelor electrice. De exemplu, motorul unui hidrofor pornește atunci când presiunea apei din instalația de alimentare cu apă scade la presiunea minimă p_{\min} și funcționează până când presiunea a crescut până la valoarea maximă p_{\max} . În acest moment motorul trebuie să se oprească și va porni din nou atunci când presiunea va scădea din nou la valoarea p_{\min} . Rezultă

că impulsurile de comandă trebuie să fie inhibate în intervalul de timp cât presiunea apei este cuprinsă între p_{\min} și p_{\max} .

Precizare: prin modificarea intervalului de timp Δt se variază turația motoarelor electrice de curent alternativ și, implicit, puterea absorbită de motor din rețeaua electrică.