

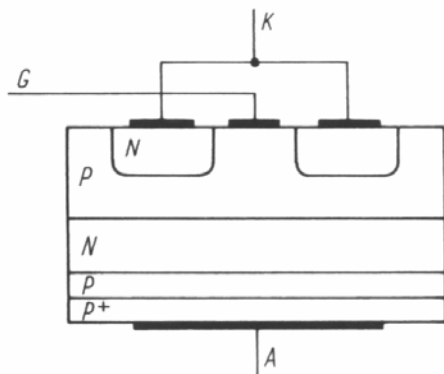
Tyrystor jako element prostowników sterowanych

Wiadomości ogólne

Tyrystor jest przyrządem półprzewodnikowym znajdującym szerokie zastosowanie w przekształtnikach o sterowaniu fazowym, takich jak sterowniki napięcia przemiennego, prostowniki sterowane bądź falowniki o komutacji napięciem odbiornika. Mimo utraty swojego znaczenia na rzecz układów o sterowaniu przez modulację szerokości impulsów, z uwagi na małe osiągnięte częstotliwości przełączeń (praktycznie do 1 kHz), tyrystory wciąż są niezastąpione w układach wielkiej mocy. Cechuje je wytrzymałość napięciowa do 10kV, a jednocześnie mogą przewodzić prąd o wartości średniej sięgającej kilku kiloamperów. Są nadal stosowane w sterowanych prostownikach do napędów przekształtnikowych wielkiej mocy, w sprzęgach i liniach przesyłowych sieci elektroenergetycznych z obwodami prądu stałego, a także w falownikach rezonansowych wielkiej mocy do grzania indukcyjnego.

Budowa i podstawowe właściwości struktury złączowej tyrystora.

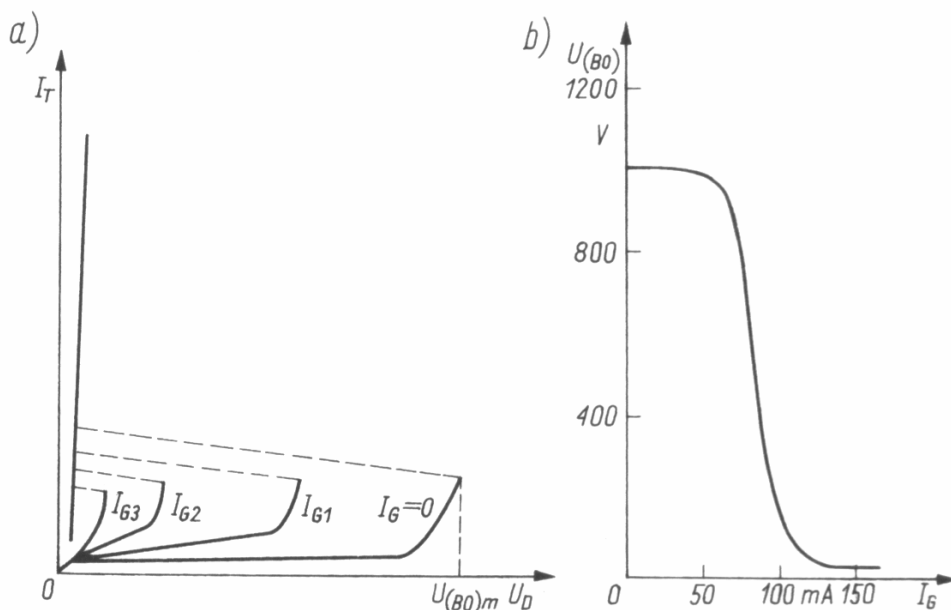
Tyrystor jest elementem 4-wartstwowym o strukturze $p-n-p-n$. Na Rys. 1 poglądowo przedstawiono przekrój poprzeczny struktury tyrystora.



Rys. 1. Szkic przekroju struktury złączowej tyrystora.

W odniesieniu do całej struktury możliwe są dwa typy polaryzacji napięciem ze źródła zewnętrznego. Dołączając biegun ujemny do anody, a dodatni do katody, uzyskuje się *stan zaporowy tyrystora*. Przy zmienionej polaryzacji (anoda ma potencjał dodatni względem katody) - o ile w strukturze nie pojawił się prąd powodujący dopływ ładunków do strefy złącza środkowego - występuje tzw. *stan blokowania*. Oprócz dwóch przedstawionych stanów struktury możliwy jest stan trzeci, w którym przy dodatniej polaryzacji anody względem katody złącze środkowe traci swoje właściwości zaporowe, a przez strukturę może przepływać prąd o dużej wartości, przy czym, napięcie anoda-katoda tyrystora ma wartość bliską tej, jaka występuje na przewodzącej diodzie. Stan ten nazywany jest *stanem przewodzenia*, a warunkiem jego występowania jest utrzymywanie prądu głównego powyżej pewnej charakterystycznej wartości.

Na Rys. 2 pokazano główną charakterystykę tyrystora – $I_T = f(U_D)$ oraz zależność napięcia przełączania od wartości prądu bramki.

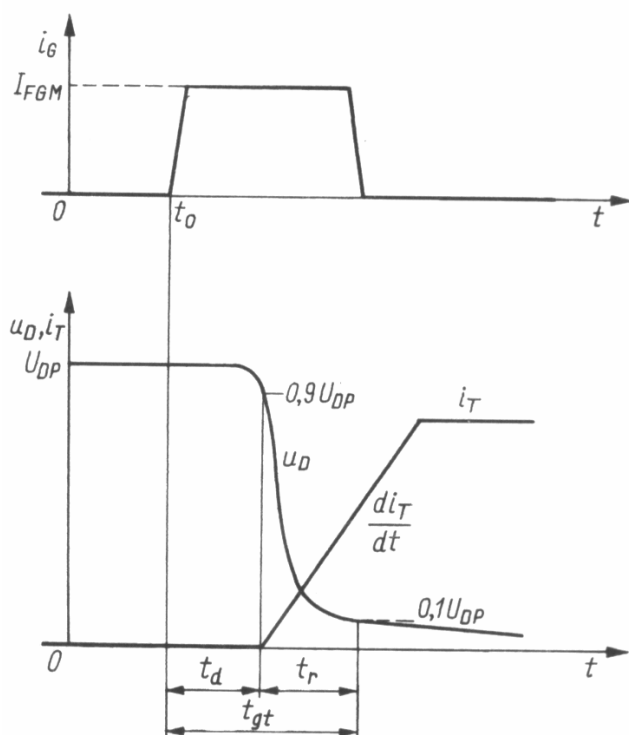


Rys. 2. Charakterystyki tyrystora w stanie blokowania a) napięciowo-prądowa główna; b) zależność napięcia przełączania $U_{(BO)}$ od prądu bramki I_G .

Wartość prądu bramki dobiera się tak, aby załączenie tyrystora następowało nawet przy małej wartości napięcia anoda-katoda, gdyż tylko wtedy można uzyskać sterowanie niezależne od wartości tego napięcia, co jest warunkiem poprawnej, powtarzalnej pracy łącznika tyrystorowego. Tyrystor po załączeniu krótkotrwałym impulsem prądu bramki pozostaje w stanie przewodzenia, o ile przepływający przez niego prąd anodowy nie zmaleje poniżej pewnej wartości zwanej *prądem podtrzymania* lub *prądem wyłączenia*. Do wyłączenia tyrystora, z czym wiąże się odzyskanie zdolności blokowania dodatniego napięcia anodowego, konieczne jest przerwanie przepływu prądu na krótki okres czasu. Zwykle proces ten jest związany z polaryzacją wsteczną tyrystora.

Dynamiczne właściwości tyrystora

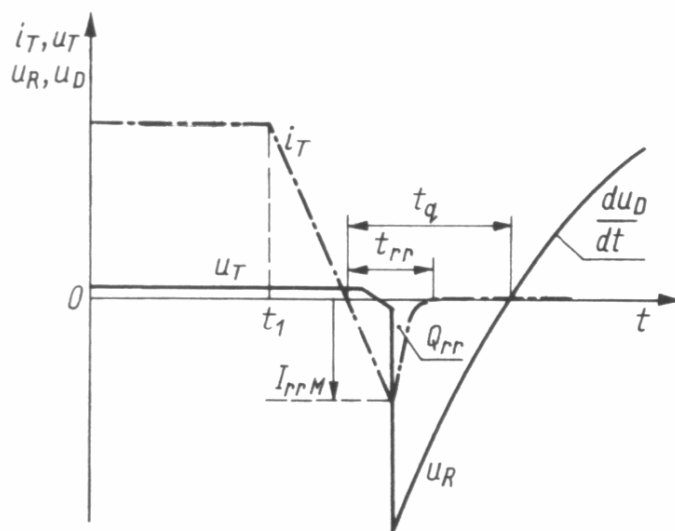
Na Rys. 3 został przedstawiony proces załączania tyrystora.



Rys. 3. Przebiegi napięć i prądów przy załączaniu tyrystora.

Po pojawieniu się czoła impulsu prądu bramki (chwila t_0 na Rys. 3) napięcie na tyrystorze zaczyna się obniżać ale z pewnym opóźnieniem t_d . Faza, w której napięcie na tyrystorze obniża się do wartości odpowiadającej $0,1 U_{DP}$ (U_{DP} - wartość napięcia blokowania przed rozpoczęciem załączania), wiąże się z procesem narastania prądu i trwa przez czas t_r (czas narastania}. Suma czasów t_d i t_r stanowi czas załączania t_{gt} .

Procesu wyłączania tyrystora jest pokazany na Rys. 4. Jeżeli prąd główny tyrystora i_T zmniejszy się do zera a następnie zmieni kierunek i zacznie się zwiększać to zmagazynuje się ładunek nadmiarowy Q_{rr} złącza anodowego, który następnie zostanie odprowadzony. Wówczas następuje szybkie zmniejszanie prądu wstecznego od wartości maksymalnej I_{rrM} do niewielkiej wartości ustalonej w stanie zaworowym. Czas t_{rr} jest nazywany *czasem odzyskiwania zdolności zaworowej*. Całkowity czas, jaki musi upłynąć od momentu przejścia prądu i_T przez zero do pojawienia się dodatniego napięcia blokowania, nosi nazwę *czasu wyłączania* t_q i stanowi podstawowy parametr charakteryzujący właściwości dynamiczne tyrystora.



Rys. 4. Przebiegi napięć i prądów przy wyłączaniu tyrystora.

Jeżeli napięcie na tyrystorze - który odzyskał zdolność blokowania - narasta zbyt szybko, to na skutek występowania prądu związanego z ładowaniem pojemności złącza środkowego może wystąpić zjawisko niekontrolowanego załączenia. Ponieważ jest to niedopuszczalne, stromość narastania napięcia blokowania musi być ograniczona do wartości stanowiącej jeden z istotnych parametrów dynamicznych.

Podstawowe parametry tyrystorów

Do głównych parametrów tyrystora możemy zaliczyć:

$I_{T(AV)m}$ – **maksymalny średni prąd przewodzenia (prąd graniczny)**: jest znamionową wartością średnią prądu, który może przepływać w sposób ciągły przez tyrystor przy zapewnieniu odpowiedniego chłodzenia, przy którym temperatura struktury złączonej T_{jm} nie przekroczy maksymalnej wartości dopuszczalnej. Producenci podają - jako warunek - maksymalną wartość temperatury T_c , która może przy prądzie granicznym wystąpić na podstawie obudowy. Prąd graniczny - jako oznaczenie klasy prądowej - jest często umieszczany na obudowie tyrystora. Rzeczywistą wartość dopuszczalną prądu można wyznaczyć na podstawie obliczeń cieplnych, przy czym w zastosowaniu do podstawowych układów prostowników tyrystorowych podaje się nomogramy ułatwiające obliczenia na podstawie typu przekształtnika i kąta przewodzenia.

$I_{T(RMS)}$ – **maksymalny dopuszczalny prąd skuteczny**; jest pomocniczym parametrem określającym dopuszczalne obciążenie prądowe tyrystora.

I_{TSM} – **niepowtarzalny szczytowy prąd przewodzenia**; jest wartością maksymalną pojedynczego impulsu prądu o określonym czasie trwania (zwykle 10 ms), jaki może przepłynąć przez tyrystor przy maksymalnej dopuszczalnej temperaturze struktury złączowej nie powodując trwałego uszkodzenia. Wielkość ta ma znaczenie przy określeniu przeciążalności tyrystora w stanach awaryjnego zwarcia.

I_H – **prąd podtrzymania (prąd wyłączania)**; jest wartością minimalną prądu, przy której tyrystor pozostaje w stanie przewodzenia.

I_L – *minimalny prąd załączania*: jest minimalną wartością niezbędną przy załączaniu w celu uzyskania stabilnego stanu przewodzenia.

U_{RRM} – **powtarzalne szczytowe napięcie wsteczne**; jest wielkością określającą klasę napięciową tyrystora. Podawane w setkach woltów stanowi podstawowe oznaczenie, zwykle umieszczane na obudowie. Wartość U_{RRM} wynika z podstawowej

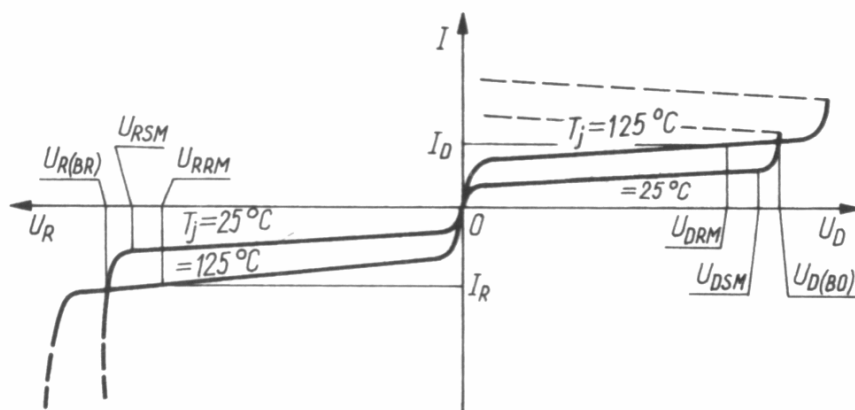
Sterowanie tyrystorowe silników komutatorowych prądu stałego(DC) – Tyrystory - Właściwości
 charakterystyki napięciowo-prądowej tyrystora dla kierunku zaporowego. Na Rys. 5 pokazano przykładowo zależność między wartością U_{RRM} a wartością napięcia przebicia struktury złączowej $U_{R(BR)}$.

U_{RSM} – **niewpowtarzalne szczytowe napięcie wsteczne**; jest to wartość, która może pojawiać się na złączu w znacznych odstępach czasu (np. kilku minut) pod postacią pojedynczego przepięcia. Wartość powtarzalną napięcia oznacza się dla maksymalnej dopuszczalnej temperatury struktury.

U_{DRM} – **powtarzalne szczytowe napięcie blokowania**; analogicznie jak U_{RRM} .

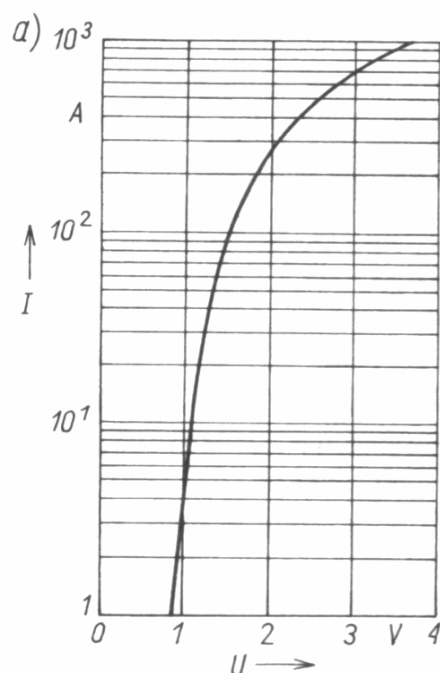
U_{DSM} – **niewpowtarzalne szczytowe napięcie blokowania**; analogicznie jak U_{RSM} .

Odpowiednio do tych parametrów napięciowych podawana jest wartość prądów: **wstecznego** I_R i **blokowania** I_D . Sposób określenia wielkości związanych z charakterystykami dla stanu zaworowego i blokowania pokazano na rysunku poniżej.



Rys. 5. Charakterystyk napięciowo-prądowe tyrystora w stanie blokowania i zaworowym

Uzupełnieniem danych katalogowych dotyczących charakterystyk i parametrów statycznych obwodu głównego tyrystora jest charakterystyka przewodzenia przedstawiająca zależność napięcia przewodzenia U_T od prądu przewodzenia I_T – pokazana poniżej.



Rys. 6. Charakterystyka tyrystora w stanie przewodzenia $I_T = f(U_T)$

Pewna grupa parametrów typowa dla tyrystora dotyczy obwodu bramki. Jako podstawowe wielkości należy wymienić:

I_{GT} – minimalna wartość prądu bramki (**prąd bramki przełączający**);

U_{GT} – minimalna wartość napięcia bramki (**napięcie bramki przełączające**), przy których zapewnione jest załączenie każdego egzemplarza tyrystora danego typu.

Właściwości dynamiczne tyrystora, zgodnie z przedstawionym opisem i ilustrującymi go przebiegami napięć i prądów przy załączaniu i wyłączaniu (Rys. 3, Rys. 4), są w katalogach określone przez zbiór następujących parametrów:

t_{gt} – **czas załączania**; będący sumą czasu opóźnienia t_d i czasu opadania napięcia t_r .

Określony jako przedział czasu między chwilą, gdy prąd bramki osiągnie 0,1 wartości szczytowej, a momentem, gdy napięcie na tyrystorze obniży się do wartości **0,1 U_{DP}** (wartość napięcia blokowania przed załączaniem);

t_q – **czas wyłączenia** – określony jako minimalny niezbędny przedział czasu między przejściem prądu anodowego przez zero a ponownym pojawieniem się dodatniego napięcia anodowego, po upływie którego tyrystor nie załączy się samoczynnie ponownie;

Wszystkie wielkości, które są definiowane jako graniczne lub znamionowe parametry tyrystora, wyznaczone w ściśle określonych warunkach, są zależne od temperatury struktury złączowej T_j . W przypadku tyrystora maksymalna dopuszczalna temperatura jest zdecydowanie niższa niż w przypadku innych przyrządów półprzewodnikowych i wynosi 125°C.