

Przepływ prądu w tyrystorze pomocniczym spowoduje zmniejszenie oporu elektrycznego złącza spolaryzowanego zaporowo tyrystora normalnego i przejście do stanu przewodzenia całego tyrystora.

W przypadku jak na rysunku 6.16c, przejście do stanu przewodzenia przy dodatnim sygnale bramkowym rozpoczyna się od zadziałania antytyrystora pomocniczego. Dodatni sygnał bramkowy wywoła przepływ dziur do górnej struktury n tyrystora normalnego, będącej emiternem elektronów. Strumień elektronów wychodzący z ww. struktury n jako odpowiedź na wpływające do niej dziury, częściowo zrekombinuje w najbliższej strukturze, a częściowo przejdzie do środkowej struktury n (będącej kolektorem umownego tranzystora $n - p - n$). Dodatnia polaryzacja bramki powoduje powrót tych elektronów do warstwy p , co stanowi odpowiednik ujemnego sygnału bramkowego doprowadzonego do struktury p pomocniczego antytyrystora, powodując jego przejście w stan przewodzenia, a następnie załączenie całego tyrystora.

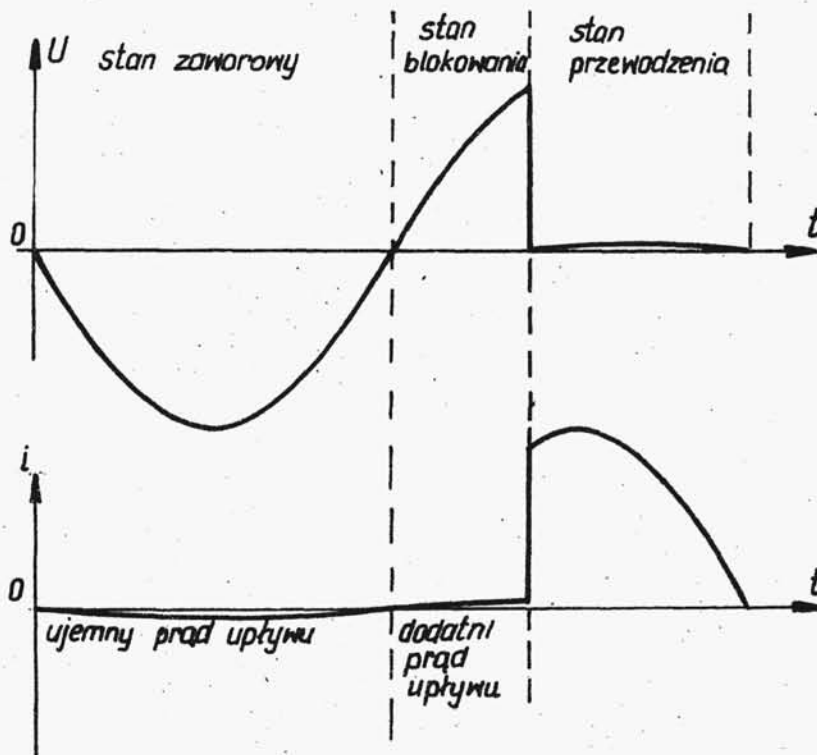
W ostatnim przypadku (rys. 6.16d), ujemny sygnał bramkowy wywołuje przepływ dziur ze struktury p do struktury n połączonej z bramką i będącej emiternem elektronów. Elektrony wychodząc ze struktury n w sposób analogiczny jak opisano powyżej, powodują załączenie antytyrystora.

6.4. Parametry znamionowe tyrystorów ^{x)}

Jak już wspomniano poprzednio, tyrystor może znajdować się w trzech stanach pracy, tj. w stanie zaworowym, blokowania i przewodzenia. Przykładowe przebiegi czasowe prądu i napięcia z oznaczeniem poszczególnych stanów pracy przedstawiono na rys. 6.17.

^{x)} Znaczna część tych parametrów (wyjawszy stan blokowania i obwód bramki) dotyczy również diod.

Podstawową charakterystyką tyrystora, obejmującą wszystkie trzy rodzaje pracy w stanie ustalonym, jest charakterystyka napięciowo-prądowa podawana wykreślnie (rys.6.18).



Rys.6.17. Przykładowe przebiegi prądów i napięć w tyrystorze w różnych stanach jego pracy

Dla poszczególnych stanów pracy rozróżnia się następujące charakterystyczne wartości napięć i prądów, podawane przez wytwórcę dla poszczególnych typów tyrystorów:

1. Dla stanu blokowania:

- powtarzalne szczytowe napięcie blokowania, U_{DRM} ,
- niepowtarzalne szczytowe napięcie blokowania, U_{DSM} ,
- napięcie przełączania (ze stanu blokowania do przewodzenia), U_{BO} .

2. Dla stanu przewodzenia:

- graniczny^{x)} prąd przewodzenia średni, $I_{T(AV)M}$,
- graniczny prąd przewodzenia skuteczny, $I_{T(RMS)M}$,
- powtarzalny szczytowy prąd przewodzenia, I_{TRM} ,
- niepowtarzalny szczytowy prąd przewodzenia, I_{TSM} ,
- parametr przeciążeniowy (określający
możliwość przeciążenia przy bardzo krótkich czasach), I^2_t ,
- prąd wyłączenia I_H .

3. Dla stanu polaryzacji wstecznej (zaworowej):

- powtarzalne szczytowe napięcie wsteczne, U_{RRM} ,
- niepowtarzalne szczytowe napięcie wsteczne, U_{RSM} ,
- napięcie przebicia U_{BR} .

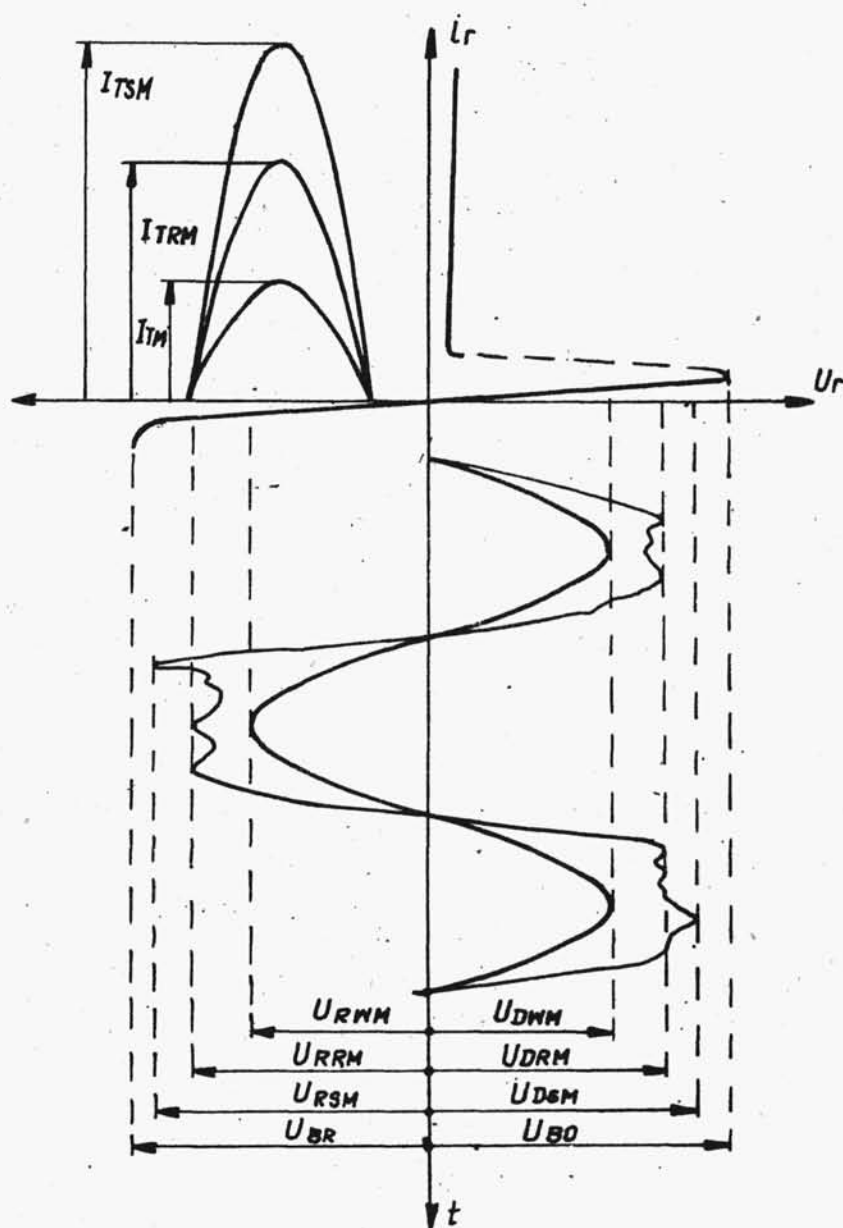
Dla obwodu bramkowego podawana jest również charakterystyka napięciowo-prądowa (rys.6.19), na której zaznaczono trzy obszary:

- obszar I - niemożliwych przełączeń, przy czym górna granica obszaru jest wyznaczona przez prąd nieprzełączający oraz napięcie nieprzełączające bramki;
- obszar II - możliwych przełączeń;
- obszar III - pewnych przełączeń, którego dolna granica jest wyznaczona prądem przełączającym i napięciem przełączającym bramki.

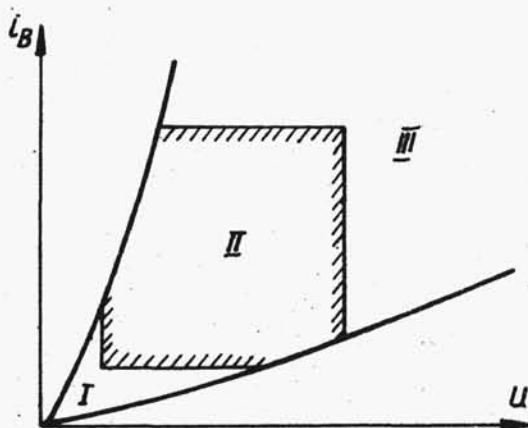
Warto podkreślić, że granice obszarów są zależne od temperatury pracy tyrystora.

Ponadto dla obwodu bramki podawane są parametry graniczne, tj. największe szczytowe napięcie przewodzenia U_{FGM} , największy szczytowy prąd przewodzenia bramki I_{FGM} , największe szczytowe straty mocy w bramce P_{FGM} oraz szczytowe napięcie wsteczne bramki U_{RGM} .

x) Zdolność przeciążenia tyrystorów przy dłuższych czasach przepływu prądu określana jest przez tzw. krzywą przeciążalności prądowej $I_{T(AV)} = f(t)$.



Rys.6.18. Przebiegi charakterystyk napięciowo-prądowych tyrystora



Rys.6.19. Charakterystyka napięciowo-prądowa obwodu bramki tyrystora

Wymienione powyżej parametry dotyczą pracy statycznej.

Obecnie zostaną przedstawione charakterystyczne cechy określające dynamiczne właściwości tyrystorów.

Przy załączaniu bramkowym tyrystora niezbędny jest określony czas, potrzebny do wywołania dostatecznej przewodności elektrycznej złącza J2 (p.6.2) związanej z przepływem

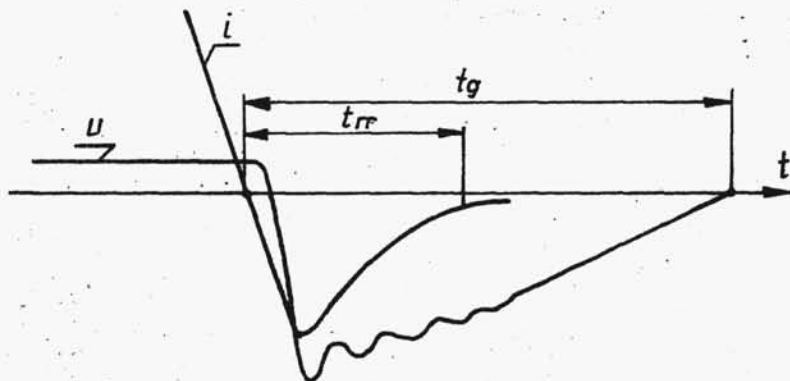
nośników (elektronów i dziur) od złącza J1 do J3 i odwrotnie. Stąd też dla tyrystora określany jest czas załączania t_{gt} liczony - w sposób umowny - od chwili pojawienia się sygnału bramkowego do chwili, w której napięcie na tyrystorze obniży się do 0,1 jego wartości początkowej. Czas załączania jest rzędu μs i z punktu widzenia stosowania tyrystorów jako łączników jest pomijalnie mały.

Przy wyłączaniu tyrystora niezbędny jest pewien określony czas, nazywany czasem wyłączania t_q , po upływie którego tyrystor odzyskuje zdolność wytrzymywania (bez przełączania) napięcia blokowania, pojawiającego się na jego zaciskach. Czas ten jest związany z procesem usuwania ładunków z obszaru złącza po przejściu prądu tyrystora przez zero, niezbędnego dla uzyskania zdolności blokowania. Przy braku napięcia zewnętrznego, proces ten zachodzi w wyniku naturalnej rekombinacji nośników obu znaków i trwa dość długo ($> 100 \mu s$). Będzie on przyspieszony, gdy po przejściu prądu tyrystora przez zero, pojawi się na pewien czas napięcie o polaryzacji wstecznej^{x)},

x)

Ma to miejsce w łącznikach półprzewodnikowych prądu przemiennego.

które wywoła prąd wsteczny, w wyniku którego złącza J1 i J3 zostaną opróżnione z ładunków w stosunkowo krótkim czasie, uzyskując zdolność wytrzymywania napięcia wstecznego. Nastąpi to po czasie t_{rr} na rys.6.20. Konieczne jest jeszcze usunięcie nośników ze złącza J2, co zachodzi w wyniku rekombinacji naturalnej. Tak więc dopiero po czasie t_q (na rys. 6.20), licząc od chwili przejścia przez zero prądu w tyrysto-

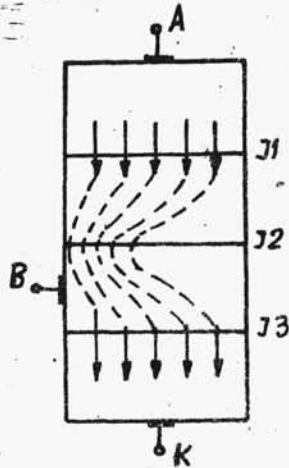


Rys.6.20. Przebiegi prądu i napięcia przy wyłączaniu napięcia

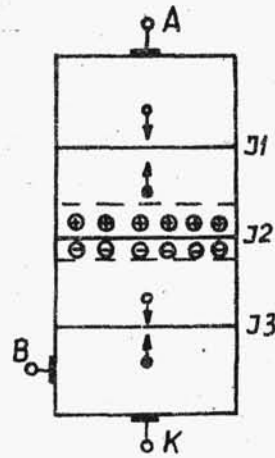
rze może pojawić się napięcie o polaryzacji w kierunku przewodzenia, które nie wywoła przełączenia. Jak wynika z obrazu zachodzących przy wyłączaniu zjawisk, czas wyłączania jest funkcją kilku zmiennych jak: wartość prądu przed wyłączeniem, amplituda i stromość prądu wstecznego, amplituda i stromość napięcia wstecznego itp. Czas wyłączania waha się w przedziale od kilkudziesięciu do kilkuset μs .

Wytwórcy tyrystorów określają największą dopuszczalną wartość stromości prądu ($\frac{di}{dt}$) w obwodzie głównym przy załączaniu. Jest to związane z dopuszczalną gęstością prądu w strukturze tyrystora. W pierwszej chwili po przełączeniu tyrystora przepływ prądu odbywa się jedynie przez niewielką część całego obszaru półprzewodnika, w pobliżu elektrody sterującej (rys.6.21). Przy dużej wartości prądu (wynikającej z dużej stromości narastania), gęstość prądu w tym obszarze może osiągać znaczne wartości prowadzące do cieplnego uszkodzenia struktury półprzewodnika. Dopuszczalne stromości narastania prądu dla współczesnych tyrystorów wynoszą 20 ... 200 A/ μs .

Tyryistory charakteryzują się również maksymalną dopuszczalną stromością narastania napięcia w stanie blokowania. Zbyt duża stromość napięcia może prowadzić do włączenia tyryстора przed wystąpieniem wartości napięcia przełączenia, wynikającego z charakterystyki.



Rys.6.21. Przepływ prądu przez złącze J2 w stanie przejściowym



Rys.6.22. Stan przejściowy w tyrystorze po pojawieniu się napięcia o polaryzacji w kierunku przewodzenia

Dla wyjaśnienia tego zjawiska rozważmy stan przedstawiony na rys.6.22, po pojawieniu się na tyrystorze napięcia o polaryzacji w kierunku przewodzenia (+ na anodzie). Pojawiające się napięcie wywołuje powstanie strefy ładunku przestrzennego w spolaryzowanym zaworowo złączu J2. W związku z tym dziury (przyciągane do katody) z obszaru bazy B2 (struktura p) wywołują zwiększenie koncentracji dziur w pobliżu złącza J3, a tym samym wywołują podwyższenie potencjału bazy B2 względem emitera E2. Analogicznie elektrony przyciągane z bazy B1 do anody, wywołują zwiększenie koncentracji elektronów w pobliżu złącza J1, powodując obniżenie potencjału bazy B1 względem emitera E1. W wyniku powstałych różnic potencjałów z silnie domieszkowanych emiterów E1 i E2 dyfundują w stronę złącza J2 dziury i elektrony. Doprowadzenie nośników do złącza J2 wywołuje przepływ prądu w tyrystorze, analogicznie jak przy ładowaniu pojemności. Wartość tego prądu jest

zależna od stromości narastania napięcia blokującego. Przy wolnym narastaniu zmiana potencjału bazy B1 i B2 jest niewielka, a tym samym i prądy wypływające z emiterów do złącza J2 są również małe i nie powodują przełączenia ($\alpha_1 + \alpha_2 < 1$). Dla określonego rodzaju tyrystora istnieje zatem maksymalna, dopuszczalna wartość $\frac{du}{dt}$, przy której nie następuje nieprawidłowe przełączenie.

6.5. Zabezpieczenia przyrządów półprzewodnikowych

Jak wynika z treści poprzednich punktów, tyrystory (jak również i diody krzemowe) są bardzo wrażliwe na przepięcia i przeciążenia a ich własności zależą również od temperatury.

Poprawna eksploatacja układów z tymi elementami jest możliwa jedynie w takim przypadku, gdy wartości czynników narażeńiowych, występujących sporadycznie w miejscu zainstalowania układu, nie przekroczą wartości parametrów granicznych (określonych w danych znamionowych mianem niepowtarzalnych). Dotyczy to zarówno przepięć (niepowtarzalne szczytowe napięcie blokowania oraz n.s.n.wsteczne) jak i przetężeń (niepowtarzalny szczytowy prąd przewodzenia). Przekroczenie tych wartości prowadzi zazwyczaj do trwałego uszkodzenia półprzewodnika.

W zakresie narażeń napięciowych w sieciach n.n. należy się liczyć głównie z przepięciami łączeniowymi, wywołanymi komutacją wymuszoną samych tyrystorów bądź przez inne łączniki (szczególnie bezpieczniki), a w mniejszym stopniu z przepięciami pochodzenia atmosferycznego. Narażenia prądowe dotyczą zarówno przeciążeń ruchowych (prądy przekraczają kilkadziesiąt do kilkuset procent prąd normalnego obciążenia) jak i zwarć, gdzie narażenia są największe.

Ochrona od przepięć jest realizowana przez zbocznikowanie tyrystora szeregowym układem R-C, bądź przez zastosowanie bocznikujących elementów nieliniowych.

Układ R-C (rys.6.23) obniża amplitudę i zmniejsza stromość napięcia pojawiającego się na tyrystorze (w stanie zaworowym bądź blokowania), zabezpieczając go zarówno przed prze-