

6. Półprzewodnikowe elementy przełączające

Do grupy półprzewodnikowych elementów przełączających zaliczamy: tyrystor, triak, dynistor i diak. Ich charakterystyki prądowo-napięciowe określają dwa główne stany pracy elementu:

- stan blokowania, zwany też stanem wyłączenia – jest to stan nieprzewodzenia, charakteryzujący się bardzo dużą rezystancją elementu;
- stan przewodzenia, zwany również stanem załączenia, charakteryzujący się bardzo małą rezystancją, małym spadkiem napięcia na elemencie przy dużych prądach przepływających.

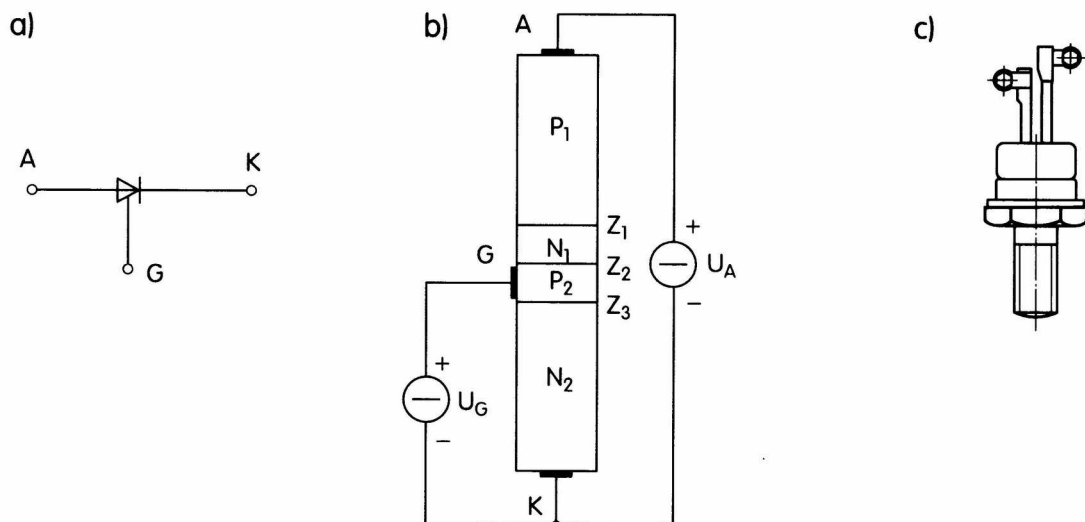
Półprzewodnikowe elementy przełączające pełnią w układach elektronicznych taką samą funkcję, jak zawory otwierające i zamykające w układach mechanicznych, pneumatycznych czy hydraulicznych. Dlatego są nazywane często **zaworami sterowanymi**.

6.1. Tyrystor

Tyrystor jest elementem półprzewodnikowym składającym się z czterech warstw półprzewodnika P-N-P-N, między którymi występują trzy złącza Z_1, Z_2, Z_3 .

Dwie skrajne warstwy są spolaryzowane w kierunku przewodzenia (rys. 6.1b). Pierwsza warstwa P_1 jest anodą, a ostatnia warstwa N_2 katodą. Druga warstwa P_2 (wewnętrzna) jest warstwą sterującą, zwaną bramką i jest spolaryzowana w kierunku zaporowym. Między anodą i bramką występuje warstwa blokująca. Poszczególne warstwy różnią się grubością i koncentracją nośników większościowych. Największe grubości i koncentracje nośników mają warstwy anodowa i katodowa. Najcieńsza jest warstwa sterująca, w której koncentracja nośników jest o rząd wielkości mniejsza niż w anodzie i katodzie. Stosunkowo wąska jest także warstwa blokująca, w której koncentracja nośników jest najmniejsza.

Jeśli napięcie anody byłoby ujemne względem katody, to złącze Z_1 byłoby spolaryzowane zaporowo, a złącze Z_2 w kierunku przewodzenia. Jest to **stan zaporowy** tyrystora, zwany też stanem **zaworowym**. Jeżeli anoda jest dodatnia względem katody, to tyrystor może zachowywać się albo jak dioda spolaryzowana zaporowo (tak jest

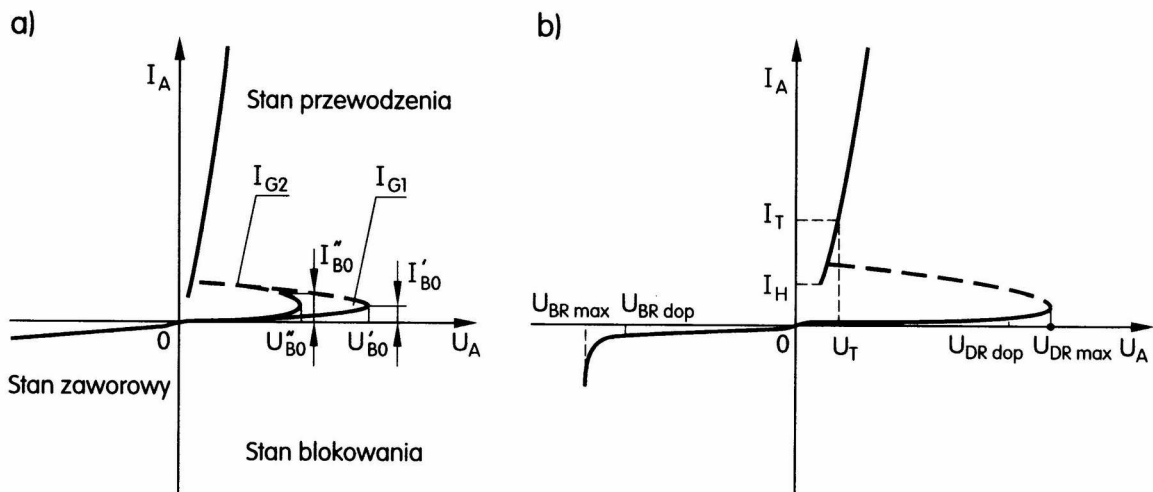


Rys. 6.1. Tyrystor: a) symbol, b) struktura, c) widok przykładowego tyrystora

spolaryzowane wówczas złącze Z_2), co odpowiada stanowi blokowania, albo po zlikwidowaniu właściwości zaporowych złącza Z_2 jak dioda przewodząca, co odpowiada stanowi przewodzenia tyrystora. Złącze Z_3 odgrywa w tyrystorze rolę pomocniczą, umożliwiając wystąpienie zjawisk prowadzących do przejścia złącza Z_2 od stanu blokowania do stanu przewodzenia. Przełączenie tyrystora od stanu blokowania do przewodzenia nazywa się wyzwalaniem lub załączaniem tyrystora. Przejście tyrystora ze stanu blokowania do stanu przewodzenia może nastąpić:

- samoczynnie, gdy napięcie anodowe przekroczy napięcie przełączenia U_{BO} , przy którym tyrystor przechodzi ze stanu blokowania do stanu przewodzenia;
- po doprowadzeniu gwałtownie narastającego napięcia, jeśli przekroczy pewną stromość krytyczną;
- w wyniku naświetlania odkrytego złącza Z_3 między bramką a katodą (w fototyrystorach);
- w razie przekroczenia dopuszczalnej temperatury złączy;
- po doprowadzeniu do obwodu bramki sygnału stałego, zmiennego lub impulsowego.

Tyrystor po rozpoczęciu przewodzenia powraca do stanu zaporowego, jeżeli nastąpi jeden z przypadków: wyłączenie napięcia anodowego, zmiana polaryzacji napięcia anodowego, zmniejszenie prądu anodowego do wartości mniejszej niż prąd podtrzymania I_H , tzn. do wartości mniejszej niż najmniejsza wartość prądu głównego niezbędnego do utrzymania tyrystora w stanie przewodzenia. Charakterystykę prądowo-napięciową tyrystora przedstawiono na rys. 6.2. Przy anodzie ujemnej względem katody ($U_A < 0$) występuje stan zaworowy tyrystora. Tyrystor zachowuje się jak dioda spolaryzowana w kierunku zaporowym. Przy anodzie dodatniej względem katody ($U_A > 0$) występuje stan blokowania, a po załączeniu tyrystora stan przewodzenia. Jeżeli przy pewnej wartości prądu bramkowego I_{G1} będziemy zwiększać napięcie anodowe U_A od zera (rys. 6.2a), to przejście tyrystora ze stanu blokowania do stanu przewodzenia nastąpi przy napięciu U'_{BO} . Przy większym prądzie bramkowym I_{G2} do załączenia tyrystora wystarcza mniejsze napięcie anodowe U''_{BO} . W stanie



Rys. 6.2. Charakterystyka prądowo-napięciowa tyrystora: a) wpływ prądu bramkowego na przebieg charakterystyki, b) charakterystyka z oznaczonymi parametrami tyrystora

przewodzenia charakterystyki tyrystorów są podobne do charakterystyki diody spolaryzowanej w kierunku przewodzenia, dlatego tyrystor często określa się mianem diody sterowanej. Tyrystor przewodzi tylko w jednym kierunku, a jego charakterystyka prądowo-napięciowa jest niesymetryczna.

Parametrami tyrystora są m. in.:

- **napięcie przełączania** U_{B0} – najmniejsze napięcie anodowe, przy którym w warunkach określonego prądu bramkowego następuje przejście tyrystora ze stanu blokowania w stan przewodzenia;
- **prąd przełączania** I_{B0} , płynący przez tyrystor w stanie blokowania przy napięciu U_{B0} ;
- **dopuszczalne napięcie anodowe w stanie blokowanie** $U_{DR\ dop}$, przy którym dla $I_G = 0$ tyrystor nie może samoczynnie przejść w stan przewodzenia; wynosi zwykle $0,8U_{DR\ max}$ (rys. 6.2b);
- **prąd anodowy w stanie przewodzenia** I_T , płynący przy określonym napięciu anodowym, zwykle przy $U_T = 1\ V$;
- **prąd podtrzymania** I_H – minimalny prąd anodowy, jaki może płynąć przez tyrystor w stanie przewodzenia przy $I_G = 0$;
- **graniczne napięcie anodowe** $U_{BR\ max}$ w stanie zaworowym, przy którym następuje lawinowe przebicie złączy Z_1, Z_2 ;
- **dopuszczalne napięcie anodowe** $U_{BR\ dop}$ w stanie zaworowym; zwykle wynosi ono $0,8U_{BR\ max}$.

Obwód bramkowy jest dodatkowo charakteryzowany napięciem $U_{G\ min}$, przy którym pod wpływem odpowiadającego mu prądu bramkowego $I_{G\ min}$ tyrystor, przy określonym napięciu anodowym, niezawodnie przechodzi ze stanu blokowania w stan przewodzenia.

Tyrystory znajdują zastosowanie w energoelektronice: w układach regulacji dużej mocy, jako półprzewodnikowe łączniki oraz elementy sterowników prądu przemienne.