



Urządzenia Półprzewodnikowe 2

Ćw. X. Tyrystor

Cel ćwiczenia: Zapoznanie się z zasadą działania tyrystora, wyznaczenie charakterystyki statycznej oraz przebiegów czasowych podczas włączania tyrystora.

Zagadnienia: tyrystor, charakterystyka prądowo-napięciowa tyrystora.

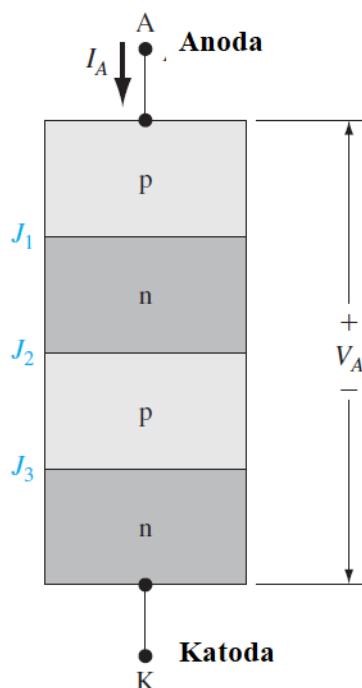
1. Wprowadzenie

Jednym z najważniejszych zastosowań urządzeń elektronicznych jest możliwość realizacji stanów przełączania „włącz/wyłącz” (ang. „on/off”). Należy do nich tranzystor, który może być włączany w zależności od rodzaju - albo prądowo (bipolarny), albo napięciowo (polowy). W przypadku tranzystora stan włączenia jest podtrzymywany odpowiednio przez prąd lub napięcie.

Tyrystor jest czteroelementowym urządzeniem pnpn, w którym stan włączenia jest podtrzymywany pomimo ustania przyczyny, która spowodowała jego przełączenie w ten stan. Tyrystor jest stosowany m.in. do włączania układów, w których płyną duże prądy przy niskich częstotliwościach, jak np. w urządzeniach przemysłowych pracujących przy częstotliwości sieciowej 50Hz.

2. Budowa tyrystora

Na Rys. 1 przedstawiono strukturę pnpn tyrystora. Górny obszar p nazywa się anoda a dolny n – katoda.

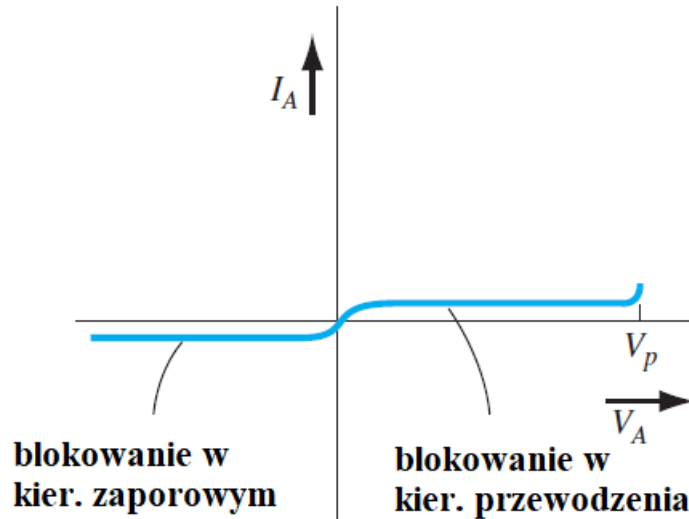


Rys. 1. Budowa tyrystora



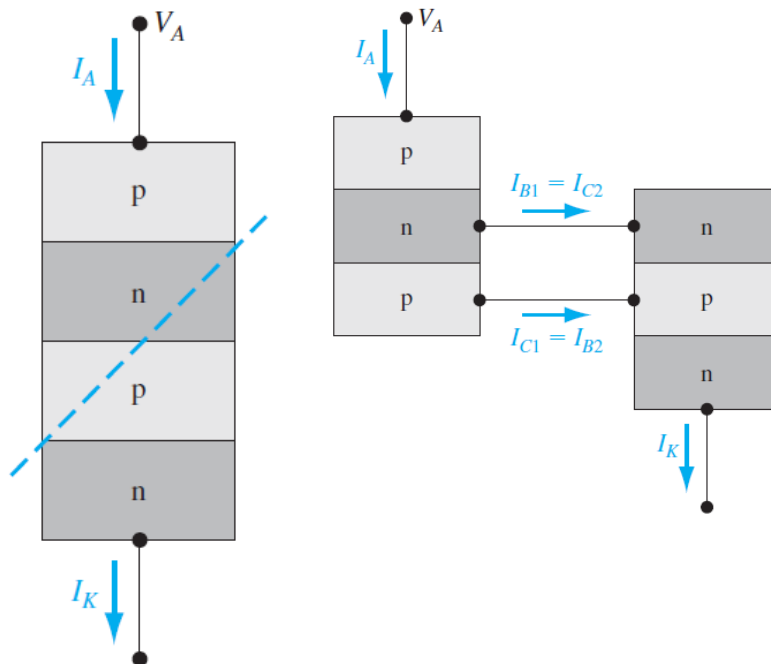
Urządzenia Półprzewodnikowe 2

Jeśli anoda jest na potencjale dodatnim względem katody, to złącza J_1 i J_3 są spolaryzowane w kierunku przewodzenia ale złącze J_2 - w kierunku zaporowym i tyrystor nie przewodzi prądu. Jest w stanie blokowania przy polaryzacji w kierunku przewodzenia. Jeśli polaryzacja jest przeciwna, przewodzi tylko złącze J_2 i tyrystor jest zablokowany ponownie – tj. blokowanie w kierunku zaporowym. Charakterystyka prądowo-napięciowa odpowiadająca stanowi blokowania tyrystora jest przedstawiona na Rys. 2.



Rys. 2. Charakterystyka I-V tyrystora w stanie blokowania.

Aby zrozumieć działanie tyrystora w stanie włączenia, można zamodelować tyrystor jako połączenie dwóch tranzystorów: pnp i npn, tak jak to pokazano na Rys. 3a.



Rys. 3a) Model tyrystora jako połączenie dwóch tranzystorów bipolarnych : pnp i npn. 3b) Równoważny obwód elektryczny.



Urządzenia Półprzewodnikowe 2

Jak wynika z Rys. 3b, baza tranzystora pnp jest jednocześnie kolektorem tranzystora npn, zatem prąd bazy pnp jest równy prądowi kolektora npn: $I_{B1} = I_{C2}$. Podobnie kolektor tranzystora pnp jest jednocześnie bazą tranzystora npn, więc $I_{C1} = I_{B2}$. W tej konfiguracji (+ baterii podłączony do anody) złącza BK w obydwu tranzystorach są spolaryzowane w kierunku zaporowym a BE w kierunku przewodzenia. Prąd kolektora w tranzystorze pnp:

$$I_{C1} = \alpha_1 I_A + I_{C01} = I_{B2}, \quad (1)$$

natomiast prąd kolektora w tranzystorze npn:

$$I_{C2} = \alpha_2 I_K + I_{C02} = I_{B1}. \quad (2)$$

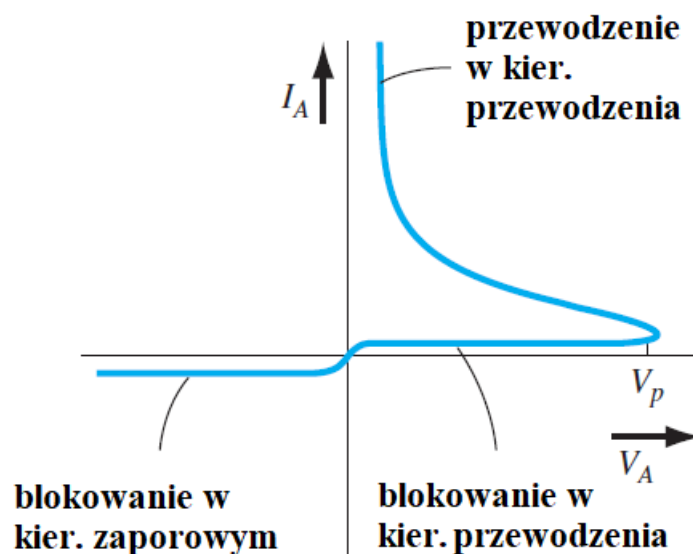
We wzorach (1) i (2) I_{C1}, I_{C2} oznaczają prąd kolektora, I_{B1}, I_{B2} – prąd bazy, I_{C01}, I_{C02} - prąd złącza kolektorowego spolaryzowanego zaporowo przy $I_B = 0$, odpowiednio dla tranzystora pnp i npn. W układzie o wspólnej bazie $\alpha = \frac{I_C - I_{C0}}{I_E}$, gdzie I_E – prąd emitera. Tu rolę prądów emitera odgrywają I_A i I_K . Po dodaniu wzorów (1) i (2) i skorzystaniu z relacji $I_A = I_K$ otrzymujemy:

$$I_{C1} + I_{C2} = I_A = (\alpha_1 + \alpha_2) I_A + I_{C01} + I_{C02}, \quad (3)$$

a stąd po przekształceniu

$$I_A = \frac{I_{C01} + I_{C02}}{1 - (\alpha_1 + \alpha_2)}. \quad (4)$$

Dopóki $(\alpha_1 + \alpha_2)$ jest małe, tyrystor pozostaje w stanie blokowania. Jeśli jednak spowoduje się włączenie złącza J_2 to suma $(\alpha_1 + \alpha_2)$ stanie się bliska 1 i prąd I_A wzrośnie tak, że tyrystor przejdzie w stan przewodzenia. Włączenie złącza J_2 może nastąpić albo poprzez podanie wysokiego napięcia na anodę albo poprzez wstrzyknięcie nośników do złącza J_2 . W efekcie, charakterystyka I-V tyrystora wygląda tak, jak przedstawiono na Rys. 4.

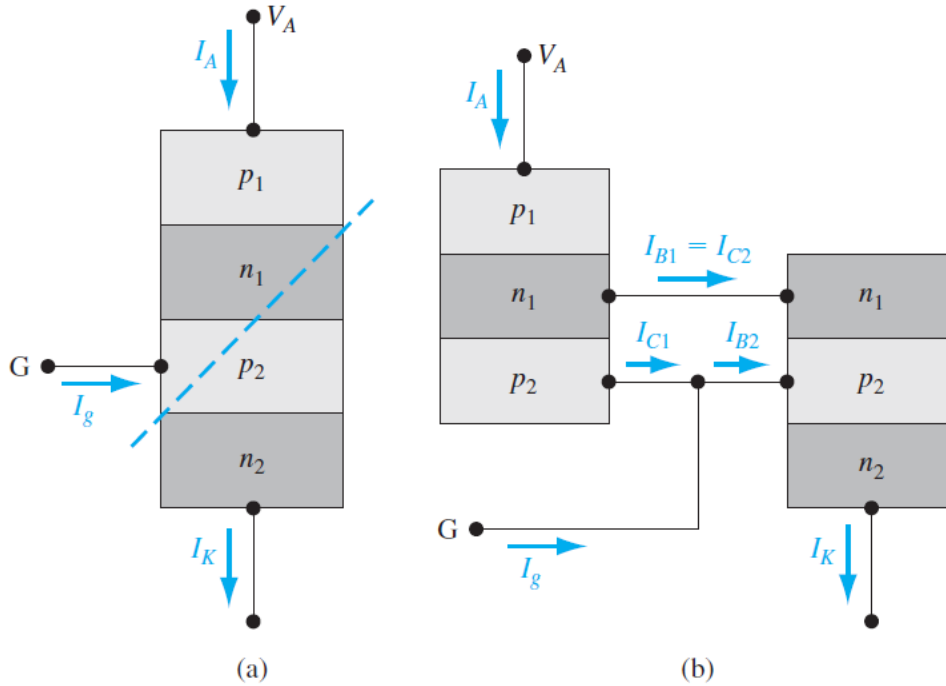


Rys. 4. Charakterystyka I-V tyrystora w stanie blokowania i przewodzenia.



Urządzenia Półprzewodnikowe 2

Rys. 5 przedstawia trój elektrodowy tyrystor w którym trzecią elektrodą jest bramka. Prąd bramki służy do odblokowania tyrystora.



Rys. 5. a) Trój elektrodowy tyrystor b) schemat zastępczy tyrystora z rys. a).

Rozważmy ponownie równania (1) i (2).

$$I_{C1} = \alpha_1 I_A + I_{C01} \quad (5)$$

$$I_{C2} = \alpha_2 I_K + I_{C02}, \quad (6)$$

ale teraz $I_K = I_A + I_G$ podczas gdy nadal $I_{C1} + I_{C2} = I_A$. Po dodaniu (5) i (6) mamy:

$$I_{C1} + I_{C2} = I_A = (\alpha_1 + \alpha_2) I_A + \alpha_2 I_G + I_{C01} + I_{C02}, \quad (7)$$

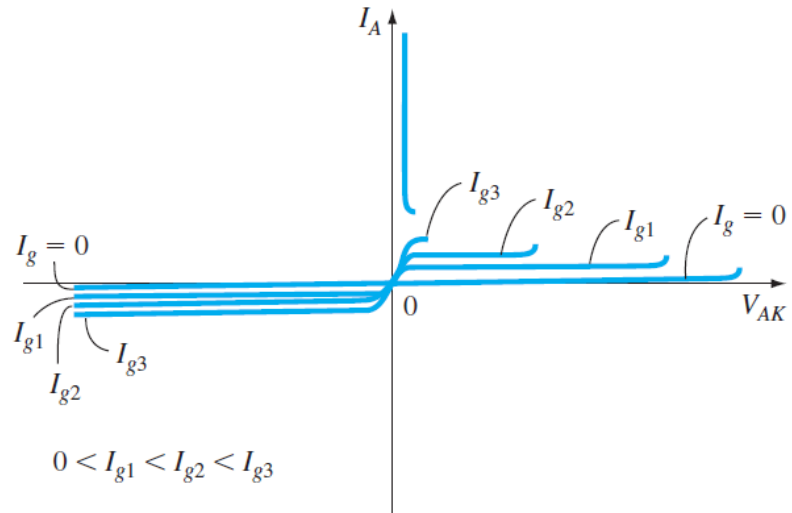
a po przekształceniu mamy:

$$I_A = \frac{\alpha_2 I_G + I_{C01} + I_{C02}}{1 - (\alpha_1 + \alpha_2)}. \quad (8)$$

Prąd bramki stanowią dziury, które są wstrzykiwane do obszaru p_2 w tranzystorze npn. Dodatkowe dziury powodują wzrost potencjału tego obszaru, napięcie BE rośnie i tranzystor npn zaczyna przewodzić prąd. To powoduje wzrost prądu kolektora I_{C2} tranzystora npn i w efekcie wzrost prądu bazy tranzystora pnp i przełączenie tyrystora w stan przewodzenia. Na rysunku 6 przedstawiono charakterystyki I-V tyrystora dla kilku prądów bramki. Prąd bramki zwykle jest rzędu mA podczas gdy prąd I_A może być rzędu setek A.



Urządzenia Półprzewodnikowe 2



Rys. 6. Charakterystyki I-V tyrystora dla kilku prądów bramki.