

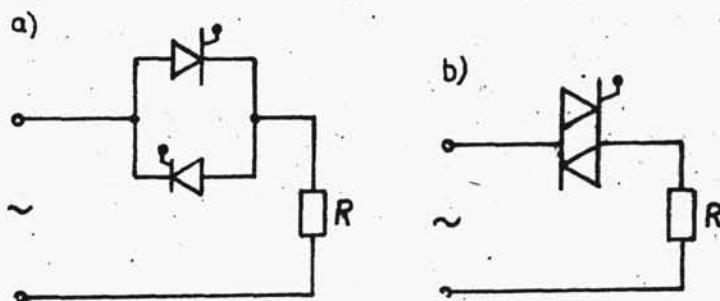
stora (diody). Konieczna jest więc komutacja wymuszona, zapewniająca znaczne odkształcenie rzeczywistego przebiegu prądu od przebiegu spodziewanego. Obecnie, można mówić o etapie badań modeli układów wyłączników półprzewodnikowych.

W obwodach prądu stałego, bez względu na charakter łącznika półprzewodnikowego (manewrowy czy zabezpieczeniowy), konieczne jest wymuszone sprowadzenie prądu do zera. Łączniki tego rodzaju mogą znaleźć zastosowanie głównie w trakcji elektrycznej.

W następnych punktach zostaną przedstawione w krótkim zarysie poszczególne rodzaje łączników półprzewodnikowych.

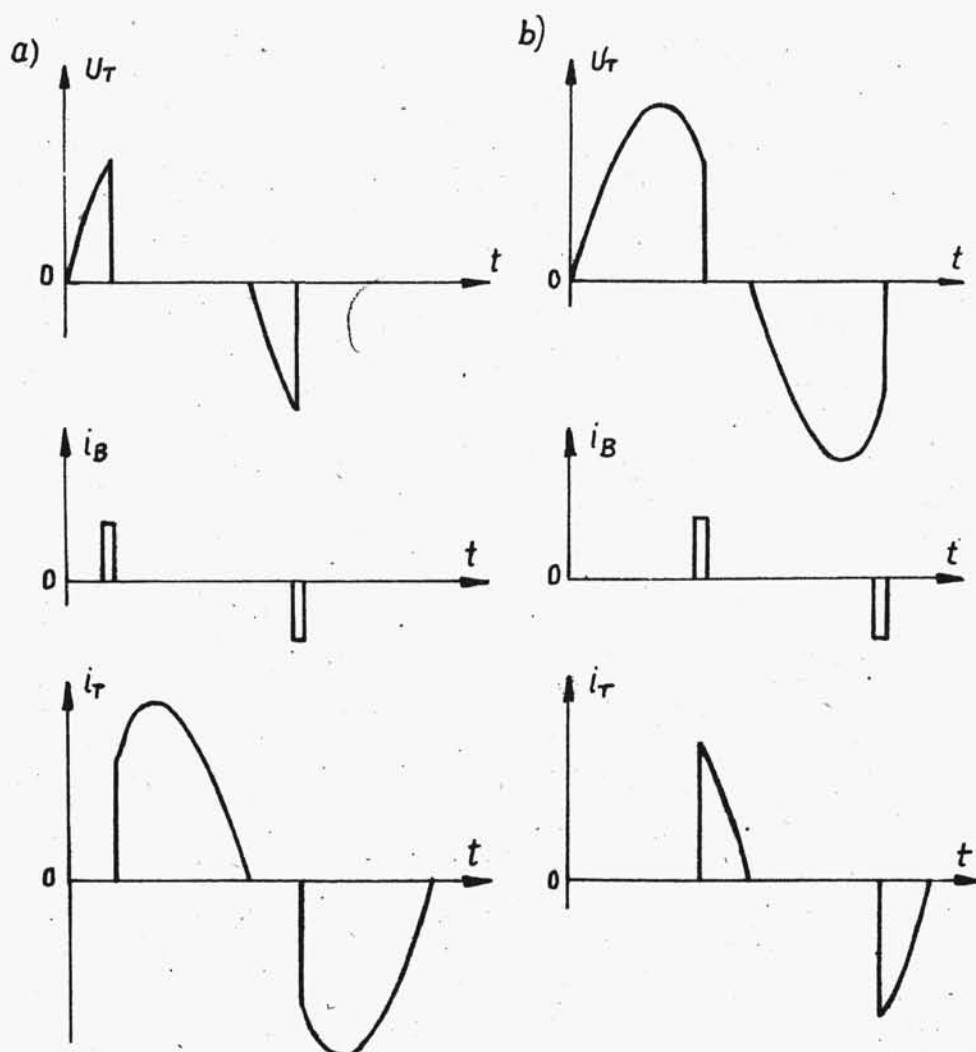
6.7. Łączniki manewrowe prądu przemiennego

Na wstępie rozważymy najprostszy układ łącznika jednofazowego, złożonego z dwóch tyrystorów w połączeniu nazywanym odwrotnie równoległym (rys.6.24a). Może to być również układ z symistorem (rys.6.24b). Dla zapewnienia przepływu prądu w obwodzie niezbędne jest dostarczanie sygnałów bramkowych w odpowiedniej fazie napięcia zasilania. Do przerwania przepływu prądu wystarcza przerwanie sygnałów bramkowych. Przy obciążeniu rezystancyjnym przebiegi prądu i napięcia na tyrystorze w funkcji czasu przy różnych kątach fazowych włączenia sygnału bramkowego będą jak na rys.6.25.



Rys.6.24. Jednofazowy manewrowy łącznik półprzewodnikowy a) z 2 tyrystorami w układzie odwrotnie równoległym b) z symistorem

Dla uzyskania przewodzenia w całym okresie (czyli tak jak w łączniku) sygnał bramkowy powinien być doprowadzony w chwili

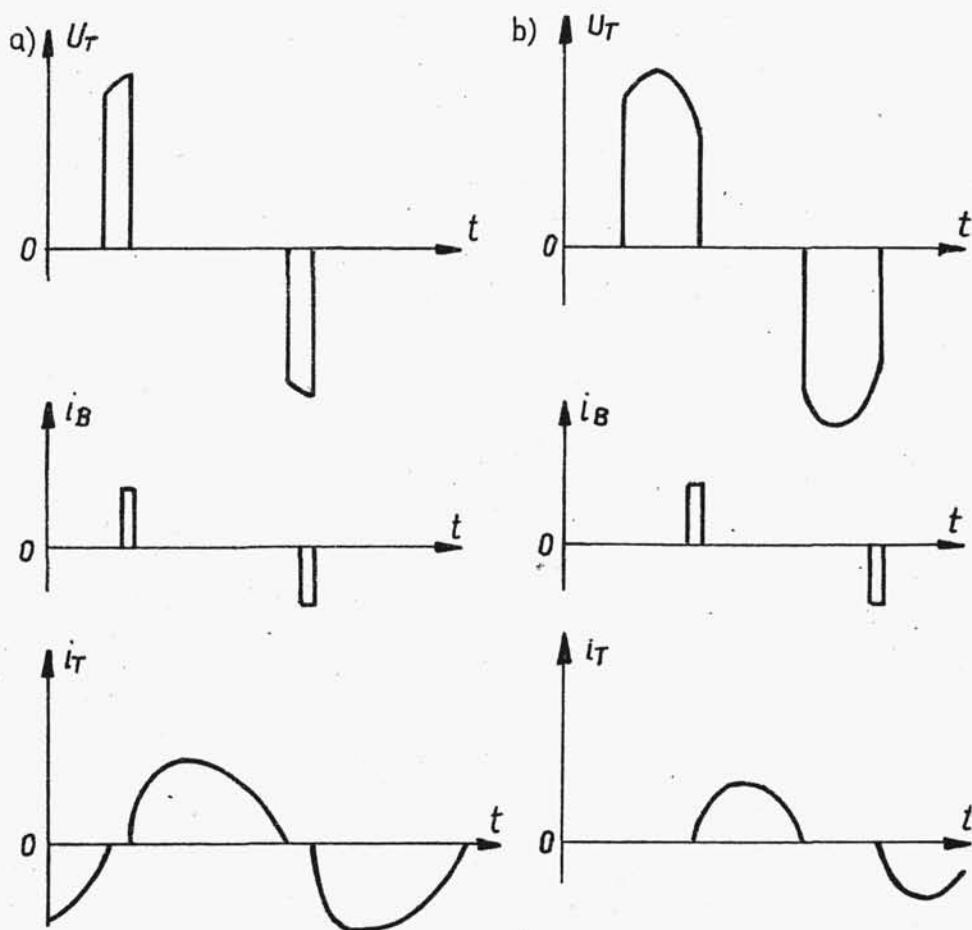


Rys.6.25. Przebiegi prądu i_T i napięcia u_T w tyrystorze oraz prądu bramki i_B w układzie jak na rys.6.24 przy obciążeniu rezystancyjnym i różnych fazach sygnału bramkowego

gdy napięcie zasilania przechodzi przez wartość zerową ($\theta_z = 0$).

Przy obciążeniu indukcyjnym przebiegi prądu i napięcia będą jak na rys.6.26. Pełne wysterowanie^{x)}, tj. przepływ prądu

^{x)} Jest to przypadek tzw. załączenia synchronicznego.

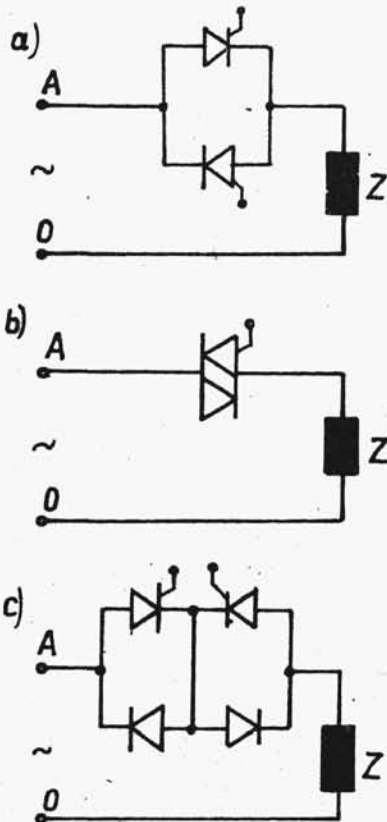


Rys.6.26. Jak na rys.6.25 lecz przy obciążeniu o charakterze rezystancyjno-indukcyjnym.

w ciągu całego okresu, występuje w przypadku, gdy $\theta_z = \varphi$ (φ – kąt przesunięcia fazowego pomiędzy prądem i napięciem w łączonym obwodzie). Przy kącie $\theta_z < \varphi$ załączenie tyrystora (w stanie ustalonym) nie nastąpi, bowiem $\theta_z = \varphi$ jest najmniejszym kątem załączenia. Jeśli $\theta_z > \varphi$, przepływ prądu występuje jedynie w części okresu, przy czym w przebiegu prądu występują obie składowe, tj. okresowa i nieokresowa. Początkowa wartość tej ostatniej zależy od wartości kątów θ_z oraz φ .

W obwodach jednofazowych łączniki manewrowe prądu-prze-miennego można zrealizować w układach jak na rys.6.27. Układy

z dwoma tyrystorami oraz z symistorem mogą być stosowane w zakresie napięć i prądów łączeniowych dopuszczalnych dla dostępnych na rynku przyrządów półprzewodnikowych.



Rys.6.27. Ideowe schematy jednofazowych łączników półprzewodnikowych

Przy doborze elementów półprzewodnikowych łączników w warunkach pracy normalnej należy uwzględnić dwa kryteria: napięciowe i prądowe.

Z punktu widzenia napięciowych warunków pracy, uwzględniając występujące w układzie przebiegi napięcia łączeniowe, powtarzalne szczytowe napięcie blokowania U_{DRM} i powtarzalne szczytowe napięcie wsteczne U_{RRM} powinny spełniać warunek:

$$U_{DRM} = \sqrt{2} k_{zn} U_e, \quad (6.5)$$

$$U_{RRM} = \sqrt{2} k_{zn} U_e,$$

przy czym:

k_{zn} - współczynnik zapasu napięciowego,

U_e - napięcie łączeniowe w obwodzie (wartość skuteczna).

Wartość współczynnika k_{zn} zależy od zastosowanych środków

ochrony i może się wahać w przedziale $k_{zn} = 1,1 \div 2,5$.

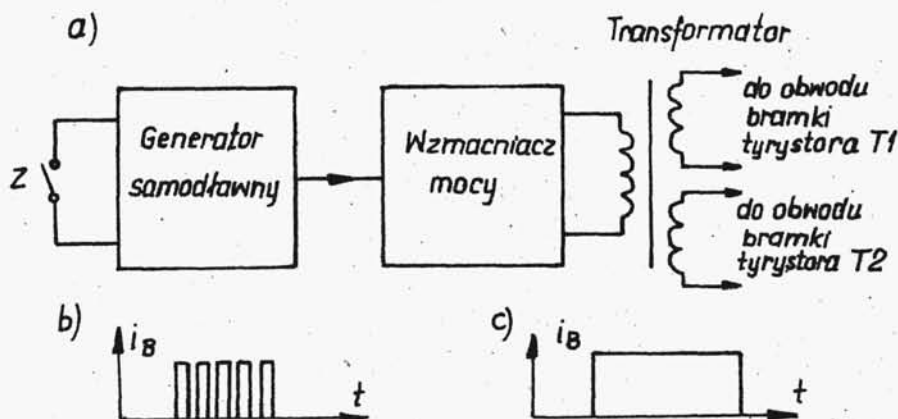
Punktem wyjścia doboru prądowego jest ustalenie wartości granicznego prądu przewidzenia średniego $I_{T(AV)M}$. Dla układu odwrotnie równoległego (rys.6.27a), pamiętając, że każdy tyrystor przewodzi jedynie przez pół okresu, będzie:

$I_{T(AV)M} = \frac{1}{1,11} \cdot \frac{I_{ob}}{2} = 0,45 I_{ob}$, przy czym I_{ob} - wartość skuteczna prądu obciążenia. Warto podkreślić, że w przypadku pracy łącznika w obwodzie z silnikiem, występuje stan prze-

ciążenia wywołany rozruchem silnika, trwający od kilku do kilkunastu sekund. Wymaga to uwzględnienia w doborze tyrystora. Bliższe dane na ten temat znajdzie Czytelnik w [7]. Układ mostkowy (rys.6.27c) stosuje się przy niewielkich mocach. Tyrystator nie jest narażony wówczas na działanie napięcia wstecznego.

Do poprawnej pracy łącznika półprzewodnikowego konieczne są układy wyzwalające dostarczające sygnały bramkowe w wybranych chwilach czasowych. Od układów tych wymaga się aby:

- zapewniały odpowiednią wartość prądu i napięcia bramkowego odpowiedniego do zadziałania tyrystora,
- sygnał bramkowy był możliwie mało opóźniony w stosunku do chwili wystąpienia sygnału wywołującego impuls bramkowy,
- oddzielone były galwanicznie obwody wyjściowe, zasilające bramki sterowanych tyrystorów w przypadkach różnych potencjałów tych bramek.



Rys.6.28. Blokowy schemat układu wyzwalania tyrystorów łącznika półprzewodnikowego (a) oraz kształt sygnałów bramkowych (b) i (c)

Sygnały bramkowe mogą mieć postać ciągu impulsów prostokątnych (rys.6.28b), bądź postać impulsów wydłużonych (rys. 6.28c). Korzystniejszy jest ciąg impulsów, gdyż mniejsze są wówczas straty mocy w obwodzie bramki. Celem zapewnienia poprawnej pracy łącznika przy zmiennym współczynniku mocy obwodu od 0÷1 (ind) konieczne jest, aby sygnały bramkowe dostarczane były przy dodatniej polaryzacji anody tyrystora

w czasie $0 - \frac{\pi}{2\omega}$ (licząc od przejścia napięcia przez zero), co oznacza, że długość ciągu impulsów względnie wydłużonego pojedynczego impulsu powinna wynosić $1/4$ okresu.

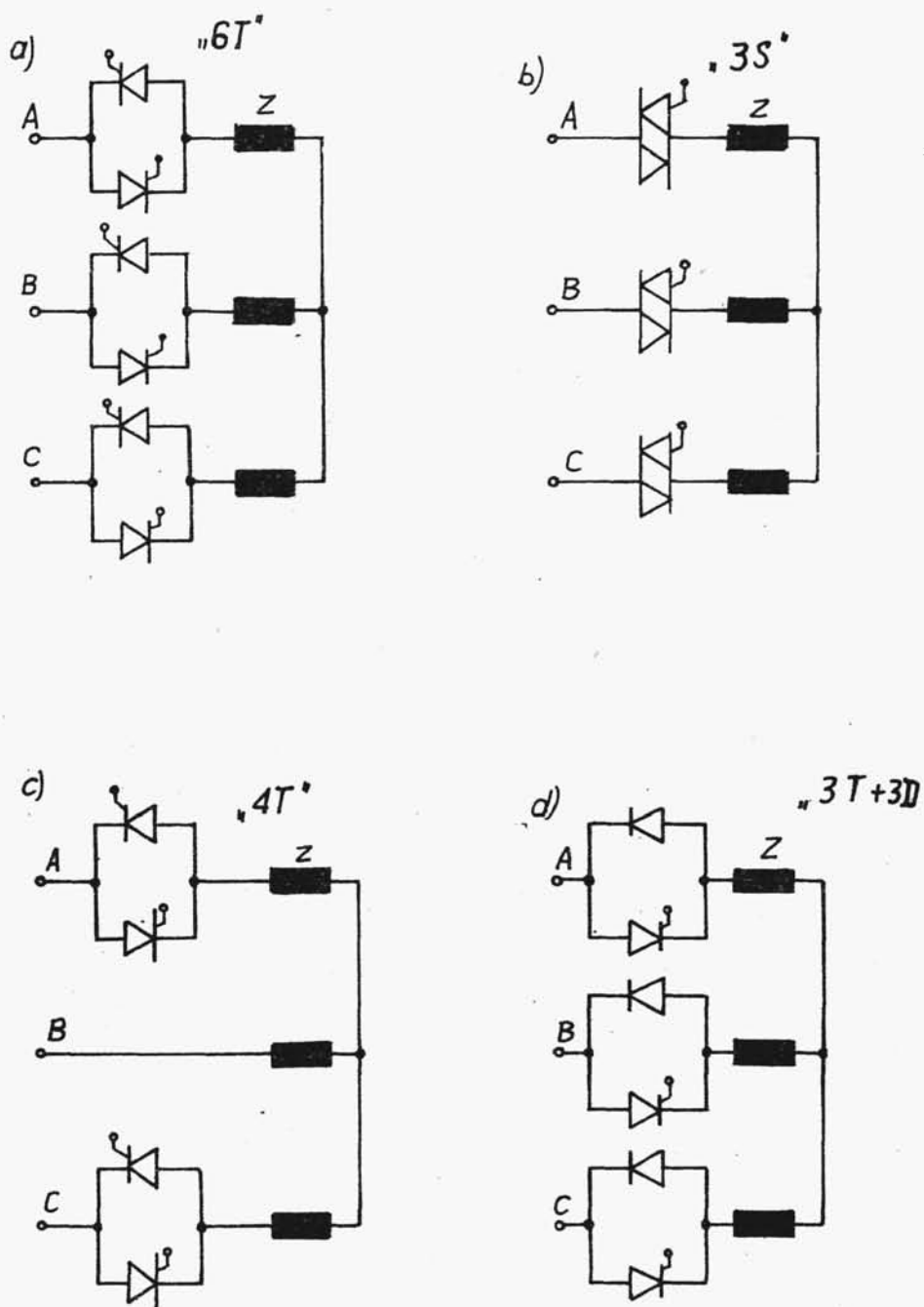
Schemat blokowy prostego układu dostarczającego ciąg impulsów bramkowych, przedstawiono na rys.6.28a. Po zamknięciu zestyku sterującego Z, z generatora samodzielnego wychodzi ciąg impulsów prostokątnych o kształcie ustalonym przez dobór parametrów generatora. Impulsy te, po wzmacnieniu, zasilają uzwojenie pierwotne transformatora, do którego uzwojeń wtórnych przyłączone są bramki dwu tyrystorów.

W obwodach trójfazowych możliwe są układy łączników jak na rys.6.29. Układy a) i b) są powieleniem układów z rys.6.27a i b, dla układu trójfazowego. Układ z rys.6.29c jest układem oszczędnościowym i może być stosowany w sieci bez przewodu zerowego.

Przedstawione powyżej łączniki półprzewodnikowe zawierają tyrystory charakteryzujące się, jak już wspomniano uprzednio, dość dużymi stratami mocy. Dążność do wyeliminowania tej niewątpliwiej wady łączników tyrystorowych doprowadziła do konstrukcji łączników hybrydowych, zawierających obok półprzewodnika również gałąź zestykową (rys.6.30). Czynności komutacyjne (załączanie i wyłączanie) obwodu wykonują tyrystory, natomiast, część zestykowa przewodzi prąd w stanie zamkniętym łącznika, bocznikując gałąź półprzewodnikową.

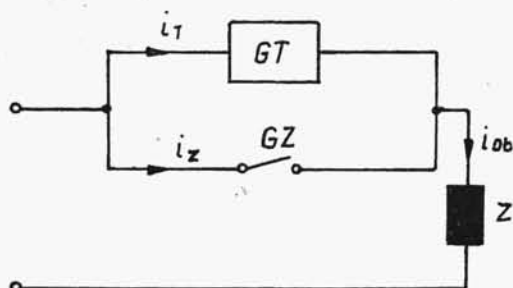
Prześledźmy kolejno poszczególne stany pracy łącznika zaczynając od wyłączonego stanu obwodu (styki gałęzi zestykowej otwarte, tyrystory nie przewodzą). Do załączenia obwodu konieczny jest sygnał bramkowy dostarczony do tyrystora, na którym w danej chwili występuje napięcie o polaryzacji w kierunku przewodzenia. Gałąź tyrystora zaczyna przewodzić prąd pojawiający się w obwodzie ($i_T = i_{ob}$). Z pewnym niewielkim opóźnieniem (kilku ms) w stosunku do sygnału bramkowego następuje zamknięcie styków gałęzi zestykowej, przy czym odbywa się to bezłukowo^{x)}. Po zamknięciu styków następuje komutacja prądu z gałęzi tyrystorowej do zestykowej, trwająca kilkadziesiąt mikrosekund, po czym w stanie ustalonym praktycznie

x) Łuk załączeniowy między stykami łącznika zestykowego może wystąpić jedynie w przypadku powstania odskoków styków.



Rys.6.29. Układy trójfazowych łączników półprzewodnikowych

cały prąd obciążenia przepływa jedynie przez gałąź zestykową ($i_{ob} = i_z$). Wynika to z faktu, że impedancja gałęzi zestykowej jest co najmniej o rząd



Rys.6.30. Idea łącznika hybrydowego GT - gałąź tyrystora, GZ - gałąź zestykowa

wielkości mniejsza od impedancji gałęzi tyrystorowej. Przerwanie sygnałów bramkowych eliminuje całkowicie gałąź tyrystorową z przewodzenia prądu w stanie zamkniętym łącznika. W tych warunkach czas przepływu prądu przez gałąź tyrystorową nie przekracza $10 \div 20$ ms, co umożli-

wia - wykorzystując przeciążalność prądową tyrystorów - dobór elementów półprzewodnikowych o prądzie granicznym znacznie mniejszym od prądu obciążenia. Ma to istotne znaczenie dla kosztów całego układu.

Czynność wyłączania obwodu rozpoczyna się od otwarcia styków gałęzi zestykowej, przy czym jednocześnie bądź nieco wcześniej powinny być dostarczone sygnały bramkowe do tyrystorów. Występująca następnie komutacja prądu z gałęzi zestykowej do tyrystorowej jest poprzedzona krótką fazą łuku wyłączeniowego, powstającego pomiędzy stykami gałęzi zestykowej. Łuk ten jest niezbędny, gdyż dopiero po pojawieniu się napięcia łuku o wartości co najmniej kilkunastu woltów, możliwe jest rozpoczęcie przewodzenia przez tyrystor. Po zakończeniu komutacji (trwającej kilkadziesiąt μs) nastąpi wyłączenie obwodu przy najbliższym przejściu prądu przez zero (wymuszonym przez źródło), gdy przerwane zostaną sygnały bramkowe tyrystorów.

Występujący w tych warunkach łuk wyłączeniowy jest bardzo krótki^{x)} i jednocześnie krótkotrwały, o istotnie ograniczonym

x) Długość łuku, przy której występuje napięcie łuku wystarczające do przejścia tyrystora w stan przewodzenia wynosi części mm.