

## Tyrystor – sterowniki prądu bramki

### Impuls sterujący bramki

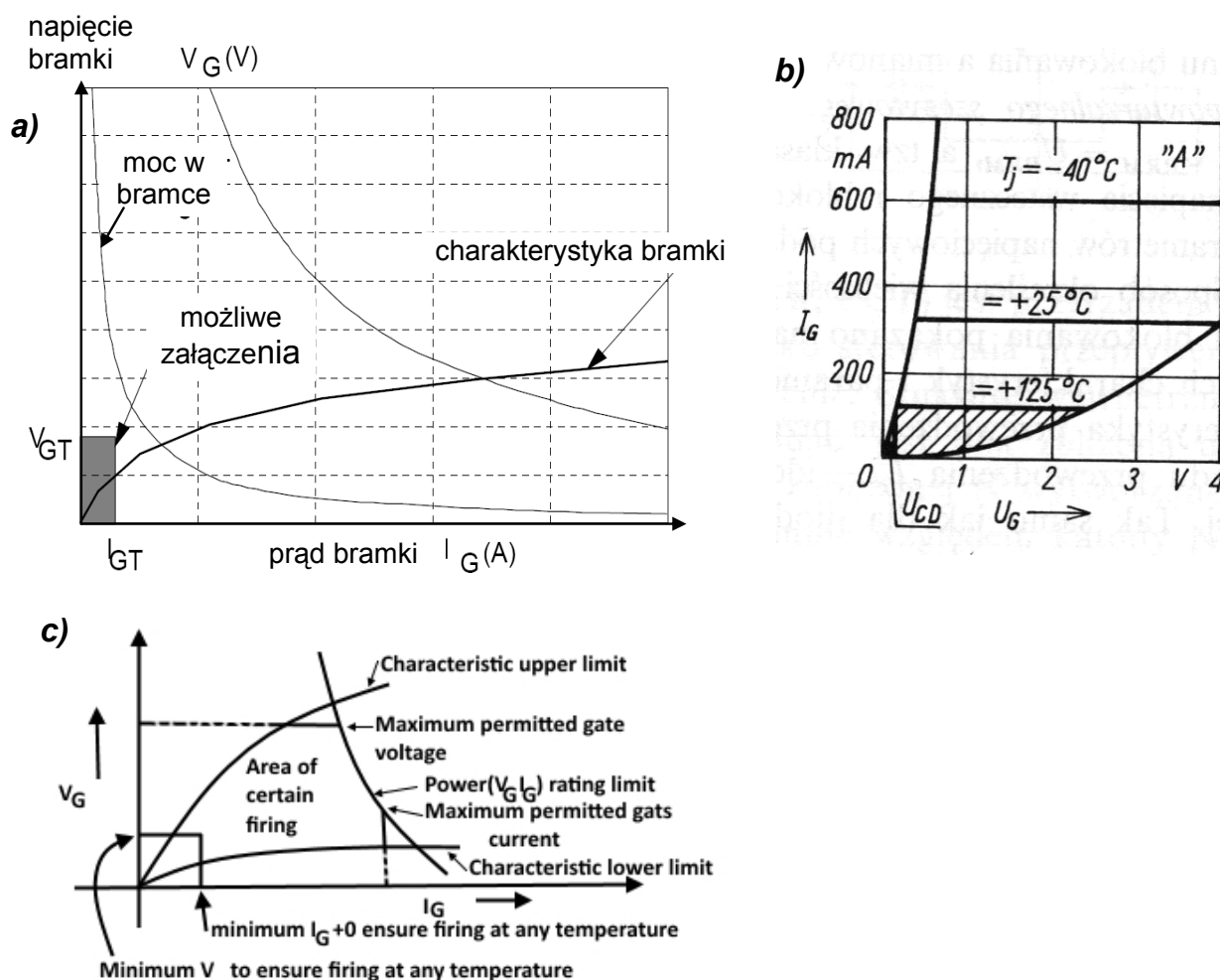
Załączenie tyrystora wymaga podania impulsu prądu na bramkę. Amplituda, czas trwania impulsu prądu bramki zależą od typu tyrystora i układu (przekształtnika), w którym jest zastosowany.

Podstawowe parametry charakteryzujące tyrystor, a potrzebne do właściwegoysterowania to:

- minimalne wartości prądu bramki  $I_{GT}$  (prąd bramki przełączający)
- napięcie bramki  $U_{GT}$  (napięcie bramki przełączające).

Wysterowanie bramki powyżej tych wartości zapewnia załączanie każdego egzemplarza tyrystora danego typu. Wartości te pokazano na rys.1.

Z drugiej strony ograniczeniem jest maksymalna dopuszczalna wartość prądu  $I_{FGM}$  i maksymalna dopuszczalna wartość napięcia bramki  $U_{FGM}$ . Od strony energetycznej odgraniczeniem jest wartość średnia  $P_{G(AV)}$  i wartość maksymalna  $P_{GM}$  mocy, która może wydzielić się w bramce.



Rys.1. Charakterystyka obwodu bramki.

a) obszar charakterystyk bramkowych, b) obszar możliwych załączeń, c) ograniczenia w sterowaniu bramki.

Przy konstrukcji obwodu sterowania należy uwzględnić małą wytrzymałość napięciową złącza bramkowego. W katalogach podawana jest *dopuszczalna wartość polaryzacji wstecznej* złącza bramkowego (bramka spolaryzowane wstecznie względem katody).

W przypadku przypadkowych napięć w obwodzie bramki istotna jest znajomość *maksymalnego napięcia nieprzełączającego bramki*  $U_{GD}$ .

Ze względu na różnice pomiędzy egzemplarzami charakterystyka musi się ona zawierać pomiędzy liniami podanymi przez producenta. Na rysunku 1.b. uwzględniono ograniczenia wynikające z powyższych parametrów.

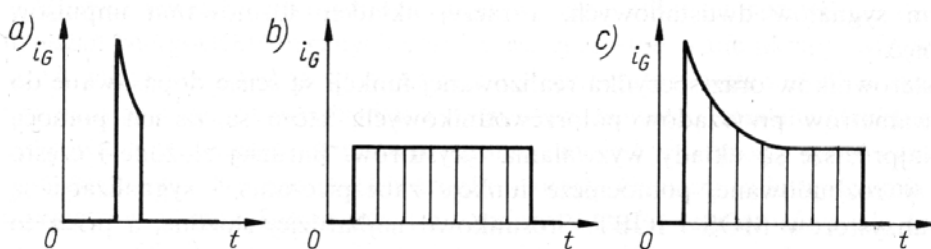
Z tego względu obszar przyciemniony na charakterystyce z rys. 1.b. dzieli charakterystykę na:

- Obszar nieprzełączania tyrystora. Obszar, w którym żaden tyrystor danego typu nie powinien się przełączyć.
- Obszar możliwych przełączeń, w którym niektóre tyrystory mogą się włączyć.
- Obszar pewnych przełączeń, w którym następuje załączenie każdego tyrystora danego typu.

W układach prostowników sterowanych impulsy sterujące są pojedynczymi impulsami o czasie trwania kilkuset mikrosekund i wartości szczytowej prądu  $5 \div 10$ -krotnej wartości minimalnej wartości prądu bramki potrzebnej do włączenia ( $I_{GT}$ ) (rys.2.a).

W falownikach i innych układach, gdzie prąd roboczy tyrystora płynie ciągle, czas impulsu sterującego bramki powinien odpowiadać czasowi przewodzenia tyrystora. (rys.2. b i c).

Podstawowym parametrem impulsu sterującego bramką tyrystora jest czas narastania impulsu i jego amplituda. Gwarantują one pewne i szybkie włączenie tyrystora.



Rys. 2. Kształty impulsów prądu bramki tyrystora, a) krótki impuls załączający, b) impuls ciągły, c) impuls ciągły z forsowaniem początku.

### **Układy sterujące bramkę tyrystora**

W najprostszym przypadku pokazanym na rys. 3.a. pomiędzy anodą a bramką umieszczamy opornik z wyłącznikiem.

Przy narastaniu napięcia na anodzie dość szybko prąd bramki osiąga wartość przełączającą tyrystor. Elementem sterującym jest przełącznik.

*Pytanie: Jak dobierać wartość rezystora anoda – bramka ?*

*Pytanie: Jaką rolę ma rezystor bramka – katoda?*

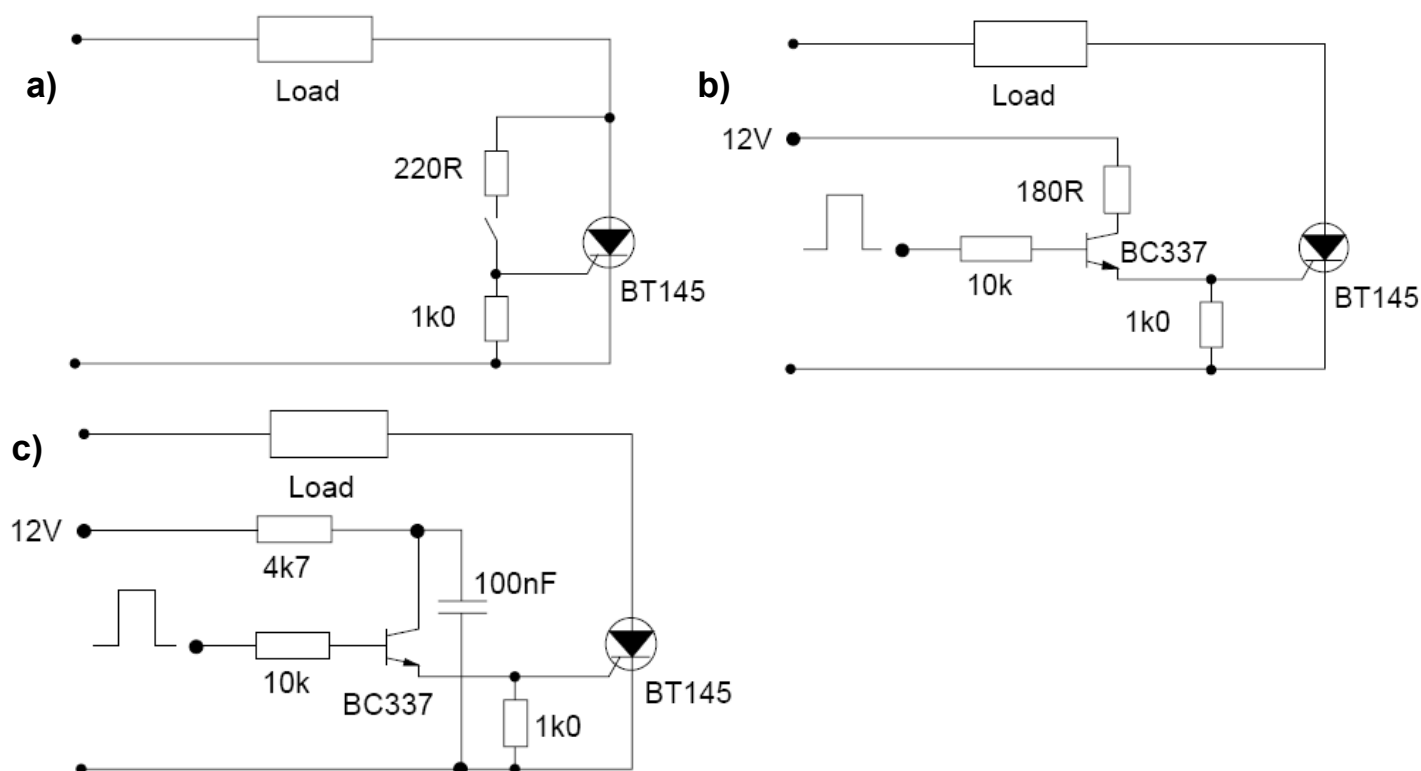
Gdy układ sterujący możemy połączyć galwanicznie z katodą tyrystora (napięciem odniesienia – masą) stosujemy tranzystor wzmacniający wejściowy impuls napięciowy do odpowiedniego prądu i napięcia w obwodzie bramki (rys.3.b i c).

*Pytanie: Jakie wartości powinny mieć rezystor w bazie i kolektorze tranzystora?*

*Czym należy się kierować?*

Układ z rys.3.c zapewnia forsowanie dużej wartości początkowej impulsu sterującego bramkę. Uzyskuje się to przez sterowane rozładowanie kondensatora C do bramki tyrystora.

*Pytanie: Jakie są wymagania na tranzystor kluczujący? Jak jest wartość prądu bramki (czym limitowana)?*

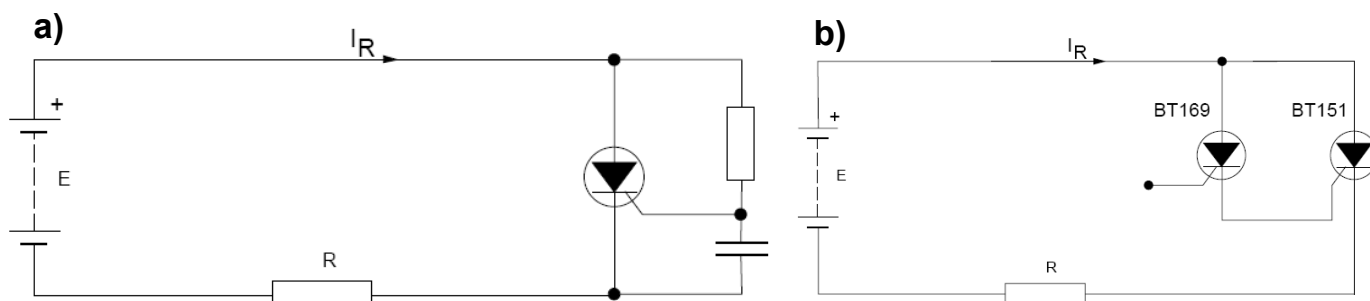


Rys.3. Układy sterowania bramki tyrystora bez separacji galwanicznej.

Tyrystor może być także użyty jako element opóźniający włączenie, co pokazano na rys.4.a. Załączenie następuje po naładowaniu kondensatora C do napięcia przełączającego (napięcie złącza bramka – katoda).

*Pytanie: Określ stałą czasową RC dla zadanego czasu i typu tyrystora i napięcia zasilającego.*

W przypadku tyrystorów dużej mocy można zastosować dodatkowy tyrystor pośredniczący co pokazano na rys. 4.c.



Rys.4. a) Tyrystor jako element włączający z opóźnieniem, b) tyrystor pomocniczy jako element pośredniczący.

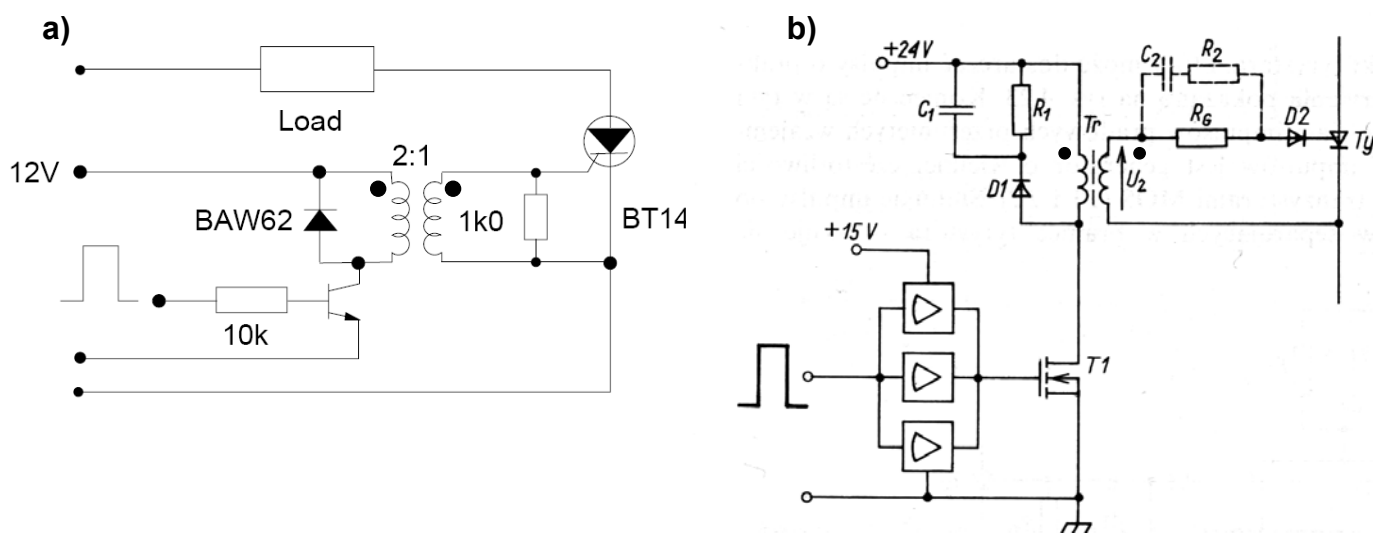
### **Układy sterujące bramkę tyrystora z oddzieleniem galwanicznym**

Układy tyrystorowe połączone są najczęściej galwanicznie z siecią.

Dla bezpieczeństwa obsługi i oddzielenia od zakłóceń sieciowych układy sterujące powinny być oddzielone galwanicznie od potencjałów na tyrystorze.

Równocześnie z przekazywaniem sygnałów do bramki potrzebne jest przekazanie porcji energii by skutecznie włączyć tyrystor.

Elementem przekazującym zarówno informację (sygnał) jak i energię jest często *transformator impulsowy*. Układ wykorzystujący transformator impulsowy pokazano na rys.5.a. Napięcie stałe podawane jest przez (wysterowany bazą) tranzystor na stronę pierwotną transformatora. Strumień w rdzeniu narasta i indukuje w uzwojeniu wtórnym napięcie zależne od przekładni (wg rysunku wartość 2:1). Napięcie po stronie wtórnej wystawia bramkę tyrystora. Gdy tranzystor przestaje przewodzić, pole w rdzeniu zaczyna opadać, pochodna zmian pola jest przeciwnego znaku. Napięcie wyindukowane, a tym samym szybkość zmiany pola (opadania) jest ograniczone przez przyłączoną diodę. Ogranicza to napięcie wsteczne złącza bramka – katoda. Zabezpieczającą rolę ma również rezystor bramka – katoda.

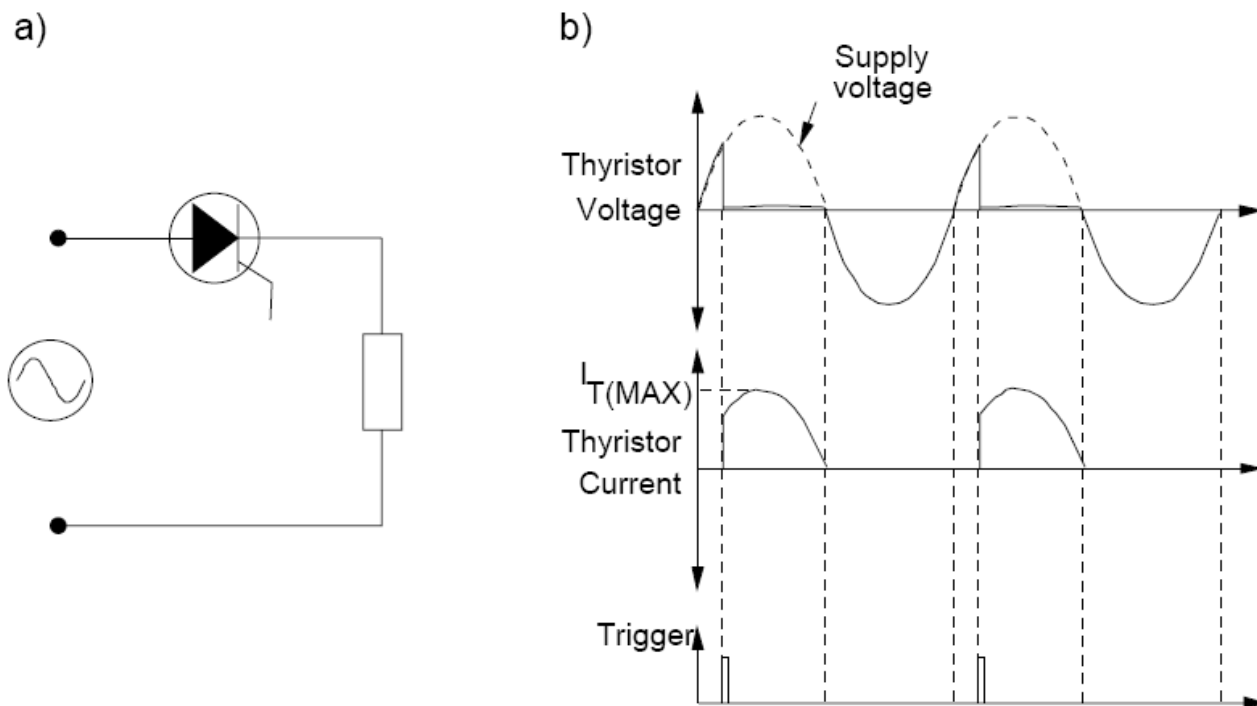


Rys.5. Układ sterowania bramki tyrystora z transformatorem impulsowym.

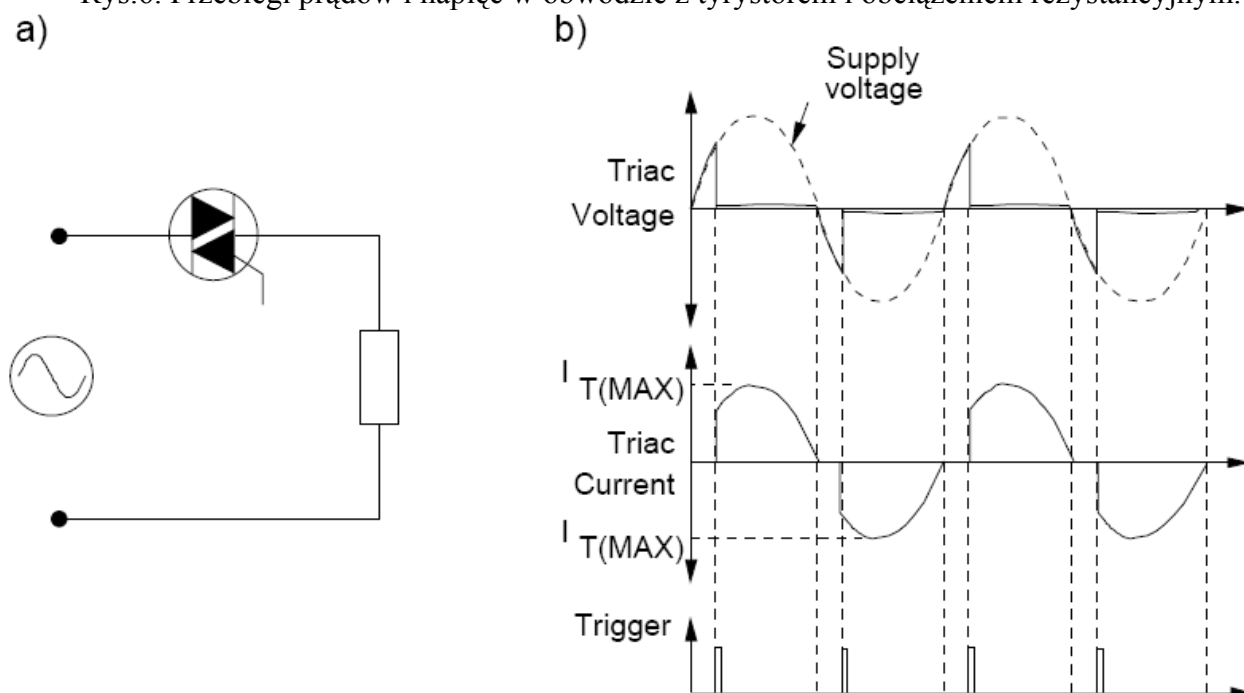
Podobne rozwiązanie zaprezentowano na rys. 5.b. Napięcie wyjściowe transformatora  $U_2$  zależne jest od napięcia zasilania (tu +24V) i przekładni transformatora. Wartość rezystora  $R_G$  ustala prąd bramki tyrystora. Przy wyłączeniu tranzystora T1 powstaje przepięcie, które może uszkodzić tranzystor. Przepięcie jest tłumione dwójnikiem  $R_1, C_1$ , a dioda  $D_1$  i rezystor  $R_1$  podtrzymują opadanie strumienia w rdzeniu. Jeśli potrzebne jest forsowanie prądu w czole impulsu prądu bramki, można do rezystora  $R_G$  dodać dwójnik  $R_2, C_2$  (linią przerywaną na rys.5.b). Dioda D2 zabezpiecza złącze bramka-katoda przed przebieciem.

### **Sterowanie tyrystora przy obciążeniach indukcyjnych**

Przy czysto rezystancyjnym obciążeniu w obwodach zmiennoprądowych (prostowniki sterowane) napięcie wysterowujące tyrystor może mieć postać krótkiego impulsu. Przebiegi napięć i prądów w obwodzie pokazano na rys.6.



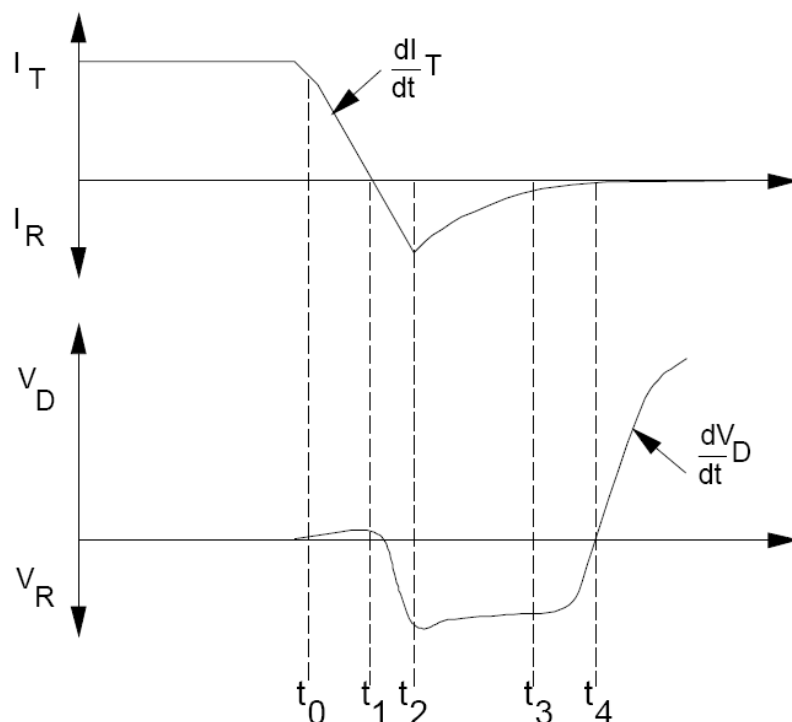
Rys.6. Przebiegi prądów i napięć w obwodzie z tyrystorem i obciążeniem rezystancyjnym.



Rys.7. Przebiegi prądów i napięć w obwodzie z triakiem i obciążeniem rezystancyjnym.

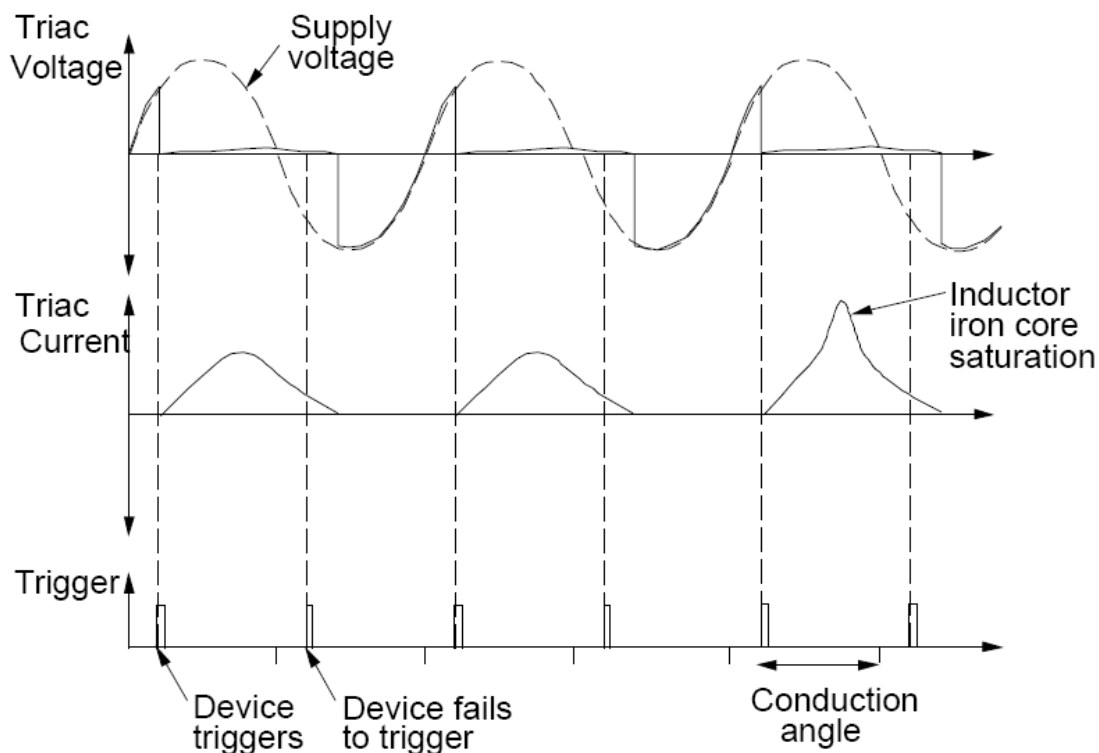
*Pytanie: Podaj (wyprowadź) wzory na wartość średnią i skuteczną prądu, mocy w obciążeniu dla układów z rys.6 i 7.*

Na rys.8. pokazano w powiększeniu zjawiska przy przejściu tyrystora w stan zaporowy. Czasy wyłączenia prądu zależą od prądu płynącego przez tyrystor, temperatury złącza, szybkości opadania prądu i szybkości narastania napięcia wstecznego.



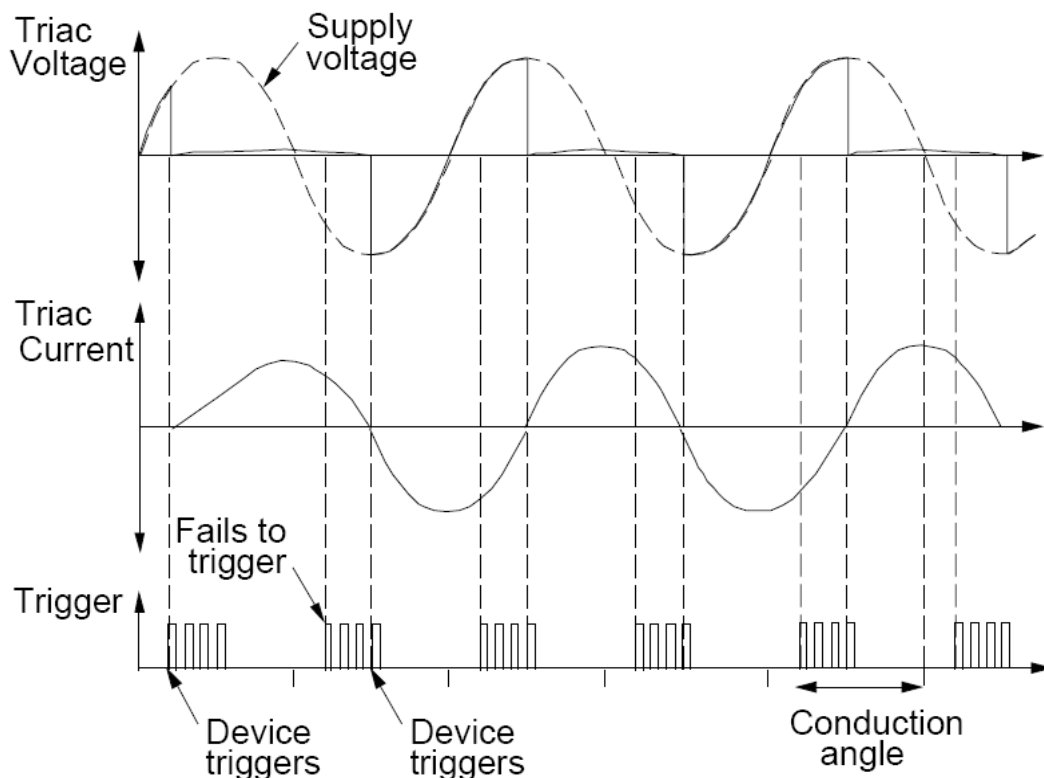
Rys.7 Prąd i napięcie na tyrystorze przy wyłączeniu obciążeniem rezystancyjnym.

Przy sterowaniu fazowym (z opóźnieniem kąta załączania tyrystora), obciążeniem indukcyjnym i krótkimi impulsami sterującymi mamy do czynienia z zjawiskiem zilustrowanym na rys. 8. Przy obciążeniu indukcyjno-czynnym (np. silnik) przebiegi w układzie zależą od mocy obciążenia i proporcji składowych obciążenia i kąta wysterowania tyrystora lub antyrównoległej pary tyrystorów lub triaka. Układy sterujące tyrystor (triak) – przesuwniki fazowe, synchronizowane są najczęściej przez przejście napięcia przez zero. Gdy kąt wyzwolenia (impuls bramkowy) jest wcześniejszy niż moment zaniku prądu w obwodzie, to tyrystor nie jest wyzwolany po zaniku prądu. Wyzwolenie następuje dopiero w następnym półokresie sieci. Układ działa jak prostownik jednopółokwowy i daje na wyjściu napięcie stałe zamiast regulowanego przemiennego. Dla wielu obciążeń indukcyjnych prowadzi to do wejście w stan nasycenia obwodów magnetycznych i związanych z tym przetężeń.



Rys.8. Wyzwalanie triaka pojedynczymi impulsami przy obciążeniu indukcyjnym.

Tego problemu można uniknąć za pomocą ciągu impulsów wyzwalających lub ciągłego sygnału wyzwalającego jak pokazano na rys. 9. Impulsy powinny zaniknąć przed pojawieniem się następnego półokresu napięcia sieci. Ciągi impulsów można otrzymywać z transformatora impulsowego. Innym rozwiązaniem jest ciągle zasilanie bramki długim impulsem.

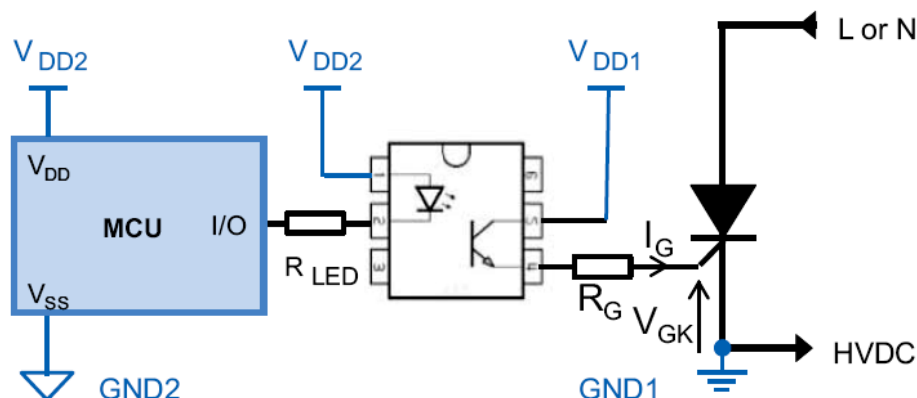


Rys.9. Wyzwalanie triaka ciągiem impulsów przy obciążeniu indukcyjnym.





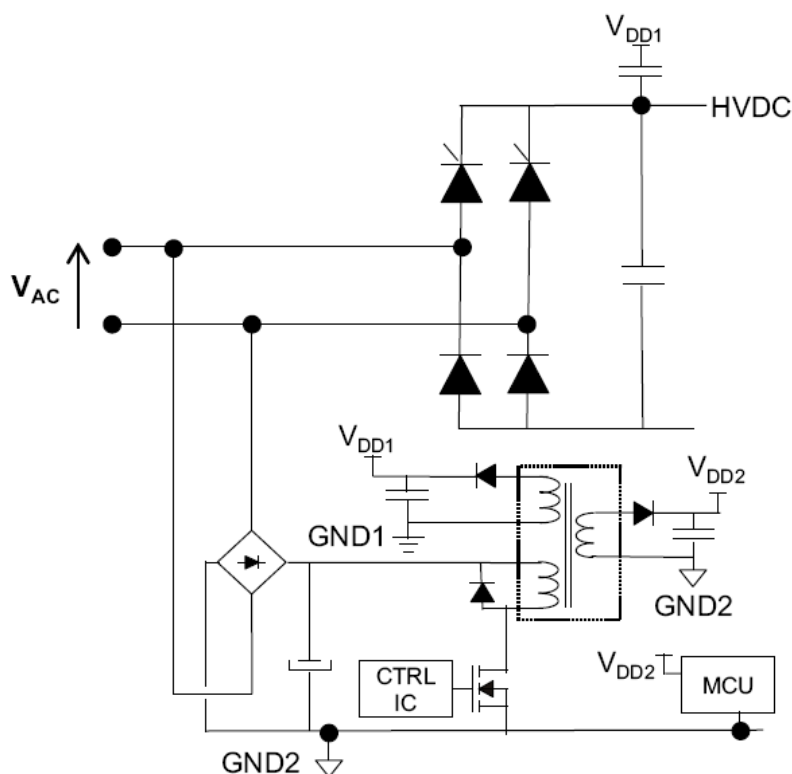
Na rys.11. generator o częstotliwości ponadakustycznej zasila napięciem przemiennym wszystkie układy sterowania bramek tyrystorów. Tranzystory kluczujące (T1, T2) wybierają, który transformator ma być zasilany. Napięcia z uzwojenia wtórnego transformatora jest prostowane i zasila bramkę tyrystora.



Rys.12. Sterowanie tyrystora przez transoptor.

Na rys.12. pokazano najprostszy sposób sterowania tyrystora z wykorzystaniem separacji galwanicznej przez transoptor. Umożliwia on sterowanie tyrystora połączonego galwanicznie z siecią z systemu mikroprocesorowego połączonego z potencjałem bezpiecznym. W rozwiązaniach stosowane są inne elementy optoelektroniczne do separacji galwanicznej: fototyrystory, fototriaki

Potrzebne są w układzie zasilania o niskim napięciu niepołączone ze sobą galwanicznie. Często wykonuje się je jako odrębne przetwornice o wielu napięciach wyjściowych. Pokazano to przykładowo na ry.13.



Rys.13. Pomocnicza przetwornica w tyrystorowym układzie prostowniczym.