

Zespół Szkół Technicznych im. J. i J. niadeckich w Grudzi dzu



Laboratorium Elektryczne . Pracownia
Automatyki i Robotyki (s.48)

Instrukcja Laboratoryjna: 11. BADANIE I ZASTOSOWANIE UK/ ADÓW Z TYRYSTORAMI I TRIAKAMI

Opracował mgr in . Marcin Jabło ski

Cel wiczenia

Celem wiczenia jest zapoznanie si z budow i wci sno ciami tyrystora, triaka, prac tyrystorowych prostownik w sterowanych w uk adzie mostka typu 2T-2D oraz prac uk ad w z triakami sterowanymi fazowo i grupowo.

Program wiczenia

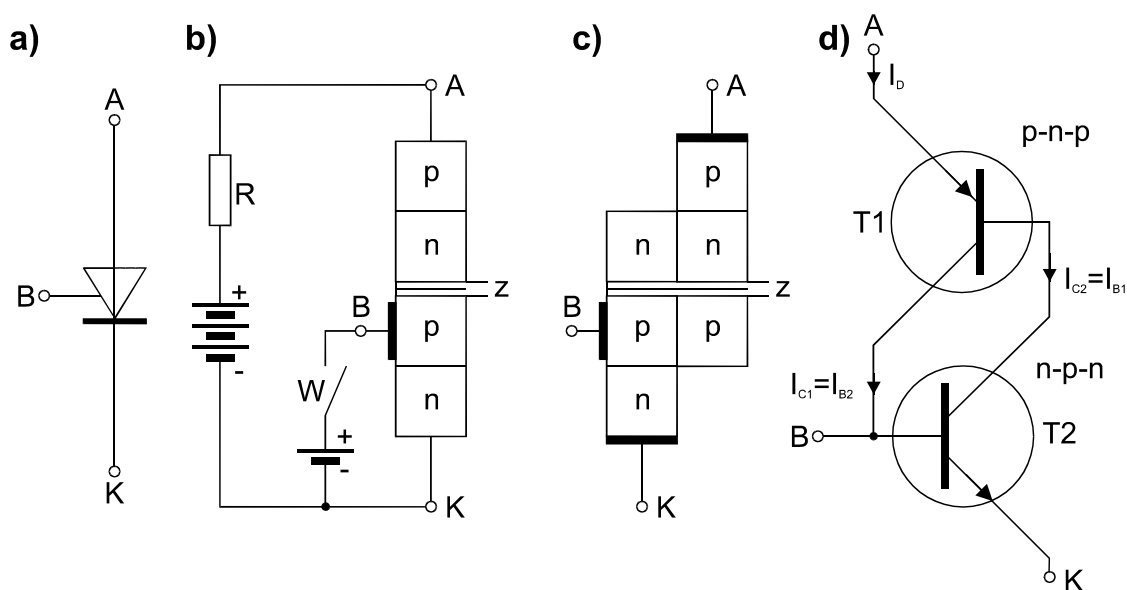
1. Wiadomo ci wst pne
 - 1.1. Budowa tyrystora
 - 1.2. Charakterystyki i parametry tyrystora
 - 1.3. Zdejmowanie charakterystyk w uk adzie charakterografu
 - 1.4. Prostowniki sterowane
 - 1.5. Tyrystor dwukierunkowy (TRIAK)
 - 1.6. Sterowanie fazowe i grupowe w uk adach z triakiem
2. Wykonanie pomiar w
 - 2.1. Badanie tyrystora w uk adzie charakterografu
 - 2.2. Badanie triaka
 - 2.3. Badanie tyrystorowego prostownika sterowanego
 - 2.4. Wyznaczanie warto ci redniej napi cia w prostowniku sterowanym
 - 2.5. Badanie tyrystorowego uk adu nap dowego
 - 2.6. Badanie uk adu z triakiem sterowanym fazowo
 - 2.7. Badanie uk adu z triakiem sterowanym grupowo
3. Uwagi i wnioski

1. Wiadomości wstępne

1.1. Budowa tyrystora.

Tyrystor, nazywany także diodą sterowaną, jest krzemowym elementem półprzewodnikowym o strukturze czterowarstwowej $p-n-p-n$ (rys. 1). Elektrody wyprowadzone od skrajnych warstw tworzą odpowiednio anod (A) i katod (K). Elektroda wyprowadzona ze środkowego obszaru typu p nazywa się bramką (B). Przy otwartej bramce (otwarty wyłącznik W na rys. 1b) tyrystor nie przewodzi, mimo że nawet przy dodatniej polaryzacji anody względem katody (tzn. do anody przyłączony jest dodatni biegun źródła napięcia, a do katody ujemny). Nieprzewodzenie tyrystora związane jest z zaporowym działaniem bariery potencjału, która znajduje się między obszarami n i p . Obszary n i p tworzą zwykłą diodę półprzewodnikową. Dioda ta spolaryzowana jest zaporowo, tzn. do obszaru n przyłożony jest biegun \oplus , zaś do obszaru p biegun \ominus . Wytwarza się więc bariera potencjału, która zobrazowana jest na rys. 1b jako z . Bariera ta nie dopuszcza do przepływu nośników między anodą i katodą tyrystora, w obwodzie zewnętrznym nie ma przepływu prądu. Wystarczy jednak wywołać krótki impuls prądu w obwodzie bramki, zamykając na chwilę wyłącznik W , aby wprowadzić tyrystor w stan przewodzenia. Po wejściu tyrystora w stan przewodzenia bramka traci właściwość sterowniczą, a zatem otwarcie wyłącznika w obwodzie bramki nie przerywa prądu anodowego.

Wyłączenie tyrystora można spowodować wyłączeniem napięcia anodowego, zmianą jego polaryzacji lub zmniejszeniem prądu anodowego poniżej pewnej wartości krytycznej, zwanej prądem podtrzymania. Wprowadzenie tyrystora w stan przewodzenia impulsem prądu bramki nazywa się wyzwaniem bramkowym.



Rys. 1. Tyrystor: a) symbol graficzny, b) struktura czterowarstwowa, c-d) schemat zastępczy jako analogia dwutranzystorowa.

Zasad działania tyrystora można wyjaśnić za pomocą struktur czterowarstwowej $p-n-p-n$ zestawieniem dwóch tranzystorów: tranzystora $p-n-p$ (T_1) oraz tranzystora $n-p-n$ (T_2) - rys. 1c,d. Jeżeli do bazy tranzystora T_2 (elektroda ta jest jednocześnie bramką tyrystora) doprowadzimy dodatni impuls prądowy to tranzystor ten zacznie przewodzić. Dzięki wzmacnianiu tego działania tranzystora w jego kolektorze pojawi się prąd I_{C2} . Prąd ten jest jednocześnie prądem bazy tranzystora T_1 . Tranzystor T_1 zacznie przewodzić. Następuje więc likwidacja zaporowego działania bariery potencjału. W układzie zastępczym istnieje dodatnie sprzężenie zwrotne. Polega to na tym, że prąd kolektora I_{C1} tranzystora T_1 jest jednocześnie prądem bazy I_{B2} tranzystora T_2 . Wzrastający prąd I_{C1} powoduje więc wzrost prądu I_{B2} . Tranzystor T_2 zostaje więc wprowadzony w stan przewodzenia. Wzrasta więc prąd $I_{C2}=I_{B1}$. Powoduje to, że i tranzystor T_1 zostaje wprowadzony w stan przewodzenia. Efektem tego jest gwałtowny wzrost prądu przepływającego przez całą strukturę. Tyrystor zaczyna przewodzić. Na podstawie analizy matematycznej schematu zastępczego tyrystora można wyprowadzić zależność od prądu przewodzenia tyrystora I_D :

$$I_D = \frac{I_{C_0}}{1 - (\alpha_1 + \alpha_2)} \quad (1)$$

gdzie:

- I_D - prąd przewodzenia
- I_{C_0} - prąd generowany cieplnie w warstwie n
- α_1, α_2 - współczynniki wzmacnienia prądowego tranzystorów używanych w schemacie zastępczym (rys. 1d).

W zależności od wartości sumy (α_1, α_2) rozróżniamy następujące stany pracy tyrystora przy polaryzacji przepustowej (anoda +, katoda -).

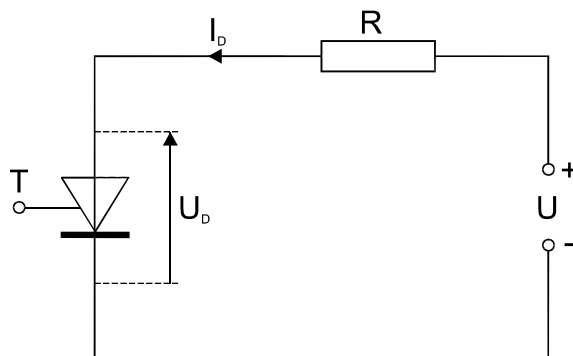
1^o $(\alpha_1 + \alpha_2) \ll 1$ - **blokowanie** (stan nieprzewodzenia)

W tym przypadku jak wynika z zależności (1) prąd tyrystora osiąga niewielkie wartości: $I_D \cong I_{C_0}$.

2^o $(\alpha_1 + \alpha_2)$ dąży do 1 - **przebieżenie** (zakłócenie)

3^o $(\alpha_1 + \alpha_2)$ bliskie 1 - **przewodzenie**

Przy tym warunku prąd struktury silnie wzrasta do wartości ustalonej, ograniczonej rezystancją obwodu zewnętrznego tyrystora i przyłożonym do obwodu napięciem (rys. 2). Spadek napięcia na przewodzącym tyrystorze U_D jest rzędu kilku woltów. Stanowi to więc niewielki procent przyłożonego napięcia zewnętrznego.



Rys. 2. Tyrystor z obwodem zewn trznym w stanie przewodzenia

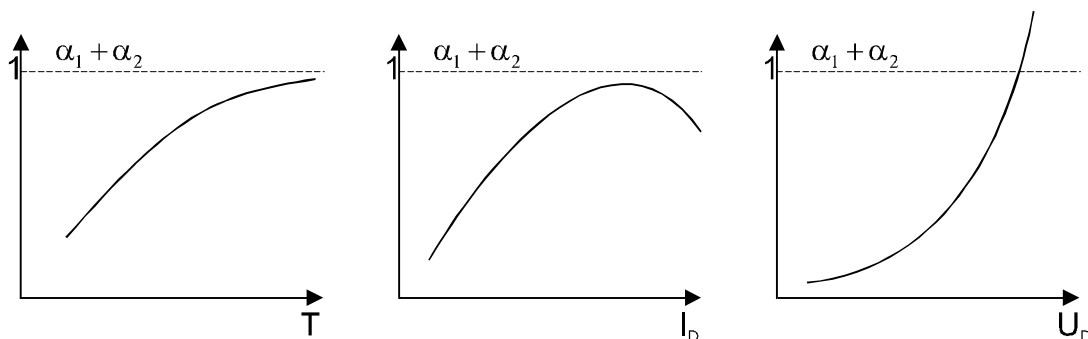
Je eli nast pió ju wej cie tyrystora w stan przewodzenia, to stan ten jest samoczynnie podtrzymywany, gdy dzi ki przepó wowi du ego pr du I_D suma współczynników $\alpha_1 + \alpha_2$ jest stale bliska jedno ci. Tyrystor pracuje wówczas jak zwykó dioda.

Najistotniejszy cech odró niaj c tyrystor od diody półprzewodnikowej jest mo liwo nieprzewodzenia mimo polaryzacji przepustowej. Wó ciwo t uzyskuje si dzi ki zaporowemu działaniu bariery potencjaó (rys. 1) - pozostaó zócza spolaryzowane s przepustowo. St d te wywodzi si nazwa - dioda sterowana.

Oprócz opisanego wyzwalaia bramkowego, przej cie tyrystora ze stanu blokowania do stanu przewodzenia mo e nast pió wskutek nast puj cych czynników:

- przy przekroczeniu pewnej granicznej warto ci napi cia U_D mi dzy anod i katod tyrystora (wyzwalanie napi ciowe),
- przy przekroczeniu granicznej temperatury zócza (przeóczanie temperaturowe),
- pod wpó wem energii wietlnej doprowadzonej do zócza (wyzwalanie wietlne),
- przy przekroczeniu pewnej maksymalnej szybko ci narastania napi cia na tyrystorze du/dt (pr d pojemno ciowy pón cy przez zócze mo e wywoó taki sam efekt jak pr d bramki).

Wy ej wymienione mo liwo ci zaóczania tyrystora wynikaj z wpó wu na α_1 i α_2 okre lonych parametrów (np. T , I_D , U_D), co przedstawiono na rys.3.



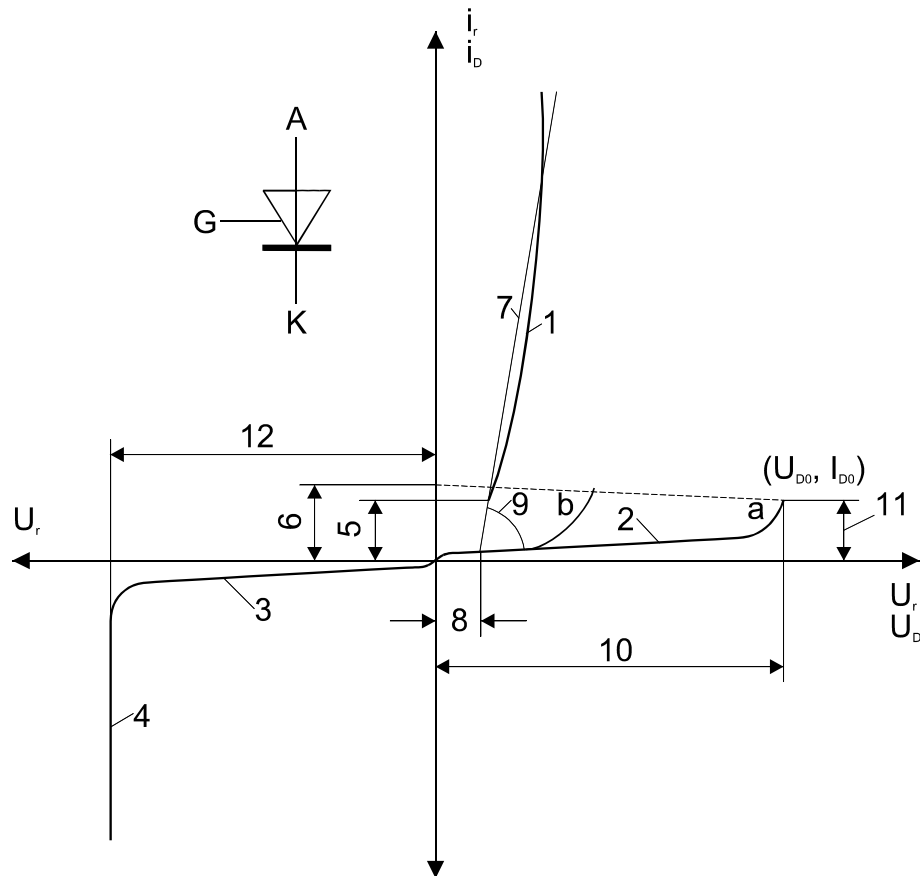
Rys. 3. Wpó w ró nych wielko ci na współczynniki wzmacnienia pr dowego tranzystorów zast pczych

W przypadku niewłaściwej konstrukcji lub eksploatacji urządzeń tyrystorowych wymienione czynniki mogą powodować niezamierzone wyzwalanie tyrystorów. Niektóre z nich wykorzystuje się celowo w elementach stanowiących odmiany tyrystorów. Na zasadzie wyzwalania napięciowego pracują diody czterowarstwowe zwane dynistorami, a wyzwalanie świetlne wykorzystywane jest w fototyrystorach.

1.2. Charakterystyka i parametry tyrystora.

Charakterystyki statyczne i parametry obwodu głównego.

Obwodem głównym tyrystora nazywamy obwód prądowy, w którym są włączone główne elektrody tyrystora: anoda i katoda. W obwodzie tym pracuje prąd. Charakterystyka napięciowo-prądowa (główna) tyrystora (rys. 4) ilustruje trzy omówione stany pracy przy polaryzacji przepustowej: stabilny stan blokowania, niestabilny stan przejściowy, stabilny stan przewodzenia oraz stan zaporowy przy polaryzacji wstecznej. Jak widać tyrystor jest elementem nieliniowym o rezystancji dodatniej w stanach blokowania i przewodzenia oraz ujemnej w stanie przejściowym.



Rys. 4. Charakterystyka napięciowo-prądowa obwodu głównego tyrystora:

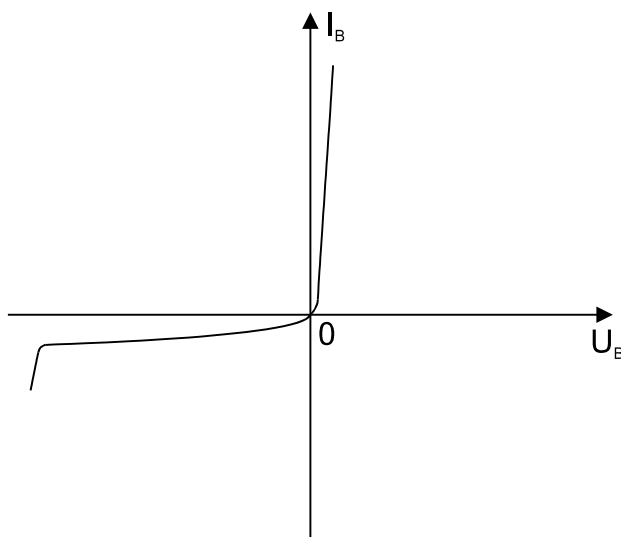
a-bez prądu bramki, *b*-z prądem bramki, *1*-charakterystyka w stanie przewodzenia, *2*-charakterystyka w stanie blokowania, *3*-charakterystyka w stanie zaporowym, *4*-obszar przebicia, *5*-prąd podtrzymania, *6*-prąd włączania, *7*-aproksymacja prostopadłościowa w stanie przewodzenia, *8*-napięcie progowe, *9*-rezystancja dynamiczna w stanie przewodzenia, *10*-napięcie przełamania, *11*-prąd przełamania, *12*-napięcie przebicia

Stan blokowania - charakteryzują współrzędne U_D, I_D punktu szczytowego (U_{D_0}, I_{D_0} - bez prądu bramki) odpowiadającego przełączaniu, tj. **napięcie przełączania** i **prąd przełączania**. Prąd przełączania odpowiadający przejściu ze stanu blokowania do stanu przewodzenia nosi nazwę **prądu włączenia** I_L . Natomiast prąd przełączania odpowiadający przejściu ze stanu przewodzenia do stanu blokowania nosi nazwę **prądu podtrzymania** I_H .

Podstawowym parametrem charakteryzującym stan przewodzenia jest **najwyższy prąd przewodzenia**. Stan polaryzacji wstecznej tyrystora nazywa się **stanem zaporowym** (stan zaporowy przy polaryzacji wstecznej). W stanie tym płynie przez tyrystor niewielki prąd wsteczny pod warunkiem nieprzekroczenia **najwyższego szczytowego napięcia wstecznego** U_{Rmax} .

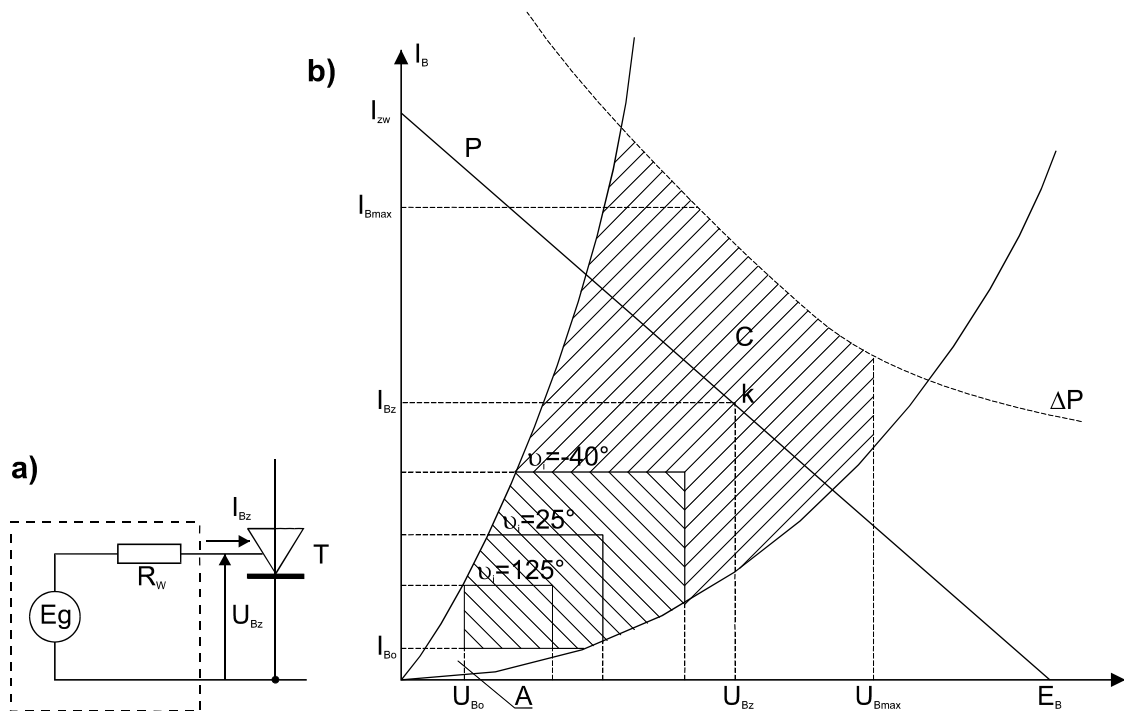
Parametry i charakterystyki obwodu bramki.

Złącze bramka - katoda ma na ogół sześć wyprowadzeń (rys. 5). Charakteryzuje się ono również stosunkowo małym napięciem przebicia lawinowego przy polaryzacji wstecznej.



Rys. 5. Charakterystyka napięciowo-prądowa obwodu bramki

Ponieważ charakterystyki bramkowe wskazują stosunkowo duży rozrzut technologiczny, katalogowe charakterystyki napięciowo-prądowe bramki tyrystora przedstawione są zawsze w postaci dwóch krzywych granicznych (rys.6), między którymi powinna leżeć charakterystyka dowolnie wybranego egzemplarza tyrystora danego typu.



Rys. 6. Układ zastawy przy różnym sygnale sterującym (a), sposób wyznaczania prostej obciążenia oraz obszary pracy obwodu bramki (b)

Oznaczenia:

$U_{B_{max}}$ ☞ największe szczytowe napięcie przewodzenia bramki

$I_{B_{max}}$ ☞ największy szczytowy prąd przewodzenia bramki

U_{B_z} ☞ napięcie przełączające (wyzwalające) bramki

I_{B_z} ☞ prąd przełączający (wyzwalający) bramki

ΔP ☞ hiperbola dopuszczalnej straty mocy w bramce

P ☞ prosta obciążenia obwodu bramkowego

ϑ_j ☞ temperatura złącza bramka-katoda

A ☞ obszar niemożliwych przełączeń tyrystora. Na rys. 6b podana jest również największa wartość napięcia i prądu bramki U_{B_0}, I_{B_0} , która nie spowoduje włączenia ani jednego tyrystora danego typu.

B ☞ obszar możliwych przełączeń tyrystora lub tzw. obszar niepewnego wyzwalania. Proste pionowe i poziome, które przecinają ten obszar, wyznaczają minimalną wartość prądu i napięcia bramki niezbędne do wyzwolenia tyrystora przy określonej temperaturze struktury. Im niższa jest temperatura struktury $p-n-p-n$, tym wyższa jest wartość wyzwalającego prądu i napięcia bramki.

C ☞ obszar pewnych przełączeń (pewnego wyzwalania).

Prosta obciążenia różnym sygnałem sterującym powinna przecinać napięciowo-prądowe charakterystyki bramkowe danego tyrystora w obszarze pewnych przełączeń. Punkt

wyzwalania powinien znajdować się dostatecznie blisko krzywej dopuszczalnej straty mocy w bramce.

Na rysunku 6a przedstawiono układ zastępczy źródła sygnałów sterujących składający się z SEM E_B i rezystancji wewnętrznej R_w . Prosta obciążeniowa p tego źródła poprowadzona jest w ten sposób, że punkt pracy k , tj. punkt przecięcia tej prostej z charakterystyką bramki, znajduje się w obszarze pewnych przebiegów, w pobliżu krzywej dopuszczalnych strat mocy.

Prosta obciążeniowa wyznacza na osiach współrzędnych napięcia źródła bramkowego E_B i prąd zwarcia $I_{zw} = E_B / R_w$.

Jeśli SEM źródła sygnałów sterujących jest funkcją czasu $e_B(t)$, co ma miejsce w sterowaniu impulsowym, to prosta obciążeniowa (rys. 6b) w czasie narastania sygnału przemieszcza się równolegle od punktu zero osi współrzędnych do poziomu maksymalnego, którego osiąga przy amplitudzie napięcia sterującego.

1.3. Zdejmowanie charakterystyk w układzie charakterografu.

Pomiary charakterystyk napięciowo-prądowych tyrystora w stanie zaporowym oraz w stanie blokowania można dokonać w układzie charakterografu (rys. 17). Przez stan zaporowy rozumie się polaryzację wsteczną złącza anoda-katoda, a przez stan blokowania nieprzewodzenie podczas polaryzacji złącza anoda-katoda tyrystora w kierunku przewodzenia. Układ charakterografu umożliwia zasilanie złącza anoda-katoda dodatnimi i ujemnymi półokresami sinusoidy uzyskanymi w wyniku jednofazowego prostowania napięcia zasilającego za pomocą diody. Oddzielna część układu umożliwia zasilanie obwodu bramki tyrystora napięciem regulowanym przez dzielnik potencjometru oraz rezystora. W trakcie pomiaru charakterystyk w kierunku zaporowym zasilanie obwodu bramki jest odłączane za pomocą wyłącznika. Napięcia sterujące do oscyloskopu są pobierane z elektrod tyrystora (U_{AB}) oraz z szeregowego opornika przez który płynie prąd tyrystora (U_{BC}). Za pomocą układu można dokonać pomiaru powtarzalnego szczytowego napięcia wstecznego w stanie zaporowym oraz powtarzalnego szczytowego napięcia blokowania w stanie blokowania i charakterystyki prądu anodowego w funkcji napięcia anoda-katoda w stanie przewodzenia.

1.4. Prostowniki sterowane.

Jak wynika z rozważań w p. 1.2 wyzwalanie wymaga doprowadzenia do bramki sygnału wyzwalającego w postaci prądu bramki i napięcia bramki o odpowiednich wartościach. Najczęściej stosowanym w prostownikach sterowanych sposobem wyzwalania jest wyzwalanie bramkowe impulsowe. Podanie dodatniego impulsu prądowego o odpowiednich parametrach na bramkę tyrystora spolaryzowanego dodatnio powoduje przejście tyrystora ze stanu blokowania w stan przewodzenia.

Istotnym cechem układów wyzwalania bramkowego tyrystora w prostowniku sterowanym jest możliwość zmiany kąta pojawiania się impulsu wyzwalającego, czyli tzw. **kąt załączania** (wyzwalania) Θ_z . Zmiana kąta załączania powoduje natomiast zmianę wartości prądu, napięcia i mocy odbiornika.

Podstawowe schematy prostowników sterowanych

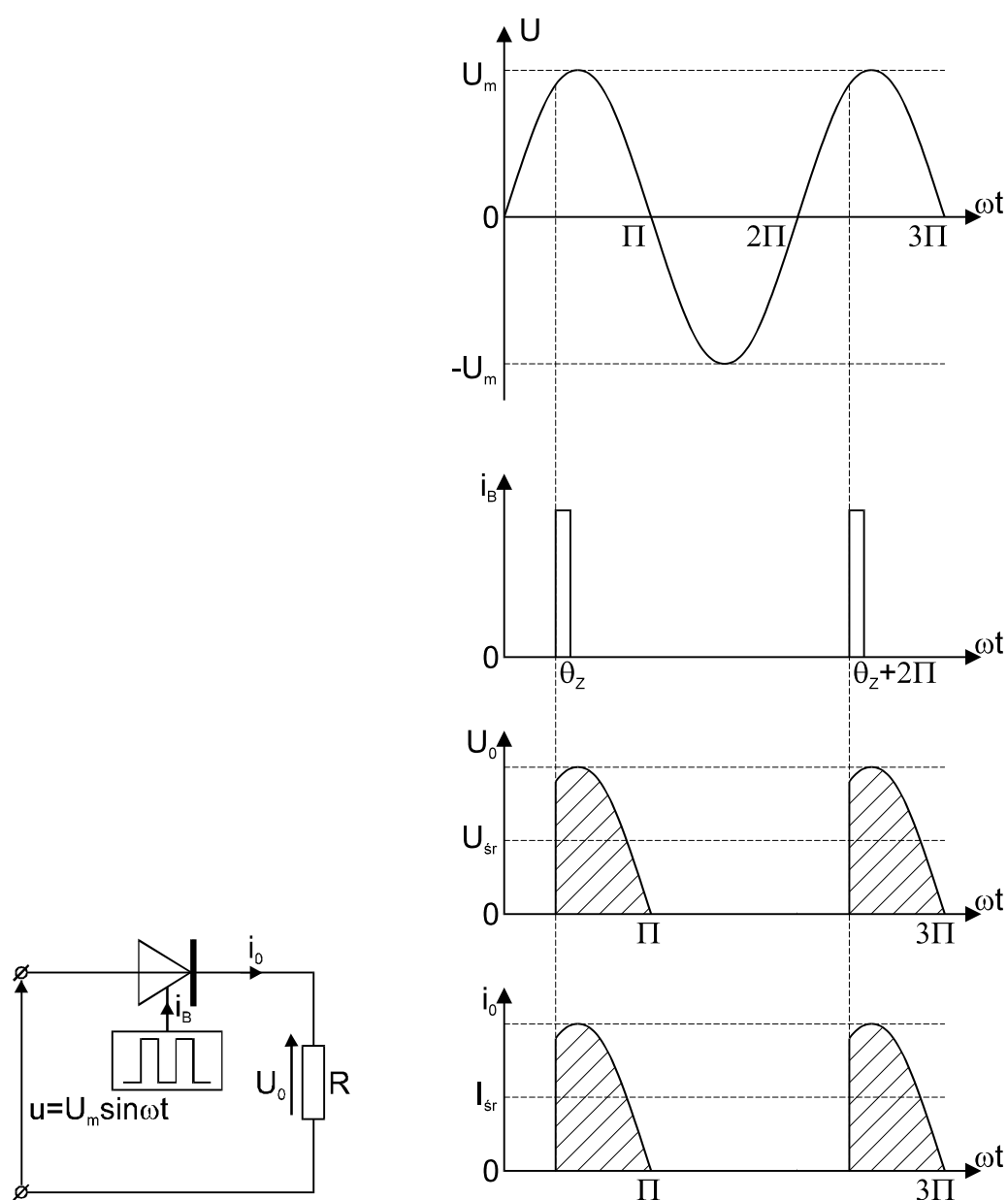
a) układ jednofazowy półokresowy

$$U_r = \frac{1}{2\pi} \int_{\theta_z}^{\pi} U_m \sin \omega t d(\omega t) = \frac{U_m}{2\pi} (1 + \cos \Theta_z) \quad (2)$$

Jak wynika z powyższej zależności wartość napięcia U_d zmienia się od $\frac{U_m}{\pi}$ do zera przy zmianie Θ_z od zera do π .

W przypadku obciążenia typu R wartość średnią prądu wyraża się wzorem:

$$I_r = \frac{U_r}{R} = \frac{U_m}{2\pi R} (1 + \cos \Theta_z) \quad (3)$$



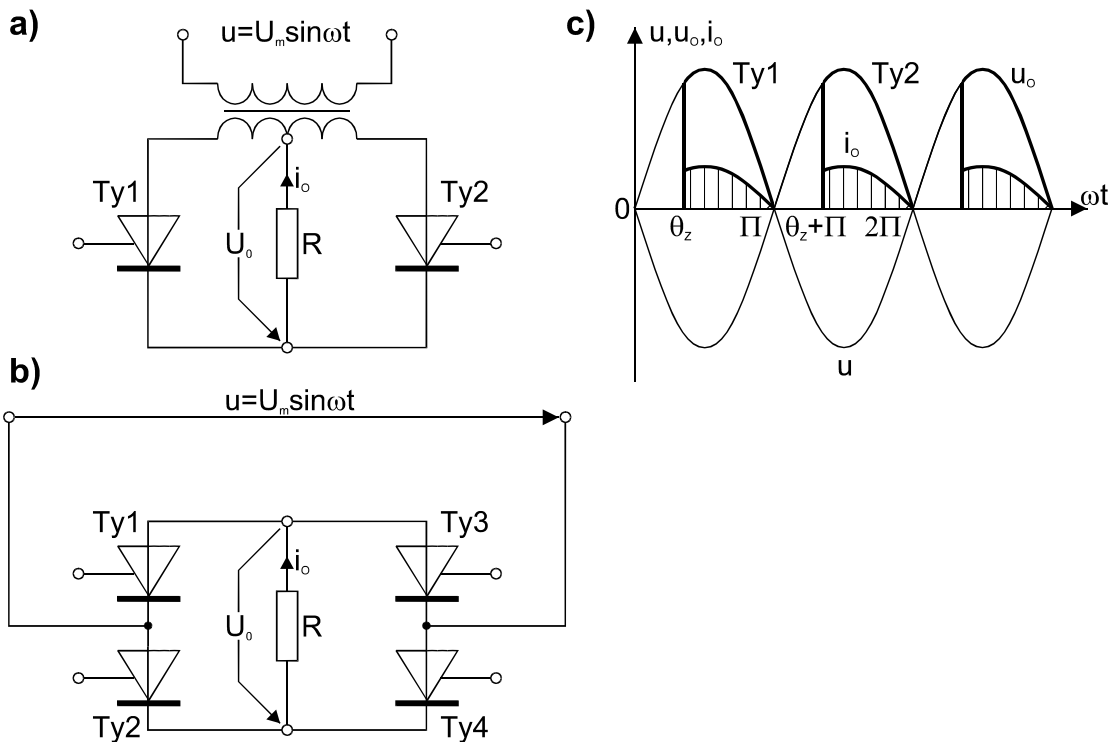
*Rys.7. Prostownik jednofazowy półokresowy: a) układ,
b) przebiegi czasowe przy obciążeniu R*

b) układ jednofazowy pełnookresowy

Wartość średniej napięcia określa zależność:

$$U_{\text{dr}} = \frac{1}{\pi} \int_{\theta_z}^{\pi} U_m \sin \omega t d(\omega t) = \frac{U_m}{\pi} (1 + \cos \theta_z) \quad (4)$$

W przypadku układu z rys. 8a tyrystor $Ty1$ wyzwala się w chwilach odpowiadających kątom $(\theta_z + 2k\pi)$, natomiast tyrystor $Ty2$ w chwilach odpowiadających kątom $(\theta_z + \pi + 2k\pi)$, gdzie $k \in (0; 1; 2; 3; \dots)$.

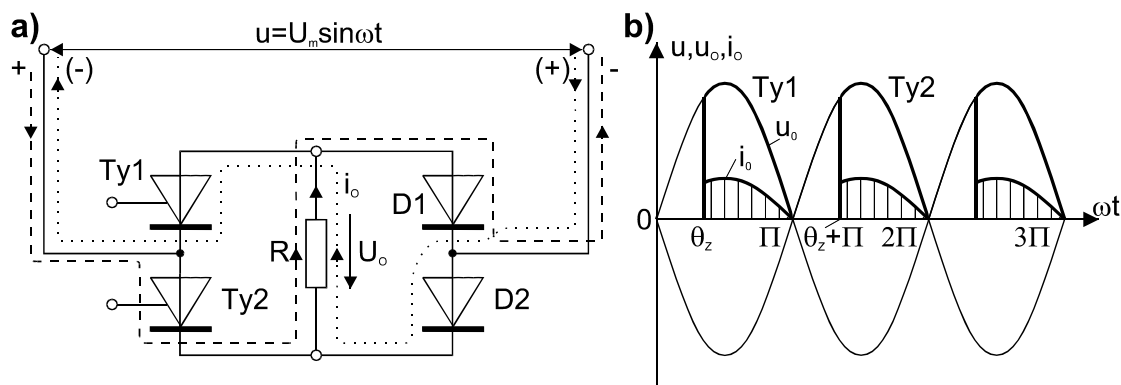


Rys. 8. Jednofazowe, pełnookresowe układy prostowania: a) schemat układu typu 2T z wyprowadzonym rodkiem uzwojenia wtórnego transformatora; b) schemat układu mostkowego typu 4T; c) przebiegi czasowe napięcia i prądu obciążenia przy obciążeniu R

Układ mostka jednofazowego (rys. 8b) posiada identyczne przebiegi czasowe i_o, u_o jak układ 2T. Może on pracować bez transformatora, ale wymaga podwójnej liczby tyrystorów.

Tyrystory przeciwległych gałęzi, np. $Ty1$ i $Ty4$ muszą być wyzwalać jednocześnie.

Celem zaoszczędzenia dwóch tyrystorów, zastępuje się je diodami niesterowanymi i otrzymuje się układ mostkowy typu 2T-2D, pokazany na rys. 9.



Rys. 9. Jednofazowy układ mostkowy typu 2T-2D: a) schemat układu, b) przebiegi czasowe napięcia i prądu obciążenia

Częściej występującym w praktyce typem obciążenia prostowników sterowanych jest obciążenie typu rezystancyjno-indukcyjnego (np. w układzie zasilania twornika lub uzwojenia wzbudzenia silnika prądu stałego). Analiza zjawisk i przebiegów w takich obwodach jest bardziej skomplikowana ze względu na zjawiska towarzyszące przepływowi prądu zmiennego w cewce indukcyjnej.

Oprócz wyżej omówionych układów prostowniczych tyrystorowych jednofazowych istnieją układy trójfazowe.

Prostowniki sterowane są bardzo rozpowszechnione jako źródła napięcia stałego regulowanego w szerokich granicach. Najlichnější grupa zastosowań jest związana z układami napędowymi prądu stałego. Liczną grupę stanowi również zasilacze stabilizowane prądu stałego.

Tyrystory znalazły także zastosowanie w układach zasilania silników asynchronicznych. Pełnią one rolę tzw. przemienników częstotliwości, tzn. zamieniają jedną częstotliwość prądu na drugą. Daje to możliwość bezstratnej regulacji obrotów silników asynchronicznych.

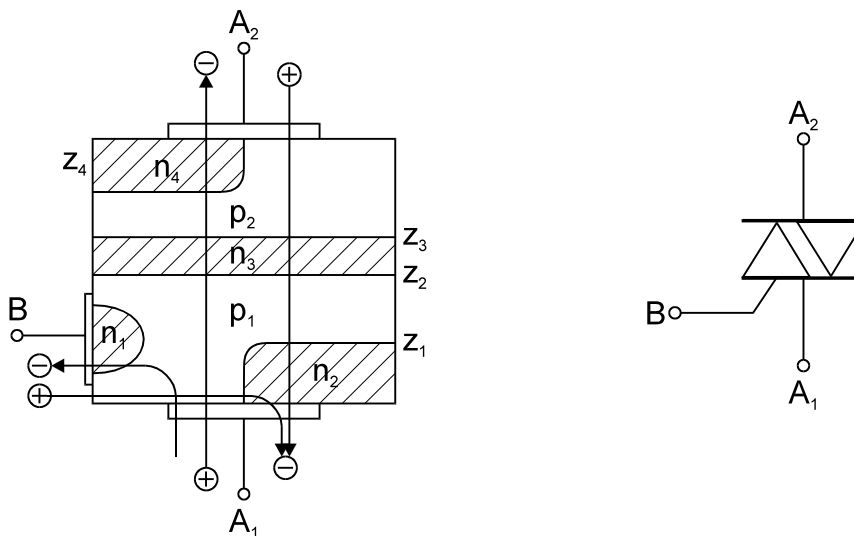
Przykładowo zostaną podane wartości niektórych parametrów dwóch różnych tyrystorów produkcji krajowej.

Typ tyrystora	BTP 2	T20-1000
Parametr		
Największy prąd przewodzenia	2 A	1000 A
Powtarzalne napięcie blokowania	25-800 V	100-1200 V
Powtarzalne napięcie wsteczne	25-800 V	100-1200 V
Spadek napięcia na tyrystorze	2 V	1,05-1,35 V
Prąd podtrzymania	7-10 mA	200 mA

1.5. Tyrystor dwukierunkowy (TRIAK).

Na bazie klasycznej czterowarstwowej struktury $p-n-p-n$ powstają nowe przyrządy półprzewodnikowe o specjalnych właściwościach narzuconych z regułą przez potrzeby użytkowe i przez praktykę eksploatacyjną. Tyrystor dwukierunkowy jest przyrządem trójelektrodowym, włączanym sygnałem bramkowym o przemiennej polaryzacji i przewodzącym prąd w obu kierunkach. Nazwa triak jest skrótem oznaczenia: Triode - AC - Switch. Tyrystor ten zastępuje dwa normalne tyrystory połączone w układzie przeciwrównoległym. Początkowo tyrystory dwukierunkowe wykonane były głównie w celu uproszczenia regulacji mocy w układach prądu zmiennego. Obecnie triaki stosuje się szeroko w urządzeniach z regulacją fazy oraz jako tanie bezstykowe czynniki mocy.

W celu wyjaśnienia zasady działania triaka należy zapoznać się ze strukturą wewnętrzną przyrządu, którą przedstawiono na rys. 10.



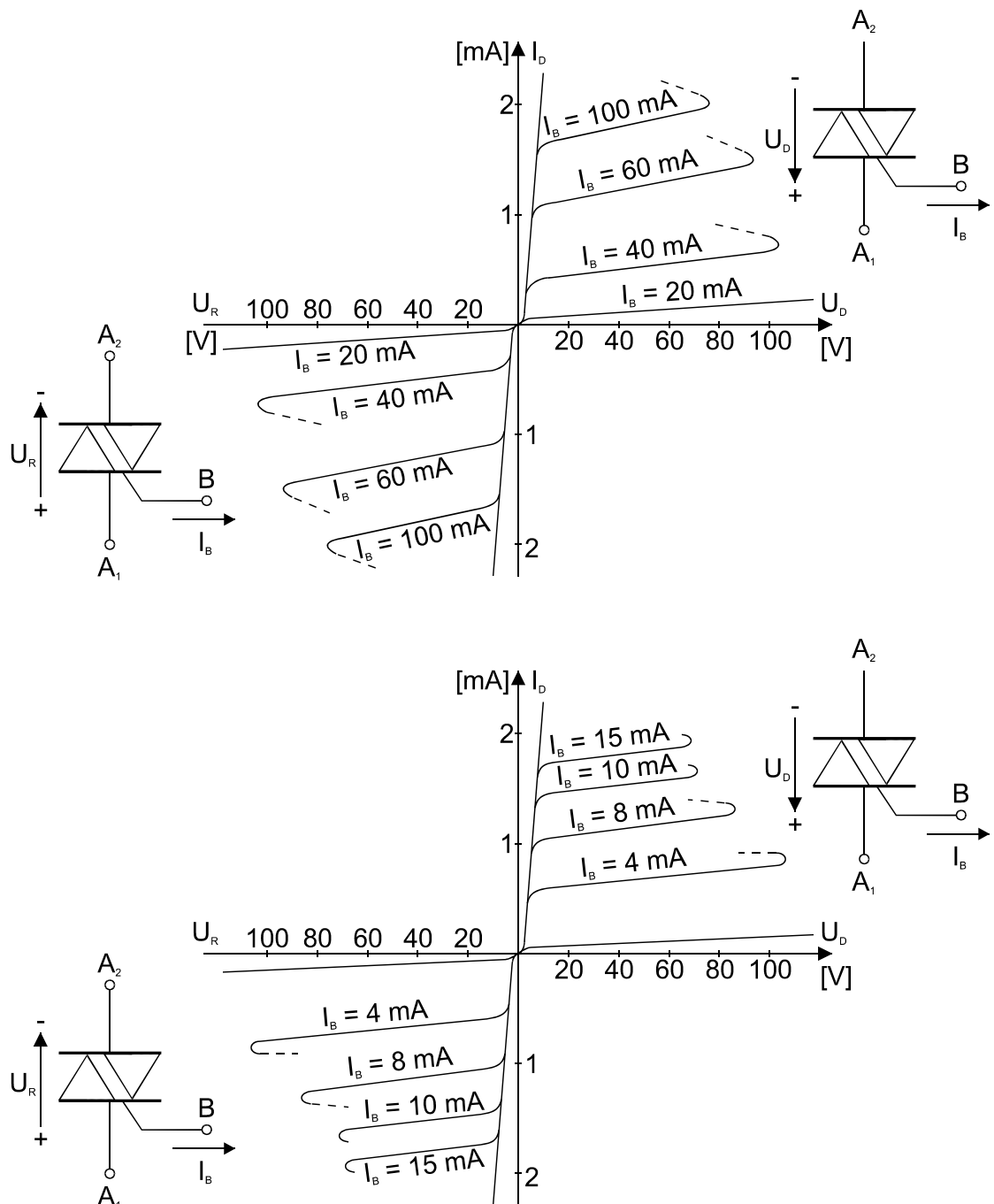
Rys. 10. Budowa i symbol graficzny triaka

Jak przedstawiono na rys. 10 elektrod sterujących jest obszar typu n , utworzony w warstwie p , w procesie technologicznym. Elektroda ta służy do wyzwalania triaka. Jeżeli do elektrody A_1 doprowadzimy ujemny biegun napięcia, a do A_2 dodatni to załączenie triaka nastąpi w taki sposób, jak w konwencjonalnym tyrystorze. Pod wpływem prądu sterującego zacze Z_2 zaczyna przewodzić wyzwalający układ.

Z opisanej zasady działania można wywnioskować, że triak blokuje napięcie o dowolnej biegunowości, przewodzi prąd w obu kierunkach oraz, że może być wyzwalany w dowolnym kierunku impulsami sterującymi zarówno dodatnimi jak i ujemnymi. Z tego względu wyróżniamy następujące cztery stany pracy triaka.

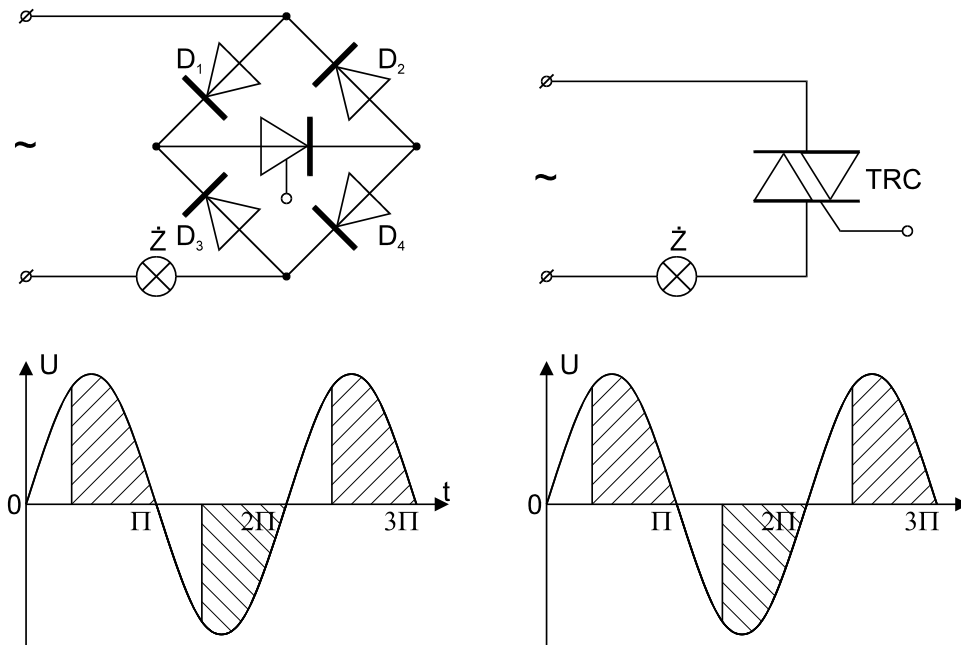
- | | |
|------------|---|
| Stan I + | – Elektroda A_2 ma potencjał dodatni względem A_1 , elektroda B sterowana jest impulsami dodatnimi. |
| Stan I – | – Elektroda A_2 ma potencjał dodatni względem A_1 , elektroda B sterowana jest impulsami ujemnymi. |
| Stan III + | – Elektroda A_2 ma potencjał ujemny względem A_1 , sterowanie impulsami dodatnimi. |
| Stan III – | – Elektroda A_2 ma potencjał ujemny względem A_1 , sterowanie impulsami ujemnymi. |

Na rysunku 11 przedstawiono przykładowe charakterystyki prądowo-napięciowe triaka redniej mocy. Cztery wyżej opisane stany pracy triaka odpowiadają pracy przyrzędu w I i III kwadrantach na rys. 11a, przy dodatniej biegunowości impulsów sterujących na rys. 11b - przy ujemnej biegunowości impulsów sterujących. Charakterystyki obwodu głównego w I i III kwadrantach są w przybliżeniu symetryczne, jednak optymalne warunki sterowania uzyskuje się dla stanu I+ i III- tzn. przy sterowaniu impulsami o zmiennej polaryzacji, przy czym dodatni impuls bramkowy pojawia się przy dodatnim napięciu na elektrodzie A2. Przy $I_B = 0$ triak blokuje napięcie o dowolnej biegunowości, pod warunkiem oczywiście, nie przekroczenia napięcia przebicia.



Rys. 11. Przykładowe charakterystyki prądowo-napięciowe triaka w pierwszej i trzeciej kwadrantach, przy różnych wartościach prądu bramki

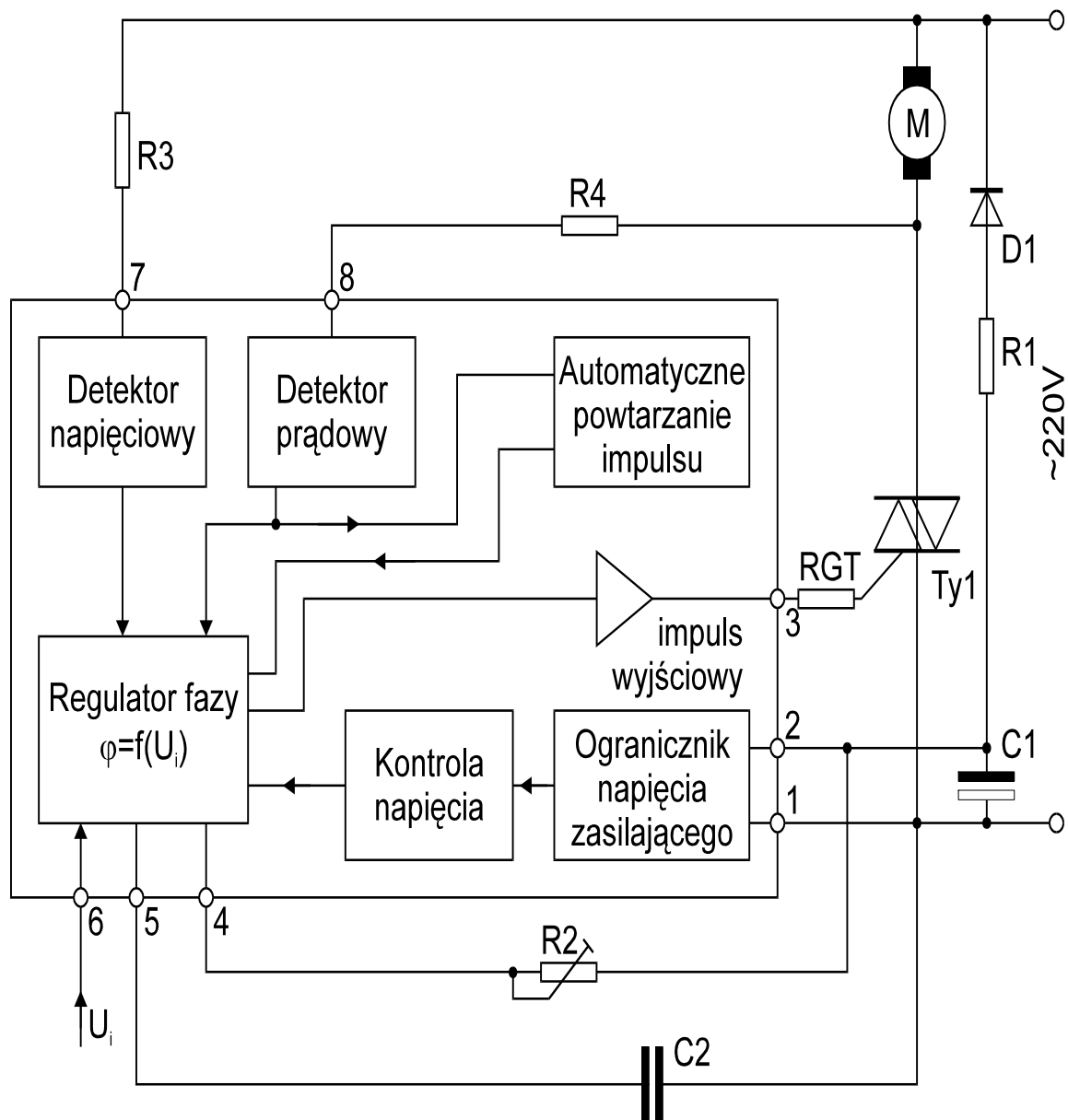
Cz stym przypadkiem zastosowania triaka jest układ regulacji natężenia oświetlenia. Układ z triakiem jest układem bardziej ekonomicznym, gdy zawiera mniejszą liczbę elementów niż układ z konwencjonalnym tyrystorem. Obrazuje to rys. 12.



Rys. 12. Przykład zastosowania triaka i tyrystora do regulacji natężenia oświetlenia. Przebiegi czasowe napięcia w układzie

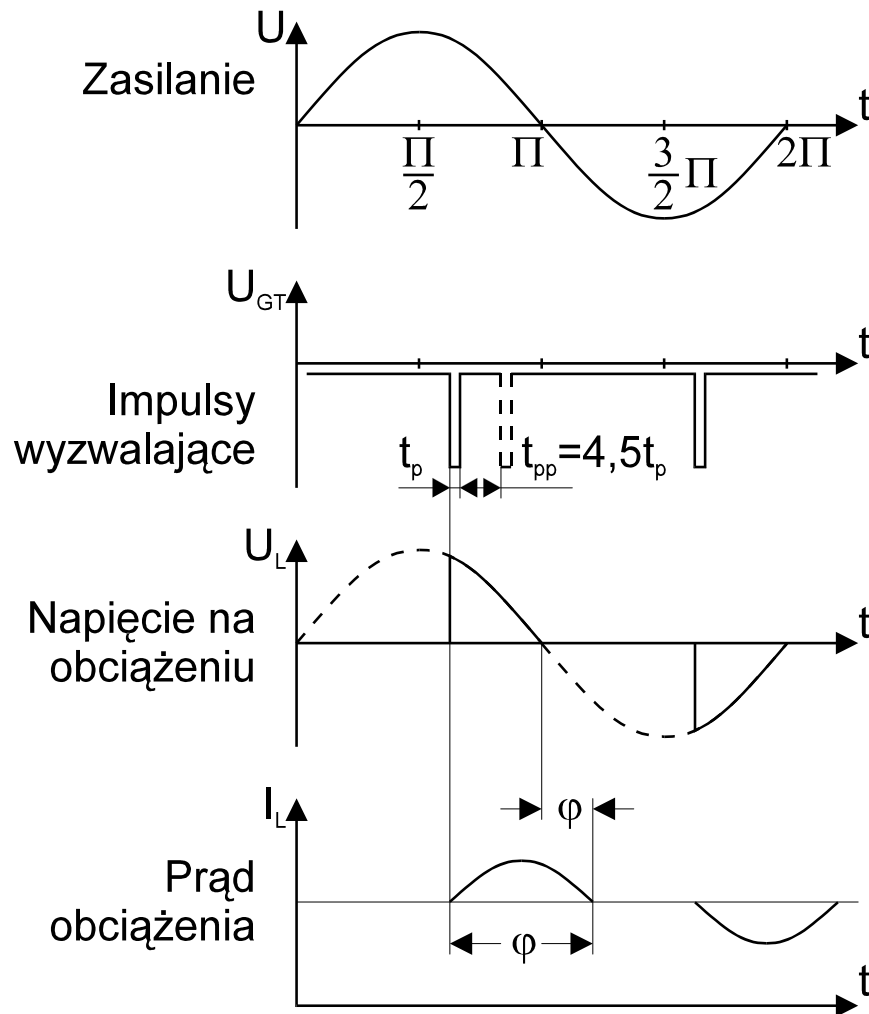
1.6. Sterowanie fazowe i grupowe w układach z triakiem.

Sterowanie fazowe polega na włączeniu tyrystora bądź triaka impulsem synchronicznym w stosunku do napięcia zasilającego w ściśle określonej, regulowanej, części każdego okresu. Znane od dawna układy sterowania wykonane z elementów dyskretnych są aktualnie zastępowane układami scalonymi. Jednym z przykładów układu sterującego może być układ U208B firmy Telefunken (rys.13).



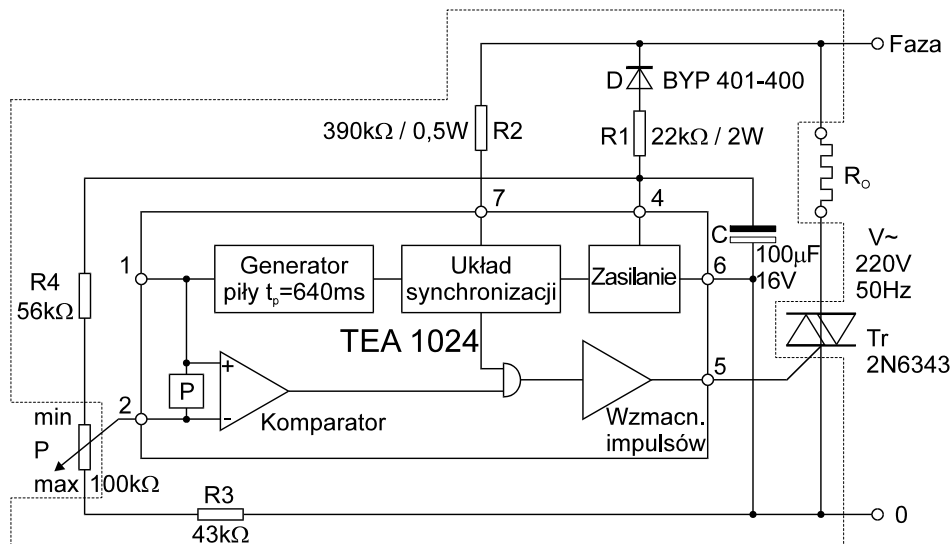
Rys.13. Układ scalony do sterowania fazowego tyrystorów

Ogranicznik napięcia dostarcza napięcia zasilającego układ scalony. Obwody detektora napięcia uniemożliwiają powstanie impulsów wyzwalających w czasie załączenia zasilania bądź zakłóceń w sieci zasilającej. Zasadniczym czynnikiem układu jest regulator fazy, w którym wytwarzane jest napięcie piókształtne. Wartość tego napięcia jest porównywana z doprowadzonym do regulatora fazy regulowanym przez uytkownika napięciem kontrolnym. Impuls wyzwalający jest generowany w momencie zrównania się wartości napięcia piókształtnego i napięcia kontrolnego zadanego przez uytkownika. Zmieniając napięcie kontrolne (na wejściu 6) zmieniamy kąt wyzwolenia triaka w zakresie $0 - \pi$. W przypadku pracy z obciążeniem indukcyjnym obwody detektora prądowego blokują możliwość wygenerowania nowego impulsu wyzwalającego do czasu ustania przepływu prądu w obwodzie obciążenia. Obwód automatycznego powtarzania impulsu wyzwalającego powtarza impuls wyzwalający w przypadku niezaczenia triaka a do jego załączenia lub do końca półcyklu napięcia zasilającego. Przebiegi w układzie regulacji fazowej przedstawia rys.14.



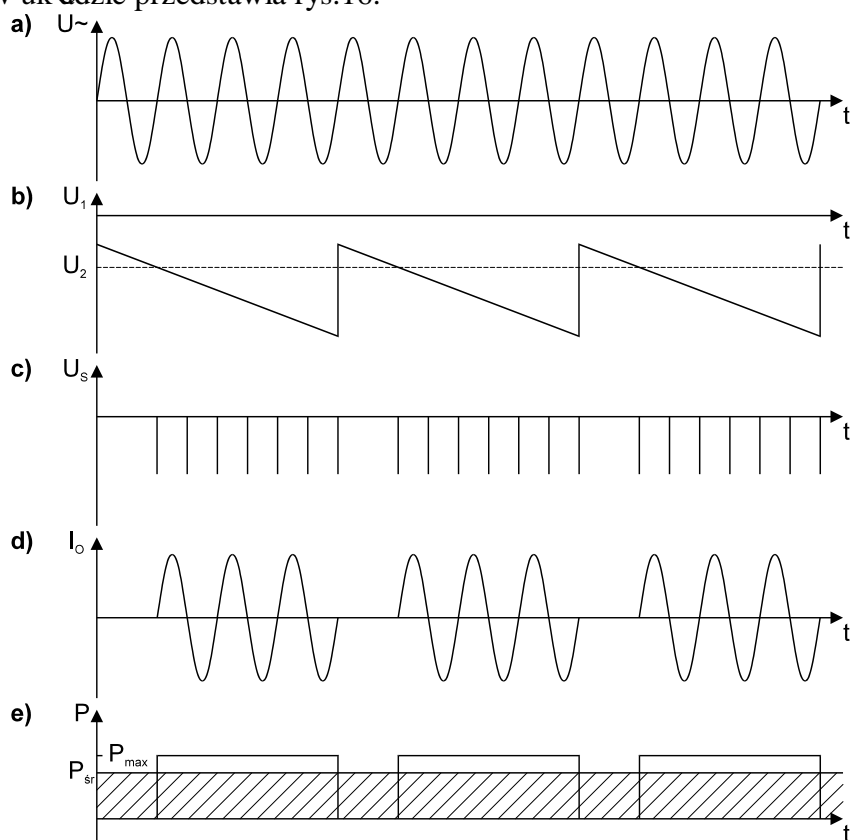
Rys.14. Przebiegi w układzie regulacji fazowej

Układy regulacji grupowej zostały wprowadzone do użytku z uwagi na fakt, że układy regulacji fazowej są źródłem zakłóceń radioelektrycznych powstających w chwili przełączania triaka. Metoda grupowej regulacji mocy nie powoduje zakłóceń, a więc nie wymaga stosowania skomplikowanych i kosztownych filtrów przeciwzakłóceńowych. Triak jest wyzwalany w momencie przejścia przez zero napięcia zasilającego, przewodzi do końca półokresu i jest wyzwalany ponownie. Regulacji mocy dokonuje się wyznaczając triak przez pewien określony liczbę półokresów okresu sieci, a następnie wyznaczając go na określony czas. Sterowanie grupowe ma zastosowanie do urządzeń cieplnych o dużej bezwładności, w których temperatura nie zmienia się skokowo, lecz przyjmuje pewną ustaloną wartość średnią. Może być także stosowane do sterowania silników o dużej masie wirnika. Sterowanie grupowe nie nadaje się do regulacji mocy w oświetleniu ze względu na widoczne migotanie światła. Przykładem układu do sterowania grupowego jest układ scalony TEA1024 firmy AEG. Schemat układu przedstawia rysunek 15.



Rys.15. Układ scalony do sterowania grupowego tyrystorów

Zasadniczym elementem układu scalonego jest układ synchronizacji, który wytwarza impulsy sterujące triakiem. Impulsy sterujące są zsynchronizowane z napięciem sieci tak, że impuls wyzwalający rozpoczyna się tuż przed albo tuż po przejściu napięcia zasilającego przez zero. Impulsy wyzwalające są podawane na bramkę triaka przez bramkę AND i wzmacniacz impulsów. Bramka AND jest sterowana za pomocą komparatora. Komparator dokonuje porównania napięcia piętrowego z ustawionym przez użytkownika napięciem odniesienia. W momencie zrównania napięć komparator odblokowuje bramkę AND i impuls wyzwalający dochodzi do bramki triaka. Układ oznaczony literą P zabezpiecza wejście komparatora przed impulsami zakłócającymi. Przebiegi w układzie przedstawia rys.16.

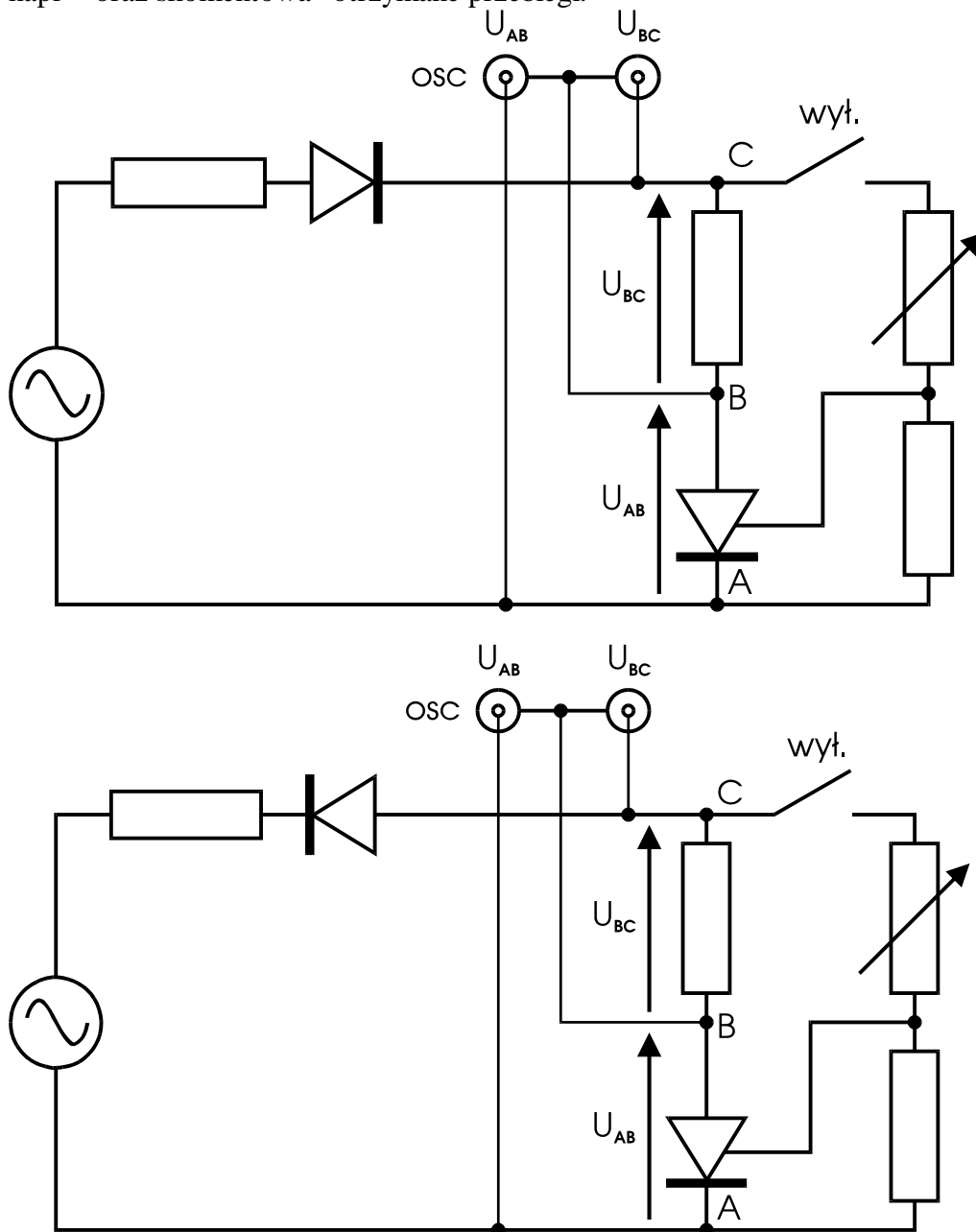


Rys.16. Przebiegi w układzie regulacji grupowej

2. Wykonanie pomiarów

2.1. Badanie tyrystora w układzie charakterografu.

W układzie charakterografu przedstawionym na rys.17 należy dokonać następujących pomiarów. Dla kierunku przewodzenia pomierzyć za pomocą oscyloskopu powtarzalne szczytowe napięcie blokowania U_{DRM} przy otwartym wyłączniku wy (wejście X oscyloskopu ustawić na DC). Przy zamknięciu tego wyłącznika wy zaobserwować na ekranie rodziny charakterystyk $I_{AK}=f(U_{AK})$ dla różnych pozycji potencjometru do regulacji prądu bramki. Dla kierunku zaporowego zmierzyć powtarzalne szczytowe napięcie wsteczne U_{RRM} (przy otwartym wyłączniku wy). Wszystkie zmierzone wartości napięć zamieścić w sprawozdaniu. Narysować zaobserwowane na ekranie oscyloskopu przebiegi, pokazać na nich zmierzone wartości napięć oraz skomentować otrzymane przebiegi.



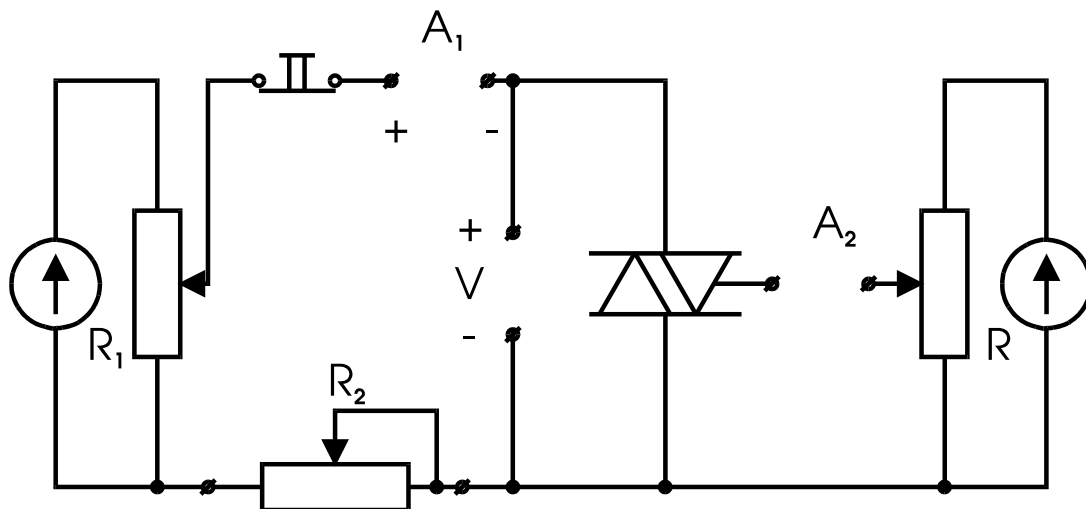
Rys.17. Charakterograf do badania charakterystyk tyrystorów

2.2. Badanie triaka.

Układ do badania triaka przedstawiono na rys.18. Dla kilku wartości napięcia anodowego zadanych rezystorem R_1 zwińskza prąd bramki rezystorem R a do wywołania zaćczenia triaka. Rezystor R_2 powinien by ustawiony na maksymalną wartość rezystancji. Wyniki pomiarów zanotowa w tabeli.

Tabela 1.

L.p	U_A	I_B
	V	mA
1		
2		
3		
4		
5		
6		



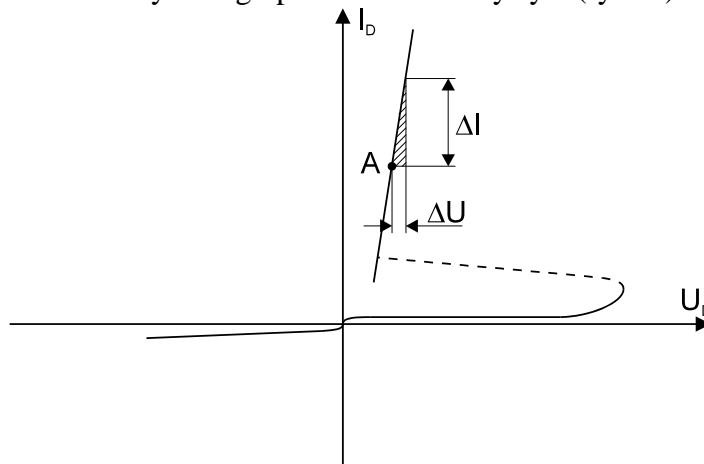
Rys.18. Schemat układu do badania triaka

Za pomoc rezystora R_1 ustawi maksymalną wartość napięcia anodowego. Rezystorem R zwińskza prąd bramki od zera a do wartości, przy której triak zacznie przewodzić. Zapamiń tą wartość tego prądu. Sprowadzi triak do stanu blokowania przez zmniejszenie wartości napięcia anodowego do zera. Ustawi zapamiń tą wartość prądu bramki. Zwińskza napięcie na triaku odczytując prąd obwodu głównego na amperomierzu A_1 . Po wyzwoleniu triaka zmierz spadki napięcia na przewodzącym triaku dla minimalnej i maksymalnej wartości rezystancji R_2 . Wyniki pomiarów zanotowa w tabeli 2.

Tabela 2.

L.p	U_A	I_A
	V	A
1		
2		
3		
4		
5		
6		

Czynności powtórzy dla trzeciej wartości charakterystyki napięciowo-prądowej, a wyniki zanotować w tabeli identycznej jak tabela 2. Na podstawie wyników pomiarów należy narysować charakterystyki: $U_A=f(I_B)$ oraz $I_A=f(U_A)$ oraz określić rezystancję przewodzącego triaka dla wybranego punktu charakterystyki (rys.19).

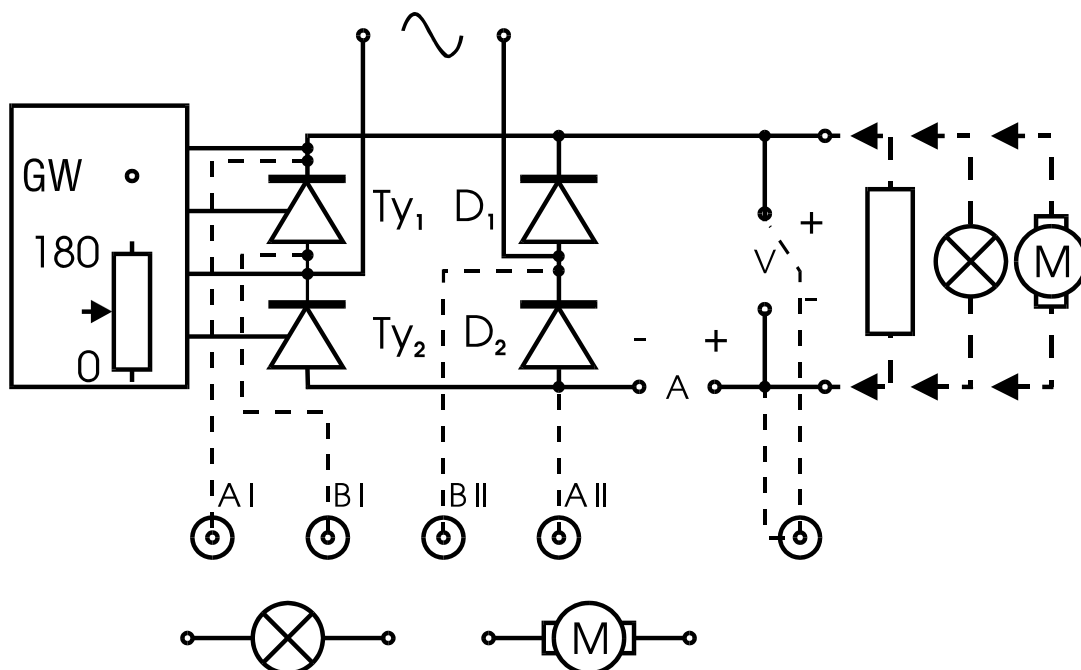


Rys.19. Sposób określenia rezystancji przewodzącego triaka

2.3. Badanie tyrystorowego prostownika sterowanego.

Badany prostownik składa się z tyrystorów Ty1 i Ty2 oraz diod D1 i D2. Kąt wyzwalania tyrystorów jest regulowany przez przesuwanie w fazie impulsów wytwarzanych w generatorze impulsów wyzwalających (rys.20).

Po przyłączeniu do zacisków wyjściowych prostownika opornika R dla różnych wartości kąta wyzwalania θ_z zaobserwować i narysować przebiegi napięcia na tyrystorze oraz napięcia wyjściowego. Zmieniając wartość oporności opornika zdjąć charakterystyk prostownika $U_d=f(I_r)$ przy kącie wyzwalania $\theta_z=const$. i narysować je w sprawozdaniu. Pomiar przeprowadzić dla dwóch wartości kąta wyzwalania. Wyniki pomiarów zapisać w tabeli 3.

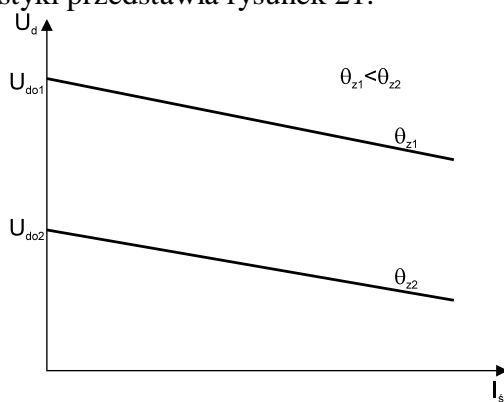


Rys.20. Tyrystorowy prostownik sterowany

Tabela 3.

L.p	θ_z	U_d	I_r
	°	V	A
1			
2			
3			
4			
5			
6			

Przykładowe charakterystyki przedstawia rysunek 21.



Rys.21. Przykładowe charakterystyki prostownika

W celu obejrzenia przebiegów napięcia na tyrystorze i diodzie współpracujących w mostku w czasie dodatniej półkuli napięcia należy dokonać połączenia gniazd oznaczonych AI, BI, BII, AII odpowiednio z gniazdami oscyloskopu WEA STRUMIE I, WEB STRUMIE I, WEB STRUMIE II, WEA STRUMIE II. Oscyloskop pracuje w układzie różnicowym, to znaczy napięcia między anodą i katodą tyrystora uzyskujemy przez odjęcie napięcia A-masa i napięcia K-masa. Dlatego przełączniki rodzaju pracy oscyloskopu dla obu strumieni należy ustawić następująco: A±B wci ni ty; -B wci ni ty; wzmocnienia 10V/cm niekalibrowane. Pokrętkami pionowej regulacji wzmocnienia uzyskamy właściwy kształt przebiegów. Zamiast napięcia z diody (przewody dołączone do gniazd BII, AII zdjęć) do wejścia A lub B strumienia II można podłączyć napięcie z obciążenia.

2.4. Wyznaczanie wartości średniej napięcia w prostowniku sterowanym.

Schemat połączeń przedstawiony jest na rysunku (rys.20). Za pomocą oscyloskopu zmierzysz wartość maksymalną napięcia na wyjściu prostownika (na odbiorniku). Określiś za pomocą oscyloskopu wartość kąta wyzwalania tyrystorów θ_z . Woltomierzem zmierzysz napięcie na odbiorniku (wartość średnią). Dla porównania na podstawie wzoru /4/ obliczysz wartość średnią napięcia na odbiorniku. Wyniki zanotowa w tabeli 4.

Tabela 4.

L.p	U_V	U_{OBL}
	V	V

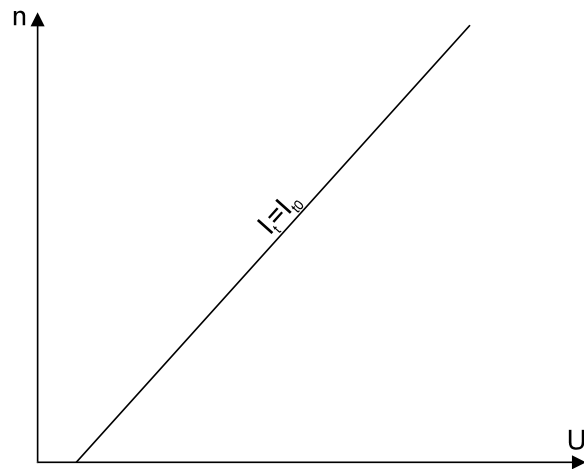
2.5. Badanie tyrystorowego układu napędowego.

Badanie wykonuje się w układzie przedstawionym na rysunku 20. W celu uzyskania wyników należy regulując kąt wyzwalania wyznaczyć zależność prędkości obrotowej silnika od napięcia na tworniku (silnik nieobciążony). Pomiaru prędkości dokonuje się za pomocą stroboskopu. Wyniki pomiaru zapisać w tabeli 5.

Tabela 5.

L.p	U_t	n
	V	obr/min
1		
2		
3		
4		

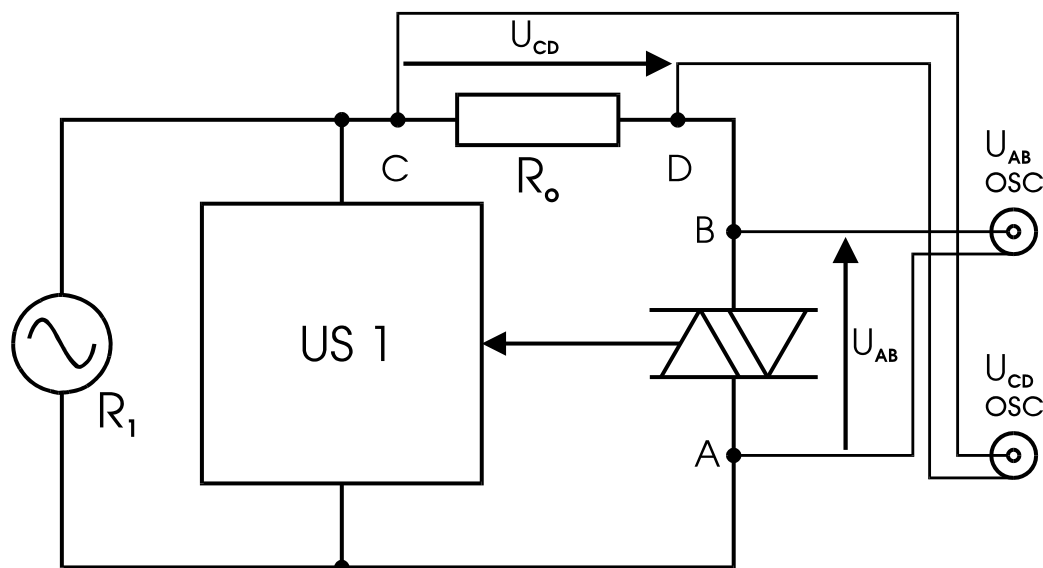
Na podstawie otrzymanych wyników wykreśli zależność $n=f(U_t)$. Przykładowy przebieg pokazuje rysunek 22.



Rys.22. Przykładowy przebieg zależności $n=f(U_t)$

2.6. Badanie układu z triakiem sterowanym fazowo.

W układzie z triakiem sterowanym fazowo przedstawionym na rys.23 należy dokonać za pomocą oscyloskopu obserwacji przebiegów napięcia na triaku oraz napięcia na obciążeniu dla różnych kątów wyzwalania triaka. Otrzymane przebiegi należy zamieścić w sprawozdaniu oraz skomentować.

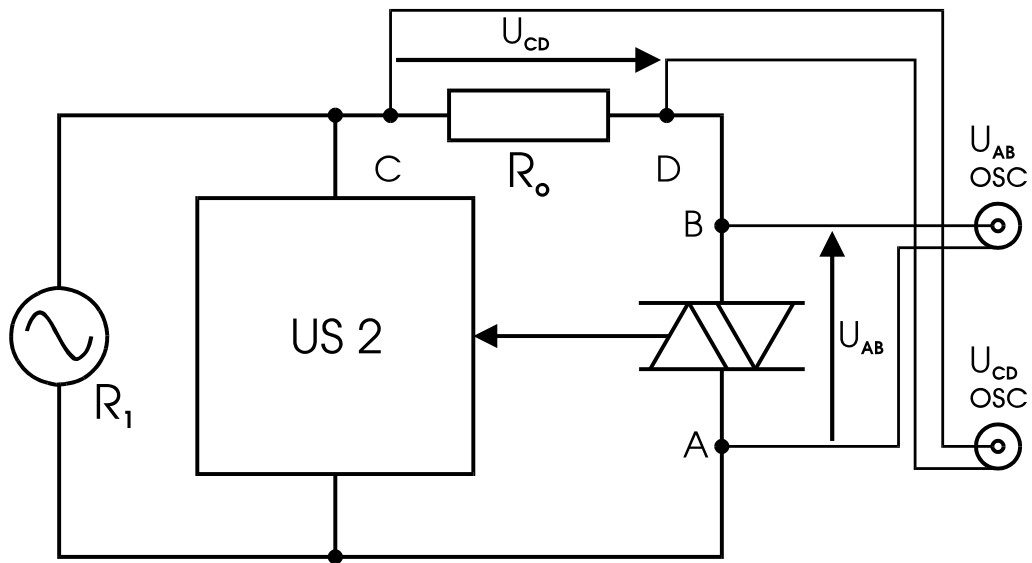


Rys.23. Układ z triakiem sterowanym fazowo

2.7. Badanie układu z triakiem sterowanym grupowo.

W układzie z triakiem sterowanym grupowo przedstawionym na rys.24 należy dokonać za pomocą oscyloskopu obserwacji przebiegów napięcia na triaku oraz napięcia

na obciążeniu dla różnych kątów wyzwalania triaka. Otrzymałe przebiegi wraz z komentarzem zamieścić w sprawozdaniu.



Rys.24. Układ z triakiem sterowanym grupowo

4. Uwagi i wnioski

Skomentować otrzymane wyniki pomiarów oraz uzasadnić rozbieżności w stosunku do wiadomości teoretycznych.