

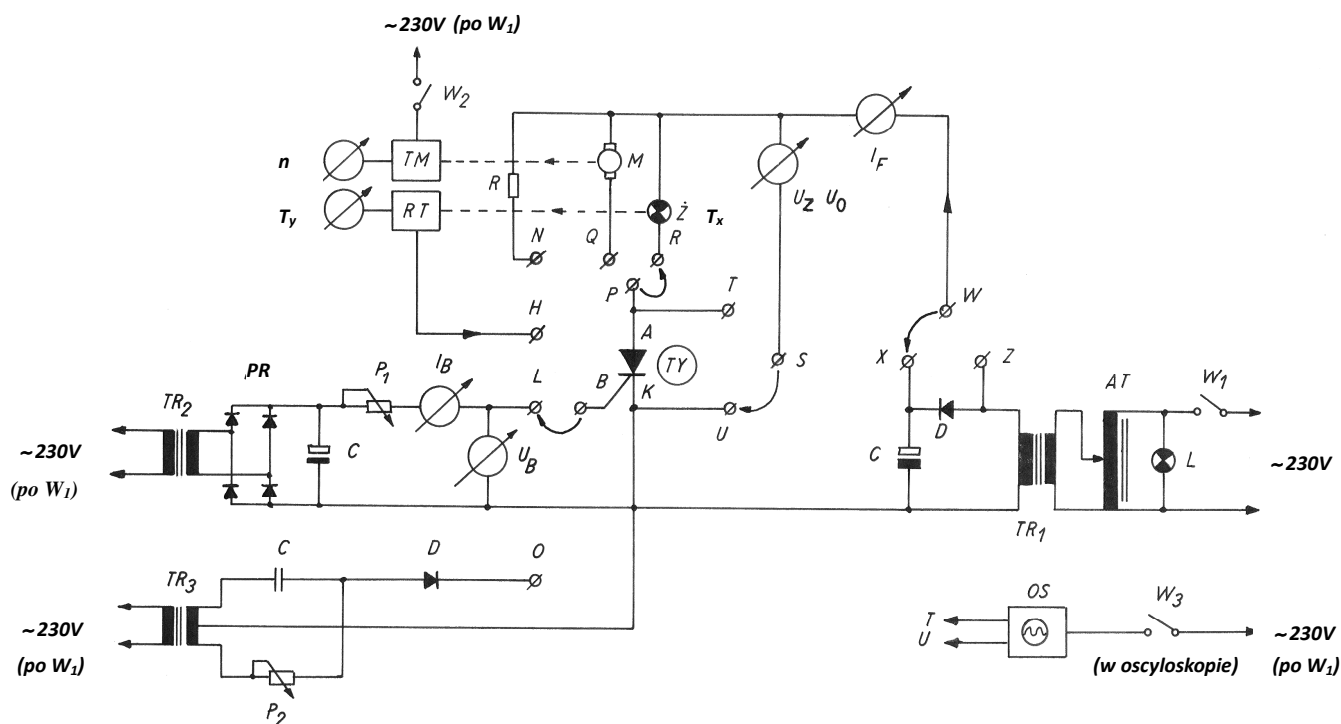
## 8. TYRYSTOROWY ŁACZNIK I STEROWNIK MOCY JAKO URZĄDZENIA WYKONAWCZE AUTOMATYKI

**Cel zadania:** *Poznanie podstawowych właściwości i zastosowań tyrystora jako łącznika i sterownika mocy oraz urządzenia wykonawczego regulatora dwupołożeniowego. Sterowanie oświetleniem, ogrzewaniem, prędkością obrotową silnika. Pomiary prędkości obrotowej.*

### 8.1. UKŁAD POMIAROWY

Tyrystor jest przyrządem półprzewodnikowym, który w odpowiednim układzie może sterować przewodzeniem prądu stałego lub przemiennego. Jest zbudowany z wielowarstwowej struktury krzemowej p-n-p-n i posiada trzy elektrody: anodę  $A$ , katodę  $K$  i bramkę  $B$ . W obwodzie elektrycznym zachowuje się jak sterowana dioda prostownicza – elektrodą sterującą jest bramka.

Schemat układu pomiarowego do badania właściwości tyrystora przedstawia rysunek 8.1.



Rys. 8.1. Schemat układu do badania właściwości tyrystora

Obwód anoda-katoda tyrystora  $TY$  jest zasilany napięciem z zasilacza sieciowego. Zasilacz składa się z nastawianego autotransformatora  $AT$  i transformatora obniżającego napięcie  $TR_1$ . Do tyrystora może być doprowadzone napięcie przemiennie z gniazda  $Z$  lub stałe (wyprostowane) z gniazda  $X$ . W obwodzie anodowym tyrystora znajdują się amperomierz mierzący natężenie prądu przewodzenia  $I_F$  i jeden z odbiorników energii elektrycznej: żarówka  $\dot{Z}$  lub silnik  $M$ . Woltomierz może mierzyć napięcie zasilania  $U_Z$  (po zwarceniu gniazd  $S$  i  $U$ ) lub spadek napięcia na odbiorniku  $U_O$  (po zwarceniu gniazd  $S$  i  $T$ ).

Obwód bramka-katoda tyrystora jest zasilany z drugiego zasilacza sieciowego z transformatorem  $TR_2$ , mostkowym prostownikiem pełnookresowym  $MD$  i kondensatorem wygładzającym  $C$ . Natężenie prądu płynącego w obwodzie bramkowym  $I_B$  może być zmieniane rezystorem nastawnym (potencjometrem)  $P_1$  i mierzone miliamperomierzem. Napięcie na bramce tyrystora mierzy woltomierz  $U_B$ . Opisany układ pomiarowy umożliwia określanie właściwości statycznych (charakterystyki statycznej) tyrystora oraz badanie tyrystora jako łącznika mocy.

Włączając w gniazda  $B$  i  $N$  fotorezystor (rezystor wykonany z siarczku kadmu, którego rezystancja jest funkcją natężenia oświetlenia), doprowadzimy do bramki tyrystora napięcie sterujące, będące funkcją oświetlenia fotorezystora. Otrzymamy bezstykowy, pozbawiony bezwładności mechanicznej łącznik fotoelektryczny.

W obwód bramki tyrystora można też włączyć (po zwarceniu gniazd  $B$  i  $H$ ) wyjście dwupołożeniowego regulatora temperatury  $RT$  z termorezystancyjnym, termistorowym czujnikiem pomiarowym. Tyrystor będzie wówczas bezstykowym urządzeniem wykonawczym regulatora.

Obwód bramka-katoda tyrystora można połączyć z przesuwnikiem fazowym (zwarte gniazda  $B$  i  $O$ ), składającym się z transformatora  $TR_3$ , kondensatora  $C$  i nastawianego rezystora  $P_2$ . Przesuwnik umożliwia zmianę fazy prądu bramki względem prądu anodowego tyrystora i płynne sterowanie mocą wydzielaną w odbiorniku energii. Układ umożliwia płynne sterowanie świeceniem żarówki  $\dot{Z}$  lub prędkością obrotową (kątową) silnika  $M$ . Przebieg czasowy napięcia przewodzenia tyrystora może być oglądany na ekranie oscyloskopu  $OS$ .

Na wale silnika jest umieszczona tarcza stroboskopowa  $S$ , służąca do optycznego określania jego prędkości obrotowej, a nad nią znajduje się czujnik indukcyjny bezdotykowego tachometru (obrotomierza) elektronicznego  $TM$  (Tacho-2 produkcji zakładów Mera). Tarcza stroboskopowa jest oświetlana lampą diodową  $LO$  migoczącą z częstotliwością 100 Hz.

Wszystkie zewnętrzne obwody elektryczne zadania są zasilane obniżonym napięciem (maksimum 24 V), bezpiecznym w przypadku dotknięcia instalacji ręką. W realizacjach praktycznych, w warunkach przemysłowych, tyrystory pracują pod napięciem wysokim, sięgającym nawet tysięcy woltów i osiągają dzięki temu bardzo dużą moc i wysoką sprawność.

## 8.2. CHARAKTERYSTYKA STATYCZNA TYRYSTORA

Obwód anoda-katoda tyrystora połączyć z wyjściem zasilacza napięcia stałego (zwarte gniazda  $W$  i  $X$ ). Woltomierz w obwodzie anodowym włączyć na pomiar napięcia zasilania  $U_Z$  (zwarte gniazda  $S$  i  $U$ ). Jako obciążenie, w obwód anodowy należy włączyć żarówkę (zwarte gniazda  $P$  i  $R$ ). Bramkę tyrystora włączyć w obwód zasilania napięciem stałym (zwarte gniazda  $B$  i  $L$ ). Pokrętko  $P_1$  nastawiania prądu bramki  $I_B$  przekręcić w lewo do oporu. Wyłączniki zasilania tachometru, regulatora temperatury i oscyloskopu  $W_2$  i  $W_3$  powinny być **wyłączone**.

Włączyć zasilanie całego układu pomiarowego wy łącznikiem  $W_1$  – powinna zaświecić się lampka sygnalizacyjna, żarówka  $\dot{Z}$  nie powinna się świecić. Suwakiem autotransformatora nastawić wartość napięcia  $U_Z = 15$  V.

### 8.2.1. CHARAKTERYSTYKA BRAMKOWO-ANODOWA TYRYSTORA

Należy zbadać zależność prądu przewodzenia tyrystora  $I_F$  od prądu bramki  $I_B$  i napięcia bramki  $U_B$ . W tym celu należy **bardzo wolno** podwyższać wartość prądu  $I_B$  od 5 mA co 0,5 mA, notując w tabelce wartości  $U_B$  i  $I_F$ . Zaznaczyć moment załączenia tyrystora (zaświecenie się żarówki  $\dot{Z}$ ). W tym punkcie pomiarowym prąd bramki  $I_B$  jest równy prądowi załączenia tyrystora  $I_{BT}$  – wielkości charakterystycznej dla danego typu tyrystora i zależnej od jego temperatury (ze wzrostem temperatury wartość  $I_{BT}$  maleje).

Pomiary kontynuować aż do  $I_B = \max$ . Następnie, w dalszym ciągu notując mierzone wielkości, obniżać prąd bramki tyrystora kolejno o 0,5 mA aż do  $I_B = 5$  mA. Zwrócić uwagę na to, że po załączeniu tyrystora, obniżenie wartości prądu bramki poniżej poziomu prądu załączenia nie powoduje jego wyłączenia. Nawet rozwarcie gniazd  $B$  i  $L$  ( $I_B = 0$ ) nie spowoduje zgaśnięcia żarówki. Dopiero przerwanie na chwilę, nawet ułamek sekundy, obwodu anodowego, powodujące zanik napięcia  $U_Z$  i spadek prądu  $I_F$  poniżej tzw. prądu podtrzymania, wywołuje wyłączenie tyrystora. Wykonać doświadczenie z wyłączeniem tyrystora przez chwilowe rozwarcie gniazd  $W$  i  $X$ .

### 8.2.2. WZMOCNIENIE TYRYSTORA

Należy określić stosunek mocy wydzielonej w obciążeniu tyrystora (żarówce) do mocy traconej w obwodzie jego sterowania (bramkowym) w momencie załączenia. Jest to wzmocnienie mocy tyrystora jako łącznika w obwodzie prądu stałego.

Przy wyłączonym tyrystorze ( $I_F = 0$ , gniazda  $B$  i  $L$  zwarte,  $I_B = 5 \text{ mA}$ ,  $U_Z = 15 \text{ V}$ ), powoli podwyższać wartość prądu bramki  $I_B$ , aż do momentu osiągnięcia  $I_{BT}$  (zaświecenia się żarówki  $\dot{Z}$ ). Wtedy zapisać wartości  $I_B = I_{BT}$  i  $U_B = U_{BT}$  oraz  $I_F$  i  $U_Z$ . Po zwarceniu gniazd  $S$  i  $T$  odczytać wartość spadku napięcia  $U_O$  na żarówce.

### 8.3. TYRYSTOR JAKO ŁĄCZNIK PRĄDU PRZEMIENNEGO

Łącznik tyrystorowy pozwala na bezstykowe włączanie obwodów prądu stałego i przemiennego o dużej mocy za pomocą niewielkiego sygnału doprowadzonego do obwodu bramkowego tyrystora. Zastępuje przekaźniki i styczniki, a przez wyeliminowanie części ruchomych (styków) jest pozbawiony bezwładności mechanicznej i posiada dużą trwałość.

Prąd bramki zmniejszyć do 5 mA. Obwód anoda-katoda tyrystora zasilić napięciem przemiennym z transformatora  $TR_1$  przez zwarcie gniazd  $W$  i  $Z$ . Woltomierz przełączyć na pomiar napięcia zasilania  $U_Z$  (zwarte gniazda  $S$  i  $U$ ). Suwakiem autotransformatora nastawić wartość napięcia  $U_Z = 10 \text{ V}$ .

Podwyższając i obniżając wartość prądu bramki  $I_B$  obserwować moment załączania tyrystora i świecenia się żarówki  $\dot{Z}$  przy  $I_B \geq I_{BT}$  oraz jego wyłączania przy  $I_B < I_{BT}$ . Samoczynne wyłączenie tyrystora w obwodzie sinusoidalnego prądu przemiennego jest spowodowane cyklicznym (100 razy na sekundę przy częstotliwości prądu 50 Hz) obniżaniem się napięcia  $U_Z$  i prądu  $I_F$  do zera.

Złożony układ pomiarowy zasilania bramki tyrystora można zastąpić prostym doprowadzeniem do bramki dodatniego napięcia anodowego przez rezystor  $R$  ograniczający prąd  $I_B$  do wartości nieco większej od  $I_{BT}$ . Zwierając i rozwierając gniazda  $B$  i  $N$  można sterować załączaniem i wyłączaniem tyrystora (sprawdzić!).

Do gniazd  $B$  i  $N$  podłączyć fotorezystor (wisi z przewodami po lewej stronie planszy ćwiczenia). Kierując fotorezystor na jasne okno lub lampę oświetleniową i przysłaniając go dłonią, można obserwować załączanie i wyłączanie żarówki w obwodzie anodowym tyrystora. Otrzymaliśmy fotoelektryczny łącznik prądu przemiennego, który może być wykorzystany np. jako sterownik oświetlenia lub dwupołożeniowy przetwornik przesunięcia liniowego.

Należy zwrócić uwagę na to, że łącznik ten, w przeciwieństwie do układów z przekaźnikami elektromagnetycznymi, jest bezstykowy i tym samym bardzo trwały. Jest pozbawiony histerezy, nie zawiera elementów o bezwładności mechanicznej i w związku z tym reaguje nawet na szybkie zmiany oświetlenia fotorezystora.

Włączając w obwód anodowy tyrystora zamiast żarówki silnik elektryczny (zwarłe gniazda  $P$  i  $Q$ ), otrzymamy fotoelektryczny, bezstykowy układ uruchamiania tego silnika. Wykonać doświadczenie z włączaniem i wyłączaniem silnika przez zmianę oświetlenia fotorezystora. Odłączyć fotorezystor.

#### 8.4. DWUPOŁOŻENIOWY REGULATOR TEMPERATURY

W obwód anodowy tyrystora ponownie włączyć żarówkę  $Z$  (zwarłe gniazda  $P$  i  $R$ ). Napięcie  $U_Z$  nadal 10 V prądu przemiennego. Bramkę tyrystora połączyć z wyjściem regulatora temperatury  $RT$  przez zwarcie gniazd  $B$  i  $H$ .

Rezystancyjny, termistorowy czujnik temperatury, podłączony do wejścia regulatora, jest umieszczony w uchwycie nad żarówką w ten sposób, że jego element pomiarowy dotyka bańki żarówki. Włączona żarówka działając jak grzejnik, podwyższa temperaturę  $T_x$  termistora. Ze wzrostem temperatury maleje rezystancja termistora, która jest przetwarzana w przetworniku pomiarowym na analogowy sygnał elektryczny  $U_y$ , uruchamiający wskaźnik temperatury  $T_y$ .

Wartość napięcia  $U_y$  (wielkość regulowana) jest porównywana w regulatorze  $RT$  z napięciem zadanej wartości temperatury  $U_w$  (zadana temperatura  $T_w$  wynosi około  $+70\text{ }^\circ\text{C}$ ). Sygnał odchylenia regulacji – różnica napięć  $U_w - U_y = U_e$  jest analizowana przez elektroniczny człon kształtujący regulatora – komparator (układ reagujący na przejście napięcia  $U_e$  przez zero), który z kolei przez wzmacniacz steruje urządzeniem wykonawczym – bramką tyrystora. W ten sposób zamyka się pętla ujemnego sprzężenia zwrotnego, umożliwiającą automatyczną, stałowartościową regulację temperatury bańki żarówki.

Sygnał wyjściowy regulatora dwupołożeniowego może przybierać tylko dwie wartości: napięcie dodatnie uruchamiające tyrystor i napięcie zerowe, blokujące go. Stąd też ten regulator jest regulatorem dwupołożeniowym i należy do grupy regulatorów dyskretnych. Tyrystor spełnia w nim rolę nowoczesnego członu wykonawczego – bezstykowego i bezhisterezowego łącznika mocy, zastępującego stosowany w tradycyjnych rozwiązaniach przekaźnik lub stycznik (patrz [1], rozdz. 18.1.1).

Jeżeli temperatura bańki żarówki jest niższa od temperatury zadanej, to napięcie  $U_e$  jest większe od zera i do bramki tyrystora dopływa napięcie dodatnie, uruchamiające przepływ prądu w obwodzie anodowym i wydzielanie ciepła w żarówce. W momencie osiągnięcia przez bańkę żarówki temperatury  $T_y = T_w$ , napięcie  $U_y = U_w$  i  $U_e = 0$ . Komparator ze wzmacniaczem wyłącza tyrystor i przerywają obwód zasilający żarówkę. Po ochłodzeniu się bańki żarówki do temperatury niższej od zadanej, cykl działania regulatora powtarza się.

#### 8.4.1. WŁAŚCIWOŚCI DYNAMICZNE UKŁADU REGULACJI DWUPOŁOŻENIOWEJ

Gdyby układ żarówka – termistor nie posiadał cieplnego oporu gazu w żarówce i miał bardzo małą pojemność cieplną, byłby układem proporcjonalnym i bezhisterezy regulator z dużą częstotliwością włączałby i wyłączał żarówkę, utrzymując z dużą dokładnością zadaną wartość temperatury. Niestety praktycznie każdy układ z ogrzewaniem elektrycznym jest obciążony inercją i opóźnieniem, co jest wynikiem pojemności cieplnej obiektu ogrzewanego oraz oporu cieplnego między grzejnikiem, obiektem ogrzewanym i czujnikiem pomiarowym. Bezładność obiektu, a zwłaszcza opóźnienie, powodują pogorszenie się jakości regulacji automatycznej i powstawanie różnic między temperaturą zadaną i regulowaną.

Czekając na ustabilizowanie się pracy regulatora obserwować jego działanie. Wartość zmierzonej temperatury  $T_y$  można odczytywać z miernika. Unikać zakłócającego (ochładzającego) przepływu powietrza w pobliżu żarówki (przeciąg, gwałtowne poruszanie się itp.). Po ok. 5 minutach, obserwując wskazania miernika  $T_y$ , określić maksymalną **amplitudę** wahań temperatury  $\Delta T_{y \max} = T_{y \max} - T_{y \min}$  z dokładnością 0,1 °C (średnia z kilku obserwacji). Zwrócić uwagę na zakłócające działanie dodatkowego odbioru ciepła, wywołanego np. dmuchaniem na żarówkę.

#### 8.4.2. WPŁYW DODATKOWEGO OPORU CIEPLNEGO

Unosząc nieco czujnik termistorowy, wsunąć między termistor, a bańkę żarówki niewielki (ok. 5x5 cm) kawałek papieru zeszytowego, wytwarzając w ten sposób dodatkowy opór cieplny między obiektem regulacji (bańką żarówki), a czujnikiem pomiarowym (termistorem). Odczekać ok. 5 minut na ustabilizowanie się pracy regulatora i ponownie określić jak w punkcie 8.4.1 maksymalną amplitudę wahań temperatury  $\Delta T_{y \max}$  z dokładnością 0,1 °C (średnia z kilku obserwacji). Pomiary powtórzyć, po wstawieniu między termistor a bańkę żarówki dwóch, czterech, sześciu i ośmiu warstw kawałków papieru zeszytowego.

## 8.5. PÓŁOKRESOWY STEROWNIK MOCY

W poprzednich punktach zadania badaliśmy tyrystor jako łącznik mocy w obwodach prądu stałego i przemiennego. W odróżnieniu od łącznika, sterownik umożliwia nie tylko dwupołożeniowe, lecz także i płynne (analogowe) nastawianie mocy wydzielanej w obwodzie anodowym tyrystora. Z tego względu sterownik tyrystorowy może być wykorzystany np. jako urządzenie wykonawcze regulatora analogowego.

Działanie sterownika polega na doprowadzeniu do bramki tyrystora dodatnich impulsów wyzwalających, przesuniętych w fazie w stosunku do przebiegu prądu anodowego o kąt załączenia tyrystora  $\theta_z$ . Jeżeli załączenie tyrystora następuje w momencie rozpoczęcia sinusoidalnego narastania prądu  $I_F$  ( $\theta_z = 0$ ), to układ działa jak badany poprzednio półokresowy łącznik prądu przemiennego, przewodząc całkowicie dodatnie półówki prądu anodowego.

W miarę zwiększania opóźnienia załączenia tyrystora ( $\theta_z \rightarrow \pi$ ), coraz mniejszy wycinek sinusoidy jest przepuszczany przez tyrystor, aż przy  $\theta_z = \pi$  załączenie tyrystora następuje dopiero w momencie spadku prądu  $I_F$  do zera i tyrystor go nie przewodzi. Wartość skuteczna prądu w obwodzie anodowym tyrystora może być w ten sposób płynnie zmieniana od 50% do 0% (w układzie pełnookresowym, przy sterowaniu obiema półówkami sinusoidy, od 100% do 0%).

Przesuwanie impulsu wyzwalającego tyrystor może być w najprostszym przypadku realizowane przez nastawiany ręcznie przesuwnik fazowy  $RC$ , wykorzystujący właściwość przesuwania fazy napięcia przez kondensator. Analizując schemat przesuwника fazowego  $P_2-C$  na rysunku 8.1 można łatwo stwierdzić, że przy minimalnej wartości rezystancji  $P_2$ , na bramkę tyrystora jest podawane napięcie bezpośrednio z transformatora  $TR_3$  ( $\theta_z \approx 0$ ), natomiast w miarę zwiększania rezystancji  $P_2$  zaczyna się oddziaływanie kondensatora  $C$  i przesuwanie fazy napięcia zasilającego bramkę tyrystora, aż do  $\theta_z \approx \pi$ . Dioda  $D$  w obwodzie bramkowym tyrystora nie dopuszcza do bramki ujemnych impulsów napięciowych i zabezpiecza ją przed przeciążeniem.

### 8.5.1. STEROWANIE OŚWIETLENIEM

Bramkę tyrystora należy połączyć z przesuwnikiem fazowym (zewrzeć gniazda  $B$  i  $O$ ). Pokrętło  $P_2$  przekręcić w lewo do oporu.  $U_Z = 10$  V napięcia przemiennego. W obwód anodowy tyrystora powinna być włączona żarówka (zwarte gniazda  $P$  i  $R$ ). Obracając pokrętłem nastawiania kąta załączenia tyrystora ( $P_2$ ), obserwować płynną zmianę natężenia świecenia żarówki.

Włączyć oscyloskop wyłącznikiem  $W_3$  (na górnej ścianie obudowy). Zmieniając intensywność świecenia żarówki, obserwować na ekranie przebieg napięcia przewodzenia tyrystora. Nie zmieniać ustawień parametrów oscyloskopu! W przypadku nieostrego lub niestabilnego obrazu, poprosić laboranta.

Przerysować z ekranu oscyloskopu przebiegi prądu przewodzenia tyrystora dla maksymalnej wartości prądu  $I_F = I_{Fmax}$ ,  $I_F = 75\% I_{Fmax}$ ,  $I_F = 50\% I_{Fmax}$  oraz  $I_F = 25\% I_{Fmax}$ . Wyłączyć oscyloskop wyłącznikiem  $W_3$ .

## 8.6. STEROWANIE PRĘDKOŚCIĄ OBROTOWĄ SILNIKA

Zamiast żarówki włączyć w obwód anodowy tyrystora silnik elektryczny (zewrzeć gniazda  $P$  i  $Q$ ). Obracając pokrętkę nastawiania kąta załączenia tyrystora obserwować zmiany prędkości obrotowej (kątovej) silnika.

## 8.7. POMIARY PRĘDKOŚCI OBROTOWEJ SILNIKA

Pozostawić włączony układ sterowania prędkością obrotową silnika i zmniejszyć jego prędkość obrotową do zera. Zwrócić uwagę na umocowaną do wału silnika, oświetloną lampką diodową  $LO$  tarczę stroboskopową  $S$  oraz na umieszczony nad tarczą indukcyjny czujnik bezdotykowego tachometru elektronicznego. Na obwodzie tarczy jest umocowany miniaturowy magnes, który przesuwając się pod czujnikiem wzbudza w nim impulsy napięciowe. Częstotliwość tych impulsów jest przetwarzana w tachometrze na prąd mierzony miernikiem wychyłowym. Przy zatrzymanym silniku policzyć i zanotować liczbę czarnych pól  $N$  na zewnętrznym, środkowym i wewnętrznym pierścieniu tarczy stroboskopowej. Ponieważ tarcza jest oświetlana lampką diodową ze specjalnie połączonymi diodami, migoczącą z podwójną (100 Hz) częstotliwością prądu w sieci, przy pewnych prędkościach obrotowych występuje pozorne zatrzymanie się pól na tarczy stroboskopu (tzw. efekt stroboskopowy).

Włączyć zasilanie lampki oświetlającej stroboskop wyłącznikiem  $W_2$ . Obrócić pokrętkę  $P_2$  maksymalnie w prawo, nastawiając maksymalną prędkość obrotową silnika. **Bardzo wolno** zmniejszając prędkość obrotową, doprowadzić do **pozornego** zatrzymania się czarnych pól na **wewnętrznym** pierścieniu tarczy. Tarczę stroboskopu obserwować **prostopadle z lewej strony!** Zanotować wskazania tachometru elektronicznego  $n$  (tachometr jest włączony na zakres 0...3000 obr./min). Powtórzyć odczyty  $n$  przy pozornym zatrzymaniu się pól kolejno na środkowym i zewnętrznym pierścieniu tarczy stroboskopowej.



## 8.8. ZAKOŃCZENIE ZADANIA

Wyłączyć zasilanie lampki stroboskopu wyłącznikiem  $W_2$ . Wyłączyć zasilanie całego układu pomiarowego wyłącznikiem  $W_1$ . Fotorezystor powiesić na haczyku po lewej stronie tablicy z ćwiczeniem.

## 8.9. OPRACOWANIE WYNIKÓW DOŚWIADCZEŃ

### 8.9.1. CHARAKTERYSTYKA STATYCZNA TYRYSTORA

Korzystając z wyników doświadczeń z punktu 8.2.1, wykreślić we wspólnym układzie współrzędnych zależność  $I_F = f(I_B)$  dla obu kierunków zmiany  $I_B$ . Jest to charakterystyka bramkowo-anodowa tyrystora. Zaznaczyć na wykresie wartość prądu załączenia tyrystora  $I_{BT}$ .

### 8.9.2. WZMOCNIENIE TYRYSTORA

Korzystając z wyników doświadczeń z punktu 8.2.2, obliczyć moc traconą w obwodzie bramkowym tyrystora:

$$P_{BK} = I_{BT} \cdot U_{BT} \quad [\text{W}] \quad (8.1)$$

oraz moc wydzieloną w obciążeniu (żarówce):

$$P_O = I_F \cdot U_O \quad [\text{W}] \quad (8.2)$$

Następnie obliczyć wzmocnienie tyrystora w badanym układzie z równania:

$$K = \frac{P_O}{P_{BK}} \quad (8.3)$$

Nie pomylić jednostek!

W praktycznych układach wzmocnienie tyrystora może być dużo większe, ponieważ moc wydzielona w obwodach sterowania tyrystora rzędu kilkudziesięciu miliwatów jest w stanie uruchamiać moce obciążenia rzędu megawatów (wysokie napięcia i duże prądy). Wtedy wartość  $K$  osiąga  $10^7$ . Przyjmując maksymalne dopuszczalne obciążenie obwodu anodowego badanego tyrystora (typu BTP-10/500)  $U_{O\max} = 500 \text{ V}$  i  $I_{F\max} = 10 \text{ A}$  oraz moc traconą w obwodzie bramkowym  $P_{BK}$  obliczoną z wyników doświadczeń (na tę moc nie mają wpływu parametry obwodu anodowego), obliczyć z równania 8.3 maksymalne wzmocnienie badanego tyrystora  $K_{\max}$  przy pełnym wykorzystaniu jego parametrów.

### 8.9.3. SPRAWNOŚĆ TYRYSTORA

Ze sprawnością tyrystora wiąże się moc tracona w samym tyrystorze, która jest wydzielana w postaci ciepła odbieranego przez aluminiowy radiator. Strata mocy jest wynikiem większej od zera rezystancji przewodzenia tyrystora.

Przez załączony tyrystor oraz żarówkę przepływa prąd  $I_F$ , który jest mierzony amperomierzem. Jeżeli określimy spadek napięcia na tyrystorze  $U_{AK}$ , to możemy obliczyć moc traconą w tyrystorze  $P_{AK}$ . Wartość napięcia  $U_{AK}$  można obliczyć, odejmując od siebie zmierzone przy załączonym tyrystorze i określonej wartości prądu  $I_F$  (w punkcie 8.2.2) wartości  $U_Z$  i  $U_O$ :

$$P_{AK} = I_F \cdot U_{AK} = I_F (U_Z - U_O) \quad [\text{W}] \quad (8.4)$$

Znając moc wydzieloną w obciążeniu tyrystora  $P_O$  (równanie 5.2) oraz moc traconą w tyrystorze  $P_{AK}$ , możemy obliczyć sprawność tyrystora jako łącznika w obwodzie prądu stałego:

$$\eta = \frac{P_O - P_{AK}}{P_O} \cdot 100 \quad [\%] \quad (8.5)$$

### 8.9.4. POMIARY PRĘDKOŚCI OBROTOWEJ SILNIKA

Sprawdzić zgodność wskazań stroboskopu i tachometru, obliczając wartości prędkości obrotowej silnika, mierzone stroboskopem, z równania:

$$n_s = K_s \cdot \frac{1}{N} \quad [\text{s}^{-1}] \quad (8.6)$$

Stała  $K_s$  jest zależna od częstotliwości błysków lampki oświetlającej tarczę stroboskopową. Przy zasilaniu specjalnie połączonych wielodiodowych lamp LED prądem przemiennym o częstotliwości 50 Hz, częstotliwość ich błysków wynosi 100 Hz. Chcąc obliczyć wartość  $n_s$  wyrażoną w liczbie obrotów na minutę, należy przyjąć wartość  $K_s = 100 \cdot 60 = 6000$ . Wielkość  $N$  w równaniu (8.6) jest liczbą czarnych pól na odpowiednim obwodzie tarczy stroboskopowej.

W tabelce zestawień wartości prędkości obrotowej silnika obliczone z równania (8.6) oraz zmierzone tachometrem elektronicznym.

## 8.10. SPRAWOZDANIE

Sprawozdanie z wykonania zadania powinno zawierać:

- schemat tyrystorowego łącznika prądu przemiennego z krótkim opisem,
- tabele z wynikami pomiarów,
- wykres charakterystyki bramkowo-anodowej tyrystora,
- obliczenia wzmocnień  $K$ ,  $K_{\max}$  oraz sprawności  $\eta$  tyrystora,
- tabelkę z wynikami badania właściwości dynamicznych regulatora temperatury (wartości  $\Delta t_{y\max}$  dla 0...8 warstw papieru),
- przerysowane z ekranu oscyloskopu przebiegi napięcia przewodzenia tyrystora jako półokresowego sterownika mocy (dla badanych prądów  $I_F$ ),
- zestawienie wyników obliczeń i pomiarów prędkości obrotowej silnika  $n$  i  $n_s$ ,
- wnioski dotyczące **wszystkich** wykonanych doświadczeń i wyników obliczeń.

## 8.11. LITERATURA

Podstawowymi źródłami umożliwiającymi poszerzenie materiału zawartego w instrukcji są notatki z wykładów „Pomiary i automatyka” na Wydziale Biotechnologii i Nauk o Żywności, dodatkowe cztery instrukcje teoretyczne do laboratorium oraz książki:

- [1] **Ludwicki M.: Sterowanie procesami w przemyśle spożywczym, PTTŻ, Łódź 2002.**
- [2] Romer E.: Miernictwo przemysłowe, PWN, W-wa 1978.
- [3] Żelazny M.: Podstawy automatyki, PWN, W-wa 1976.

Opracował: dr inż. Marek Ludwicki, Politechnika Łódzka, I-30

<http://snack.p.lodz.pl/ludwicki>  
[marek.ludwicki@p.lodz.pl](mailto:marek.ludwicki@p.lodz.pl)

Wszelkie prawa zastrzeżone. Żadna część tej pracy nie może być powielana, czy rozpowszechniana w jakiegokolwiek formie w jakikolwiek sposób, bądź elektroniczny, bądź mechaniczny, włącznie z fotokopiowaniem, nagrywaniem na taśmy lub przy użyciu innych nośników informacji, bez zgody autora.