

TYRYSTORY

METODY DIAGNOSTYKI I ZABEZPIECZENIA

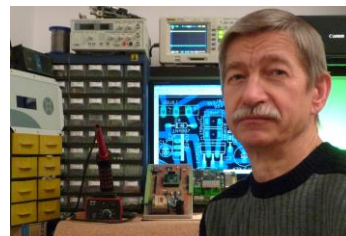
Powszechne stosowanie wysokoprądowych tyristorów w urządzeniach przemysłowych powoduje, że elektrycy i automatycy, zatrudnieni w działach utrzymania ruchu, wcześniej czy później mogą stanąć przed koniecznością ich diagnostyki. W artykule tym opisano nieskomplikowaną metodę służącą do sprawdzenia, czy dany tyristor jest sprawny, czy też uległ uszkodzeniu. Aby dokonać badania, wystarczy posiadać multimetr cyfrowy oraz baterię 9 V. Przedstawiono również zalecenia dotyczące właściwego zabezpieczania tyristorów przed uszkodzeniem.

ZASTOSOWANIE TYRYSTORÓW WYSOKOPRĄDOWYCH

Tyristory wysokoprądowe można spotkać w wielu urządzeniach automatyki przemysłowej. Niegdyś stosowano je głównie w przekształtnikach układów napędowych z silnikami prądu stałego, do płynnej regulacji prędkości obrotowej. Obecnie tyristorowe napędy prądu stałego znaleźć można na ogół w starszych maszynach bądź w nowych wdrożeniach z silnikami bardzo dużej mocy (rzędu megawatów). Inny obszar, w którym są stosowane tyristory to układy prostownikowe (np. prostowniki galwanizacyjne, urządzenia spawalnicze, prostowniki do ładowania

akumulatorów, prostowniki w różnych urządzeniach elektrycznych itp.) z płynną regulacją napięcia lub prądu. W hutnictwie i w odlewnictwie wysokoprądowe tyristory szybko wykorzystywane są w falownikach średniej częstotliwości zasilających piece oraz nagrzewnice indukcyjne. Tyristory używane są również w urządzeniach *soft start*, przeznaczonych do łagodnego rozruchu silników klatkowych. W zgrzewalnictwie tyristory stosowane są w regulatorach mocy i czasu zgrzewania przeznaczonych do zasilania transformatorów zgrzewalniczych elektrycznych zgrzewarek oporowych wielopunktowych, punktowych i liniowych. W rozdzielniach elektrycznych zakładów przemysłowych spotykane są kompensatory mocy biernej, które zawierają tyristory.

TEKST: inż. Wojciech Pawlak

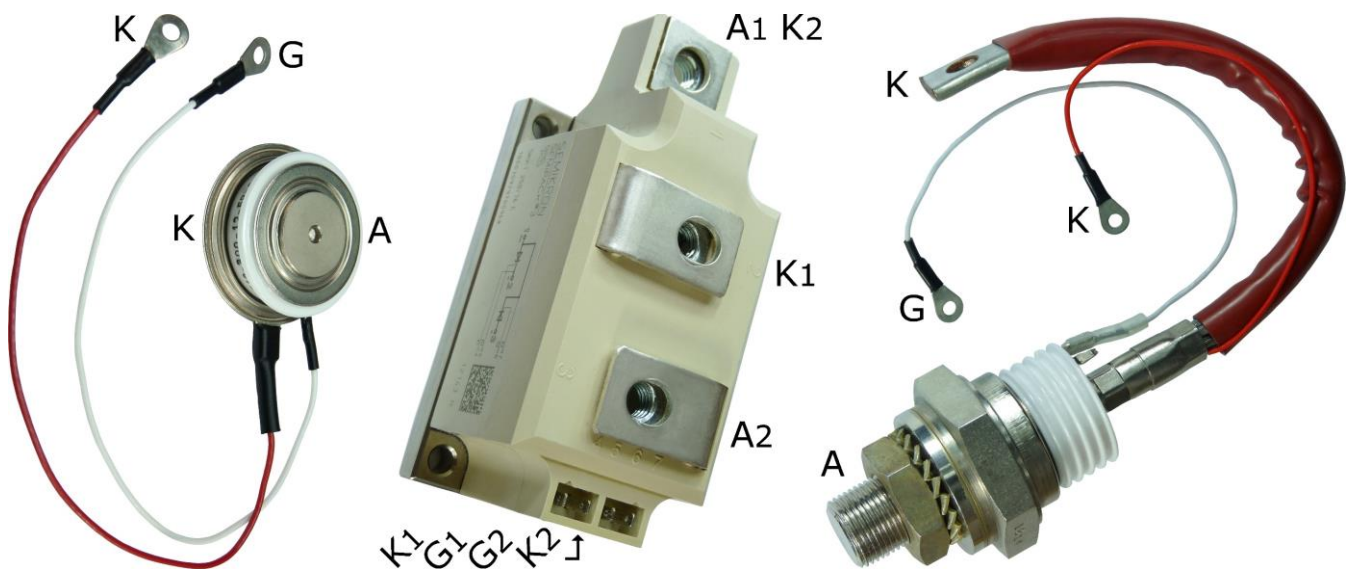


ENERGOELEKTRONIK POSIADAJĄCY WIELOLETNIE DOŚWIADCZENIE ZAWODOWE. ZAJMUJE SIĘ AUTOMATYKĄ NAPIĘDÓW ELEKTRYCZNYCH, AUTOMATYKĄ I ELEKTRONIKĄ PRZEMYSŁOWĄ. PEŁNIŁ FUNKCJĘ GŁÓWNEGO AUTOMATYKA W DUŻYM ZAKŁADZIE PRZEMYSŁOWYM Z BRANŻY HUTNICZEJ. SKONSTRUOWAŁ WIELE URZĄDZEŃ TYRYSTOROWYCH.

[HTTP://WWW.PAWLAK-AUTOMATYKA.PL](http://www.pawlak-automatyka.pl)

OGÓLNA ZASADA DZIAŁANIA TYRYSTORA

Tyristor jest półprzewodnikowym elementem półsterowanym o czterywarstwowej strukturze p—n—p—n. Posiada on trzy wyprowadzenia: katodę (K), anodę (A), bramkę (G). Jeśli anoda jest spolaryzowana ujemnie względem katody, to tyristor nie będzie przewodził. Jeśli anoda jest spolaryzowana dodatnio względem katody, to tyristor będzie przewodził, ale tylko wtedy, kiedy podano impuls prądowy w obwodzie bramka—katoda. Tyristor przestanie przewodzić, jeśli wartość natężenia prądu płynącego od anody do katody spadnie poniżej wartości prądu podtrzymania.



Rys.1. Od lewej: tyrystor pastylkowy, moduł tyrystorowy (przedstawiony model posiada dwa tyrystory połączone szeregowo; cyframi 1 i 2 zaznaczono wyprowadzenia pierwszego i drugiego tyrystora), tyrystor śrubowy. Oznaczenia wyprowadzeń: K – katoda, A – anoda, G – bramka

Na rysunku 1 przedstawiono trzy popularne wykonania tyrystorów wysokoprądowych, tj. tyrystor pastylkowy, moduł tyrystorowy, tyrystor śrubowy. Poszczególne wyprowadzenia zostały oznaczone symbolami: K – katoda, A – anoda, G – bramka. W przypadku przedstawionego modułu tyrystorowego, który zawiera dwa tyrystory połączone szeregowo, cyframi 1 i 2 zaznaczono wyprowadzenia pierwszego i drugiego tyrystora.

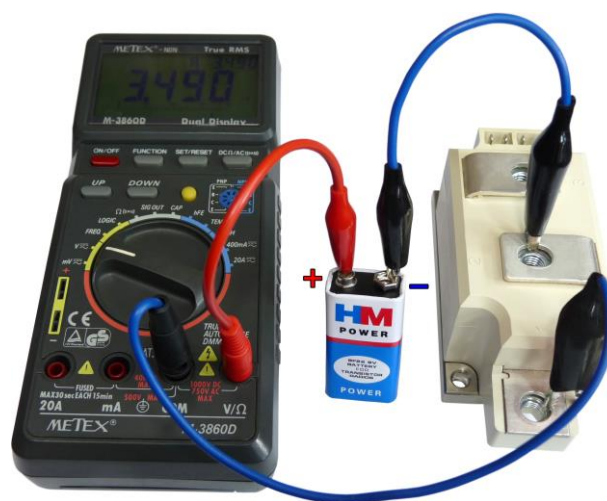
prawności działania tyrystora. Opisany sposób diagnostyki sprawdza się z powodzeniem podczas wieloletniej praktyki zawodowej autora. W celu przeprowadzenia badania należy posiadać multimetr cyfrowy (o typowej rezystancji wejściowej na zakresie napięciowym wynoszącej 10 MΩ) oraz nową baterię o napięciu 9 V. Diagnostyka składa się z trzech etapów: sprawdzenie rezystancji

w kierunku przewodzenia, sprawdzenie rezystancji w kierunku zapornym, sprawdzenie rezystancji obwodu bramkowego.

Sprawdzenie rezystancji w kierunku przewodzenia Badanie to przeprowadza się przy multimetrze ustawionym na zakres napięciowy prądu stałego (DCV). Jeśli multimetr pozwala na dokonanie takiego usta-

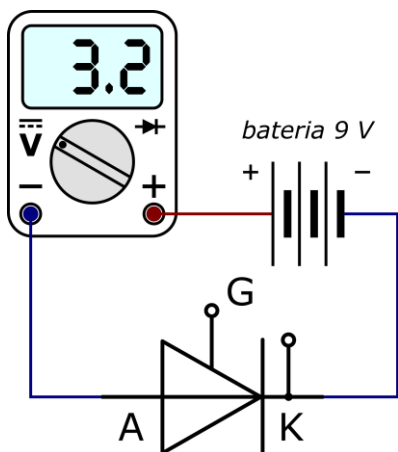
METODY DIAGNOSTYKI TYRYSTORÓW

Istnieje kilka metod diagnostyki tyrystorów. Jedną z nich jest badanie, czy pod wpływem coraz wyższego napięcia (jednak nieprzekraczającego napięcia znamionowego tyrystora), podawanego ze źródła o niskiej wydajności prądowej, mierzony prąd upływu nie przekracza wartości dopuszczalnej. W artykule tym przedstawiono inną metodę pozwalającą szybko, w trudnych warunkach panujących w hali przemysłowej, przeprowadzić sprawdzenie po-



Rys.2. Przykład układu pomiarowego służącego do diagnostyki złącza anoda—katoda tyrystora w kierunku przewodzenia

wienia, to należy wybrać zakres napięcia do ok. 20 DCV. Tyristor należy podłączyć do multimetru oraz baterii zgodnie ze schematem przedstawionym na rysunku 3.

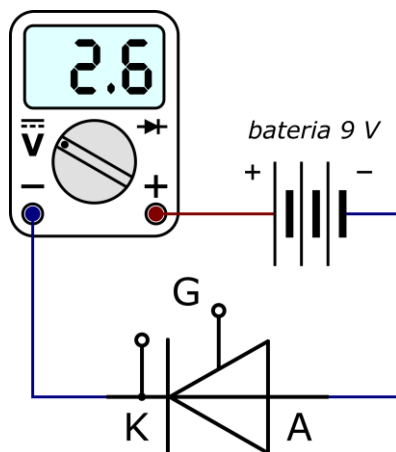


Rys.3. Układ pomiarowy służący do sprawdzenia rezystancji złącza anoda—katoda tyrystora w kierunku przewodzenia

Jeśli na wyświetlaczu multimetru pojawi się wartość powyżej 0 V i nieprzekraczająca ok. 7 V, to należy uznać, że tyrystor jest sprawny w kierunku przewodzenia. Praktyka pokazuje, że dla obecnie produkowanych tyrystorów wartości wskazywane przez multimetr są niskie (np. 0,5 V), choć nie jest to normą. (Należy jednak pamiętać, że wskazanie wartości idealnie 0 V oznacza brak kontaktu półprzewodnika z wyprowadzeniami, a tym samym tyrystor taki jest uszkodzony). Dla starszych konstrukcji może pojawić się wynik nawet kilku woltów – tyrystor taki także jest sprawny w kierunku przewodzenia. Z kolei pojawienie się na wyświetlaczu multimetru wartości powyżej ok. 7 V i nieprzekraczającej wartości napięcia baterii 9 V oznacza, że badany element jest uszkodzony w kierunku przewodzenia.

Sprawdzenie rezystancji w kierunku zaporowym Podobnie jak miało to miejsce w przypadku sprawdzania rezystancji w kierunku przewodzenia, badanie to przeprowadza się przy multimetrze ustawionym na zakres napięciowy prądu stałego (DCV). Jeśli dysponujemy multimetrem pozwalającym na tego

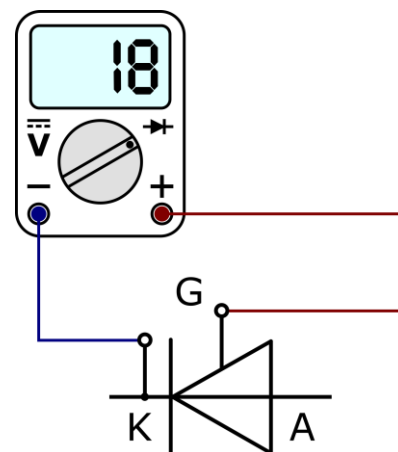
rodzaju ustawienia, to należy wybrać zakres napięcia do ok. 20 DCV. Na rysunku 4 przedstawiono jak należy podłączyć tyrystor do multimetru oraz baterii.



Rys.4. Układ pomiarowy służący do sprawdzenia rezystancji złącza anoda—katoda tyrystora w kierunku zaporowym

W sytuacji, w której na wyświetlaczu multimetru pojawi się wartość powyżej 0 V i nieprzekraczająca ok. 6 V, należy uznać, że tyrystor jest sprawny w kierunku zaporowym. Dla współcześnie produkowanych tyrystorów, podczas tego badania, wartości wskazywane przez multimetr są niskie (nawet poniżej 0,5 V). (Jeśli jednak wskazana wartość wynosiłaby idealnie 0V, to oznaczałoby to brak kontaktu półprzewodnika z wyprowadzeniami, a zatem tyrystor taki byłby uszkodzony). W przypadku starszych tyrystorów na wyświetlaczu multimetru mogą pojawić się wartości rzędu kilku woltów, i nadal tyrystor taki należy uznać za sprawny w kierunku zaporowym. Zaobserwowanie wartości powyżej ok. 6 V i nieprzekraczającej wartości napięcia baterii 9 V oznacza, że badany element jest uszkodzony w kierunku zaporowym. (Dla badania w kierunku zaporowym wartości wskazywane na wyświetlaczu multimetru są niższe niż dla badania w kierunku przewodzenia. Ogólny wzór na obliczenie rezystancji, podczas obydwu przedstawionych dotychczas badań: $R [M\Omega] = 9 V \cdot 10 M\Omega / U [V] - 10 M\Omega$).

Sprawdzenie rezystancji obwodu bramkowego Badanie to przeprowadza się przy multimetrze ustawionym na zakres testu diody (pokrętko przyrządu ustawione na symbol diody). Wówczas miernik staje się źródłem prądowym 1 mA, o napięciu maksymalnym rzędu 3 V. Wskazywane na wyświetlaczu multimetru wartości (wyrażone w miliwoltach) odpowiadają spadkowi napięcia na obwodzie bramkowym. Przy prądzie źródła 1 mA, wartości te są równoważne rezystancji (wyrażonej w omach) obwodu bramkowego – zgodnie ze wzorem: $R [\Omega] = U [mV] / 1 mA$. Układ pomiarowy dla tego badania przedstawiono na rysunku 5.



Rys.5. Układ pomiarowy służący do sprawdzenia rezystancji obwodu bramkowego tyrystora

W sytuacji, w której na wyświetlaczu multimetru pojawi się wartość powyżej ok. 8 Ω i nieprzekraczająca ok. 150 Ω , należy uznać, że obwód bramkowy tyrystora jest sprawny. Im wyższy jest znamionowy prąd tyrystora, tym niższych rezystancji obwodu bramkowego należy się spodziewać. Z kolei dla tyrystorów o niższym prądzie znamionowym, wartości rezystancji będą wyższe. Jeśli zaobserwowano na wyświetlaczu multimetru wartość w okolicy 0 Ω bądź wartość dążącą do nieskończoności, to obwód bramkowy badanego elementu jest uszkodzony.

Należy pamiętać, aby diagnostyki tyrystorów pastylkowych dokonywać

tylko wtedy, kiedy są one ściśnięte, gdyż wówczas struktura wewnętrzna kontaktuje z wyprowadzeniami. Ściśnięcie tyrystora pastylkowego zapewnia radiator specjalnie przeznaczony dla tego typu elementów.

PRZYCZYNY USZKODZEŃ TYRYSTORÓW I METODY ZABEZPIECZENIA

Uszkodzenia na skutek zwarcia

Praktyka pokazuje, że jedną z najczęstszych przyczyn uszkodzeń tyrystorów jest zwarcie, występujące na ogół w okolicy odbiornika. Spotykane są przetarcia izolacji przewodów zasilających odbiorniki. Nierzadkie są zalania wodą skrzynek podłączeniowych. Na skutek uszkodzenia mechanicznego bądź przegrzania może wystąpić przebicie do obudowy odbiornika. Załączenie tyrystora, już po powstaniu zwarcia, może spowodować jego uszkodzenie w konsekwencji przekroczenia stromości narastania prądu. W celu ochrony tyrystorów przed następstwami zwarcia stosuje się zabezpieczenia w układzie sterowania przekształtnika takie, jak układ sprzężenia zwrotnego prądowego z ograniczeniem maksymalnego natężenia prądu, dyskryminator maksymalnego natężenia prądu. W obwodzie siłowym stosuje się takie zabezpieczenia, jak wyłączniki nadprądowe (na zasilaniu przekształtnika bądź w obwodzie wyjściowym przekształtnika), odpowiednio dobrane bezpieczniki szybkie (szeregowo z każdym tyrystorem).

Uszkodzenia na skutek przegrzania

Inną często występującą przyczyną uszkodzeń tyrystorów jest przegrzanie struktury wewnętrznej półprzewodnika. Może dzieć się tak wtedy, kiedy przez dłuższy czas przez tyrystor płynie prąd o zbyt wysokim natężeniu. Inną przyczyną przegrzania może być zbyt niska intensywność chłodzenia, spowodowana na przykład: uszkodzeniem wentylatora, niedostatecznym prze-



Rys. 6. Wnętrze uszkodzonego tyrystora pastylkowego. Strzałką zaznaczono miejsce uszkodzenia powstałego na skutek przegrzania wynikającego ze zbyt dużego prądu

plywem cieczy chłodzącej, zanieczyszczeniem wentylacji. W celu zabezpieczenia tyrystorów przed skutkami przegrzania stosuje się czujniki temperatury montowane na radiatorach (w przypadku chłodzenia powietrzem) bądź mierzące temperaturę płynu (w przypadku chłodzenia cieczą).

Uszkodzenia na skutek przepięcia

Kolejną przyczyną uszkodzeń tyrystorów są przepięcia. Mogą one powstawać poza terenem zakładu w sieci elektroenergetycznej (na przykład na skutek wyładowań atmosferycznych, przepięć łączeniowych) bądź na terenie zakładu (na przykład na skutek załączania i wyłączania różnych urządzeń o dużej obciążalności prądowej, wyłączania stanu przeciążenia prądowego poprzez bezpieczniki szybkie). W celu zabezpieczenia tyrystorów przed skutkami przepięć pochodzących od strony sieci elektroenergetycznej stosuje się filtry przepięciowe RC i ewentualnie warystory montowane na zasilaniu układu tyrystorowego. Aby ochronić tyrystory przed konsekwencjami przepięć pochodzących od strony odbiornika, wykorzystywane są filtry RC zakładane na wyjściu układu tyrystorowego. Podstawowym zabezpieczeniem są filtry RC i ewentualnie warystory montowane równolegle do złącz anoda—katoda tyrystorów – bez tych filtrów, poda-

nie napięcia spowoduje natychmiastowe uszkodzenie tyrystora. Na rysunku 7 przedstawiono zaprojektowany przez autora filtr RC, z dołączonymi równolegle warystorami. Filtr ten posiada 20-watowy rezystor 47 Ω, kondensatory 0,15 μF / 1000 V typu MKP, cztery warystory (połączone po dwa szeregowo, w dwóch równoległych gałęziach) S20 / 250 V. Należy pamiętać, aby filtry montować blisko tyrystorów, na możliwie najkrótszych odcinkach przewodów, tak jak przedstawiono to na rysunku 9. Praktyka pokazuje, że układy te pewnie zabezpieczają przed przepięciami stosowane przez autora tyrystory (do prądu 500 A).



Rys. 7. Filtr przepięciowy

Uszkodzenia obwodów bramkowych

Konstruktor projektujący układ tyrystorowy musi wziąć pod uwagę charakterystyki obwodów bramkowych zamieszczone w kartach katalogowych tyrystorów. Przekroczenie maksymalnych strat mocy w obwodzie bramkowym może doprowadzić do uszkodzenia elementu. Z kolei zbyt niska wartość prądu bramki wydłuża czas przejścia tyrystora do stanu załączenia, co prowadzi do nadmiernego nagrzewania struktury w okolicy bramki, często skutkującego powstaniem uszkodzenia.

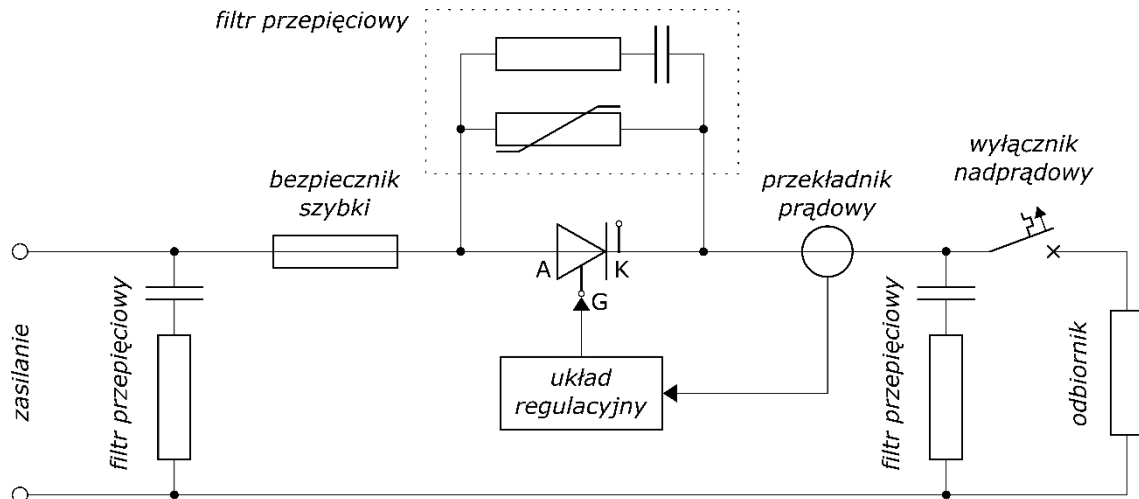
Uszkodzenia na skutek niewłaściwego sterowania

Uszkodzenie układu regulatora może spowodować, że tyrystor będzie niewłaściwie sterowany. Na przykład zbyt wczesne wyzwalenie tyrystora w półokresie prądu przemiennego przełoży się na wysoką wartość płynącego prądu, a to z kolei może zakończyć się uszkodzeniem termicznym.

Częstość występowania przestoju linii produkcyjnych na skutek uszkodzenia tyrystorów można zmniejszyć stosując wymienione zabezpieczenia, takie jak na przykład na rysunku 8. Należy również regularnie dokonywać przeglądów okresowych

oraz konserwacji urządzeń tyrystorowych. Niektórym awariom można zapobiec dokonując co pewien czas oceny kształtu prądu wyjściowego przy pomocy oscyloskopu. Anomalie w obserwowanym przebiegu świadczą o nieprawidłowościach w pracy

układu, które pozostawione bez interwencji mogą doprowadzić do uszkodzenia urządzenia.



Rys.8. Przykładowe zabezpieczenia tyrystora



Rys.9. Obwód siłowy tyrystorowego regulatora mocy i czasu zgrzewania dla zgrzewarki wielopunktowej