



Ćwiczenie nr 3

Pomiary charakterystyk elementów biernych

I. Zagadnienia do samodzielnego przygotowania

- pojęcie elementów liniowych i nieliniowych
- budowa i działanie warystora (przykład elementu nieliniowego)
- charakterystyka prądowo-napięciowa warystora
- rezystancje zastępcze prostych obwodów rezystorowych
- zasada wykreślania wypadkowych charakterystyk prądowo-napięciowych elementu liniowego i nieliniowego połączonych szeregowo i równolegle

Należy wydrukować tabele wyników - są na str. 6.

II. Program zajęć

- pomiar rezystancji zastępczej układu rezystorów
- pomiary dzielnika napięcia
- pomiar charakterystyk prądowo-napięciowych (I-U) rezystorów i warystorów

III. Literatura

1. Notatki z wykładu Technika Analogowa
2. Poradnik Inżyniera Elektronika
3. Andrzej Syrzycki, Elementy i metody analizy obwodów elektrycznych, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa 2000

Wykonując pomiary PRZESTRZEGAJ przepisów BHP związanych z obsługą urządzeń elektrycznych

1. Wprowadzenie

W ćwiczeniu mierzymy zależności prądowo-napięciowe rezystorów, które wykazują liniową zależność I-U (spełnione jest prawo Ohma) oraz warystorów, które są rezystorami nieliniowym, czyli wykazują nieliniową zależność I-U. Warystor to element półprzewodnikowy o rezystancji zależnej od napięcia elektrycznego. Dla małych napięć wykazuje on dużą rezystancję, jednak gdy napięcie przekroczy pewną wartość, charakterystyczną dla danego typu warystora, jego rezystancja maleje, z początkowych setek $k\Omega$ do zaledwie kilkunastu Ω . Nazwa warystor (ang. varistor) powstała z fragmentów słów *variable resistor*. Można też spotkać określenie Voltage Dependent Resistor, w skrócie VDR.

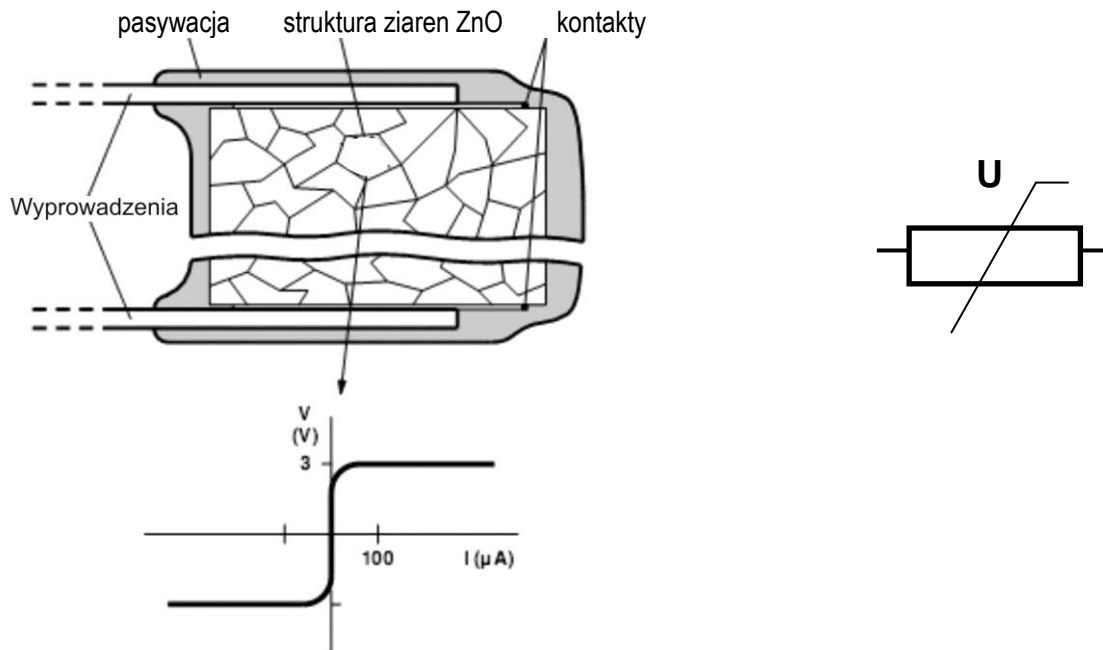
Zadaniem warystorów jest ochrona wrażliwych elementów i układów elektronicznych przed niszczącym działaniem krótkotrwałych impulsów napięciowych (przebieg) przekraczających dopuszczalne wartości chronionych urządzeń. Przebiegi mogą pochodzić od przełączanych indukcyjności np. silników, przekaźników itp. lub od wyładowań atmosferycznych i przedostawać się do odbiorników poprzez np. sieć energetyczną lub poprzez promieniowanie elektromagnetyczne.

Budowa. Warystory są zbudowane z ceramiki na bazie tlenków metali (ang. metal-oxide varistor - MOV), jak tlenek cynku ZnO z niewielką domieszką tlenków bizmutu, kobaltu i magnezu. Niektóre starsze wersje warystorów są zbudowane z ziaren węglika krzemu SiC. Materiały te mają właściwości półprzewodnikowe. Zmielony proszek na bazie tlenku cynku jest mieszany z odpowiednimi dodatkami, granulowany, prasowany w kształcie pastylek lub wałków i spiekany. Płaskie powierzchnie są pokrywane, najczęściej metodą sitodruku, pastami lutowniczymi na bazie srebra, do których następnie dolutowuje się druty miedziane doprowadzające prąd. Tak uformowana struktura jest następnie pokrywana żywicą epoksydową. Żywica chroni warystor przed szkodliwymi wpływami otoczenia, a użytkowników przed porażeniem prądem, gdy warystor jest pod napięciem.

Mikrostruktura i mechanizmy przewodnictwa. Na rysunku 1 pokazana jest schematycznie mikrostruktura warystora, gdzie widać chaotycznie ułożone ziarna ZnO z zaznaczonymi granicami ziaren. Średnica ziaren wynosi kilkadziesiąt mikrometrów. Ponieważ ziarna są ułożone przypadkowo, więc przepływający prąd napotyka na swojej drodze złącza półprzewodnikowe spolaryzowane przewodząco oraz zaporowo z możliwością ich przebicia co w efekcie daje symetryczną charakterystykę warystora. W przypadku ZnO napięcie przebicia złącza na granicy ziaren jest prawie stałe i wynosi 2V - 3V. Mechanizm przewodnictwa na granicy ziaren nie jest jednoznacznie określony. Istnieje tam wiele mechanizmów jak np. termoemisja i tunelowanie elektronów z udziałem głębokich poziomów energetycznych pochodzących od defektów strukturalnych na granicy ziaren.

Parametry i działanie. Podstawowym parametrem warystora jest **napięcie charakterystyczne**. Jest to napięcie, powyżej którego następuje gwałtowny spadek jego rezystancji, co oznacza jednocześnie gwałtowny wzrost prądu. Dokładniej napięcie charakterystyczne definiuje się jako napięcie, przy którym płynie określony prąd warystora np. o wartości 1 mA, 10 mA lub 1A zależnie od jego typu.

Wartość napięcia charakterystycznego warystora jest pochodną ilości ziaren połączonych szeregowo i ich wymiarów. Projektowanie tego napięcia dla określonego składu chemicznego i technologii warystora polega głównie na oszacowaniu potrzebnej grubości struktury warystora, czyli ilości ziaren połączonych szeregowo zawartych między elektrodami. W handlu dostępne są warystory o napięciu charakterystycznym od kilku woltów do 1000 V. Dopuszczalne prądy jakie mogą płynąć przez warystor, czyli prądy nie powodujące jego zniszczenia, są w przybliżeniu proporcjonalne do powierzchni przekroju struktury warystora. Tak więc warystory o dużych prądach dopuszczalnych mają znaczne gabaryty.



Rys. 1 Struktura warystora dyskowego, charakterystyka napięciowo-prądowa pojedynczego złącza mikroziaren oraz symbol warystora

Właściwości elektryczne warystora opisuje jego charakterystyka prądowo-napięciowa (zależność prądu od napięcia) wyrażana wzorem:

$$I = K U^\alpha$$

gdzie: K – stała zależna od geometrii warystora, α – opisuje stopień nieliniowości charakterystyki i zależy od materiału i technologii elementu. Im większa wartość współczynnika α , która wynosi w praktyce od 15 do 30, tym lepsze właściwości aplikacyjne warystora. Wartość α w przypadku warystorów ZnO jest znacznie wyższa niż w przypadku wcześniej opracowanych warystorów SiC. Czasami podawana jest charakterystyka napięciowo-prądowa (zależność napięcia od prądu) opisana wzorem;

$$U = C I^\beta$$

gdzie: C – stała zależna od geometrii elementu, stała β nazywana jest współczynnikiem nieliniowości warystora, $\beta = 1/\alpha$.

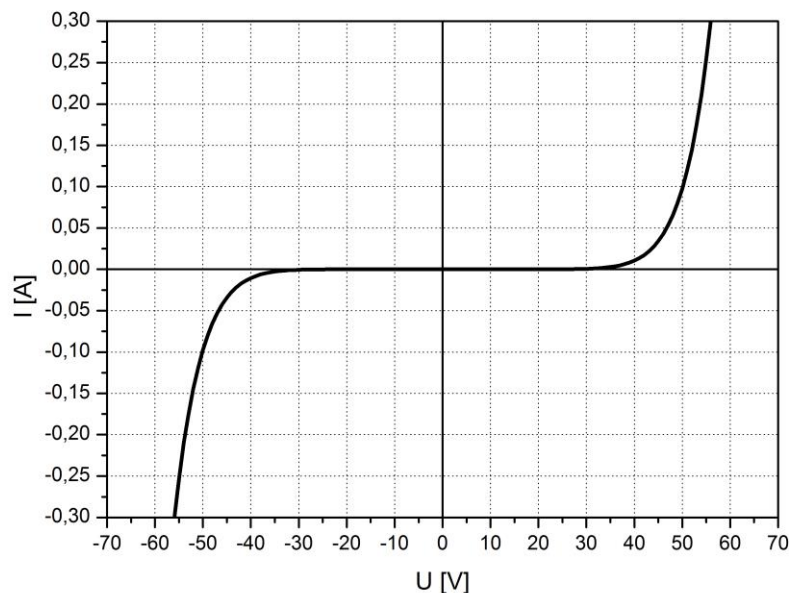
Dla elementów z nieliniową charakterystyką I-U definiuje się rezystancję dynamiczną r_d elementu (nazywaną także rezystancją dla prądu zmiennego) wyznaczaną w określonym punkcie pracy, tzn. dla określonej wartości prądu i napięcia stałego (I,U). Jest to pochodna zależności U-I obliczona w tym punkcie.

$$r_d = dU/dI \quad \text{dla } I=\text{const.}$$

Graficznie można wyznaczyć rezystancję dynamiczną z nachylenia stycznej do wykreślonej charakterystyki I-U w wybranym punkcie pracy dla $I=\text{const}$. Jak można zauważyć nachylenie stycznej takiej charakterystyki (jak na Rys.2) daje wartość $1/r_d$ czyli wartość konduktancji dynamicznej.

W przypadku warystora iloraz rezystancji dynamicznej do rezystancji statycznej jest stały i określony przez wartość β :

$$r_d/R = [dU/dI] / [U/I] = \beta$$

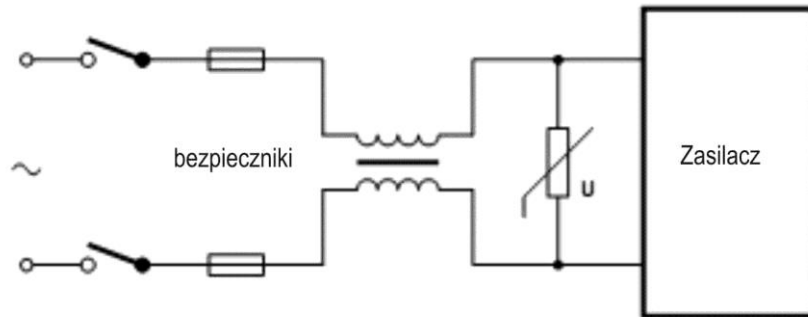


Rys.2 Typowa charakterystyka prądowo-napięciowa warystora ZnO

Zastosowania warystorów. Na rysunkach 3 i 4 podane są przykłady zastosowań warystorów. Na rysunku 3 pokazano blok zasilacza jaki występuje w komputerach i w sprzęcie audio-video, chroniony przez warystor połączony z zasilaczem równolegle na wejściu. Gdy w sieci pojawią się niebezpieczne przepięcia, mogą one przez bezpieczniki i dławik przedostać się do zasilacza i, w przypadku braku warystora, uszkodzić go. Napięcie charakterystyczne warystora powinno być wyższe od napięcia sieci, ale jednocześnie niższe od dopuszczalnego napięcia jakie może się pojawić na zasilaczu. Z drugiej strony, warystor powinien być zdolny wchłonąć energię (W) impulsu-przepięcia, którą można oszacować wg. wzoru:

$$W = I U t = C I^{(\beta+1)} t \quad \text{gdzie: } t - \text{czas trwania impulsu.}$$

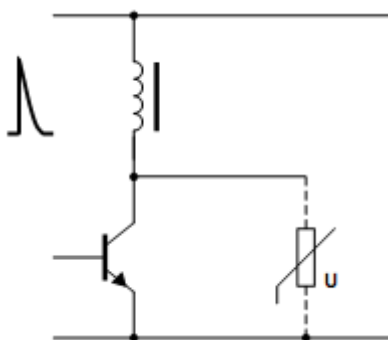
Jeśli energia będzie zbyt duża nastąpi nieodwracalne zwarcie w warystorze lub spalenie bezpiecznika. W obu przypadkach zasilacz zostanie ochroniony. Stanie się to pod warunkiem, że czas reakcji warystora będzie dostatecznie krótki. Warystory ZnO mają czasy reakcji niższe niż 20 ns, co jest wartością dostatecznie małą w większości zastosowań. Podobną funkcję mogą spełniać diody półprzewodnikowe, jednak diody mają zbyt małą moc rozpraszania i dlatego w tym przypadku znajdują ograniczone zastosowanie.



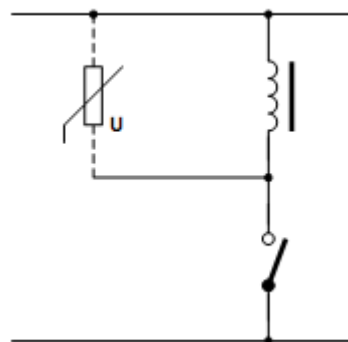
Rys. 3 Warystor zabezpieczający zasilacz przed przepięciami pochodzącymi z sieci energetycznej

Na rysunku 4 pokazane są przypadki zastosowania warystora w ochronie elementu przełączającego prąd w cewkach np. silników, styczników, przekaźników itp. Podczas wyłączenia prądu w cewce, indukuje się w niej napięcie nawet kilkadziesiąt razy większe od napięcia zasilania. Napięcie to może zniszczyć element przełączający np. tranzystor, ale również samą cewkę. W obu sposobach podłączenia warystora (Rys. 4a i 4b) ochrona jest podobna.

a)



b)



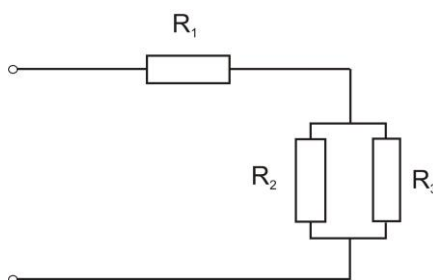
Rys.4 Warystory chroniące element przełączający i cewkę przed przepięciami: a) połączony równolegle do elementu przełączającego, b) połączony równolegle do cewki

2. Pomiary

Pomiary należy wykonać według zamieszczonych schematów, a wyniki wpisać do tabel. Tak więc, strona ta powinna być wcześniej wydrukowana i dołączona do sprawozdania.

2.1 Pomiar rezystancji zastępczej układu rezystorów

Zmierzyć wartości rezystancji stosowanych rezystorów: $R_1 = 330\Omega$, $R_2 = 100\Omega$, $R_3 = 1000\Omega$ połączonych jak na Rys.5 oraz wartości rezystancji R_{23} i R_{123} zdefiniowanych w tabeli.

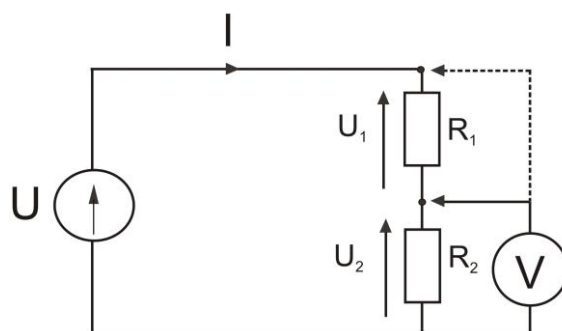


R_1 pomiar	R_2 pomiar	R_3 pomiar	$R_{23} = R_2 \parallel R_3$ obliczone	R_{23} pomiar	$R_{123} = R_1 + R_{23}$ obliczone	R_{123} pomiar

Rys.5. Układ szeregowo-równoległy

2.2 Badanie dzielnika napięcia

Dzielnik napięcia przedstawiono na rys.6. Wartości rezystorów w dzielniku: $R_1 = 1000 \Omega$, $R_2 = 330 \Omega$. Zastosować stabilizowany zasilacz dc z napięciem do 10V. Obliczyć wartość prądu I płynącego w układzie. Zmierzyć wartości napięć U , U_1 , U_2 w układzie i wpisać je do tabeli.



R_1 pomiar	R_2 pomiar	U pomiar	U_1 pomiar	U_2 pomiar	$U_2 = U \times R_2 / (R_1 + R_2)$ obliczone	I obliczone

Rys. 6. Układ dzielnika napięciowego

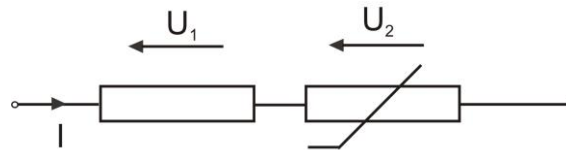
2.3 Pomiar charakterystyk prądowo– napięciowych (I-U) rezystorów i warystorów

Charakterystyki I-U zmierzyć i wydrukować z użyciem programu komputerowego „Rejestrator”. Charakterystyki, w układzie współrzędnych liniowych, powinny być wydrukowane na dwóch kartkach, w zestawieniu podanym niżej.

Jeśli nie ma możliwości zastosowania programu „Rejestrator” charakterystyki należy zmierzyć metodą techniczną (punkt po punkcie). Obie metody pomiarowe zostały opisane w instrukcji Ćwiczenia nr 1.

Zmierzyć i wydrukować kolejno następujące charakterystyki:

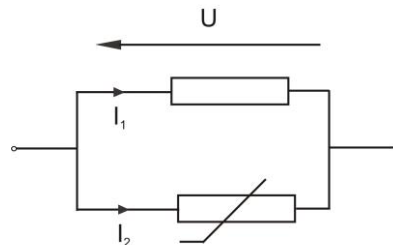
- rezystora o podanej wartości rezystancji, np. 10 k Ω
- warystora
- obwodu z szeregowo połączonymi rezystorem i warystorem, jak pokazano na rys.7



Rys.7. Połączenie szeregowe rezystora i warystora

oraz na drugim wykresie:

- rezystora o podanej wartości rezystancji, np. 10 k Ω
- warystora
- obwodu z równoległe połączonym rezystorem i warystorem, tak jak pokazano na rys.8



Rys.8. Połączenie równoległe rezystora i warystora

Wyjaśnić przebieg wypadkowych charakterystyk I-U połączonych elementów w stosunku do ich charakterystyk indywidualnych. Należy uwzględnić metodę sumowania spadków napięć dla elementów połączonych szeregowo oraz sumowania prądów dla elementów połączonych równoległe.

Na wykresie zmierzonej charakterystyki prądowo-napięciowej warystora wyznaczyć metodą graficzną rezystancję dynamiczną i statyczną elementu w zakresie napięć powyżej napięcia charakterystycznego.

3. Podsumowanie i wnioski

W tym punkcie należy zwrócić uwagę na zgodność wartości wyliczonych z wartościami zmierzonymi. Ponadto, w przypadku warystorów połączonych z rezystorami wyjaśnić przebieg uzyskanych charakterystyk wypadkowych.