

LABORATORIUM URZĄDZEŃ ELEKTRYCZNYCH

Podstawy teoretyczne do ćwiczenia **nr 3**

Badanie elementów ochronnych niskiego napięcia

1. CEL ĆWICZENIA

Celem ćwiczenia jest:

- zapoznanie się z podstawami fizycznymi działania, budową, właściwościami i zasadą działania elementów ochronnych,
- poznanie charakterystyk i podstawowych parametrów charakteryzujących właściwości elementów ochronnych,
- poznanie zasad tworzenia i działania wieloelementowych układów ograniczników przepięć, chroniących instalacje elektryczne,
- wyznaczenie podstawowych parametrów charakteryzujących właściwości elementów ochronnych,
- dokonanie oceny skuteczności działania badanych elementów ograniczających.

2. WIADOMOŚCI TEORETYCZNE

Historia powstawania i obszar zastosowań elementów ochronnych do układów sieci niskiego napięcia sięga początków rozwoju tych sieci, ale dopiero obecnie, w wyniku stosowania drogich i wrażliwych na zakłócenia odbiorników takich, jak sprzęt elektroniczny powszechnego użytku, a zwłaszcza komputery, rozwinął się dynamicznie. W obszarze telekomunikacji kilkanaście lat temu jako ochronniki przepięciowe stosowane były odgromniki grafitowe z wkładką mikową, obecnie wyparte przez zminiaturyzowane wieloelementowe układy ochronne. Podobnie jako ochronniki prądowe w centralach telefonicznych stosowane były bezpieczniki zwykłe lub tzw. rozrywne. Obecnie powszechnie stosuje się bezpieczniki samoregenerujące się tzw. bezpieczniki automatyczne, termistory. W liniach napowietrznych stosowano poprzednio odgromniki gazowe w obudowie szklanej. Badanie odgromników gazowych, obecnie w obudowach ceramicznych, znacznie zminiaturyzowanych oraz innych elementów ochronnych będzie przedmiotem tego ćwiczenia.

3. WYKAZ WAŻNIEJSZYCH OZNACZEŃ

- F - funkcja złożona $F = f \circ g$, gdzie $\circ$ oznacza operację złożenia,
- 1,0E-01 - zapis liczb w postaci naukowej, tu oznacza $1 \cdot 10^{-1} = 0,1$,
- A - stała,
- C, c - pojemność, ciepło właściwe, stała materiałowa,
- g, Γ - współczynnik przenoszenia, współczynnik odbicia,
- H - współczynnik czułości energetycznej,
- K - współczynnik strat,
- k - parametr amplitudy impulsu, współczynnik przepięć,

P_{ad}	- moc admisyjna złącza p - n,
t	- czasy charakterystyczne impulsów, przedziały całkowania,
W	- energia, praca,
Z	- współczynnik stabilizacji,
α	- temperaturowy współczynnik rezystancji,
β	- temperaturowy współczynnik napięcia stabilizowanego,
τ	- stała czasowa.

4. PRZEGLĄD ELEMENTÓW OCHRONNYCH

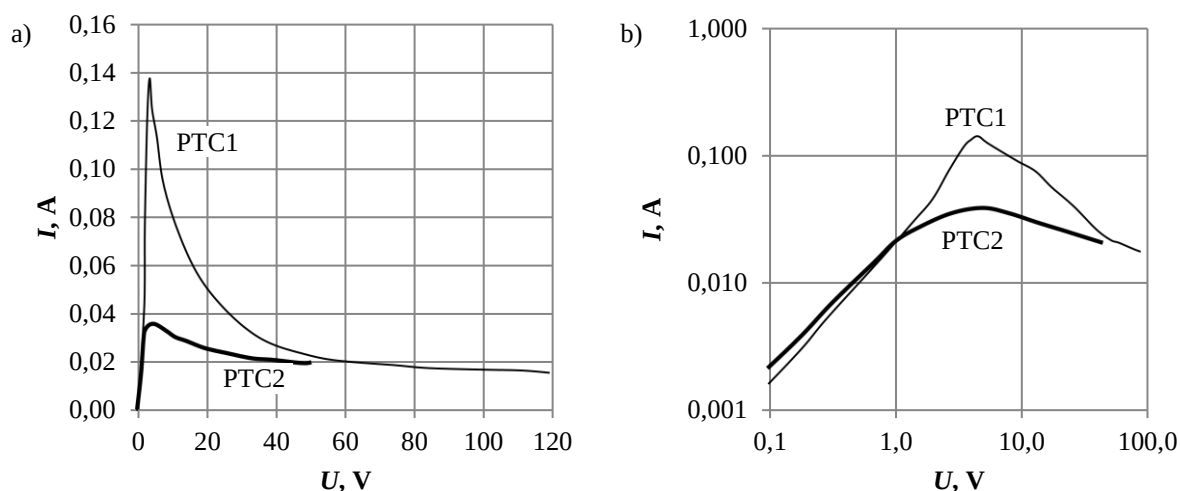
Przegląd elementów ochronnych rozpoczyna się od podania kilku prostszych schematów układów ochronnych, przy czym zwrócono uwagę na budowę czwórnikową tych układów. Elementy ochronne, występujące w tych schematach, podane będą w kolejności począwszy od rezystorów nieliniowych takich jak termistory PTC i warystory, a skończywszy na odgromnikach gazowych. Schematy występujące w tym rozdziale zostaną ograniczone do kilku podstawowych.

4.1. Element nieliniowy rezystancyjny wzdłużny - PTC

Nazwa termistor jest skrótem od angielskiego określenia *thermally sensitive resistors*, co w przekładzie oznacza rezystory czułe na temperaturę. Termistor typu PTC (ang. *positive temperature coefficient*) jest elementem nieliniowym rezystancyjnym wzdłużnym (w modelu czwórnikowym), o dodatnim współczynniku temperaturowym. Element ten charakteryzuje się zmiennością rezystancji w funkcji temperatury, która może być funkcją przepływającego przez ten element prądu. Istnieją czujnikowe elementy specjalizowane, termistory PTC, o bardzo małym prądzie przepływającym przez nie, który to prąd nie podgrzewa w sposób istotny tych elementów. Dla termistora obowiązują zależności $R = f(T)$ oraz $T = f(I)$, a zatem również zależność $R = f(g(I))$ i jest ona funkcją złożoną przepływającego prądu, a także czasu $R = f(t)$. W związku z tym otrzymujemy wzór na energię jako całkę z iloczynu dwóch funkcji zmiennej t :

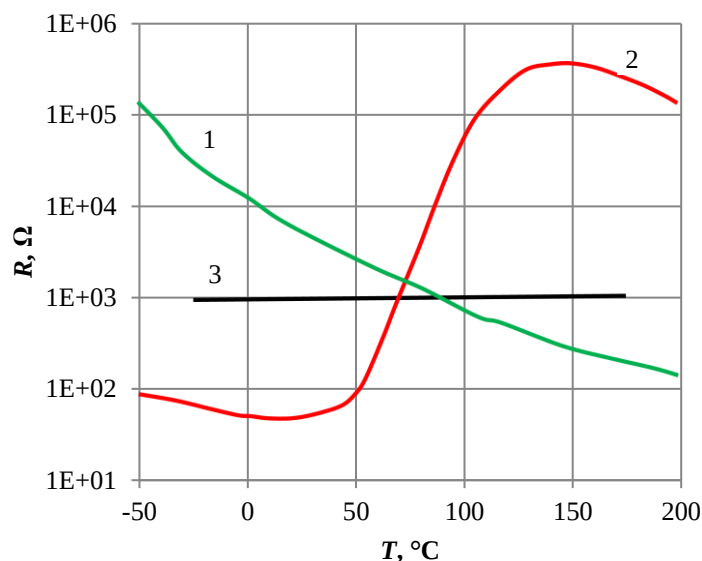
$$W = \int_{t_1}^{t_2} I^2(t) \cdot R(t) dt = \int_{t_1}^{t_2} I^2 R dt \quad (1)$$

W przypadku zastosowania elementów nieliniowych w postaci termistorów PTC, przeciwnie niż przy użyciu rezystorów, możliwy jest odpowiedni dobór stosowanego elementu dla ustalonego W , poprzez dobór jego charakterystyki $R = f(g(I))$ lub $R = F(I)$, gdzie $F = f \circ g$ jest funkcją złożoną. Poprzez dobór termistora PTC mamy wpływ na ograniczenie energii W do wartości wynikającej z dopuszczalnej mocy tego elementu. Przykładowe charakterystyki podano poniżej.



Rys. 1. Charakterystyka termistora PTC dla $T = 30^{\circ}\text{C}$ w skali: a) liniowej, b) podwójnie logarytmicznej

Na rysunku 1 przedstawiono przykładowe charakterystyki napięciowo - prądowe dwu różnych termistorów PTC. Charakterystyki te są wykreślone w skali liniowej i podwójnie logarytmicznej. Z porównania charakterystyk różnych termistorów PTC wynika, że są one zdecydowanie nieliniowe oraz możliwy jest dobór tego elementu jako elementu układu ochronnego dla konkretnych zastosowań. Jest to jeszcze bardziej uwidocznione na rysunku 2, gdzie porównano charakterystyki $R = f(T)$ termistorów typu NTC (ang. *negative temperature coefficient*) i PTC.



Rys. 2. Charakterystyka $R = f(T)$ termistora typu NTC (1) oraz PTC (2) w odniesieniu do rezystora R (3)

Z założenia rezystor liniowy posiada rezystancję $R = \text{const.}$ i przyjmujemy dla naszych celów, że jest ona w określonych granicach słabo zależna od temperatury, co uwidoczniono na rysunku 2.

4.2. Element nieliniowy rezystancyjny poprzeczny - warystor

Warystory należą do grupy symetrycznych rezystorów nieliniowych. Dawniej nazywane były również rezystorami karborundowymi. Są to rezystory, których rezystancja silnie zależy od doprowadzonego napięcia. Warystor jest elementem nieliniowym rezystancyjnym poprzecznym (w modelu czwórnikowym) o silnym ujemnym współczynniku zmian rezystancji w funkcji napięcia, po przekroczeniu pewnego progu zwanego napięciem zapłonu warystora. Zależność $R = f(U)$ jest funkcją nieliniową, zatem po przekształceniu otrzymujemy następujący wzór na energię, w którym funkcja podcałkowa jest funkcją złożoną $R = f(U) = f(g(t)) = f \circ g(t)$, określoną tylko numerycznie:

$$W = \int_{t_1}^{t_2} I^2(t) \cdot R(U) dt = \int_{t_1}^{t_2} I^2 R(U) dt \quad (2)$$

Na podstawie wzoru (2) nie wyznaczymy energii W , ponieważ $R(U)$ nie jest stałą, którą można wyłączyć przed znak całki - jest funkcją złożoną, a ponadto nie jest przy tym zmienną całkowania. Do rozwiązywania tego typu problemów stosowane są metody numeryczne lub skokowy kształt impulsu udarowego w określonym przedziale czasu. W przypadku użycia elementów nieliniowych (warystorów) sytuacja jest korzystniejsza niż przy użyciu rezystorów, ponieważ możliwy jest dobór tego elementu poprzez dopasowanie jego charakterystyki $R = f(U)$. Poprzez dobór warystora mamy również wpływ na ograniczenie energii W do wartości wynikającej z dopuszczalnej mocy tego elementu. Wzór uwzględniający zależność między napięciem i prądem warystora w najprostszej postaci można wyrazić wartością rezystancji warystora przy danym napięciu:

$$R = \frac{U}{I}, \quad (3)$$

$$\Delta R = \frac{\Delta U}{\Delta I} \quad (4)$$

Przyrost rezystancji (4) jest tangensem kąta nachylenia stycznej do charakterystyki $U = f(I)$ w danym punkcie U/U_n , co przedstawiono na rysunku 3.

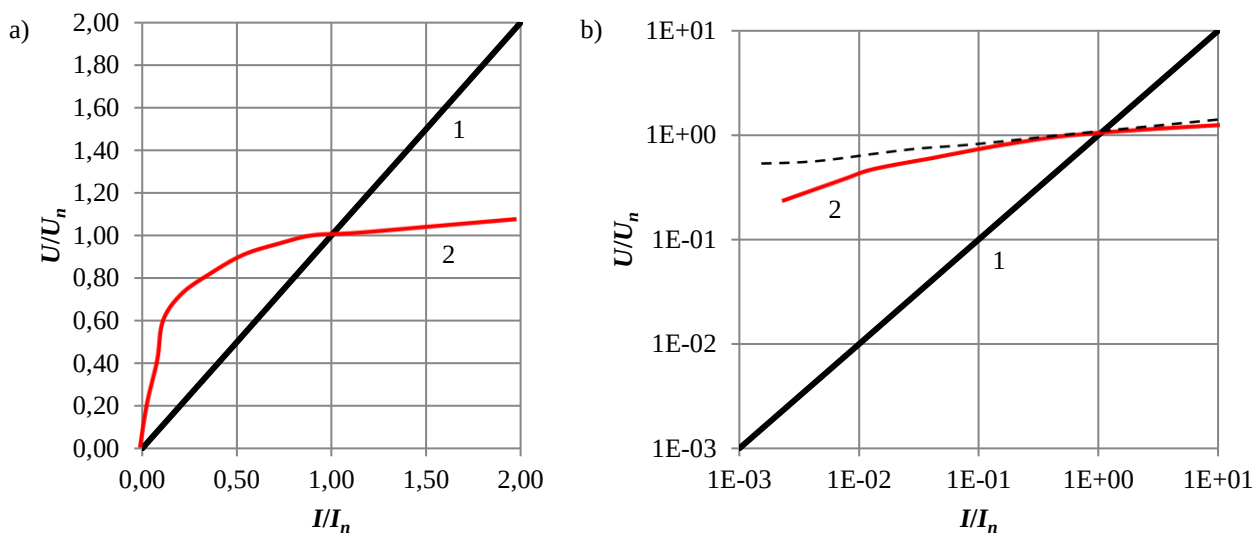
Względny przyrost rezystancji w postaci różniczkowej, określany mianem współczynnika nieliniowości β , jest równy:

$$\beta = \frac{dR}{R} = \frac{I \cdot dU}{U \cdot dI} \quad (5)$$

Zakładając, że dla danego warystora β jest wartością stałą, wówczas po scałkowaniu równania (5) otrzymuje się zależność:

$$U = C \cdot I^\beta, \quad (6)$$

przy czym zarówno współczynnik C , jak i wykładnik potęgowy są stałe i zależą od wymiarów i użytego materiału. Współczynnik β zawiera się w granicach od około 0,03 do 0,5.



Rys. 3. Znormalizowane charakterystyki rezystora (1) i warystora (2) w skali: a) liniowej, b) podwójnie logarytmicznej

Na rysunku 3 przedstawiono znormalizowane charakterystyki napięciowo - prądowe warystora i rezystora, wykreślone w skali liniowej i podwójnie logarytmicznej. Linie przerywaną dołączono do wykresu, aby zaprezentować jak zmienia się współczynnik β . Wzór (6) jest wystarczająco dokładny do celów praktycznych w zakresie krzywoliniowej części charakterystyki, tj. w przedziale wartości prądu od 10^{-4} A do 10^1 A, gdyż w tym przedziale współczynnik β ma praktycznie wartość stałą.

Podstawowymi zaletami warystorów są bardzo duża zdolność ograniczania prądów udarowych w stosunku do wymiarów geometrycznych, duża szybkość zadziałania oraz szeroki zakres napięć roboczych od kilku V do kilku kV. Jest to element dwukierunkowy, o charakterystyce symetrycznej dla obu kierunków prądu, podobnie jak każdy rezystor.

5. BADANIE ELEMENTÓW OCHRONNYCH

W niniejszym rozdziale opisano badania, jakim podlegają elementy ochronne nieliniowe. Przegląd badań ograniczono do zakresu badań elektrycznych. Normy techniczne opisują głównie badania gotowych układów ochronnych, zatem w nawiązaniu do treści tych norm podano odpowiednie wiadomości, metody i sposoby badań poszczególnych elementów.

5.1. Termistor typu PTC

Termistory charakteryzują się następującymi parametrami:

- rezystancja termistora w stanie zimnym,
- współczynnik temperaturowy rezystancji α_{25} w % na °C, czyli w układzie SI %/K,
- stała czasowa t , lub τ wyrażona w sekundach,
- maksymalna dopuszczalna temperatura t_{max} ,
- maksymalna dopuszczalna moc rozpraszana w watach,
- współczynnik strat K , wyrażony w W/K,
- współczynnik czułości energetycznej H , wyrażony w watach na % zmian rezystancji R ,
- ciepło właściwe C , wyrażone w J/K, zwane również odpornością cieplną,
- wymiary gabarytowe.

Pomiędzy poszczególnymi parametrami istnieją ścisłe zależności. Współczynniki: strat K , czułości energetycznej H i współczynnik temperaturowy α są związane zależnością:

$$H = \frac{K}{100\alpha} \quad (7)$$

Można również wykazać, że pomiędzy τ , K i C zachodzi zależność:

$$\tau = \frac{C}{K} \quad (8)$$

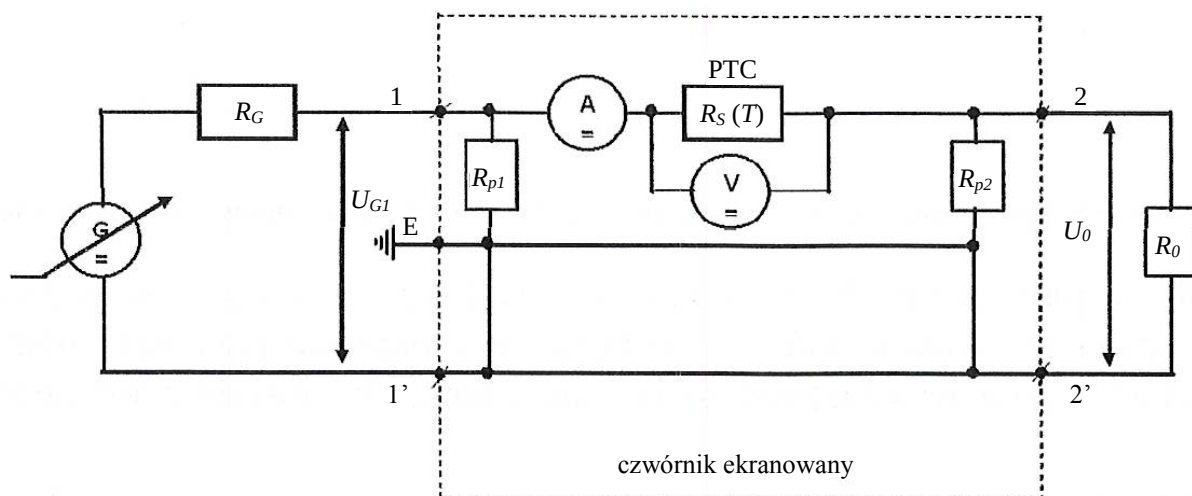
Podstawową charakterystyką termistorów jest zależność rezystancji od temperatury. Zależność ta w znacznym stopniu wywiera wpływ na pozostałe parametry termistorów. Decydująca jest tu zależność temperaturowa rezystywności materiału półprzewodnikowego użytego w konstrukcji danego termistora. Zależność temperaturowa termistorów może być aproksymowana z dostateczną dokładnością dla celów praktycznych i w niezbyt szerokim zakresie temperatur, za pomocą wyrażenia:

$$R_T = A \cdot e^{B/T}, \quad (9)$$

gdzie: R_T - rezystancja termistora w temperaturze T , T - temperatura w K, A - stała zależna w znacznym stopniu od zewnętrznej formy termistora, B - stała zależna w znacznym stopniu od właściwości fizycznych materiału.

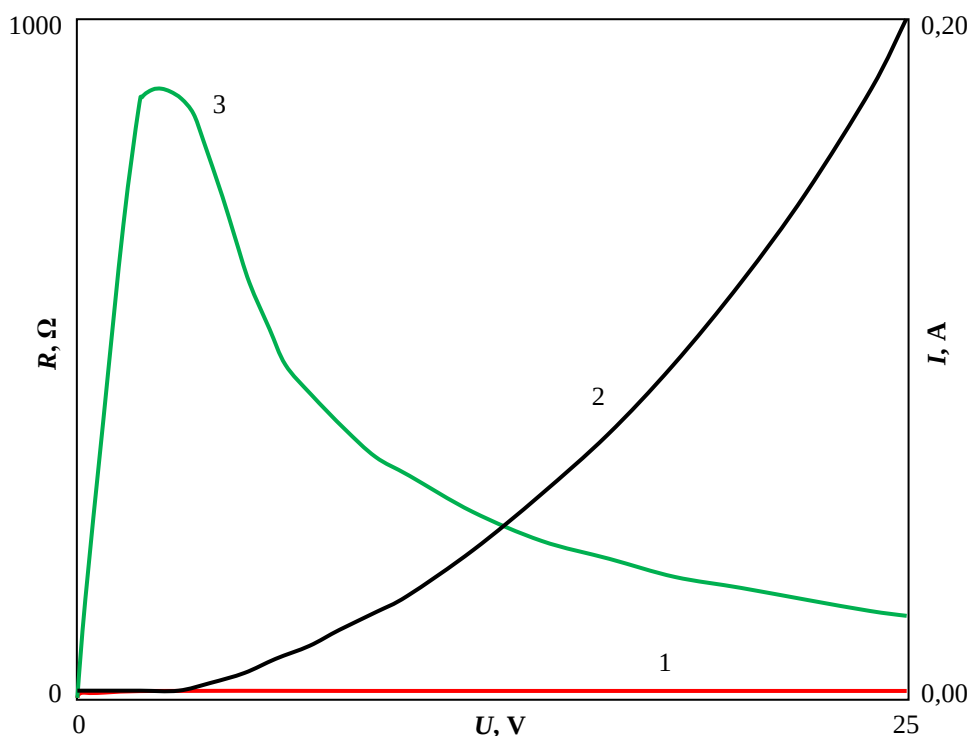
Na podstawie tych wiadomości można uznać, że praktyczne badania termistorów PTC polegają na wyznaczeniu rezystancji w funkcji temperatury (dla elementów czujnikowych) lub wyznaczeniu charakterystyki napięciowo - prądowej termistora w danych, np. normalnych, warunkach otoczenia.

Układ pomiarowy do badania termistora PTC, czyli tzw. bezpiecznika automatycznego, przedstawia rysunek 4. Przykład charakterystyki przedstawiono na rysunku 5.



Rys. 4. Układ pomiarowy do badania termistora PTC w obudowie układu ochronnego, w jego normalnych warunkach pracy (wymiana ciepła z otoczeniem)

W powyższym układzie, zasilanym z regulowanego źródła napięcia stałego, dołączone zostały przyrządy pomiarowe: amperomierz i woltomierz cyfrowy, przy istnieniu znamionowej wartości rezystancji obciążenia.



Rys. 5. Charakterystyka typowego termistora PTC w obudowie układu ochronnego, w jego normalnych warunkach pracy (wymiana ciepła z otoczeniem): 1 - rezystancja początkowa, 2 - rezystancja badanego elementu, 3 - prąd płynący przez badany element

Przebieg badanej charakterystyki elementu nieliniowego jest tylko fragmentem rzeczywistej charakterystyki, jaką należałoby zdjąć w temperaturach począwszy od temperatury poniżej

0°C aż do temperatury ponad 100°C. Przyjęty sposób pomiaru poprzez podgrzewanie prądem nie pozwala na uzyskanie tak wysokich temperatur, co zresztą jest istotą działania bezpiecznika automatycznego. Przebieg takiej charakterystyki pokazano na rysunku 2. Termistory PTC wykazują w zakresie niskich temperatur ujemny współczynnik temperaturowy rezystancji, a przechodząc w zakres wyższych temperatur wykazują duży współczynnik dodatni, by w temperaturze rzędu 150°C osiągnąć maksimum rezystancji własnej i przy dalszym wzroście temperatury wykazywać nieznaczny współczynnik ujemny. Stosunkowo ostry próg temperatury przejścia z ujemnego w dodatni współczynnik temperaturowy rezystancji w zakresie niższych temperatur, jak również wzrost rezystancji, jest wywołany przez gwałtowny spadek stałej dielektrycznej materiałów ceramicznych oraz przez rozpoczynające się tworzenie warstw zaporowych. W praktyce, ze względu na trudności związane z wykonywaniem pomiarów w określonej temperaturze, w badaniach opieramy się w zasadzie o charakterystyki producenta.

5.2. Warystor

Warystory charakteryzują się następującymi parametrami oraz zależnościami:

- rezystancja R warystora przy danym napięciu:

$$R = \frac{U_1}{I_1}, \quad (10)$$

- przyrost rezystancji $\Delta R = R_{dyn}$, który jest tangensem kąta nachylenia stycznej do charakterystyki $U = f(I)$ w danym punkcie U_1 :

$$\Delta R = \frac{\Delta U}{\Delta I}, \quad (11)$$

- współczynnik nieliniowości β jest to względny przyrost rezystancji warystora w postaci różniczkowej, wyrażony wzorem:

$$\beta = \frac{dR}{R} = \frac{I \cdot dU}{U \cdot dI}, \quad (12)$$

- współczynnik C , wartość stałej C równa się liczbowo spadkowi napięcia na rezystorze (warystorze), przy przepływie prądu 1 A, występuje we wzorze:

$$U = C \cdot I^\beta, \quad (13)$$

- spadek napięcia ΔU przy ściśle określonej wartości prądu, okreśłany mianem napięcia charakterystycznego,

- zależność między rezystancją, a napięciem, którą dla warystora można wyrazić jako:

$$R = \frac{C^{1/\beta}}{U^{1/\beta-1}}, \quad (14)$$

- zależność między rezystancją i prądem:

$$R = \frac{C}{I^{1-\beta}}, \quad (15)$$

- ogólny wzór opisujący zależność stałej C od temperatury:

$$C_t = C_0[1 + \alpha_0(t - t_0)], \quad (16)$$

gdzie: C_t - wartość stałej C w temperaturze t , C_0 - wartość stałej C w temperaturze t_0 ,

α_0 - współczynnik temperaturowy stałej C ,

- zależność temperaturowa napięcia przy stałej wartości prądu, którą określa wzór:

$$U_t = U_0[1 + \alpha_0(t - t_0)], \quad (17)$$

- moc tracona przy przepływie prądu w warystorze:

$$P = U \cdot I = C \cdot I^{\beta+1}, \quad (18)$$

- zależność napięć i prądów (w zakresie od 200 Hz do 5000 Hz) określona wzorem:

$$U_{sk} = C \cdot \left(\frac{I_{sk}}{B}\right)^{\beta} \quad (19)$$

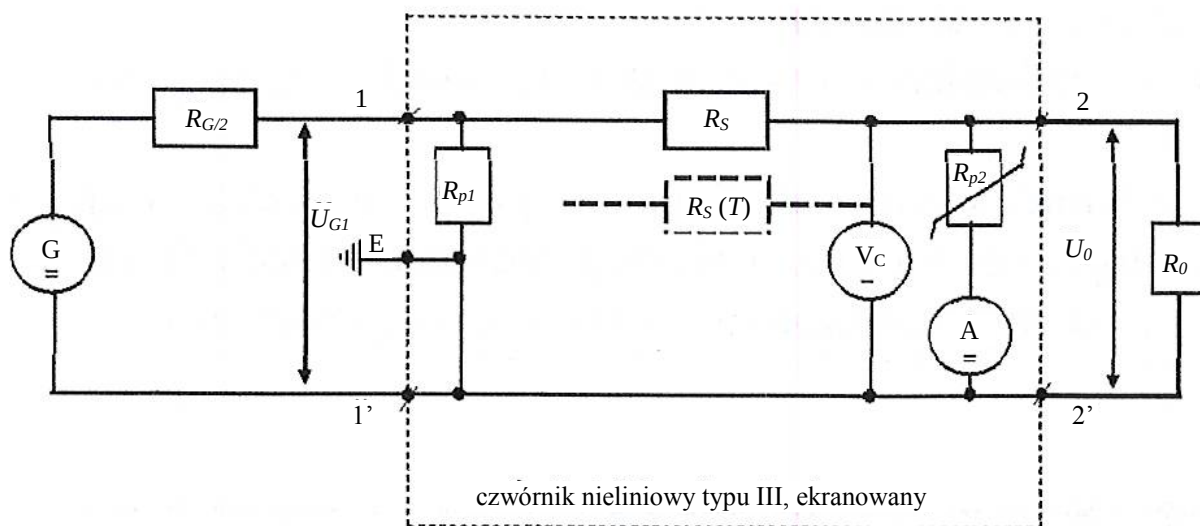
Wzór (13) jest wystarczająco dokładny do celów praktycznych w zakresie krzywoliniowej części charakterystyki, tj. w przedziale gęstości prądu ($10^{-4} \div 1$) A/cm², gdyż jedynie w tym przedziale współczynnik nieliniowości β ma praktycznie wartość stałą.

Wartość współczynnika temperaturowego α_0 waha się w granicach $(-0,0012 \div 0,0018)$ K⁻¹, zależnie od rodzaju materiału.

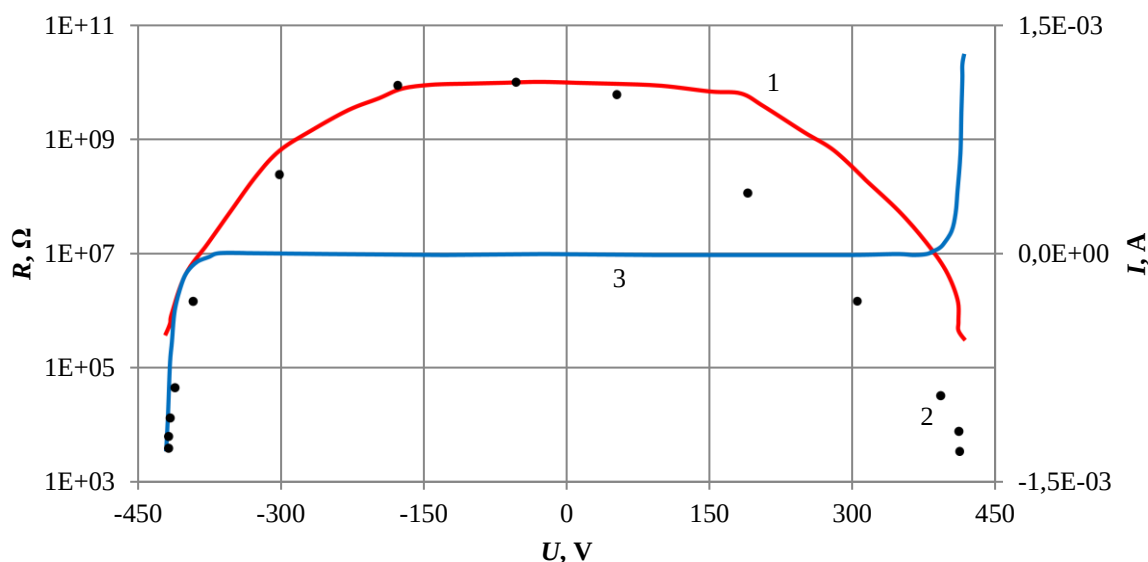
W przypadku obciążenia impulsowego wzrost temperatury warystora jest proporcjonalny do energii impulsu i odwrotnie proporcjonalny do masy rezystora i jego pojemności cieplnej, warystor jest rezystorem nieliniowym. Stwierdzono doświadczalnie, że energia 60 Ws doprowadzona do rezystora o masie 1 g powoduje wzrost temperatury o 100°C.

Stała β we wzorze (19) jest dodatnia i zależy przede wszystkim od częstotliwości oraz kształtu przebiegu zmiennego.

Ponadto należy podkreślić, że warystory można łączyć (najlepiej w ramach jednego typu) szeregowo i równolegle. Na podstawie tych wiadomości możemy uznać, że praktyczne badania warystorów polegają na wyznaczeniu podanych parametrów dla temperatury 25°C lub wyznaczeniu charakterystyki napięciowo - prądowej warystora w danych, np. normalnych, warunkach otoczenia. W instrukcji przedstawiono układ pomiarowy i przykład wyznaczania charakterystyk dwóch różnych warystorów. Rysunek 6 przedstawia układ pomiarowy do badania charakterystyki pojedynczego warystora, a przykładowa charakterystyka przedstawiona jest na rysunku 7.



Rys. 6. Układ pomiarowy do badania warystora R_{p2} w obudowie układu ochronnego, w jego normalnych warunkach pracy (wymiana ciepła z otoczeniem); dla celów pomiarowych usunięto element PTC $R_s(T)$, a w jego miejsce włączono rezystor R_s o wartości początkowej R_{pocz}



Rys. 7. Charakterystyka typowego warystora R_{p2} w normalnych warunkach pracy (wymiana ciepła z otoczeniem): 1 - rezystancja statyczna, 2 - rezystancja dynamiczna, 3 - prąd płynący przez badany element

Symetryczny przebieg badanej charakterystyki warystora jest korzystny w zastosowaniach dla prądu przemiennego. Właściwy dobór materiału warystora jest wymagany tam, gdzie istnieje jedno z dwóch kryteriów do spełnienia: równość obcinania napięcia udarowego i/lub równość prądów płynących w obu kierunkach, przy zachowaniu ich minimalnej wartości w znamionowym zakresie napięć pracy elementu chronionego. W praktyce, ze względu na trudności związane z wykonywaniem pomiarów (nagrzewanie się elementu) w określonej temperaturze, w badaniach opieramy się w zasadzie o charakterystyki producenta.

5.3. Wyznaczanie współczynników badanych elementów ochronnych

Niezależnie od stopnia dokładności wykonywanych pomiarów i skuteczności graficznego sposobu wyznaczania parametrów z wykreślonych charakterystyk, wyznaczanie współczynników C , c , α , β najlepiej jest przeprowadzić algebraicznie. Wykonując serie pomiarów i określając na charakterystykach statycznych punkt pracy należy wybrać z danych pomiarowych dwa punkty sąsiednie położone poniżej i powyżej punktu pracy. W ten sposób możemy wyznaczyć współczynniki charakterystyczne dla danego elementu ochronnego w danym punkcie pracy. Matematycznie odpowiada to zastąpieniu prostej stycznej do danego punktu pracy, prostą sieczną przechodzącą przez dwa wybrane punkty położone poniżej i powyżej tego punktu. Jeżeli przyjmiemy pewne określone kryteria wyboru punktów pracy badanych elementów ochronnych (przebieg charakterystyki), to mając zmierzone dwa sąsiednie punkty i podany punkt pracy jesteśmy w stanie podać rozwiązania graficzne w postaci np. charakterystyk znormalizowanych i współczynniki C , c , α , β wyznaczone algebraicznie.

Wartość współczynnika nieliniowości β dla charakterystyk $U = f(I)$ można obliczyć z wartości pomierzonych dwóch kolejnych prądów I_1 oraz I_2 i napięć U_1 oraz U_2 danego elementu, np. warystora, po podstawieniu do wzoru:

$$\beta = \frac{\log U_1 - \log U_2}{\log I_1 - \log I_2} \quad (20)$$

W celu ułatwienia obliczeń można w trakcie pomiarów dobrać stosunek prądów $(I_1/I_2) = 10$, a równanie (20) w tym wypadku sprowadzić do wyrażenia:

$$\beta = \log \frac{U_1}{U_2} \quad (21)$$

Mając tak wyznaczoną wartość współczynnika β możemy wyznaczyć interesujący nas współczynnik C ze wzoru:

$$U = C \cdot I^\beta \quad (22)$$

Operując charakterystykami odwrotnymi $I = f(U)$ stosujemy wzory:

$$\alpha = \frac{\log I_1 - \log I_2}{\log U_1 - \log U_2}, \quad (23)$$

$$I = c \cdot U^\alpha, \quad (24)$$

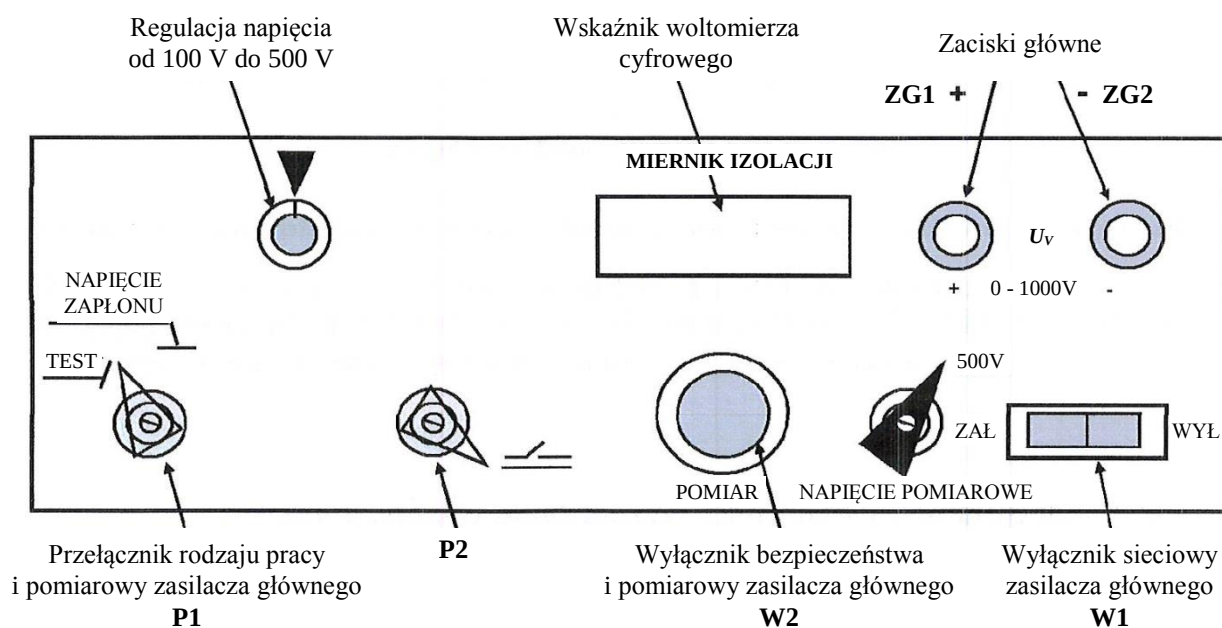
gdzie c i C to wartości liczbowe zupełnie różniące się od siebie.

6. PROGRAM ĆWICZENIA

6.1. Opis stanowiska laboratoryjnego

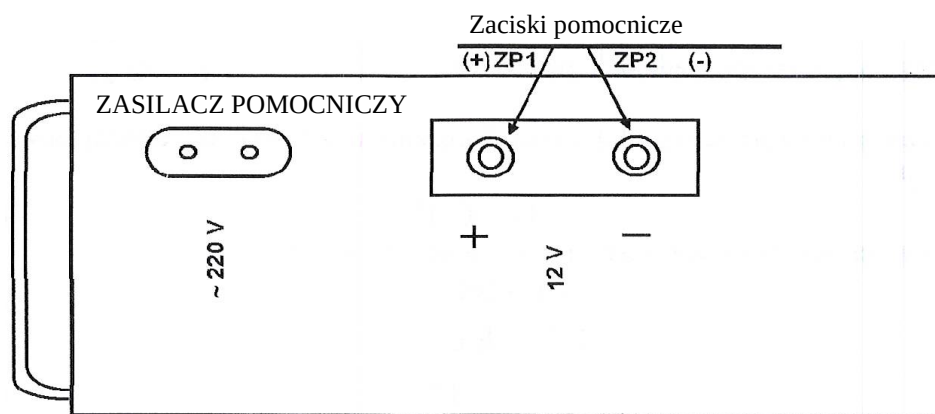
Przedmiotem ćwiczenia jest badanie elementów ochronnych zamontowanych wewnątrz zamkniętej obudowy z napisem *Elementy układu ochronnego*, z wyprowadzonymi zaciskami **Z1** oraz **Z2** i przełącznikiem **P**. Pomiary wykonuje się korzystając z zasilaczy zamontowanych w mierniku izolacji. Są to:

- zasilacz główny z wyprowadzonymi zaciskami głównymi **ZG1**, **ZG2** (oznaczonymi jako $U_V +$ i $U_V -$), o napięciu regulowanym w zakresie $(0 \div 500)$ V dla warystorów i $(0 \div 1000)$ V dla odgromników gazowych,
- zasilacz pomocniczy z wyprowadzonymi zaciskami pomocniczymi **ZP1**, **ZP2** (oznaczonymi jako $12V +$ i $12V -$), dla pozostałych elementów badanych za pomocą woltomierza **V1** i amperomierza **A1**.



Rys. 8. Widok płyty czołowej miernika izolacji, używanego w ćwiczeniu jako zasilacz główny o napięciu regulowanym w zakresie $(0 \div 500)$ V i $(0 \div 1000)$ V

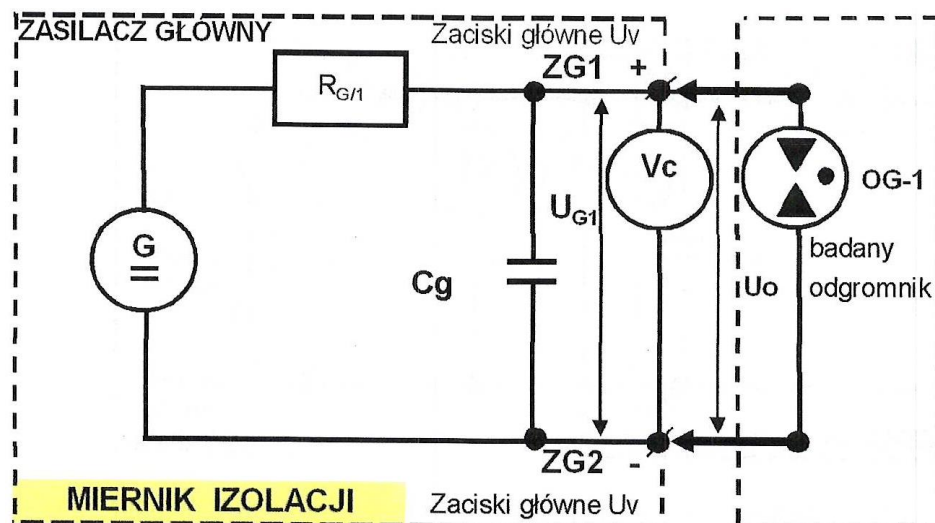
Badane elementy wymagają zastosowania ograniczenia wielkości płynącego przez nie prądu, stąd oba zasilacze mają wewnątrz zamontowane ograniczniki prądowe. Pomiary należy wykonywać z zachowaniem szczególnej ostrożności, aby nie ulec porażeniu prądem z zasilacza (maksymalne napięcie jakie daje zasilacz wynosi 1000 V). W celu zachowania bezpieczeństwa istnieją dwa błyskawiczne wyłączniki prądu: bistabilny kołyskowy, załączający zasilanie sieciowe (**W1**) i monostabilny przycisk (**W2**), który wymaga nacisku i przytrzymywania palcem w czasie trwania pomiaru. Badanie napięcia zapłonu odgromnika i badanie warystorów wykonuje się napięciem regulowanym (zakres od 100 V do 500 V) i w związku z tym wymagana jest obecność osoby prowadzącej ćwiczenie. Przy badaniu elementów ochronnych (oprócz termistorów PTC) ważny jest krótki czas wykonywania pojedynczego pomiaru, aby uniknąć niekorzystnego wpływu nagrzewania się elementów na pełzanie wskazania mierników.



Rys. 9. Widok bocznej ścianki miernika izolacji, zasilacz pomocniczy i zaciski pomocnicze **ZP1** (+) i **ZP2** (-)

6.2. Wyznaczanie statycznego napięcia zapłonu odgromnika

Schemat układu pomiarowego do wyznaczania statycznego napięcia zapłonu odgromnika przedstawiony jest na rysunku 10.



Rys. 10. Pomiar statycznego napięcia zapłonu odgromnika gazowego za pomocą układu generatora - zasilacza wolno narastającego napięcia, o regulowanym napięciu wyjściowym w zakresie (0 ÷ 500) V i (0 ÷ 1000) V

Oznaczenia do rysunku 10:

V_C - woltomierz cyfrowy miernika izolacji,

OG-1 - badany odgromnik w osłonie izolacyjnej ochronnej,

G - generator - zasilacz wolno narastającego napięcia, szybkość $< 100 \text{ V/s}$,

$R_{G/1}$ - rezystancja wewnętrzna generatora - zasilacza ($R_{G/1} = 100 \text{ k}\Omega$ na zakresie do 500 V i $R_{G/1} = 1 \text{ M}\Omega$ na zakresie do 1000 V),

C_G - pojemność obwodu wyładowania łukowego, $C_G = 10 \text{ }\mu\text{F}/1000 \text{ V}$,

U_{G1} - napięcie wyjściowe generatora,

U_0 - napięcie statyczne zapłonu odgromnika.

UWAGA!

Pomiar statycznego napięcia zapłonu odgromnika wykonuje prowadzący ćwiczenie lub ćwiczący w obecności prowadzącego po uprzednim poinstruowaniu.

Sposób wykonania ćwiczenia:

- ustawić przełącznik **P1** zasilacza głównego w pozycji **NAPIĘCIE ZAPŁONU**,
- ustawić przełącznik **P2** w pozycji **WYŁĄCZONY**,
- ustawić przełącznik **NAPIĘCIE POMIAROWE** w pozycji **500 V**,
- regulator napięcia ▼ skrócić delikatnie w lewo (potencjometr wielobrotowy),
- do zacisków głównych włączyć badany odgromnik gazowy w osłonie ochronnej i przytrzymać wyłącznik bezpieczeństwa **W2**,
- wyłącznik **W1** ustawić w pozycji **ZAŁ**,
- obserwując odgromnik przez przezroczystą obudowę powoli zwiększać napięcie zapłonu regulatorem napięcia aż do wystąpienia zapłonu odgromnika,
- następnie lekko zmniejszyć napięcie i oczekiwać czy nie nastąpi zapłon,
- kolejno zwiększając i zmniejszając minimalnie napięcie ustalić próg występowania zapłonu i pozostawić regulator w pozycji progowej,
- w trakcie ustalania progu dopuszcza się do wystąpienia kilku zapłonów,
- następnie można odczytać napięcie ze wskaźnika cyfrowego miernika izolacji, przytrzymując nadal wyłącznik **W2**.

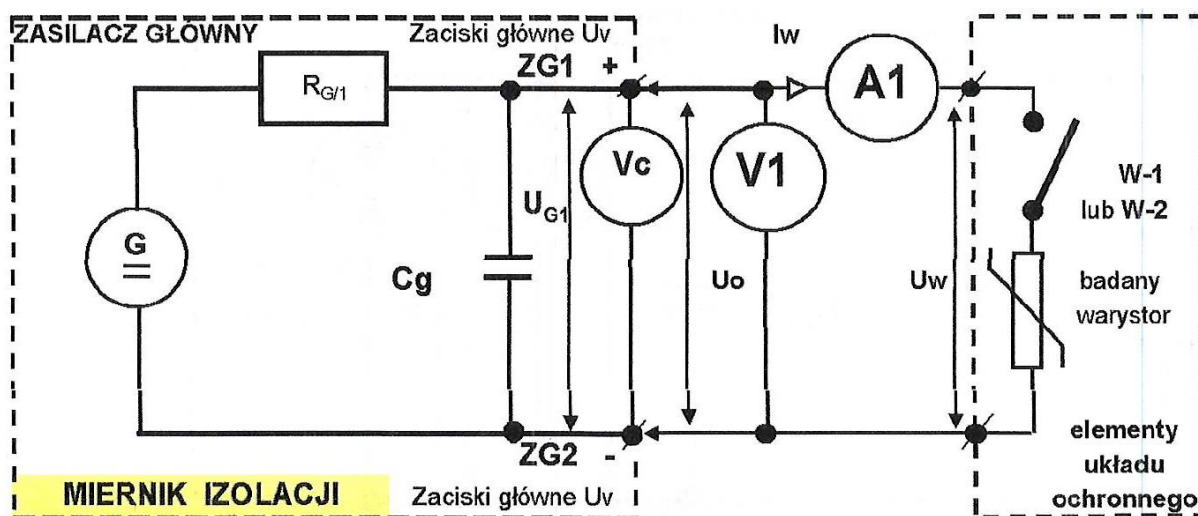
Napięcie progowe ustalone za pomocą regulatora i odczytane ze wskaźnika cyfrowego miernika izolacji po zwolnieniu wyłącznika **W2** jest **statycznym napięciem zapłonu odgromnika gazowego**. W sprawozdaniu należy podać zmierzoną wartość napięcia zapłonu dla dwóch różnych odgromników.

Napięcie statyczne zapłonu odgromnika nr 1: $U_C = \dots\dots\dots \text{V}$

Napięcie statyczne zapłonu odgromnika nr 2: $U_C = \dots\dots\dots \text{V}$

6.3. Wyznaczanie charakterystyki prądowo - napięciowej warystora

Schemat układu pomiarowego do badania warystorów przedstawiony jest na rysunku 11.



Rys. 11. Układ pomiarowy do wyznaczania charakterystyk prądowo - napięciowych warystorów W1 i W2 z poprawnie mierzoną wartością prądu

Oznaczenia do rysunku 11 (oznaczenia, które nie występują na rysunku 10):

V1 - woltomierz cyfrowy zewnętrzny o rezystancji wewnętrznej 10 MΩ, zakres 1000 V,

A1 - amperomierz cyfrowy o zakresach: 200 μA, 2 mA, 20 mA, o rezystancji wewnętrznej R_A ,

I_w - prąd warystora odczytywany z amperomierza A1,

U_w - napięcie na warystorze U_0 , pomniejszone o spadek napięcia na rezystancji wewnętrznej amperomierza $\Delta U_{RA} = I_w \cdot R_A$ (zwykle mniej niż 1 V),

U_0 - napięcie statyczne warystora, odczytywane z dokładnością do 1 V.

UWAGA!

Pomiar statycznego napięcia warystora wykonuje prowadzący ćwiczenie lub ćwiczący w obecności prowadzącego po uprzednim poinstruowaniu.

Sposób wykonania ćwiczenia:

- ustawić przełącznik **P1** zasilacza głównego w pozycji **NAPIĘCIE ZAPŁONU**,
- ustawić przełącznik **P2** w pozycji **WYŁĄCZONY**,
- ustawić przełącznik **NAPIĘCIE POMIAROWE** w pozycji **500 V**,
- regulator napięcia ▼ skrócić delikatnie w lewo (potencjometr wieloobrotowy),
- do zacisków głównych włączyć zestawiony układ pomiarowy i przytrzymać wyłącznik bezpieczeństwa **W2**,
- wyłącznik **W1** ustawić w pozycji **ZAŁ**,
- obserwując i zapisując wskazania mierników powoli zwiększać napięcie zasilacza regulatorem napięcia aż do wystąpienia zauważalnego odczytu prądu I_w ,
- następnie lekko zwiększyć napięcie i odczytać kolejne wartości prądu I_w ,

- zwiększając napięcie ustalić próg występowania raptownego wzrostu prądu przy stosunkowo niewielkiej zmianie napięcia i pozostawić regulator w pozycji progowej,
- w trakcie ustalania progu należy wykonać dodatkowo kilka pomiarów,
- wyniki pomiarów zanotować w tabeli 1 (warystor W1) oraz w tabeli 2 (warystor W2).

Tabela 1. Wyniki pomiarów charakterystyki warystora W1

L.p.	I_W mA	U_W V	P_W mW	R_{stat} k Ω	R_{dyn} k Ω	$ R_{dyn} $ k Ω	$\beta = \log \frac{U_{11}}{U_6}$	$C = \frac{U_{10}}{I_{10}^\beta}$
1.	0,001							
2.	0,003							
3.	0,01							
4.	0,03							
5.	0,10							
6.	0,20							
7.	0,30							
8.	0,40							
9.	0,50							
10.	0,60							
11.	0,70							
12.	1,00							

Tabela 2. Wyniki pomiarów charakterystyki warystora W2

L.p.	I_W mA	U_W V	P_W mW	R_{stat} k Ω	R_{dyn} k Ω	$ R_{dyn} $ k Ω	$\beta = \log \frac{U_{11}}{U_6}$	$C = \frac{U_{10}}{I_{10}^\beta}$
1.	0,001							
2.	0,003							
3.	0,01							
4.	0,03							
5.	0,10							
6.	0,20							
7.	0,30							
8.	0,40							
9.	0,50							
10.	0,60							
11.	0,70							
12.	1,00							

Zmierzone charakterystyki powinny być symetryczne względem punktu (0, 0). Obliczenia należy przeprowadzić korzystając ze wzorów:

$$P_W = U_W \cdot I_W, \quad (25)$$

$$R_{stat} = \frac{U_W}{I_W}, \quad (26)$$

oraz przykładowo dla U_6 :

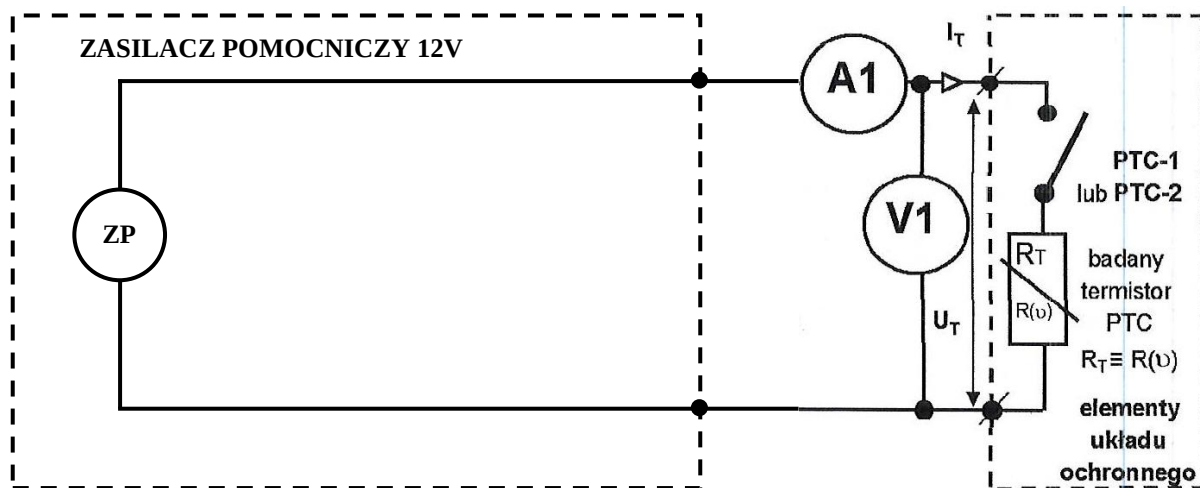
$$R_{dyn}(U_6) = \frac{\Delta U}{\Delta I} \Big|_{U_6} = \frac{U_7 - U_5}{I_7 - I_5} \Big|_{U_6} \quad (27)$$

Prowadzący ustala maksymalny prąd I_W dla badanego warystora. Zakres prądów powinien obejmować 3 ÷ 4 dekad, maksymalnie do 1 mA. Aby uzyskać poprawną charakterystykę napięciowo - prądową ważne jest dokładne zmierzenie wartości w okolicy przegięcia charakterystyki. Dla tego obszaru wyznaczamy stałe β i C .

W sprawozdaniu należy wykreślić charakterystyki $I_W = f(U_W)$ obu badanych warystorów. Wykreślamy je w skali liniowej dla obu kierunków płynącego prądu.

6.4. Wyznaczanie charakterystyki prądowo - napięciowej termistora

Schemat układu pomiarowego do badania termistorów przedstawiony jest na rysunku 12.



Rys. 12. Układ pomiarowy do wyznaczania charakterystyk prądowo - napięciowych termistorów PTC1 i PTC2 z poprawnie mierzoną wartością napięcia

Oznaczenia do rysunku 12 (oznaczenia, które nie występują na rysunku 10):

- V1 - woltomierz cyfrowy zewnętrzny o rezystancji wewnętrznej 10 MΩ, zakres 1000 V,
- A1 - amperomierz cyfrowy o zakresach: 2 mA, 20 mA, 200 mA o rezystancji wewnętrznej R_A ,
- I_T - prąd termistora odczytywany z amperomierza A1,

U_T - napięcie na termistorze.

UWAGA!

Układ pomiarowy sprawdza prowadzący ćwiczenie, a następnie pomiary wykonują ćwiczący.

Sposób wykonania ćwiczenia:

- ustawić przełącznik **P1** zasilacza głównego w pozycji **TEST**,
- ustawić przełącznik **P2** w pozycji **WYŁĄCZONY**,
- ustawić przełącznik **NAPIĘCIE POMIAROWE** w pozycji **500 V**,
- regulator napięcia ▼ skrócić delikatnie w lewo (potencjometr wieloobrotowy),
- do zacisków pomocniczych włączyć zestawiony układ pomiarowy,
- połączyć zacisk główny **ZG1 (+)** z zaciskiem **ZP1 (+)** w celu kontroli przeciążenia,
- wyłącznik **W1** ustawić w pozycji **ZAŁ**,
- obserwując i zapisując wskazania mierników powoli zwiększać napięcie zasilacza regulatorem R_p aż do wystąpienia zauważalnego odczytu prądu I_T ,
- następnie lekko zwiększyć napięcie i odczytać kolejne wartości prądu I_T ,
- zwiększając napięcie ustalić próg występowania spadku wartości prądu przy stosunkowo niewielkiej zmianie napięcia,
- w trakcie ustalania progu należy wykonać dodatkowo kilka pomiarów,
- pomiary wykonywać aż do uzyskania maksymalnego napięcia (skrajne położenie suwaka potencjometru R_p),
- wyniki pomiarów zanotować w tabeli 3.

Tabela 3. Wyniki pomiarów charakterystyk termistorów PTC1 i PTC2

L.p.	Termistor PTC1					Termistor PTC2				
	U_T	I_T	P_T	R_{stat}	R_{dyn}	U_T	I_T	P_T	R_{stat}	R_{dyn}
	V	mA	mW	Ω	Ω	V	mA	mW	Ω	Ω
1.	0,5					0,5				
2.	1,0					1,0				
3.	1,5					1,5				
4.	2,0					2,0				
5.	2,5					2,5				
6.	3,0					3,0				
7.	4,0					4,0				
8.	5,0					5,0				
9.	6,0					6,0				
10.	8,0					8,0				
11.	10,0					10,0				
12.	12,0					12,0				

Obliczenia należy przeprowadzić korzystając ze wzorów:

$$P_T = U_T \cdot I_T, \quad (28)$$

$$R_{stat} = \frac{U_T}{I_T}, \quad (29)$$

oraz przykładowo dla U_6 :

$$R_{dyn(U_6)} = \left. \frac{\Delta U}{\Delta I} \right|_{U_6} = \left. \frac{U_7 - U_5}{I_7 - I_5} \right|_{U_6} \quad (30)$$

Aby uzyskać poprawną charakterystykę prądowo - napięciową ważne jest dokładne zmierzenie wartości w okolicy przegięcia charakterystyki. Dla tego obszaru wyznaczamy kilka wartości prądów I_T .

W sprawozdaniu należy wykreślić na jednym wykresie, w skali liniowej, charakterystyki $I_T = f(U_T)$ obu badanych termistorów.

7. OPRACOWANIE SPRAWOZDANIA

Sprawozdanie powinno zawierać:

- schematy układów pomiarowych,
- tabele z wynikami pomiarów i obliczeń,
- przykładowe obliczenia,
- charakterystyki wyszczególnione w poszczególnych częściach ćwiczenia,
- uwagi i wnioski dotyczące otrzymanych wyników.

8. PYTANIA KONTROLNE

- Opisać parametry charakterystyczne warystorów.
- Opisać przebieg charakterystyki prądowo - napięciowej warystora.
- Wyjaśnić na czym polega działanie zabezpieczające warystora.
- Opisać parametry charakterystyczne termistora.
- Opisać przebieg charakterystyki prądowo - napięciowej termistora.
- Wskazać na charakterystyce prądowo - napięciowej termistora obszar występowania rezystancji dynamicznej o wartości ujemnej.
- Wyjaśnić na czym polega działanie zabezpieczające termistora.

9. LITERATURA

- Norma Zakładowa ZN-96 TP S.A. - 036: *Telekomunikacyjne sieci miejscowe. Urządzenia ochrony ludzi i instalacji przed przepięciami i przetężeniami. Wymagania i badania.*
- Cholewicki T.: *Analiza obwodów elektrycznych.* Warszawa, WNT 1962.
- Kotecki J.: *Rezystory - konstrukcja, technologia i zastosowania w teleelektryce.* Warszawa, WKŁ 1970.
- Gawryluk A.: *Z danych firmy Acte.* Elektronika Praktyczna nr 1/2001.
- Kowalczyk E., Przesmycki O.: *Technika teletransmisji. Problemy podstawowe.* Warszawa, WKŁ 1966.
- Maziarz J.: *Opracowanie stanowiska do badania skuteczności ochrony przeciwprzepięciowej instalacji elektrycznych budynków i sieci komputerowych. Magisterska praca dyplomowa.* Lublin, Politechnika Lubelska 2001.
- Świt A.: *Przyrządy półprzewodnikowe.* Warszawa, WNT 1968.
- Siekierski A.: *Diody i tranzystory. Dane techniczne i charakterystyki.* Warszawa, WKŁ 1976.
- Antoniewicz J.: *Własności dielektryków, tablice i wykresy.* Warszawa, WNT 1971.
- DEHN & SOHNE: *Main Catalogue. Overvoltage protection. UE'96E.* Publication No. DS570/E/96. DEHN & SOHNE GMBH & CO.KG. ELEKTROTECHNISCHE FABRIK.
- Katalog HARRIS Suppression Products: *Technical Information. Semiconductor for transient voltage suppression applications.* Next level solutions 1999 - 2000.
- *Miernik izolacji i napięcia zapłonu odgromników. Typ MNZO. Dokumentacja elektryczna, schematy. Instrukcja Techniczno - Eksploatacyjna.* Wydawnictwo PPTT Zakład Techniczny w Lublinie. Ośrodek Badawczo-Rozwojowy. Lublin 1991.