



LABORATORIUM
MIERNICTWA ELEKTRYCZNEGO

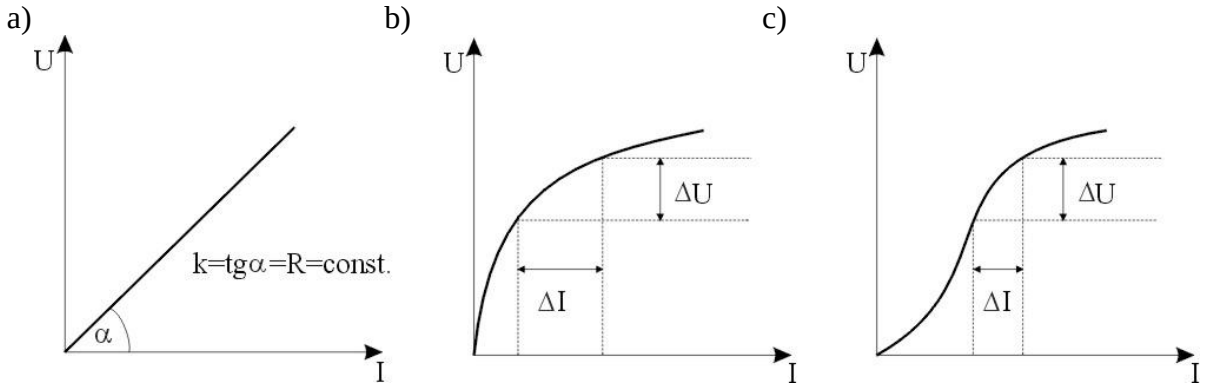
POMIAR REZYSTANCJI METODĄ TECHNICZNĄ

POMIAR REZYSTANCJI METODĄ TECHNICZNĄ

1. Wprowadzenie

Rezystancja jest wielkością określającą opór elektryczny w obwodach stałoprądowych lub składową czynną impedancji w obwodach zmiennoprądowych. Rezystancja tego samego obiektu może mieć różną wartość przy prądzie stałym lub zmiennym – wówczas rezystancje mierzy się metodami stałoprądowymi lub zmiennoprądowymi.

W elektrotechnice wyróżnia się tzw. rezystancje liniowe oraz nieliniowe zależne od kształtu charakterystyk napięciowo-prądowych (rys.1)



Rys. 1: Przykłady zależności napięcia od prądu płynącego przez badaną rezystancję:
a) rezystancja liniowa
b), c) rezystancje nieliniowe

Rezystancja liniowa ma stałą wartość R, określoną stałym nachyleniem charakterystyki i może być wyznaczona z dowolnych wartości prądu i napięcia:

$$R = \frac{U}{I} = k \cdot tg\alpha$$

Rezystancja nieliniowa odznacza się zmiennym nachyleniem charakterystyki k=f(I). Stosunek U/I ma różne wartości w poszczególnych punktach charakterystyki i określa tzw. rezystancję statyczną. Oprócz rezystancji statycznej wprowadza się pojęcie rezystancji dynamicznej R_d, którą określa pochodna w wybranym punkcie krzywej U=f(I):

$$R_d = \frac{dU}{dI}$$

Rezystancję dynamiczną można w przybliżeniu wyznaczyć ze stosunku przyrostów napięcia ΔU i prądu ΔI:

$$R_d \approx \frac{\Delta U}{\Delta I}$$

W przypadku obiektów nieliniowych rezystancja statyczna i rezystancja dynamiczna mają różne wartości zależne od prądu. Natomiast w przypadku obiektów liniowych rezystancja statyczna i dynamiczna są sobie równe i mają wartość stałą niezależną od prądu. Wymienione cechy wskazują, ze układy pomiarowe do badania rezystorów nieliniowych muszą zapewnić ściśle określone wartości wymuszeń prądowych (lub napięciowych). Dla rezystorów liniowych – wymuszenia te mogą być w szerokim zakresie (ograniczonym obciążalnością cieplną rezystora) dowolne.

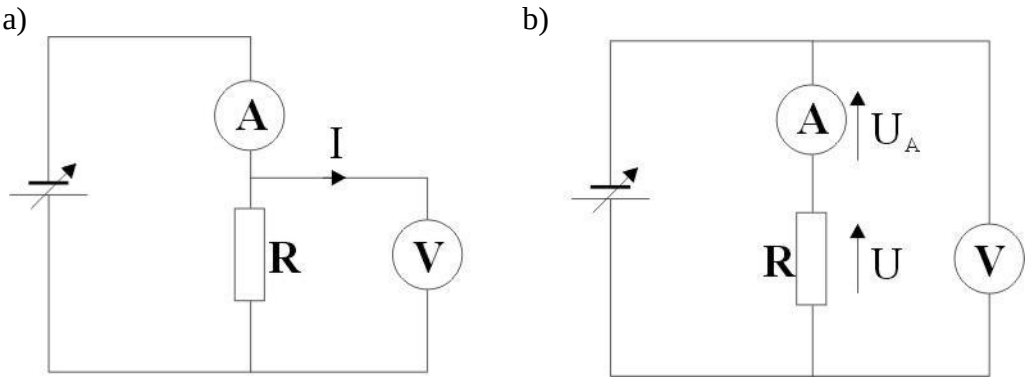
Powszechnie produkowana aparatura do pomiarów rezystancji (np. omomierze, mostki) na ogól nie zapewnia możliwości precyzyjnego nastawienia i kontroli prądu, dlatego nie można jej stosować do pomiaru rezystancji nieliniowych.

Pomiar rezystancji liniowych i nieliniowych zapewnia metoda techniczna.

METODA TECHNICZNA

Rezystancję R_X możemy wyznaczyć pośrednio, korzystając z prawa Ohma poprzez pomiar napięcia i natężenia prądu. Taki sposób postępowania przyjęto nazywać metodą techniczną pomiaru rezystancji.

Odpowiednie układy pomiarowe, w których zastosowano woltomierz i amperomierz przedstawione są na rys. 2.



rys. 2: Pomiar rezystancji R_X metodą techniczną:
a) układ prawidłowego pomiaru napięcia,
b) układ prawidłowego pomiaru prądu

Wskazania woltomierza (U) i amperomierza (I), będące podstawą do obliczenia badanej rezystancji:

$$Rx = \frac{U}{I}$$

powinny określać spadek napięcia na badanym rezystorze oraz płynący przez niego prąd. W rzeczywistości wymagania te nie są spełnione jednocześnie. W układzie z rys. 2. a)

poprawne są wskazania woltomierza, natomiast amperomierz wskazuje za dużo (o prąd I_V płynący przez woltomierz).

W układzie z rys. 2. b) poprawne są wskazania amperomierza, natomiast woltomierz wskazuje za dużo (o spadek napięcia U_A na amperomierzu).

Rezystancja R_X obliczona ze stosunku wskazań woltomierza (U) i amperomierza (I) jest w obu przedstawionych układach obarczona błędem systematycznym δ_m wynikającym z poboru mocy przez przyrządy. Błąd ten można obliczyć następująco:

dla układu wg rys. 2. a)		dla układu wg rys. 2. b)
$\frac{U}{I}$	wartość mierzona R_m	$\frac{U}{I}$
$\frac{U}{I - I_V}$	wartość poprawna $R_X = \frac{U}{I}$	$\frac{U - U_A}{I}$
$\frac{U}{I_X + I_V} - R_X = \frac{1}{\frac{1}{R_X} + \frac{1}{R_V}} - R_X$	błąd bezwzględny $\Delta_m = R_m - R_x$	$\frac{U_A}{I} = R_A$
$-\frac{1}{1 + \frac{R_V}{R_X}}$	błąd względny $\delta_m = \frac{\Delta_m}{R_X}$	$\frac{R_A}{R_X}$

gdzie: R_A, R_V – rezystancje amperomierza i woltomierza

Otrzymane zależności pozwalają z jednej strony na obliczenie odpowiednich poprawek do wyników pomiarowych, zaś z drugiej strony służą jako wzory projektowe przy doborze rezystancji przyrządów i układu połączeń według kryterium minimalnego błędu δ_m.

W praktyce najczęściej musimy decydować o wyborze układu połączeń przy zadanych rezystancjach R_A *i* R_V. W tym przypadku, znając w przybliżeniu wartość mierzoną R_X wystarczy sprawdzić, która z wartości błędu δ_m jest mniejsza

$$-\frac{1}{1 + \frac{R_V}{R_X}}$$ – w układzie poprawnie mierzonego napięcia

lub

$$\frac{R_A}{R_X}$$ – w układzie poprawnie mierzonego prądu

Błąd δ_m, jeżeli zachodzi taka potrzeba z wyniku pomiaru można, jak już wspomniano także wyeliminować. Pozostałe błędy niewyeliminowane podlegają randomizacji (otrzymują cechy błędów przypadkowych) i są uwzględniane przy obliczaniu **niepewności pomiaru (uncertainty)**.

Klasyfikacja niepewności

Zgodnie z ustaleniami międzynarodowymi wyróżnia się dwa typy niepewności:
1) niepewność typu A,
2) niepewność typu B.

Ad.1) **do niepewności typu A** zalicza się niepewności, których rozkłady są znane lub mogą być oszacowane na podstawie powtarzalnych pomiarów, wykonanych w nominalnie takich samych warunkach. Ocena niepewności typu A wykorzystuje ustalony algorytm: wyznacza się wartość średnią, niepewność pojedynczego wyniku oraz niepewność wartości średniej. Wyznaczenie niepewności typu A wymaga wykonania serii pomiarów, w celu ujawnienia losowego charakteru ich zmian.

Ad.2) jeśli niepewność szacowana jest nie na podstawie powtarzalnych pomiarów, ale innych danych, to nazywa się ją niepewnością typu B. Do **niepewności typu B** zaliczyć można niepewności przyrządów podane w ich dokumentacji, świadectwach kalibracji, wartości współczynników podane w normach i tablicach. Jeśli niepewność wyniku nie jest określona i nie ma możliwości jej oceny, to przedział niepewności określa się na podstawie liczby cyfr znaczących wyniku.

Pomiary pośrednie

Pomiar pośredni wielkości y (zwaną wyjściową) polega na wykonaniu pomiarów k wielkości mierzonych bezpośrednio (zwanymi wejściowymi), które oznacza się x_1, x_2, ... x_k, .Wielkość y jest funkcją wielkości x_k:

$$y = f(x_k)$$

Dla wielkości fizycznych mierzonych bezpośrednio należy obliczyć ich wartości średnie oraz niepewności standardowe $u(x_1)$, $u(x_2)$, ..., $u(x_k)$. Niepewności standardowe wielkości bezpośrednich mogą być obliczone zarówno metodą typu A, jak i metodą typu B. Oczywiście w przypadku metody typu B nie ma wartości średniej, a jedynie wynik pomiaru.

Wynik pomiaru wielkości y oblicza się ze wzoru:

$$\overline{y} = f(\overline{x_k})$$

Niepewność (bezwzględną) pomiaru wielkości y nosi nazwę niepewności złożonej u_c. Oblicza się ją przy użyciu następującego wzoru:

$$u_c(y) = \sqrt{\sum_{i=1}^{k}\left(\frac{\partial y}{\partial x_k}\right)^2 u^2(x_k)}$$

Niepewność względna pomiaru wielkości y nosi nazwę niepewności złożonej $u_{rel\,c}$. Oblicza się ją przy użyciu następującego wzoru:

$$u_{rel\ \ c}(y) = \frac{u_c(y)}{y}100\% = \sqrt{\sum_{i=1}^{k}\left(\frac{\partial y}{\partial x_k}\frac{x_k}{y}\right)^2 u_{rel}^2(x_k)}$$

a $u_{rel}(x_k) = \frac{u(x_k)}{x_k} 100\%$.

Przy obliczeniu pochodnych należy za x_k podstawić wartości średnie.

W często występującym przypadku dwóch wielkości mierzonych bezpośrednio (x_1 i x_2) wzór na niepewność bezwzględną przyjmuje postać:

$$u_c(y) = \sqrt{\left(\frac{\partial y}{\partial x_1}\right)^2 u^2(x_1) + \left(\frac{\partial y}{\partial x_2}\right)^2 u^2(x_2)}$$

a niepewność względna wyraża się:

$$u_{rel\ c}(y) = \sqrt{\left(\frac{\partial y}{\partial x_1}\frac{x_1}{y}\right)^2 u_{rel}^2(x_1) + \left(\frac{\partial y}{\partial x_2}\frac{x_{21}}{y}\right)^2 u_{rel}^2(x_2)}$$

Pomiary wielkości mierzonych bezpośrednio można podzielić na pomiary o wielkościach wejściowych nieskorelowanych i skorelowanych (w skrócie pomiary nieskorelowane i skorelowane). Pomiary nieskorelowane to pomiary, w których każdą wielkość fizyczną bezpośrednią mierzy się w innym, niezależnym doświadczeniu (na przykład każdą z wielkości bezpośrednich można mierzyć i obliczać w innym czasie). W laboratorium tym praktycznie wszystkie pomiary są pomiarami nieskorelowanymi. Zawsze więc, do obliczania niepewności złożonej należy stosować powyższe zależności.

Prawidłowy zapis wyników pomiaru

Wynik pomiaru zapisuje się zawsze wraz z niepewnością. Obie wielkości należy wyrazić w jednostkach podstawowych układu SI. Prawidłowy zapis wyniku należy rozpocząć od prawidłowego zapisu niepewności. Niepewność zapisuje się z dokładnością (zaokrągla) do maksymalnie dwóch cyfr znaczących. Wynik pomiaru zapisuje się z dokładnością określoną przez prawidłowy zapis niepewności, co oznacza, że ostatnia cyfra wyniku pomiaru i niepewności muszą stać na tym samym miejscu dziesiętnym.

Określenie warunków pomiaru rezystancji metodą techniczną

Zakres pomiaru oporów metodą techniczną wynika głównie z zakresu przyrządów stosowanych do pomiaru. Przy użyciu typowych przyrządów można mierzyć metodą techniczną oporności o zakresie około 0,1Ω – 1MΩ. O wartości granic decydują: zakresy posiadanych lub dostępnych przyrządów pomiarowych, dopuszczalna obciążalność mierzonej rezystancji pod względem wydzielonej w niej mocy oraz dopuszczalnego napięcia.

Moc nominalna P_{zn} opornika określa dopuszczalny prąd znamionowy:

$$Izn = \sqrt{\frac{Pzn}{Rzn}}$$

W czasie pomiaru temperatura opornika powinna pozostać praktycznie stała. Z tego powodu przyjmuje się prąd pomiarowy mniejszy od znamionowego:

$$I_{pom} = (0{,}1 \sim 0{,}5)I_{zn}$$

O wyborze konkretnej wartości prądu pomiarowego decyduje zakres amperomierza – pomiar prądu winien odbywać się przy wychyleniu wskazówki amperomierza bliskim maksymalnego. Błąd wnoszony do pomiaru przez przyrząd jest wtedy praktycznie równy jego klasie. Napięcie pomiarowe oblicza się według wzoru:

$$U_{pom} = I_{pom} \cdot R_x$$

i na podstawie obliczonej wartości dobiera się zakres woltomierza. Po doborze zakresów pomiarowych przyrządów przystępujemy do obliczenia błędów poszczególnych metod.

Tabela pomiarowa:

Lp.	Woltomierz					Amperomierz					Wyniki			
	α	C_u	U_V	$u_{rel}(U_V)$	R_v	α	Ci	I_A	$u_{rel}(I_A)$	R_A	R_x	$U_{rel}(R'_x)$	R_x	$U_{rel}(R_x)$
	dz	V/dz	V	%	Ω	dz	A/dz	A	%	Ω	Ω bez poprawki	% bez poprawki	Ω Z uwzględ. poprawki	% Z uwzględ. poprawki
1 ... 10 ...														

2. PROGRAM ĆWICZENIA

a) zmierzyć rezystancję wskazanych rezystorów
1. dobrać napięcie zasilania i zakresy przyrządów
2. dobrać układ pomiarowy
3. podać wynik pomiaru rezystancji badanych elementów, ocenić niedokładności pomiaru za pomocą niepewności,

b) zamierzyć charakterystykę prądowo-napięciową elementu nieliniowego oraz wyznaczyć jego rezystancję w określonym punkcie charakterystyki.

3. UWAGI DO WYKONANIA ĆWICZENIA

Przy doborze napięcia zasilania układów pomiarowych zwracać uwagę na dopuszczalne obciążenie obiektu mierzonego.

Ćwiczenie rozpocząć od pomiaru tej samej rezystancji w innych układach pomiarowych. Porównać uzyskane wyniki. Pomiar charakterystyki elementu nieliniowego rozpocząć od zorientowania się w przebiegu charakterystyki, następnie wybrać układ pomiarowy i punkty pomiarowe tak, aby w miejscach większych krzywizn punkty były rozłożone gęściej niż w części liniowej.

4. ZADANIA I PYTANIA KONTROLNE

1. Dlaczego w pomiarach rezystancji metodą pośrednią potrzebna jest znajomość prądu znamionowego woltomierza oraz znamionowego spadku napięcia na amperomierzu?
2. Jaki układ należałoby dobrać do pomiaru R_X= 100Ω, jeżeli dysponowaliśmy woltomierzem i amperomierzem pracującym praktycznie bez poboru mocy.
3. Rezystancję R_X zmierzono w układzie poprawnego pomiaru napięcia wykorzystując woltomierz kl. 1 o rezystancji R_V = 15 kΩ i zakresie U_V = 30V oraz amperomierz kl. 1 na zakres I_n=60mA. W czasie pomiaru tej rezystancji przyrządy wskazywały: I=52,2mA i U=24,6V. Podać wynik pomiaru uwzględniając w zapisie poprawkę na błąd metody.
4. Jakie klasy dokładności, zakresy pomiarowe i rezystancje wewnętrzne powinny mieć: woltomierz i amperomierz magnetoelektryczny zastosowane do pomiaru rezystancji R_X=20Ω, 0,5W, aby niepewność pomiaru nie była większa niż 1,5% dla poziomu ufności równym 95%.

LITERATURA

1. „Wyrażanie niepewności pomiaru“. Przewodnik. Główny Urząd Miar, Warszawa 1999,
2. Jellonek A., Gąszczak J.: „Podstawy miernictwa elektrycznego dla elektroników cz. I Pomiary przy prądzie stałym” PWN Warszawa,
3. Skubis T., „Podstawy metrologicznej interpretacji wyników pomiaru”, Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice 2004.