

Pomiar rezystancji metodą techniczną

Cel ćwiczenia.

Poznanie metod pomiarów rezystancji liniowych, optymalizowania warunków pomiaru oraz zasad obliczania błędów pomiarowych.

Zagadnienia teoretyczne.

Definicja błędu i poprawki.

R_{xp} – rezystancja z pomiaru,

R_x – rzeczywista wartość rezystancji (tutaj mierzone miernikiem cyfrowym),

X_p – pomiar,

X – wielkość rzeczywista

Proces pomiarowy jest doświadczeniem fizycznym. Niedoskonałość doświadczenia powoduje zniekształcenie wyniku. Wartość otrzymana w wyniku pomiaru różni się od wartości wielkości mierzonej.

Różnica Δ między wartością X_p otrzymaną w wyniku pomiaru a wartością rzeczywistą X wielkości mierzonej nazywa się uchybem bezwzględnym pomiaru:

$$\Delta = X_p - X \quad (1)$$

Dokładność pomiaru charakteryzuje uchyb względny pomiaru δ czyli stosunek uchybu bezwzględnego do wartości wielkości mierzonej:

$$\delta = \frac{\Delta}{X} = \frac{X_p - X}{X} \quad (2)$$

Uchyb bezwzględny wzięty ze znakiem przeciwnym nazywa się poprawką:

$$P = -\Delta \quad (3)$$

Aby otrzymać wartość rzeczywistą wielkości mierzonej należy dodać poprawkę do wartości otrzymanej w wyniku pomiaru:

$$X = X_p + p \quad (4)$$

Uchyby wywołane są przez:

- wady metody pomiarowej i środków pomiarowych,
- niedostateczna znajomość wszystkich okoliczności związanych z badanym zjawiskiem,
- niedoskonałość zmysłów obserwatora lub nieuwaga,
- zmiany w czasie pomiarów tych parametrów, które zakłada się że są stałe.

Uchyb można podzielić na trzy grupy:

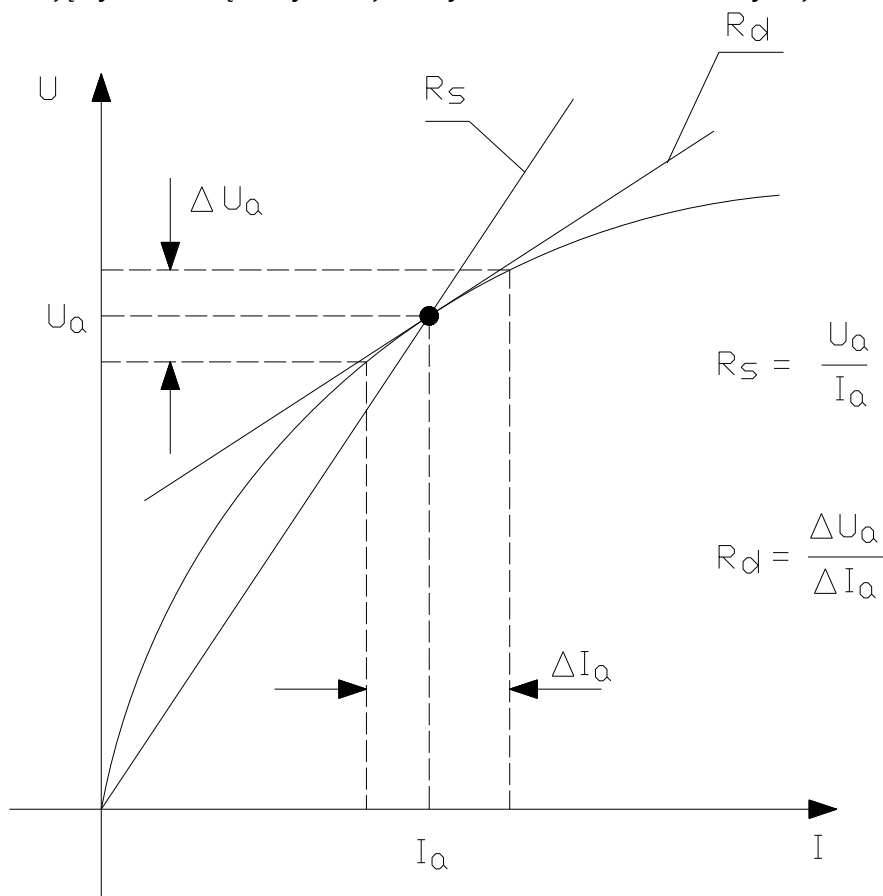
- uchyb systematyczny,
- uchyb przypadkowy,
- omyłki.

Uchyb systematyczny to taki uchyb których pochodzenie jest znane mierzącemu. Uchyby te mogą mieć wartość stałą lub zmieniającą się według określonego prawa.

Wiadomości ogólne.

Rezystancja jest parametrem elementu lub obiektu charakteryzującym straty energii w tym obiekcie. Zgodnie z prawem Ohma, jest to stosunek spadku napięcia powstałego na elemencie do natężenia przepływającego przez niego prądu. W obwodzie prądu zmiennego rezystancja określana jest jako składowa czynna impedancji.

Elementy rezystancyjne można podzielić na liniowe i nieliniowe. Rezystancja elementu liniowego ma stałą wartość w każdym punkcie charakterystyki $U = f(I)$, natomiast zmienną wartość dla elementu nieliniowego. Stosunek U/I określa tzw. rezystancję statyczną, natomiast stosunek przyrostu napięcia i prądu $\Delta U/\Delta I$ określa rezystancję dynamiczną. Rezystancja statyczna elementów liniowych jest równa ich rezystancji dynamicznej.



Rys. 1. Wyjaśnienie pojęć rezystancji statycznej R_s i dynamicznej R_d .

R_s – rezystancja statyczna (współczynnik kierunkowy prostej poprowadzonej przez punkt a i początek układu współrzędnych), R_d – rezystancja dynamiczna (współczynnik kierunkowy stycznej do krzywej w punkcie a). Rezystancje te zmieniają swoje wartości wraz ze zmianą natężenia prądu przepływającego przez element, dlatego dla tego typu elementów określenie rezystancji wykonuje się poprzez pomiar charakterystyki prądowo – napięciowej

$$U = f(I).$$

Do pomiarów rezystancji najczęściej wykorzystywane są metody :

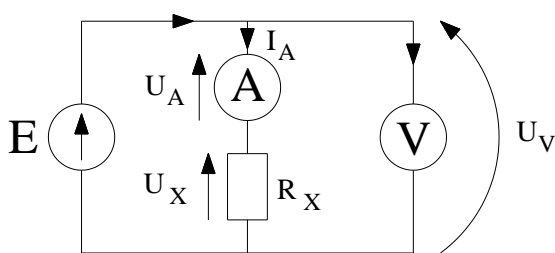
- bezpośrednia,
- pośrednia
- zerowa
- porównawcza

Metoda bezpośrednia.

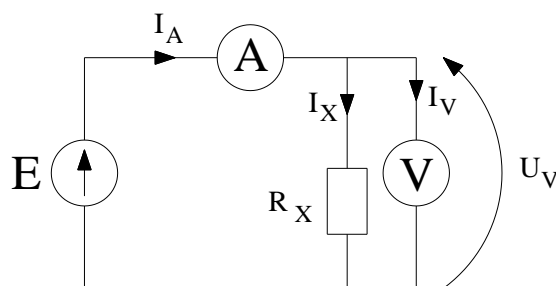
Przyrządy przeznaczone do pomiarów bezpośrednich rezystancji liniowych pracują metodą przetwarzania rezystancji na prąd (omomierze analogowe) lub na napięcie (omomierze cyfrowe). Zasada pomiaru wynika z prawa Ohma i jest możliwa, jeśli w obwodzie pomiarowym napięcie lub prąd mają wartość stałą; wówczas odpowiednio prąd lub napięcie w obwodzie zależą tylko od wartości R_x . Omomierze analogowe są względnie prostymi, przenośnymi przyrządami stosowanymi wtedy, gdy wymagania dokładnościowe nie są zbyt wysokie. Większą dokładnością charakteryzują się omomierze cyfrowe.

Metoda pośrednia.

Metoda pośrednia nazywana jest również metodą techniczną. Stosowana jest przede wszystkim do pomiarów rezystancji nieliniowych, może być wykorzystywana do pomiarów rezystancji liniowych. Do pomiarów tą metodą używa się woltomierza i amperomierza, a wynik pomiaru obliczany jest z prawa Ohma. Podczas pośredniego pomiaru rezystancji R_x nie jest możliwy jednoczesny prawidłowy pomiar prądu I_x płynącego przez rezystor i występującego na nim napięcia U_x . Dwie możliwości wzajemnego usytuowania w obwodzie amperomierza i woltomierza, spowodowały, że pomiary rezystancji metodą pośrednią mogą odbywać się w dwóch układach, przedstawionych na rys. 2 i 3.



Rys.2. Układ poprawnie mierzonego prądu.



Rys.3. Układ poprawnie mierzonego napięcia.

W układzie z poprawnie mierzonym prądem (rys.2), poprawne jest wskazanie amperomierza, natomiast woltomierz wskazuje wartość powiększoną o spadek napięcia U_A na amperomierzu o rezystancji R_A . Błąd ten jest zawsze dodatni, tzn. powodujący, że obliczona rezystancja R_x jest większa od rzeczywistej. Otrzymana z pomiaru rezystancja R_{xp} wynosi:

$$R_{xp} = \frac{U_V}{I_A} = R_A + R_x \quad (5)$$

gdzie: R_x – wartość rzeczywista rezystancji,

Stąd błąd bezwzględny metody dokładnego prądu jest równy:

$$\Delta i = R_{xp} - R_x = R_A \quad (6)$$

Względny błąd metody wynosi:

$$\delta_i = \frac{\Delta i}{R_x} = \frac{R_A}{R_x} \quad (7)$$

Metodę poprawnie mierzonego prądu powinno stosować się do pomiarów rezystancji dużych, tzn. gdy :

$$R_x \gg R_A \quad (8)$$

W układzie z rys. 2, zwanym układem z poprawnie mierzonym napięciem, poprawne jest wskazanie woltomierza, natomiast amperomierz wskazuje wartość prądu powiększoną o prąd I_V płynący przez woltomierz o rezystancji wejściowej R_V . Zmierzona wartość rezystancji R_{xp} wynosi :

$$R_{xp} = \frac{U_V}{I_A} = \frac{U_V}{I_x + I_V} = \frac{U_V}{\frac{U_V}{R_x} + \frac{U_V}{R_V}} = \frac{R_V R_x}{R_V + R_x} \quad (9)$$

Błąd bezwzględny metody dokładnego napięcia jest równy:

$$\Delta_V = R_{xp} - R_x = \frac{R_V R_x}{R_V + R_x} - R_x = -\frac{R_x^2}{R_V + R_x} \quad (10)$$

Zmierzona rezystancja jest więc mniejsza od rzeczywistej. Błąd względny będzie wynosił:

$$\delta_V = \frac{\Delta_V}{R_x} = -\frac{R_x}{R_V + R_x} \quad (11)$$

Metoda powyższa powinna być stosowana do pomiarów rezystancji niedużych, tzn. gdy

$$R_x \ll R_V \quad (12)$$

W obu układach występują tzw. błędy metody, których źródłem są rezystancje wewnętrzne używanych w pomiarach mierników. Minimalizacja tych błędów wymaga zastosowania amperomierzy o możliwie małej rezystancji oraz woltomierzy o możliwie dużej rezystancji. Błąd ten jest błędem systematycznym (ma określoną wartość i znak) i dlatego może być wyeliminowany z wyniku pomiaru w postaci poprawki.

Końcowy zapis wyniku pomiaru mierzonej rezystancji powinien zawierać następujące elementy składowe :

$$R_x = R_{xp} + p \pm \Delta R_x \quad (13)$$

gdzie : $R_{xp} = U_V / I_A$ - zmierzona wartość rezystancji; $P = \Delta_m$ ($m=i$ metoda dokładnego prądu; $m=v$ metoda dokładnego napięcia) – poprawka ze względu na błąd metody;

ΔR_x - niedokładność pomiaru rezystancji wynikająca z niedokładności użytych przyrządów pomiarowych.

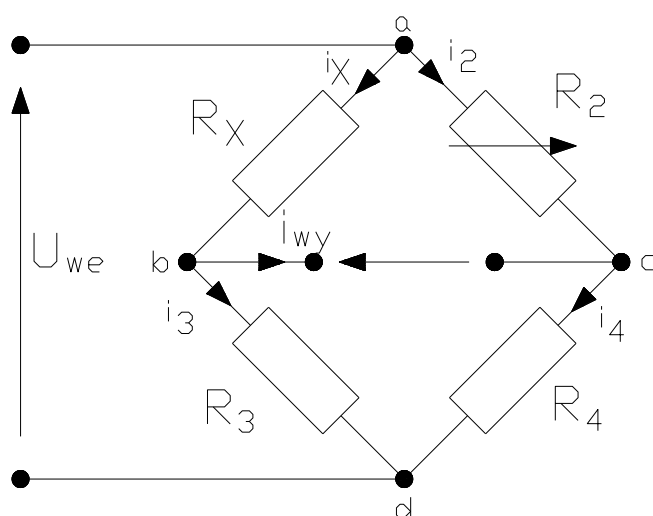
Poprawkę Δ_p można pominąć, jeżeli $P \leq 0,1 \Delta R_x$.

Wartością rezystancji, rozgraniczającą stosowanie jednego lub drugiego układu pomiarowego jest rezystancja graniczna R_{gr} :

$$R_{gr} = \sqrt{R_A R_V} \quad (14)$$

Jeżeli spodziewana wartość rezystancji mierzonej R_x jest mniejsza od rezystancji granicznej R_{gr} , należy zastosować układ poprawnie mierzonego napięcia, w przeciwnym przypadku układ poprawnie mierzonego prądu.

Mostki rezystancyjne realizują tzw. zerową metodę pomiaru rezystancji i pozwalają na znacznie większą dokładność pomiarów, zwłaszcza bardzo małych rezystancji. Chociaż jest to pomiar bezpośredni, to wymaga zrównoważenia mostka. Typowym mostkiem jest czteroramienny mostek Wheatstone'a, działający na zasadzie porównania spadków napięć na rezystancjach wzorcowych mostka i rezystancji mierzonej.



Rys.4. Układ mostkowy do pomiaru rezystancji.

Regulując elementem R_2 doprowadza się do stanu równowagi. W stanie równowagi $U_{wy} = 0$. Oznacza to że potencjały punktów b i c są sobie równe czyli $V_b = V_c$. Wiadomo że prąd płynie pod wpływem różnicy potencjałów. W tych warunkach prąd $i_{wy} = 0$ i równe stają się sobie prądy

$$i_x = i_3;$$

$$i_2 = i_4; \quad (15)$$

Równe są sobie napięcia tj.

$$R_x i_x = R_2 i_2 \quad (16)$$

$$R_3 i_3 = R_4 i_4 = R_4 i_2 \quad (17)$$

Dzieląc stronami równanie (16) przez (17) otrzymuje się warunek równowagi mostka:

$$\frac{R_x}{R_3} = \frac{R_2}{R_4}$$

skąd:

$$R_x = R_2 \frac{R_3}{R_4} \quad (18)$$

Zazwyczaj, stosunek oporników R_3 do R_4 może być ustawiany na jedną z następujących wartości: 0,01; 0,1; 1; 10; itd., co umożliwia zmianę zakresu mostka. Wartość rezystancji opornika R_2 może być płynnie regulowana tak, aby osiągnąć stan równowagi mostka. Zatem znając wartości rezystancji R_2 , R_3 i R_4 można dokładnie wyznaczyć nieznaną wartość rezystancji R_x .

Metody porównawcze.

Do najdokładniejszych pomiarów rezystancji używa się kompensatorów laboratoryjnych. Wykonują one pomiary metodą porównawczą. Polega ona na pomiarze (tym samym woltomierzem), spadków napięcia kolejno na oporniku badanym R_x i wzorcowym R_N , przez które płynie ten sam prąd. Jeżeli rezystancja woltomierza jest dostatecznie duża, a prąd w obwodzie nie zmienia się, to $U_N = I R_N$, $U_x = I R_x$

skąd :

$$R_x = R_N \frac{U_x}{U_N} \quad (19)$$

Przebieg ćwiczenia – badania oraz pomiary.

1. Bezpośrednie pomiary rezystancji.

- korzystając z omomierza cyfrowego dokonać pomiarów wybranych rezystorów. Pomiar R_x omomierzem cyfrowym potraktować jako poprawny. Zanotować także wartości rezystancji (wraz z tolerancją) określone przez producenta (nadruk na rezystorze).
- przykładowa tabela pomiarowa

Tabela 1. Wyniki pomiaru bezpośredniego

Pomiar	Parametry rezystorów				Uwagi :
	wartość R	moc P	tolerancja	I_{max}	
Ω	Ω	W	%	mA	

- dla pomierzonych rezystorów obliczyć dopuszczalne prądy jakie mogą przez nie przepływać korzystając z zależności : $I_{max} = \sqrt{P/R}$

Pośredni pomiar rezystancji (elementu liniowego).

- wykonać pomiary wartości rezystorów R_x w układzie poprawnie mierzonego prądu (Rys.1), a następnie w układzie poprawnie mierzonego napięcia (Rys.2), pamiętając aby w trakcie pomiarów nie przekroczyć wartości prądu I_{max} obliczonej dla badanych rezystorów.
- przykładowa tabela pomiarowa

Tabela 2.

Układ poprawnie mierzonego prądu						
Pomiary		Obliczenia			Błąd pomiaru	Uwagi :
I_A	U_v	$R_{xp} = U_v / I_A$	Δ	p	ΔR_x	
mA	V	Ω				
						R1
						R2

Tabela 3.

Układ poprawnie mierzonego napięcia						
Pomiary		Obliczenia			Błąd pomiaru	Uwagi :
I_A	U_v	$R_{xp} = U_v / I_A$	Δ	p	ΔR_x	
mA	V	Ω				
						R1
						R2

Δ - bezwzględny błąd metody, obliczony odpowiednio z zależności (2) lub (4)

(w trakcie ćwiczenia należy zanotować wartości rezystancji wejściowych woltomierza i amperomierza)

p = - Δ - poprawka eliminująca błąd metody

$\Delta R_x = (R_{xp} + p) - R_x$ - błąd pomiaru;

U_v, I_A - wskazania mierników podczas pomiaru.

W sprawozdaniu należy przedstawić m.in.:

1. Wyniki pomiarów wartości rezystorów – tab.1
2. Rezultaty pomiarów rezystancji metodą pośrednią (tabele 2 i 3); obliczone wartości R_{xp} rezystancji badanych rezystorów, błędy metody – wzór (2) i (4). Skomentować we wnioskach przydatność obu układów do pomiarów badanych rezystancji. Preferowany powinien być ten układ, który daje mniejszy błąd pomiarowy.