

Zespół Szkół Technicznych im. J. i J. niadeckich w Grudzi dzu



Laboratorium Elektryczne . Pracownia Automatyki
i Robotyki (s.48)

Instrukcja Laboratoryjna: Pomiar rezystancji, indukcyjno ci i pojemno ci

Opracował mgr in . Marcin Jabło ski

Pomiar rezystancji, indukcyjności i pojemności

Cel wiczenia

Celem wiczenia jest poznanie podstawowych metod pomiaru rezystancji, indukcyjności i pojemności.

Program wiczenia:

1. Wiadomości ogólne

1.1. Pomiary rezystancji prądami stałymi.

1.1.1. Metoda bezpośredniego pomiaru rezystancji.

1.1.2. Metoda mostkowa, przy użyciu technicznego mostka Wheatstone'a.

1.1.3. Metoda mostkowa, przy użyciu technicznego mostka Thomsona.

1.1.4. Metoda techniczna.

1.1.5. Pomiar rezystancji za pomocą megaomomierza indukcyjnego (induktora)

1.2. Pomiary indukcyjności i pojemności.

1.2.1. Metody mostkowe

1.2.2. Metoda techniczna

2. Badania laboratoryjne.

2.1. Pomiary rezystancji prądami stałymi

2.1.1. Metoda bezpośrednia.

2.1.2. Metoda mostkowa.

2.1.3. Metoda techniczna.

2.1.4. Pomiar dużych rezystancji za pomocą megaomomierza.

2.2. Pomiary indukcyjności i pojemności.

2.2.1. Metoda techniczna.

2.2.1. Metoda mostkowa.

3. Dyskusja wyników pomiarów i wnioski.

1. Wiadomości ogólne

Podczas przepływu prądu elektrycznego, na skutek zderzeń elektronów swobodnych z cząsteczkami materiału przewodnika, występuje zjawisko zamiany energii elektrycznej w energię ciepłą, która wydzielona jest na zewnątrz obwodu. Powyższe zjawisko charakteryzowane jest istnieniem oporu elektrycznego - rezystancji R , tego obwodu.

Rezystancja R obwodu, przy prądzie przemiennym jest zwykle większa niż przy prądzie stałym. Można to szczególnie zauważyć przy wysokich częstotliwościach. Występuje wtedy wypieranie elektronów do powierzchni zewnętrznej przewodu i w wyniku tego, gęstość prądu w przekroju poprzecznym przewodu jest nierównomierna, większa przy powierzchni, a mniejsza w jego środku.

Zjawisko to nazywa się naskórkowością, a konsekwencją jego są straty dodatkowe, które występują w obwodzie elektrycznym.

Z tego powodu w technice wysokich częstotliwości stosuje się przewody miedziane srebrzone lub nawet wykonane w postaci rurek. Przy częstotliwości technicznej 50Hz straty dodatkowe uwzględnia się w zasadzie tylko w torach prowadzących o dużych przekrojach i przy kształtach prostokątnych, np. w szynach wiodących prąd w rozdzielni.

Poza zjawiskiem wydzielania się energii cieplnej z przepływem prądu występuje również nierozdzielalne istnienie pola magnetycznego oraz pola elektrycznego, w otoczeniu przewodu wiodącego prąd. Zjawiska te związane są odpowiednio z indukcyjnością własną L oraz z pojemnością C obwodu.

Przy prądzie stałym indukcyjność L nie odgrywa żadnej roli, gdy indukcyjny spadek napięcia na niej

$$U_L = L \frac{di}{dt}$$

jest równy zero (ponieważ $\frac{di}{dt} = 0$). Wobec tego czynnikiem obwodu zawierającym indukcyjność można uważać za zwarcie. Prąd płynący przez kondensator o pojemności C można określić równaniem:

$$i = \frac{dq}{dt} = C \cdot \frac{du}{dt}$$

gdzie q - ładunek elektryczny.

Wobec tego, że dla prądu stałego $\frac{du}{dt} = 0$, pojemność C stanowi przerwę dla tego prądu. Przy prądzie przemiennym należy uwzględnić zarówno siłę elektromotoryczną samoindukcji cewki, jak i prąd ładowania oraz rozładowania kondensatora.

Powyższe zjawiska w analizie obwodów prądu przemiennego uwzględnia się przez wprowadzenie dodatkowych oporów nazwanych opornościami biernymi lub reaktancjami.

Występuje zatem reaktancja indukcyjna określona zależnością:

$$X_L = \omega L = 2\pi f \cdot L \text{ [}\Omega\text{]} \quad (1.1)$$

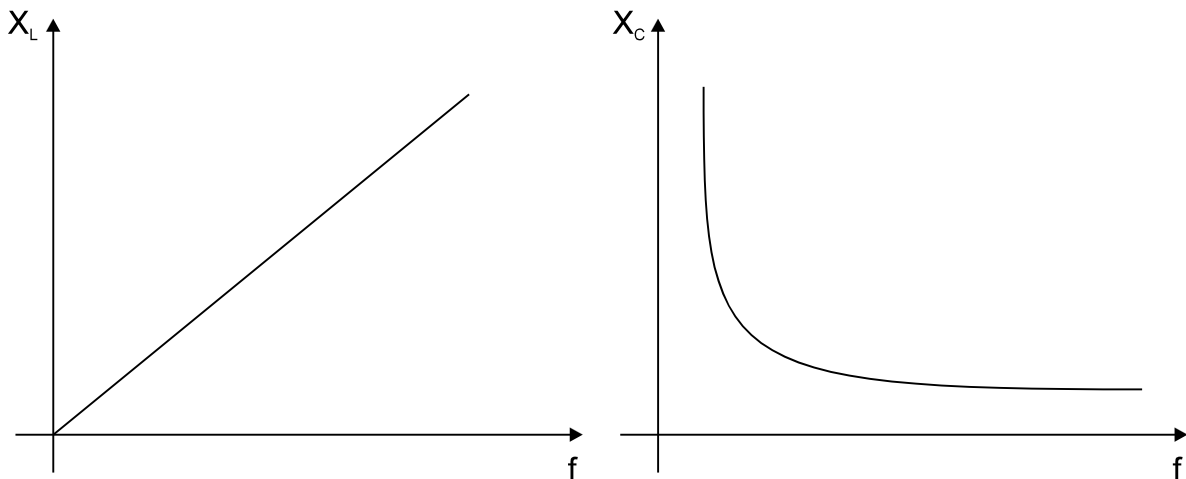
oraz reaktancja pojemnościowa:

$$X_C = \frac{1}{\omega C} = \frac{1}{2\pi f \cdot C} \text{ [}\Omega\text{]} \quad (1.2)$$

gdzie: ω - pulsacja prądu w obwodzie

f - częstotliwość prądu w obwodzie

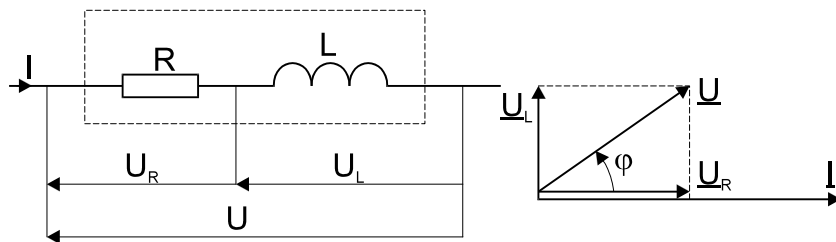
Zależności zmian reaktancji od częstotliwości podano na rys. 1.1.



Rys.1.1. Przebiegi zmian reaktancji X_L i X_C w zależności od częstotliwości.

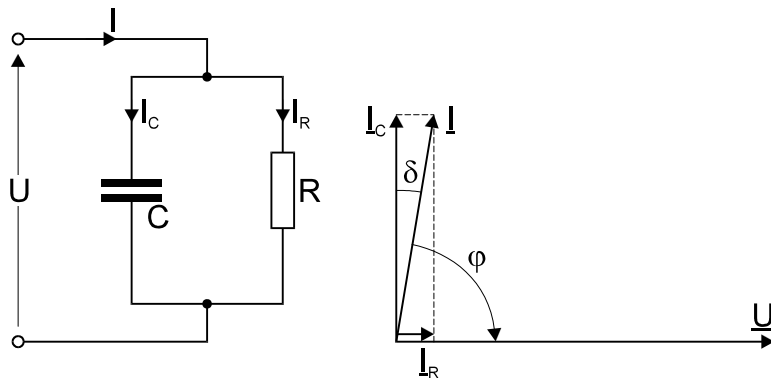
Elementy obwodu, w których występuje tylko jedna z omawianych powyżej wielkości R lub L lub C , nazywa się elementami idealnymi. W rzeczywistości wymienione wielkości występują zawsze jednocześnie, są nierozdzielnie związane z przepływem prądu. Elementy rzeczywiste można na schemacie zastąpić, jako połączenie elementów idealnych. Metoda ta jest stosowana w elektrotechnice i umożliwia analizę wadliwych obwodów elektrycznych.

Na przykład, rzeczywisty cewkę indukcyjną najczęściej przedstawia się jako szeregowe połączenie idealnej cewki L i idealnego rezystora R (rys.1.2a).



Rys.1.2a. Schemat zastąpienia i wykres wektorowy rzeczywistej cewki indukcyjnej.

Rzeczywisty kondensator na schemacie zastępuje najczęściej przedstawia się jako równoległe połączenie idealnego kondensatora C i idealnego rezystora R (rys.1.2b).



Rys.1.2b. Schemat zastąpienia i wykres wektorowy kondensatora rzeczywistego.

W celu scharakteryzowania strat energii w rzeczywistym kondensatorze podaje się kąt stratności δ lub czynność stratną kondensatora.

$$\operatorname{tg} \delta = \frac{I_R}{I_C}$$

Moc czynna tracona w kondensatorze wydziela się w postaci ciepła w zdień jako ciepło dielektryku tego kondensatora. Straty mocy w kondensatorze powinny być jak najmniejsze, a więc dobry kondensator powinien mieć małą kąt stratności (od ułamka stopnia do kilku stopni). Kąt stratności kondensatora $\operatorname{tg} \delta$ jest w tym parametrem (poza pojemność C) i dlatego istnieją specjalne automatyczne układy mostkowe do jej pomiaru.

Oporność zastępczą układu przedstawionego na rys.1.2. nazywa się opornością pozorną lub impedancją. Oznaczono ją literą Z . Moduł impedancji układu z rys.1.2. obliczamy ze wzoru

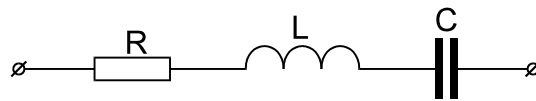
$$Z = \sqrt{R^2 + X_L^2} = \sqrt{R^2 + (\omega L)^2} \quad [\Omega] \quad (1.3.)$$

Schematy zastępcze elementów rzeczywistych zależą od czynności przy której dane elementy pracują. W zależności od czynności poszczególne elementy R , L , C będą odgrywały w tym schemacie mniejszą lub większą rolę.

Dla różnych czynności można narysować odpowiednie schematy zastępcze stanowiące w ogólnym połączeniu szeregowe, równoległe lub szeregowo-równoległe elementów idealnych R , L , C .

Dla układu szeregowego R , L , C , podanego na rys.1.3. Moduł impedancji Z obliczamy z zależności:

$$Z = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2} = \sqrt{R^2 + (\omega L - \frac{1}{\omega C})^2} \quad [\Omega] \quad (1.4.)$$



Rys.1.3. Szeregowe połączenie elementów R , L , C .

Prawo Ohma dla dowolnego elementu rzeczywistego lub całego obwodu dowolnie połączonego zasilanego napięciem sinusoidalnie przemiennym o wartości skutecznej U , można napisać w postaci

$$U = Z \cdot I \quad (1.5.)$$

gdzie I - wartość skuteczna prądu

Z - moduł impedancji obwodu

W przypadku połączenia równoległego elementów RLC wygodniej jest wprowadzić pojemność przewodności obwodu, tzn. admitancji

$$Y = \frac{1}{Z}$$

Część rzeczywista admitancji nazywamy konduktancją G lub przewodnością czynną, a część urojona, tzn. przewodność B nazywamy susceptancją. Moduł admitancji wyraża się wzorem

$$Y = \sqrt{G^2 + B^2}$$

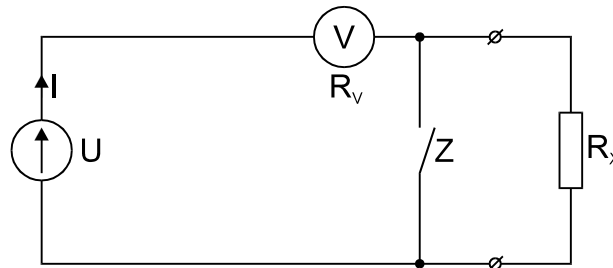
Prawo Ohma, dla połączenia równoległego można zapisać wzorem

$$I = Y \cdot U$$

1.1. Pomiary rezystancji prądami stałymi

1.1.1. Metoda bezprądniowa pomiaru rezystancji

Pomiaru bezprądniowej wartości rezystancji można dokonać omomierzem. Układ omomierza szeregowego przedstawiono na rys.1.4.



Rys.1.4. Schemat omomierza woltomierzowego typu szeregowego.

V - woltomierz magnetoelektryczny o rezystancji R_V wyskalowany w omach

R_X - rezystancja mierzona,

U - źródło zasilające,

Z - zwierak (w praktyce przewód zwierający zaciski pomiarowe).

Jeżeli rezystancję R_X zerujemy zwierakiem Z, wówczas woltomierz wskazuje napięcie źródła U, natomiast po otwarciu Z, woltomierz wskazuje napięcie U_X (mniejsze od napięcia U o spadek napięcia na oporności R_X).

Natężenie prądu płynącego w obwodzie przy otwartym zwieraku można określić wzorem:

$$I = \frac{U}{R_V + R_X} = \frac{U_X}{R_V}$$

czyli

$$U_X = U \cdot \frac{R_V}{R_V + R_X} \quad (1.6.)$$

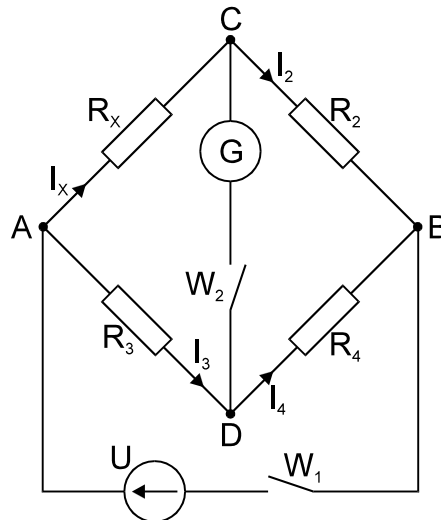
Wychylenie wskazówki miernika zależy od rezystancji mierzonej. Miernik jest wyskalowany w ten sposób, że maksymalne wychylenie organu ruchomego (kołowa wartość skali woltomierza) odpowiada zwarceniu rezystancji mierzonej, czyli $R_X=0$. Rozwarciem zacisków miernika, ($R_X = \infty$) odpowiada zero na skali woltomierza. Podziałka omomierza nie jest równomierna, zagęszcza się w kierunku rezystancji rosnących.

Jak wynika z zależności (1.6.) wskazania omomierza zależą od napięcia źródła zasilającego. Napięcie to w miarę upływu czasu maleje. W celu kompensacji wpływu zmiany napięcia źródła na wynik pomiaru, stosuje się przed pomiarem zerowanie omomierza, na odpowiednim zakresie pomiarowym. Uzyskuje się je przez zmianę rezystancji dodatkowej w obwodzie zasilania lub przez zmianę położenia bocznika magnetycznego w mierniku czyli przez zmianę indukcji magnetycznej w szczelinie powietrznej przyrządu.

1.1.2. Metoda mostkowa przy użyciu technicznego mostka Wheatstone'a

Schemat mostka Wheatstone'a przedstawiony jest na rys.1.5.

Zawiera on cztery ramiona, w które włączone są trzy znane oporniki regulowane R_2 , R_3 , R_4 , oraz rezystancja mierzona R_X .



Rys.1.5. Mostek Wheatstone'a

Pomiar rezystancji R_X polega na doprowadzeniu mostka do stanu równowagi, w którym przez galwanometr G nie płynie prąd ($I_G=0$). Oznacza to, że potencjały punktów C i D są jednakowe, czyli $U_{CD}=0$. W stanie równowagi obowiązują zależności:

$$I_X=I_2 \qquad I_3=I_4 \qquad (1.7)$$

oraz

$$I_X R_X = I_3 R_3 \qquad R_2 I_2 = I_4 R_4 \qquad (1.8)$$

Dzieląc stronami wyrażenia (1.8) oraz uwzględniając (1.7) otrzymamy:

$$\frac{R_X}{R_2} = \frac{R_3}{R_4} \qquad (1.9)$$

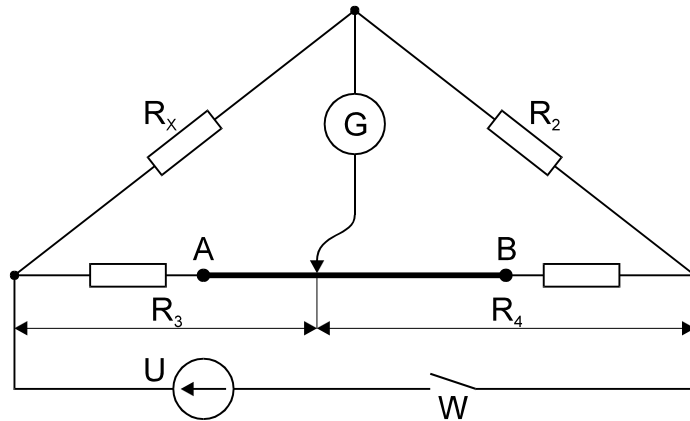
czyli

$$R_X = \frac{R_3}{R_4} \cdot R_2 \qquad (1.10)$$

W mostkach technicznych rezystancje R_3 i R_4 zastępuje oporowym drutem lizgowym, po którym przesuwa się ruchomy styk. Styk ten zaopatrzone jest w tarczę z podziałką pozwalającą odczytać wartość stosunku $\frac{R_3}{R_4}$. Rezystor R_2 wykonany jest jako dekadowy, umożliwiając nastawienie następujących wartości: $0,01\Omega$; $0,1\Omega$; 1Ω ; 10Ω ; 100Ω ; 1000Ω .

Wszystkie elementy układu mostkowego, łącznie ze źródłami zasilającymi w mostkach technicznych umieszczone są we wspólnej obudowie miernika. Możliwe jest również zasilanie mostka ze źródła zewnętrznego.

Zakres pomiarowy mostka Wheatstone'a zawiera się najczęściej w granicach od 1Ω do $10^4\Omega$. Dolna granica wynika z wpływu dodatkowej rezystancji przewodów łączeniowych oraz rezystancji miejsc styku przewodów z badanym rezystorem na rezystancję mierzoną R_X . Górna granica zakresu pomiarowego jest uzależniona od czułości zastosowanego wskaźnika równowagi mostka (galwanometru), wartości napięcia źródła zasilania oraz rezystancji R_2 , R_3 i R_4 .



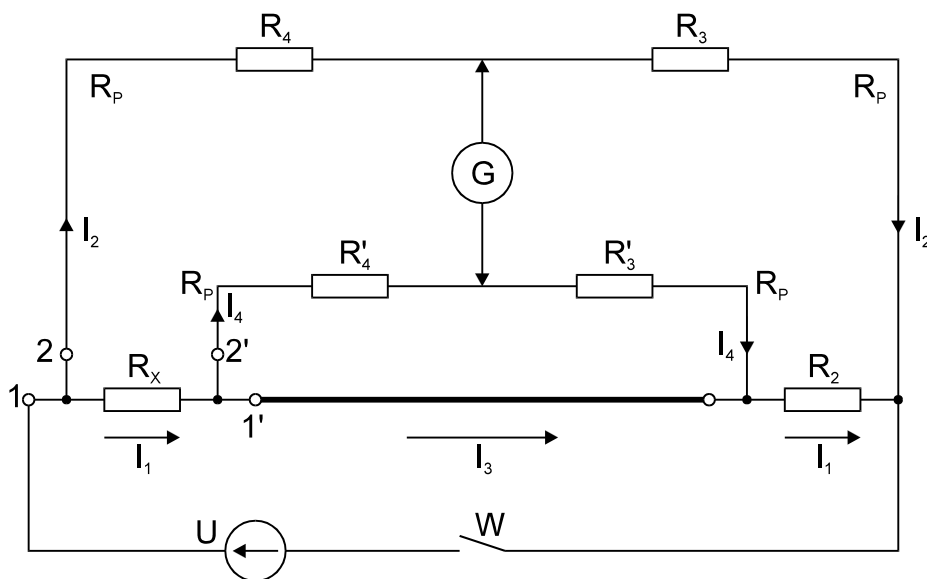
Rys.1.6. Mostek techniczny Wheatstone'a z drutem lizgowym - AB

Z problemami tymi wi e si tak e poj cie czu ci wzgl dnej mostka. Mo na stwierdzi , e czu ci wzgl dna mostka (miara jego dok adno ci) jest najwi ksza, gdy:

- napi cie zasilaj ce mostek b dzie mia ci warto maksymaln ,
- czu ci pr dowa galwanometru b dzie jak najwi ksza,
- rezystancja w ga ci drugiej b dzie rwna rezystancji mierzonej, a rezystancja w ga ci trzeciej b dzie zawarta w przedziale $R_3=(0,01...0,1)R_x$.

Dok adno pomiaru w mostkach technicznych o drucie lizgowym jest rz du kilku procent. Znacznie wi ksz dok adno oraz lepszy zakres pomiarowy zapewnia uk ad dekadowy mostka Wheatstone'a. W uk adzie tym rezystory R_2, R_3, R_4 wykonane s jako oporniki dekadowe, czyli oporniki o du ej dok adno ci i warto ciach ró ni cych si dziesi ciokrotnie np. $1\Omega, 10\Omega, 100\Omega, 1000\Omega, 10000\Omega$. Napi cie zasilania takiego mostka wynosi kilkadziesi t woltów.

1.1.3. Metoda mostkowa przy u yciu technicznego mostka Thomsona



Rys.1.7. Schemat mostka Thomsona

Zakres pomiarowy mostka Thomsona wynosi zwykle od $10^{-6}\Omega$ do 1Ω .

Układ połączeń tego mostka (rys.1.7.) zmniejsza skutecznie wpływ rezystancji przewodów łączących oraz rezystancji styków. Rezystancje R_3 i R'_3 mają zawsze jednakowe wartości i są regulowane jednocześnie. Podobnie rezystancje R_4 i R'_4 regulowane są jednocześnie i mają wartości jednakowe. W przypadku równowagi mostka można napisać:

$$(R_4 + R_p)I_2 = (R'_4 + R_p)I_4 + R_X I_1 \quad (1.11)$$

$$(R_3 + R_p)I_2 = (R'_3 + R_p)I_4 + R_2 I_1 \quad (1.12)$$

Po podzieleniu stronami równań (1.11) i (1.12) oraz uwzględnieniu zależności $R_3 = R'_3$ oraz $R_4 = R'_4$ otrzymamy

$$(R_4 + R_p)(R_3 + R_p)I_4 + (R_4 + R_p)I_1 R_2 = (R_4 + R_p)(R_3 + R_p)I_4 + (R_3 + R_p)R_X I_1$$

czyli

$$R_X = R_2 \cdot \frac{R_4 + R_p}{R_3 + R_p} \quad (1.13)$$

Jeżeli rezystancje R_3 i R_4 będą dostatecznie dużej wartości (nie mniejsze od 10Ω), to można przyjąć, że wpływ rezystancji przewodów łączących R_p jest pomijalnie mały. Równanie (1.13) przyjmie wtedy postać:

$$R_X = R_2 \cdot \frac{R_4}{R_3} \quad (1.13)$$

W praktyce pomiarowej często stosuje się techniczny mostek Thomsona typu TMT - 2, którego zakres pomiarowy wynosi od $0,4m\Omega$ do 6Ω . Jako źródło zasilania stosujemy zewnętrzne źródło napięcia stałego o wartości $2V$.

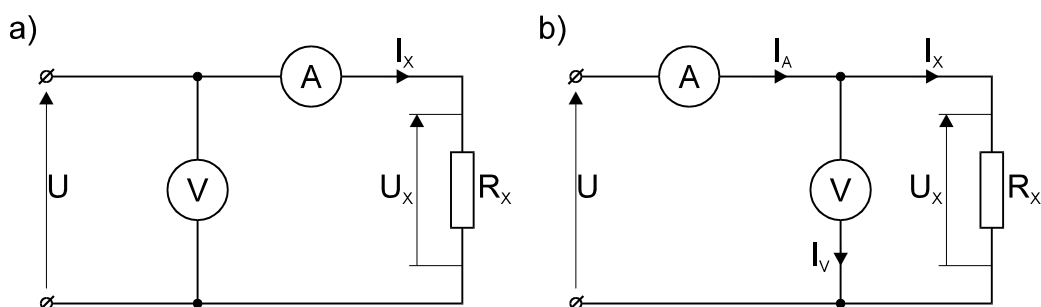
Przed pomiarem rezystancji R_X dokonujemy jej połączenia z mostkiem, czterema przewodami - dwoma z zaciskami napięciowymi 2-2 ϕ i dwoma z zaciskami prądowymi 1-1 ϕ mostka (rys.1.7). Połączenie to zmniejsza wpływ przewodów łączących rezystancji mierzonej z mostkiem na wartość wyniku pomiaru.

1.1.4. Metoda techniczna

Pomiaru rezystancji metodą techniczną dokonuje się za pomocą woltomierza i amperomierza. Należy zmierzyć spadek napięcia U_X na rezystancji badanej i prąd I_X przepływający przez tę rezystancję. Wówczas rezystancja mierzona

$$R_X = \frac{U_X}{I_X} \quad (1.15)$$

Możliwe są dwa układy pomiarowe, podano je na rys.1.8.



Rys.1.8. Schematy metody technicznej pomiaru rezystancji

a) układ do pomiaru rezystancji dużej

b) układ do pomiaru rezystancji małych

UKŁAD DO POMIARU REZYSTANCJI DUCHYCH, WIĘKSZYCH OD 1Ω.

W układzie jak na rys. 1.8a amperomierz mierzy prąd przepływający przez rezystancję R_X , czyli: $I_A = I_X$, natomiast woltomierz mierzy sumę spadków napięć na rezystancji R_X oraz na amperomierzu, czyli

$$U_V = U_X + R_A I_A \quad (1.16)$$

gdzie: R_A – rezystancja wewnętrzna amperomierza.

Rezystancja obliczona na podstawie wskaza przyrządów wyraża się wzorem

$$R'_X = \frac{U_V}{I_A} = \frac{U_X + R_A I_A}{I_A} = R_X + R_A \quad (1.17)$$

Zatem błąd metody pomiaru wynosi

$$\Delta R_X = R'_X - R_X = R_A \quad (1.18)$$

Rezystancja wewnętrzna amperomierza R_A jest niewielka zazwyczaj rzędu ułamka oma. Błąd metody będzie zatem tym mniejszy, im większa będzie rezystancja mierzona R_X . Gdy $R_X > 100R_A$, to błąd wynikający z pominięcia poprawki nie przekroczy 1%. Układ z rys. 8 należy zatem stosować do pomiaru rezystancji duzych.

UKŁAD DO POMIARU REZYSTANCJI MAŁYCH, MNIEJSZYCH OD 1Ω.

W układzie jak na rys. 1.8b, woltomierz wskazuje spadek napięcia na rezystancji mierzonej, czyli $U_V = U_X$, natomiast amperomierz mierzy sumę prądów przepływających przez rezystancję badaną i woltomierz:

$$I_A = I_X + I_V \quad (1.19)$$

przy czym prąd woltomierza:

$$I_V = \frac{U_V}{R_V} \quad (1.20)$$

gdzie: R_V - rezystancja wewnętrzna woltomierza.

Dla tego układu można napisać:

$$\begin{aligned} R_X &= \frac{U_X}{I_X} = \frac{U_V}{I_A - I_V} = \frac{\frac{U_V}{I_A}}{1 - \frac{U_V}{I_A R_V}} = \frac{R'_X}{1 - \frac{R'_X}{R_V}} = \frac{R'_X R_V}{R_V - R'_X} = \frac{R'_X (R_V - R'_X + R'_X)}{R_V - R'_X} = \\ &= R'_X \left(1 + \frac{R'_X}{R_V - R'_X}\right) = R'_X + \frac{R_X'^2}{R_V - R'_X}, \text{ gdzie } R'_X = \frac{U_V}{I_A} \end{aligned} \quad (1.21)$$

Bez względu na błąd metody pomiaru wyniesie:

$$\Delta R_X = R'_X - R_X = -\frac{R_X'^2}{R_V - R'_X} \quad (1.22)$$

Rezystancja woltomierza jest na ogół bardzo duża. Błąd metody jest tym mniejszy, im rezystancja mierzona R_X jest mniejsza od rezystancji woltomierza R_V .

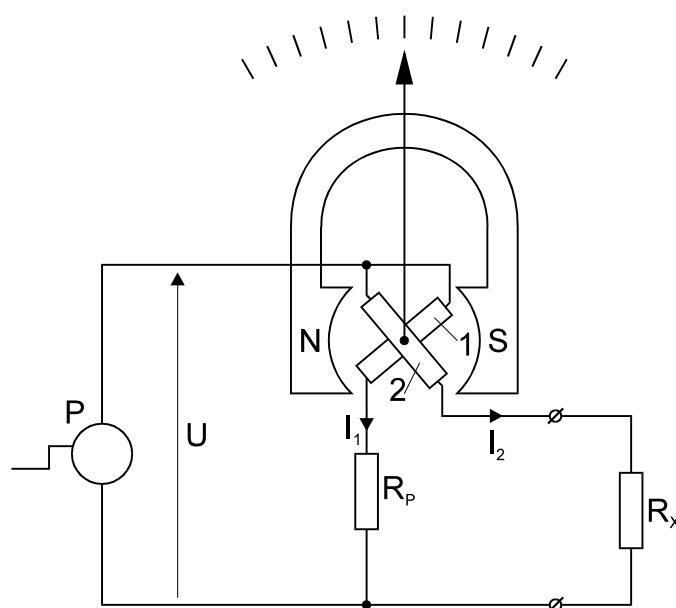
Gdy $R_X < 100R_V$, to błąd wynikający z pominięcia poprawki, nie przekroczy 1%. Układ z rys. 1.8b należy stosować do pomiaru rezystancji małych.

W praktyce układ z rys. 1.8b stosuje się do pomiaru rezystancji mniejszych od 1Ω, natomiast układ z rys. 1.8a, do pomiaru rezystancji większych od 1Ω. Poprawki wyznacza się przy pomiarach dokładnych i wówczas konieczna jest znajomość rezystancji wewnętrznych zastosowanych przyrządów. W celu oszacowania błęd pomiaru rezystancji, oprócz błęd metody należy uwzględnić błędy systematyczne przyrządów stosowanych w układzie.

Zaletą metody technicznej jest możliwość pomiaru rezystancji urządzeń (elementów) znajdujących się w stanie pracy.

1.1.5. Pomiar rezystancji za pomoc megaomomierza induktorowego (induktora)

Schemat ideowy megaomomierza przedstawiono na rys.1.9. Zasadniczym elementem miernika jest ustrój pomiarowy magnetoelektryczny składający się z dwóch skrzywionych cewek umieszczonych w polu magnetycznym magnesu stałego. Ta odmiana miernika nosi nazwę miernika magnetoelektrycznego ilorazowego lub logometru magnetoelektrycznego. Szeregowo z cewką 1 włączona jest rezystancja porównawcza R_p , rezystancja mierzona R_x połączona jest szeregowo z cewką 2. W wyniku przepływu prądów I_1 i I_2 występują dwa przeciwnie skierowane momenty napędowe. Wartość kąta odchylenia zależy od prądów w cewkach, czyli od rezystancji R_p i R_x .



Rys.1.9. Schemat megaomomierza, miernika magnetoelektrycznego ilorazowego.

Odchylenie organu ruchomego zależy od stosunku prądów

$$f(\alpha) = \frac{I_1}{I_2} = \frac{R_x}{R_p}, \quad (1.23)$$

natomiast nie zależy od napięcia zasilającego.

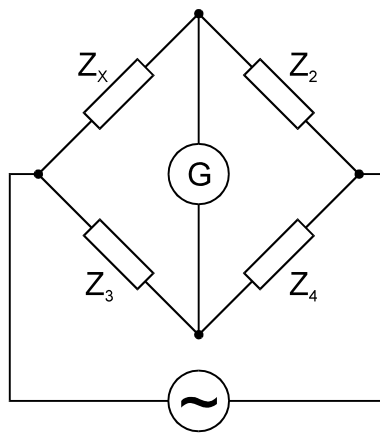
Mierniki typu ilorazowego nie posiadają momentu zwrotnego, czyli w stanie bezprądowym wskazówka zajmuje na skali dowolne położenie. W omomierzach przeznaczonych do pomiaru rezystancji izolacji rodzajem napięcia jest prądnicą prądu stałego (P), napędzana ręcznie i wbudowana w obudowę miernika. Przyrządy tego typu nazywają się megaomomierzami induktorowymi, w skrócie - induktorami. Napięcie prądnicą induktora może wynosić 250V, 500V, 1000V, 2000V lub nawet 2500V. Wyboru induktora dokonuje się w zależności od napięcia badanej izolacji sieci lub kabla elektroenergetycznego.

Opór izolacji przewodów stosowanych w instalacjach elektroenergetycznych lub izolacji maszyn elektrycznych nie powinien być mniejszy niż 1000Ω na 1V napięcia sieci. Przy napięciu nominalnym 380V wymagana, minimalna wartość rezystancji izolacji wynosi więc 380 k Ω . W praktyce kontrolując stan izolacji, należy jednak pamiętać, że rezystancja izolacji sieci będzie w dobrym stanie, tzn. nie zawilgoconej i nie uszkodzonej mechanicznie, powinna wynosić rzędu kilku lub kilkunastu M Ω . Dokonując pomiaru rezystancji należy badać izolację

lub maszyn elektrycznych odciąży od sieci zasilającej i przeprowadzi pomiar rezystancji izolacji poszczególnych przewodów (uzwoje) względem ziemi (zera) oraz pomiary przewodami. Dla jednego trójfazowego urządzenia elektrycznego lub trójfazowej sieci zasilającej wykonuje się więcej pomiarów.

1.2. Pomiary indukcyjności i pojemności

Do pomiarów indukcyjności L lub pojemności C stosuje się najczęściej mostki prądu przemiennego. W przeciwieństwie do mostków prądu stałego, gdzie mamy do czynienia z dwoma zasadniczymi układami, istnieje bardzo dużo układów mostkowych prądu przemiennego, różniących się rodzajem elementów umieszczonych w ramionach, przeznaczeniem, zakresem pomiaru itp.



Rys.1.10. Układ mostka prądu przemiennego.

Podstawowy układ mostka prądu przemiennego podano na rys.1.10. Ramiona mostka stanowi cztery impedancje Z_x, Z_2, Z_3, Z_4 . Mostek zasilany jest napięciem sinusoidalnie przemiennym. Jako wskaźnik równowagi służy galwanometr prądu przemiennego. W stanie równowagi przez galwanometr prąd nie płynie.

Stosując prawa Kirchhoffa dla mostka zrównoważonego, można określić niewiadomą impedancję Z_x w zależności od pozostałych impedancji Z_2, Z_3, Z_4 , których wartość jest znana. W większości spotykanych mostków w dwóch ramionach ma rezystancje, np. $Z_3=R_3$ oraz $Z_4=R_4$. Wyrażenie na impedancję Z_x może przyjąć postać:

$$Z_x = \sqrt{R_x^2 + (\omega L_x)^2} \quad (1.24)$$

W przypadku pomiaru pojemności wyrażenie (1.24) przyjmuje postać:

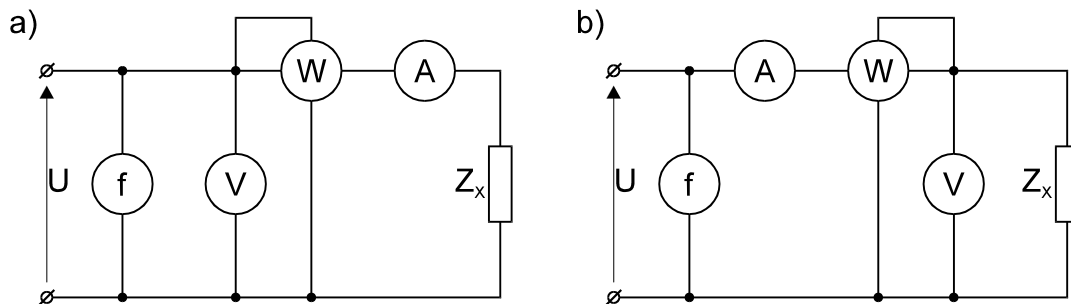
$$Z_x = \sqrt{R_x^2 + \left(\frac{1}{\omega \cdot C_x}\right)^2} \quad (1.25)$$

Na podstawie wskaźnika mostka można określić zarówno R_x jak również L_x lub C_x . Mostki do pomiaru indukcyjności lub pojemności wykonywane są jako kompletne przyrządy, najczęściej ze skompensowanym wpływem pojemności i indukcyjności montażowych powodowanych przez przewody i ciec. Są to zwykle opatentowane wykonania firmowe. Z najczęściej spotykanych mostków można wymienić mostek Maxwella - do pomiaru indukcyjności oraz mostki Wiena i Scheringa - do pomiaru pojemności.

1.2.2. Metoda techniczna

Metoda techniczna pomiaru indukcyjności i pojemności prądu przemiennym jest szczególnie przydatna wówczas, kiedy mamy do czynienia z elementami nieliniowymi, np. cewka z rdzeniem ferromagnetycznym. Impedancja takich elementów zależy od wartości przepływu prądu przez nie, co praktycznie uniemożliwia korzystanie z metod mostkowych.

Podobnie, jak w przypadku pomiarów rezystancji metodą techniczną prądu stałego (patrz p.1.1.4.), do pomiaru impedancji prądu przemiennym można stosować dwa układy pomiarowe (rys.1.11.)



Rys.1.11. Schematy metody technicznej pomiaru impedancji

a) układ do pomiaru impedancji dużej

b) układ do pomiaru impedancji małej

Ze wskazań woltomierza V i amperomierza A można wyznaczyć wartość modułu impedancji Z_x .

$$Z_x = \frac{U}{I} \quad (1.26)$$

Moduł impedancji Z_x jest przy tym określony zależnościami (1.24) lub (1.25). W celu wyznaczenia rezystancji R_x badanego elementu w przypadku, gdy jej wartość nie zależy od częstotliwości, można stosować jedną z metod stosowanych do pomiaru rezystancji przy prądzie stałym.

W przypadku, gdy R_x zależy od częstotliwości, a wartość jest inna przy prądzie stałym niż przy prądzie przemiennym (np. dla cewki z rdzeniem ferromagnetycznym) wyznaczymy ją pośrednio korzystając z pomiaru mocy czynnej P za pomocą watomierza.

Wtedy rezystancję R_x wyliczamy z wzoru:

$$R_x = \frac{P}{I^2} \quad (1.27)$$

Rezystancja ta, wówczas jest sumą rezystancji przewodów cewki i rezystancji wynikającej ze strat energii w rdzeniu (straty na histerezis i odprądów wirowych).

Jeżeli impedancja mierzona ma charakter indukcyjny, to wartość indukcyjności na podstawie wzoru (1.24) oblicza się ze wzoru:

$$L_x = \frac{\sqrt{Z_x^2 - R_x^2}}{2\pi f} \quad (1.28)$$

gdzie: f - częstotliwość, której wartość odczytuje się na czestotliomierzu.

Przy pomiarach impedancji o charakterze pojemnościowym, wartość pojemności na podstawie zależności (1.25) określa się ze wzoru:

$$C_x = \frac{1}{2\pi f \sqrt{Z_x^2 - R_x^2}} \quad (1.29)$$

Należy podkreślić, że kondensatory rzeczywiste dla małych częstotliwości (technicznych) niewiele odbiegają od elementów idealnych, szczególnie nowoczesne kondensatory wykonane z materiałów syntetycznych. Można zatem przy pomiarach pojemności metodami technicznymi pominiąć rezystancję R_x kondensatora i wówczas.

$$C_x = \frac{I}{2\pi f U}$$

2. Badania laboratoryjne

2.1. Pomiar rezystancji prądem stałym

2.1.1. Metoda bezpośrednia

Pomiarów dokonano omomierzem typu

Wyniki pomiarów

Symbol badanego rezystora	R
	Ω
R_1	
R_2	
R_3	
R_4	
R_5	
R_6	

2.1.2. Metoda mostkowa

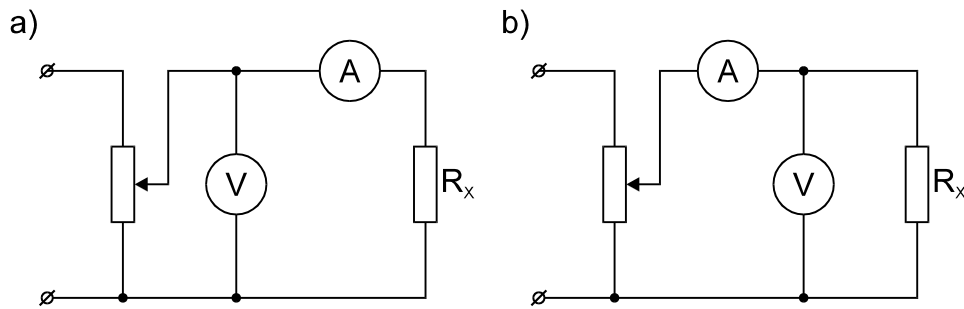
Do pomiarów użyto mostków technicznych o danych:

1. Wheatstone'a
2. Thomsona

Wyniki pomiarów

Mostek	Rezystor		
	R_1	R_2	R_3
Wheatstone'a			
Thomsona			

2.1.3. Metoda techniczna



Rys.1.12. Metoda techniczna pomiaru rezystancji

a) pomiar rezystancji duzych

b) pomiar rezystancji malych

R - opornik suwakowy

A - amperomierz

V - woltomierz

R_x - rezystancja badana

Wyniki pomiarów

Rezystancja badana	Układ	I _A	U _V	R _A	R _V	R' _X	R _X	ΔR _X	$\frac{\Delta R_X}{R_X}$
		A	V	Ω	Ω	Ω	Ω	Ω	%
	a								
	b								
	a								
	b								

Przykład oblicze :

W układzie a:

$$R'_X = \frac{U_V}{I_A} =$$

$$\Delta R_X = R_A =$$

$$R_X = R'_X - R_A =$$

$$\frac{\Delta R_X}{R_X} =$$

W układzie b:

$$R'_X = \frac{U_V}{I_A} =$$

$$\Delta R_X = R'_X - R_X =$$

$$R_X = R'_X + \frac{R_X'^2}{R_V - R'_X} =$$

$$\frac{\Delta R_X}{R_X} =$$

2.1.4. Pomiar rezystancji duzych za pomoc megaomomierza

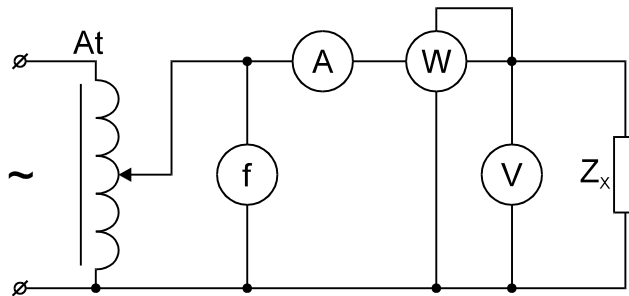
Pomiarów dokonano megaomomierzem

Wyniki pomiarów

Symbol badanego rezystora	R
	MΩ

2.2. Pomiary indukcyjno ci i pojemno ci

2.2.1. Metoda techniczna



Rys.1.13. Metoda techniczna pomiaru impedancji

- At - autotransformator
- f - cz sto ciomierz
- W - watomierz
- A - amperomierz
- V - woltomierz
- Z_x - impedancja badana

Wyniki pomiarów

f=.....Hz

Impedancja badana	I _A	U _V	P _W			Z	R	L	C
	A	V	dz	W/dz	W	Ω	Ω	mH	μF
cewka indukcyjna									
kondensator									

Przykład oblicze :

Z=

R=

L=

2.2. Metoda mostkowa

Do pomiarów indukcyjno ci i pojemno ci u yto mostka uniwersalnego RLC o danych

Wyniki pomiarów

Impedancja badana			Metoda mostkowa	Metoda techniczna
Cewka indukcyjna	L	mH		
Kondensator	C	μ F		

3. Dyskusja wyników pomiarów i wnioski

Porówna dokładnie pomiaru rezystancji poznanymi przyrządami i stosowanymi metodami.

Po obliczeniu pojemności i indukcyjności porówna otrzymane wartości z pomierzonymi metodami mostkowymi. Porówna wyniki badania indukcyjności cewki powietrznej i cewki z rdzeniem ferromagnetycznym.