

METODY POMIAROWE

1.1. CEL I ZAKRES ĆWICZENIA

Celem ćwiczenia jest zapoznanie studentów z bezpośrednimi i pośrednimi metodami pomiaru na przykładzie wyznaczania indukcyjności cewki oraz pomiarów rezystancji.

1.2. WYBRANE WIADOMOŚCI PODSTAWOWE

Pomiar jest to czynność porównywania wartości danej wielkości mierzonej z pewną wartością wielkości tego samego rodzaju przyjętą za jednostkę miary.

Jednostka miary jest umownie przyjętą i wyznaczoną z dostateczną dokładnością wartość danej wielkości, która służy do porównywania ze sobą innych wartości tej samej wielkości.

Pod pojęciem **metody pomiarowej** rozumie się zespół czynności wykonywanych podczas przeprowadzania pomiaru celem określenia wartości wielkości mierzonej.

Stałą miernika oblicza się ze wzoru:

$$C_x = \frac{X_{\max}}{\alpha_{\max}} \quad (1.1)$$

gdzie:

- C_x - stała miernika wyrażona ilorazem jednostki mierzonej wielkości i działki (indeks można pominąć lub będzie występował jako litera oznaczająca używany miernik np. C_A - stała amperomierza, C_V - stała woltomierza);
- $X_{\max}$ - zakres pomiarowy miernika wyrażony w jednostkach mierzonej wielkości (podobnie jak przy stałej miernika X oznacza mierzoną wielkość i dla amperomierza będzie to I , dla watomierza P itd.);
- $\alpha_{\max}$ - maksymalna ilość działek na podzielnicy miernika, dz.

Na podstawie wartości wyznaczonej stałej miernika i odczytanej ilości działek wskazanej przez przyrząd wyznacza się wartość wielkości mierzonej z zależności:

$$X = C_x \cdot \alpha \quad (1.2)$$

gdzie:

- X - wartość wielkości mierzonej wyrażona w jednostkach właściwych dla tej wielkości;
- α - odczytana z wychylenia wskazówki miernika ilość działek, dz.

W metrologii wyróżnia się następujące działy :

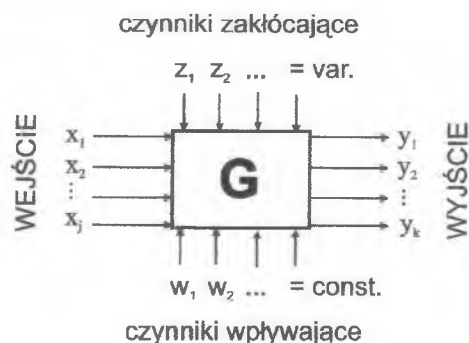
1. **teorię mierzenia**, będącą systemem naukowo uzasadnionych praw wyjaśniających istotę pomiarów i sposoby ich wykonywania;
2. **technikę pomiarów** (technika mierzenia) obejmującą ogół sposobów mierzenia;
3. **instrumentację** obejmującą narzędzia pomiarowe oraz wiedzę o ich projektowaniu, konstruowaniu i eksploatacji.

Proces pomiarowy składa się z następujących czynności:

- a) wytypowanie właściwości obiektu, które należy zbadać - odpowiada to ustaleniu modelu fizycznego danego obiektu;
- b) zbudowanie modelu matematycznego obiektu, tzn. ujęcie tych właściwości obiektu za pomocą formuł matematycznych;
- c) ustalenie modelu metrologicznego obiektu, polegające na takiej transformacji modelu matematyczno-fizycznego, aby opisywały go tylko wielkości mierzalne;
- d) wybór metody pomiaru i środków technicznych do jego przeprowadzenia;
- e) dokonanie operacji porównania (pomiar);

f) opracowanie i interpretację rezultatu pomiarów.

Model obiektu jest to bardziej lub mniej uproszczony opis obiektu fizycznego, odwzorowujący wybrane jego własności z przyjętego punktu widzenia.



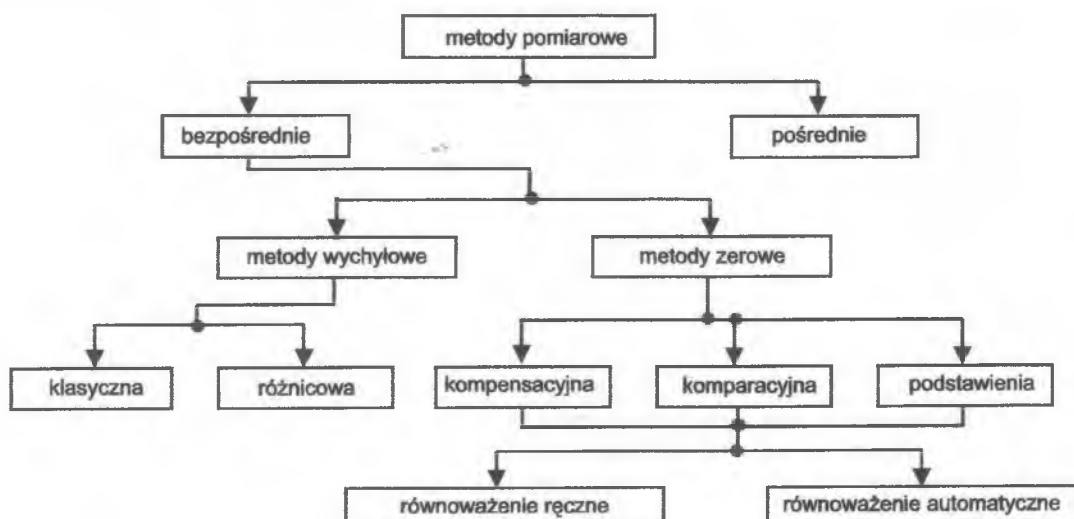
Rys. 1.1. Model obiektu fizycznego

W zależności od sposobu otrzymywania wartości wielkości mierzonej, metody pomiarowe lub krócej pomiary, można podzielić na **bezpośrednie, pośrednie i złożone**.

Pomiary bezpośrednie są to takie pomiary, w wyniku których wartość wielkości mierzonej otrzymuje się bezpośrednio, bez konieczności wykonywania dodatkowych obliczeń.

Pomiarami pośrednimi nazywa się takie pomiary, w wyniku których wartość wielkości mierzonej otrzymuje się pośrednio z pomiarów bezpośrednich innych wielkości związanych funkcjonalnie z wielkością mierzoną.

Pomiary złożone są to takie pomiary, w których bezpośrednio lub pośrednio wyznacza się wartości pewnej liczby wielkości związanych ze sobą układem równań algebraicznych. Wyznaczenie wartości wielkości mierzonej wymaga rozwiązania tego układu.



Rys. 1.2. Klasyfikacja metod pomiarowych

1.2.1. METODY WYCHYŁOWE

1.2.1.1. Metoda wychyłowa klasyczna

Polega ona na przyporządkowaniu wielkości mierzonej x miejsca w uporządkowanym zbiorze W wartości danej wielkości. Pomiar tą metodą wykonuje się najczęściej przyrządem pomiarowym wywzorcowanym w jednostkach miary danej wielkości. W przyrządach analogowych uporządkowanym zbiorem danej wielkości, będzie wywzorcowana podziałka przyrządu, natomiast miejsce wielkości mierzonej w tym zbiorze określone będzie położeniem wskazówki ustroju pomiarowego. Metoda ta nie wymaga skomplikowanych środków technicznych, a więc z tego

względem jest powszechnie stosowana w przyrządach o zakresach zawierających wartość zero wielkości mierzonej.



Rys. 1.3. Schemat funkcjonalny przyrządu wychyłowego klasycznego

Równanie pomiaru metodą wychyłową w pierwszym przybliżeniu wygląda następująco:

$$x = \alpha \quad (1.3)$$

gdzie:

α - wskazania przyrządu pomiarowego w jednostkach wielkości mierzonej;

x - wartość wielkości mierzonej.

1.2.1.2. Metoda wychyłowa różnicowa ($x_w = \text{const.}$)

Polega ona na odjęciu od wielkości mierzonej x znanej wartości x_w i pomiarze metodą wychyłową różnicy $x - x_w$.

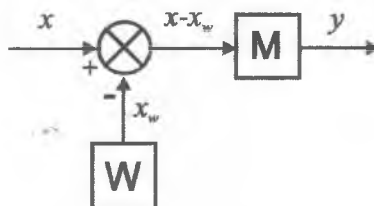
Jako wynik wskazania miernika odczytuje się wartość α należącą do zbioru W wartości danej wielkości:

$$\alpha = x - x_w \quad (1.4a)$$

Otrzymana wartość wielkości mierzonej jest wówczas równa:

$$x = \alpha + x_w \quad (1.4b)$$

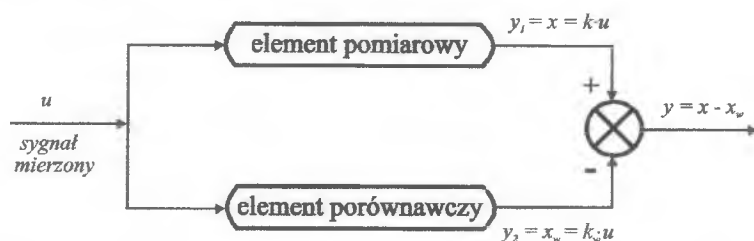
Przyrząd mierzący tę różnicę można wywzorcować w wartościach wielkości mierzonej x (wówczas jego zakres pomiarowy nie zawiera wartości zerowej) lub w wartościach różnicy $x - x_w$.



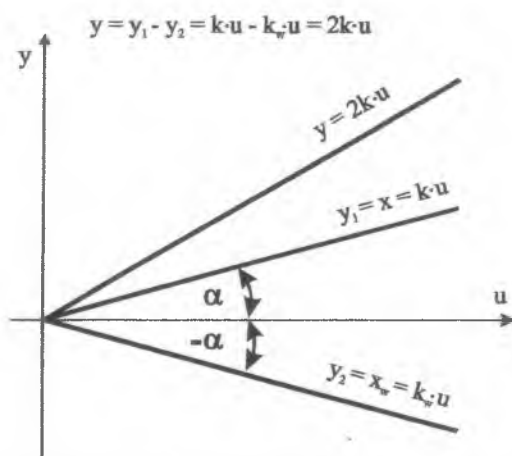
Rys. 1.4. Schemat funkcjonalny przyrządu wychyłowego różnicowego ($x_w = \text{const.}$): W - źródło wielkości wzorcowej x_w ; $\otimes$ - układ różnicowy realizujący matematyczną operację odejmowania; M - miernik wychyłowy

W układzie strukturalnym przyrządu opartego na metodzie różnicowej musi występować dodatkowe źródło wielkości porównawczej x_w oraz elementy realizujące matematyczną funkcję odejmowania. Metoda różnicowa umożliwia pomiar z dokładnością porównywalną z dokładnością wartości wielkości wzorcowej.

1.2.1.3. Metoda wychyłowa różnicowa ($x_w = \text{var.}$)



Rys. 1.5. Schemat funkcjonalny wychyłowego przyrządu różnicowego ($x_w = \text{var.}$)



Rys. 1.6. Charakterystyka wychyłowego przyrządu różnicowego ($x_w = \text{var.}$), gdy $k_w = -k$

W przypadku przyrządu, którego charakterystykę przedstawia rysunek 1.6, gdy $k_w = -k$ czułość przyrządu różnicowego jest dwukrotnie większa niż przyrządu różnicowego ze stałą wielkością wzorcową ($x_w = \text{const.}$)

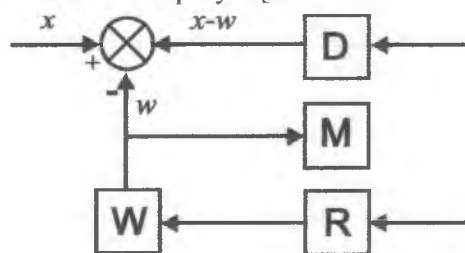
1.2.2. METODY ZEROWE

Są to metody, w których różnicę wielkości mierzonej x i znanej wielkości wzorcowej w doprowadza się do zera. Miara wielkości x jest wówczas znana wartość wielkości w .

Pomiar tą metodą jest to przyporządkowanie mierzonej wielkości x ze zbioru X znanej wartości w ze zbioru W na drodze badania różnicy tych wielkości i takiej zmiany jednej z nich, aby różnica była równa zero.

Czynność badania różnicy i sprowadzania jej do zera nazywamy równoważeniem. Równoważenie realizowane jest przez dwa elementy funkcjonalne przyrządu pomiarowego: detektor i urządzenie równoważące. Równoważenie może odbywać się ręcznie lub automatycznie.

Detektor jest to taki element lub zespół elementów, który po doprowadzeniu doń różnicy $x-w$ jest zdolny sterować procesem równoważenia przyrządu.



Rys. 1.7. Schemat funkcjonalny metody zerowej: D - detektor, R - urządzenie równoważące, W - źródło wielkości wzorcowej, M - przyrząd pomiarowy.

1.2.2.1. Metoda kompensacyjna

Jest to metoda w której wielkość wzorcowa przeciwdziała wielkości mierzonej i kompensuje jej fizyczne działanie na detektor.

W metodzie kompensacyjnej następuje bezpośrednie porównanie wielkości mierzonej x z wielkością wzorcową w .

Badając różnicę $x - w$ i sprowadzając ją do zera przez regulację wartości wielkości wzorcowej w otrzymamy :

$$|x - w| \leq \Delta x_D \quad (1.5)$$

gdzie:

x - wielkość mierzona ;

w - znana wielkość wzorcowa;

Δx_D - próg czułości detektora.

W stanie równowagi, fizyczne działanie obu wielkości na detektor jest jednakowe i przeciwnie skierowane. Następuje więc skompensowanie ich działania (akcja = reakcja), dzięki czemu żadna z wielkości nie wydatkuje energii do detektora.

1.2.2.2. Metoda komparacyjna

Jest to metoda, w której porównuje się bezpośrednio wielkość mierzoną x ze znaną krotnością k wielkości wzorcowej w .

Badając różnicę $x - w \cdot k$ i sprowadzając ją do zera przez regulację wartości współczynnika k otrzymamy :

$$|x - w \cdot k| \leq \Delta x_D \quad (1.6)$$

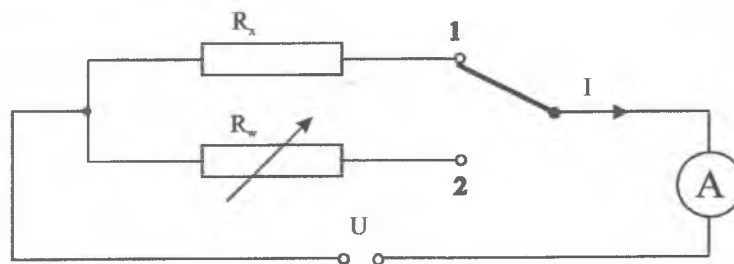
Praktyczne znaczenie metody polega na zastosowaniu wzorca odtwarzającego tylko jedną wartość wzorcową w , a więc wzorca o większej dokładności niż wzorce odtwarzające wiele wartości, jak to ma miejsce w metodzie kompensacyjnej.

1.2.2.3. Metoda podstawienia

Jest to metoda polegająca na porównaniu wielkości mierzonej x z wielkością wzorcową w , ale nie jest to porównanie bezpośrednie i równoczesne, lecz pośrednie poprzez kolejne przybliżenia.

Metoda ta polega na zastąpieniu w trakcie procesu pomiarowego, wielkości mierzonej x , znaną wielkością wzorcową w dobraną w taki sposób, aby skutki wywołane przez nią były takie same.

Podczas pomiaru badamy wielkość y będącą efektem zjawiska zależnego, raz od wielkości mierzonej x ($y_1 = f(x)$), raz od znanej wielkości wzorcowej w ($y_2 = f(w)$), tak aby uzyskany efekt w obu przypadkach był identyczny.



Rys. 1.8. Pomiar rezystancji metodą podstawienia

$$I = f(R_x) \quad I = f(R_w) \Rightarrow I = \frac{U}{R_x} = \frac{U}{R_w} \quad (1.7)$$

1.3. PRZEBIEG ĆWICZENIA

(W tabelkach wypełniamy białe pola – w brudnopisie -szare obliczamy w ramach wykonywania sprawozdania)

Obiektem pomiaru jest cewka. Cewkę z rdzeniem stalowym (ferromagnetycznym) nazywa się dławikiem. Obecność rdzenia stalowego przyczynia się do znacznego zwiększenia strumienia magnetycznego, a tym samym indukcyjności cewki.

Indukcyjność własna cewki:

$$L = \frac{z^2}{R_m} \quad (1.8)$$

gdzie:

z - ilość zwoi cewki,

R_m - reluktancja (opór magnetyczny) obwodu magnetycznego.

Indukcyjność własna występuje wówczas, gdy mamy do czynienia ze zmieniającym się w czasie natężeniem prądu. Następuje wtedy zmiana wartości strumienia magnetycznego, która indukuje w uzwojeniach cewki siłę elektromotoryczną. Mamy wtedy do czynienia z indukcyjnością własną cewki.

ZASADY PRZENOSZENIA NIEPEWNOŚCI:

jeżeli q ma postać iloczynu i ilorazu zmiennych składowych $x - w$, $x = \frac{x_1 \cdot \dots \cdot x_i}{x_j \cdot \dots \cdot x_n}$, to

$$\frac{\Delta x}{|x|} = \sqrt{\left(\frac{\Delta x_1}{x_1}\right)^2 + \dots + \left(\frac{\Delta x_i}{x_i}\right)^2 + \left(\frac{\Delta x_j}{x_j}\right)^2 + \dots + \left(\frac{\Delta x_n}{x_n}\right)^2} \quad (1.9)$$

Różniczka zupełna:

$$\Delta x = \left| \frac{\partial U}{\partial x_1} \right| \Delta x_1 + \left| \frac{\partial U}{\partial x_2} \right| \Delta x_2 + \left| \frac{\partial U}{\partial x_3} \right| \Delta x_3 + \dots + \left| \frac{\partial U}{\partial x_n} \right| \Delta x_n \quad (1.10)$$

BŁĘDY MIERNIKÓW

Błąd odczytu dla miernika analogowego liczymy ze wzoru:

$$\Delta X_a = \frac{kl.dok * X_n}{100\%} \quad (1.11)$$

gdzie:

ΔX_a – błąd bezwzględny wskazania miernika analogowego [w jednostkach X_n];

kl. dok. – klasa dokładności miernika;

X_n – zakres pomiarowy miernika.

Dla miernika cyfrowego błąd wskazania liczymy ze wzoru:

$$\Delta X_c = a \cdot X + b \quad (1.12)$$

gdzie:

ΔX_c – błąd bezwzględny wskazania miernika cyfrowego [w jednostkach X];

a – błąd przetwarzania [wielkość niemianowana] (uwaga: jeżeli a jest wyrażone w % - to zamienić na wielkości nie mianowane);

X – wartość zmierzona;

b – błąd dyskretyzacji [musi być wyrażony w jednostkach X];

1.3.1. BEZPOŚREDNI POMIAR REZYSTANCJI CEWKI ZA POMOCĄ TECHNICZNEGO MOSTKA WHEATSTONE'A

Techniczny mostek Wheatstone'a typ TMW-5 umożliwia pomiar rezystancji w zakresie $0,5\Omega - 5M\Omega$.

Po dołączeniu źródła zasilania należy przyłączyć do zacisków mostka badaną cewkę. Pokrętkami potencjometrów (skokowy-zgrubny i płynny-dokładny) należy ustawić w przybliżeniu spodziewaną wartość mierzonej rezystancji. Wcisnąć przycisk włączający galwanometr, a następnie pokrętkami doprowadzić do zrównoważenia mostka, które ma miejsce wówczas, gdy wskazówka galwanometru

ustawi się na zerze. Wartość wskazywana łącznie na obu ruchomych tarczach podziałowych jest wynikiem pomiaru. Pomiar rezystancji przeprowadzić trzykrotnie a wyniki umieścić w tabeli 1.1. Na podstawie klasy dokładności mostka (tabela 1.2) policzyć błąd bezwzględny wyznaczenia oporności dławika ΔR_1 .

Tabela 1.1

Wyniki pomiaru rezystancji mostkiem Wheatstone'a

Lp.	R_1	ΔR_1
	Ω	Ω
1		
2		
3		
	średnia	

Tabela 1.2

Błąd pomiaru mostkiem wg producenta wynosi:

$\Delta R_{\text{mostka Wheatstone'a}} =$	
---	--

1.3.2. POŚREDNI POMIAR REZYSTANCJI CEWKI

1.3.2.1. Pomiar rezystancji za pomocą woltomierza i amperomierza

Z tabliczki znamionowej odczytać i zanotować wartości znamionowe cewki (dławika).

Połączyć układ zgodnie ze schematem przedstawionym na rys. 1.9. Przeprowadzić pomiary natężenia prądu i napięcia, dla różnych wartości napięcia, regulowanego autotransformatorem. Nie wolno przekroczyć wartości znamionowej prądu, gdyż grozi to zniszczeniem urządzenia. Błędy wskazań mierników obliczyć wg wzoru 1.11 i ew. 1.12. Na podstawie błędu amperomierza i woltomierza oraz zasady przenoszenia niepewności dla iloczynu i ilorazu (wzór 1.9) obliczyć błąd bezwzględny wyznaczenia oporności dławika ΔR_2 .

Wyniki pomiarów i obliczeń umieścić w tabeli 1.2.0. W zależności od wyboru z tabeli 1.2.1, wypełnić właściwe pola w tabeli 1.2.2.

Tabela 1.2.0

Lp.	U V	I A	U_n V	I_n A	ΔU V	ΔI A	R_2 Ω	ΔR_2 Ω
1.								
2.								
3.								
4.								
5.								
6.								
średnia								

U – wyniki pomiarów napięcia;

I – wyniki pomiarów natężenia prądu;

U_n – zakres pomiarowy woltomierza;

I_n – zakres pomiarowy amperomierza.

Tabela 1.2.1

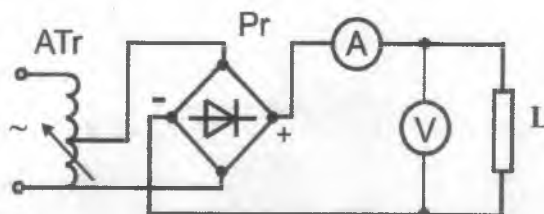
	Właściwe podkreślić	
Woltomierz	analogowy	cyfrowy
Amperomierz	analogowy	cyfrowy

Tabela 1.2.2

Klasa dokładności amperomierz		
Klasa dokładności woltomierza		
	przetwarzania	dyskretyzacji
Błąd przetwarzania i dyskretyzacji amperomierz		
Błąd przetwarzania i dyskretyzacji woltomierza		

Wartość rezystancji dławika oblicza się ze wzoru:

$$R = \frac{U}{I} \quad (1.13)$$



Rys. 1.9. Pomiar rezystancji cewki w obwodzie prądu stałego: ATr - autotransformator, Pr - prostownik, L - cewka, A - amperomierz, V - woltomierz.

1.3.2.2. Pomiar rezystancji za pomocą watomierza i amperomierza

W obwodach prądu przemiennego wyróżniamy rezystancję, reaktancję i impedancję odbiorników. Rezystancja (opór czynny) powoduje przemianę energii elektrycznej w ciepło, zgodnie z prawem Joule'a:

$$P = I^2 \cdot R \quad (1.14)$$

gdzie:

P - moc czynna pobierana przez odbiornik

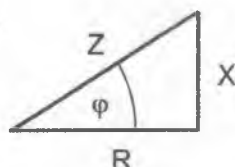
Reaktancja (opór bierny) indukcyjna X_L i pojemnościowa X_C odbiornika powodują powstawanie pól - odpowiednio magnetycznego i elektrycznego oraz posiadają zdolność gromadzenia energii. Reaktancja indukcyjna jest równa:

$$X_L = 2\pi f L \quad (1.15)$$

Impedancja (opór pozorny) jest wypadkową rezystancji i reaktancji a jej wartość można tu wyznaczyć ze wzorów:

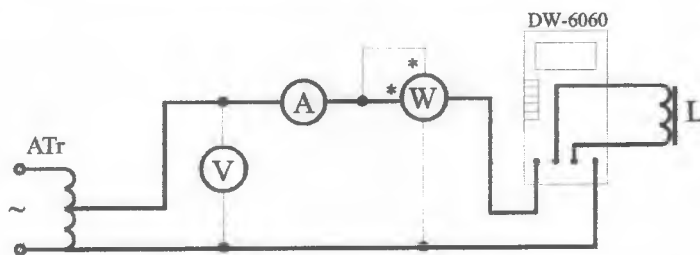
$$Z = U/I \quad (1.16)$$

$$Z = \sqrt{R^2 + X_L^2} \quad (1.17)$$



Rys. 1.10. Trójkąt oporów

Połączyć układ zasilany prądem przemiennym, zgodnie ze schematem przedstawionym na rys. 1.11. Przeprowadzić pomiary napięcia, natężenia prądu i mocy czynnej, dla różnych wartości napięcia, regulowanego autotransformatorem. Wyniki pomiarów i obliczeń umieścić w tabeli 1.3.0., wypełnić tabelkę 13.1.1 i w zależności od wybranych opcji wypełnić tabelę 13.1.2. Rezystancję cewki R_3 obliczyć wg przekształconego wzoru 1.14, dla wskazań watomierza dokładniejszego (o mniejszym błędzie wskazań). Błędy wskazań mierników obliczyć ze wzorów 1.11 i 1.12.



Rys. 1.11. Pomiar rezystancji cewki za pomocą amperomierza i analogowego watomierza laboratoryjnego LW-1 oraz watomierza cyfrowego DW-6060

Na podstawie klasy dokładności amperomierza, woltomierza i watomierza cyfrowego (dla watomierza cyfrowego specyfikacja techniczna dołączona jest na końcu instrukcji – odczytać z niej wartości a i b) oraz różniczki zupełnej (wzór 1.10 i załącznik 1) obliczyć błąd bezwzględny wyznaczenia oporności dławika ΔR_3 .

Tabela 1.3

Lp.	U V	I A	P _a W	P _c W	U _n V	I _n A	P _{an} W	ΔU V	ΔI A	ΔP_a W	ΔP_c W	R ₃ Ω	ΔR_3 Ω
1.													
2.													
3.													
4.													
5.													
6.													
7.													
8.													
średnia													

P_a - wskazania watomierza analogowego (wskazówkowego),

P_c - wskazania watomierza cyfrowego;

U – wyniki pomiarów napięcia;

I – wyniki pomiarów natężenia prądu;

U_n – zakres pomiarowy woltomierza;

I_n – zakres pomiarowy amperomierza;

P_{an} – zakres pomiarowy watomierza analogowego.

Tabela 1.3.1

	Właściwe podkreślić	
Woltomierz	analogowy	cyfrowy
Amperomierz	analogowy	cyfrowy

Tabela 1.3.2

Klasa dokładności amperomierza analogowego		
Klasa dokładności woltomierza analogowego		
Klasa dokładności watomierza analogowego		
	przetwarzania	dyskretyzacji
Błąd przetwarzania i dyskretyzacji amperomierz cyfrowego		
Błąd przetwarzania i dyskretyzacji woltomierza cyfrowego		
Błąd przetwarzania i dyskretyzacji watomierza cyfrowego		

1.3.3. Wyznaczenie impedancji i indukcyjności własnej cewki

Wykorzystując wyniki pomiarów prądu i napięcia przeprowadzone w poprzednim punkcie, przeprowadzić obliczenia impedancji, reaktancji oraz indukcyjności cewki, których wyniki zamieścić w tabeli 1.4. – wg wzorów 1.14 do 1.16 ($X_c = 0$)

Jako wartość rezystancji cewki przyjąć wartość R obliczoną w poprzednich punktach dla której ΔR jest najmniejsze.

Przy pomocy różniczki zupełnej obliczyć również niepewność wyznaczenia wartości L - ΔL – ZAŁCZNIK 1.

Potrzebne do obliczeń π przyjąć równe $\pi=3,1415926535$ i $\Delta\pi=0$, $f=50\text{Hz} \pm 1\%$, Δz wyliczyć w sposób analogiczny do ΔR_2

Tabela 1.4

Tabela 17							
Lp.	U	I	Z	R	X _L	L	ΔL
	V	A	Ω	Ω	Ω	mH	mH
1.							
2.							
3.							
4.							
5.							
6.							
7.							
8.							
średnia							

1.4. OPRACOWANIE WYNIKÓW POMIARÓW

Sprawozdanie powinno zawierać:

- stronę tytułową z nazwą uczelni oraz wydziału, kierunek i rok studiów, nazwę przedmiotu, numer i temat ćwiczenia, nazwiska wykonawców oraz numer grupy laboratoryjnej;
- wartości znamionowe używanych podczas ćwiczenia przyrządów pomiarowych;
- opis wykonywanych czynności;
- schematy układów elektrycznych;
- tabele z wynikami;
- przykłady obliczeń;
- wnioski.

Ponadto do sprawozdania musi być dołączony brudnopis z uzyskanymi wynikami z ćwiczenia, z podpisem prowadzącego.

ZAŁĄCZNIK 1 – RÓŻNICZKA ZUPEŁNA DLA $L=f(U; I; R; f)$

$$L = \frac{\sqrt{\left(\frac{U}{I}\right)^2 - R^2}}{2\pi f}$$

$$\Delta L = \left| \frac{\partial L}{\partial U} \right| \cdot |\Delta U| + \left| \frac{\partial L}{\partial I} \right| \cdot |\Delta I| + \left| \frac{\partial L}{\partial R} \right| \cdot |\Delta R| + \left| \frac{\partial L}{\partial \pi} \right| \cdot |\Delta \pi| + \left| \frac{\partial L}{\partial f} \right| \cdot |\Delta f|$$

$$\frac{\partial L}{\partial U} = \frac{1}{2\pi f} \cdot \frac{1}{2\sqrt{\left(\frac{U}{I}\right)^2 - R^2}} \cdot \frac{2U}{I^2}$$

$$\frac{\partial L}{\partial I} = \frac{1}{2\pi f} \cdot \frac{1}{2\sqrt{\left(\frac{U}{I}\right)^2 - R^2}} \cdot \frac{-2U}{I^3}$$

$$\frac{\partial L}{\partial R} = \frac{1}{2\pi f} \cdot \frac{1}{2\sqrt{\left(\frac{U}{I}\right)^2 - R^2}} \cdot -2R$$

$$\frac{\partial L}{\partial \pi} = -\frac{\sqrt{\left(\frac{U}{I}\right)^2 - R^2}}{2\pi^2 f}$$

$$\frac{\partial L}{\partial f} = -\frac{\sqrt{\left(\frac{U}{I}\right)^2 - R^2}}{2\pi f^2}$$

ZAŁĄCZNIK 2 – BŁĘDY MIERNIKA ME-32 (FRAGMENTY)
9.2. Parametry elektryczne

(format zapisu dokładności: $\pm$ % odczytu + wartość najmniej znaczącej cyfry)

MODEL	FUNKCJA	ZAKRES	DOKŁADNOŚĆ	Rozdzielczość
ME-31 ME-32	Napięcie stałe (DCV)	400 mV	$\pm 0,5\% + 3$	100 μ V
		4 V		1 mV
		40 V		10 mV
		400 V		100 mV
		1000 V		1 V
	Napięcie przemienne (ACV)	400 mV	$\pm 1,0\% + 5$ (40~100Hz)	100 μ V
		4 V	$\pm 1,0\% + 5$ (40~400Hz)	1 mV
		40 V		10 mV
		400 V	$\pm 1,5\% + 5$ (40~400Hz)	100 mV
	Prąd stały (DCA)	750 V		1 V
		4 mA	$\pm 0,8\% + 3$	1 μ A
		400 mA	$\pm 1,2\% + 3$	100 μ A
	Prąd zmienny (ACA)	20 A	$\pm 2,0\% + 5$	10 mA
		4 mA	$\pm 1,0\% + 5$ (40~400Hz)	1 μ A
		400 mA	$\pm 1,5\% + 5$ (40~400Hz)	100 μ A
		20 A	$\pm 3,0\% + 5$ (40~400Hz)	10 mA

ZAŁĄCZNIK 3 - CHARAKTERYSTYKA MIERNIKA DW-6060

Wyświetlacz LCD o dużym kontraście - mały pobór prądu i łatwy odczyt nawet przy silnym oświetleniu zewnętrznym.

Trwałość, dokładność i niezawodność po-przez zastosowanie układu mikroprocesorowego LSI.

Łatwa obsługa jedną ręką dzięki konstrukcji przełączników.

Zasilanie bateryjne - wskaźnik stanu baterii.

Kompaktowa obudowa o dużej odporności mechanicznej wykonana z ABS.

Ułatwiające pracę kolorowe oznaczenia gniazd.

Zwarta konstrukcja, niewielka masa, prosta i wygodna obsługa.

DANE TECHNICZNE

Wyświetlacz	13mm (0,5"), LCD, 3 1 cyfry, maks. odczyt -1999 i 1999	Okres próbkowania	0,8 sekundy
		Temperatura pracy	0°C do 50°C
Funkcje pomiarowe	DCV/ACV (napięcie stałe/zmienne), DCA/ACA (prąd stały i zmienny), WATT (moc)	Wilgotność w czasie pracy	poniżej 80%RH (wilgotności względnej)
Polaryzacja	automatyczna, wskaźnik "-" dla ujemnej polaryzacji sygnału wejściowego	Źródło zasilania	bateria 9V typu 6F22
		Pobór prądu	ok. 6 mA
		Wymiary	180 x 86 x 75 mm
Zerowanie	automatyczne na zakresach napięciowych i prądowych; na zakresie WATT - ręczne (-30 do 30)	Waga	500 g (z baterią)
Przepelnienie	wyświetlane symbole "1" lub "-1"	Wyposażenie	instrukcja obsługi, para przewodów TL-01

PARAMETRY ELEKTRYCZNE (w temp. 23 ± 5 °C)**ZAKRES "WATT" (pomiar mocy czynnej)**

Zakres	Dokładność	Raster	Uwagi
2000 W	± (1% + 1 cyfra)	1 W	napięcie wejściowe: 0 ÷ 600V AC (zabezpieczenie przeciążeniowe do 1000V); prąd wejściowy: 0 ÷ 10A AC; częstotliwość sygnału: 45 ÷ 65Hz; dokładność podana dla napięć powyżej 60V AC (60Hz)
6000 W	± (1% + 1 cyfra)	10 W	

ZAKRES "ACA" (prąd zmienny)**ZAKRES "ACA" (prąd stały)**

Zakres	Dokładność	Raster	Imp. wej.	Odporność przeciążeniowa	Zakres	Dokładność	Raster	Spadek napięcia
200 V	± (0,8 % + 1 cyfra)	0,1V	1 MW	1000 V AC	10 A	± (1 % + 1 cyfra)	10 mA	200 mV AC
750 V	± (0,8 % + 1 cyfra)	1 V	1 MW	± 1100 V DC				

UWAGA: Częstotliwość pomiaru 45Hz ÷ 65Hz; Charakterystyka przetwarzania: pomiar wartości średniej, wyświetlana wartość skuteczna (RMS) odpowiedniego przebiegu sinusoidalnego.

ZAKRES "DCV" (napięcie stałe)**ZAKRES "DCA" (prąd stały)**

Zakres	Dokładność	Raster	Imp. wej.	Odporność przeciążeniowa	Zakres	Dokładność	Raster	Spadek napięcia
200 V	± (0,8 % + 1 cyfra)	0,1V	1 MW	1000 V AC	10 A	± (1 % + 1 cyfra)	10 mA	200 mV AC
1000 V	± (0,8 % + 1 cyfra)	1 V	1 MW	± 1100 V DC				

źródło:

Opracował: Maciej Neugebauer

ZAŁĄCZNIK 4 – Brudnopis**Tabela 1.1**

Lp.	R_1
	Ω
1	
2	
3	

Tabela 1.2

$\Delta R_{\text{mostka Wheatstone'a}} =$	
---	--

Tabela 1.2.0

Lp.	U V	I A	U_n V	I_n A
1.				
2.				
3.				
4.				
5.				
6.				

Tabela 1.2.1

	Właściwe podkreślić	
Woltomierz	analogowy	cyfrowy
Amperomierz	analogowy	cyfrowy

Tabela 1.2.2

Klasa dokładności amperomierz		
Klasa dokładności woltomierza		
	przetwarzania	dyskretyzacji
Błąd przetwarzania i dyskretyzacji amperomierz		
Błąd przetwarzania i dyskretyzacji woltomierza		

Tabela 1.3

Lp.	U V	I A	P_a W	P_C W	U_n V	I_n A	P_{an} W
1.							
2.							
3.							
4.							
5.							
6.							
7.							
8.							

Tabela 1.3.1

	Właściwe podkreślić	
Woltomierz	analogowy	cyfrowy
Amperomierz	analogowy	cyfrowy

Tabela 1.3.2

Klasa dokładności amperomierza analogowego		
Klasa dokładności woltomierza analogowego		
Klasa dokładności woltomierza analogowego		
	przetwarzania	dyskretyzacji
Błąd przetwarzania i dyskretyzacji amperomierz cyfrowego		
Błąd przetwarzania i dyskretyzacji woltomierza cyfrowego		
Błąd przetwarzania i dyskretyzacji woltomierza cyfrowego		

Data:**Podpis:**