

Politechnika Lubelska
Katedra Automatyki i Metrologii.
Laboratorium Podstaw Miernictwa Elektrycznego.

Ćwiczenie Nr 33

**POMIARY PARAMETRÓW DWÓJNIKÓW PASYWNYCH
METODĄ TRZECH WOLTOMIERZY**

Cel ćwiczenia

Celem ćwiczenia jest poznanie właściwości metody trzech woltomierzy i wykorzystanie jej do pomiarów parametrów dwójników pasywnych na stanowisku pomiarowym wspomaganym komputerowo.

Lublin 2004

1. WPROWADZENIE TEORETYCZNE

1.1. Podstawowe określenia i definicje.

Do podstawowych parametrów obwodów prądu przemiennego należy impedancja Z , która wyraża opór jaki obwód stawia prądowi I przepływającemu pod wpływem przyłożonego napięcia U

$$Z = \frac{U}{I}.$$

Impedancja może być wyrażona w układzie współrzędnych prostokątnych

$$Z = R + jX$$

gdzie : R – rezystancja,
 X – reaktancja,

lub biegunowych

$$Z = |Z|e^{j\varphi}$$

gdzie :

$$|Z| = \sqrt{R^2 + X^2}$$

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{X}{R}.$$

Składowe impedancji najczęściej są mierzone metodą techniczną za pomocą woltomierza, amperomierza i watomierza [1] lub metodami mostkowymi [1]. Do grupy metod technicznych pomiaru składowych impedancji można zaliczyć pomiary metoda trzech napięć, która w literaturze najczęściej nazywana jest metodą trzech woltomierzy [1].

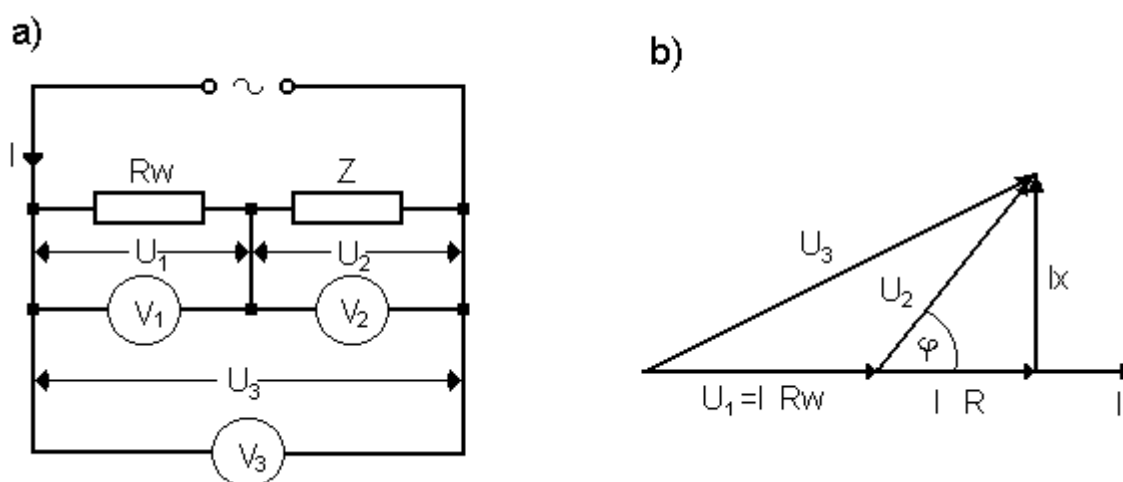
Metoda trzech woltomierzy jest metodą uniwersalną ponieważ umożliwia wyznaczenie wielu parametrów dwójnika w trakcie jego pracy, przy dowolnie ustawionej wartości częstotliwości i napięcia zasilającego. Mimo tych zalet nie była ona powszechnie stosowana ze względu na:

- duże błędy pomiaru powodowane bocznikowaniem obiektów impedancjami woltomierzy elektromechanicznych,
- konieczność wykonywania skomplikowanych obliczeń przy wyznaczaniu parametrów mierzonego dwójnika.

Pierwsza ze wspomnianych niedogodności ustąpiła wraz z pojawieniem się woltomierzy cyfrowych o dużej impedancji wejściowej, drugą można eliminować dzięki wyposażeniu stanowiska pomiarowego w komputer sterujący przebiegiem pomiaru, tzn. dołączający do woltomierza mierzone napięcia, odczytujący i zapamiętujący zmierzone przez woltomierze wartości tych napięć oraz wykonujący niezbędne obliczenia.

1.2. Zasada pomiaru.

Układ do pomiaru parametrów dwójnika metodą pomiaru trzech napięć jest przedstawiony na rys.1.1a), zaś odpowiedni wykres wektorowy wykonany przy założeniu, że prądy płynące przez woltomierze są pomijane w stosunku do prądu I płynącego przez mierzoną impedancję Z i rezystor wzorcowy R_w , na rys.1.1b).



Rys. 1.1 Ilustracja zasady pomiaru parametrów dwójników metoda trzech napięć; a) schemat układu, b) wykres wektorowy.

Układ zasilany jest prądem sinusoidalnym o częstotliwości f typowej dla badanego dwójnika. Z wykresu wektorowego z rys.1.1.b) widać, że:

$$U_3^2 = U_1^2 + U_2^2 - 2U_1U_2 \cos(180^\circ - \varphi) \quad (1.1)$$

oraz

$$\cos \varphi = \frac{U_3^2 - U_1^2 - U_2^2}{2U_1U_2}, \quad (1.2)$$

gdzie:

U_1, U_2, U_3 – wartości skuteczne napięć zmierzonych w układzie z rys 1.1.a).

Uwzględniając, że

$$U_2 = I Z \quad (1.3)$$

$$U_1 = I R_w \quad (1.4)$$

oraz dzieląc (1.3) i (1.4) stronami otrzymujemy wzór na impedancję Z badanego dwójnika

$$Z = \frac{U_2}{U_1} * R_w. \quad (1.5)$$

Biorąc pod uwagę wzory (1.2) i (1.5) możemy napisać zależność na opór czynny R badanego dwójnika

$$R = Z \cos\varphi = \frac{U_2}{U_1} R_w \frac{U_3^2 - U_1^2 - U_2^2}{2U_1U_2} = \left[\left(\frac{U_3}{U_1} \right)^2 - \left(\frac{U_2}{U_1} \right)^2 - 1 \right] \frac{R_w}{2}. \quad (1.6)$$

Reaktancja badanego dwójnika wyznaczamy ze wzoru:

$$X = \sqrt{Z^2 - R^2}, \quad (1.7)$$

umożliwiającego w przypadku dwójnika RL wyznaczenie jego indukcyjności

$$L = \frac{X}{2\pi f}, \quad (1.8)$$

zaś w przypadku dwójnika RC wyznaczenie jego pojemności

$$C = \frac{1}{2\pi fX}. \quad (1.9)$$

Zmierzone napięcia pozwalają również na wyznaczenie mocy czynnej pobieranej przez dwójnik

$$P = \frac{U_3^2 - U_2^2 - U_1^2}{2R_w}, \quad (1.10)$$

mocy pozornej

$$S = \frac{U_1U_2}{R_w}, \quad (1.11)$$

oraz mocy biernej

$$Q = \sqrt{S^2 - P^2}. \quad (1.12)$$

1.3. Dokładność pomiarów.

Wartości prądu I , impedancji Z , rezystancji R , $\cos\varphi$, mocy czynnej P i pozornej S są w omawianej metodzie wyznaczone metodą pośrednią na podstawie zmierzonych napięć U_1 , U_2 , U_3 i rezystancji wzorcowej R_w . Systematyczne graniczne błędy względne popełnione przy pomiarze poszczególnych parametrów dwójnika wyznaczone metoda różniczki zupełnej przedstawiono w tabelicy 1, gdzie: δ_{U1} , δ_{U2} , δ_{U3} , δ_{Rw} oznaczają odpowiednio błędy względne pomiaru napięcia U_1 , U_2 , U_3 i błąd rezystora wzorcowego R_w .

Tabela 1.

Wielkość mierzona	Wzór z którego wyznacza się wartość mierzoną	Wzór na względny błąd systematyczny graniczny mierzonego parametru,
I	$\frac{U_1}{R_w}$	$\delta_{U_1} + \delta_{R_w}$
Z	$\frac{U_2}{U_1} R_w$	$\delta_{U_1} + \delta_{U_2} + \delta_{R_w}$
R	$\left[\left(\frac{U_3}{U_1} \right)^2 - \left(\frac{U_2}{U_1} \right)^2 - 1 \right] \frac{R_w}{2}$	$2 \frac{(U_2^2 - U_3^2) \delta_{U_1} + U_2^2 \delta_{U_2} + U_3^2 \delta_{U_3}}{U_3^2 - U_2^2 - U_1^2} + \delta_{R_w}$
$\cos\varphi$	$\frac{U_3^2 - U_1^2 - U_2^2}{2U_1U_2}$	$\frac{(U_2^2 - U_3^2 - U_1^2) \delta_{U_1} + (U_1^2 - U_3^2 - U_2^2) \delta_{U_2} + 2U_3^2 \delta_{U_3}}{U_3^2 - U_2^2 - U_1^2}$
S	$\frac{U_1U_2}{R_w}$	$\delta_{U_1} + \delta_{U_2} + \delta_{R_w}$
P	$\frac{U_3^2 - U_2^2 - U_1^2}{2R_w}$	$2 \frac{U_1^2 \delta_{U_1} + U_2^2 \delta_{U_2} + U_3^2 \delta_{U_3}}{U_3^2 - U_2^2 - U_1^2} + \delta_{R_w}$

Błąd bezwzględny pomiaru napięcia woltomierzem cyfrowym jest podawany w jednej z następujących postaci:

$$\Delta U_x = a\% U_{wsk} + b\% U_{zakr}, \quad (1.12a)$$

lub

$$\Delta U_x = a\% U_{wsk} + c, \quad (1.12b)$$

gdzie:

U_{sk} – wartość wskazana przez woltomierz,

U_{zakr} – zakres woltomierza,

c – liczba najmniej znaczących cyfr,

$a\%$ - współczynnik do obliczenia błędu multiplikatywnego,

$b\%$ - współczynnik do obliczenia błędu addytywnego.

Względny błąd pomiaru napięcia (wyrażony w procentach) obliczamy ze wzoru:

$$\delta_U = a\% + b\% \frac{U_{zakr}}{U_{wsk}}, \quad (1.13a)$$

lub ze wzoru:

$$\delta_U = a\% + \frac{c}{U_{wsk}} \cdot 100\%. \quad (1.13b)$$

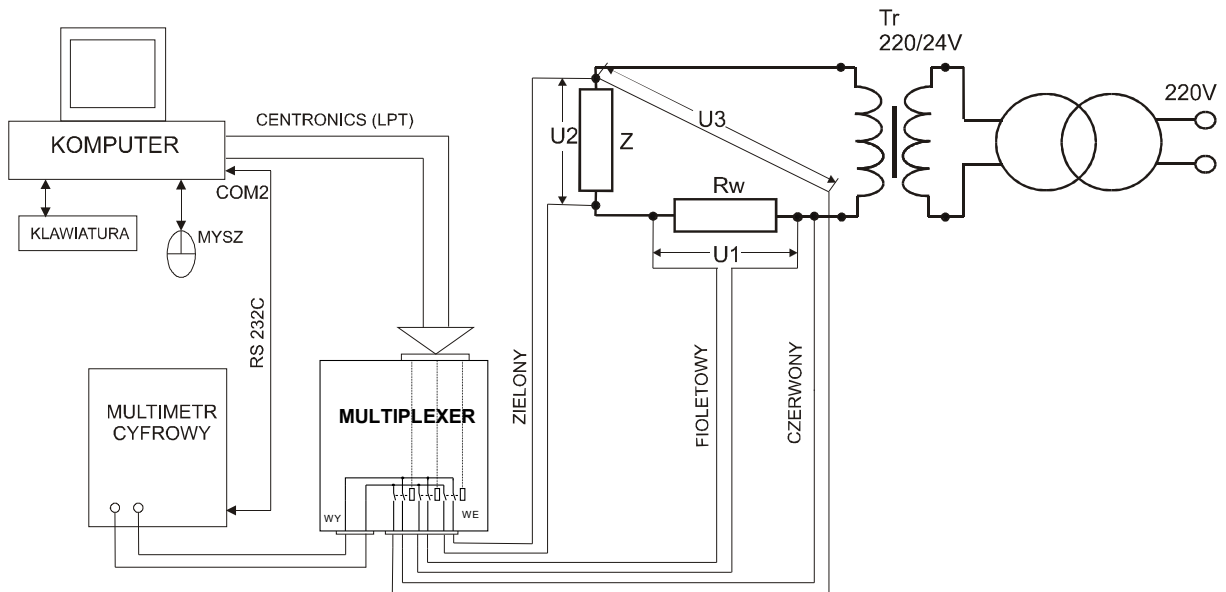
Błąd względny rezystora wzorcowego δ_{R_w} jest równy jego klasie.

1.4. Przygotowanie eksperymentu.

Poprawne przeprowadzenie pomiarów wymaga od eksperymentatora znajomości granicznych, dopuszczalnych wartości parametrów charakteryzujących badany dwójnik (prąd, napięcie) oraz rezystor wzorcowy i uwzględnianiu ich podczas wykonywania pomiarów. Przed pomiarami właściwymi przeprowadza się pomiary wstępne mające na celu zgrubne określenie wartości impedancji Z badanych dwójników. Wykonuje się je w układzie połączeń jak na rys.2.1 mierząc napięcia U_1 i U_2 dla wybranych dwójników. Dla dwójnika o określonym dopuszczalnym napięciu zasilającym U_{dop} pomiary wykonuje się ustalając wartość $U_2 < U_{dop}$, zaś o dopuszczalnym prądzie I_{dop} pomiar dokonuje się ustalając wartość $I = I_{dop} < U_2/R_w$. Na podstawie zgrubnie zmierzonych wartości impedancji Z dobiera się dla każdego dwójnika rezystor wzorcowy $R_w \approx |Z|$ oraz zakres woltomierza minimalizujący błędy pomiaru.

2. OPIS STANOWISKA DYDAKTYCZNEGO

Schemat połączeń wspomaganego komputerowo układu pomiarowego jest przedstawiony na rysunku (2.1). Badany obiekt Z i połączony z nim szeregowo rezystor wzorcowy R_w zasila się harmonicznym (sinusoidalnym) napięciem sieciowym o wartości typowej dla badanego dwójnika poprzez autotransformator At i transformator separujący Tr . Napięcia U_1 , U_2 , U_3 są dołączane do woltomierza za pomocą MULTIPLESERA przełączanego z komputera PC poprzez port LPT (Centronics). MULTIMETR CYFROWY (woltomierz) połączony jest z komputerem PC poprzez port RS 232C.



Rys. 2.1 Schemat połączeń stanowiska dydaktycznego do pomiarów parametrów dwójników metodą trzech woltomierzy.

Multiplexer jest specjalnie opracowaną konstrukcją, w której wykorzystano przełącznik typu RM 82 w dwóch parach przełączanych styków. Włączenie kanału jest sygnalizowane przez odpowiednie diody umieszczone na płycie czołowej przyrządu. Dopuszczalna wartość przełączanych napięć wynosi $220 V_{sk}$.

W charakterze woltomierza wykorzystano $5 \frac{1}{2}$ cyfrowy multimetr typu ESCORT 3145A z przetwornikiem TRUE RMS [2]. Na stanowisku pomiarowym znajduje się rezystor dekadowy klasy 0,05 oraz szereg rezystorów wzorcowych klasy 0,01 o wartościach 10Ω , 100Ω , 1000Ω .

Program sterujący pomiarami napisano w środowisku LabView. Po uruchomieniu aplikacji mamy możliwość wyboru jednej z 5 zakładek pozwalających wykonać czynności i procedury pomiarowe niezbędne do wykonania ćwiczenia.

3. WYKONANIE ĆWICZENIA

- 3.1. Połączyć układ pomiarowy zgodnie ze schematem z rysunku (2.1). W miejsce opornika wzorcowego R_w włączyć opornik dekadowy (nastawiony na największą wartość rezystancji) służący do doboru rezystora wzorcowego o wartości gwarantującej minimalizację błędu metody występującą przy $R_d=|Z|$.
- 3.2. Uruchomić multimetr przyciskiem ON/OFF.
- 3.3. Włączyć zasilanie komputera, po załadowaniu systemu załączyć zasilanie multipleksera i uruchomić program wykorzystywany w ćwiczeniu. Po uruchomieniu aplikacji multimetr zostanie ustawiony w tryb pracy z komputerem (REMOTE), na wyświetlaczu głównym będzie wyświetlał aktualnie mierzoną wartość napięcia, na wyświetlaczu dodatkowym wartość częstotliwości mierzonego napięcia. Podczas wykonywania pomiarów nie zmieniać nastaw multimetru ręcznie.
- 3.6. Wybrać zakładkę **Nastawienie napięcia zasilającego**, wcisnąć **Mierz napięcie**, i ustawić jego wartość (regulując autotransformatorem) nie przekraczającą nastawionego zakresu multimetru 12V.
- 3.7. Wybrać zakładkę **Dobór rezystora wzorcowego** i regulować rezystor dekadowy do momentu gdy $U_1 \approx U_2$ co zachodzi przy $R_d \approx |Z|$. Po wybraniu każdej rezystancji należy wcisnąć **Mierz różnicę napięć** aby został wykonany pomiar. Zwracać uwagę by nie przekroczyć dopuszczalnego prądu rezystora R_w .
- 3.8. Wyłączyć napięcie zasilające układ pomiarowy, wymienić rezystor dekadowy na rezystor wzorcowy o wartości najbliższej tej jaka została uznana za optymalną. Po zakończeniu tej operacji ponownie załączyć zasilanie układu pomiarowego.
- 3.9. Przejść do zakładki **Pomiar parametrów dwójnika**, wybrać liczbę cykli pomiarowych do wykonania (w przedziale od 2 do 20, domyślnie 10) i wcisnąć **Przeprowadź pomiary**. Po zakończeniu pomiarów wyniki zostaną przedstawione w postaci tabeli, należy zanotować je do tabeli w protokole.

Typ dwójnika:		Wartość rezystora wzorcowego: Ω			Klasa rezystora wzorcowego:	
Lp	U_1 [V]	f_1 [Hz]	U_2 [V]	f_2 [Hz]	U_3 [V]	f_3 [Hz]
1						
2						
...						
średnia						

- 3.9. Po zakończeniu pomiarów dla jednego rodzaju dwójnika powtórzyć je dla innego charakteru dwójnika. Przełączenia dokonać przy wyłączonym zasilaniu obwodu pomiarowego.

3.10. W instrukcji od przyrządu pomiarowego odnaleźć informacje niezbędne do określenia niedokładności pomiarów.

4. WYKONANIE SPRAWOZDANIA.

- a) Korzystając ze zmierzonych napięć wyliczyć wartości I , Z , R , $\cos\varphi$, S oraz P zgodnie z tabelą 1.
- b) Scharakteryzować mierzone dwójniki.
- c) Podać błędy względny i bezwzględny:
 - pomiaru napięcia multimetrem,
 - rezystancji rezystora normalnego i nastawy rezystancji na rezystorze dekadowym.

Zamieścić obliczenia.

- d) Określić jak w stosunku do oszacowanych błędów pomiaru mają się zmiany wartości napięć podczas wykonywania kolejnych cykli pomiaru.
- e) Obliczyć błędy względne zmierzonych parametrów dwójników według wyrażeń podanych w tabeli 1.
- f) Podać wartości zmierzonych parametrów dwójników z uwzględnieniem jednej cyfry niepewnej i określeniem niedokładności wykonanych pomiarów.
- g) Przedstawić wnioski i spostrzeżenia nasuwające się podczas wykonywania ćwiczenia oraz opracowywania sprawozdania.

Literatura:

1. Lebson S., Podstawy miernictwa elektrycznego, *WNT Warszawa* 1972
2. ESCORT 3145A Dual Display Multimeter, Operation Manual.
3. Stabrowski M. M., Miernictwo Elektryczne, Cyfrowa technika pomiarowa, *Oficyna Wydawnicza P.W.*, Warszawa 1994.