

Politechnika



Białostocka

Wydział Elektryczny
Katedra Elektrotechniki Teoretycznej i Metrologii

Instrukcja do zajęć laboratoryjnych z przedmiotu

METROLOGIA

Kod przedmiotu

EDS1A 2010

Pomiar mocy watomierzem w obwodzie jednofazowym

Numer ćwiczenia

MD 10

Jarosław Makal

Białystok 2019

Celem tego ćwiczenia jest nabycie umiejętności pomiaru mocy czynnej, biernej oraz współczynnika mocy odbiorników jednofazowych typu R-L przy pomocy watomierza (analogowego i cyfrowego).

1. Wprowadzenie

Moc czynna (*active power*) P dla przebiegów okresowych prądu i napięcia jest równa wartości średniej mocy chwilowej za okres T sygnałów

$$P = \frac{1}{T} \int_{t_0}^{t_0+T} p(t) dt = \frac{1}{T} \int_{t_0}^{t_0+T} u(t) \cdot i(t) dt \quad (1)$$

W obwodach sinusoidalnych zależność ta jest wyrażona w postaci

$$P = U \cdot I \cdot \cos \varphi \quad (2)$$

Wartość skuteczna (*rms value*) napięcia i wartość skuteczna prądu są zdefiniowane następująco

$$U = \sqrt{\frac{1}{T} \int_{t_0}^{t_0+T} u^2(t) dt} \quad (3a)$$

$$I = \sqrt{\frac{1}{T} \int_{t_0}^{t_0+T} i^2(t) dt} \quad (3b)$$

a współczynnik mocy (*power factor*)

$$\cos \varphi = \frac{P}{U \cdot I} \quad (3c)$$

2. Watomierz analogowy

Watomierz analogowy jest rodzajem przetwornika elektromechanicznego realizującym operację mnożenia trzech wielkości: skutecznej wartości napięcia doprowadzonego do jego **obwodu napięciowego (cewki napięciowej)**, skutecznej wartości prądu przepływającego przez jego **cewkę prądową** oraz

kosinusa kąta przesunięcia fazowego (**współczynnika mocy**) między wymienionymi wyżej wielkościami elektrycznymi.

Watomierz ten charakteryzują trzy podstawowe parametry:

- znamionowe napięcie U_n
- znamionowy prąd I_n
- znamionowy współczynnik mocy $\cos\varphi_n$,

które określają **zakres pomiarowy P_n watomierza**:

$$P_n = U_n I_n \cos\varphi_n$$

Współczynnik mocy (znamionowy) watomierzy laboratoryjnych ma najczęściej wartość 1, tak więc zakres pomiarowy watomierza jest wtedy iloczynem zakresów cewki napięciowej i cewki prądowej. Początki uzwojeń cewek są oznaczone na obudowie przyrządu symbolem gwiazdki, kropki lub innym. Oznaczenia te pozwalają na poprawne włączenie tego przyrządu do obwodu z zachowaniem właściwego kierunku przepływu prądu przez obie cewki.

Przystępując do pomiarów z użyciem watomierza, należy wcześniej dobrać tak parametry znamionowe przyrządu, aby mierząc moc odbiornika nie uszkodzić przyrządu.

Produkowane watomierze analogowe mają zwykle trzy zakresy napięciowe: **400V, 200V, 100V** oraz dwa zakresy prądowe, np. **(0,5A i 1A), (1A i 2A), (2,5A i 5A), (5A i 10A), (10A i 20A)**. Przy pomiarach mocy czynnej odbiorników o znamionowym współczynniku mocy dużo mniejszym od jedności (np. dławika współpracującego ze świetlówką, odchylenie wskazówki watomierza może być niewielkie nawet jeśli wartości przyłożonego napięcia i płynącego prądu będą bliskie wartościom znamionowym watomierza. Aby możliwe było lepsze przybliżenie mocy wydzielającej się w odbiorniku do mocy znamionowej watomierza, watomierze analogowe przystosowane są do długotrwałego przeciążenia cewki napięciowej i prądowej w następujących granicach:

$$U_{max} = 1,5 U_n \text{ (o 50\%)}$$

$$I_{max} = 1,3 I_n \text{ (o 30\%)}$$

Przedstawione poniżej przykłady ilustrują sposób wykorzystania tej cechy konstrukcyjnej watomierzy przy pomiarach mocy.

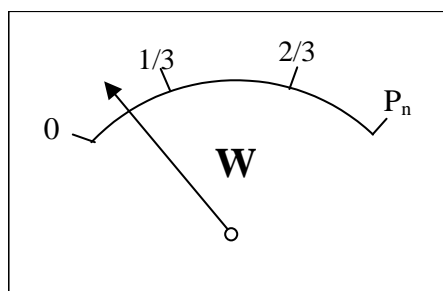
Przykład 1.

Należy dobrać parametry znamionowe watomierza, który zostanie użyty do pomiaru mocy czynnej odbiornika o następujących parametrach znamionowych: $U_0 = 230 \text{ V}$, $P_0 = 80 \text{ W}$, $\cos\varphi_0 = 0,5$.

Na początku należy wybrać watomierz o zakresie napięciowym $U_n = 400 \text{ V}$ lub 200 V oraz zakresie prądowym $I_n = 0,5 \text{ A}$ lub 1 A . Jego zakresy pomiarowe wynoszą

$$P_n = U_n I_n \cos \varphi_n = 400 \text{ W}, 200 \text{ W}, 200 \text{ W}, 100 \text{ W}$$

Ponieważ moc odbiornika wynosi 80 W , więc na największym zakresie pomiarowym (400 W) wskazówka przyrządu odchyli się do około $1/5$ zakresu podziałki (rysunek 1.). Odchylenie to uznać należy za niewystarczające (dlaczego?).



Rys. 1. Widok podziałki watomierza ze zbyt małym wychyleniem wskazówki

Wydawałoby się, że najbardziej odpowiednim jest zakres watomierza 100 W , ale jest on uzyskiwany przy napięciu 200 V i płynącym prądzie $0,5 \text{ A}$. O ile napięcie $U_0 = 230 \text{ V}$ „mieści się” w dopuszczalnych granicach przeciążalności cewki napięciowej ($U_{max} = 1,5 U_n = 1,5 \times 200 = 300 \text{ V}$), to maksymalny prąd, jaki na zakresie $0,5 \text{ A}$ wytrzyma cewka prądowa wynosi:

$$I_{max} = 1,3 I_n = 1,3 \times 0,5 \text{ A} = 0,65 \text{ A},$$

i jest on mniejszy od prądu znamionowego odbiornika $I_0 = \frac{P_0}{U_0 \cos \varphi_0} = 0,69 \text{ A}$.

Nie można więc wykorzystać tego zakresu prądowego przyrządu i pomiar należy przeprowadzić na zakresach 200 V , 1 A , 200 W , a jego wynik zapisać z uwzględnieniem granicznego błędu pomiaru.

Wykorzystując przeciążalność obwodów (cewek) przyrządu należy też zwracać baczną uwagę, aby zakres pomiarowy watomierza nie okazał się mniejszy od mocy odbiornika.

Przykład 2.

Studenci otrzymali zadanie dobrania parametrów watomierza (400 V , 200 V , 5 A , $2,5 \text{ A}$) dla spirali grzejnej o mocy $P_0 = 700 \text{ W}$ przy napięciu znamionowym $U_0 = 230 \text{ V}$. Obliczyli prąd znamionowy spirali równy $I_0 = \frac{P_0}{U_0 \cos \varphi_0} = \frac{700}{230} = 3,04 \text{ A}$.

Przyjęto intuicyjnie zakres napięciowy watomierza $U_n = 200$ V oraz obliczono, że odpowiedni będzie jego zakres prądowy $I_n = 2,5$ A, bowiem maksymalny prąd na tym zakresie wynosi $I_{max} = 2,5 \text{ A} \times 1,3 = 3,25$ A i jest większy od prądu spirali. Po włączeniu do układu napięcia zasilającego okazało się, że wskazówka watomierza odchyła się poza zakres pomiarowy pomimo tego, że żaden obwód watomierza nie był przeciążony. Łatwo jest wykazać, że zakres pomiarowy watomierza, który w tym przypadku wynosi $P_n = U_n \cdot I_n = 500$ W, jest mniejszy od mocy spirali (700 W).

Kolejny przykład ilustruje groźny przypadek, w którym prąd płynący w cewce prądowej jest większy od jej maksymalnego prądu, a jednocześnie odchylenie wskazówki watomierza dalekie jest od wskazania maksymalnego, co może prowadzić do trwałego uszkodzenia cieplnego cewki prądowej.

Przykład 3.

Jeśli do pomiaru mocy odbiornika o parametrach znamionowych $U_o = 230$ V, $P_o = 50$ W, $\cos\varphi_o = 0,15$, zastosowany zostanie watomierz o parametrach znamionowych: $U_n = 200$ V; $I_n = 0,5$ A; $\cos\varphi_n = 1$, czyli o zakresie pomiarowym $P_n = 100$ W, to wskazówka przyrządu nie odchyli się nawet do połowy jego podziałki. Tymczasem prąd odbiornika ($I_o = 1,45$ A – wg wzoru z przykładu 2) będzie znacznie przekraczał dopuszczalny prąd cewki prądowej:

$$I_{max} = 1,3 \times I_n = 1,3 \times 0,5 \text{ A} = 0,65 \text{ A}$$

Cewka ta zostanie zbyt mocno przeciążona prądowo i ulegnie uszkodzeniu cieplnemu.

W przypadku, gdy nie można określić nawet przybliżonej wartości prądu odbiornika, to w układzie pomiarowym powinien dodatkowo występować amperomierz do kontroli prądu cewki prądowej watomierza.

Rezygnuje się natomiast z użycia woltomierza do kontroli napięcia panującego na cewce napięciowej, gdyż w sieci przemysłowej NN występują napięcia o dwóch tylko wartościach: 230 V i 400 V.

Podobny schemat przygotowania do pomiarów mocy należy przyjąć, jeśli używany jest w nich watomierz cyfrowy pamiętając, że w tych przyrządach **nie dopuszcza się przeciążania obwodu napięciowego i prądowego** (przed wykonaniem pomiaru należy uważnie zapoznać się z instrukcją przyrządu).

3. Watomierz cyfrowy

Przyrządy cyfrowe do pomiaru mocy działają na innej zasadzie. Polega ona (w dużym uproszczeniu) na próbkowaniu przebiegów napięcia $u(t)$ i prądu $i(t)$, a następnie wykonaniu operacji matematycznych na uzyskanych próbkach $u(n)$ oraz $i(n)$ tak, aby wyznaczyć wartość mocy czynnej z zależności

$$p(n) = u(n) \cdot i(n) \quad (4a)$$

$$P = \frac{1}{N} \sum_1^N u(n) \cdot i(n) \quad (4b)$$

gdzie N jest liczbą próbek przypadających na jeden okres T sygnału. Warto zwrócić uwagę na podobieństwo zależności (1) i (4a,b).

Większość cyfrowych watomierzy umożliwia pomiar wartości skutecznych napięcia i prądu, mocy pozornej S , mocy biernej Q oraz współczynnika mocy $\cos \varphi$.

Obliczane są one wg następujących zależności:

- wartości skuteczne

$$U = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_1^N u^2(n)} \quad (5a)$$

$$I = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_1^N i^2(n)} \quad (5b)$$

- moc pozorna (*apparent power*)

$$S = U \cdot I = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_1^N u^2(n)} \cdot \sqrt{\frac{1}{N} \sum_1^N i^2(n)} \quad (6)$$

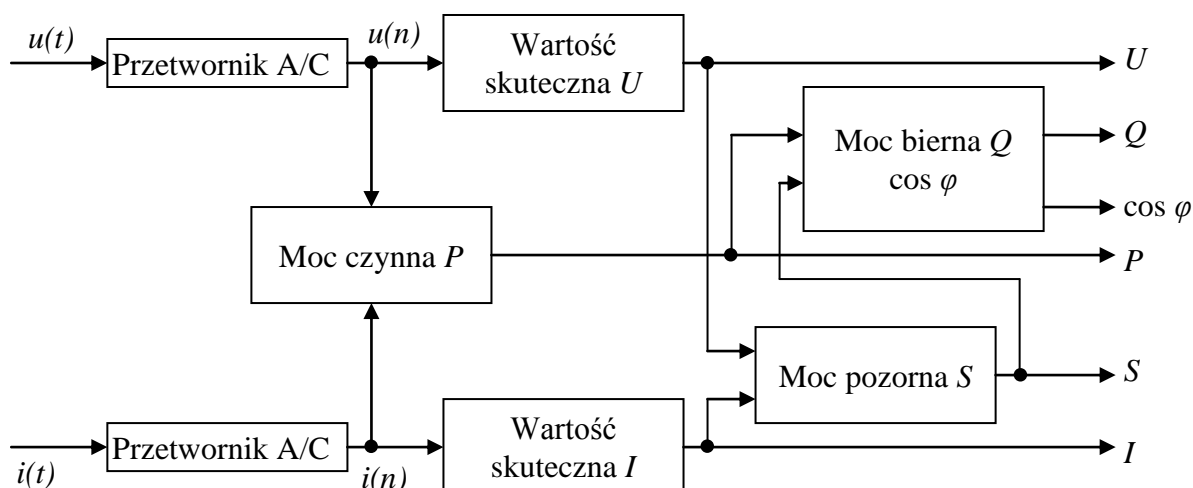
- współczynnik mocy

$$\cos \varphi = \frac{P}{S} \quad (7)$$

- moc bierna (*reactive power*)

$$Q = \sqrt{S^2 - P^2} \quad (8)$$

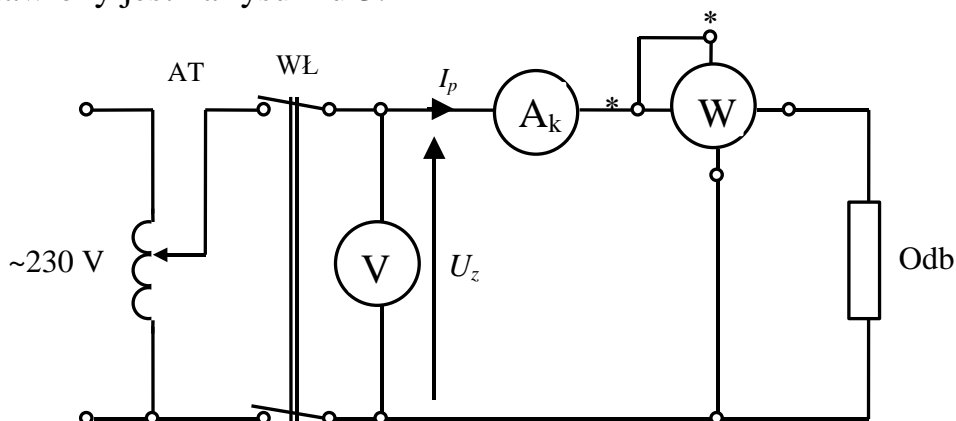
Schemat blokowy watomierza cyfrowego przedstawiono na rysunku 2.



Rys. 2. Schemat blokowy watomierza cyfrowego.

4. Pomiar mocy watomierzem analogowym

W tej części ćwiczenia studenci dobierają odpowiedni watomierz, a następnie przeprowadzają pomiary w układzie, którego schemat przedstawiony jest na rysunku 3.



Rys. 3. Schemat układu pomiarowego.

AT - autotransformator laboratoryjny,

WŁ - wyłącznik dwubiegunowy,

V - woltomierz elektromagnetyczny typu TLEM-2 o zakresie 300V,

A_k - amperomierz elektromagnetyczny typu LE-3P (zakresy należy dobierać zależnie od potrzeb),

W - watomierz ferrodynamiczny (ćwiczący mają do dyspozycji trzy watomierze o różnych zestawach zakresów prądowych i jednakowych zakresach napięciowych),

Odb - odbiornik (wskaże prowadzący).

Uwaga:

Przed przystąpieniem do pomiarów ćwiczący muszą obliczyć znamionowy prąd I_0 odbiornika, a następnie dobrać odpowiedni watomierz, aby jak najdokładniej zmierzyć moc czynną wskazanego odbiornika. Wyniki obliczeń i wartości wybranych parametrów watomierza należy zanotować w Tabelicy 1.

Tabelica 1

Nazwa odbiornika	Parametry odbiornika	Parametry wybranego watomierza
żarówka	$U_0 = 230 \text{ V}$ $P_0 = \dots\dots\dots \text{ W}$ $\cos\varphi_0 = 1$ $I_0 = \dots\dots\dots \text{ A}$	$U_n = \dots\dots\dots \text{ V}$ $P_n = \dots\dots\dots \text{ W}$ $I_n = \dots\dots\dots \text{ A}$ $\cos\varphi_n = 1$ liczba działek $d = \dots\dots$ klasa dokładności $k = \dots$
termowentylator (bez grzałki)	$U_0 = 230 \text{ V}$ $P_0 = 26 \text{ W}$ $\cos\varphi_0 = 0,6 \div 0,8$ $I_0 = \dots\dots\dots \text{ A}$	$U_n = \dots\dots\dots \text{ V}$ $P_n = \dots\dots\dots \text{ W}$ $I_n = \dots\dots\dots \text{ A}$ $\cos\varphi_n = 1$ liczba działek $d = \dots\dots$ klasa dokładności $k = \dots$
termowentylator (z jedną grzałką)	$U_0 = 230 \text{ V}$ $P_0 = 1000 \text{ W}$ $\cos\varphi_0 \approx 1$ $I_0 = \dots\dots\dots \text{ A}$	$U_n = \dots\dots\dots \text{ V}$ $P_n = \dots\dots\dots \text{ W}$ $I_n = \dots\dots\dots \text{ A}$ $\cos\varphi_n = 1$ liczba działek $d = \dots\dots$ klasa dokładności $k = \dots$

4.1. Przebieg pomiarów

1. Przedstaw wyniki obliczeń z Tabelicy 1 prowadzącemu ćwiczenie.
2. Połącz układ pomiarowy według rysunku 3.
3. Wykonaj pomiary dla każdego odbiornika. Wyniki zapisz w Tabelicy 2.

Tabelica 2

Nazwa odbiornika	U_z	P_z	I_p	S	Q	$\cos\varphi$
	V	W	A	V·A	var	
żarówka	230					
termowentylator	230					
termowentylator (z grzałką)	230					

5. Pomiar mocy watomierzem cyfrowym

W tej części pomiarowej ćwiczenia wykorzystane będą dwa watomierze cyfrowe: LAVO 6 (rys. 4) i METRIX PX110 (rys. 5).

Przyrządy te posiadają po dwie pary zacisków obwodów pomiarowych napięcia (V) i prądu (A). Watomierz LAVO 6 wymaga ręcznego wyboru zakresu prądowego i napięciowego oraz wyboru funkcji pomiaru. Nie jest też w nim możliwy bezpośredni pomiar wartości mocy pozornej, mocy bierniej ani współczynnika mocy.

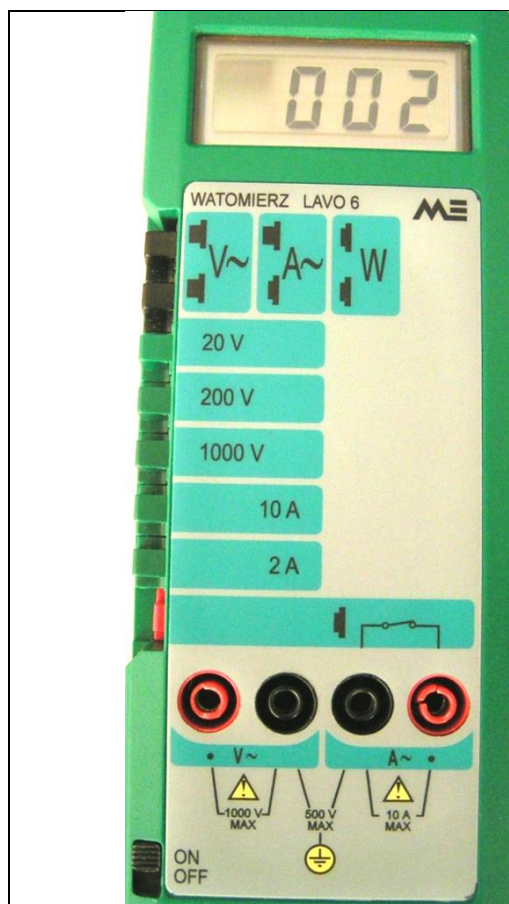
Watomierz METRIX PX110:

ON - na wyświetlaczu pojawiają się aktualne wartości skuteczne napięcia i prądu oraz mocy czynnej;

DISPLAY - umożliwia odczyt wartości mocy bierniej, pozornej i współczynnika mocy;

HOLD – zatrzymuje aktualnie wyświetlane wyniki pomiarów;

SMOOTH - włącza uśrednianie czasowe wyników (przydatne przy wahaniach napięcia zasilającego).

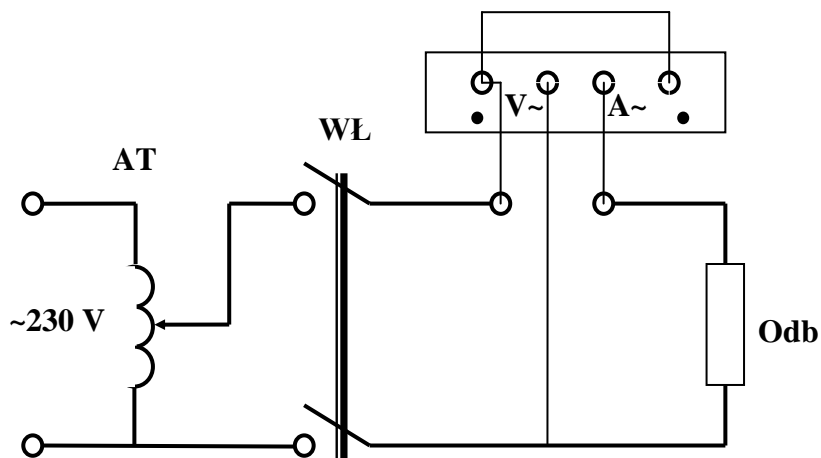


Rys. 4. Watomierz cyfrowy LAVO 6



Rys. 5. Watomierz cyfrowy METRIX PX110

Studenci powinni zapoznać się z kartami katalogowymi obu watomierzy i odpowiednie dane techniczne zanotować w protokole.



Rys. 6. Schemat układu pomiarowego z widocznymi zaciskami watomierza LAVO 6.

1. Przy pomocy obu watomierzy cyfrowych należy zmierzyć (PX110) bądź zmierzyć i wyznaczyć (LAVO 6) wartości wielkości z Tablicy 3 dla wszystkich odbiorników. Wyniki zapisać w poniższej tabeli.

Tabela 3

watomierz			żarówka	termowentylator (bez grzałki)	termowentylator (z grzałką)
LAVO 6	U_z	V			
	I_p	A			
	P_z	W			
	S	V·A			
	Q	var			
	$\cos\varphi$				
METRIX PX110	U_z	V			
	I_p	A			
	P_z	W			
	S	V·A			
	Q	var			
	$\cos\varphi$				

6. Opracowanie sprawozdania

Na podstawie uzyskanych wyników pomiarów w p. 4.1, 5.1 i 5.2 oraz danych technicznych przyrządów należy:

1. Zapisać wyniki pomiarów mocy czynnej wraz z błędami granicznymi (watomierz analogowy).
2. Zapisać dla każdego odbiornika wynik pomiaru mocy czynnej, wartości skutecznej napięcia i prądu wraz z błędem granicznym (LAVO 6).
3. Zapisać dla każdego odbiornika wyniki pomiarów mocy czynnej, wartości skutecznej napięcia i prądu, mocy pozornej, mocy biernej oraz współczynnika mocy (watomierz PX110) wraz z błędami granicznymi.
4. Zestawić w jednej tabeli wyniki pomiarów mocy czynnej (z błędami granicznymi) i obliczeń wartości mocy pozornej, mocy biernej i współczynnika mocy tak, aby można było je porównać (dla tych samych odbiorników). Skomentować to zestawienie i zastanowić się nad przyczynami ewentualnych rozbieżności.

Uwaga:

Zaleca się, aby każdy z członków zespołu laboratoryjnego wykonał polecenia z pkt. 1-7 przynajmniej dla jednego z odbiorników. W ten sposób nauczy się poprawnie opracowywać wyniki pomiarów wykonywanych przy użyciu watomierza analogowego i cyfrowego.

7. Pytania i zadania kontrolne

1. Jaki ustrój pomiarowy wykorzystany jest w budowie watomierza analogowego?
2. Wymień podstawowe parametry charakteryzujące watomierz
3. Jak oblicza się zakres pomiarowy watomierza?
4. Jaki efekt przyniesie przełączenie początku cewki napięciowej na koniec cewki prądowej watomierza przy pomiarze mocy czynnej odbiornika R-L?
5. W jakim celu konstruktor przewidział możliwość przeciążania obwodów elektrycznych watomierza i do jakich granic przeciążyć można długotrwale te obwody?
6. W jakich okolicznościach wskazówka watomierza może odchylić się poza zakres pomiarowy, mimo iż żaden z jego obwodów nie będzie przeciążony?
7. W jakich okolicznościach dojść może do cieplnego uszkodzenia cewki prądowej watomierza?
8. Jaka rolę pełni amperomierz A_k w układzie pomiarowym z rysunku 3?

9. Dlaczego nie stosuje się woltomierzy do kontroli napięcia obwodu napięciowego watomierzy?
10. W jaki sposób należy przeprowadzić pomiar mocy watomierzem cyfrowym, aby uniknąć jego uszkodzenia?
11. Opisz tok postępowania przy doborze parametrów znamionowych watomierza, gdy znane są parametry odbiornika.

8. Literatura

1. Chwaleba A. i inni. *Metrologia elektryczna* WNT, Warszawa 2007
2. Lebson S. *Podstawy miernictwa elektrycznego* WNT, Warszawa 1972
3. Piotrowski R. *Ćwiczenia laboratoryjne z metrologii*, Wyd. Politechniki Białostockiej, Białystok 2008
4. Tumański S. *Technika pomiarowa*, WNT, Warszawa 2012.

Wymagania BHP

Warunkiem przystąpienia do praktycznej realizacji ćwiczenia jest zapoznanie się z instrukcją BHP i instrukcją przeciwpożarową oraz przestrzeganie zasad w nich zawartych. Wybrane urządzenia dostępne na stanowisku laboratoryjnym mogą posiadać instrukcje stanowiskowe. Przed rozpoczęciem pracy należy zapoznać się z instrukcjami stanowiskowymi wskazanymi przez prowadzącego.

W trakcie zajęć laboratoryjnych należy przestrzegać następujących zasad.

- ♦ Sprawdzić, czy urządzenia dostępne na stanowisku laboratoryjnym są w stanie kompletnym, nie wskazującym na fizyczne uszkodzenie.
- ♦ Sprawdzić prawidłowość połączeń urządzeń.
- ♦ Załączenie napięcia do układu pomiarowego może się odbywać po wyrażeniu zgody przez prowadzącego.
- ♦ Przyrządy pomiarowe należy ustawić w sposób zapewniający stałą obserwację, bez konieczności nachylania się nad innymi elementami układu znajdującymi się pod napięciem.
- ♦ Zabronione jest dokonywanie jakichkolwiek przełączeń oraz wymiana elementów składowych stanowiska pod napięciem.
- ♦ Zmiana konfiguracji stanowiska i połączeń w badanym układzie może się odbywać wyłącznie w porozumieniu z prowadzącym zajęcia.
- ♦ W przypadku zaniku napięcia zasilającego należy niezwłocznie wyłączyć wszystkie urządzenia.
- ♦ Stwierdzone wszelkie braki w wyposażeniu stanowiska oraz nieprawidłowości w funkcjonowaniu sprzętu należy przekazywać prowadzącemu zajęcia.
- ♦ Zabrania się samodzielnego włączania, manipulowania i korzystania z urządzeń nie należących do danego ćwiczenia.
- ♦ W przypadku wystąpienia porażenia prądem elektrycznym należy niezwłocznie wyłączyć zasilanie stanowisk laboratoryjnych za pomocą wyłącznika bezpieczeństwa, dostępnego na każdej tablicy rozdzielczej w laboratorium. Przed odłączeniem napięcia nie dotykać porażonego.