

Ćwiczenie nr.14

Pomiar mocy biernej prądu trójfazowego

1. Zasada pomiaru

Przy prądzie jednofazowym moc bierna wyraża się wzorem:

$$Q=UI\sin\varphi \quad (1)$$

Do pomiaru tej mocy stosuje się waromierze jednofazowe typu elektrodynamicznego (lub ferrodynamicznego), których moment skręcający jest równy:

$$M_b=I_1I_2\cos\psi=cIU\cos\psi \quad (2)$$

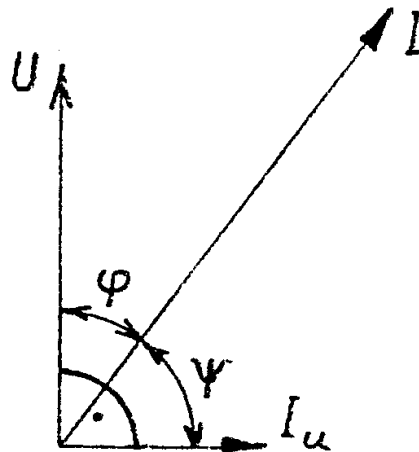
Aby więc uzyskać wskazania miernika proporcjonalne do mocy biernej, należy osiągnąć równość:

$$\sin\varphi=\cos\psi \quad (3)$$

lub inaczej

$$\varphi+\psi=90^\circ. \quad (4)$$

W praktyce uzyskuje się tę zależność opóźniając prąd w cewce napięciowej miernika o 90° względem napięcia (rysunek 1), stosując w tym celu układ Hummbla.

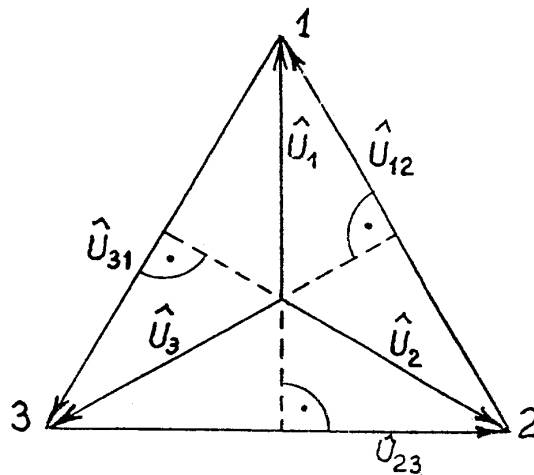


Rys.1. Uproszczony wykres wskazowy waromierza jednofazowego

Waromierze jednofazowe są miernikami mało dokładnymi, głównie ze względu na znaczną zależność kąta ψ od częstotliwości.

W układzie trójfazowym można mierzyć moc bierną waromierzami jednofazowymi, stosując identyczne układy połączeń, jak przy pomiarze mocy czynnej prądu trójfazowego watomierzami jednofazowymi.

Istnieje jednak sposób wygodniejszy, stosowany powszechnie w praktyce. Sposób ten polega na zastosowaniu watomierzy jednofazowych do pomiaru mocy biernej. Ponieważ prąd cewki napięciowej watomierza jest w fazie z napięciem, to w celu opóźnienia tego prądu o 90° przykłada się do watomierza napięcie opóźnione o 90° względem tego napięcia, które jest brane przy pomiarze mocy czynnej. W układzie trójfazowym napięcie takie łatwo jest znaleźć: w stosunku do napięcia fazowego opóźnione o 90° jest odpowiednie napięcie przewodowe, do przewodowego zaś napięcie fazowe (rysunek 2). Będą to jednak napięcia o zmienionych wartościach, gdyż napięcie przewodowe jest o $\sqrt{3}$ razy większe od fazowego. Tę różnicę ilościową uwzględnia się przez odpowiedni współczynnik obliczeniowy równy $\sqrt{3}$ lub $1/\sqrt{3}$.

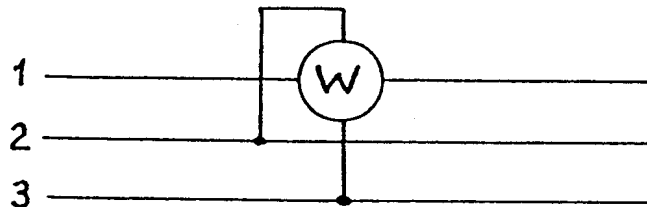


Rys.2. Kąty proste między napięciami układu trójfazowego

Stosując zasadę doboru napięć opóźnionych o 90° , można każdy układ pomiarowy trójfazowy do pomiaru mocy czynnej przekształcić w układ do pomiaru mocy biernej. Podstawą przekształcenia będzie zawsze wykres wskazowy, który pozwoli łatwo znaleźć napięcie opóźnione o 90° .

Przykład 1. Układ jednego watomierza do pomiaru mocy biernej.

W analogicznym układzie do pomiaru mocy czynnej watomierz jest włączony obwodem prądowym w fazę pierwszą i przykłada się do niego napięcie fazowe U_1 fazy pierwszej. Do pomiaru mocy biernej należy więc włączyć obwód prądowy watomierza w tę samą, tj. pierwszą fazę, zaś napięcie przyłożyć opóźnione o 90° względem U_1 . Z wykresu na rysunku 2 wynika, że napięciem tym jest napięcie przewodowe U_{23} . Zacisk wejściowy napięciowy watomierza należy zatem połączyć z fazą 2, wyjściowy z fazą 3 (rysunek 3).



Rys.3. Włączenie jednego watomierza do pomiaru mocy biernej w linii trójfazowej

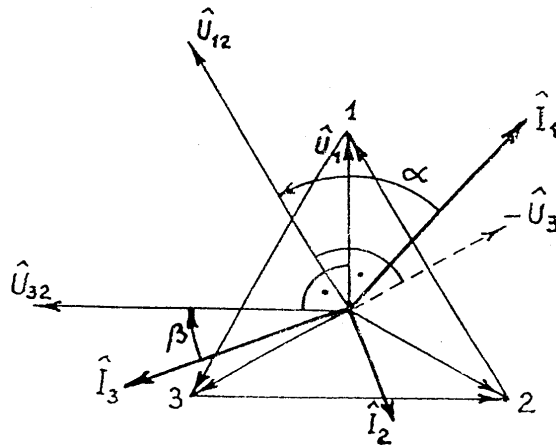
Ze względu na przyłożenie napięcia przewodowego zamiast fazowego należy wskazanie watomierza podzielić przez $\sqrt{3}$ i następnie pomnożyć przez 3, by uzyskać moc wszystkich faz.

Ostatecznie:

$$Q_c = 3 \frac{P_w}{\sqrt{3}} = \sqrt{3} P_w \quad (5)$$

Przykład 2. Układ dwóch watomierzy (Arona) do pomiaru mocy biernej, z watomierzami w fazach 1 i 3

Wykres wskazowy dla układu Arona do pomiaru mocy czynnej jest przedstawiony na rysunku 4.

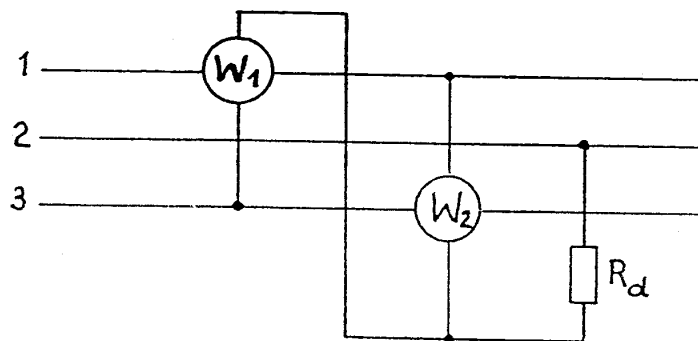


Rys.4. Wykres wskazowy dla układu Arona do pomiaru mocy czynnej układu trójfazowego

Do pomiaru mocy czynnej, zgodnie z tym wykresem, przykład się:

- do pierwszego watomierza I_1, U_{12}
- do drugiego watomierza I_3, U_{32}

Dobierając z wykresu wskazowego napięcie opóźnione o 90° względem U_{12} i U_{32} , otrzymuje się odpowiednio: $-U_3$ oraz $+U_1$. Te napięcia należy więc przyłożyć do watomierzy w celu pomiaru mocy biernej. Są to napięcia fazowe. Jednak układ Arona jest, jak wiadomo, stosowany tylko do linii trójprzewodowych, w których nie ma przewodu zerowego i brak napięć fazowych. W układzie pomiarowym należy więc zastosować sztuczne zero. Włączając napięcie $+U_1$, należy do zacisku wejściowego watomierza przyłożyć fazę 1, do wyjściowego 0. Natomiast włączając napięcie $-U_3$, należy do zacisku wejściowego przyłożyć 0, do wyjściowego fazę 3. W rezultacie otrzymuje się układ połączeń, jak na rysunku 5.



Rys.5. Układ Arona do pomiaru mocy biernej

Dla uzyskania prawidłowego punktu zerowego rezystancje obwodów napięciowych i rezystora pomocniczego w fazie 2 powinny być sobie równe.

Moc odbiornika jest w układzie Arona sumą wskazań obydwu watomierzy. Ponieważ napięcia przyłożone do watomierzy zostały $\sqrt{3}$ razy zmniejszone, należy sumę wskazań pomnożyć przez $\sqrt{3}$.

$$Q_0 = \sqrt{3}(P_{w1} + P_{w2}) \quad (6)$$

W układach watomierzy do pomiaru mocy biernej obowiązują te same warunki, co w analogicznych układach do mocy czynnej (symetria obciążenia przy jednym watomierzu, brak przewodu zerowego przy dwóch watomierzach), a ponadto obowiązuje symetria napięć trójfazowych, gdyż jest ona warunkiem przesunięcia napięć fazowych względem przewodowych o dokładnie 90° . W praktyce trójkąt napięć trójfazowych nie bywa idealnie symetryczny, lecz odkształcenia nie są zbyt wielkie i błędy powstałe z tego powodu są w warunkach przemysłowych do pominięcia.

Układy o napięciu opóźnionym o 90° są przystosowane do pomiaru mocy biernej indukcyjnej. W przypadku mocy biernej pojemnościowej odchylenia watomierzy wypadną ujemne i należy wówczas odwrócić w watomierzach kierunek prądu (lub napięcia) o 180° , co jest równoznaczne z doбором napięcia nie opóźnionego, lecz przyspieszonego o 90° .

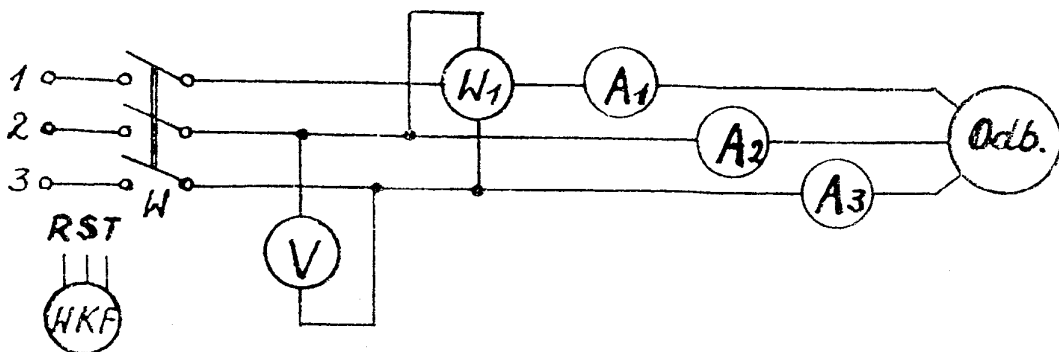
Przy pomiarach mocy biernej ważne ma znaczenie kolejność faz linii trójfazowej. Przy niewłaściwej kolejności faz, jak łatwo można wywnioskować posługując się wykresem wskazowym, napięcia przykładane do watomierzy przy pomiarze mocy biernej zmieniają kierunek o 180° i wskazania watomierzy zmieniają znak.

Układy do pomiaru mocy biernej złożone z oddzielnych watomierzy jednofazowych stosuje się tylko w warunkach laboratoryjnych. Do pomiarów przemysłowych są używane watomierze trójfazowe, zawierające we wspólnej obudowie 2 lub 3 mechanizmy watomierzowe, pracujące na wspólną oś i wskazówkę. Mechanizmy te są połączone między sobą elektrycznie tak, jak odpowiednie układy watomierzy jednofazowych i są wyskalowane dla całkowitej mocy biernej trójfazowej.

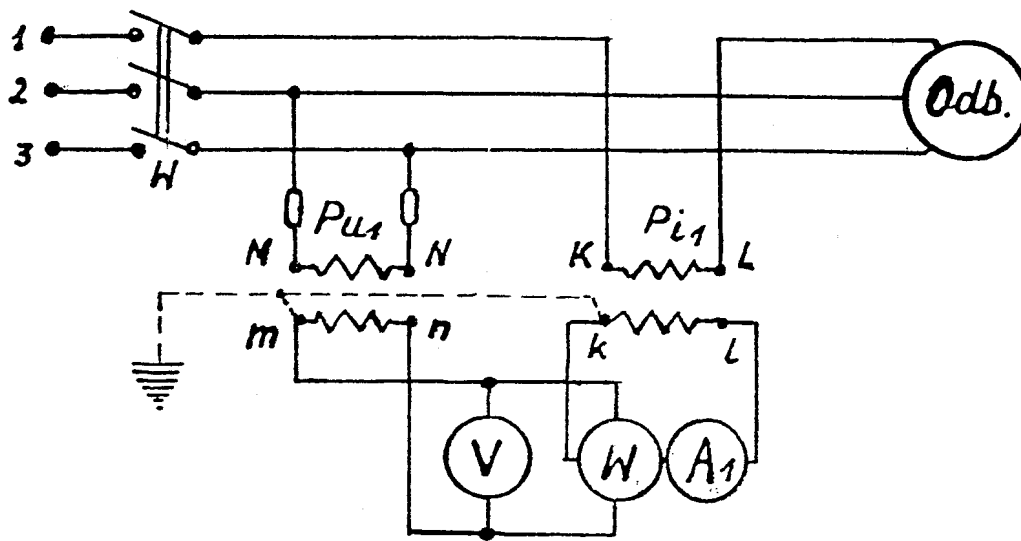
2. Wykonanie pomiarów

Układy połączeń

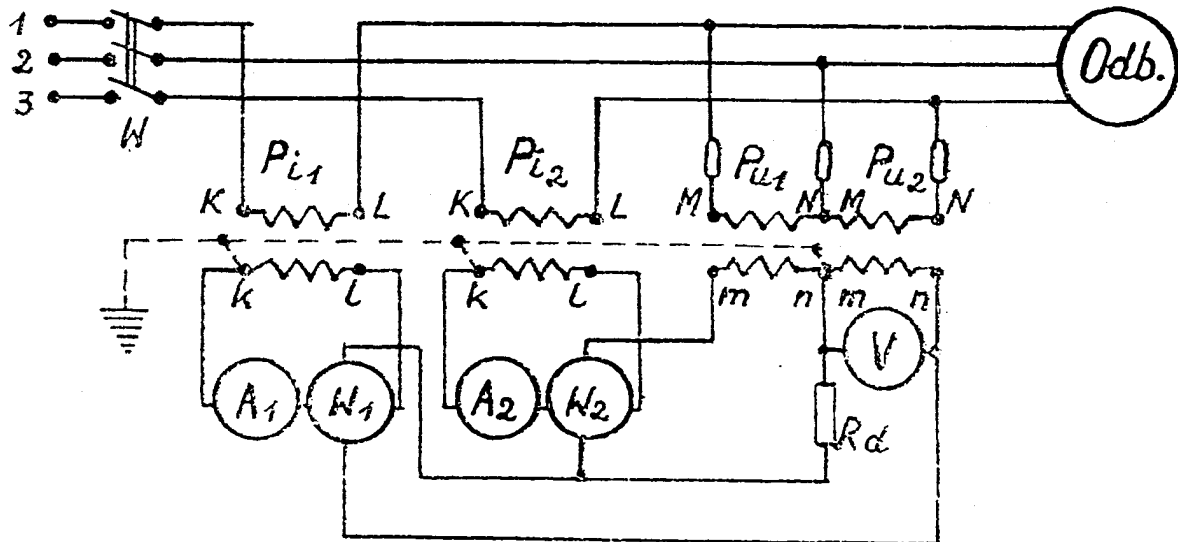
a)



b)



c)



Oznaczenia:

 W_1, W_2 - watomierze A_1, A_2, A_3 - amperomierze V_1, V_2, V_3 - woltomierze P_{i1}, P_{i2} - przekładniki prądowe P_{u1}, P_{u2} - przekładniki napięciowe R_d - rezystancja dodatkowa

Odb - odbiornik

w - łącznik

WKF - wskaźnik kolejności faz

Postępowanie

Przed rozpoczęciem pomiarów zapoznać się z dostępną na stanowisku aparaturą pomiarową, wykorzystywanym obciążeniem. Zanotować w protokole parametry techniczne i metrologiczne używanych elementów obwodu. W protokole powinny znajdować się wzory niezbędne do przeprowadzenia obliczeń.

1. Sprawdzić kolejność faz na zaciskach źródła prądu za pomocą wskaźnika kolejności faz.
2. Zmierzyć metodą jednego watomierza moc bierną badanego odbiornika trójfazowego, stosując układ połączeń a). Wyniki pomiarów zanotować w tabeli.

Lp.	Odb.	I_1	I_2	I_3	U_{12}	U_{13}	U_{23}	P_w	Q_o	S_o	$\cos\phi$
		A	A	A	V	V	V	W	VAr	VA	-

3. Zmierzyć metoda jednego watomierza w układzie pośrednim moc bierną badanego odbiornika trójfazowego, stosując układ połączeń b). Wyniki pomiarów zanotować w tabeli.

$$\vartheta_i = \quad A/A, \vartheta_u = \quad V/V$$

Lp.	Odb.	I_1	U_{23}	P_{w1}	Q_o	S_o	$\cos\phi$
		A	V	W	VAr	VA	-

4. Zmierzyć metodą dwóch watomierzy moc bierną badanego odbiornika trójfazowego, stosując układ połączeń c).

$$\vartheta_i = \quad A/A, \vartheta_u = \quad V/V, R_d = \quad \Omega$$

Lp.	Odb.	I_1	I_3	U_{23}	P_{w1}	P_{w2}	Q_o	S_o	$\cos\phi$
		A	A	V	W	W	VAr	VA	-

3. Opracowanie sprawozdania

Wyznaczyć moc bierną oraz współczynnik mocy zbadanych odbiorników za pomocą badanych metod pomiarowych. Porównać wyniki pomiarów.

Narysować w odpowiednio dobranej skali wykres wskazowy badanego odbiornika.

Oszacować dokładność pomiaru z użyciem zastosowanych metod.

Określić, która z użytych metod okazała się dla badanego odbiornika.