

Zespół Szkół Technicznych im. J. i J. Śniadeckich w Grudziądzu



Pracownia elektryczna – Montaż Maszyn

Instrukcja laboratoryjna

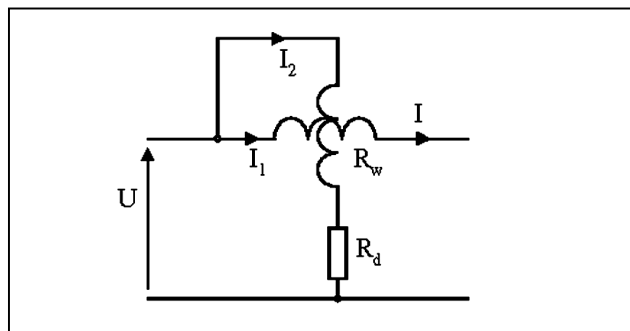
Pomiar mocy w układach prądu przemiennego (dwa ćwiczenia)

Opracował:
mgr inż. Marcin Jabłoński

Celem ćwiczenia jest poznanie układów do pomiaru mocy czynnej oraz ich podstawowych właściwości metrologicznych.

Wiadomości wstępne

Znajomość wartości mocy oddawanej przez źródło lub pobieranej przez odbiornik informuje o stanie obciążenia badanego urządzenia, pozwala na określenie jego sprawności energetycznej, umożliwia wyznaczenie szkodliwych strat energii. Dlatego jej wartość jest mierzona bardzo często. Do bezpośredniego pomiaru mocy przy przebiegach sinusoidalnych lub nieznacznie odkształconych w paśmie częstotliwości technicznych (do ok. 500Hz) stosuje się watomierze o urządzeniach elektrodynamicznych lub ferrodynamicznych. Watomierze elektrodynamiczne budowane są zwykle jako watomierze precyzyjne w klasach 0.1; 0.2; 0.5. Układ połączeń watomierza elektrodynamicznego przedstawiono na rysunku 1.



Rys. 1 Układ połączeń watomierza elektrodynamicznego

Wykorzystuje się siły występujące pomiędzy przewodami (cewkami, uzwojeniami), przez które płynie prąd. Przez cewkę nieruchomą, tzw. prądową, włączoną do obwodu szeregowo, przepływa prąd I_1 kontrolowanego obiektu. Cewka nieruchoma wytwarza pole magnetyczne, w którym umieszczona jest cewka ruchoma. Cewka ruchoma (napięciowa) o rezystancji R_w , połączona szeregowo z rezystorem dodatkowym R_d , włączona jest równolegle z badanym obiektem na napięcie U . Do cewki ruchomej prąd jest doprowadzony przez spiralne sprężyny, będące jednocześnie źródłem momentu zwrotnego. Wraz z osią cewki ruchomej obraca się wskazówka watomierza. Moment napędowy jest wypadkową sił pochodzących od obydwu

cewek, a więc wychylenie wskazówki zależy od prądów płynących w obydwu cewkach. Ponieważ przy prądzie przemiennym następuje jednoczesna zmiana kierunków prądów w obydwu cewkach, to kierunek momentu napędowego nie zmienia się.

Cewka napięciowa wraz z rezystorem dodatkowym tworzy tor napięciowy o rezystancji:

$$R = R_W + R_d$$

Rezystancja cewki napięciowej wraz z rezystancją rezystora dodatkowego jest wielokrotnie wyższa od reaktancji indukcyjnej cewki napięciowej, wobec tego przyjmuje się, że prąd w cewce napięciowej jest w fazie z napięciem.

Watomierze laboratoryjne mają zwykle podziałkę oznaczoną w działkach.

Stałą watomierza C_W w W/dz oblicza się ze wzoru:

$$C_W = \frac{U_n I_n \cos \varphi_n}{\alpha_n}$$

gdzie: U_n - napięcie znamionowe

I - prąd znamionowy

$\cos \varphi_n$ - znamionowy współczynnik mocy

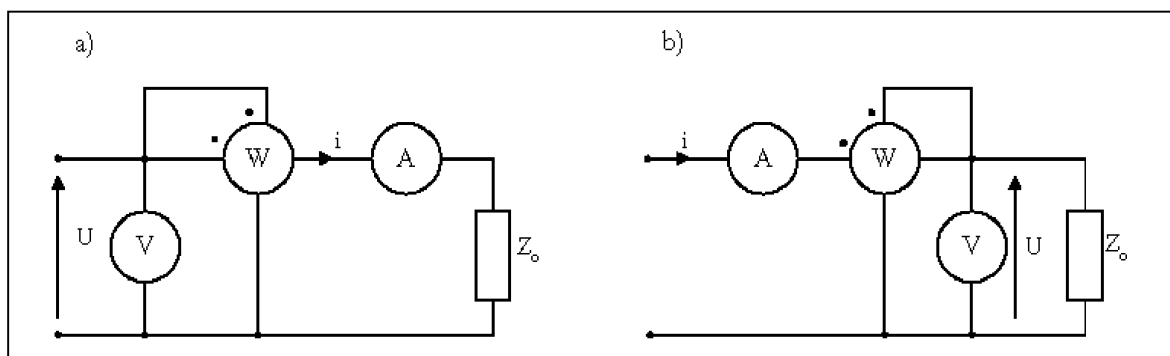
α_n - całkowita liczba działek

Moc wskazywaną przez watomierz z podziałką oznakowaną w działkach oblicza się ze wzoru

$$P_W = C_W \alpha$$

Zwykle $\cos \varphi = 1$. Można również spotkać watomierze w wykonaniu specjalnym, dające np. pełne wychylenie przy $\cos \varphi = 0.5; 0.2; 0.1$, które stosowane są do pomiaru mocy czynnej odbiorników o małym współczynniku mocy. Watomierze elektrodynamiczne są najczęściej budowane jako wielozakresowe o niezależnej zmianie zakresów napięciowych i prądowych. Zakresy napięciowe

zmienia się za pomocą rezystorów dodatkowych. Zakresy prądowe zmienia się przez dzielenie cewki nieruchomej na jednakowe sekcje i łączenie tych sekcji szeregowo lub równoległe. Zwykle najmniejszy zakres prądowy wynosi 0.5A a największy 10A. Kierunek wychylenia wskazówki watomierza zależy od kierunku prądów płynących przez cewkę ruchomą i nieruchomą. Dlatego początek cewki prądowej watomierza łączy się tak, aby był zwrócony w kierunku dopływu energii, a początek cewki napięciowej łączy się z początkiem lub końcem cewki prądowej. Początki cewek prądowych i napięciowych są wyróżniane zwykle przez odpowiednie oznakowanie - *. Ze względu na możliwość przebicia między cewkami prądową i napięciową i związane z tym uszkodzenie izolacji, różnica potencjałów między cewkami nie może być duża. Dlatego rezystory dodatkowe łączy się zawsze z końcem cewki napięciowej. Podobnie jak przy pomiarze mocy woltomierzem i amperomierzem, watomierz może pracować w układzie poprawnie mierzonego prądu lub poprawnie mierzonego napięcia (rys 2).



Rys. 2 Pomiar mocy czynnej watomierzem: a) układ poprawnie mierzonego prądu, b) układ poprawnie mierzonego napięcia

W celu kontroli pracy watomierza i niedopuszczenia do przeciążenia któregoś z jego obwodów, watomierz powinien współpracować z amperomierzem i woltomierzem. Amperomierz łączy się tak aby mierzył ten sam prąd, który płynie przez cewkę prądową, a woltomierz to napięcie, które jest na zaciskach napięciowych watomierza.

Pomiar mocy czynnej metodami bezpośrednimi

Moc czynna układu trójfazowego jest sumą mocy czynnych wszystkich jego faz. W zależności od tego, czy obciążenie jest symetryczne czy niesymetryczne oraz od tego czy sieć jest trój- czy czteroprzewodowa (czy punkt zerowy obciążenia jest dostępny czy niedostępny) rozróżnia się przedstawione niżej metody pomiaru mocy czynnej.

Pomiar mocy czynnej trzema watomierzami

Pomiar mocy czynnej trzema watomierzami może być wykonywany zarówno w sieci trójfazowej czteroprzewodowej jak i trójprzewodowej. Moc czynną w sieci trójfazowej czteroprzewodowej wyznacza się ze wzoru:

$$P = U_{L1} I_{L1} \cos \varphi_{L1} + U_{L2} I_{L2} \cos \varphi_{L2} + U_{L3} I_{L3} \cos \varphi_{L3} = P_{L1} + P_{L2} + P_{L3}$$

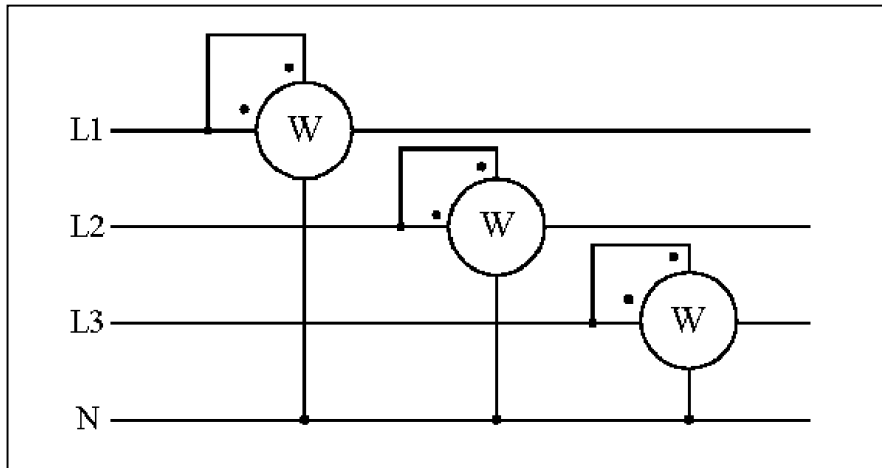
gdzie: U_{L1}, U_{L2}, U_{L3} - napięcia fazowe

I_{L1}, I_{L2}, I_{L3} - prądy przewodowe

$\varphi_{L1}, \varphi_{L2}, \varphi_{L3}$ - kąty pomiędzy napięciami i prądami w poszczególnych fazach

P_{L1}, P_{L2}, P_{L3} - moce fazowe

Ze wzoru wynika bezpośrednio sposób pomiaru mocy trzema watomierzami w sieci czteroprzewodowej (rys. 3).



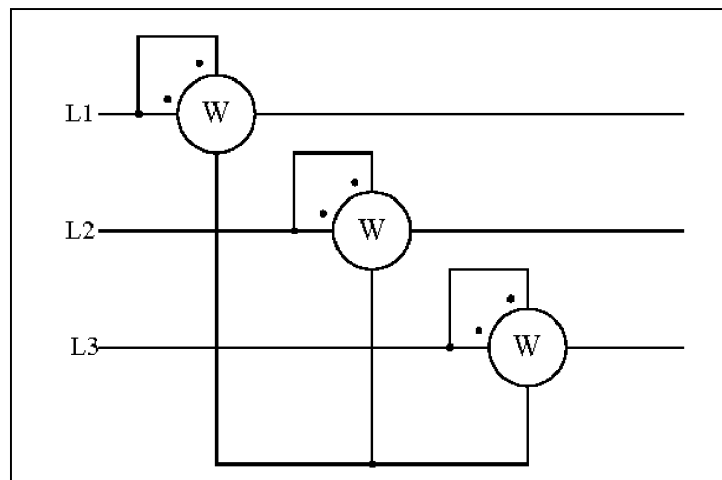
Rys. 3 Pomiar mocy czynnej trzema watomierzami w sieci trójfazowej czteroprzewodowej

Moc pobierana przez odbiornik równa jest sumie wskazań watomierzy

$$P = P_{W1} + P_{W2} + P_{W3}$$

gdzie: P_{W1} , P_{W2} , P_{W3} - moce wskazywane przez watomierze.

Pomiar mocy w przedstawionym układzie daje prawidłowy wynik bez względu na symetrię lub asymetrię zasilania oraz niezależnie od tego czy obciążenie jest symetryczne czy też niesymetryczne. Za pomocą trzech watomierzy można dokonać również pomiaru mocy w obwodzie trójfazowym trójprzewodowym symetrycznym lub niesymetrycznym. Odpowiedni układ pomiarowy (rys. 4) uzyskuje się tworząc sztuczny punkt zerowy przez połączenie obwodów napięciowych trzech watomierzy w gwiazdę.



Rys. 4 Pomiar mocy czynnej trzema watomierzami w sieci trójfazowej trójprzewodowej

Moc pobieraną przez odbiornik wyznacza się z zależności:

$$P_{W1} + P_{W2} + P_{W3}$$

Błąd graniczny systematyczny pomiaru mocy wywołany błędami watomierzy wyznacza się z zależności:

$$\delta_P = \pm \frac{|P_{W1}\delta_{W1}| + |P_{W2}\delta_{W2}| + |P_{W3}\delta_{W3}|}{P}$$

gdzie: δ_{W1} , δ_{W2} , δ_{W3} - błędy względne pomiaru mocy za pomocą watomierzy

Pomiar mocy czynnej jednym watomierzem

W układzie trójfazowym o symetrycznym zasilaniu i obciążeniu spełnione są zależności:

$$U_{L1} = U_{L2} = U_{L3} = U_f$$

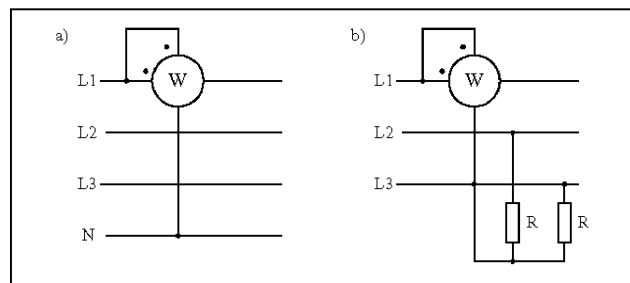
$$I_{L1} = I_{L2} = I_{L3} = I_f$$

$$\cos \varphi_{L1} = \cos \varphi_{L2} = \cos \varphi_{L3} = \cos \varphi$$

Uwzględniając powyższe zależności, uzyskuje się:

$$P = 3U_f I_f \cos \varphi$$

co oznacza, że wskazania watomierzy włączonych w poszczególne fazy są jednakowe. Do pomiaru mocy w obwodzie o symetrycznym zasilaniu i symetrycznym obciążeniu wystarczy więc jeden watomierz (rys 5).



Rys. 5 Pomiar mocy czynnej jednym watomierzem: a) w sieci czteroprzewodowej, b) w sieci trójprzewodowej

W obwodach trójprzewodowych (rys 5b) stosuje się sztuczny punkt zerowy. W tym celu łączy się w gwiazdę obwód napięciowy watomierza i dwa pomocnicze rezystory. Rezystancja rezystorów pomocniczych powinna być równa rezystancji obwodu napięciowego watomierza, gdyż w przeciwnym przypadku następuje przesunięcie punktu zerowego, powodując dodatkowe błędy pomiaru. Przy pomiarze mocy odbiornika połączony w symetryczną gwiazdę i włączony w

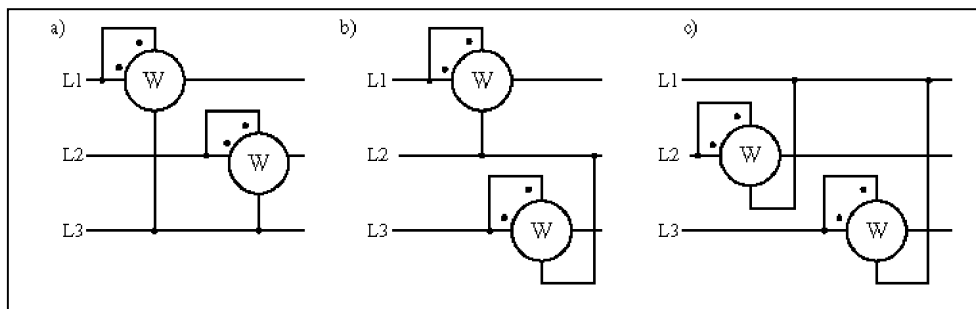
symetryczną sieć, można wykorzystać jego punkt zerowy. Moc pobieraną przez odbiornik wyznacza się ze wzoru:

$$P = 3P_W$$

Ze względu na swoją prostotę, pomiar mocy czynnej jednym watomierzem jest używany stosunkowo często. Metoda ta jest jednak mało dokładna z powodu przyjęcia upraszczającego założenia o równym poborze mocy przez poszczególne fazy. Z tego względu nie stosuje się poprawek wynikających z poboru mocy przez przyrządy oraz nie oblicza się błędu systematycznego granicznego pomiaru mocy.

Pomiar mocy czynnej dwoma watomierzami

Pomiar mocy czynnej w układzie z dwoma watomierzami (tzw. układ Arona) stosowany jest w symetrycznie i niesymetrycznie obciążonych obwodach trójprzewodowych. Pomiar mocy za pomocą dwóch watomierzy jest prawidłowy przy założeniu, że suma geometryczna prądów fazowych (lub suma geometryczna napięć międzyfazowych) jest równa zero. Warunek ten spełniony jest w sieciach trójfazowych bez przewodu zerowego. Trzy możliwe (równoważne) sposoby włączenia watomierzy przedstawiono na rysunku 6.



Rys. 6 Warianty układu do pomiaru mocy czynnej dwoma watomierzami

Moc czynna odbiornika równa jest sumie mocy wskazywanych przez watomierze

$$P = P_{W1} + P_{W2}$$

Błąd graniczny systematyczny spowodowany błędami watomierzy oblicza się ze wzoru:

$$\delta_P = \pm \frac{|P_{W1}\delta_{W1}| + |P_{W2}\delta_{W2}|}{P}$$