

Temat: Moc w układach trójfazowych

W układzie trójfazowym moc chwilowa jest równa sumie mocy chwilowych poszczególnych faz.

Moc czynna

Moc czynna (średnia) jest równa sumie mocy czynnych w poszczególnych fazach:

$$P = P_1 + P_2 + P_3,$$

gdzie: P_1, P_2, P_3 – moce w poszczególnych fazach, P – moc odbiornika trójfazowego

czyli:

$$P = U_{1f}I_{1f}\cos\phi_1 + U_{2f}I_{2f}\cos\phi_2 + U_{3f}I_{3f}\cos\phi_3$$

U_{1f}, U_{2f}, U_{3f} – napięcia fazowe, I_{1f}, I_{2f}, I_{3f} – prądy fazowe, ϕ_1, ϕ_2, ϕ_3 – przesunięcia fazowe.

Dla układu symetrycznego:

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

Moc wyrażamy zwykle za pomocą napięć międzyfazowych i prądów przewodowych (nie zawsze prądy fazowe odbiornika są dostępne do pomiaru). Ponieważ dla układu:

– gwiazdowego: $U_f = \frac{U_p}{\sqrt{3}}, \quad I_p = I_f;$

– trójkątowego: $U_p = U_f, \quad I_f = \frac{I_p}{\sqrt{3}}$

to moc czynną odbiornika trójfazowego symetrycznego, bez względu na sposób skojarzenia impedancji fazowych obliczamy ze wzoru:

$$P = \sqrt{3}U_p I_p \cos\varphi$$

Pomijając indeksy przy napięciach międzyfazowych i prądach przewodowych, moc czynna odbiornika trójfazowego symetrycznego zapisujemy:

$$P = \sqrt{3}UI \cos\varphi$$

Moc bierna

Moc bierna w układzie trójfazowym jest sumą mocy biernych w poszczególnych fazach, bez względu na symetrię, czyli:

$$Q = Q_1 + Q_2 + Q_3 = U_{1f}I_{1f}\sin\phi_1 + U_{2f}I_{2f}\sin\phi_2 + U_{3f}I_{3f}\sin\phi_3$$

W układzie symetrycznym:

$$Q = \sqrt{3}UI \sin\phi$$

Moc pozorna

– dla układu symetrycznego: $S = \sqrt{P^2 + Q^2} = \sqrt{3}UI,$

– dla układu niesymetrycznego: $S = \sqrt{P^2 + Q^2}.$

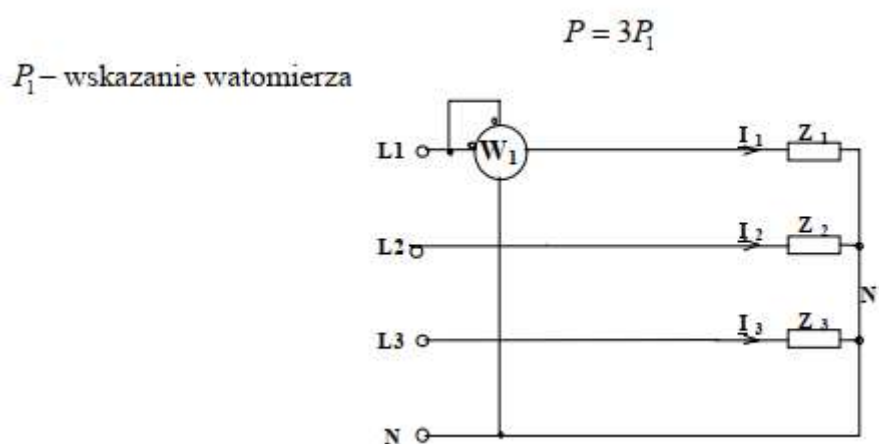
Pomiar mocy czynnej w układach trójfazowych

Do pomiaru mocy czynnej odbiornika służą watomierze. Watomierz posiada dwie cewki: prądową i napięciową. Początki obu cewek są zaznaczone na obudowie. Sposób włączania i niezbędna ilość watomierzy do pomiaru mocy odbiornika trójfazowego zależy od rodzaju odbiornika (symetryczny, niesymetryczny) lub rodzaju układu: trójprzewodowy, czteroprzewodowy, a także dostępności punktu neutralnego odbiornika lub źródła.

1. Pomiar mocy w układzie trójfazowym czteroprzewodowym:

- a) Układ symetryczny – odbiornik połączony w gwiazdę – jeden watomierz, którego cewka prądowa jest włączona tak, aby płynął przez nią prąd fazowy, a cewka napięciowa włączona na napięcie fazowe (rys. 21). Watomierz mierzy moc: $P_1 = U_f I_f \cos\phi_f$.

Moc takiego odbiornika:

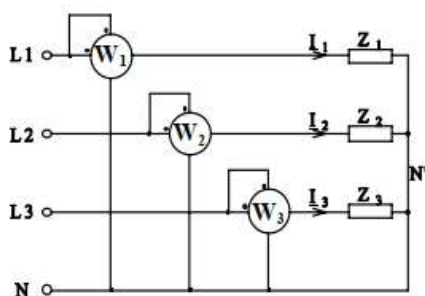


Rys 21. Pomiar mocy odbiornika trójfazowego symetrycznego w układzie czteroprzewodowym

- b) Układ niesymetryczny – stosujemy trzy watomierze włączone jak na rys.22. Każdy watomierz mierzy moc pobraną przez jedną fazę odbiornika. Moc układu jest równa sumie mocy mierzonych przez poszczególne watomierze:

$$P = P_1 + P_2 + P_3,$$

gdzie: P_1, P_2, P_3 – wskazania watomierzy

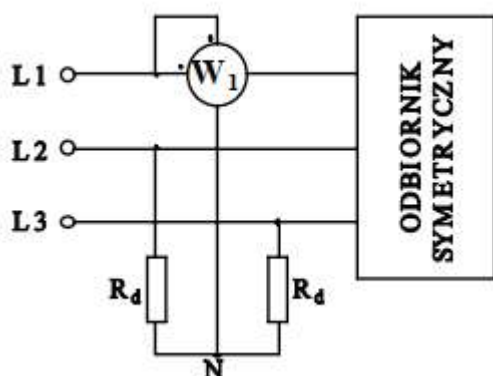


Rys. 22. Pomiar mocy odbiornika trójfazowego niesymetrycznego

2. Pomiar mocy w układzie trójfazowym trójprzewodowym.

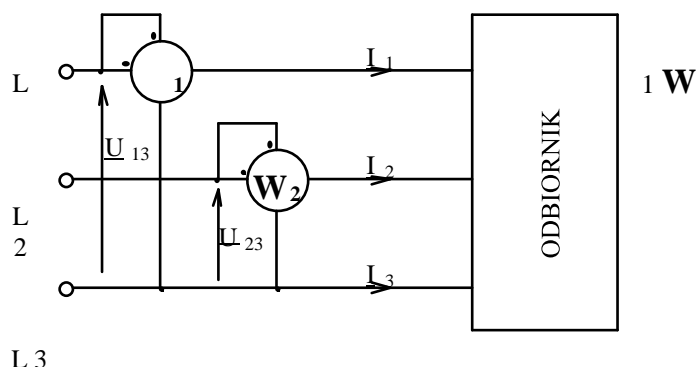
- a) Układ symetryczny: bez względu na sposób połączenia odbiornika (w gwiazdę lub w trójkąt) – jeden watomierz z dodatkowym układem rezystorów do utworzenia sztucznego punktu neutralnego (rys.23). R_d – tak dobrane rezystancje dodatkowe, aby w fazie, w której jest włączona cewka napięciowa watomierza, rezystancja wypadkowa była równa rezystancji włączonej do każdej z faz dodatkowych. Wtedy potencjał punktu neutralnego utworzonej gwiazdy jest równy zero i cewka napięciowa watomierza jest włączona na napięcie fazowe. Jako R_d można wykorzystać cewki napięciowe dwóch watomierzy identycznych jak włączony w jedną z faz.

Moc układu: $P = 3P_1$



Rys. 23. Pomiar mocy odbiornika trójfazowego symetrycznego w układzie trójprzewodowym. [w oparciu o 1]

- b) W linii trójprzewodowej można stosować pomiar mocy dwoma amperomierzami. Metoda ta jest słuszna zarówno dla układów symetrycznych jak i niesymetrycznych. Układ taki nazywa się układem Arona (rys. 24). Cewki prądowe amperometry włączone są szeregowo w dwie dowolne fazy, początki cewek napięciowych włączone są między te fazy i fazę wolną.



Rys. 24. Pomiar mocy odbiornika trójfazowego dwoma watomierzami (układ Arona)

Moc układu obliczamy sumując wskazania obu watomierzy

$$P = P_1 + P_2,$$

gdzie: P_1, P_2 ,- wskazania watomierzy

Uzasadnienie słuszności tej metody można przeprowadzić dla obwodu z rys. 25.

Moc chwilowa układu trójfazowego w każdej chwili jest sumą mocy w poszczególnych fazach:

$$p = p_1 + p_2 + p_3 = u_1 i_1 + u_2 i_2 + u_3 i_3$$

ponieważ : $i_1 + i_2 + i_3 = 0$, stąd: $i_3 = -i_1 - i_2$ po wstawieniu i_3 do równania

na moc chwilową układu otrzymujemy:

$$p = (u_1 - u_2)i_1 + (u_2 - u_3)i_2$$

Różnica napięć chwilowych dwóch faz jest równa napięciu międzyfazowemu: u_1

$$-u_2 = u_{12}, u_2 - u_3 = u_{23}$$

Po uwzględnieniu tych zależności równanie określające moc chwilową układu trójfazowego otrzymuje postać: $p = u_{12}i_1 + u_{23}i_2$

Przez cewkę prądową watomierza W_1 płynie prąd i_1 , a cewka napięciowa jest włączona na napięcie u_{12} . Watomierz mierzy wartość średnią P_1 iloczynu $u_{12}i_1$. Odpowiednio watomierz W_2 mierzy wartość średnią P_2 . Dwa watomierze mierzą moc w całym układzie:

$$P = P_1 + P_2,$$

gdzie: $P_1 = U_{12}I_1 \cos\phi_1$,

$$P_2 = U_{23}I_2 \cos\phi_2,$$

ϕ_1 – kąt pomiędzy napięciem U_{12} , a prądem I_1 , ϕ_2 –

kąt pomiędzy napięciem U_{23} , a prądem I_2 .

Przy pomiarach mocy (bez względu na metodę) trzeba zwracać uwagę na dobór właściwych zakresów cewki prądowej i napięciowej watomierza. Należy pamiętać, że watomierz pokazuje iloczyn trzech wielkości: prądu, napięcia i cos kąta pomiędzy nimi zawartego. Wskazanie watomierza mniejsze od maksymalnego dla danego zakresu nie oznacza wcale, że jeden z jego obwodów nie został przeciążony. Dlatego przed włączeniem watomierza należy cewką prądową watomierza. Takie działanie jest zasadne, ponieważ dopuszczalne przekroczenia zakresu prądowego watomierza wynoszą zwykle tylko 20%.

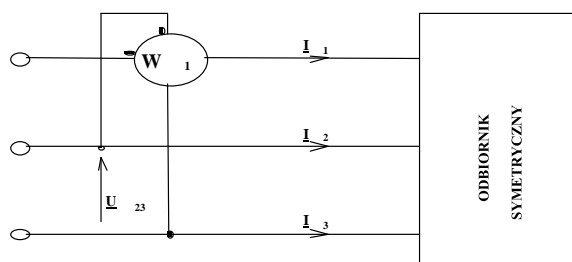
Pomiar mocy biernej w układach trójfazowych

Moc bierną można mierzyć bezpośrednio za pomocą mierników elektrodynamicznych zwanych waromierzami. W waromierzu faza prądu w cewce napięciowej jest przez specjalny układ przesunięta o 90° względem fazy napięcia.

Wykorzystując zależność matematyczną: $\sin\phi = \cos(90^\circ - \phi)$ oraz fakt, że w linii trójfazowej występuje naturalne przesunięcie między napięciem fazowym i jednym z napięć międzyfazowych o 90° zauważamy, że moc bierną można mierzyć za pomocą odpowiednio włączonych watomierzy.

Ponieważ watomierze są powszechnie stosowanymi przyrządami omówione zostaną zasady zastosowania watomierzy do pomiaru mocy biernej.

Układ do pomiaru mocy biernej odbiornika symetrycznego watomierzem i wykres wektorowy dla poparcia słuszności tej metody i jest przedstawiony na rys. 26:



Moc bierna tego odbiornika wynosi:

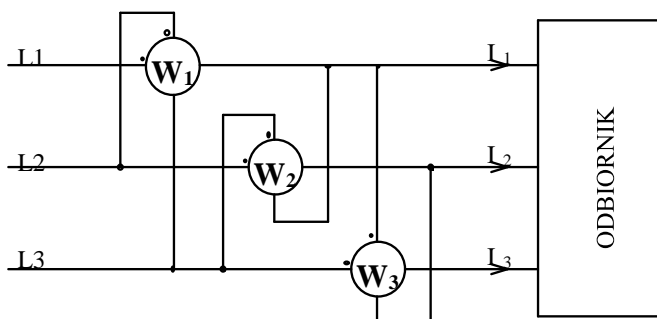
$$Q = \sqrt{3}P_w,$$

gdzie P_w – wskazanie watomierza.

Moc bierną układu trójfazowego symetrycznego (symetryczne źródło i odbiornik) można wyznaczyć także na podstawie wskazań dwóch watomierzy włączonych do pomiaru mocy czynnej w układzie Arona (rys. 24) – można wykazać, że moc bierna jest równa różnicy wskazań obu watomierzy pomnożonej przez $\sqrt{3}$, czyli:

$$Q = \sqrt{3}(P_1 - P_2)$$

Moc bierną odbiornika niesymetrycznego można zmierzyć w układzie pokazanym na rys. 27. Wykres dla tego układu przedstawiono na rys. 28.



Rys. 27. Pomiar mocy biernej odbiornika niesymetrycznego trzema watomierzami.

Moc bierna w układzie jak na rys. 27 wynosi:

$$Q = \frac{Q_1 + Q_2 + Q_3}{\sqrt{3}}$$

gdzie: Q_1, Q_2, Q_3 – wskazania watomierzy.

Należy pamiętać, że omówiony wyżej sposób pomiaru mocy można zastosować dla niesymetrycznego odbiornika, ale przy symetrycznym układzie napięć zasilających.