

KALIBRACJA MIERNIKA FAZY Z ODNIESIENIEM WYNIKU POMIARU DO PAŃSTWOWEGO WZORCA JEDNOSTKI MIARY KĄTA PŁASKIEGO

Jerzy SZUTKOWSKI

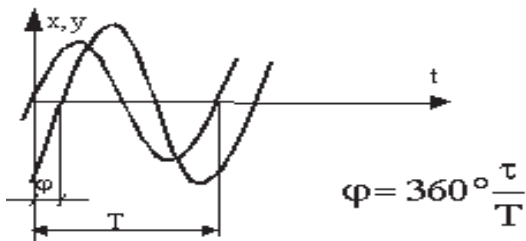
Główny Urząd Miar, Laboratorium Elektryczności i Magnetyzmu
tel.: 22 581 9282 e-mail j.szutkowski@gum.gov.pl

Streszczenie: W referacie zaprezentowano metodę do pomiaru wartości kąta przesunięcia fazowego pomiędzy sygnałami prądu i napięcia przemiennego z odniesieniem wyniku pomiaru do państwowego wzorca jednostki miary kąta płaskiego, z wykorzystaniem enkodera inkrementalnego. Opracowana metoda pomiarowa ma zastosowanie do pomiaru wartości kątów przesunięcia fazowych pomiędzy sygnałami o znacznej amplitudzie i znacznej różnicy wartości tych amplitud. Spójność pomiarowa pomiaru kątów między sygnałami elektrycznymi jest najczęściej odnoszona do Państwowego wzorca jednostek miar czasu i częstotliwości. W przypadku pomiarów kąta między sygnałami prądu i napięcia w elektroenergetyce zapewnienie spójności pomiarowej do wzorca czasu i częstotliwości jest bardzo kłopotliwe ze względu na duże wartości amplitud mierzonych sygnałów oraz na występujące duże różnice wartości amplitud.

Słowa kluczowe: kąt fazowy, współczynnik mocy, prąd AC, moc i energia prądu AC, licznik energii elektrycznej prądu AC.

1. WSTĘP

Przesunięcie fazowe jest to różnica pomiędzy dwiema wartościami fazy fali lub przebiegu czasowego. Ta definicja przesunięcia fazowego dotyczy sygnałów okresowych o tym samym okresie T i o tym samym kształcie. Dla sygnałów sinusoidalnych jakimi są prąd i napięcie o tej samej częstotliwości 50 Hz (tym samym okresie T), przesunięcie fazowe określa się na podstawie przejścia sygnałów przez 0 od ujemnych wartości do dodatnich (rys. 1). Dla takich sygnałów przesunięcie fazowe określa się wzorem $\varphi = 360^\circ \tau / T$. Z uwagi na fakt, że faza przebiegu zazwyczaj podawana jest w radianach lub w stopniach kątowych również i przesunięcie fazowe wyrażone jest w tych samych jednostkach.



Rys. 1 Ilustracja przesunięcia fazowego dwóch sygnałów

Wartość kąta przesunięcia fazowego jest istotną wartością w wielu dziedzinach fizyki i techniki. Znajomość

wartość kąta przesunięcia fazowego między prądem a napięciem pozwala na wyznaczenie współczynnika mocy PF, którego wartość określona jest przez wartość cosinusa kąta między wektorem napięcia i prądu. W dalszej kolejności znajomość wartości kąta przesunięcia fazowego jest również niezbędna do obliczenia wartości mocy czynnej pobieranej przez dany odbiornik energii elektrycznej.

Moc czynna w obwodzie o wymuszeniu sinusoidalnym jest wielkością równą iloczynowi modułów wartości skutecznego napięcia i prądu oraz cosinusa kąta przesunięcia fazowego między wektorem napięcia i prądu.

Gdy obciążenie źródła napięcia sinusoidalnego ma charakter indukcyjny (lub pojemnościowy) to między napięciem i prądem może występować znaczna różnica faz. Wartość kąta przesunięcia fazowego decyduje o ilości przekazywanej mocy do obciążenia. Współczynnik $\cos\varphi$ odgrywa więc ogromną rolę w praktyce. Do pomiaru kąta przesunięcia kąta fazowego mogą być stosowane cyfrowe mierniki częstotliwości, pozwalają one na pomiar odstępu czasu między sygnałami podanymi na dwa wejścia przyrządu. Sygnały przesunięte w fazie dołącza się odpowiednio do dwu wejść miernika. Z pomiaru czasu odstępu τ między przejściem przez zero obu sygnałów i z pomiaru okresu T , można wyznaczyć przesunięcie fazowe φ między sygnałami.

Znane są także fazy cyfrowe zawierające również dwa wejścia, do których doprowadzone są dwa sygnały o takiej samej częstotliwości, przesunięte w fazie o kąt φ .

Sygnały te podawane są na wejścia dwóch detektorów przejścia przez zero. Ostatnio coraz częściej stosowane są algorytmiczne metody pomiaru fazy, poprzez próbkowanie dołączanych sygnałów. Przesunięcie fazowe można także zmierzyć za pomocą oscyloskopu dwukanałowego.

2. OPIS METODY

W przypadku stosowania cyfrowych mierników pozwalających na pomiar odstępu czasu między sygnałami, spójność pomiarowa zawsze odnosi się do wzorca czasu. Przyrządy i metody te, są stosowane dla sygnałów wejściowych o niezbyt dużych amplitudach, nie przekraczających zazwyczaj wartości 10 V.

Natomiast dla sygnałów wejściowych o amplitudach powyżej 10 V, a w szczególności gdy sygnały te różnią się znacznie wielkością amplitudy, to metody te są mało

przydatne ze względu na trudność określenia momentu czasu przejścia sygnałów przez zero każdego z sygnałów.

W referacie została zaprezentowana opracowana w Głównym Urzędzie Miar metoda pomiarowa, która zrealizowana jest w oparciu o system pomiarowy przedstawiony na rysunku 2. Zaproponowany system pomiarowy pozwala mierzyć przesunięcie fazowe między sygnałem napięcia a sygnałem prądu przemiennego o amplitudach znacznie większych niż 10 V i mogących się różnić wartościami amplitud. Pozwala wyznaczyć charakterystykę kalibrowanego miernika fazy. Prezentowany system pomiarowy ma zastosowanie do pomiaru kąta fazowego między sygnałem prądu a sygnałem napięcia przemiennego występujących w sieciach energetycznych. System pomiarowy, pozwala na zamianę wartości mierzonego kąta przesunięcia fazowego między sygnałem prądu i napięcia na wartość kąta płaskiego. System wykonany według przedstawionego układu, zapewnienia spójności pomiarową dla mierzonego kąta przesunięcia fazowego między wektorami sygnału prądu i napięcia przemiennego wprost od państwowego wzorca kąta płaskiego. Za pomocą systemu pomiarowego realizowana jest więc spójność pomiarowa od państwowego wzorca jednostki miary kąta płaskiego a nie od państwowego wzorca czasu jak w przypadku fazomierzy elektronicznych.

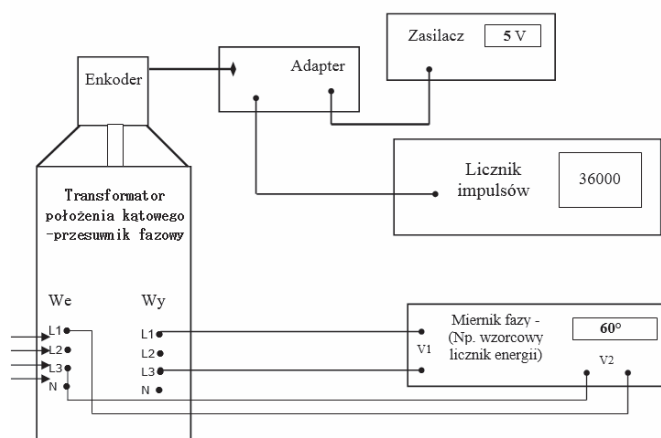
Państwowy wzorzec jednostki miary kąta płaskiego to stanowisko pomiarowe służące do wzorcowania przym wielościennych, płytek kątowych przywieralnych i podziałek kątowych. Stanowisko składa się z precyzyjnego stołu obrotowego z łożyskowaniem powietrznym oraz autokolimatora fotoelektrycznego bardzo wysokiej rozdzielczości (0,005"). Odtwarzanie jednostki miary kąta realizowane jest poprzez podział kąta pełnego.

3. SYSTEM POMIAROWY

Schemat blokowy systemu pomiarowego przedstawiono na rysunku 2. W skład systemu pomiarowego wchodzi:

1. licznik impulsów (np. częstotściomierz z funkcją zliczania impulsów),
2. fazomierz lub inny przyrząd mierzący kąt fazy dla sygnałów prądu przemiennego o amplitudach 230 V, np. wzorcowy licznik energii z funkcją pomiaru fazy,
3. urządzenie dopasowujące enkoder z licznikiem impulsów,
4. elektromechaniczny przesuwnik fazy,
5. enkoder.

Zasadniczymi elementami systemu pomiarowego są elektromechaniczny przesuwnik fazy oraz enkoder. W systemie pomiarowym został zastosowany enkoder inkrementalny. Enkodery inkrementalne są przetwornikami obrotowo-impulsowymi mierzącymi względną pozycję kątową poprzez zliczanie impulsów, których ilość jest zależna od ilości znaków umieszczonych na tarczy podziałowej. Pomiar wartości kąta systemem pomiarowym z enkoderem nie pozwala jednak na odczyt absolutnej pozycji kątowej wirnika przesuwnika fazowego. Pozycjonowanie systemu pomiaru kąta z enkoderem inkrementalnym zawsze wymaga bazowania układu po uruchomieniu przesuwnika fazowego.



Rys. 2. Układ blokowy systemu pomiarowego

Zastosowanie enkodera wraz z przesuwnikiem fazy pozwala na zamianę wartości kąta fazowego na wartości kąta płaskiego. Zależności te są względem siebie proporcjonalne. Istotnym elementem systemu pomiarowego jest również licznik impulsów, którym może być częstotściomierz z możliwością zliczania liczby impulsów. Kąt przesunięcia fazowego obliczany jest w wyniku zliczenia liczby impulsów odpowiadającej kątowi obrotu wirnika i obliczenie ilorazu tej liczby impulsów przez 360. Wirnik przesuwnika wyposażony jest w urządzenie zapobiegające jego obracaniu, które jednocześnie umożliwia dowolne ustawienie osi uzwojenia wirnika względem osi uzwojenia stojana. Rolę tę odgrywa samohamowna przekładnia ślimakowa przesuwnika fazowego. Obracając wirnikiem zmieniamy wartość fazy. Podczas zmiany położenia wirnika przesuwnika, licznik impulsów zlicza impulsy przychodzące z enkodera. Jeżeli rozdzielczość kątowa zastosowanego enkodera jest duża, (duża ilość impulsów na obrót) to wartość pomiaru kąta przesunięcia fazowego może być wyznaczona z dużą dokładnością.

4. ZAKOŃCZENIE

Jeśli w systemie pomiarowym zbudowanym według schematu z rysunku 2, zostanie zastosowany enkoder inkrementalny o bardzo dużej rozdzielczości impulsów wyjściowych, to będzie możliwość realizacji bardzo dokładnego pomiaru wartości kąta fazowego. I tak jeśli zostanie zastosowany enkoder o rozdzielczości 204800 impulsów na obrót, to pomiar wartości kąta przesunięcia fazowego w zakresie $\pm 180^\circ$ zostanie wykonany z dokładnością większą niż $\pm 0,002^\circ$, przy założeniu że błąd układu będzie miał 1 impuls na obrót. Dla takiego przypadku, współczynnik mocy dla kąta przesunięcia fazowego o wartości 60° zostanie wyznaczony z dokładnością 0,0060%.

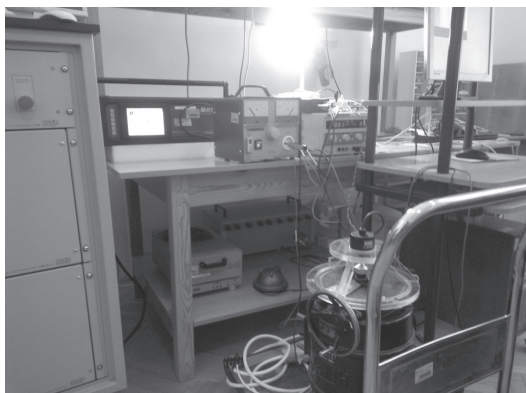
Jeszcze lepsze rezultaty można będzie osiągnąć stosując enkoder o rozdzielczości 360000 impulsów na obrót lub 450000 impulsów na obrót. Zastosowanie takich enkoderów pozwoli na uzyskanie pomiarów wartości kąta fazowego z dokładnością odpowiednio $0,001^\circ$ i $0,0008^\circ$. Taka dokładność wyznaczenia błędu wartości kąta, odpowiada wyznaczeniu współczynnika mocy z dokładnością 0,0030% i 0,0024%. Uzyskane dokładności będą wystarczające dla wzorcowania przyrządów do

pomiaru fazy w tym wzorcowych liczników energii o najwyższej klasie dokładności.

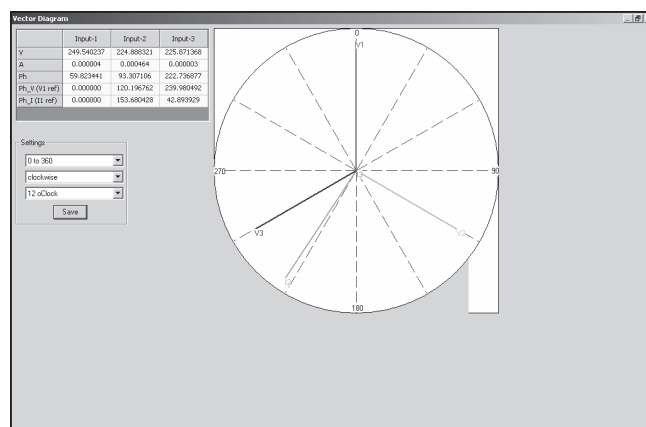
Dokładność pomiaru wartości kąta fazowego będzie zależna od rozdzielczości zastosowanego enkodera i jego precyzyjnego zespolenia z osią wirnika elektromechanicznego przesuwника. Wszelkie luzy mimośrodowego układu ustawiania zadanego kąta fazowego na przesuwniku będą miały wpływ na dokładność i powtarzalność pomiaru. Błędy związane z tym zjawiskiem będzie można zniwelować lub znacznie ograniczyć, poprzez wzorcowanie sektorowe całego zmontowanego i zintegrowanego stanowiska w obydwu kierunkach, za pomocą wzorca kąta płaskiego którym jest pryzma wielościenne. Zaproponowana metoda wraz z systemem pomiarowym w przeciwieństwie od innych dotąd stosowanych metod, pozwala mierzyć przesunięcie kąta fazowego dla sygnałów wejściowych o amplitudach powyżej 10 V a w szczególności kiedy obydwie sygnały różnią się znacznie wielkością amplitudy. Metoda ta jest przydatna w szczególności do pomiarów przesunięć fazowych dla sygnałów w sieci energetycznej niskiego napięcia o wartości skutecznej 230 V. Zaletą proponowanego systemu pomiarowego jest łatwość jego modernizacji dla poprawy jego zdolności pomiarowej.

Obecnie w Samodzielnym Laboratorium Elektryczności i Magnetyzmu Głównego Urzędu Miar prowadzone są badania i pomiary z różnymi typami enkoderów.

Dokładniejsze wyniki pomiarów wartości kąta fazowego będzie można uzyskiwać jedynie poprzez zastosowanie enkodera o coraz większej rozdzielczości. Widok rzeczywistego systemu pomiarowego został pokazany na rysunku 3.



Rys. 3. Rzeczywisty system pomiarowy



Rys. 4. Okno aplikacji licznika energii elektrycznej

Przykładowe wskazanie licznika energii elektrycznej pełniącego w układzie pomiarowym rolę miernika fazy przedstawione jest na rysunku 4, a zapis wyniku pomiaru skopiowany z jego rejestru został pokazany poniżej (rys. 5).

-----Vector Diagram Data-----

Date: 11/07/16
Time: 13:54:36

| | Input1 | Input2 | Input3 |
|---------------|------------|------------|------------|
| Voltage | 249.540237 | 224.888321 | 225.871368 |
| Current | 0.000004 | 0.000464 | 0.000003 |
| Phase | 59.823441 | 93.307106 | 222.736877 |
| Ph_V (V1 Ref) | 0.000000 | 120.196762 | 239.980492 |
| Ph_I (I1 Ref) | 0.000000 | 153.680428 | 42.893929 |

Rys. 5. Wynik pomiaru energii elektrycznej

LITERATURA

1. Chwaleba A., Poniński M., Siedlecki A.: Metrologia elektryczna, Wydawnictwa Naukowo-Techniczne.
2. Czajewski J.: Podstawy metrologii elektrycznej, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej 2008.
3. Parchański J.: Miernictwo elektryczne i elektroniczne. WSiP, Warszawa 1998.
4. RD-22 Primary Transfer Standard - Operations Manual.

CALIBRATION OF PHASE METER WITH RELATION TO THE NATIONAL STANDARD OF AN ANGLE MEASUREMENT UNIT

The paper presents a method for measuring the value of the phase angle between current and alternating current signals with reference to the national standard of the angle of flat unit, using an incremental encoder. The developed measurement method is used to measure the values of the phase shift angles between high amplitude signals and a significant difference in the values of these amplitudes. The traceability for the measurement phase of angle between electrical signals is most often referred to the national time and frequency standard. In the case of measuring angles between current and voltage signals in the power supply, it is very troublesome to ensure the consistency of the measurement with the time and frequency standard because of the large amplitude values of the measured signals and differences amplitude.

Keywords: phase angle, power factor, AC current, AC voltage, power and AC energy, AC current meter.

