

XVI Seminarium
ZASTOSOWANIE KOMPUTERÓW W NAUCE I TECHNICIE' 2006
Oddział Gdański PTETiS
Referat nr 5

**WYKORZYSTANIE SKŁADOWYCH ORTOGONALNYCH W
WIRTUALNYCH CYFROWYCH PRZETWORNIKACH MOCY**

Ariel DZWONKOWSKI¹, Ryszard ROSKOSZ², Ryszard WEPA³

Politechnika Gdańska, ul. G. Narutowicza 11/12, 80-952 Gdańsk

tel: (58) 347 1778 fax: (58) 347 1726

email: 1. adzwon@ely.pg.gda.pl 2. rroskosz@ely.pg.gda.pl 3. rwepa@ely.pg.gda.pl

W referacie omówiony jest cyfrowy przetwornik mocy, który został zrealizowany jako przyrząd wirtualny w środowisku LabVIEW. W przetworniku tym mnożone sygnały cyfrowe są przedstawione w postaci składowych ortogonalnych prądu i napięcia.

Składowe ortogonalne tworzą dwa sygnały o jednakowej amplitudzie i częstotliwości i przesunięte względem siebie o kąt $\pi/2$. Przesunięcie to uzyskuje się na kilka sposobów, np. opóźnienie dostępnego sygnału sinusoidalnego o kąt $\pi/2$ albo opóźnienie danego sygnału o określony czas τ bądź o 2τ , a następnie poprzez odpowiednie mieszanie sygnałów uzyskuje się składowe ortogonalne. Mając te składowe opracowuje się algorytm działania przetwornika mocy, na podstawie którego powstaje przyrząd wirtualny.

W referacie przedstawiony jest przyrząd wirtualny, w którym sygnały ortogonalne uzyskano metodą pojedynczego opóźnienia.

1. WSTĘP

Przetworniki do pomiaru mocy w większości przypadków działają w oparciu o wzór definicyjny:

$$P = \frac{1}{T} \int_t^{t+T} p(t) dt \quad (1)$$

gdzie: $p(t) = u(t) \cdot i(t)$ - moc chwilowa, T - okres sygnałów wejściowych,

Zależność ta prawdziwa jest zarówno dla sygnałów sinusoidalnych jak i niesinusoidalnych. Na tej też zasadzie oparte jest działanie większości przetworników mocy. Różnice rozwiązań wynikają jedynie ze sposobu realizacji mnożenia sygnałów toru napięciowego i prądowego.

W referacie przedstawiony zostanie algorytm cyfrowego przetwornika mocy, który został zrealizowany jako przyrząd wirtualny w środowisku LabVIEW. W przetworniku tym mnożone są sygnały cyfrowe. Sygnały te są przedstawione w postaci składowych ortogonalnych prądu i napięcia. Pozwala to stworzyć cyfrowy przetwornik zarówno mocy czynnej jak i biernej.

Składowe ortogonalne tworzą dwa sygnały o jednakowej amplitudzie i częstotliwości, które są przesunięte względem siebie o kąt $\pi/2$. Przesunięcie to uzyskuje się kilkoma sposobów, np. opóźnienie dostępnego sygnału sinusoidalnego o kąt $\pi/2$ albo opóźnienie danego sygnału o określony czas τ bądź o 2τ , a następnie poprzez odpowiednie mieszanie dostępnych sygnałów w celu uzyskania składowych ortogonalnych. Mając składowe ortogonalne opracowuje się algorytm działania cyfrowego przetwornika mocy. Na podstawie tego algorytmu powstaje przyrząd wirtualny. Zasada jego tworzenia zostanie pokazana na przykładzie cyfrowego przetwornika mocy czynnej.

2. SKŁADOWE ORTOGONALNE WYZNACZONE METODĄ POJEDYNCZEGO OPÓŹNIENIA

Istotą tej metody [1] jest opóźnienie badanego sygnału o czas τ_1 , a następnie przez odpowiednie zsumowanie dostępnych sygnałów $x(t)$ oraz $x(t-\tau_1)$, uzyskanie dwóch sygnałów ortogonalnych $x_a(t)$ i $x_b(t)$. Jeżeli sygnał wejściowy jest w postaci

$$x(t) = X_1 \cos(\omega_1 t - \alpha) = X_1 \cos(\omega_1 t - \alpha_1 + \omega_1 \tau_1 / 2) \quad (2)$$

gdzie : $\alpha_1 = \alpha + (\omega_1 \tau_1 / 2)$, X_1 – amplituda sygnału,

to po opóźnieniu tego sygnału o określony czas τ_2 otrzymuje się następujący sygnał

$$x(t - \tau_1) = X_1 \cos(\omega_1 t - \alpha - \omega_1 \tau_1) = X_1 \cos(\omega_1 t - \alpha_1 - \omega_1 \tau_1 / 2) \quad (3)$$

Dodając i odejmując od pierwszego sygnału (2) drugi sygnał (3) $\{x(t)+x(t-\tau_1), x(t)-x(t-\tau_1)\}$ i wykorzystując zależności na sumę i różnicę kątów funkcji trygonometrycznej $\cos\alpha$ otrzymuje się następujące wzory

$$x(t) + x(t - \tau_1) = 2 X_1 \cos(\omega_1 t - \alpha_1) \cos(\omega_1 \tau_1 / 2) \quad (4)$$

$$x(t) - x(t - \tau_1) = -2 X_1 \sin(\omega_1 t - \alpha_1) \sin(\omega_1 \tau_1 / 2) \quad (5)$$

Wyrażenia występujące w tych wzorach $X_1 \cos(\omega_1 t - \alpha_1)$ oraz $X_1 \sin(\omega_1 t - \alpha_1)$ tworzą dwa sygnały, z których drugi jest opóźniony o kąt $\pi/2$, czyli są one składowymi ortogonalnymi $x_a(t)$ i $x_b(t)$ i są równe

$$x_a(t) = X_1 \cos(\omega_1 t - \alpha_1) = [x(t) + x(t - \tau_1)] / 2 \cos(\omega_1 \tau_1 / 2) \quad (6)$$

$$x_b(t) = X_1 \sin(\omega_1 t - \alpha_1) = [-x(t) + x(t - \tau_1)] / 2 \sin(\omega_1 \tau_1 / 2) \quad (7)$$

3. ORTOGONALNE SKŁADOWE PRĄDU I NAPIĘCIA

Mając wyprowadzone ogólne zależności na składowe ortogonalne (6), (7) można na ich podstawie napisać wyrażenia na składowe ortogonalne napięcia i prądu.

Składowe ortogonalne napięcia

$$u_a(t) = U_m \cos(\omega_1 t - \alpha_1) = \frac{u(t) + u(t - \tau_1)}{2 \cdot \cos \frac{\omega_1 \tau_1}{2}}, \quad u_b(t) = U_m \sin(\omega_1 t - \alpha_1) = \frac{u(t) - u(t - \tau_1)}{-2 \cdot \sin \frac{\omega_1 \tau_1}{2}} \quad (8)(9)$$

i analogicznie składowe ortogonalne prądu

$$i_a(t) = I_m \cos(\omega_1 t - \alpha_1 + \varphi) = \frac{i(t) + i(t - \tau_1)}{2 \cdot \cos \frac{\omega_1 \tau_1}{2}}, \quad i_b(t) = I_m \sin(\omega_1 t - \alpha_1 + \varphi) = \frac{i(t) - i(t - \tau_1)}{-2 \cdot \sin \frac{\omega_1 \tau_1}{2}} \quad (10)(11)$$

gdzie: U_m, I_m – amplituda sygnału napięciowego i prądowego,

4. MOC CZYNNA I BIERNA

Podstawiając do wzoru na moc czynną ($P = UI \cos \varphi = 0,5 U_m I_m \cos \varphi$) zależności na U_m i I_m z wyrażeń (10) i (11) oraz korzystając z podstawowych funkcji trygonometrycznych przy przekształceniach otrzymuje się wyrażenie na moc czynną w funkcji składowych ortogonalnych

$$\begin{aligned} P &= 0,5 \cdot U_m I_m \cos \varphi = 0,5 \cdot U_m I_m \cos(-\varphi) = \\ &= 0,5 \cdot U_m I_m \cos(\omega_1 t - \alpha_1 - \omega_1 t + \alpha_1 - \varphi) = 0,5 \cdot U_m I_m \cos[(\omega_1 t - \alpha_1) - (\omega_1 t - \alpha_1 + \varphi)] = \\ &= 0,5 \cdot U_m I_m [\cos(\omega_1 t - \alpha_1) \cos(\omega_1 t - \alpha_1 + \varphi) + \sin(\omega_1 t - \alpha_1) \sin(\omega_1 t - \alpha_1 + \varphi)] = \\ &= 0,5 \cdot [U_m \cos(\omega_1 t - \alpha_1) \cdot I_m \cos(\omega_1 t - \alpha_1 + \varphi) + U_m \sin(\omega_1 t - \alpha_1) \cdot I_m \sin(\omega_1 t - \alpha_1 + \varphi)] = \\ &= 0,5 \cdot [u_a(t) \cdot i_a(t) + u_b(t) \cdot i_b(t)] \end{aligned} \quad (12)$$

Podobnie dla mocy biernej

$$Q = 0,5 \cdot [u_b(t) i_a(t) - u_a(t) i_b(t)] \quad (13)$$

Podstawiając do równania (12) wyrażenia na składowe ortogonalne prądu i napięcia { (8), (9), (10), (11) } otrzymuje się wzór na moc czynną w postaci ogólnej i cyfrowej

$$P = 0,5 \cdot \left\{ \frac{[i(t) + i(t - \tau_1)][u(t) + u(t - \tau_1)]}{4 \cos^2 \left(\frac{\omega_1 \tau_1}{2} \right)} + \frac{[i(t) - i(t - \tau_1)][u(t) - u(t - \tau_1)]}{4 \sin^2 \left(\frac{\omega_1 \tau_1}{2} \right)} \right\} \quad (14)$$

$$P = 0,5 \cdot \left\{ \frac{[i(n) + i(n - r)][u(n) + u(n - r)]}{4 \cos^2 \left(\frac{\omega_1 \tau_1}{2} \right)} + \frac{[i(n) - i(n - r)][u(n) - u(n - r)]}{4 \sin^2 \left(\frac{\omega_1 \tau_1}{2} \right)} \right\} \quad (15)$$

gdzie : τ_1 - czas opóźnienia, n - numer kolejnej próbki sygnału, $r = \tau_1 / T_i$

Czas opóźnienia τ_2 można przyjąć dowolnie i jedynym warunkiem jest by był on wielokrotnością okresu próbkowania T_i . Z reguły przyjmuje się czasy zawarte pomiędzy jednym okresem próbkowania a ćwiartką okresu składowej podstawowej:

$$T_i < \tau_i < T/4 \quad (16)$$

W metodzie podwójnego opóźnienia zależności na moce są podobne. Np. moc czynna

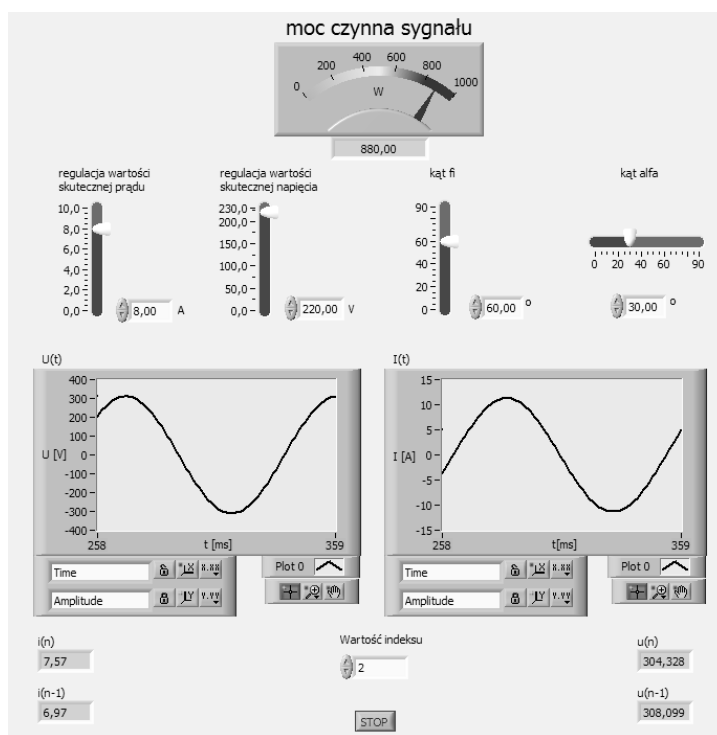
$$P = 0,5 \cdot U_m I_m \cos \phi = 0,5 \cdot [u_a(t) \cdot i_a(t) + u_b(t) \cdot i_b(t)] =$$

$$= 0,5 \cdot \left[u(t - \tau_2) \cdot i(t - \tau_2) + \frac{[u(t - 2\tau_2) - u(t)][i(t - 2\tau_2) - i(t)]}{4 \sin^2(\omega_1 \tau_2)} \right] \quad (17)$$

gdzie: τ_2 - przyjęty czas opóźnienia, n - numer kolejnej próbki sygnału, $r = \tau_2/T_i$

5. WIRTUALNY PRZETWORNIK MOCY

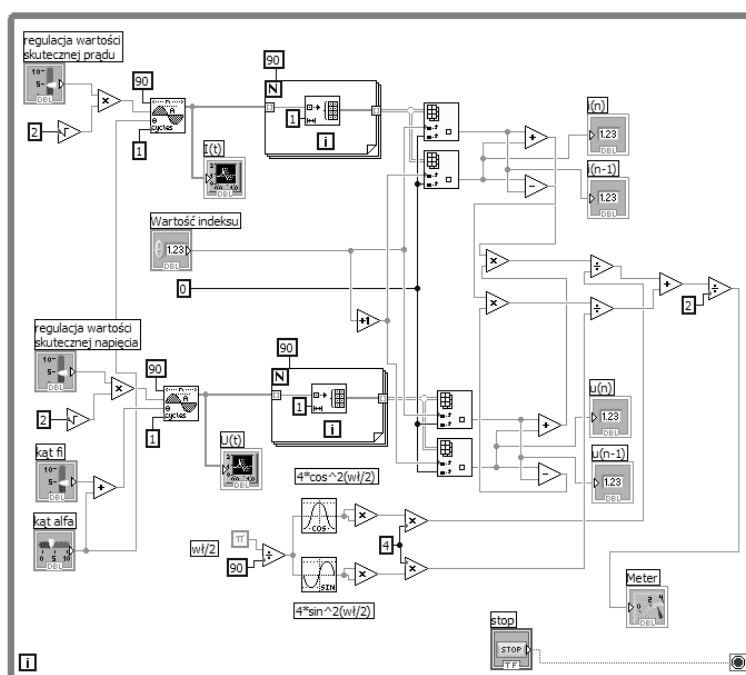
W celu sprawdzenia poprawności algorytmu do wyznaczania mocy wykonano sprawdzające obliczenia na wirtualnym przetworniku mocy, który został zrealizowany w środowisku LabVIEW.



Rys. 1. Płyta czołowa przetwornika mocy czynnej[2]

Na płycie czołowej urządzenia znajduje się potencjometr umożliwiający nastawienie wartości amplitudy badanego sygnału. Generator sinusoidy o tak zadanej wartości symuluje

badany przebieg. Na monitorach kontrolnych umieszczonych na płycie czołowej urządzenia obserwować można zarówno sygnały pośrednie służące do tworzenia sygnałów ortogonalnych: $x(t)$ oraz $x(-t)$, jak i same sygnały ortogonalne $x_a(t)$ i $x_b(t)$. Wartość tych ostatnich dla konkretnej wartości próbki sygnału można odczytać za pośrednictwem wyświetlaczy cyfrowych umieszczonych na panelu urządzenia.



Rys. 2. Diagram przetwornika mocy czynnej

Do przyrządu wprowadzono następujące wartości: $I = 8 \text{ A}$, $U = 220 \text{ V}$, $\varphi = 60^\circ$.
Zgodnie ze wzorem: $P = 0,5 U_m I_m \cos$ moc czynna wynosi $P = 880 \text{ W}$.
Na wyświetlaczach cyfrowych odczytuje się dla numeru próbki $n = 2$ następujące wartości chwilowych składowych ortogonalnych prądu i napięcia:

$$\begin{aligned} i(n) = i(2) &= 7,57 & i(n-1) = i(1) &= 6,97 \\ u(n) = u(2) &= 304,33 & u(n-1) = u(1) &= 308,10 \end{aligned}$$

i wyliczoną wartość mocy przez przyrząd

$$P = 0,5 \cdot \left\{ \frac{[7,57 + 6,97][304,33 + 308,10]}{3,9951} + \frac{[7,57 - 6,97][304,33 - 308,10]}{0,0049} \right\} = 880,00$$

6. WNIOSKI

1. Przedstawiona metoda pozwala na dokładny pomiar mocy czynnej przy przebiegach sinusoidalnych. Wykorzystać ją można również do pomiarów mocy w przypadku przebiegów odkształconych. Wyprowadzenie potrzebnych zależności do obliczeń mocy jest jednak bardziej skomplikowane, w wyniku czego przyrząd wirtualny jest mocno rozbudowany. Występuje niekiedy konieczność stosowania filtrów cyfrowych.
2. W metodzie podwójnego opóźnienia sygnały prądu i napięcia poddaje się opóźnieniu o czas τ_2 oraz $2\tau_2$. Następnie dokonuje się mieszania tych sygnałów podobnie jak w przypadku pojedynczego opóźnienia w celu uzyskania składowych ortogonalnych tych sygnałów. Tak uzyskane sygnały ortogonalne wykorzystuje się zgodnie ze wzorem definicyjnym na moc czynną. Metody te są sobie równoważne, a wyprowadzone zależności są podobne. Np. zależność na moc czynną jest następująca

$$\begin{aligned} P &= 0,5 \cdot U_m I_m \cos \phi = 0,5 \cdot [u_a(t) \cdot i_a(t) + u_b(t) \cdot i_b(t)] = \\ &= 0,5 \left[u(t - \tau_2) \cdot i(t - \tau_2) + \frac{[u(t - 2\tau_2) - u(t)][i(t - 2\tau_2) - i(t)]}{4 \sin^2(\omega \tau_2)} \right] \end{aligned} \quad (18)$$

3. Przy wyborze metody opóźnienia czasowego można się kierować prostszą postacią algorytmu pomiarowego. Należy zaznaczyć, że składowe ortogonalne można wykorzystać również i w innych zastosowaniach pomiarowych.

6. BIBLIOGRAFIA

1. Kuśmierek Z., Groszek S.: Technika pomiarów i badań urządzeń elektroenergetycznych. WNT, Warszawa 1993, ISBN 83-204-1583-7.
2. Wiszniewski A.: Algorytmy pomiarów cyfrowych w automatyce elektroenergetycznej. Warszawa, WNT 1990, ISBN 83-204-1215-3.
3. Kublik G.: Wykorzystanie składowych ortogonalnych prądu i napięcia w jednofazowych przetwornikach mocy. Praca dyplomowa wykonana w Katedrze Miernictwa Elektrycznego PG pod kierunkiem dr inż. R. Wepy. Gdańsk 1998.

ORTHOGONAL COMPONENTS IN VIRTUAL DIGITAL POWER TRANSDUCERS

The paper presents the digital power transducer, which was realized as virtual instrument in LabVIEW program. In this transducer digital signals are represented by orthogonal components of voltage and current waveform.

Orthogonal components are created as two signals which have the same amplitudes and frequencies, with $\pi/2$ phase shift. This phase shift can be realized by different methods, for example by $\pi/2$ phase lag of accessible sine signal or by delay signal in defined time τ or 2τ , and next by proper mixing of those signals, the orthogonal components are obtained.

On the base of those orthogonal components and elaborated operating algorithm the virtual power transducer may be created.

In these paper virtual instrument, based on single time-delay method is presented.