

Radosław KŁOSIŃSKI, Tomasz JUROJC
Uniwersytet Zielonogórski
Instytut Metrologii, Elektroniki i Informatyki

ZASTOSOWANIE SYNCHRONIZOWANYCH OKIEN CZASOWYCH DO WYZNACZANIA MOCY CZYNNEJ NA PODSTAWIE PRÓBEK

Przedmiotem pracy jest porównanie algorytmów do wyznaczania mocy czynnej na podstawie próbek napięcia i prądu, w dziedzinie czasowej i częstotliwościowej, bez oraz z zastosowaniem okien synchronizowanych i modyfikowanego dyskretnego przekształcenia Fouriera (MDFT). Wyniki eksperymentów numerycznych wskazują na dużą poprawę dokładności w wyniku stosowania okien synchronizowanych.

APPLICATION OF SYNCHRONIZED TIME WINDOWS FOR EVALUATION OF ACTIVE POWER BASED ON SAMPLES

The object of the work is to compare algorithms for determining active power on the basis of voltage and current samples in the time and frequency domain, without and using synchronized windows and modified discrete Fourier transform (MDFT). The results of numerical experiments show a great improvement in accuracy as a result of using synchronized windows.

1. WSTĘP

Moc czynna może być wyznaczona na podstawie próbek napięcia i prądu. Wyznaczanie wartości średniej mocy chwilowej odbywa się wtedy na zasadzie całkowania numerycznego. Zgodnie z twierdzeniem Parsevala możliwe jest też wyznaczanie mocy na podstawie widm sygnałów napięcia i prądu. Widma mogą być wyznaczone na podstawie próbek za pomocą dyskretnego przekształcenia Fouriera (DFT). Te metody obliczania mocy czynnej mogą dawać bardzo dokładne wyniki w przypadku brania do analizy zestawu próbek obejmującego całkowitą liczbę okresów sygnału a więc pod warunkiem próbkowania synchronicznego. Spełnienie tego warunku często nie jest możliwe, wtedy czas obserwacji sygnałów odpowiadający całkowitej liczbie próbek N nie pokrywa się z całkowitą wielokrotnością okresów sygnału T .

Na potrzeby badań opisanych w artykule posługiwano się rzeczywistą (niecałkowitą) liczbą N' okresów próbkowania T_s przypadających na m okresów sygnału T , spełniającą zależność:

$$N'T_s = mT . \quad (1)$$

Ważnym parametrem, od którego zależy dokładność wyznaczenia widma i mocy, jest różnica pomiędzy N oraz N' zdefiniowana następująco:

$$\Delta = N - N' , \quad (2)$$

Badając wpływ okien synchronizowanych na dokładność wyznaczania mocy czynnej analizie porównawczej poddano następujące metody: – algorytm działający w dziedzinie czasowej opisany w [1] przez Dušan Agrež oraz jego modyfikację polegającą na zastosowaniu synchronizowanych okien, – algorytm wykorzystujący DFT oraz oparty na modyfikowanym DFT (MDFT) z oknem synchronizowanym [2, 3].

Badania polegały na porównywaniu wyników eksperymentów numerycznych przeprowadzonych za pomocą aplikacji przygotowanej w środowisku LabWindows CVI w ramach realizacji [4].

Założono, że analizowane sygnały napięcia i prądu są okresowe oraz, że wartości próbek, częstotliwości sygnałów i próbkowania znane są z precyzją liczb typu double.

2. METODY WYZNACZANIA MOCY CZYNNEJ

2.1. Algorytm opisany przez Dušan Agrež [1]

Podstawą działania algorytmu jest wyznaczenie wartości średniej iloczynów próbek napięcia, prądu i okna sygnałowego. Zastosowano okna sygnałowe typu sinusoidalnego, których próbki określa formuła:

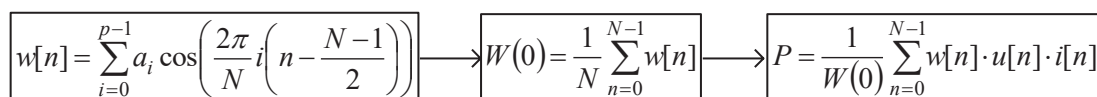
$$w[n] = \sum_{i=0}^{p-1} a_i \cos\left(\frac{2\pi}{N} i \left(n - \frac{N-1}{2}\right)\right), \quad (3)$$

gdzie: N oznacza liczbę próbek, p jest rzędem okna, a_i są współczynnikami wagowymi składowych okna o wartościach podanych w tabeli 1.

Tabela 1. Współczynniki dla parametru a_i przy różnych rzędach okna [1]

Rodzaj okna	Rząd okna p	a_0	a_1	a_2	a_3
prostokątne	1	1			
Hanninga	2	1/2	1/2		
cos III	3	3/8	4/8	1/8	
cos IV	4	10/32	15/32	6/32	1/32

Schemat blokowy algorytmu przedstawiono na rysunku 1.

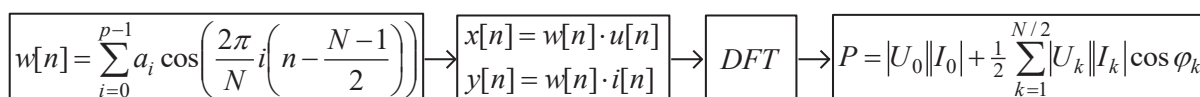


Rys. 1. Schemat blokowy algorytmu Dušan Agrež
Fig. 1. Block diagram of Dušan Agrež algorithm

2.2. Dyskretne przekształcenie Fouriera z oknem sygnałowym

Wyznaczanie mocy czynnej w dziedzinie widmowej polega na wyznaczeniu za pomocą DFT widm napięcia i prądu na podstawie próbek z nałożonym oknem. Moc czynną oblicza się jako sumę mocy składowych harmonicznym zgodnie z zależnością (4), schemat algorytmu przedstawia rysunek 2.

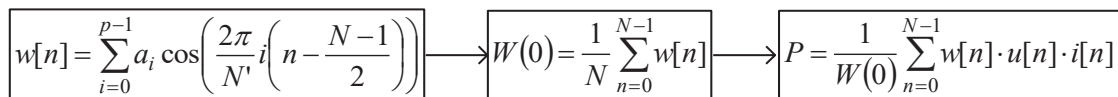
$$P = |U_0||I_0| + \frac{1}{2} \sum_{k=1}^{N/2} |U_k||I_k| \cos \varphi_k. \quad (4)$$



Rys. 2. Schemat blokowy algorytmu DFT z oknem sygnałowym
Fig. 2. Block diagram DFT algorithm with time window

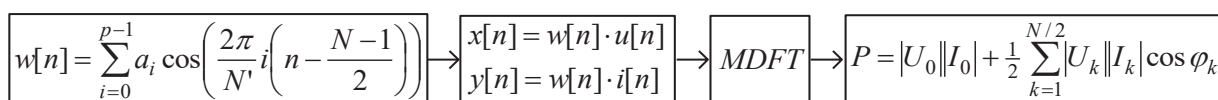
2.3. Modyfikacja metod z wykorzystaniem MDFT oraz okien synchronizowanych

Modyfikację algorytmów z punktów 2.1 i 2.2 uzyskano poprzez synchronizację okien sygnałowych zastępując w zależności (3) liczbę próbek N liczbą okresów próbkowania N' [3] oraz przez zastąpienie DFT modyfikowanym dyskretnym przekształceniem Fouriera (MDFT) [2]. Zmodyfikowane algorytmy opisane za pomocą schematów blokowych przedstawionych na rysunkach 3 i 4.



Rys. 3. Schemat blokowy zmodyfikowanego algorytmu Duśań Agreż

Fig. 3. Block diagram Duśań Agreż modified algorithm



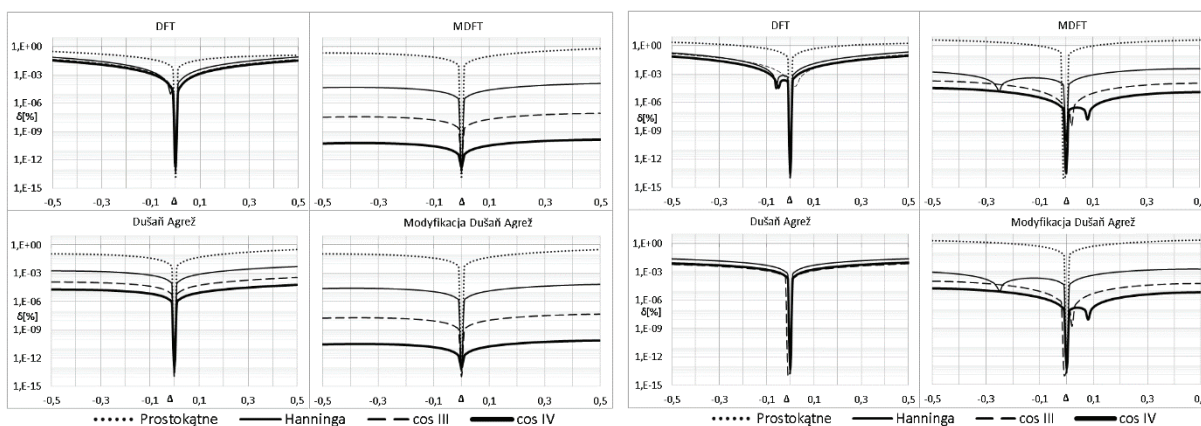
Rys. 4. Schemat blokowy algorytmu wyznaczania mocy z zastosowaniem MDFT z synchronizowanym oknem czasowym

Fig. 4. Block diagram of the power determination algorithm using MDFT with a synchronized time window

3. BADANIA SYMULACYJNE

Badania przeprowadzono za pomocą specjalnie przygotowanej aplikacji umożliwiającej porównanie badanych algorytmów [4]. W aplikacji można zadawać takie parametry jak: faza początkowa sygnału, przesunięcie fazowe między prądem a napięciem φ , liczba okresów sygnału, liczba próbek na okres, kształt okna sygnałowego oraz parametr Δ (2) w zakresie 0,5 do -0,5. Do dyspozycji są sygnały: sinusoidalny, piłokształtny i prostokątny o wybieranej liczbie harmonicznnych. Program umożliwia przeprowadzanie symulacji seryjnych z inkrementacją parametrów i zapisem do pliku, co jest przydatne do tworzenia różnego rodzaju charakterystyk.

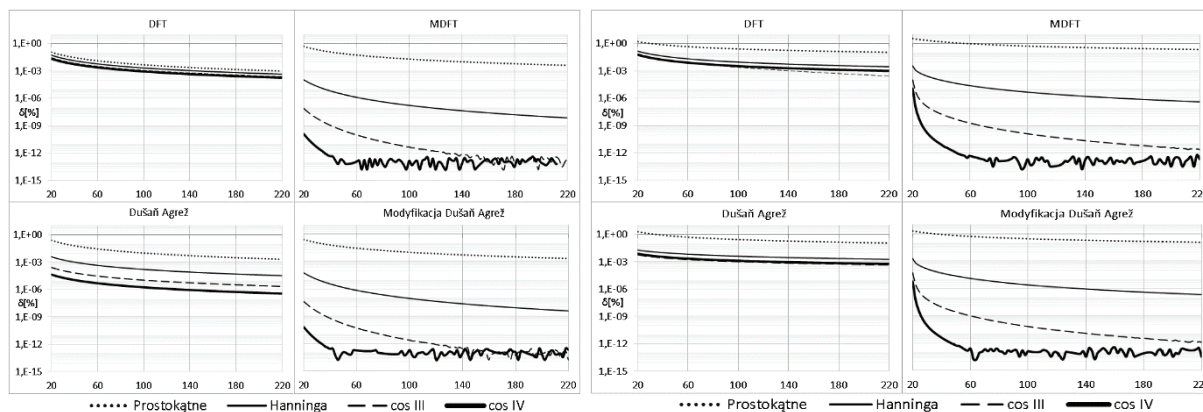
Na rysunku 5 przedstawiono porównanie błędów względnych wyznaczania mocy czynnej różnymi algorytmami w funkcji Δ , dla różnych okien, sygnałów o parametrach: faza początkowa napięcia 30° , kąt przesunięcia fazowego $\varphi = 30^\circ$, 20 próbek na okres, 4 okresy sygnału. Zestawiono wyniki dla sygnałów sinusoidalnych oraz wieloharmonicznych (9 początkowych harmonicznnych sygnału piłokształtnego).



Rys. 5. Porównanie błędów względnych wyznaczania mocy czynnej algorytmów dla różnych okien czasowych dla sygnału sinusoidalnego (z lewej strony) i wieloharmonicznego (z prawej strony)

Fig. 5. Comparison of relative errors in determining the active power of algorithms for different time windows for sinusoidal (left) and multi-harmonic (right) signals

Na rys. 6. pokazano porównanie błędów względnych wyznaczania mocy czynnej za pomocą badanych algorytmów, dla różnych okien czasowych, w zależności od liczby próbek przypadających na okres sygnału. Parametry oraz rodzaje sygnałów takie same jak poprzednio, dla wszystkich przypadków wartość $\Delta = 0,4$.



Rys. 6. Porównanie błędów względnych wyznaczania mocy czynnej algorytmów dla różnych okien czasowych w zależności od liczby próbek na okres dla sygnału sinusoidalnego (z lewej strony) i wieloharmonicznego (z prawej strony)

Fig. 6. Comparison of relative errors in determining the active power of algorithms for different time windows depending on the number of samples per period for a sinusoidal signal (on the left) and multi-harmonic (on the right)

Analiza wykresów pozwala stwierdzić, że zastosowanie okien zsynchronizowanych znacznie zwiększa dokładność algorytmów. Im wyższy rząd okna zastosowano tym błędy są mniejsze. W przypadku stosowania okien zsynchronizowanych różnica dokładności między algorytmami działającymi w dziedzinie czasowej i częstotliwościowej jest nieznaczna.

4. WNIOSKI

Zastosowanie okien zsynchronizowanych znacznie obniża błąd wyznaczania mocy czynnej na podstawie próbek napięcia i prądu, niezależnie od tego czy obliczenia przeprowadza się w dziedzinie czasowej czy częstotliwościowej.

Można się spodziewać, że dokładność algorytmów wykorzystujących okna zsynchronizowane w dużym stopniu zależy od dokładności wyznaczenia częstotliwości sygnałów.

LITERATURA

1. Agreż D: Power measurement in the non-coherent sampling, Science Direct Measurement 41 2008, p. 230-235.
2. Kłosiński R.: Zastosowanie MDFT do analizy widmowej sygnałów okresowych próbkowanych niesynchronicznie, PAK, vol. 54, nr 6 2008, s. 337-339.
3. Kłosiński R.: Synchronizacja okien czasowych przy wyznaczaniu widma za pomocą MDFT, PAK, vol. 60, nr 11 2014, s. 951-953.
4. Jurojć T.: Wyznaczanie mocy czynnej oraz wartości skutecznej napięcia i prądu na podstawie próbek, Praca dyplomowa magisterska, Instytut Metrologii Elektroniki i Informatyki, Uniwersytet Zielonogórski, Zielona Góra 2020.