

Leszek FURMANKIEWICZ
Instytut Metrologii Elektrycznej
Uniwersytet Zielonogórski

BŁĘDY ALGORYTMU WYZNACZANIA WIDMA AMPLITUDOWEGO W ANALIZATORZE JAKOŚCI ENERGII ELEKTRYCZNEJ AJE1

Streszczenie. Współcześnie opracowywane i produkowane wieloparametrowe przetworniki pomiarowe i mierniki przeznaczone do pomiaru parametrów sieci energetycznej realizują przetwarzanie metodą próbkowania. W tego typu przyrządach pomiarowych na niedokładność wyniku pomiaru mają wpływ błędy wnoszone przez obwody analogowego i analogowo – cyfrowego przetwarzania sygnałów oraz algorytmy przetwarzania programowego. W przyrządach przeznaczonych do pomiarów parametrów sieci energetycznej algorytmy programowe najczęściej realizują operacje mnożenia i uśredniania. Błędy realizacji takich operacji są pomijalnie małe w stosunku do błędów wnoszonych przez układy analogowego przetwarzania sygnałów. W przypadku gdy wymagana jest analiza widmowa przebiegów, zachodzi konieczność stosowania zaawansowanych algorytmów cyfrowego przetwarzania sygnałów, takich jak FFT. Błędy wnoszone przez takie algorytmy mogą być porównywalne z błędami wnoszonymi przez układy sprzętowe. W artykule przedstawiono metodę przetwarzania i strukturę opracowanego w Instytucie Metrologii Elektrycznej przemysłowego analizatora jakości energii AJE1. Omówiono zaimplementowany w przyrządzie algorytm FFT oraz zamieszczono wyniki badań symulacyjnych wpływu błędów wnoszonych przez ten algorytm na dokładność wyznaczenia widma amplitudowego.

ALGORITHM ERRORS IN POWER QUALITY ANALYSER AJE1 ON MAGNITUDE SPECTRUM MEASUREMENTS

Summary. Presently worked-out, manufactured and capable of measuring multiple electrical parameters in power systems instruments, realize processing by sampling method. In the instruments the errors, introduced by analog transducers, analog-to-digital converters and measurements data processing algorithms, have influence on the data inaccuracy. The processing algorithms, implemented in instruments used to power systems measurements, most often realize multiplication and averaging. The errors introduced by these algorithms are slight with relation to hardware errors. In case the spectrum analyse is required, it is necessary to use advanced mathematical algorithms such as FFT. The errors introduced by these algorithms might be similar to hardware errors. The paper presents the processing method and the block diagram of industrial quality energy analyser AJE1, worked-out in the Zielona Góra, in Institute of Electrical Metrology. It contains the description of FFT algorithm implemented in the instrument and the results of simulating tests on FFT algorithm specific errors' influence on magnitude spectrum measurements in accuracy.

1. WPROWADZENIE

Współcześnie opracowywane i produkowane przetworniki pomiarowe i mierniki przeznaczone do pomiaru parametrów sieci energetycznej realizują przetwarzanie metodą próbkowania. Zaletą przyjętej metody pomiarowej jest możliwość jednoczesnego wyznaczenia wielu parametrów w prostej strukturze układowej. Kolejną zaletą zastosowanej metody pomiarowej jest to, że niezbędne do wykonania operacje matematyczne na sygnałach analogowych, takie jak mnożenie i uśrednianie (w przypadku pomiaru mocy czynnej) oraz mnożenie, uśrednianie i pierwiastkowanie (w przypadku pomiaru wartości skutecznej) są wykonywane przez mikrokontroler z błędem pomijalnie małym w stosunku do klasy projektowanych przyrządów. Błędy podstawowe przemysłowych mierników wielkości energetycznych przeważnie nie są mniejsze niż $\pm 0,2\%$ w przypadku wartości skutecznych napięcia i prądu i $\pm 0,5\%$ w przypadku mocy. W przypadku analizatorów jakości energii elektrycznej, realizujących pomiary zgodnie z normą PN-EN 50160, wymagana jest m.in. znajomość wartości skutecznych harmonicznych w napięciu zasilającym - do 40 harmonicznych. Dostępne na rynku analizatory wyliczają również wartości skuteczne harmonicznych w prądzie, współczynniki zawartości harmonicznych w napięciu i prądzie oraz inne wymagane parametry. Wartości skuteczne harmonicznych występujących w próbkowanych sygnałach można obliczyć na podstawie współczynników szeregu Fouriera, które można wyznaczyć za pomocą algorytmu dyskretnego przekształcenia Fouriera DFT. Z uwagi na złożoność obliczeniową algorytmu DFT w praktyce korzysta się z algorytmów szybkiej transformaty Fouriera FFT redukujących liczbę wykonywanych operacji arytmetycznych, a tym samym skracających czas obliczeń. Do realizacji przyrządów, w których wymagana jest realizacja algorytmu FFT, dedykowane są mikroprocesory sygnałowe posiadające rozwiązania wspomagające realizację algorytmu FFT [7]. Istnieje grupa analizatorów widma zrealizowanych na bazie 16- lub 32-bitowych mikrokontrolerów nie posiadających specjalizowanych modułów arytmetycznych. Czasy realizacji kilkudziesięciopunktowej FFT na liczbach zmiennoprzecinkowych, wraz z wyznaczeniem widma amplitudowego przez takie mikrokontrolery, przekraczają akceptowalne przez użytkowników wartości - rzędu kilku sekund. W takiej sytuacji rozwiązaniem jest zastosowanie algorytmu FFT realizowanego na liczbach całkowitych. Jednocześnie należy liczyć się z wystąpieniem błędów własnych algorytmu przetwarzania, które mogą przekroczyć wartości błędów wnoszonych przez elementy toru przetwarzania przyrządu, takie jak: obwody wejściowe, układy S/H, multipleksery czy przetworniki analogowo - cyfrowe.

2. ANALIZATOR JAKOŚCI ENERGII ELEKTRYCZNEJ AJE1

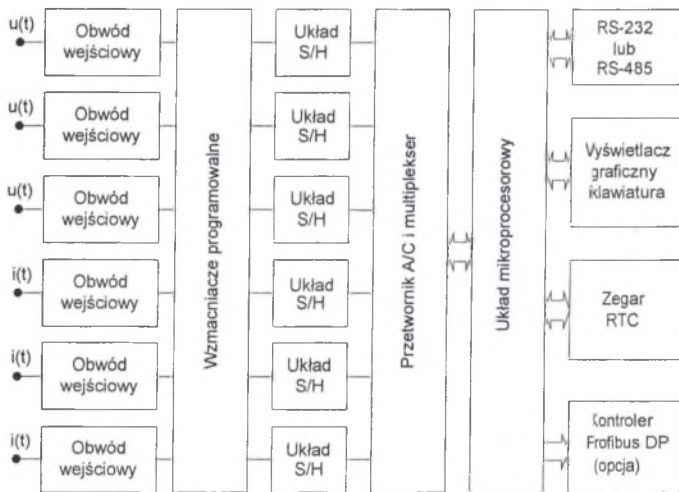
Analizator jakości energii AJE1 [1] jest jednym z grupy wieloparametrowych przyrządów pomiarowych opracowanych w Instytucie Metrologii Elektrycznej Uniwersytetu Zielonogórskiego i wdrożonych do produkcji w OBRME Metrol w Zielonej Górze. Analizator AJE1 jest przyrządem przemysłowym, w wykonaniu tablicowym, który jest przeznaczony do pomiaru i rejestracji parametrów sieci trójfazowej 4-przewodowej.

W analizatorze AJE1 zrealizowano przetwarzanie sygnałów metodą próbkowania. Zastosowana metoda przetwarzania umożliwia wyznaczenie najczęściej mierzonych parametrów przebiegów napięciowych i prądowych, takich jak: wartości skuteczne napięć i prądów oraz moce. Przy dostatecznie dużej częstotliwości próbkowania próbki zawierają praktycznie kompletną informację o przebiegach napięć i prądów, co umożliwia wyznaczenie

dotychczasowych parametrów mierzonych przebiegów bez rozbudowy struktury układu. Parametrami tymi są: współczynniki szczytu i kształtu napięć i prądów, wartości szczytowe napięć i prądów, wartości skuteczne harmonicznym zawartych w przebiegach napięcia i prądu oraz współczynniki zawartości harmonicznym w mierzonych przebiegach.

W przyrządzie zastosowano próbkowanie synchroniczne, z częstotliwością zapewniającą pobranie 128 próbek przebiegu w jego okresie. Przyjęta częstotliwość próbkowania jest wystarczająca do przeprowadzenia analizy widmowej przebiegów w paśmie częstotliwości określonym przez normy dotyczące jakości energii elektrycznej – do 40 harmonicznym. Uwzględniając wymagania wspomnianych norm, przyrząd wyznacza wartości skuteczne harmonicznym zawartych w przebiegach napięcia i prądu.

Na rys. 1 przedstawiono uproszczoną strukturę analizatora AJE1. Analizator mierzy trzy napięcia fazowe i trzy prądy. W torach prądowych zastosowano transformatorowe obwody wejściowe, a w torach napięciowych dzielniki rezystancyjne. Układ przetwarzania analizatora jakości energii zrealizowano na bazie mikrokontrolera 16-bitowego 80C167, który ma w swojej strukturze 10-bitowy przetwornik analogowo – cyfrowy z multiplexerem na wejściu.



Rys.1. Struktura blokowa analizatora AJE1

Fig.1. Block diagram of energy analyser AJE1

Układy próbkujące – pamiętające zapewniają jednoczesne próbkowanie mierzonych sygnałów. Przyrząd może pracować w dwóch trybach: pomiary i rejestracja zdarzeń. W trybie „pomiary” mierzone sygnały są próbkowane jednocześnie w ciągu trzech okresów napięcia mierzonego. Po zgromadzeniu w pamięci przyrządu cyfrowej reprezentacji przebiegów analogowych mikrokontroler oblicza następujące parametry: wartości skuteczne napięć fazowych, wartości skuteczne napięć międzyfazowych, wartości skuteczne prądów, moce czynne, bierne i pozorne każdej fazy i trójfazowe, współczynniki mocy czynnej i biernej każdej fazy i trójfazowe, energię czynną i bierną, współczynniki szczytu i kształtu napięcia oraz prądu odchylenia napięć fazowych, wartości skuteczne harmonicznym napięcia oraz prądu (do 40 harmonicznym), współczynniki zawartości harmonicznym napięcia oraz prądu, współczynnik niesymetrii napięcia, odchylenie częstotliwości. W trybie „rejestracja zdarzeń” realizowane jest ciągle próbkowanie trzech napięć fazowych i pomiar częstotliwości. Do obliczeń wartości skutecznej napięcia zastosowano okna pomiarowe: 200 ms – 3 s - 10 min - 2 godz. W przypadku częstotliwości zastosowano 10-sekundowe okno pomiarowe. W tym trybie analizator rejestruje zaburzenia w odniesieniu do zadanych wartości napięcia i częstotliwości.

Wyniki pomiarów eksponowane są na wyświetlaczu LCD w postaci alfanumerycznej i graficznej.

Analizator umożliwia pomiary z błędami nie przekraczającymi $\pm 0,5\%$ w przypadku wartości skutecznych napięcia i prądu, $\pm 0,5\%$ w przypadku mocy i $\pm 0,1\%$ w przypadku częstotliwości. Przyrząd jest wyposażony w cyfrowe wyjścia komunikacyjne w standardzie RS-232 lub RS-485 z protokołem OBRBUS. Opcjonalnie przyrząd może być wyposażony w sprzętowy kontroler umożliwiający pracę w sieci przemysłowej w standardzie PROFIBUS-DP.

3. ŹRÓDŁA BŁĘDÓW ANALIZATORA JAKOŚCI ENERGII AJE1

Biorąc pod uwagę zastosowaną w analizatorze metodę przetwarzania oraz jego strukturę, można w każdym z torów pomiarowych przyrządu wyróżnić klasyczną strukturę przetwornika próbkującego, w której występują układy analogowego przetwarzania sygnałów (obwody wejściowe, wzmacniacze pomiarowe, multipleksery oraz analogowe części układu próbkującego – pamiętającego i przetwornika analogowo – cyfrowego), układ przetwornika analogowo cyfrowego oraz układ przetwarzania cyfrowego. Ogólny model błędu przetwornika próbkującego [4] uwzględnia następujące źródła błędów: błędy wnoszone przez obwody analogowego przetwarzania sygnałów, błędy wnoszone przez analogowe układy przetwornika analogowo-cyfrowego i błędy algorytmu przetwarzania.

Najistotniejszym źródłem błędów wnoszonych przez układy sprzętowe torów pomiarowych przyrządu są błędy wnoszone przez transformatorowe obwody wejściowe, które najbardziej uwidaczniają się przy pomiarach mocy przebiegów niesinusoidalnych i mogą osiągnąć wartość kilkakrotnie przekraczającą klasę przyrządu określaną dla przebiegów sinusoidalnych. W pracach [1,2] przedstawiono analizę wpływu błędów obwodów wejściowych na dokładność pomiaru mocy, a w pracy [2] zaprezentowano metodę korekcji błędów obwodów wejściowych. Zaproponowana metoda korekcji, dla zastosowanego w przyrządzie prądowego obwodu wejściowego, umożliwia w przypadku pomiaru mocy sygnałów niesinusoidalnych zmniejszenie błędów przetwarzania mocy z poziomu kilku procent do poziomu klasy przyrządu. Błędy pozostałych układów występujących w torze analogowego przetwarzania sygnałów nie powodują błędów pomiaru większych, niż założono w fazie projektowania.

Ostatnim ogniwem łańcucha przetwarzania sygnałów w analizatorze jakości energii jest algorytm przetwarzania programowego. Algorytm programowy przenosi z wejścia na wyjście błędy wprowadzane przez układy analogowego przetwarzania i przetwornik analogowo – cyfrowy oraz wprowadza błędy własne. Analizator jest przyrządem wieloparametrowym, a zatem realizuje na danych wejściowych szereg algorytmów przetwarzania, w tym algorytm wyznaczania widma amplitudowego mierzonych przebiegów napięciowych i prądowych. Dążąc do zwiększenia dokładności przetworników i mierników parametrów sieci energetycznej przy przetwarzaniu przebiegów niesinusoidalnych, należy ocenić wpływ błędów wnoszonych przez algorytmy przetwarzania programowego. Umożliwi to określenie wymagań stawianych algorytmom, co pozwoli na ich właściwy wybór w zależności od zastosowania i klasy przyrządu. W niniejszym artykule podjęto próbę oceny statycznych błędów własnych zastosowanego w analizatorze AJE1 algorytmu wyznaczającego widma amplitudowe przebiegów napięciowych i prądowych.

4. BŁĘDY ALGORYTMU WYZNACZANIA WIDMA AMPLITUDOWEGO

Do wyznaczenia widma amplitudowego przebiegów poddanych procesowi próbkowania stosowane jest dyskretne przekształcenie Fouriera DFT, które z N próbek danych ciągu $a[n]$ pobranych w równych odstępach czasu dostarcza N równoodległych próbek widma $A[k]$ zespolonego ciągu wejściowego pobranych w punktach o pulsacjach $\omega_k = 2\pi k/N$.

$$A[k] = \frac{1}{N} \sum_{n=0}^{N-1} a[n] \cdot W_N^{kn}, \quad (1)$$

gdzie:

$$W_N^{kn} = e^{-j\left(\frac{2\pi kn}{N}\right)} \quad (2)$$

oraz $k=0,1,2,\dots,N-1$.

Wartości skuteczne $x[k]$ harmoniczných przebiegu można wyznaczyć ze wzoru

$$x[k] = \sqrt{\frac{1}{2} \left(\operatorname{Re}^2[A[k]] + \operatorname{Im}^2[A[k]] \right)}. \quad (3)$$

Z uwagi na pracochłonność obliczeniową algorytmu DFT powszechnie stosowane w przyrządach próbkujących są algorytmy szybkiego przekształcenia Fouriera FFT, likwidujące nadmiarowość obliczeniową, a tym samym skracające czas obliczeń. Algorytmy FFT zakładają, że liczba próbek wykorzystywanych do wyznaczenia dyskretnego przekształcenia Fouriera jest całkowitą potęgą liczby 2.

W analizatorze jakości energii AJE1, ze względu na moc obliczeniową zastosowanego mikrokontrolera oraz założony czas repetycji pomiaru – mniejszy od 1 sekundy, do wyznaczenia widma amplitudowego zastosowano algorytm FFT realizowany na 16-bitowych liczbach całkowitych ze znakiem. W zastosowanym algorytmie współczynniki rzeczywiste z zakresu $\pm 1,0$ - określone zależnością (2), są reprezentowane przez liczby całkowite z zakresu ± 32767 . Mając na uwadze czas realizacji algorytmu, wartości tych współczynników zawarte są w pamięci programu w postaci 1024-elementowej tablicy. Przed wykonaniem algorytmu FFT wartości 10-bitowych próbek są przeskalowane do liczb z zakresu ± 32767 . Algorytm jest realizowany po zebraniu $N=128$ próbek mierzonych przebiegów. Na podstawie zespolonych współczynników wyjściowych algorytmu FFT wykonywane są obliczenia $k=40$ wartości skutecznych harmoniczných zawartych w mierzonych przebiegach, zgodnie ze wzorem (3). Błąd wyznaczenia wartości skutecznej harmoniczných zawartych w mierzonych przebiegach można obliczyć jako różnicę pomiędzy wynikiem otrzymanym w wyniku realizacji algorytmu a wartością prawdziwą – zgodną z definicją wartości skutecznej. Wartość względną tego błędu δ_x można obliczyć ze wzoru:

$$\delta_x = \frac{x - X}{X_Z}, \quad (4)$$

gdzie: X - określa prawdziwą wartość skuteczną harmonicznę,

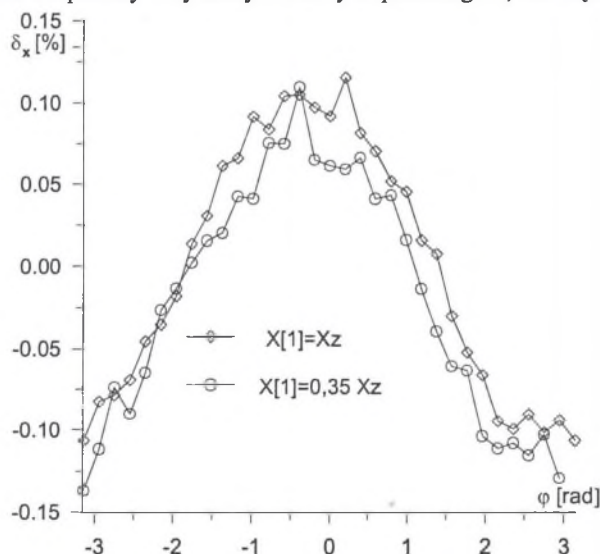
x - jest wartością otrzymaną na wyjściu algorytmu,

X_Z - oznacza znamionową wartość skuteczną mierzonych przebiegów.

Posługując się badaniami symulacyjnymi, wyznaczono błędy własne zastosowanego w analizatorze algorytmu FFT. Źródłem tych błędów są procesy związane z przetwarzaniem analogowo – cyfrowym (próbkowanie, kwantowanie), realizacją okna pomiarowego oraz przetwarzaniem cyfrowo – cyfrowym mającym na celu uzyskanie wyniku końcowego.

W badaniach symulacyjnych kształtowano warunki pomiaru w taki sposób, aby odpowiadały warunkom występującym w rzeczywistym przyrządzie. Jako wymuszenie zastosowano przebiegi o okresie równym szerokości okna pomiarowego – co odpowiada synchronicznej metodzie próbkowania zrealizowanej w przyrządzie. Przyjęto próbkowanie z częstotliwością umożliwiającą pobranie 128 próbek w okresie podstawowej harmonicznej oraz założono dyskretyzację przebiegu przez 10-bitowy przetwornik analogowo – cyfrowy.

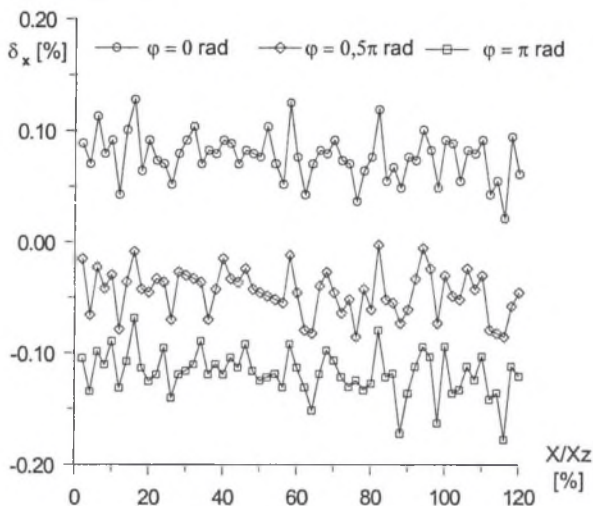
Badania symulacyjne przeprowadzono dla przebiegów monoharmonicznych i poliharmonicznych. W przypadku przebiegów monoharmonicznych wykonano badania dla częstotliwości 50 Hz, zmieniając fazę φ przebiegu w zakresie $-\pi \text{ rad} < \varphi < +\pi \text{ rad}$ i amplitudę w zakresie (10÷120)% znamionowych wartości sygnałów wejściowych. Podobne warunki zastosowano podczas badań dla przebiegów o wyższych częstotliwościach (do częstotliwości odpowiadającej 40 harmonicznej). Na rysunkach 2, 3 i 4 przedstawiono wybrane wyniki badań dla przebiegów monoharmonicznych. Rysunek 2 przedstawia charakterystyki błędu wyznaczenia wartości skutecznej przebiegu o częstotliwości 50 Hz, dla zmieniającej się fazy przebiegu mierzonego i dwóch wartości amplitudy. Po stwierdzeniu istotnego wpływu fazy φ przebiegu na błąd wyznaczenia wartości skutecznej przeprowadzono badania dla większych rozdzielczości przetwornika analogowo – cyfrowego. Otrzymano rezultaty zbliżone do tych, które przedstawiono na rys. 2. Rysunek 3 przedstawia zależności błędu wyznaczenia wartości skutecznej przebiegu o częstotliwości 50 Hz od amplitudy, dla kilku wartości fazy mierzonego przebiegu. Rysunek 4 przedstawia zależności błędu wyznaczenia wartości skutecznych, dla znamionowych wartości amplitudy i wybranych faz tych przebiegów, od częstotliwości.



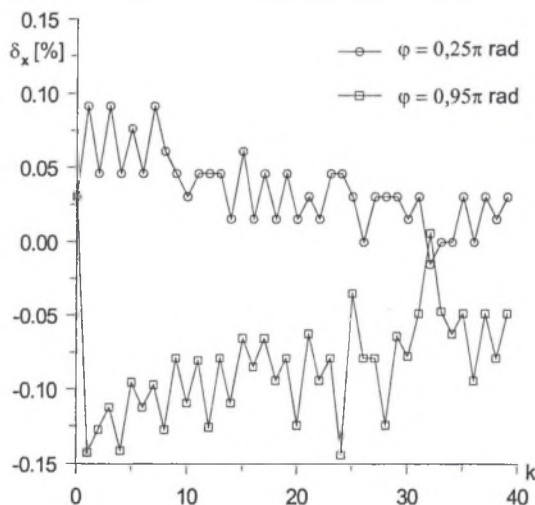
Rys. 2. Zależność błędu wyznaczenia wartości skutecznej od fazy przebiegu
Fig. 2. Dependence of rms value processing error in function phase of signal

W kolejnym kroku przeprowadzono badania symulacyjne dla przebiegów poliharmonicznych. Z uwagi na obszar zastosowań analizatora AJE1 do badań przyjęto przebiegi występujące w rzeczywistych obwodach energetycznych o kształcie tzw. „ciętej

sinusoidy”. Widmo takiego przebiegu zawiera teoretycznie wszystkie harmoniczne nieparzyste. W celu uniknięcia zjawiska nakładania widma w badaniach zastosowano przebiegi zawierające harmoniczne z zakresu od 1 do 39. Amplitudy i fazy harmonicznych tworzących przebiegi testowe obliczono na podstawie zależności podanych w pracy [9]. Parametrem podczas badań był kąt odcięcia α .

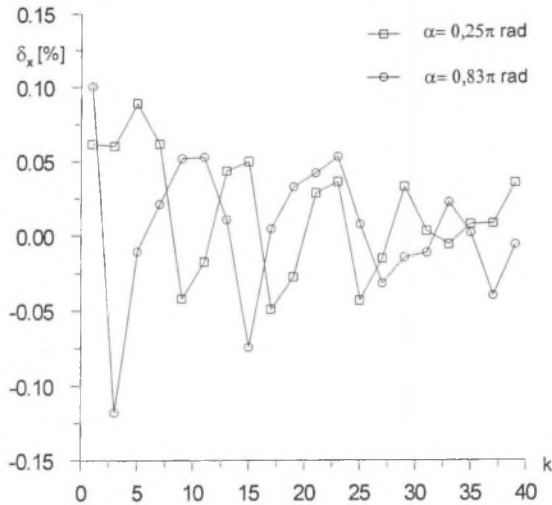


Rys. 3. Zależność błędu wyznaczenia wartości skutecznej przebiegu od amplitudy
Fig. 3. Dependence of rms value processing error in function of signal amplitude



Rys. 4. Zależność błędu wyznaczenia wartości skutecznej od numeru harmonicznej
Fig. 4. Dependence rms value processing error in function of harmonics number

Na rys. 5 przedstawiono wybrane charakterystyki błędów pomiaru wartości skutecznych harmonicznych zawartych w testowych przebiegach typu „cięta sinusoida” dla dwóch kątów α .



Rys. 5. Błąd wyznaczenia widma amplitudowego
Fig. 5. Processing error of magnitude spectrum

Na podstawie uzyskanych wyników badań można stwierdzić, że zastosowany w analizatorze jakości energii elektrycznej AJE1 algorytm wyznaczania widma amplitudowego przebiegów napięciowych i prądowych wprowadza znaczące - w odniesieniu do klasy przyrządu przy pomiarach nie wykorzystujących metody FFT - błędy własne, zbliżające się do wartości z zakresu $\pm 0,2\%$. W zasymulowanych warunkach pomiaru nie zaobserwowano losowego rozkładu błędów na wyjściu algorytmu charakterystycznego dla algorytmów realizowanych na liczbach rzeczywistych. Zaobserwowano istotny wpływ fazy przetwarzanego sygnału (rys. 2) na dokładność wyznaczenia wartości skutecznych harmonicznich oraz znacznie mniejsze wpływy amplitudy i częstotliwości mierzonych przebiegów (rys. 3, 4, 5). Z przeprowadzonych badań wynika, że głównym źródłem błędów wnoszonych przez algorytm FFT są błędy dyskretyzacji współczynników algorytmu określonych zależnością (2).

5. PODSUMOWANIE

W artykule przedstawiono metodę przetwarzania, strukturę sprzętową oraz cechy funkcjonalne analizatora jakości energii elektrycznej AJE1. Mając na uwadze zastosowany w przyrządzie algorytm FFT, oparty na arytmetyce liczb całkowitych, podjęto próbę oceny wpływu błędów własnych tego algorytmu na dokładność pomiaru wartości skutecznych harmonicznich zawartych w mierzonych przebiegach. Realizując tak postawione zadanie, przeprowadzono badania symulacyjne, podając na wejście algorytmu sygnały testowe w postaci przebiegów sinusoidalnych i przebiegów niesinusoidalnych o kształcie „ciętej sinusoidy”. Wyniki badań świadczą, że zastosowany w przyrządzie algorytm FFT wnosi znaczące błędy własne, które należy uwzględnić przy projektowaniu przyrządów pomiarowych.

Literatura

1. Furmankiewicz L., Rybski R.: *Wpływ obwodów wejściowych na dokładność przetwarzania przetworników mocy*. Materiały konferencyjne. III Konferencja Elektrotechnika Prądów Niesinusoidalnych. Zielona Góra 1997, s. 205-214.
2. Furmankiewicz L.: *Możliwości programowej korekcji błędów wnoszonych przez transformatorowe obwody wejściowe w przetwornikach mocy przy pomiarze sygnałów odkształconych*. Rozprawa doktorska. Politechnika Zielonogórska. Zielona Góra 1998.
3. Furmankiewicz L., Rybski R.: *Wieloparametrowe przyrządy do pomiaru wielkości energetycznych*. Pomiary Automatyka Kontrola – 2003, nr 2-3, wyd. spec., s. 41-46.
4. Jakubiec. J., Roj J.: *Pomiarowe przetwarzanie próbkujące*. Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice 2000.
5. Jakubiec J.: *Model niepewności jako podstawa oceny dokładności algorytmów przetwarzania pomiarowego*. ZN Pol. Śl., s. Elektryka z. 169, Gliwice 2000, s. 7-36.
6. Jakubiec J.: *Wyznaczanie niepewności przetwarzania próbkującego za pomocą redukcyjnej arytmetyki interwałowej*. ZN Pol. Śl., s. Elektryka z. 181, Gliwice 2002, s. 65-82.
7. Marven C., Ewers G.: *Zarys cyfrowego przetwarzania sygnałów*. WKiŁ, Warszawa 1999.
8. Pierzgański W.: *Analizatory parametrów sieci typu AJE1 i AJE2 stosowane w diagnostyce jakości zasilania zakładów przemysłowych*. Przegląd Elektrotechniczny NR 6/2004, s. 553-554.
9. Sedlacek M., Dado S.: *Naroky na kmitocove pasmo a hodnoty cinitele vykyvu pri mereni aktivnych elektrickyh velicin v obvodech s tyristory*, Elektrotechnický obzor, c.4, s. 198-202, 1982.
10. Topór-Kamiński T.: *Błędy własne algorytmu przetwarzania czasowego ciągu danych pomiarowych*. PAK, 7-8/2000, s. 105-108.

Recenzent: Prof. dr hab. inż. Jerzy Jakubiec

Wpłynęło do Redakcji dnia 7 grudnia 2004

Abstract

This paper presents a processing method, block diagram, hardware structure, basic metrological parameters and functionality of industrial quality energy analyser AJE1 worked-out in the Institute of Electrical Metrology in Zielona Góra. The instrument is using the sampling method. Major advantage of this method is the ability to calculate a lot of electrical parameters in the simple hardware structure (fig. 1). The instrument calculates fundamental electrical parameters of voltage and current signals based on voltage and current samples. Using FFT algorithm, the analyser also calculates magnitude spectrum of voltage and current signals. Integer arithmetic is used for speed up FFT algorithm, instead of the more natural floating-point. All data are represented by fixed-point short integers, in which -32768 to +32768 represent -1.0 to +1.0. This paper presents the results of simulations about algorithm FFT influence on magnitude spectrum accuracy. The sine wave and distorted signals were used as test signals. All characteristics of magnitude processing errors were calculated with 128 samples of measurement signals and 10-bits resolution of analog to digital converter. Fig. 2 and fig. 3 show dependence of the rms value processing error in function phase and magnitude of signal. Fig. 4 shows k-harmonic processing errors for two chosen phases of signals. Fig. 5 shows the characteristics of magnitude spectrum errors of signals, which contain 39 odd harmonics, occurred from thyristor voltage regulator. Results of simulation point at the FFT algorithm, employed in instrument, as the source of significant errors, which should be taken into consideration in projects of measuring instruments.