

WERYFIKACJA ALGORYTMÓW POMIAROWYCH W PRZYRZĄDZIE DO OCENY JAKOŚCI ENERGII ELEKTRYCZNEJ

Romuald MAŚNICKI

Akademia Morska w Gdyni, Wydział Elektryczny,
tel.: (48) 58 5586 440, e-mail: romas@am.gdynia.pl

Streszczenie: Do oceny jakości energii elektrycznej opracowanych zostało wiele przyrządów. Każdy dostawca przyrządu gwarantuje, że produkt spełnia obowiązujące normy, a niepewność uzyskanych wyników pomiarów nie przekracza ustalonych poziomów. Dokładność wyników pomiaru zależy m.in. od jakości kalibracji części akwizycyjnej torów pomiarowych, jak również od poprawności algorytmów realizowanych w oprogramowaniu przyrządu. W artykule przedstawiono podstawowe właściwości przyrządu "estymator/analizator", jak również metody kalibracji jego torów pomiarowych i weryfikacji programowej części jego algorytmów pomiarowych, wbudowanych w oprogramowanie procesora, wyznaczającego wartości wskaźników jakości energii elektrycznej. Obok wcześniej wykorzystywanych sposobów weryfikacji algorytmów pomiarowych omówiono propozycję metody umożliwiającej weryfikację poprawności programowej części toru pomiarowego przyrządu, zasadniczej z punktu widzenia jego właściwości metrologicznych.

Słowa kluczowe: ocena jakości energii elektrycznej, kalibracja toru pomiarowego, walidacja algorytmów pomiarowych.

1. WPROWADZENIE

System elektroenergetyczny stanowi rozproszoną sieć, złożoną m.in. z prądnic, transformatorów, przewodów łączących i odbiorników energii. Energia elektryczna jest w przeważającej części generowana w elektrowniach zawodowych, które przekształcają w energię elektryczną jakiś inny rodzaj energii: konwencjonalną, jądrową lub z odnawialnych źródeł energii (OZE).

Jakość energii elektrycznej jest charakteryzowana z wykorzystaniem zestawu parametrów opisujących właściwości procesu dostarczania energii do użytkownika w normalnych warunkach pracy, ustalenie ciągłości zasilania (przerwy w zasilaniu) oraz charakteryzujących napięcie zasilające (wartość, asymetria i częstotliwości fali). Przebiegi czasowe sygnałów w systemie elektroenergetycznym, często traktowane jako złożone z czystych sygnałów sinusoidalnych, mogą zawierać różnorodne zakłócenia.

Dla uporządkowania zagadnienia oceny jakości energii elektrycznej wprowadzono szereg standardów. Określają one rodzaje i dopuszczalne wartości zakłóceń oraz odporność różnych typów urządzeń na zakłócenia, które mogą wystąpić. Podstawowe standardy w tej dziedzinie wchodzą w skład serii PN-EN 61000, norm PN-EN 50160 oraz IEEE 1159 [1].

W [2] pokazano wyniki pomiarów parametrów opisujących jakość energii elektrycznej, przeprowadzonych z wykorzystaniem dziesięciu odrębnych przyrządów, należących do różnych instytucji. Za pomocą tych przyrządów mierzono ten sam zestaw parametrów. Obok pięciu komercyjnych przyrządów w pomiarach wykorzystano pięć przyrządów prototypowych, opracowanych w instytucjach, uczestniczących w eksperymencie. Przedmiotem pomiarów były m.in. częstotliwości sieci, wartości skuteczne napięcia, współczynniki zawartości harmonicznych, parametry dominujących harmonicznych, parametry wahań napięcia: krótko- i długoterminowe wskaźniki migotania.

Wszystkie pomiary przeprowadzono się w tym samym punkcie sieci elektroenergetycznej i w tym samym czasie. Przyrządy pomiarowe stosowane w eksperymencie były deklarowane przez ich wytwórców jako spełniające warunki odnośnych norm, m.in. IEC 61000-4-15. Mimo przedstawionych warunków pomiarów i deklaracji producentów, wskazania przyrządów różniły się, w niektórych przypadkach znacząco [2].

Użytkownikowi określonego instrumentu trudno jest oceniać poprawność jego wskazań. W ocenie dokładności wyników pomiarowych opiera się on na deklaracjach producenta przyrządu, bądź wynikach jego wzorcowania.

W [3, 4] omówiono wybrane aspekty konfiguracji i funkcjonowania toru pomiarowego przyrządu, umownie określanego jako "estymator/analizator" (E/A), opracowanego do wyznaczania parametrów jakości energii elektrycznej, zwłaszcza dla oceny okrętowych sieci elektroenergetycznych.

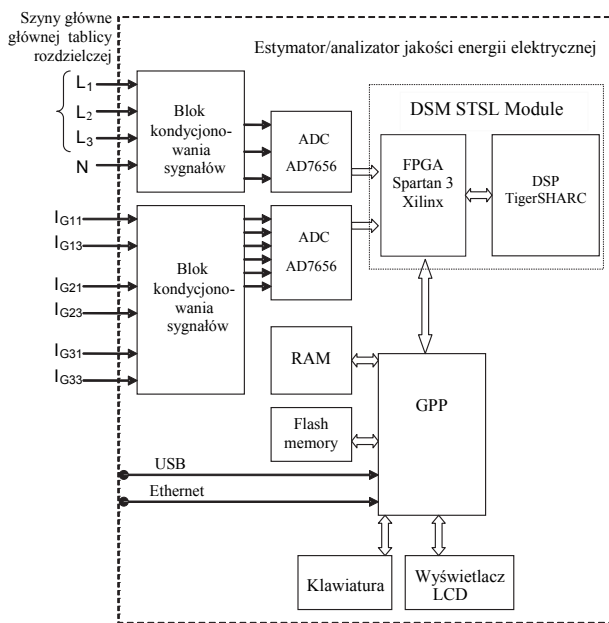
Niniejsza praca koncentruje się na wybranych metodach oceny właściwości metrologicznych przyrządu E/A. Głównym celem jest przedstawienie zastosowanych sposobów oceny charakterystyk przetwarzania torów pomiarowych przyrządu, zwłaszcza jego części cyfrowej, realizowanej w algorytmach oprogramowania. Zawarto w niej rozważania dotyczące potencjalnych przyczyn rozbieżności uzyskanych wyników pomiarowych, opisanych w [2]. Przedstawiono propozycję sposobu weryfikacji algorytmów programowych realizowanych w procesorze sygnałowym, jako części toru pomiarowego.

W rozdziale 2 przedstawiono skrótowo funkcje pomiarowe, jak również podstawowe algorytmy pomiarowe realizowane w przyrządzie E/A. W rozdziale 3 opisano wybrane procedury wzorcowania stosowane w trakcie badań

przyrządu. Wskazano ograniczenia zastosowanych procedur. W rozdziale 4 zawarto propozycję metody weryfikacji poprawności algorytmów realizowanych w oprogramowaniu procesora, powiązanych z wykonywaniem poszczególnych funkcji pomiarowych E/A. Metoda ta pozbawiona jest większości ograniczeń związanych z wcześniejszymi procedurami. Obecnie jest ona wdrażana w badaniach E/A. Pracę podsumowano w rozdziale 5.

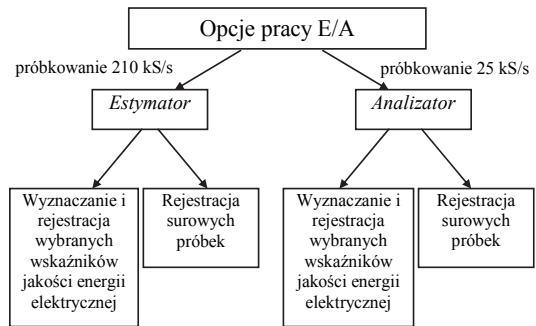
2. FUNKCJE POMIAROWE PRZYRZĄDU E/A

Konfigurację sprzętową urządzenia pokazano na rysunku 1. Sygnały napięciowe z sieci elektroenergetycznej (3- lub 4-przewodowej) i prądowe z maksymalnie trzech zespołów prądotwórczych dostarczane są do obwodów wejściowych przyrządu i następnie próbkowane oraz przetwarzane na cyfrowe reprezentacje w układach ADC (ang. Analog-to-Digital Converter). Wyznaczanie współczynników charakteryzujących jakość energii elektrycznej odbywa się w procesorze sygnałowym DSP (ang. Digital Signal Processor) ADSP-TS201 TigerSHARC (Analog Devices), wbudowanym w module DSM STSL (Kaztek Systems). Tam również znajduje się układ FPGA (ang. Field Programmable Gate Array) Spartan-3 (Xilinx), wykorzystywany w operacjach wymiany danych pomiędzy DSP i innymi układami przyrządu. Interfejs użytkownika (IU), zaprojektowany do sterowania i wyboru funkcji pomiarowych przyrządu, jest obsługiwany przez procesor ogólnego przeznaczenia GPP (ang. General Purpose Processor) LPC3250 (NXP). Procesor GPP steruje także indykacją wyników i ich rejestracją.



Rys. 1. Struktura sprzętowa przyrządu [5]

Na rysunku 2 pokazano główne operacje prowadzone w torze pomiarowym przyrządu, związane z przetwarzaniem danych pomiarowych. Różnią się szybkością próbkowania sygnałów z sieci elektroenergetycznej, jak również zestawem mierzonych wielkości i wskaźników wyznaczanych dla oceny jakości energii elektrycznej.

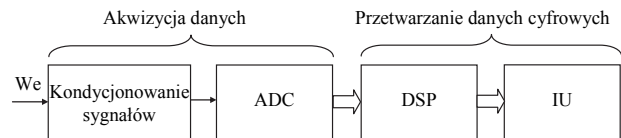


Rys. 2. Podstawowe operacje wykonywane w przyrządzie E/A

Algorytmy cyfrowego przetwarzania danych oparte są na wykorzystaniu przekształceń DWT, FFT, DFT oraz CZT, wykonywanych dla wyznaczenia wartości poszczególnych parametrów jakości energii elektrycznej [5]. Operacje te są realizowane w DSP (rys. 1).

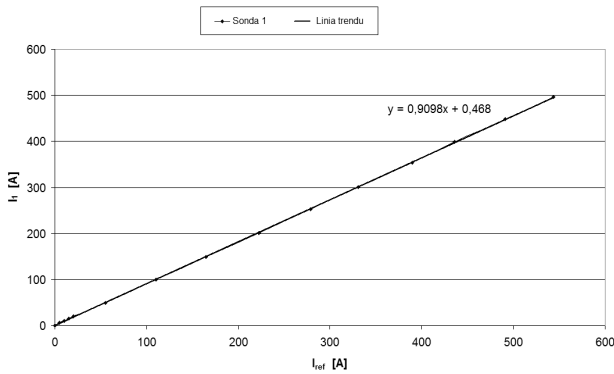
3. PROCEDURY OCENY CHARAKTERYSTYK TORÓW POMIAROWYCH PRZYRZĄDU E/A

Konfiguracja torów pomiarowych przyrządu E/A została przedstawiona w uproszczonej postaci na rysunku 3. Dwie główne części toru, akwizycji danych (AD) oraz przetwarzania danych cyfrowych (PDC), determinują dokładność wyników pomiarowych. Oceny charakterystyk metrologicznych przyrządu dokonano uwzględniając podział toru na te dwie części.



Rys. 3. Uproszczony schemat blokowy cyfrowego toru pomiarowego

Wzorcowanie części AD toru pomiarowego akwizycji danych jest stosunkowo łatwe do wykonania. Informacje pomiarowe w tej części toru są odwzorowane i przenoszone na wartościach chwilowych sygnałów analogowych. Wzorcowanie polega na wyznaczeniu rzeczywistych charakterystyk układów akwizycji. Począwszy od analogowych układów wejściowych, włączając dzielniki napięcia (dla trzech kanałów) i cewki Rogowskiego (dla sześciu kanałów), z uwzględnieniem przetworników ADC (rys. 1), została ona przeprowadzona w oparciu o wzorcowe źródła napięcia i prądu przemiennego. Na rysunku 4 pokazano przykładową charakterystykę, uzyskaną dla jednej z wykorzystywanych sond prądowych, wraz z wyznaczoną linią trendu. Ilustruje ona zależność prądu I_1 , wyznaczonego w pomiarach badaną sondą, od zadanego prądu wzorcowego I_{ref} . Równania linii trendu, uzyskane w procedurach wzorcowania części AD torów pomiarowych, są wykorzystywane w algorytmach oprogramowania (w części PDC toru pomiarowego) do skalowania odnośnych danych cyfrowych.



Rys. 4. Charakterystyka sondy prądowej nr 1 wraz z linią trendu

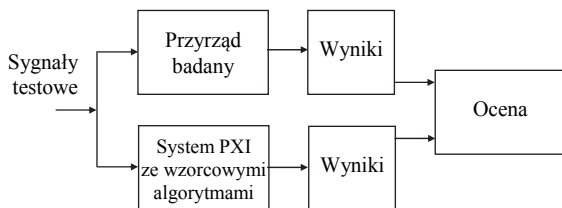
W części PDC (rys. 3) informacje pomiarowe przenoszone są w postaci ciągu liczb - danych cyfrowych, przetwarzanych sprzętowo (np. w układach FPGA) lub programowo (np. w oprogramowaniu DSP). W układach przetwarzania danych cyfrowych informacje pomiarowe zawarte są w sekwencji bitów, składających się na słowa cyfrowe, kodujących przenoszące je sygnały. W odniesieniu do części PDC w przyrządzie E/A, kalibracji podlegają programowe algorytmy przetwarzania danych.

Projektowanie i wstępna weryfikacja algorytmów programowych E/A odbywała się w systemie uruchomieniowym EVAL-TS201S-EZKIT Analog Devices [6], wyposażonym w dwa procesory TigerSHARC, identyczne jak w przyrządzie E/A. Ze względu na różne konfiguracje układów peryferyjnych procesorów DSP w systemie uruchomieniowym i w przyrządzie E/A, weryfikacja obejmowała tylko wybrane fragmenty algorytmów pomiarowych.

Przy założeniu właściwej kalibracji obwodów wejściowych (AD), dokładność wyznaczania poszczególnych wskaźników jakości energii zależy od poprawności programowych algorytmów zastosowanych podczas przetwarzania danych pomiarowych. Celem dalej omówionych doświadczeń jest badanie algorytmów pomiarowych, realizowanych w części PDC (rys. 3), wykonywanych w postaci oprogramowania wbudowanego DSP.

Dla oceny charakterystyk metrologicznych całego toru pomiarowego E/A badania przeprowadzono w warunkach laboratoryjnych, jak i w warunkach okrętowych, dla różnych sygnałów testowych.

Pierwszy rodzaj badań przeprowadzono w oparciu o metodę zilustrowaną na rysunku 5. Sygnały testowe podawane były równocześnie do wejść badanego przyrządu E/A oraz systemu referencyjnego, opartego na platformie pomiarowej PXI National Instruments.

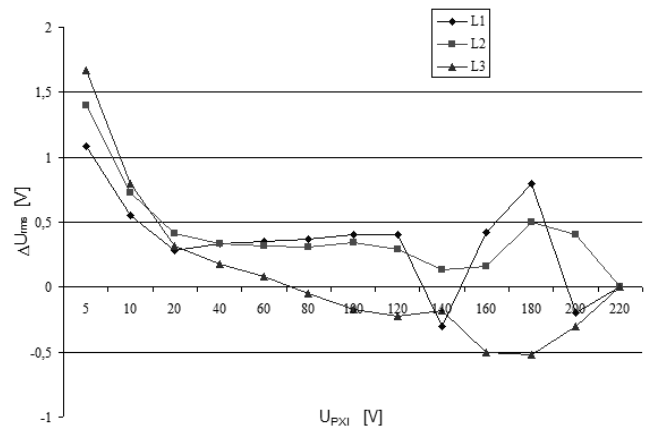


Rys. 5. Idea weryfikacji algorytmów pomiarowych E/A z wykorzystaniem PXI jako systemu odniesienia

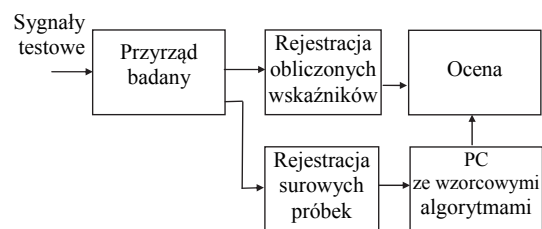
Na rysunku 6 pokazano przykładowe wyniki badań kanałów do pomiaru napięć fazowych. Dla poszczególnych napięć, zawiera on różnice ΔU_{rms} pomiędzy wynikami pomiaru ich wartości skutecznych, uzyskanymi z wykorzystaniem badanego E/A oraz PXI, w funkcji wskazań PXI.

Druga metoda weryfikacji charakterystyk metrologicznych przyrządu E/A polegała na wykorzystaniu do ich oceny zarejestrowanych, surowych próbek sygnałów z sieci elektroenergetycznej. Sposób realizacji badań przedstawiony jest na rysunku 7. W pierwszym etapie, dla stacjonarnych sygnałów testowych, rejestrowano cyfrowe reprezentacje próbek tych sygnałów. W drugim etapie, dla tych samych sygnałów testowych, po zmianie opcji pracy urządzenia E/A (rys. 2), odpowiednio do wybranej funkcji pomiarowej, rejestrowane były odnośne wskaźniki, wyznaczone bezpośrednio w przyrządzie E/A.

W układzie jak na rysunku 7 zarejestrowane surowe próbki przetwarzano w komputerze PC, z wykorzystaniem oprogramowania sprawdzonego innymi metodami (algorytmy wzorcowe), i wyznaczano wskaźniki jakości energii. Obliczone wskaźniki porównywano ze wskaźnikami wyznaczonymi za pośrednictwem badanego E/A.



Rys. 6. Wyniki badania torów napięciowych przyrządu E/A z wykorzystaniem systemu referencyjnego PXI



Rys. 7. Idea weryfikacji algorytmów pomiarowych E/A z wykorzystaniem niezależnie rejestrowanych próbek oraz systemu odniesienia opartego na PC

Tablica 1 zawiera wartości przykładowych wskaźników, wyznaczonych w trakcie pomiarów 3-fazowego sygnału trójkątnego, wytwarzanego z wykorzystaniem generatora programowalnego Chroma 6590 (sygnał DST17 ze standardowej biblioteki przebiegów). Zestawiono w niej wyniki uzyskane z E/A z wynikami otrzymanymi w efekcie przetwarzania surowych próbek w systemie referencyjnym opartym na PC.

Tablica 1. Przykładowe wyniki pomiarów uzyskane w E/A oraz w PC

			L1	L2	L3
E/A	U_{rms}	[V]	220,75	220,56	219,70
	U_1	[V]	219,13	218,93	218,10
	THD	[%]	12,00	10,24	11,97
PC	U_{rms}	[V]	220,80	220,20	220,24
	U_1	[V]	219,23	219,05	218,68
	THD	[%]	12,18	12,23	12,14

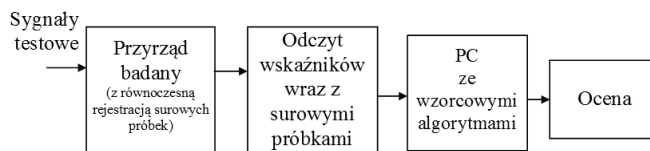
Podsumowując, obydwie zastosowane metody badania i oceny charakterystyk torów pomiarowych dostarczają miarodajnych informacji o właściwościach metrologicznych badanych torów. Wyniki doświadczalnej weryfikacji algorytmów pomiarowych są pozytywne, przy określonym poziomie ich dokładności. Jednakże, na podstawie uzyskanych wyników nie można wyciągnąć wniosków odnośnie kierunków ewentualnej modyfikacji algorytmów pomiarowych dla poprawy dokładności przyrządu.

Co jest przyczyną przypadku opisanego w [2] i w jakim zakresie ten przypadek można odnieść do właściwości przyrządu E/A? W odniesieniu do obydwu wyżej omówionych metod badania algorytmów pomiarowych E/A wydaje się, że istota problemu polega na tym, że badany przyrząd E/A oraz system referencyjny wykorzystują różne zbiory danych pomiarowych, podobnie jak poszczególne przyrządy w przypadku opisanym w [2]. Wskaźniki jakości energii obliczane są w cyklach pomiarowych, na podstawie próbek sygnałów z sieci elektroenergetycznej, zebranych w oknach czasowych ok. 200 ms [1,3,4,5]. Zestawy danych źródłowych, przetwarzanych w badanym przyrządzie i w przyrządzie referencyjnym, mogą się różnić, podobnie jak dane źródłowe przyrządów opisanych w [2]. Niewielkie odchyłki charakterystyk przetwarzania od charakterystyk idealnych dla poszczególnych przyrządów mogą powodować w określonych warunkach pomiarowych duże różnice ich wskazań w odniesieniu do wskazań innych przyrządów.

Niedoskonałość algorytmów pomiarowych jest często wynikiem stosowanych zaokrągleń, uproszczeń i przybliżeń stosowanych w oprogramowaniu przyrządu, a ich optymalizacja może przyczynić się do poprawy jego właściwości metrologicznych. Wskazane jest zastosowanie metody oceny tych algorytmów uwzględniającej różne warunki pomiarowe, a jednocześnie opartej na wykorzystaniu jednoznacznych danych wejściowych.

4. WALIDACJA ALGORYTMÓW POMIAROWYCH

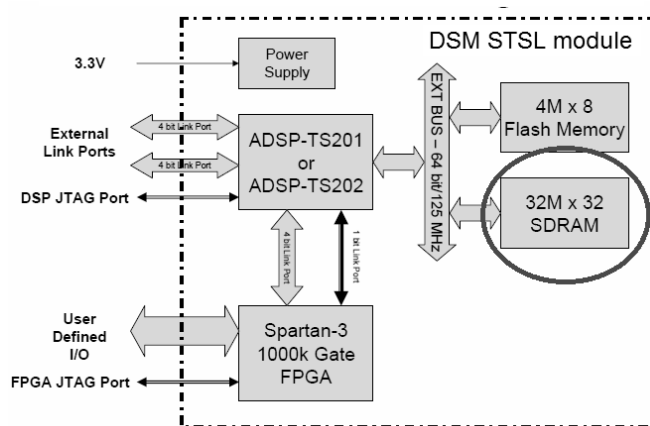
Idea oceny programowych części algorytmów pomiarowych, stosowanych w przyrządzie E/A opiera się na założeniu, że zbiór danych cyfrowych wykorzystywanych w DSP badanego urządzenia do obliczania wskaźników jakości energii jest taki sam, jak wykorzystywany w systemie referencyjnym, opartym na PC. To założenie jest spełnione, jeśli dane pomiarowe przetwarzane w DSP są rejestrowane w przyrządzie E/A wraz z wyznaczonymi na ich podstawie wskaźnikami i wykorzystywane w układzie referencyjnym, po dodatkowym przetworzeniu z wykorzystaniem sprawdzonych algorytmów, do oceny prawidłowości obliczeń prowadzonych w DSP (rys. 8).



Rys. 8. Idea weryfikacji algorytmów programowych realizowanych w E/A z wykorzystaniem surowych próbek zarejestrowanych wraz z wyznaczonymi na ich podstawie wskaźnikami, a także systemu referencyjnego opartego na PC

Na rysunku 9 pokazano zasoby modułu DSM STSL zastosowanego w przyrządzie E/A (rys.1). Obok procesora DSP oraz układu FPGA moduł ten zawiera pamięć SDRAM (ang. Synchronous Dynamic Random Access Memory) o pojemności 128 MB. Pamięć ta nie była wykorzystywana w operacjach realizowanych w przyrządzie, ponieważ pojemność pamięci wewnętrznej DSP (24 Mb) jest wystarczająca dla realizacji algorytmów obliczania wartości wskaźników oceny jakości energii elektrycznej.

Proponowana metoda walidacji części programowej algorytmów pomiarowych zakłada wykorzystanie SDRAM w module DSM STSL (na rys. 9 - oznaczony elipsą) do przechowywania zestawu danych z ADC, złożonego tylko z danych wykorzystywanych w algorytmach realizowanych w DSP do obliczania wskaźników jakości energii w wybranych cyklach pomiarowych wraz z wartościami obliczonych w DSP wskaźników. Pojemność pamięci SDRAM umożliwia zgromadzenie danych z wielu cykli pomiarowych DSP. W każdym z tych cykli odbywa się przetwarzanie danych pozyskanych z próbek sygnałów z sieci elektroenergetycznej w oknach czasowych obejmujących 10 okresów sygnałów o częstotliwości ok. 50 Hz. Przykładowo, dla opcji "estymator" (rys. 2) dla rejestracji danych zebranych na podstawie próbek z trzech kanałów napięciowych w jednym cyklu obliczeniowym, wraz ze wskaźnikami wyznaczonymi w DSP, wymagany jest obszar pamięci nie większy niż 256 kB. Po przesłaniu danych zgromadzonych w SDRAM, w systemie referencyjnym możliwa jest ocena rzeczywistych charakterystyk przetwarzania danych w algorytmach DSP.



Rys. 9. Schemat blokowy modułu DSM SSL [7]

Przeprowadzenie badań charakterystyk cyfrowych części torów pomiarowych przyrządu E/A według proponowanej metody nie wymaga żadnych zmian układowych, niezbędne są jedynie nowe procedury programowe umożliwiające zapis danych do SDRAM i ich transmisję do systemu referencyjnego.

Wyniki pomiarów, w tym realizowanych z wykorzystaniem przyrządów tego samego typu, przedstawione w [2] wskazują, że standardowe metody weryfikacji ich złożonych algorytmów pomiarowych, realizowanych programowo, umożliwiają taką ocenę w ograniczonym zakresie. Opracowanie nowych metod oceny właściwości metrologicznych przyrządów z wbudowanymi algorytmami cyfrowego przetwarzania danych może przyczynić się do zwiększenia dokładności uzyskiwanych wyników pomiarowych.

5. WNIOSKI KOŃCOWE

W artykule omówiono wybrane metody weryfikacji algorytmów pomiarowych, realizowanych w oprogramowaniu procesora DSP w przyrządzie E/A do wyznaczania *online* wskaźników oceny jakości energii elektrycznej. Stosowanie tych metod wiąże się z pewnymi ograniczeniami, związanymi z niejednoznacznością zestawu danych testowych. Dane przetwarzane w badanym przyrządzie mogą się różnić od danych przetwarzanych w systemie referencyjnym.

Przedstawiono propozycję dodatkowej metody oceny algorytmów programowych, jak również sposób jej zastosowania z wykorzystaniem dostępnych zasobów układowych w module z procesorem DSP w przyrządzie E/A. Zastosowanie proponowanej metody pozwala na ocenę wyników pomiarowych uzyskanych za pośrednictwem badanego przyrządu, zwłaszcza jego oprogramowania, na podstawie tego samego zestawu źródłowych danych cyfrowych, wykorzystywanych w badanym przyrządzie i przekazywanych do zewnętrznego systemu komputerowego, gdzie możliwa jest ich analiza statyczna (*offline*). Jest to szczególnie istotne w ocenie oprogramowania DSP, działającego w czasie rzeczywistym. Możliwość prowadzenia takich analiz nie daje zastosowanie oceny metrologicznej sprawdzanego przyrządu, polegającej na porównaniu wyników pomiarów uzyskanych w przyrządzie sprawdzanym i w przyrządzie wzorcowym (kontrolnym). Brak jest na tej podstawie możliwości

śledzenia i oceny operacji realizowanych w algorytmach cyfrowego przetwarzania danych w badanym przyrządzie.

Zastosowanie proponowanej metody weryfikacji algorytmów pomiarowych nie rozwiązuje wszystkich problemów wpływających na ograniczoną dokładność wyników pomiarowych, ale pozwala na ocenę w trybie *offline* sposobu przetwarzania danych w oprogramowaniu wbudowanym DSP i identyfikację błędów w algorytmach programowych, powodujących pogorszenie dokładności przyrządu.

Badania są w trakcie realizacji, a ich wyniki zostaną przedstawione w przyszłości.

6. BIBLIOGRAFIA

1. Mindykowski J., Ocena jakości energii elektrycznej w systemach okrętowych z układami przekształtnikowymi, Wydawnictwo Okrętownictwo i Żegluga, Gdańsk 2001.
2. Bień A. i in., Voltage fluctuation measurement – experiment in the industrial environment, Electrical Power Quality and Utilisation, EPQU, Vol. 7/2, s. 9-18, 2001.
3. Masnicki R., The Fluency of Data Flow in the Instrument for Measurement and Registration of Parameters of the Electrical Power Network, Proceedings of 15 IEEE International Conference on Environment and Electrical Engineering, s. 2040-2044, Rome, 2015.
4. Masnicki R., Mindykowski J., The synchronization of processes in registration track of data from electrical power system, Proceedings of XXI IMEKO World Congress, s. 649-652, Prague, 2015.
5. Mindykowski J., Tarasiuk T., Maśnicki R., Szweđa M., Górniak M., Uniwersalny estymator/analizator jakości energii elektrycznej - Część II – Projekt i realizacja techniczna, Zeszyty Naukowe Akademii Morskiej w Gdyni, Nr 66, s. 21-36, Gdynia, 2010.
6. Analog Devices, System uruchomieniowy EVAL-TS201S-EZKIT, ADSP_TS201S_EZ_KIT_Lite_Manual_Rev_3.1.pdf, <http://analog.com>.
7. Kaztek Systems, DSM_STSL_Info.pdf, Dokumentacja techniczna, <http://www.kaztek.com>.

ASSESSMENT OF THE MEASUREMENT ALGORITHMS IN INSTRUMENT FOR ESTIMATION OF THE ELECTRICAL POWER QUALITY

A lot of instruments for assessment of the electrical power quality have been developed. Each instrument supplier guarantees that the product meets the applicable standards, and the uncertainty of the results of measurements does not exceed the assumed levels. The accuracy of the measurement results depends on, among others, the quality of calibration of the measurement channels as well as the accuracy of measuring algorithms built into the software of the instrument. The paper presents the basic properties of the instrument "estimator/analyzer", as well as the methods applied in calibration of the input circuits of measurement track and verification of the measurement algorithms. In addition to previously used methods of verification of the measurement algorithms the proposal of another method of measurement algorithms verification is discussed. Application of the proposed assessment method of measuring algorithms can not solve all the problems that affect the limited accuracy of the measurement results, but it allows the off-line assessment of data processing in DSP algorithms and identification the mistakes which decrease the accuracy of the instrument.

Keywords: estimation of electrical power quality, calibration of measurement channel, assessment of the measurement algorithms.

