

UNIWERSALNY ANALIZATOR-ESTYMATOR JAKOŚCI ENERGII ELEKTRYCZNEJ CZĘŚĆ I. GENEZA I KONCEPCJA NOWEGO URZĄDZENIA

W artykule podzielonym na dwie części przedstawiono nowy uniwersalny analizator-estymator jakości energii elektrycznej, opracowywany w ramach grantu rozwojowego R0102703 w Katedrze Elektroenergetyki Okrętowej Akademii Morskiej w Gdyni. W pierwszej części omówiono genezę i koncepcję nowego urządzenia, w drugiej części pokazano jego projekt i realizację techniczną. W niniejszej pracy krótko nawiązano do dwóch tendencji związanych z konstrukcją analizatorów jakości energii elektrycznej: pierwszej, opartej na wykorzystaniu komputera PC z kartą pomiarową, oraz drugiej, obecnie dominującej, dotyczącej urządzeń dedykowanych opartych na technologii procesorów sygnałowych, w tym układów programowalnych FPGA. Następnie dokonano krótkiego przeglądu dotychczasowych rozwiązań przyrządów do oceny jakości energii elektrycznych, opracowanych w KEO AM w Gdyni, wskazując na specyfikę aplikacji i wymagań obowiązujących w systemach okrętowych. W tym kontekście przedstawiono metody pomiaru parametrów jakości energii elektrycznej w rozważanych systemach, podkreślając różnice między metodami opisanymi w odnośnych normach IEC dla sieci lądowych a rzeczywistymi, odmiennymi warunkami istniejącymi w sieciach okrętowych. Konsekwencją pokazanych różnic jest podjęta próba opracowania nowego, uniwersalnego analizatora jakości energii elektrycznej, o opisywanych cechach konstrukcyjnych i właściwościach metrologicznych.

WPROWADZENIE

Prezentowany w niniejszym artykule analizator-estymator jakości energii elektrycznej powstał w wyniku wieloletnich badań dotyczących problematyki oceny jakości elektrycznej w okrętowych systemach elektroenergetycznych prowadzonych w Katedrze Elektroenergetyki Okrętowej (KEO) Akademii Morskiej w Gdyni. Prace prowadzone od połowy lat 90. XX w. dotyczyły trzech obszarów: opracowania odpowiedniego zestawu wskaźników jakości energii elektrycznej odnośnego zbioru parametrów referencyjnych, opracowania metod pomiaru właściwych dla danego zestawu wskaźników oraz opracowania stosownych algorytmów i ich implementacji w oryginalnym, autorskim instrumentarium pomiarowym. Gwoli ścisłości należy dodać, że dwa pierwsze z wymienionych zagadnień dotyczą opracowania bądź odpowiedniego doboru wymienionych wskaźników lub metody, z wykorzystaniem aktualnego stanu wiedzy i istniejących dokumentów normalizacyjnych dotyczących jakości energii elektrycznej. Natomiast trzeci z wymienionych obszarów, tj. algorytmizacja procesu oceny jakości energii elektrycznej i jej praktyczne zastososo-

wanie w konstruowanych urządzeniach do oceny jakości energii elektrycznej, jest wiodącym nurtem badań uprawianych w KEO, mającym istotne odniesienia do stanu wiedzy nie tylko w wymiarze krajowym, ale również międzynarodowym.

Dokonując retrospekcji rozwiązań instrumentarium pomiarowego do oceny jakości energii elektrycznej, warto odnotować, że pierwsze analizatory jakości energii elektrycznej oparte na technice mikroprocesorowej powstały już w latach 80. ubiegłego wieku [12]. Obecnie rozważane są dwa rozwiązania odnośnych przyrządów: pierwsze z nich opiera się na wykorzystaniu komputera PC z kartą pomiarową [1, 2, 4, 14], drugie zaś to dedykowane, specjalizowane urządzenia [3, 4, 7, 15], zwykle oparte na technologii procesorów sygnałowych, coraz częściej wykorzystujące układy programowalne FPGA. Zaletą pierwszej grupy rozwiązań jest łatwość modyfikacji algorytmów i możliwości rejestracji dużej liczby danych w trakcie monitoringu on-line (w czasie rzeczywistym), podczas gdy drugie z proponowanych rozwiązań wykorzystuje dużą moc obliczeniową procesorów sygnałowych i stwarza możliwość miniaturyzacji urządzenia, a tym samym zmniejszenia poboru energii elektrycznej. W pracach Katedry Elektroenergetyki Okrętowej nad rozwojem instrumentarium pomiarowego do oceny jakości energii elektrycznej konstruowano i weryfikowano na drodze eksperymentalnej układy należące zarówno do pierwszej, jak i do drugiej grupy rozwiązań.

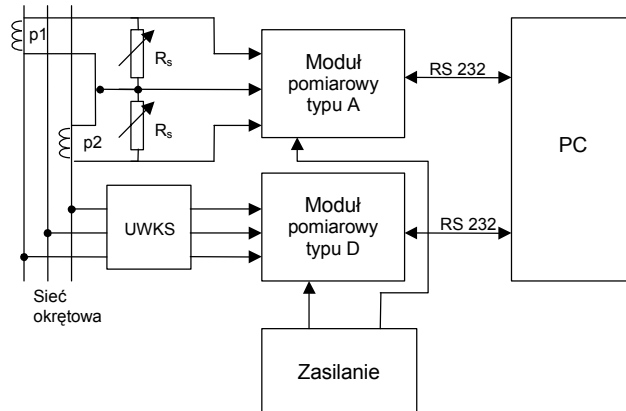
1. KRÓTKI PRZEGLĄD DOTYCHCZASOWYCH ROZWIĄZAŃ PRZYRZĄDÓW DO OCENY JAKOŚCI ENERGII ELEKTRYCZNEJ OPRACOWANYCH W KEO AM W GDYNI

Większość metod, algorytmów i układów do oceny jakości energii elektrycznej została opracowana w KEO AM w Gdyni w ramach projektów badawczych realizowanych pod auspicjami KBN lub MNiSzW w latach 1998–2010.

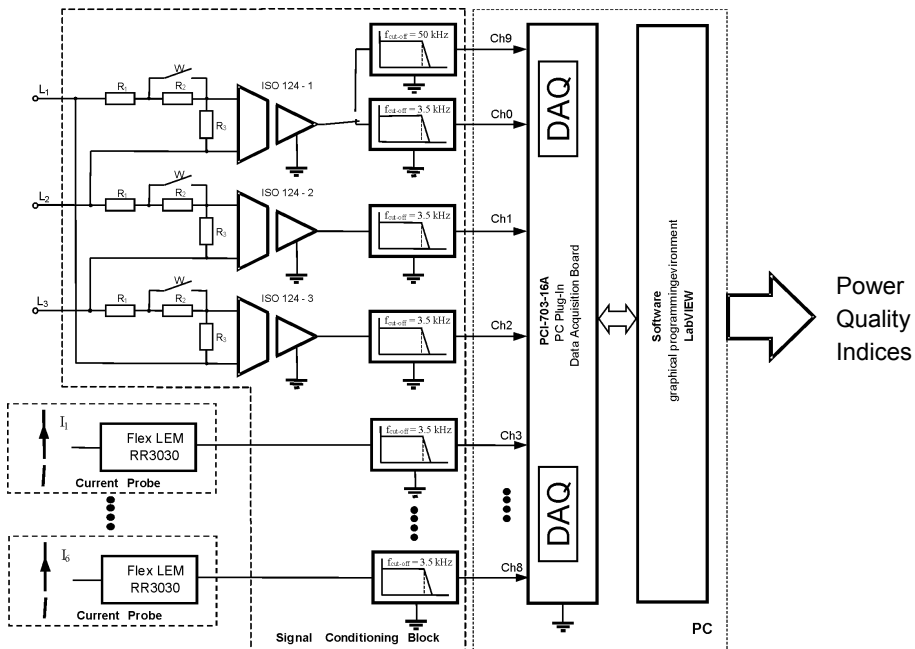
Projekt badawczy KBN nr 8T10A 02015 (1998–2001) pt. *Opracowanie metodyki i instrumentarium pomiarowego do badań i oceny jakości energii elektrycznej* zaowocował opracowaniem podstaw metodyki wyznaczania wskaźników jakości energii elektrycznej oraz skonstruowaniem przenośnego układu mikroprocesorowego (rys. 1) do realizacji tego zadania [16]. Dla pełnej wersji układu pomiarowego przewidziano cztery moduły: A – analizy napięć, B – rozdziału mocy, C – analizy zakłóceń przejściowych i D – analizy prądów dużych i ważnych odbiorów. Realizację techniczną modułów pomiarowych oparto na układzie mikroprocesorowym typu ADSP 21061.

W kolejnych projektach badawczych: KBN nr 4T10 05124 (2003–2006) pt. *Ocena wpływu zanizowanej jakości energii elektrycznej na funkcjonowanie wybranych urządzeń w okrętowych systemach elektroenergetycznych* oraz KBN nr 3T10C 02027 pt. *Opracowanie nowej metodyki i instrumentarium pomiarowego do szybkiej oceny jakości energii elektrycznej* wykorzystano przenośny układ mikroprocesorowy do wyznaczania wskaźników jakości energii elektrycznej, oparty na karcie

DAQ i PC (rys. 2) [9]. W pierwszym z wymienionych projektów m.in. opracowano koncepcję i zweryfikowano doświadczalnie nowy, temperaturowy wskaźnik jakości energii elektrycznej $C_{pq} = \varphi(f, U_+, U_-, U_h, f_h)$ [5, 6], będący funkcją częstotliwości napięcia zasilającego, jego asymetrii i zawartości harmonicznych z uwzględnieniem ich częstotliwości.

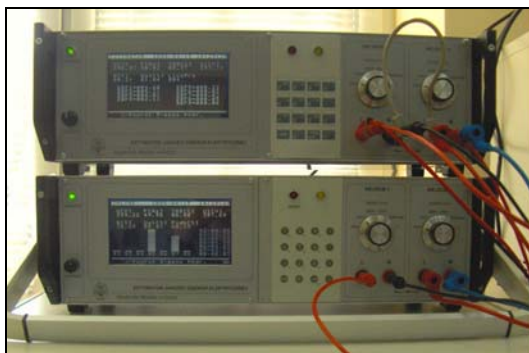


Rys. 1. Uproszczony model układu pomiarowo-diagnostycznego okrętowego systemu elektroenergetycznego; p1, p2 – laboratoryjne przekładniki prądowe, UWKS – układ wstępnego kondycjonowania sygnałów, A – moduł pomiarowy do analizy napięć, D – moduł pomiarowy do analizy prądów dużych i ważnych odbiorów [16]



Rys. 2. Schemat przenośnego układu mikroprocesorowego do wyznaczania wskaźników jakości energii elektrycznej, oparty na wykorzystaniu karty DAQ i PC [9]

W drugim z wyżej wymienionych projektów, w jego końcowej fazie, opracowano, wykonano i zweryfikowano nowy analizator-estymator do szybkiej oceny jakości energii elektrycznej oparty na wykorzystaniu oryginalnej, hybrydowej, falkowo-Fourierowskiej metody przetwarzania sygnałów [17, 20]. Układ zrealizowany na podstawie procesora sygnałowego typu ADSP 21 364 oraz procesora ogólnego przeznaczenia typu XC 161 jest urządzeniem dedykowanym analizie i ocenie jakości

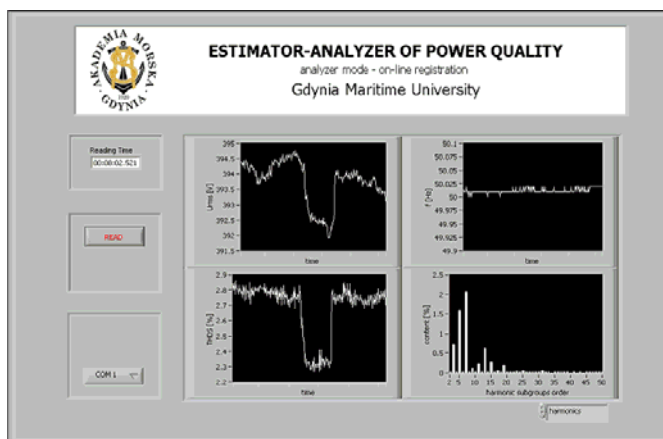


Rys. 3. Estymatory-analizatory jakości energii elektrycznej na stanowisku pomiarowym [18]

napięcia w systemach elektroenergetycznych, zwłaszcza okrętowych, a dodatkowo umożliwi wyznaczenie temperaturowego wskaźnika jakości energii elektrycznej oraz wykrywanie i ocenę zaburzeń impulsowych [18]. Na rysunku 3 pokazano dwie sztuki omawianego urządzenia zainstalowane na stanowisku pomiarowym: górne urządzenie jest w trybie pracy „estymator”, a dolne w trybie pracy „analizator” [18].

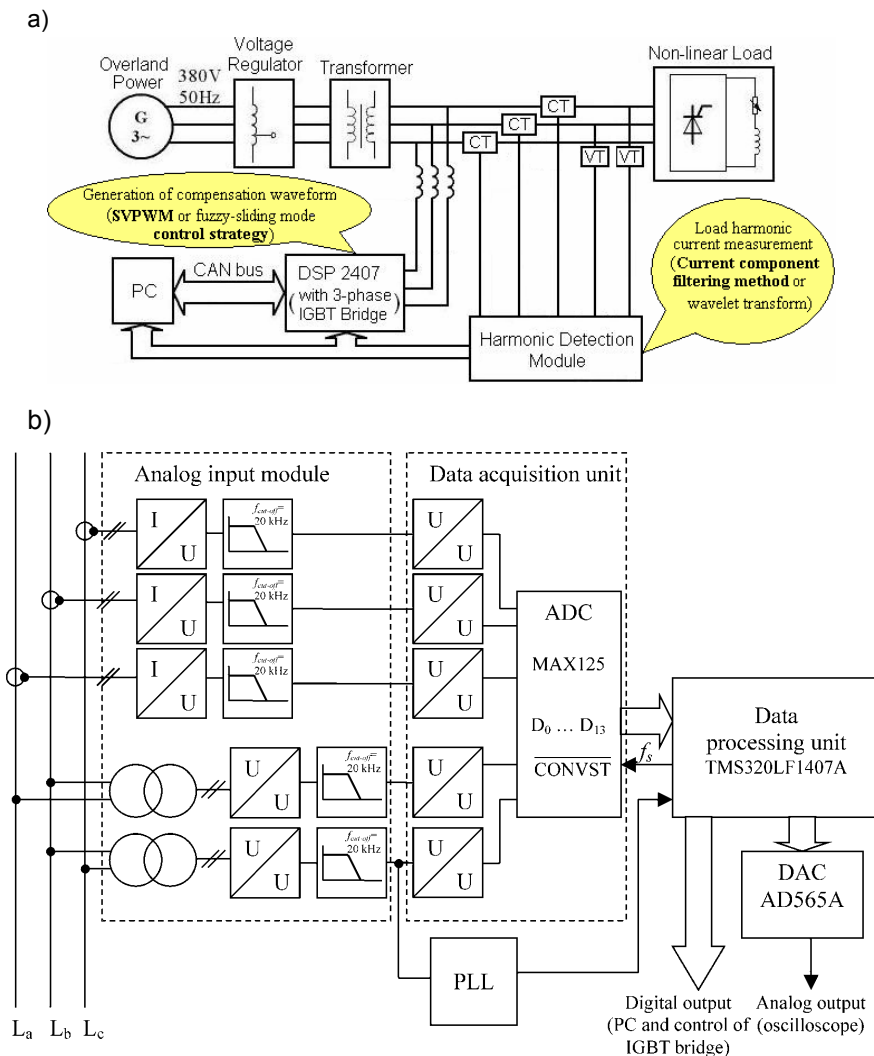
Zasadniczą różnicę między trybami pracy „analizator” i „estymator” można sformułować następująco [18]:

- w trybie pracy „analizator” (rys. 4) wyznaczane są wszystkie wymagane parametry jakości energii elektrycznej, według stałego algorytmu przetwarzania sygnału,
- w trybie „estymator” wykrywane i wyznaczane są tylko te wskaźniki, których bieżące wartości przekraczają wcześniej określone wartości graniczne; w trybie tym wykorzystuje się wieloetapowe przetwarzanie sygnału i zmienne algorytmy przetwarzania.



Rys. 4. Przykład rejestracji on-line parametrów jakości energii w sieci lądowej [18]

Warto dodać, że niemal równoległe z projektem KBN nr 3T10C 02027 realizowano projekt międzynarodowy Poland-China Joint Research Project pt. *Measurement and Assessment of Electrical Quality in Ship Networks*, w którego ramach pozytywnie sfinalizowano rozprawę doktorską mgr. inż. Xu Xiaoyan *Measurement and Control of Ship Electrical Power System for Saving Energy Consumption and Improving Reliability*. W ramach realizacji rozprawy m.in. opracowano model fizyczny systemu pomiarowo-sterującego z równoległym filtrem aktywnym do zastosowań okrętowych (rys. 5a), którego „sercem” jest system pomiarowy parametrów jakości energii elektrycznej (rys. 5b), wykorzystany jako moduł detekcji harmonicznych [22].



Rys. 5. Model fizyczny systemu pomiarowo-sterującego z równoległym filtrem aktywnym do zastosowań okrętowych: a) schemat blokowy, b) system pomiarowy parametrów jakości energii elektrycznej (*Harmonic Detection Module*) [22]

Doświadczenia uzyskane podczas realizacji wcześniej opisanych grantów, skonfrontowane z analizą oferty naukowej w obszarze analizatorów jakości energii elektrycznej, stały się kanwą do przedłożenia projektu badawczego rozwojowego MNiSzW nr R0102703 pt. *Uniwersalne analizatory-estymatory jakości energii elektrycznej, w szczególności do zastosowań w izolowanych systemach elektroenergetycznych*. W projekcie tym zaproponowano nowy rodzaj oryginalnego urządzenia pomiarowego, możliwego do zastosowania w dowolnym typie sieci elektroenergetycznej i analizującego szersze spektrum mierzonych parametrów niż w rozwiązaniach dotychczasowych [10].

2. METODY POMIARU PARAMETRÓW JAKOŚCI ENERGII ELEKTRYCZNEJ W OKRĘTOWYCH SYSTEMACH ELEKTROENERGETYCZNYCH

Analiza oferty rynkowej wykonana przez autorów projektu badawczego rozwojowego nr R0102703 potwierdziła fakt stosowania przez światowych producentów aparatury pomiarowej metod pomiaru parametrów jakości energii elektrycznej opartych na zaleceniach norm IEC. Krytyczna analiza stosowalności metod pomiarowych opisanych w normach IEC prowadzi do konkluzji, że co najmniej w dwóch przypadkach metody te nie powinny być wykorzystywane do analizy sygnałów w sieciach okrętowych [8].

Pierwszy przypadek dotyczy metody pomiaru częstotliwości, która zakłada pomiar liczby okresów w czasie 10 s, podczas gdy odpowiednie przepisy dla systemów okrętowych przewidują konieczność oceny przejściowych odchyień częstotliwości o dopuszczalnym czasie trwania do 5 s. Z tego powodu wskazane jest w tym przypadku stosowanie krótszych czasów pomiaru liczby okresów, odpowiadających czasem trwania okien pomiarowych wykorzystywanych przy pomiarze wartości skutecznej analizowanych sygnałów.

Drugim przypadkiem wymagającym odrzucenia rozwiązań stosowanych w odnośnej normie IEC jest metoda pomiaru zawartości harmoniczných i interharmoniczných. Zgodnie z dotychczasową praktyką do pomiaru tego rodzaju zaburzeń wykorzystywany jest algorytm transformaty Fouriera DFT, przy czym powszechnie stosuje się algorytm szybkiego przekształcenia FFT. Ponadto zaleca się stosowanie prostokątnego okna pomiarowego o czasie trwania 10/12 okresów sygnału badanego i konieczność synchronizacji częstotliwości próbkowania z częstotliwością sygnału badanego. W przypadku utraty synchronizacji dopuszczalne jest zastosowanie okna Hanninga. Dla zminimalizowania wpływu fluktuacji parametrów sygnału wejściowego we wspomnianej normie [13] wprowadzono koncepcję podgrup harmoniczných, obliczanych dla danych prążków harmoniczných i odpowiednich dwóch prążków bezpośrednio przylegających zgodnie z zależnością:

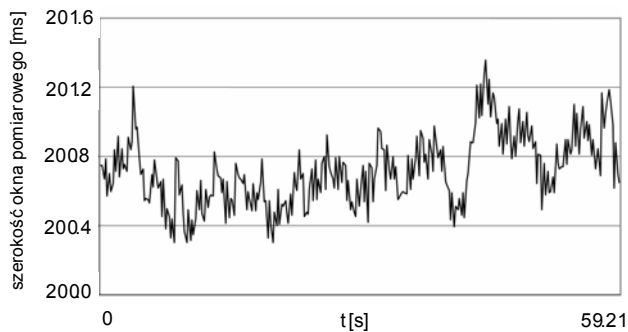
$$G_{h-200-ms}^2 = \sum_{x=-1}^1 C_{10/12\ h+x}^2, \quad (1)$$

gdzie:

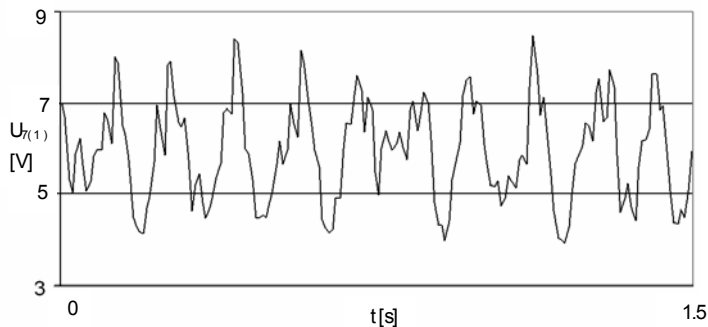
- C – obliczona wartość odpowiedniego prążka częstotliwości ($C_{10/12h}$ odpowiada harmonicznej h -tego rzędu),
- G – wartość podgrupy harmonicznej h -tego rzędu,
- 200 – ms – indeks odnoszący się do okna pomiarowego o szerokości 200 ms.

W ramach prac prowadzonych w Katedrze Elektroenergetyki Okrętowej przeprowadzono szczegółowe analizy wybranych przypadków zarejestrowanych w okrętowych systemach elektroenergetycznych z wykorzystaniem różnych metod przetwarzania sygnałów, w szczególności metod zalecanych przez wyżej wspomniane normy IEC. W wyniku przeprowadzonych analiz (rys. 6) stwierdzono, że typowa dla rozważanych systemów zmienność częstotliwości praktycznie uniemożliwia poprawną synchronizację częstotliwości próbkowania z częstotliwością sygnału wejściowego.

a)



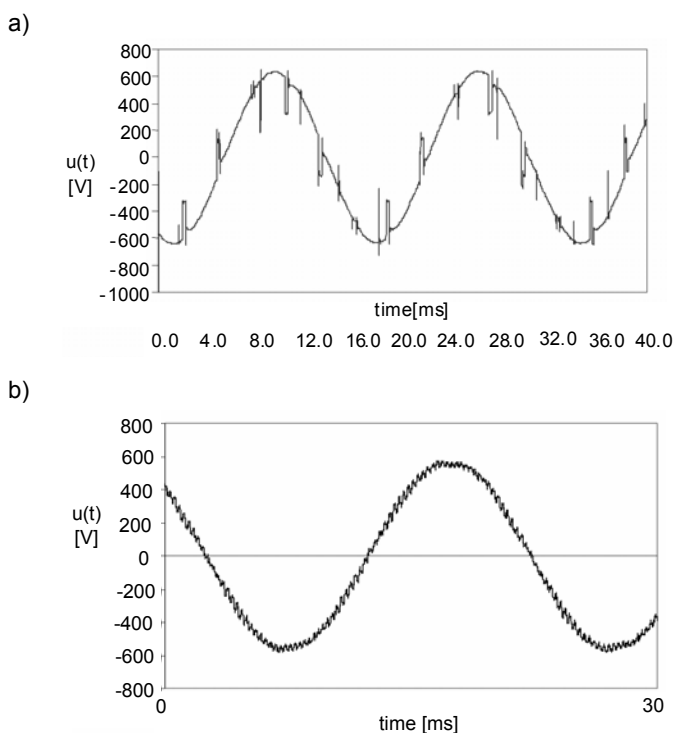
b)



Rys. 6. Przykładowe wyniki analiz parametrów napięcia zasilającego zarejestrowanego w rzeczywistym okrętowym systemie elektroenergetycznym: a) zmiany szerokości podstawowego okna pomiarowego, b) fluktuacje wartości siódmej harmonicznej [19]

Wyżej opisany problem synchronizacji częstotliwości próbkowania z częstotliwością sygnału wejściowego nabiera szczególnego znaczenia w kontekście równoczesnego występowania niemal wszystkich typów zaburzeń w elektroenerge-

tycznych sieciach okrętowych, w tym również zaburzeń impulsowych typu *transient* i *notching* oraz zaburzeń ciągłych w paśmie częstotliwości przekraczającym zwyczajowo objęte normą pasmo do 50. harmonicznej, a nawet 9 kHz.



Rys. 7. Wybrane przykłady zaburzeń wysokiej częstotliwości (powyżej 50. harmonicznej) zarejestrowanej w okrętowych systemach elektroenergetycznych: a) zaburzenia typu *notching* [21], b) zaburzenia wysokiej częstotliwości [11]

Do poprawnej oceny jakości energii elektrycznej dla przypadków pokazanych na rysunku 7 wymagana jest relatywnie wysoka częstotliwość próbkowania. Jeżeli tego rodzaju zaburzenia mają być analizowane jednocześnie z zaburzeniami w paśmie niskich częstotliwości, tj. do 9 kHz, konieczne jest wprowadzenie dwóch częstotliwości próbkowania lub zastosowanie filtracji cyfrowej [8]. W pierwszym przypadku oznaczałoby to konieczność wprowadzenia dwóch przetworników ADC o różnych częstotliwościach próbkowania. W drugim przypadku sygnał wejściowy próbkowany byłby z relatywnie wysoką częstotliwością próbkowania, konieczną do pomiaru parametrów zaburzeń impulsowych. W dalszej kolejności, przed wyznaczeniem parametrów zaburzeń niskiej częstotliwości, realizowana byłaby filtracja cyfrowa i decymacja próbek sygnału, w celu ograniczenia złożoności obliczeniowej, zwłaszcza algorytmu wyznaczania harmonicznych i interharmonicznych sygnału. W Katedrze Elektroenergetyki Okrętowej Akademii Morskiej w Gdyni opracowano oryginalną, hybrydową, falkowo-Fourierowską metodę przetwarzania

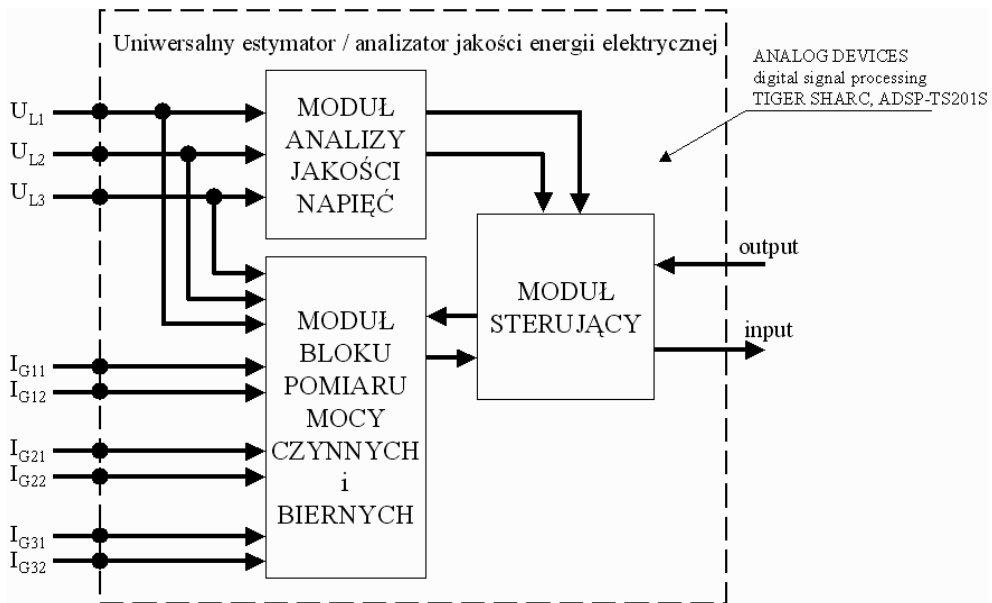
sygnałów [16, 17]. Metoda ta polega na zastąpieniu próbek sygnału współczynnikami falkowymi ze stosownego etapu dekompozycji przy obliczaniu składowych w paśmie niskiej częstotliwości do 9 kHz. Dzięki takiemu rozwiązaniu znacząco skrócono czas obliczeń oraz zmniejszono zapotrzebowanie na pamięć RAM procesora o bardzo krótkim czasie dostępu.

3. NOWY, UNIWERSALNY ANALIZATOR JAKOŚCI ENERGII ELEKTRYCZNEJ

Przeprowadzone przez zespół pod kierunkiem autora badania potwierdziły konieczność opracowania dedykowanych urządzeń do pomiaru parametrów i oceny jakości energii elektrycznej w okrętowych systemach elektroenergetycznych i innych systemach o podobnych właściwościach. W ramach prac naukowo-badawczych prowadzonych w Katedrze Elektroenergetyki Okrętowej opracowano i wykonano prototyp analizatora-estymatora jakości energii elektrycznej, którego kluczowym modułem jest blok analizy jakości napięcia. W wykonanym urządzeniu opartym na wykorzystaniu wcześniej wspomnianej, oryginalnej metody przetwarzania sygnałów, oprócz porównania wartości bieżących parametrów jakości energii elektrycznej z wartościami referencyjnymi (określonymi stosownymi przepisami lub przez użytkownika), wyznaczany jest tzw. temperaturowy wskaźnik jakości energii elektrycznej. Wskaźnik ten umożliwia zgrubną ocenę wpływu zaniżonej jakości energii elektrycznej na dodatkowy przyrost temperatury uzwojeń silników elektrycznych (typowy odbiornik energii elektrycznej w systemach okrętowych), w warunkach występowania wielu zaburzeń jednocześnie.

Dalsze prace nad instrumentarium do badań jakości energii elektrycznej dotyczą rozbudowy funkcji rozważanego analizatora-estymatora, istotnego zwiększenia uniwersalności jego zastosowań oraz wykonania i wdrożenia wersji komercyjnej urządzenia. Rozbudowa funkcji dotyczy wprowadzenia bloku pomiaru i rozdziału mocy czynnych i biernych między równolegle pracujące zespoły prądowórcze, a także pomiaru i kontroli prądów w rozważanym systemie [8].

W omawianym rozwiązaniu dzięki komplementarnemu wykorzystaniu dekompozycji falkowej i przekształceniu DFT, FFT i CZT uzyskano możliwość wykonywania obliczeń dla różnych pasm częstotliwości ze zmienną liczbą danych wejściowych (współczynników falkowych), co w praktyce odpowiada zmiennej częstotliwości próbkowania w zależności od pasma. Należy podkreślić, że w kolejnej realizacji urządzenia zostaną wykorzystane dwie różne częstotliwości próbkowania, odpowiednio dla modułów analizy napięć oraz analizy rozpyływu mocy i prądów. Warto dodać, że zaprojektowana architektura urządzenia będzie odmienna od spotykanych na rynku, przede wszystkim ze względu na większą liczbę wejść analogowych. Planowana jest również możliwość prostej modyfikacji układu wejść, pozwalająca na adaptację urządzenia do różnych typów badanych sieci.



Rys. 8. Schemat blokowy nowego analizatora-estymatora jakości energii elektrycznej, zwłaszcza do zastosowań okrętowych [8]

Na rysunku 8 pokazano schemat blokowy omawianego urządzenia, którego trzy główne moduły można opisać następująco:

- **moduł analizy jakości napięć** – kluczowy dla realizacji urządzenia, służy do pomiaru i analizy takich wielkości, jak: wartość rms napięcia, częstotliwości napięcia, współczynnik asymetrii napięć, temperaturowy współczynnik jakości energii elektrycznej, oraz takich zakłóceń, jak: harmoniczne, interharmoniczne i podharmoniczne, zaburzeń napięcia w zakresie od 50. harmonicznej do 9 kHz, a także zaburzeń typu: *transient* i *notching*;
- **moduł pomiaru mocy czynnych i biernych** – szczególnie ważny dla oceny prawidłowej eksploatacji izolowanych systemów elektroenergetycznych, służy do pomiaru i analizy takich wielkości, jak: moce czynne, moce bierne, prądy, współczynniki rozdziału mocy czynnych i biernych między zespołami prądotwórczymi pracującymi równolegle, współczynniki rozdziału prądów dla oceny przeciążeń wybranych generatorów;
- **moduł sterujący** – realizuje takie funkcje, jak: gromadzenie danych, komunikacja z procesorem sygnałowym oraz sterowanie układami peryferyjnymi (wyświetlacz, pamięć, klawiatura etc.).

Projektowane urządzenie będzie miało następujące cechy:

- pomiar parametrów napięć, prądów i mocy,
- szerokie spektrum mierzonych zaburzeń do ok. 100 kHz (fs do 250 kS-s),
- wyznaczanie temperaturowego wskaźnika jakości energii elektrycznej,

- ocena rozdziału obciążeń pomiędzy zespołami prądowórczymi pracującymi równolegle,
- poprawna praca w warunkach dużej zmienności parametrów sygnałów wejściowych – fluktuacje parametrów jakości energii, brak synchronizacji,
- wprowadzenie dodatkowej opcji – estymatora, przydatnej w czasie bieżącego (eksploatacyjnego) monitoringu parametrów jakości energii elektrycznej.

Zalety proponowanego rozwiązania w porównaniu do obecnie istniejących na rynku analizatorów to:

- szersze spektrum mierzonych parametrów (zaburzenia w paśmie do 100 kHz lub więcej, pomiar rozdziału obciążeń),
- większa funkcjonalność (uniwersalność – wszelkie typy sieci).

Planowane jest wykonanie urządzenia w dwóch wersjach:

- do zainstalowania na stałe z zasilaniem z UPS,
- przenośnej z zasilaniem bateryjnym,

w związku z ich potencjalnym wykorzystaniem do ciągłego monitoringu parametrów jakości energii elektrycznej lub do bieżących prac serwisowych czy też uruchomieniowo-odbiorczych.

UWAGI KOŃCOWE

Zespół realizujący omawiany projekt badawczo-rozwojowy zaproponował wprowadzenie następujących rozwiązań dla systemów okrętowych:

- zdefiniowanie nowych przedziałów czasowych do wyznaczania częstotliwości,
- modyfikacja definicji THD,
- zdefiniowanie różnych czasów agregacji i odpowiadających im różnych wartości progowych parametrów jakości energii elektrycznej,
- wprowadzenie dodatkowych parametrów do oceny zakłóceń typu *transient* i *notching*,
- odrzucenie algorytmów FFT w podstawowych procedurach oceny parametrów jakości energii elektrycznej,
- wprowadzenie metody hybrydowej (komplementarnych transformat DWT, DFT i CZT) dla poprawy efektywności detekcji i oceny zaburzeń impulsowych i harmonicznym.

Uwzględnienie wyżej przedstawionych dezyderatów pozwoli na eliminację mankamentów dotąd stosowanych analizatorów komercyjnych, w odniesieniu do ich zastosowań okrętowych.

LITERATURA

1. Aiello M., Cataliotti A., Nuccio S., *A PC-based instrument for harmonics and interharmonics measurement in power supply systems*, Measurement Elsevier, 2004, vol. 32, no. 4, s. 371–380.
2. Bilski P., Winiecki W., *A low-cost real-time virtual spectrum analyser*, IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement, 2007, vol. 56, no. 6, s. 2169–2174.
3. Bucci G., Landi C., *A multi-DSP based instrument on a VXI C-size module for real-time measurements*, IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement, 2000, vol. 40, no. 4, s. 884–889.
4. Dwyer R., *Power quality measurements using general purpose data acquisition systems vs. dedicated PQ analyzers*, IEEE PES Summer Meeting, 1999, s. 379–381.
5. Gnaciński P., Mindykowski J., Tarasiuk T., *A new concept of the power quality temperature factor and its experimental verification*, IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement, 2008, vol. 57, no. 8, s. 1651–1660.
6. Gnaciński P., Mindykowski J., Tarasiuk T., *Effect of power quality on windings temperature of marine induction motors. Part II. Results of investigations and recommendations for related regulations*, Energy Conversion and Management, Elsevier, October 2009, vol. 50, no. 10, s. 2477–2485.
7. McEachern A., *A new ultra-low-cost power quality technology measurement*, 9th Electrical Quality an Utilisation Conference, 9-11 October 2007, Barcelona, Spain (CD-ROM).
8. Mindykowski J. i inni, *Uniwersalne analizatory-estymatory jakości energii elektrycznej, w szczególności do zastosowań w izolowanych systemach elektroenergetycznych*, projekt badawczy rozwojowy R0102703 finansowany przez MNiSW, 2007–2011.
9. Mindykowski J., Szweđa M., Tarasiuk T., *Voltage and frequency deviations in exemplary ship's network – research for ship owner*, Electrical Power Quality and Utilization Magazine, 2005, vol. I, no. 2, s. 55–61.
10. Mindykowski J., Tarasiuk T., *DSP – based instrument for power quality monitoring on ships*, IMEKO XIX World Congress, Lisbon (Portugal), September 2009 (CD-ROM).
11. Mindykowski J., Tarasiuk T., Szweđa M., *Badania jakości energii elektrycznej na statku „IMOR”*, PRS, Raport techniczny nr 51, Gdańsk 2006.
12. Mortensen A. N., Johnson G. L., *A Power System Digital Harmonic Analyzer*, IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement, 1988, vol. 37, no. 4, s. 537–540.
13. PN-EN 61000-4-7:2007, *Kompatybilność elektromagnetyczna (EMC). Część 4-7: Metody badań i pomiarów – Ogólny przewodnik dotyczący pomiarów harmoniczných oraz stosowanych do tego celu przyrządów pomiarowych dla sieci zasilających i przyłączonych do nich urządzeń*.
14. Podesta L., Sangiovanni S., Zappitelli E., *A new system for distorted three-phase sinusoidal quantities measurement*, Measurement Elsevier, 2002, vol. 32, no. 1, s. 1–6.
15. Radil T., Ramos P.M., Janeiro F.M., Cruz Serra A., *DSP based power quality analyser using new signal processing algorithms for detection and classification of disturbances in a single-phase power system*, Metrology and Measurement Systems. Polish Scientific Publishers PWN, 2007, vol. XIV, no. 4, s. 483–494.
16. Tarasiuk T., *Analiza metod i układów do wyznaczania wskaźników jakości energii w okrętowych systemach elektroenergetycznych*, rozprawa doktorska, Politechnika Gdańska, Gdańsk 2001.
17. Tarasiuk T., *Hybrid wavelet-Fourier method for harmonics and harmonic subgroups measurement – Case Study*, IEEE Transactions on Power Delivery, 2007, vol. 22, no. 1, s. 4–17.
18. Tarasiuk T., *Ocena jakości energii elektrycznej w okrętowych systemach elektroenergetycznych z wykorzystaniem procesorów sygnałowych*, rozprawa habilitacyjna, Prace Naukowe Akademii Morskiej w Gdyni, Gdynia 2009.
19. Tarasiuk T., *Problems of spectrum estimation in ship's electric power networks*, 8th EPQU Conference, 2005, s. 241–246.

20. Tarasiuk T., *The method based on original DBFs for fast estimation of waveform distortions in ship systems – Case Study*, IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement, May 2008, vol. 57, no. 5, s. 1041–1050.
21. Tarasiuk T., Szweda M., *A few remarks about notching analysis – case study*, 13th IMEKO TC-4 Symposium, Greece 2004, s. 504–509.
22. Xu Xiaoyan, *Measurement and Control of Ship Electrical Power System for Saving Energy Consumption and Improving Reliability*, praca doktorska, Politechnika Gdańska, Gdańsk 2008.

UNIVERSAL ANALYSER-ESTIMATOR OF ELECTRIC POWER QUALITY PART I. GENESIS AND CONCEPT OF THE NEW DEVICE

Summary

In the paper, divided into two parts, the new universal analyser-estimator of electric power quality carried out within the research grant R012703 in the Ship Electrical Power Engineering Department, is presented. In the first part a genesis and concept of this new device is discussed, while in the second one its designing conditions concerning the operational and hardware functions as well as the constructional aspects are shown. In this paper two tendencies connected with design and construction of electric power quality analysers are shortly presented. The first of them is based on the use of PC unit with measurement card, the second option, presently dominant, refers to the dedicated devices based on the DSP technology, included programmable structures of FPGA. Next, a short overview of existing solutions of devices addressed to power quality assessment, carried out in the previously mentioned department of Gdynia Maritime University, taking into account specific applications and requirements for the ship systems under considerations. In this context, the measurement methods of electrical power quality parameters in the analysed networks were presented. At the same time, some differences between methods described in the related IEC norms for industrial, land networks and real conditions existing in ship networks are appointed and commented on. In consequence basing on these differences a trial of worked out the new, universal power quality analyzer, with described constructional features and metrological properties was undertaken.