

Charakterystyka porównawcza układów pomiarowo - rejestrujących wykorzystywanych do oceny jakości energii elektrycznej

dr inż. Przemysław OTOMAŃSKI

Pracownik Zakładu Metrologii i Optoelektroniki Instytutu Elektrotechniki i Elektroniki Przemysłowej Politechniki Poznańskiej. Główne obszary zainteresowań dotyczą zagadnień związanych z teorią pomiarów, w szczególności z oceną niepewności wyniku pomiaru, badaniem właściwości metrologicznych czujników i przetworników pomiarowych oraz badań w zakresie oceny jakości energii elektrycznej.

Adres e-mail: otoman@et.put.poznan.pl



dr inż. Grzegorz WICZYŃSKI

Pracownik Zakładu Metrologii i Optoelektroniki Instytutu Elektrotechniki i Elektroniki Przemysłowej Politechniki Poznańskiej. Zainteresowania naukowe: metrologia ukierunkowana na pomiary przemysłowe i biomedyczne, badania w zakresie oceny jakości energii elektrycznej oraz zastosowania systemów sensorycznych w układach sterowania.

e-mail: gwicz@et.put.poznan.pl



Streszczenie

Ocena jakości energii elektrycznej jest złożonym zadaniem pomiarowym wymagającym wykorzystania układu pomiarowo-rejestrującego o odpowiednich właściwościach metrologicznych. W pracy przedstawiono przykładowe badania takich układów, przeprowadzone na zaprojektowanym i wykonanym stanowisku pomiarowym. Prezentowane stanowisko umożliwia zadawanie jednofazowych sygnałów testowych pozwalających na ocenę zgodności z wymaganiami technicznymi określonymi w aktualnym Rozporządzeniu Ministra Gospodarki i Pracy.

Słowa kluczowe: układ pomiarowo-rejestrujący, jakość energii elektrycznej

Comparative characteristic of measurement-recording devices used to evaluation of power quality

Abstract

The electric power quality evaluation is a complex measuring task requiring the use of a system with appropriate metrological properties. Measurement results of comparative examination of selected power quality analysers realized on design measuring position were presented in the paper. Measurement results for some selected input functions were utilized for comparison.

Keywords: measurement-recording device, power quality

1. Wprowadzenie

Ocena jakości energii elektrycznej jest złożonym zadaniem pomiarowym wykorzystującym zestaw wielkości normatywnych i uzupełniających. Zakłada ona, że wyniki pomiarów dowolnych układów pomiarowo-rejestrującymi są zgodne z wymaganiami normatywnymi i tym samym porównywalne. Zgodnie z wymaganiami wynikającymi z [1, 2] pomiarom podlegają następujące wielkości napięcia: częstotliwość, wartość skuteczna, składowe kolejności zgodnej i przeciwnej, harmoniczne oraz wskaźnik migotania światła. Obecnie dostępne układy pomiarowo-rejestrujące, nazywane analizatorami jakości energii elektrycznej, są na tyle złożonymi przyrządami, że celowe są badania porównawcze weryfikujące zgodność działania tych mierników ze specyfikacją normatywną (w odniesieniu do normatywnych miar) lub ze specyfikacją producenta (w odniesieniu do miar uzupełniających). Do przeprowadzenia badań porównawczych oceniających właściwości metrologiczne niezbędne jest stanowisko pomiarowe umożliwiające generację sygnałów testowych. Normatywny okres rejestracji analizatorów

jakości energii elektrycznej wynosi 10 minut [1, 2]. Z tego powodu badania takich układów są czasochłonne i istotny jest właściwy dobór sygnałów testowych.

W dostępnych autorom publikacjach występują opisy badań pomiarów wyłącznie wybranych wielkości. Trójfazowy układ generacji sygnałów testowych do oceny analizy widmowej przedstawiono w pracy [3]. W pracach [4, 5] zaprezentowano układy do badania pomiaru wskaźników migotania światła oraz opisano normatywne i dodatkowe sygnały testowe. W pracy [6] zamieszczono porównanie wyników pomiaru wskaźników migotania światła, w których jako sygnał testowy wykorzystano napięcie w obwodzie zasilania pieca łukowego. W pracy [7] zaprezentowano wyniki badań laboratoryjnych i przemysłowych (zasilanie pieca łukowego) grupy analizatorów oceniających pomiar współczynnika *THD*. Praca [8] omawia laboratoryjne badania pomiarów zaburzeń napięcia. Badania pomiarów wielkości normatywnych [2] omówiono w pracy [9]. W pracy [10] opisano układ i procedurę do statystycznej oceny wyników pomiarów badanych analizatorów.

W niniejszej pracy przedstawiono podział analizatorów jakości energii elektrycznej na dwie klasy pomiarowe. Porównano wybrane cechy analizatorów określające ich właściwości eksploatacyjne. Przedstawiono stanowisko pomiarowe wraz z przykładowymi sygnałami testowymi. Zamieszczono wstępne wyniki badań pomiarów częstotliwości, wartości skutecznej, współczynnika *THD* napięcia oraz wskaźnika P_{st} wybranym analizatorem jakości energii elektrycznej wraz komentarzem.

2. Analizatory jakości energii elektrycznej

Pomiar oraz rejestracja parametrów, służących ocenie jakości energii elektrycznej, jest wykonywana z wykorzystaniem analizatorów jakości energii elektrycznej. Tego typu przyrządy są zabudowane w punkcie pomiarowym, którego dobór uzależniony jest od celu oceny jakości. Najczęstszymi celami są weryfikacja jakości w relacji dostawca - odbiorca energii elektrycznej, oraz identyfikacja źródła obniżenia jakości. W warunkach rzeczywistych częstym utrudnieniem w wykonaniu pomiarów w wymaganym punkcie pomiarowym jest niemożliwość zabudowy analizatora w wytypowanym złączu, rozdzielniczy lub słupie linii napowietrznej. Z tego powodu istotne są odpowiednio małe rozmiary analizatora oraz odporność na warunki klimatyczne

W przypadku pomiarów wielkości podlegających ocenie zgodnie z dokumentem [2] przyrządy pomiarowe podzielono na dwie klasy pomiarowe: A i B. Klasa pomiarowa A jest stosowana w przypadku konieczności przeprowadzenia dokładnych pomiarów, np. dla celów kontraktowych, weryfikacji zgodności z postanowieniami norm, rozstrzygnięcia sporów itp. Dowolne pomiary parametru przeprowadzone za pomocą dwóch różnych

przyrządów spełniających wymagania klasy A i mierzących te same sygnały powinny dać zbieżne wyniki mieszczące się w określonym przedziale niepewności. W celu zagwarantowania porównywalności wyników pomiarów, wymaga się, aby dla przyrządu klasy A, dla każdego mierzonego parametru, pasmo i częstotliwość próbkowania były wystarczające dla podanej niepewności pomiaru [2]. Klasa pomiarowa B może być stosowana dla pomiarów statystycznych, wykrywania przyczyn i eliminacji awarii oraz dla innych zastosowań niewymagających małej niepewności pomiaru. O przynależności przyrządu pomiarowego do klasy A decyduje spełnienie określonych warunków zawartych w dokumentach [2, 11, 12] dotyczących zakresu zmienności wartości odpowiednich parametrów.

Porównania układów pomiarowo – rejestrujących przeznaczonych do oceny jakości energii elektrycznej można dokonać na kilku płaszczyznach tzn. różne mogą być kryteria podziału. Przykładowo analizatory jakości energii elektrycznej można podzielić według:

- wielkości podlegających pomiarom i rejestracji, właściwości metrologicznych, zgodności z zaleceniami normatywnymi i potrzebami diagnostycznymi,
- wymiarów geometrycznych,
- odporności na warunki klimatyczne,
- wizualizacji mierzonych parametrów w trybie on-line oraz sposobu komunikacji z komputerem,
- właściwości komputerowego oprogramowania wspomagającego pracę analizatora,
- sposobu zasilania: bezpośrednie lub pośrednie (zasilacz zewnętrzny), zakres zmienności napięcia zasilającego.

W tabeli 1 zestawiono wybrane cechy porównawcze dwóch przykładowych analizatorów jakości energii elektrycznej. Przedstawiony podział jest oczywiście przykładowy i nie wyczerpuje wszystkich możliwości.

3. Stanowisko pomiarowe do badań porównawczych analizatorów jakości energii elektrycznej

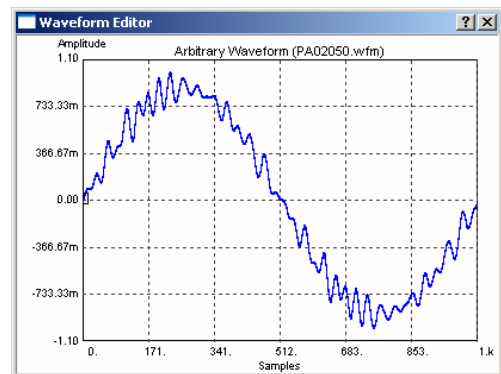
Badania porównawcze przeprowadzono w układzie przedstawionym na rys. 1 składającym się ze źródła sygnałów testowych: napięcia $u(t)$ i prądu $i(t)$. W omawianym układzie testowym jako źródło napięcia wykorzystano generator 6811B f-my Agilent [13] sterowany programem AC-Source GUI [14]. Obwód prądu testowego $i(t)$ zbudowano z kaskady autotransformatora ATr i transformatora Tr o przekładni 220V/12V obciążonego szeregowo połączonymi rezystorem R i zwojnicą ZW. Zwojnica ZW to 50 zwojowa cewka powietrzna o średnicy umożliwiającej wpięcie przekładników cęgowych badanych układów pomiarowo-rejestrujących. Dzięki zastosowaniu zwojnicy zwiększono wartość prądu mierzonego przez przekładniki cęgowe. Przyjęta konfiguracja układu pomiarowego umożliwiła bezpośrednie zadawanie napięcia $u(t)$. Zarejestrowane wyniki pomiarów wielkości napięciowych poddano porównaniu z wartościami zadanymi (nastawami

Tab. 1. Zestawienie wybranych cech analizatorów
Tab. 1. Statement of selected features of analysers

Cecha porównawcza	TOPAS 1000	Fluke 434
obudowa, wymiary	IP65, 300/325/65 mm	IP51, 256/169/64 mm
temperatura pracy	od - 20 ° C do 50° C	od 0 ° C do 40° C
wyświetlacz graficzny	brak	LCD
zasilanie	AC: 100 V – 240 V DC: 100 V - 375 V	zasilacz zewnętrzny
czas pracy przy braku zasilania	5 min	7 godz (bateria NiMH)
łącza komunikacyjne	Ethernet, RS-232	RS-232

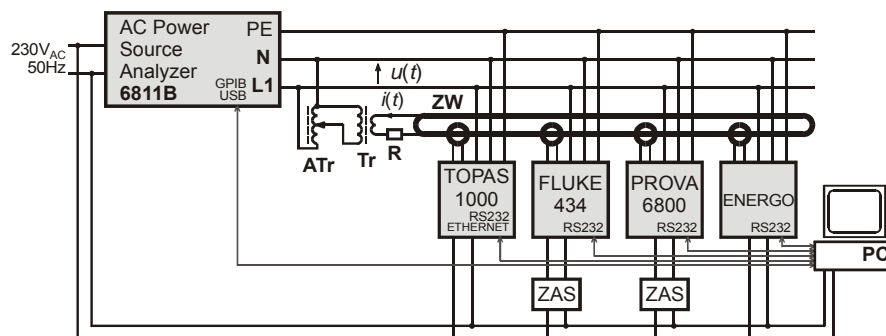
generatora 6811B) i z wynikami rejestracji pozostałymi analizatorami. Sygnał prądowy $i(t)$ zadawano pośrednio. Dlatego wyniki pomiarów wielkości skojarzonych z tym sygnałem poddawano wyłącznie analizie porównawczej. Do badań wytypowano następujące analizatory jakości energii elektrycznej: TOPAS 1000, FLUKE 434, PROVA 6800 oraz ENERGO.

Do generacji wymuszeń testowych wykorzystano następujące możliwości generacji sygnałów przez generator 6811B: zadawanie kształtu przebiegu czasowego, sekwencyjną zmianę kształtu przebiegu czasowego, wartości skutecznej i częstotliwości, modulację amplitudy AM i częstotliwości FM przebiegiem harmonicznym. Zadawanie kształtu przebiegu czasowego napięcia $u(t)$ w generatorze 6811B polega na przygotowaniu 1024 elementowej tablicy unormowanych wartości opisujących przebieg czasowy wartości chwilowych (np. za pomocą Excela) i przesłaniu do generatora. Zawartość przygotowanej tablicy odpowiada przebiegowi czasowemu za jeden okres. Umożliwia to zarówno generację wyższych harmonicznymi jak i interharmonicznymi. Na rysunku 2 przedstawiono widok okna edycyjnego przebiegu czasowego programu AC-Source GUI [14].



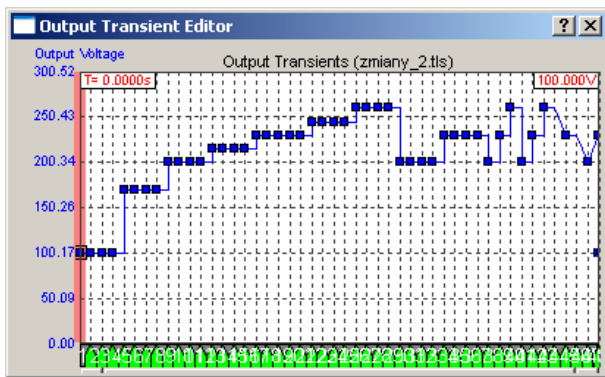
Rys. 2. Widok okna edytora przebiegu czasowego
Fig. 2. View of waveform editor window

Program AC-Source GUI umożliwia zadawanie sekwencyjnej zmiany kształtu przebiegu czasowego, wartości skutecznej i częstotliwości. Zadawanie polega na określeniu czasu trwania danego stanu oraz szybkości zmian ze stanu poprzedniego do bieżącego stanu. Czas trwania może wynosić od ułamka do tysięcy sekund. Ciąg zadanych stanów może być wykonany jednorazowo lub wielokrotnie powtarzany. Na rysunku 3 przedstawiono wykres wartości skutecznych $U(t)$ prezentujący przykładowy zestaw stanów. Wykres $U(t)$ zbudowano poprzez zadanie wartości następujących wielkości napięcia: czasu trwania stanu, wartości skutecznej składowej zmiennej, szybkości zmiany wartości skutecznej składowej zmiennej ze stanu poprzedniego do bieżącego, częstotliwości i szybkość jej zmiany ze stanu poprzedniego do bieżącego,



Rys. 1. Schemat układu pomiarowego do badania analizatorów jakości energii elektrycznej
Fig. 1. Diagram of measuring position to examine of Power quality analysers

składowej stałej, fazy początkowej oraz typu przebiegu czasowego napięcia $u(t)$.



Rys. 3. Zadana zmienność wartości skutecznej $U(t)$
Fig. 3. Preset variation of rms $U(t)$

Program AC-Source GUI pozwala na sekwencyjne wymuszanie modulacji amplitudy AM i częstotliwości FM przebiegiem harmonicznym. Zadawana jest częstotliwość sygnału modulującego, głębokość modulacji AM lub dewiacja częstotliwości FM, liniowa lub logarytmiczna zmiana wartości tych wielkości oraz czas trwania danej modulacji. Na rysunku 4 zamieszczono przykładową tabelę modulacji FM.

Step	Type	Start Ampl (RMS)	Stop Ampl (RMS)	Start Freq	Stop Freq	Sweep Type	Sweep Time (sec)
1	FM	1.0000	1.0000	0.100	100.000	Linear	86400.000
2	None	1.0000	1.0000	1.000	1.000	None	600.000
3	FM	0.0500	0.0500	0.100	100.000	Linear	86400.000
4	None	1.0000	1.0000	1.000	1.000	None	600.000
5	FM	1.0000	1.0000	0.100	100.000	Log	86400.000
6	None	1.0000	1.0000	1.000	1.000	None	600.000
7	FM	0.0500	0.0500	0.100	100.000	Log	86400.000
8	None	1.6300	1.6300	4.000	4.000	None	600.000

Rys. 4. Przykładowa tabela modulacji FM
Fig. 4. Selected table of FM modulation

W trakcie badań użyto sygnałów testowych przeznaczonych do oceny działania analizatorów pod względem pomiaru wielkości wymienionych w tabeli 2.

Tab. 2. Zestawienie wielkości podlegających badaniom porównawczym [1,2,11,12]
Tab. 2. Statement of values subject to comparison research [1,2,11,12]

Lp.	Wielkość	Graniczny błąd pomiaru
1	częstotliwość f	$\Delta f = 0,01$ Hz
2	wartość skuteczna U	$\Delta U = 0,1\% U_{din}$
3	podgrupa harmonicznnej U_h	klasa I $U_h \geq 1\% U_{nom} \rightarrow \Delta U_h = 5\% U_h$ $U_h < 1\% U_{nom} \rightarrow \Delta U_h = 0,05\% U_{nom}$ klasa II $U_h \geq 3\% U_{nom} \rightarrow \Delta U_h = 5\% U_h$ $U_h < 3\% U_{nom} \rightarrow \Delta U_h = 0,15\% U_{nom}$
4	THD	brak specyfikacji
5	wskaźnik P_{st}	$\Delta P_{st} = 0,05$

gdzie: U_{nom} – zakres pomiaru napięcia, U_{din} – deklarowane napięcie wejściowe.

Ze względu na jednofazowość układu testowego nie zbadano pomiaru składowych symetrycznych kolejności zgodnej i przeciwnej. Na podstawie porównania wyników pomiarów możliwe jest wykrycie nieprawidłowości w działaniu badanych mierników. W [2, 11, 12] określono niepewności pomiaru

poszczególnych wielkości. Sposób zapisu niepewności sugeruje, że normy określają wartości granicznych błędów pomiaru (Tab. 2). Wystąpienie różnicy wyników pomiarów większej niż podwojona wartość granicznego błędu pomiaru jest przesłanką wskazującą na nieprawidłowość w działaniu co najmniej jednego z analizatorów.

4. Wstępne wyniki badań wybranego analizatora jakości energii elektrycznej

Zgodnie z Rozporządzeniem [1] analizie podlegają wyniki pomiarów rejestrowane za okres 10 minut (z wyjątkiem częstotliwości rejestrowanej za okres 10 sekund). Dlatego niezbędne jest generowanie sygnałów testowych umożliwiających rejestrację wyników pomiarów przez badane analizatory w stanie ustalonym. Jednak skutkuje to wydłużeniem czasu badań gdyż dany sygnał testowy musi pozostawać w ustalonym stanie przez kilkadziesiąt minut (lub dłużej). Szczególne wymagania dotyczą toru sygnałowego flickermetru. Czas zanikania składowej przejściowej wynosi ok. 120s [15]. Dlatego okres rejestracji, w którym wystąpiła zmiana sygnału $u(t)$ nie jest reprezentatywny.

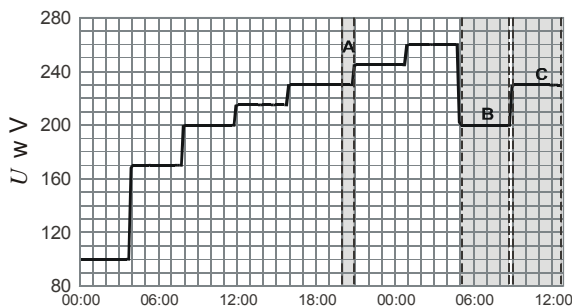
Celem omawianych badań było zgromadzenie danych umożliwiających ocenę zgodności działania analizatorów z wymaganiami normatywnymi, dokonanie porównania między badanymi urządzeniami oraz wykrycie specyficznych stanów. Badania eksperymentalne wykonywano w laboratorium w temperaturze pokojowej w układzie o schemacie z rysunku 1.

Ze względu na czasochłonność badań istotne jest odpowiednie ich zaplanowanie. Podstawowym składnikiem planowania jest poszukiwanie wymuszeń, uwzględniając możliwości udostępniane przez generator napięcia $u(t)$, ułatwiających wykrywanie ewentualnych niezgodności z wymaganiami normatywnymi lub różnic pomiędzy analizatorami. Z tego powodu kolejne sekwencje sygnałów testowych podlegały modyfikacjom. Na rysunkach 5-9 zamieszczono wyniki pomiarów zarejestrowanych jednym z badanych analizatorów. Rysunek 5 przedstawia przebieg czasowy wartości skutecznych $U(t)$. Kolejne wartości skuteczne napięcia składają się z czterech lub pięciu okresów o skokowo narastających wartościach współczynnika odkształcenia THD . Odkształcenie napięcia generowano wyłącznie za pomocą zestawu harmonicznnych (bez interharmonicznnych). Literami A, B i C oznaczono fragmenty pomiarów wykonanych dla częstotliwości f różnych od 50Hz. Wielokrotny pomiar dla tej samej wartości skutecznej napięcia U pozwolił na ocenę rozrzutu wyników pomiarów. Na rysunku 9 przedstawiono wartości względnych odchyłek standardowych wyników pomiarów napięć (z rys. 5). Wydaje się, że rozrzut wyników pomiaru jest w praktycznych pomiarach pomijalnie mały. Zmienność częstotliwości f odtwarza rysunek 7. Fragment A o czasie trwania 1 godziny i fragment B o czasie trwania 4 godzin to częstotliwość $f = 51$ Hz, 4 godzinny fragment C to częstotliwość $f = 49$ Hz. Przebieg czasowy z rysunku 6 pokazuje zmienność współczynnika THD zgodną z wymuszeniem testowym. Najbardziej złożony w analizie jest przebieg czasowy wskaźnika P_{st} zamieszczony na rysunku 8. Teoretycznie wynik pomiaru powinien wynosić zero (brak modulacji napięcia wejściowego). Jednak w układach rzeczywistych wartość wskaźnika P_{st} wynosi 0,01 [15] lub więcej. Na rysunku 8 występują „szpilki” wynikające ze zmiany wymuszenia. W celu poprawienia czytelności usunięto „szpilki” spowodowane zmianą wartości skutecznej. Pozostawiono „szpilki” wywołane zmianą odkształcenia napięcia (przy stałej wartości skutecznej). Obserwacja przebiegu czasowego P_{st} pozwala na stwierdzenie, że:

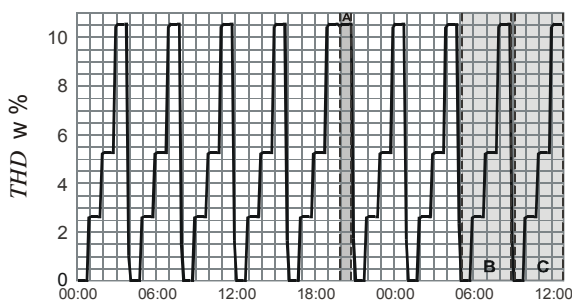
- występuje wpływ wartości skutecznej napięcia U na wynik pomiaru wskaźnika P_{st} dla $U < 170V$,
- występuje wpływ wartości częstotliwości f na wynik pomiaru wskaźnika P_{st} (fragmenty A, B i C),
- dla $f = 49$ Hz (fragment C) wystąpił wpływ wartości współczynnika THD na wynik pomiaru wskaźnika P_{st} .

Należy pamiętać, że [12] dopuszcza bezwzględny błąd pomiaru wskaźnika $\Delta P_{st} = 0,05$. Tym samym wykryta zależność wyniku pomiaru P_{st} jest pomijalnie mała.

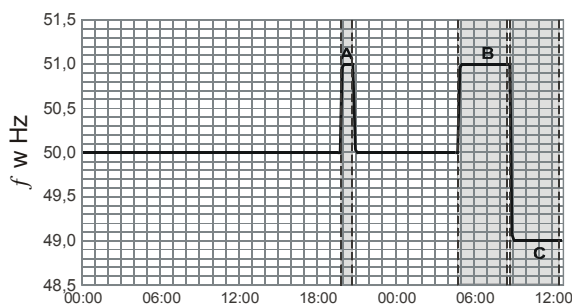
W trakcie dalszych badań, z wykorzystaniem sygnałów testowych z zawartością interharmonicznych, wykryto niezgodność pomiaru harmonicznych z zaleceniami normatywnymi, co przedstawiono



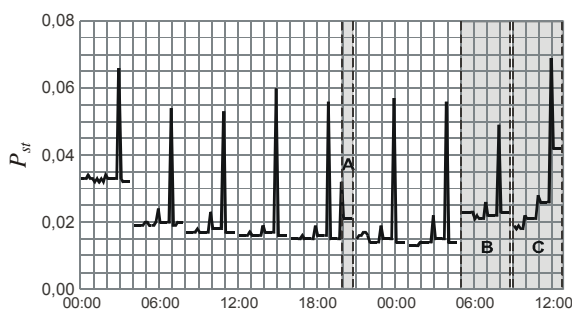
Rys. 5. Przebieg czasowy zarejestrowanych wartości skutecznych napięcia $U(t)$
Fig. 5. Waveform of recorded rms voltage $U(t)$



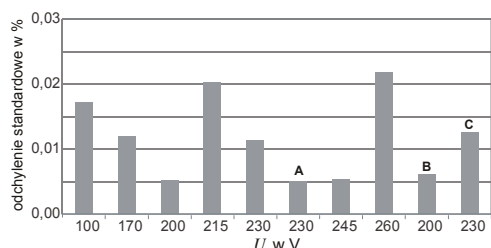
Rys. 6. Przebieg czasowy zarejestrowanych wartości współczynnika THD
Fig. 6. Waveform of recorded THD coefficient



Rys. 7. Przebieg czasowy zarejestrowanych wartości częstotliwości f
Fig. 7. Waveform of recorded frequency f values



Rys. 8. Przebieg czasowy zarejestrowanych wartości wskaźnika P_{st}
Fig. 8. Waveform of recorded P_{st} indicator values



Rys. 9. Rozrzut wyników pomiarów wartości skutecznej napięcia U
Fig. 9. Scatter of measurement results of rms value of voltage

w pracy autorów: „Analiza widmowa napięć w sieci elektroenergetycznej w ujęciu normatywnym”, zgłoszonej na Kongres Metrologii 2007.

5. Podsumowanie

W referacie przedstawiono przykładowe wyniki badań układów pomiarowo – rejestrujących przeznaczonych do oceny jakości energii elektrycznej. Przedstawiono przykładowy podział tych urządzeń ze względu na szereg różnorodnych czynników takich jak: wizualizacja mierzonych parametrów, interfejs pomiarowy czy odporność na przerwy w zasilaniu. Na zbudowanym stanowisku pomiarowym przeprowadzono szereg badań, z wykorzystaniem zestawu sygnałów testujących, za pomocą których dokonano oceny działania wybranych analizatorów jakości energii elektrycznej. Założono, że badania obejmą wszystkie jednofazowe wielkości wymienione w [1]. Przeprowadzono analizę metrologiczną uzyskanych wyników pomiarów. Ścisłe zdeterminowane sygnały testowe umożliwiły ocenę zgodności działania analizatorów z wymogami normatywnymi, wykrywanie ewentualnych rozbieżności pomiędzy nimi, oraz ocenę rozrzutu wyników pomiarów. Przy doborze wymuszeń testowych zwracano uwagę na minimalizację niezbędnego czasu badań.

6. Literatura

- [1] Rozporządzenie Ministra Gospodarki i Pracy z dn. 20.12.2004 w sprawie szczegółowych warunków przyłączenia podmiotów do sieci elektroenergetycznych, ruchu i eksploatacji tych sieci. Dz. U. nr 2 z dn. 6.01.2005, poz. 6.
- [2] PN-EN 61000-4-30, Metody badań i pomiarów, Metody pomiaru jakości energii.
- [3] Arseneau R., Filipski P.: A Calibration System For Evaluating The Performance Of Harmonic Power Analyzers. IEEE Transactions on Power Delivery, vol. 10, no. 3, 1995, pp. 1177-1182.
- [4] Gallo D., Landi C., Langella R., Testa A.: Implementation of a Test System for Advanced Calibration and Performance Analysis of Flickermeters. IEEE Transactions On Instrumentation And Measurement, vol. 53, no. 4, 2004, pp. 1078-1085.
- [5] Piekarz M., Szlosek M., Hanzelka Z., Bień A., Stankiewicz A., Hartman M.: Comparative Test of Flickermeters, 10th International Conference on Harmonics and Quality of Power, Rio de Janeiro, 6-9 October 2002, pp. 220-227.
- [6] Szlosek M., Piekarz M., Hanzelka Z., Bień A., Piątek K., Łoziak W., Pietrucha R., Hashad M., Wolski L., Olezkiowski Z., Smajek L.: Comparative Tests of Flickermeters, CIREN 17th International Conference on Electricity Distribution, Barcelona, 12-15 May 2003.
- [7] Brasil D.O.C et al.: Considerations On Power Quality Measurement Instrumentation. International Conference Electrical Power Quality And Utilisation, 2003, pp. 297-301.
- [8] Jewell W.: Power Quality Laboratory Testing. IEEE Power Engineering Review, 2002, pp. 13-15.
- [9] Brasil D.O.C et al.: Assessing the Accuracy of Power Quality Instrumentation. 11th International Conference on Harmonics and Quality of Power, 2004, pp. 696-699.
- [10] Ferrero A., Lazzaroni M., Salicone S.: A Calibration Procedure for a Digital Instrument for Electric Power Quality Measurement. IEEE Transactions on Instrumentation And Measurement, vol. 51, no. 4, 2002, pp. 716-722.
- [11] PN-EN 61000-4-7, Metody badań i pomiarów – Ogólny przewodnik dotyczący pomiarów harmonicznych i interharmonicznych oraz stosowanych do tego celu przyrządów pomiarowych dla sieci zasilających i przyłączonych do nich urządzeń.
- [12] PN-EN 61000-4-15, Miernik migotania światła, Specyfikacja funkcjonalna i projektowa.
- [13] User's Guide AC Power Solutions Agilent Models 6811B, 6812B, and 6813B. Agilent, 2000.
- [14] Agilent Technologies AC Source/ Power Analyzer Graphical User Interface for Windows 95-98, 2000 and Windows NT 4.0, Quick Start Guide. Agilent, 2006.
- [15] Majchrzak J., Wiczyński G.: Symulacyjna weryfikacja modelu toru sygnałowego flickermetru. PAK, nr 10, 2006, s. 124-129.