

Marcin TOMCZYK<sup>1</sup>

## ANALIZA JAKOŚCI ENERGII ELEKTRYCZNEJ W ŚRODOWISKU LABVIEW

**Streszczenie:** W artykule przedstawiono badania dotyczące zastosowania aplikacji utworzonej w środowisku LabVIEW i szybkiej transformaty Fouriera w pomiarach wybranych parametrów jakości energii elektrycznej. Przeprowadzono analizę wyników badań najczęściej występujących zakłóceń sygnału elektrycznego takich jak: harmoniczne, wolne (zapady, podwyższenia napięcia i prądu ) oraz szybkie zmiany napięcia i prądu.

**Słowa kluczowe:** jakość energii elektrycznej, środowisko LabVIEW, szybka transformata Fouriera

## ANALYSIS OF POWER QUALITY IN THE LABVIEW ENVIRONMENT

**Summary:** The article presents tests based on the use of an application created in the LabVIEW environment and the fast Fourier transform in the measurements of selected power quality parameters. An analysis of the test results for the most common electrical signal disturbances was executed, such as: harmonics, slow (swells, voltage and current increases) and fast voltage and current changes.

**Keywords:** power quality, LabVIEW environment, Fast Fourier Transform

### 1. Wprowadzenie

LabVIEW jest graficznym środowiskiem w którym są tworzone kody programów napisane za pomocą języka G. Nazwa tego języka pochodzi od wyrazu **Graphic** (grafika/rysunek). Proces tworzenia i jednocześnie pisania programów w środowisku LabVIEW realizuje się na zasadzie łączenia kolejnych węzłów (bloków kodu) przy użyciu przewodów.

Określenie pojęcia instrumentu wirtualnego jest podstawową koncepcją działania środowiska LabVIEW. Oznacza to, że użytkownik klasycznych przyrządów pomiarowych wykorzystując swoje doświadczenie jest w stanie pracować w środowisku LabVIEW bez dodatkowego, specjalistycznego szkolenia. W ten sposób najważniejszymi elementami panelu użytkownika są obiekty oparte na typowych przyrządach pomiarowych takie jak: wyświetlacze, pokrętła, sygnalizatory, wskaźniki, itp.

---

<sup>1</sup> Uniwersytet Bielsko-Bialski, Wydział Budowy Maszyn i Informatyki, specjalność: automatyka i informatyka, mtomczyk@ubb.edu.pl

Jednym z podstawowych wymagań stawianych dla środowiska LabVIEW była konieczność integracji różnych przyrządów pomiarowych. Klasyczne laboratoryjne przyrządy pomiarowe mają możliwość obsługi z panelu przedniego oraz za pomocą oprogramowania tworząc system pomiarowy. W celu podłączenia urządzenia pomiarowego do systemu konieczne jest, aby posiadało ono możliwość obsługi jakiegoś interfejsu transmisji danych. Standardowe przyrządy zawierają jeden lub więcej interfejsów: (stary RS232 – COM), USB, LAN, GPIB.

Nowoczesnym rozwiązaniem jest wykorzystanie kart akwizycji danych (DAQ – *Data Acquisition*) lub systemów modułowych zawierających sterownik oraz moduły pomiarowe znajdujące się w jednej obudowie (np. RIO lub PXI).

Najprostszym system pomiarowy stanowi komputer z kartą DAQ podłączaną za pomocą USB. Karta w zależności od wersji karty jest możliwe przeprowadzenie procesu akwizycji wejściowych sygnałów analogowych i akwizycji wejściowych sygnałów cyfrowych, generacji zarówno wyjściowych sygnałów analogowych jak również wyjściowych sygnałów cyfrowych, zliczania sygnałów cyfrowych, komunikacji z interfejsami transmisji danych np. RS232, RS485, SPI, I2C, CAN itd. Karty te zawierają także moduły licznikowe umożliwiające generowanie sygnałów PWM i obsługę enkoderów kwadraturowych. Kontrolę karty pomiarowej DAQ przeprowadza się tylko i wyłącznie z poziomu oprogramowania. Za pomocą użycia wielokanałowego trybu pracy karty, należy uwzględnić w dużym stopniu opóźnienie występujące pomiędzy czasem pobrania próbek z kolejnych kanałów.

Analiza czasowo-częstotliwościowa z wykorzystaniem szybkiej transformaty Fouriera lub transformaty falkowej jest jedną z najpopularniejszych i coraz częściej stosowanych metod w diagnostyce zmian wielkości fizycznych w procesach elektromechanicznych.

W ciągu ostatnich kilku lat opublikowano szereg prac prezentujących nowe techniki analizy jakości energii elektrycznej opracowanych zarówno w środowisku LabVIEW jak również z wykorzystaniem metod czasowo-częstotliwościowych. Niektóre z nich można wymienić:

- monitoring i klasyfikacja zakłóceń zasilania w systemie elektrycznym opracowanym w środowisku LabVIEW [1],
- zastosowanie algorytmu transformacji chirp-Z dla przeprowadzenia analizy harmonicznych w mikrokontrolerze do wykonywania pomiarów sygnałów niestacjonarnych w kontekście inteligentnych sieci [2],
- przedstawienie analizatora jakości energii elektrycznej opartego na Compact RIO umożliwiającego przeprowadzenie dokładnego pomiaru i monitorowania różnych parametrów systemu elektroenergetycznego [3],
- wykrywanie i klasyfikacja zaburzeń jakości energii elektrycznej przy użyciu zaawansowanych narzędzi przetwarzania sygnału reprezentowanych w postaci transformacji Hilberta i falki (HT-WT) oraz narzędzi sztucznej inteligencji reprezentowanych w sztucznej sieci neuronowej i maszynie wektorów nośnych (ANN-SVM) [4],
- przedstawienie metody pozwalającej na dokładny i precyzyjny pomiar mocy przy wahaniach harmonicznych i częstotliwości opartej na wzmacniaczu blokującym (LIA) i pętli z synchronizacją częstotliwości wzmacniacza blokującego (LIA-FLL) [5],
- monitorowanie stanu oraz analiza zaburzeń jakości energii elektrycznej i wykrywanie usterek elektrycznych trójfazowego silnika indukcyjnego przy

użyciu systemu gromadzenia danych (DAQ) w środowisku LabVIEW i technik przetwarzania danych takich jak szybka transformata Fouriera (FFT) i transformata falkowa (WT) [6],

- prezentacja systemu pomiarowego akwizycji danych oraz aplikacji analizatora jakości energii elektrycznej opracowanej w środowisku programistycznym LabVIEW dla trójfazowego układu elektrycznego [7],
- przedstawienie systemu monitorowania jakości energii elektrycznej do wykrywania zaburzeń przy użyciu transformacji falkowej w oparciu o możliwości czasu rzeczywistego systemu operacyjnego Real-Time LabVIEW i komputera czasu rzeczywistego typu CompactRIO zawierającego sieć FPGA (Field Programmable Gate Array) [8].

## 2. Opis działania zaproponowanej metody analizy jakości energii elektrycznej

W badaniach wykorzystano przebiegi napięcia i natężenia prądu przemiennego generowane z wyjść analogowych karty pomiarowej NI-PCI 6221.

W programie narzędziowym NI-Max zainstalowano oprogramowanie sterujące dla karty pomiarowej NI-PCI 6221.

Przeprowadzono badania dla:

- przebiegów napięć generowanych z wyjść: ai0, ai1 i ai2,
- przebiegów natężeń prądu przemiennego generowanych z wyjść: ai3, ai4 i ai5.

W badaniach zastosowano aplikację utworzoną w środowisku LabVIEW 2017.

W celu analizy jakości energii elektrycznej dla badanych przebiegów napięć i natężeń prądu przemiennego przyjęto metodę w której wykorzystano zaszumianie badanych przebiegów za pomocą trzech różnych sygnałów i zawierających dodany do nich szum biały jednostajny.

W badaniach przyjęto sygnały: sinusoidalny, trójkątny i kwadratowy. Do każdego z tych sygnałów dodawano szum biały jednostajny o amplitudzie równej 2.

Otrzymany w ten sposób sygnał zaszumiony dodawano do badanych przebiegów napięć i natężeń prądu przemiennego.

W przeprowadzonych badaniach wykorzystano zmiany wartości dwóch parametrów i dotyczących trzech różnych zastosowanych w badaniach sygnałów: sinusoidalnego, trójkątnego i kwadratowego.

Wartości tych parametrów zmieniano w ustalonej następującej kolejności rosnącej:

- amplituda o wartości równej 5 i 10,
- częstotliwość o wartościach równych: 5[Hz], 10[Hz] i 20 [Hz].

W każdym przeprowadzonym badaniu obliczono współczynnik zawartości harmonicznych *THD* dla 40 harmonicznych wartości skutecznych badanych przebiegów i parametr  $a_3$  i stosownie według poniższych zależności:

$$THD = \frac{\sqrt{\sum_{k=2}^{40} U_k^2}}{U_1} \quad (1)$$

$$a_3 = \frac{(a_1/a_2)}{(a_1 - a_2)} \quad (2)$$

gdzie:  $a_1 = \max(U_{(k)})$ ,  $k = 2, 3 \dots 40$  (3)

$a_2 = \min(U_{(k)})$ ,  $k = 2, 3 \dots 40$  (4)

$U_{(k)}$  - wartość skuteczna harmonicznego analizowanego przebiegu napięcia i natężenia prądu przemiennego.

Oprócz obliczenia współczynnika *THD* i parametru  $a_3$  dokonano analizy zmian widma Fouriera otrzymanego w wyniku obliczenia szybkiej transformaty Fouriera  $F(j\omega)$  dla badanego przebiegu napięcia lub natężenia prądu przemiennego.

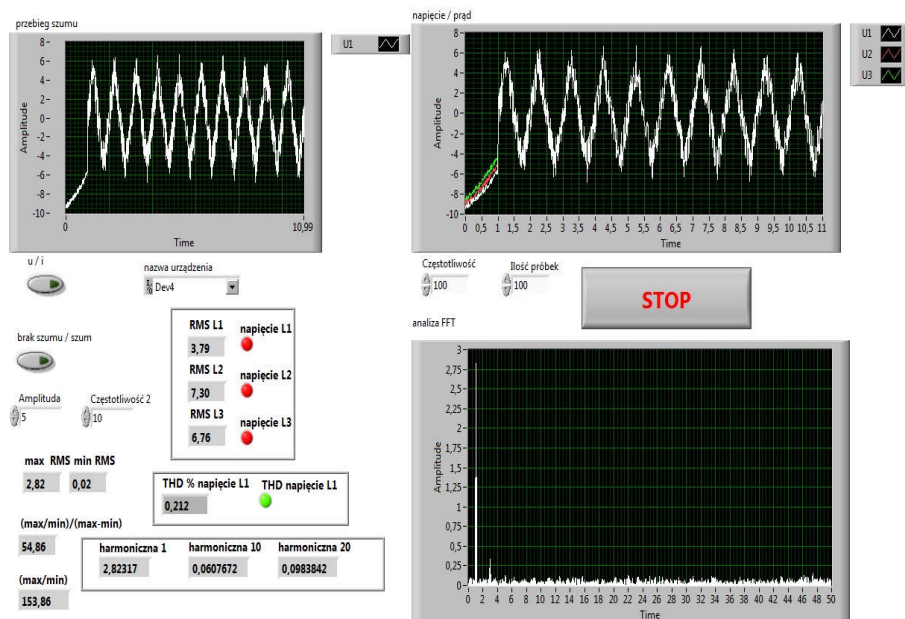
Przeprowadzona analiza dotyczyła monitoringu zmian wartości otrzymanego widma amplitudowego Fouriera  $M(\omega)$ .

Widmo amplitudowe jest określone za pomocą poniższej zależności:

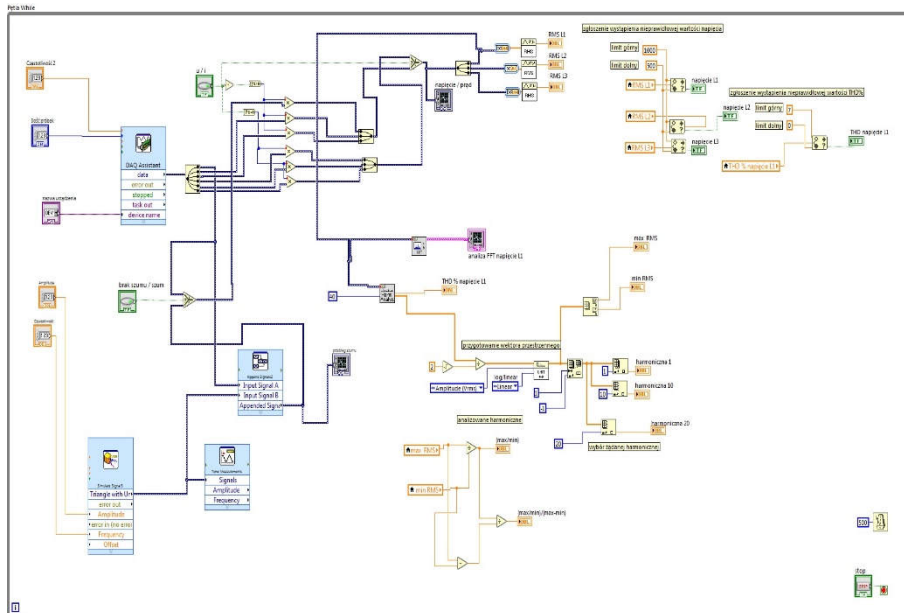
$$M(\omega) = F(j\omega) \quad (5)$$

Wykres widma amplitudowego (wykres modułu) przedstawia amplitudy składowych widmowych sygnału o różnych częstotliwościach.

Na zamieszczonych poniżej rysunkach 1 i 2 przedstawiono zrzuty ekranu przedstawiające widok panelu i kodu dla działającej aplikacji utworzonej w środowisku LabVIEW 2017 i zastosowanej dla przeprowadzonych analiz badanych przebiegów napięć i natężeń prądu przemiennego.



Rysunek 1. Widok panelu aplikacji utworzonej w LabVIEW i przedstawiającej wyniki badania dla analizy napięcia generowanego z wyjścia ai0 i zaszumionego sygnałem trójfazowym o amplitudzie równej 5 i częstotliwości równej 10 [Hz] oraz zawierającego szum biały jednostajny



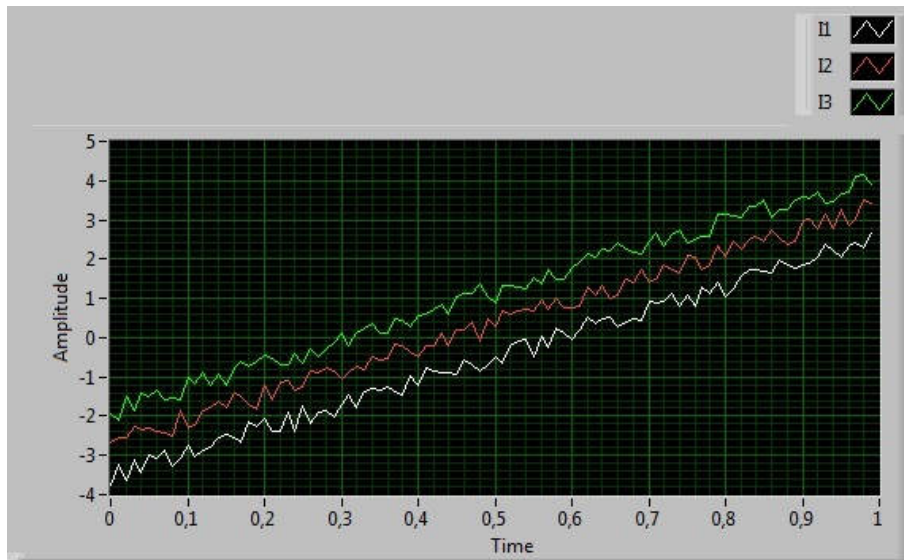
Rysunek 2. Widok kodu aplikacji utworzonej w LabVIEW i przedstawiającej wyniki badania dla analizy napięcia generowanego z wyjścia ai0 i zaszumionego sygnałem trójkątnym o amplitudzie równej 5 i częstotliwości równej 10 [Hz] oraz zawierającego szum biały jednostajny

### 3. Wyniki badań

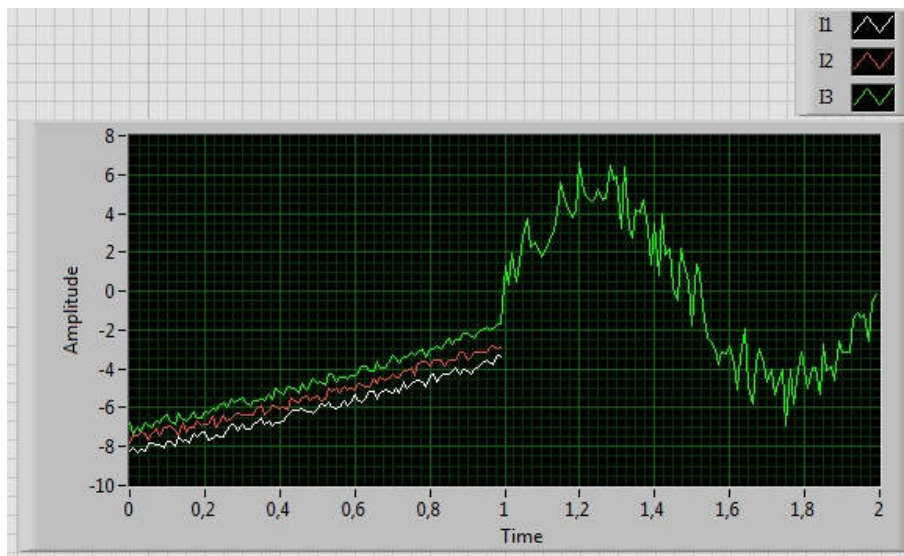
Na zamieszczonych poniżej rysunkach 3 i 4 przedstawiono w celu porównania zaszumione i nie zaszumione przebiegi analizowanych przebiegów napięcia i natężenia prądu przemiennego generowane z odpowiednich wyjść analogowych karty pomiarowej NI-PCI 6221.

Na zamieszczonym poniżej rysunku 5 przedstawiono w celu obserwacji przebieg wybranego sygnału zawierającego szum biały jednostajny oraz przedstawiono przebieg wybranego napięcia przemiennego w celu monitoringu zmian jego wartości. Monitorowany przebieg napięcia przemiennego zawiera dodany do niego wybrany uprzednio do obserwacji sygnał zawierający szum biały jednostajny.

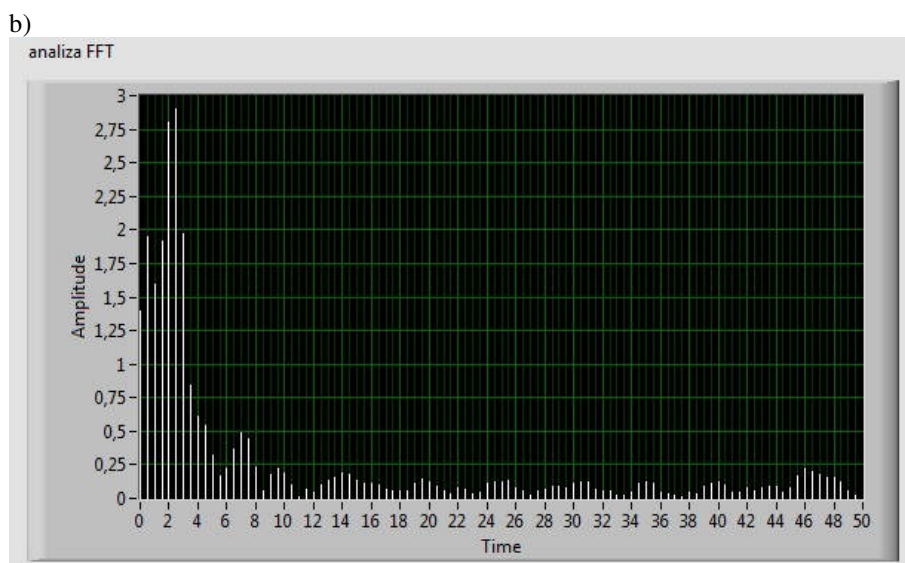
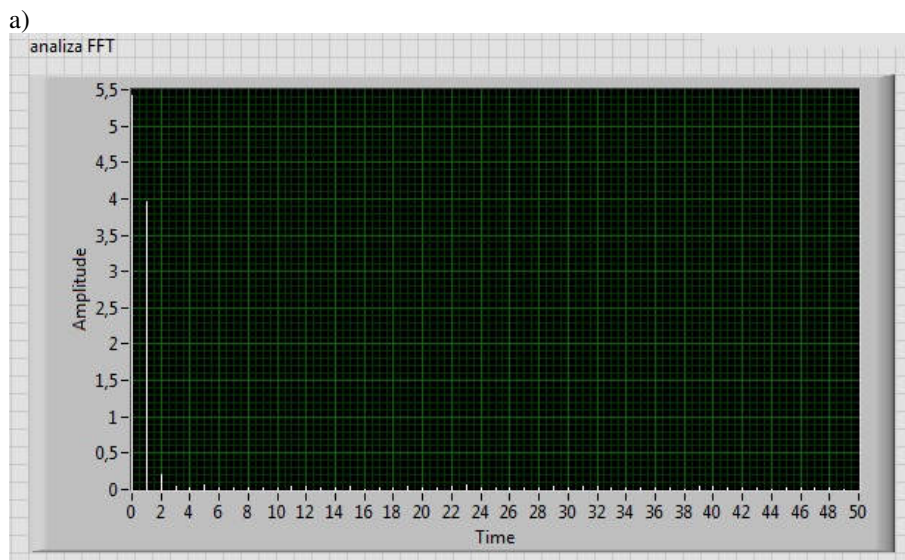
a)



b)

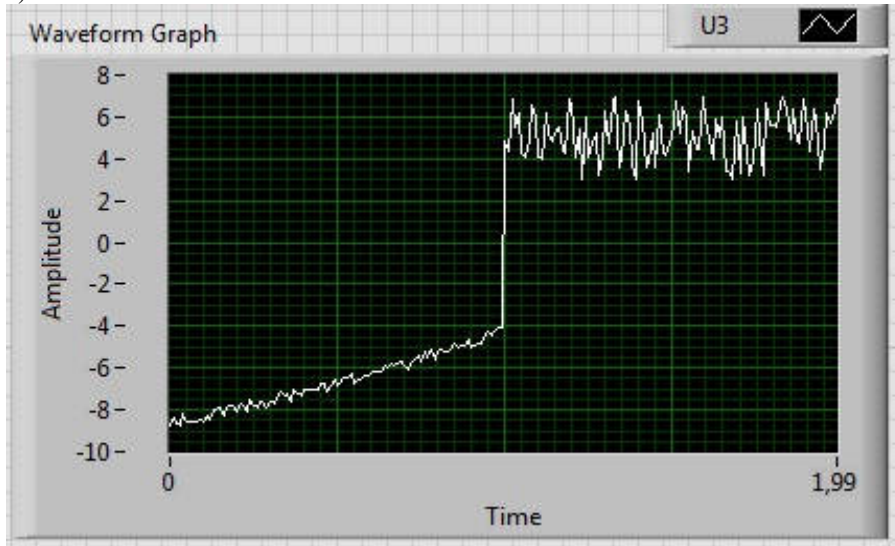


Rysunek 3. Przebiegi analizowanych natężeń prądu przemiennego generowanych z wyjść analogowych karty pomiarowej NI-PCI 6221: a) nie zaszumione przebiegi natężeń prądu generowanych z wyjść ai3, ai4 i ai5, b) nie zaszumione przebiegi natężeń prądu generowanych z wyjść ai3 i ai4 oraz przebieg natężenia prądu generowany z wyjścia ai5 zaszumiony sygnałem sinusoidalnym o amplitudzie równej 5 i częstotliwości równej 10 [Hz] i zawierającym szum biały jednostajny

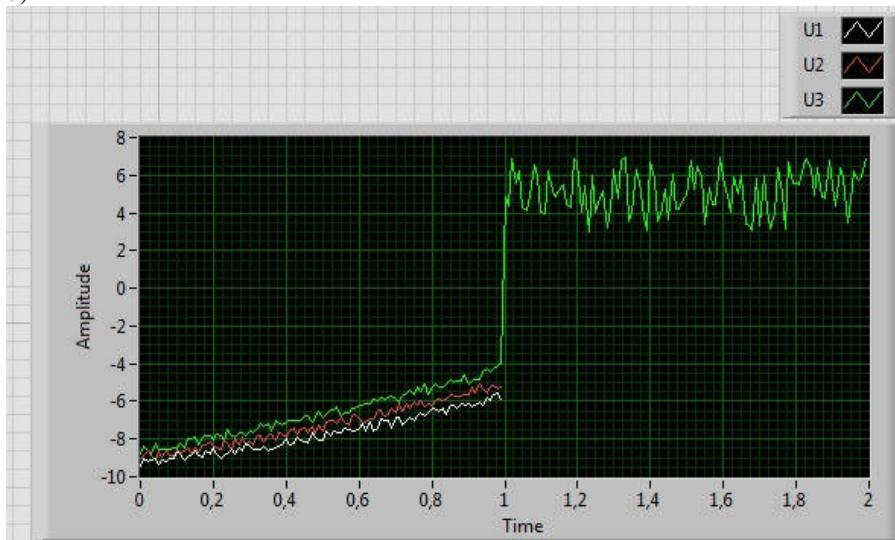


Rysunek 4. Przebiegi widma amplitudowego Fouriera dla analizowanego natężenia prądu przemiennego generowanego z wyjść analogowych karty pomiarowej NI-PCI 6221: a) przebieg widma amplitudowego Fouriera dla nie zaszumionego przebiegu natężenia prądu generowanego z wyjścia ai4, b) przebieg widma amplitudowego Fouriera dla przebiegu natężenia prądu generowanego z wyjścia ai4 zaszumionego sygnałem trójkątnym o amplitudzie równej 10 i częstotliwości równej 20 [Hz] i zawierającym szum biały jednostajny

a)



b)



Rysunek 5. Przebieg sygnału kwadratowego zaszumionego oraz przebiegi analizowanych napięć przemiennych generowanych z wyjść analogowych karty pomiarowej NI-PCI 6221: a) przebieg sygnału kwadratowego o amplitudzie równej 5 i częstotliwości równej 5 [Hz] i zawierającego szum biały jednostajny, b) nie zaszumione przebiegi napięcia przemiennego generowane z wyjść ai0 i ai1 oraz przebieg napięcia przemiennego z wyjścia ai1 zaszumiony sygnałem kwadratowym o amplitudzie równej 5 i częstotliwości równej 5 [Hz] i zawierającym szum biały jednostajny



Na podstawie zarejestrowanych przebiegów na rysunku 4 można stwierdzić, że wyniki analizy badanego przebiegu napięcia zawierającego sygnał zaszumiony i przeprowadzonej za pomocą szybkiej transformaty Fouriera przedstawiają wyraźne zmiany w porównaniu do przebiegu otrzymanego w wyniku analizy tego samego badanego przebiegu napięcia nie zawierającego sygnału zaszumionego i również przeprowadzonej w wyniku zastosowania szybkiej transformaty Fouriera.

W przedstawionej poniżej tabeli 1 i tabeli 2 zamieszczono wyniki pomiarów i obliczeń przeprowadzonych dla wybranych badań jakości energii elektrycznej.

*Tabela 1. Przykładowe wyniki pomiarów i badań jakości energii elektrycznej przeprowadzonych dla wybranych przebiegów napięć przemiennych generowanych z wyjść karty pomiarowej NI-PCI 6221*

Parametr sygnału z szumem i dodanego do badanego napięcia	Napięcie 1 z wyjścia ai0 karty NI-PCI 6221, pomiar sygnału z szumem				Napięcie 1 z wyjścia ai0 karty NI-PCI 6221, pomiar sygnału bez szumu			
	<i>RMS</i> [V]	<i>THD</i> [%]	<i>a</i> <sub>1</sub>	<i>a</i> <sub>3</sub>	<i>RMS</i> [V]	<i>THD</i> [%]	<i>a</i> <sub>1</sub>	<i>a</i> <sub>3</sub>
sinusoidalny z białym szumem jednostajnym, amplituda sinus = 5, amplituda szumu = 2, częstotliwość sinus = 5 [Hz]	6,16	0,65	3,02	15,27	7,79	1,48	5,52	127,33
sinus z białym szumem jednostajnym, amplituda sinus = 10, amplituda szumu = 2, częstotliwość sinus = 10 [Hz]	7,58	0,44	6,39	11,03	3,42	1,24	2,08	150,74
Parametry sygnału z szumem i dodanego do badanego napięcia	Napięcie 2 z wyjścia ai2 karty NI-PCI 6221, pomiar sygnału z szumem				Napięcie 2 z wyjścia ai2 karty NI-PCI 6221, pomiar sygnału bez szumu			
	<i>RMS</i> [V]	<i>THD</i> [%]	<i>a</i> <sub>1</sub>	<i>a</i> <sub>3</sub>	<i>RMS</i> [V]	<i>THD</i> [%]	<i>a</i> <sub>1</sub>	<i>a</i> <sub>3</sub>
kwadratowy z białym szumem jednostajnym, amplituda sygnału kwadrat = 5, amplituda szumu = 2, częstotliwość sygnału kwadratowego = 5 [Hz]	6,05	0,69	3,06	14,65	8,61	1,62	6,08	163,90
kwadratowy z białym szumem jednostajnym, amplituda sygnału kwadrat = 10, amplituda szumu = 2, częstotliwość sygnału kwadratowego = 10 [Hz]	9,73	0,62	7,49	6,84	2,20	0,98	0,92	101,95

Tabela 2. Przykładowe wyniki pomiarów i badań jakości energii elektrycznej przeprowadzonych dla wybranych przebiegów natężeń prądu przemiennego generowanych z wyjść karty pomiarowej NI-PCI 6221

Parametr sygnału z szumem i dodanego do badanego natężenia prądu	Natężenie prądu 1 z wyjścia ai4 karty NI-PCI 221, pomiar sygnału z szumem				Natężenie prądu 1 z wyjścia ai4 karty NI-PCI 6221, pomiar sygnału bez szumu			
	<i>RMS</i> [A]	<i>THD</i> [%]	$a_1$	$a_3$	<i>RMS</i> [A]	<i>THD</i> [%]	$a_1$	$a_3$
sinusoidalny z białym szumem jednostajnym, amplituda sinus = 5, amplituda szumu = 2, częstotliwość sinus = 10 [Hz]	4,78	0,53	2,88	26,33	9,04	2,47	6,40	107,52
sinus z białym szumem jednostajnym, amplituda sinus = 10, amplituda szumu = 2, częstotliwość sinus = 20 [Hz]	6,56	0,35	4,98	15,55	6,01	1,45	4,11	103,79
Parametry sygnału z szumem i dodanego do badanego natężenia prądu	Natężenie prądu 2 z wyjścia ai5 karty NI-PCI 6221, pomiar sygnału z szumem				Natężenie prądu 2 z wyjścia ai5 karty NI-PCI 6221, pomiar sygnału bez szumu			
	<i>RMS</i> [A]	<i>THD</i> [%]	$a_1$	$a_3$	<i>RMS</i> [A]	<i>THD</i> [%]	$a_1$	$a_3$
trójkątny z białym szumem jednostajnym, amplituda sygnału trójkątnego = 5, amplituda szumu = 2, częstotliwość sygnału trójkątnego = 10 [Hz]	2,54	0,55	2,32	60,08	6,63	1,47	4,60	93,76
trójkątny z białym szumem jednostajnym, amplituda sygnału trójkątnego = 10, amplituda szumu = 2, częstotliwość sygnału trójkątnego = 20 [Hz]	4,34	0,37	3,55	31,47	8,71	2,67	6,19	81,35

Na podstawie wyników zamieszczonych w tabeli nr 1 i w tabeli nr 2 można stwierdzić, że wartości współczynnika zawartości harmonicznych THD dla analizowanych wartości napięcia i natężenia prądu przemiennego zmniejszają się stopniowo wraz ze zwiększaniem amplitudy i częstotliwości sygnału dodawanego do szumu białego jednostajnego. Ponadto można zaobserwować, że wraz ze zmniejszaniem

współczynnika THD zmniejsza się parametr  $a_3$  i obliczony za pomocą działań matematycznych przeprowadzonych dla wartości maksymalnej i wartości minimalnej określonych spośród 40 zarejestrowanych harmonicznymi wartości skutecznymi badanego napięcia lub natężenia prądu przemiennego.

### 3. Wnioski

Zaprezentowany system analizy jakości energii elektrycznej zawierał metodę umożliwiającą wykrywanie zmian współczynnika zawartości harmonicznymi THD dla badanych przebiegów napięcia i prądu przemiennego w wyniku zmian wartości amplitudy i częstotliwości zastosowanego sygnału połączonego z szumem białym jednostajnym.

Proces wykrywania zmian został zrealizowany za pomocą obliczenia współczynnika zawartości harmonicznymi i parametru uzyskanego w wyniku przeprowadzenia działań matematycznych dla odpowiednich wartości skutecznymi harmonicznymi oraz monitoringu zarejestrowanych przebiegów szybkiej transformaty Fouriera i obliczonej dla wartości analizowanego przebiegu napięcia lub natężenia prądu przemiennego z dodaną wartością zaszumionego sygnału.

Zastosowana analiza zarejestrowanych przebiegów badanych wielkości fizycznych w zauważalny sposób zwiększa efektywność analizy sygnałów niestacjonarnymi. Przeprowadzenie badań symulacyjnych potwierdziło działanie zaproponowanej metodyki wykrywania zmian dla wartości skutecznymi harmonicznymi napięcia i natężenia prądu przemiennego w wyniku zastosowania dodawania analizowanych wartości chwilowych badanego napięcia i natężenia prądu przemiennego z wartościami zaszumionego sygnału.

Na podstawie przeprowadzonych badań symulacyjnych można zauważyć, że zapewnienie odpowiednich zakresów zmian parametrów sygnału dodawanego do szumu białego jednostajnego umożliwia uzyskanie dużej efektywności procesu identyfikacji zmian współczynnika zawartości harmonicznymi oraz szybkich zmian wartości skutecznymi napięcia i natężenia prądu przemiennego.

### LITERATURA

1. FARID ABIDIN A., ABDUL TALIB MAT YUSOH M.: LabVIEW as Power Disturbances Classification Tools. LabVIEW - A Flexible Environment for Modeling and Daily Laboratory Use. IntechOpen, 2021, <http://dx.doi.org/10.5772/intechopen.96079>.
2. ARTALE G., PANZAVECCHIA N., COSENTINO V., CATALIOTTI A., BENDROMDHANE M., BENZAZZA-BEN YAHIA A., BOSCAINO V., BENTHMAN N., DITTA V., FIORINO M., DEL MASTRO G., GUAIANA S., TINE G., DICARA D.: CZT-Based Harmonic Analysis in Smart Grid Using Low-Cost Electronic Measurement Boards. Energies 2023, 16, 4063, doi: <https://doi.org/10.3390/en16104063>.
3. BADAR J., ALI S., MUNIR HM, BHAN V., BUKHARI SSH, RO J-S.: Reconfigurable Power Quality Analyzer Applied to Hardware-in-Loop Test Bench. Energies. 2021; 14(16):5134, <https://doi.org/10.3390/en14165134>.

4. DEKHANDJI F.Z., TALHAOUI S., ARKAB Y.: Power Quality Detection, Classification and Monitoring Using LABVIEW. *Algerian Journal of Signals and Systems* . 4, 2 (Dec. 2019), 101-111, doi:<https://doi.org/10.51485/ajss.v4i2.86>.
5. REHMAN A., CHO K., CHOI W. : A Novel Power Measurement Method Using Lock-In Amplifiers with a Frequency-Locked Loop. *Electronics* 2023, 12, 2219, <https://doi.org/10.3390/electronics12102219>.
6. MANGALEKAR Y.V., UGALE R.T.: Electric motor power quality assessment using LabVIEW based smart power analyzer. *IEEE Recent Advances in Intelligent Computational Systems (RAICS)*, Trivandrum, India, 2015, 318-323, <https://doi.org/10.1109/RAICS.2015.7488435>.
7. MUREȘAN C., ȚEBREAN B., COPÎNDEAN R., CRIȘAN T.E., STOICA T.: A LabVIEW Power Quality Analysis Application for a Three-phase Systems. *10th International Conference on Modern Power Systems (MPS)*, Cluj-Napoca, Romania, 2023, pp. 1-6, doi: <https://doi.org/10.1109/MPS58874.2023.10187434>.
8. NICOLA M., NICOLA C.-I., POPESCU S., SACERDOȚIANU D., DUȚA M.: Power Quality Analysis System Based on LabVIEW Real-Time and Reconfigurable FPGA Modules Using Wavelet Transform. *International Conference on Applied and Theoretical Electricity (ICATE)*, Craiova, Romania, 2018, pp. 1-6, doi: <https://doi.org/10.1109/ICATE.2018.8551364>.