

*Augustyn WÓJCIK¹, Piotr BILSKI¹, Robert ŁUKASZEWSKI¹,
Ryszard KOWALIK², Krzysztof DOWALLA¹*

¹Politechnika Warszawska, Instytut Radioelektroniki i Techniki Multimedialnych

²Politechnika Warszawska, Instytut Elektroenergetyki

UKŁAD POMIAROWY ORAZ METODA IDENTYFIKACJI STANÓW ODBIORNIKÓW ENERGII ELEKTRYCZNEJ WYKORZYSTUJĄCA GENERATOR SYGNAŁU IMPULSOWEGO

W artykule przedstawiono układ pomiarowy wykorzystujący generator sygnału impulsowego. Pokazano budowę oraz zasadę działania przykładowego generatora. Opisano metodę wykorzystującą generator sygnału impulsowego oraz przekształcenie falkowe do identyfikacji zmian stanu odbiorników energii elektrycznej. Przedstawiono algorytm przetwarzania danych pomiarowych. Zaprezentowano wyniki eksperymentów obejmujących weryfikację działania zrealizowanego układu pomiarowego oraz identyfikację stanów odbiorników energii elektrycznej.

THE MEASUREMENT SETUP AND METHOD FOR ELECTRICITY RECEIVER STATE IDENTIFICATION USING IMPULSE SIGNAL GENERATOR

The paper presents the measurement system using the impulse signal generator. The schematic diagram and operating principles of the device are presented. Method of using the generated impulse and wavelet transform to the electrical appliances' state identification is introduced. Details of the algorithm for the measurement data processing are described. Results of experiments including verification of developed measurement setup and electricity appliances' state identification are discussed.

1. WSTĘP

W gospodarstwach domowych wykorzystuje się wiele różnych typów Odbiorników Energii Elektrycznej (OEE). Informacja o stanie pracy poszczególnych OEE jest kluczowa dla działania inteligentnych systemów pomiarowych, takich jak np. system diagnostyki lub nieinwazyjny system monitorowania zużycia energii elektrycznej [1].

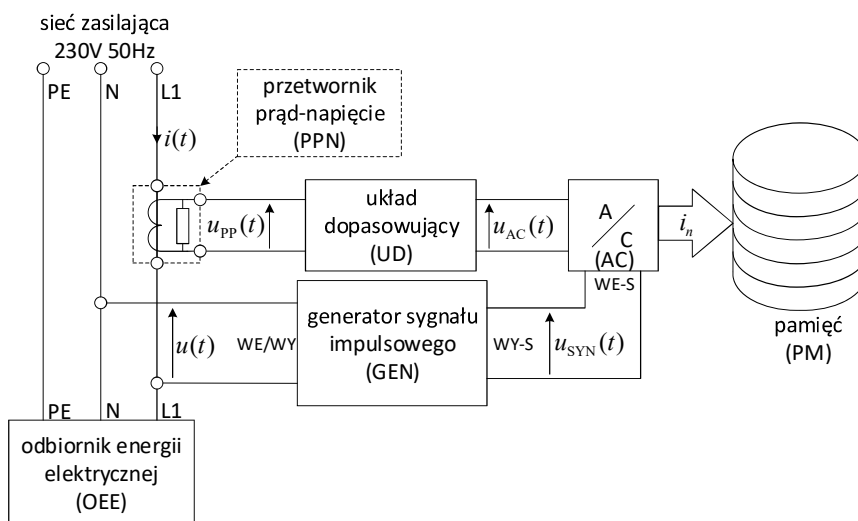
Niektóre urządzenia elektryczne na skutek włączenia do sieci zasilającej generują krótkotrwały impuls prądu o poziomie istotnie przewyższającym nominalny prąd zasilania tych urządzeń [2]. Wyniki badań zaprezentowane m.in. w [3] pokazują, że te stany przejściowe mogą być wykorzystywane do identyfikacji stanu OEE. Podczas badań przedstawionych szczegółowo w [4] zaobserwowano, że parametry sygnałów elektrycznych związane z pracą niektórych OEE zależą od tego, które z innych urządzeń są zasilane z tej samej sieci w tej samej chwili. Na skutek zmiany zestawu urządzeń pracujących w tle parametry sygnału impulsowego wytwarzanego w chwili załączenia OEE mogą być inne. Opisane zjawisko można wykorzystać do identyfikacji stanów poszczególnych OEE.

W celu weryfikacji praktycznego zastosowania zjawiska przedstawionego powyżej opracowano układ pomiarowy umożliwiający generowanie znanego sygnału impulsowego oraz akwizycję sygnału prądu. Do wykrycia zmiany parametrów impulsu konieczne jest zastosowanie odpowiedniej analizy czasowo-częstotliwościowej, która umożliwi porównanie sygnałów impulsowych wygenerowanych przy różnym obciążeniu sieci zasilającej. W niniejszym artykule przedstawiono metodę przetwarzania wykorzystującą do tego celu przekształcenie falkowe (ang. Wavelet Transform - WT).

Układ pracy jest następujący. W rozdziale 2 przedstawiono układ pomiarowy z generatorem sygnału impulsowego. W rozdziale 3 opisano układ generatora sygnału impulsowego. Rozdział 4 zawiera wyniki weryfikacji działania układu pomiarowego. W rozdziale 5 przedstawiono metodę przetwarzania sygnałów, której celem jest identyfikacja stanów OEE. W rozdziale 6 zaprezentowano wyniki przeprowadzonych eksperymentów. Rozdział 7 zawiera najważniejsze wnioski na temat skuteczności zaproponowanej metody oraz jej praktycznej skuteczności.

2. UKŁAD POMIAROWY Z GENERATOREM SYGNAŁU IMPULSOWEGO

Podstawowym elementem zaprojektowanego układu pomiarowego jest generator sygnału impulsowego. Wytwarza on sygnał impulsowy w regularnych odstępach czasu, np. co 1 s. Kształt sygnału impulsowego jest tak dobrany, aby był podatny na wpływ OEE zasilanych z tej samej sieci zasilającej. Sygnał impulsowy wytwarzany przez generator jest mierzony i zapisywany w postaci cyfrowej, co pozwala na jego dalsze przetwarzanie. Schemat opisanego układu pomiarowego przedstawiono na Rys. 1. Układ pomiarowy składa się z generatora sygnału impulsowego (GEN), odbiornika energii elektrycznej (OEE), przetwornika prąd-napięcie (PPN), układu dopasowującego (UD), przetwornika analogowo-cyfrowego (AC) oraz pamięci (PM). Badany OEE jest dołączony do sieci zasilającej o napięciu skutecznym 230 V i znamionowej częstotliwości 50 Hz.



Rys. 1. Schemat blokowy układu pomiarowego
Fig. 1. The measurement system block diagram

Napięcie sieci zasilającej $u(t)$ jest podawane do GEN poprzez zaciski WE/WY dołączone do przewodu fazowego L1 oraz przewodu neutralnego N. Napięcie synchronizacji $u_{\text{SYN}}(t)$ jest podawane z wyjścia synchronizacji WY-S generatora GEN na wejście synchronizacji WE-S przetwornika AC. Poziom napięcia synchronizacji określa chwile generowania sygnałów impulsowych.

Wysoki poziom napięcia $u_{\text{SYN}}(t)$ oznacza, że sygnał impulsowy jest generowany, natomiast niski poziom napięcia $u_{\text{SYN}}(t)$ oznacza, że sygnał impulsowy nie jest generowany. Prąd $i(t)$ zostaje zamieniony przez PPN na napięcie $u_{\text{PP}}(t)$. UD zamienia napięcie $u_{\text{PP}}(t)$ na napięcie $u_{\text{AC}}(t)$ o poziomie dostosowanym do zakresu dynamiki przetwornika AC, który dokonuje konwersji napięcia $u_{\text{AC}}(t)$ na próbki prądu i_n . Napięcie synchronizacji $u_{\text{SYN}}(t)$ podawane na wejście WE-S umożliwia przetwarzanie próbek prądu wyłącznie w chwili generowania sygnału impulsowego. PM przechowuje próbki prądu do dalszej analizy.

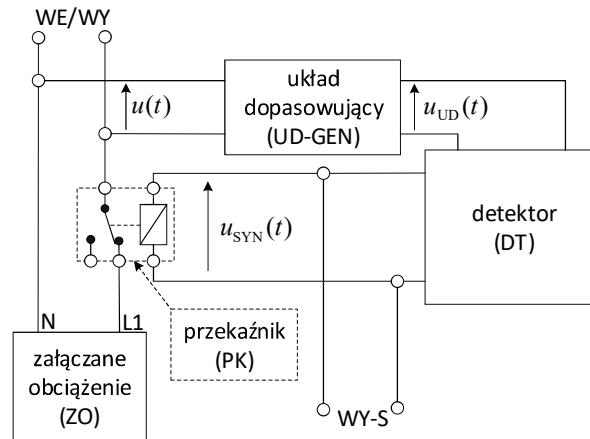
Przedstawiony układ pomiarowy umożliwia obserwowanie zmian parametrów generowanego sygnału impulsowego na skutek zmian obciążenia sieci, które stanowi OEE. Analiza impulsów generatora GEN przechowywanych w formie próbek i_n umożliwia wykrycie zmiany stanu OEE.

3. UKŁAD GENERATORA SYGNAŁU IMPULSOWEGO

Na Rys. 2 przedstawiono układ generatora sygnału impulsowego. Składa się on z załączanego obciążenia (ZO), układu dopasowującego (UD-GEN), detektora (DT) oraz przekaźnika (PK). Podczas projektowania generatora założono, iż będzie się on charakteryzował następującymi parametrami:

- załączenie obciążenia ZO generuje impuls prądu o wartości maksymalnej ok. 10 A,
- czas narastania impulsu wynosi ok. 60 μs ,
- całkowity czas trwania impulsu jest znacznie mniejszy niż 1 ms.

Wartość maksymalna impulsu oraz jego czas narastania wpływają na zawartość widmową impulsu. Założone wartości mają wpłynąć na to, aby widmo impulsu było jak najszersze. Całkowity czas trwania nie powinien być dłuższy niż 1 ms, aby generowany impuls nie spowodował uszkodzenia OEE podłączonych do tej samej sieci zasilającej. Ponadto chodzi o ograniczenie czasu analizy sygnału prądu.



Rys. 2. Schemat blokowy układu generatora sygnału impulsowego
Fig. 2. The block diagram of impulse signal generator

ZO stanowi integralną część generatora sygnału impulsowego. W odróżnieniu od badanego OEE jest to znane obciążenie o określonej transmitancji podłączane na chwilę do sieci zasilającej w celu wywołania zmiany parametrów zasilania tej sieci. W praktyce jako ZO można zastosować odbiornik energii elektrycznej dopuszczony do stosowania w sieci niskiego napięcia (nn), np. żarówkę energooszczędną. W takiej sytuacji generator impulsów nie różni się od innych występujących w sieci odbiorników energii elektrycznej, czyli nie korzysta z niej w sposób, który byłby niedopuszczalny. W takim przypadku użycie generatora sygnału impulsowego nie stwarza również ryzyka uszkodzenia badanych OEE na skutek dołączenia do sieci generatora o niewłaściwej charakterystyce. Parametry kształtu impulsu są determinowane przez ZO. Czas narastania impulsu oraz całkowity czas trwania impulsu są zależne od impedancji ZO. Amplituda impulsu zależy przede wszystkim od fazy napięcia, w której ZO zostaje dołączone do sieci zasilania. Zapewnienie takiej samej fazy napięcia w chwili załączania obciążenia to największe wyzwanie w układzie generatora impulsów. Chwilę załączania ZO należy zsynchronizować z fazą napięcia sieci zasilającej. Synchronizacja odbywa się następująco: napięcie sieci zasilającej $u(t)$ jest podawane na UD-GEN. Dopasowuje on poziom napięcia do zakresu dynamiki wejścia DT oraz stanowi izolację galwaniczną między siecią zasilającą a detektorem. Analizując napięcie $u_{UD}(t)$ detektor DT wykrywa określoną fazę napięcia. Wyjście synchronizacji WY-S zostaje w odpowiedniej chwili wysterowane poprzez

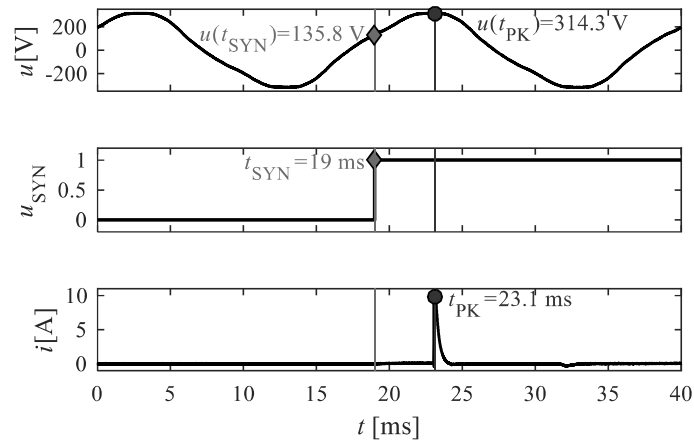
wysoki poziom napięcia $u_{\text{SYN}}(t)$. Podstawową funkcją PK jest dołączenie ZO do obwodu zasilania w chwili pojawienia się wysokiego poziomu napięcia $u_{\text{SYN}}(t)$.

Układ detektora DT dokonuje także korekcji chwili wysterowania WY-S ze względu na opóźnienie występujące w układzie detektora oraz opóźnienie wprowadzane przez PK, czyli czas między pojawieniem się stanu wysokiego na wejściu PK a chwilą złączenia styków PK. Funkcjami generatora steruje oprogramowanie umożliwiające m.in. określenie odstępu między kolejnymi wyzwoleniami impulsu oraz ustalenie poziomu napięcia wyzwalań.

4. WERYFIKACJA DZIAŁANIA UKŁADU POMIAROWEGO

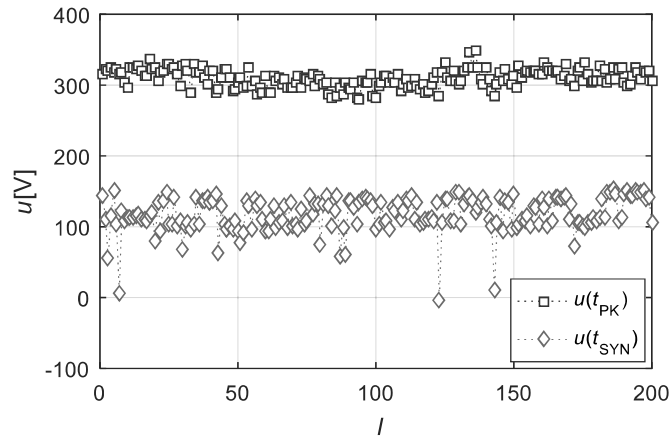
Podczas zestawiania układu pomiarowego ZO dobrano eksperymentalnie. Zastosowano żarówkę LED Osram typu AB30526 o nominalnym napięciu zasilania 230 V i mocy 17 W. Żarówka ta podczas włączenia generuje impuls, który spełnia wymagania postawione w rozdziale 3. Jako PK zastosowano przekaźnik elektromagnetyczny RELPOL typu RM699V-3011-85-1005.

W pierwszym kroku weryfikacji dokonano kalibracji układu pomiarowego. Poziom wyzwalań sygnału impulsowego ustalono na 320 V. Następnie eksperymentalnie dobierano współczynnik opóźnienia momentu wyzwolenia sygnału impulsowego do chwili, gdy początek sygnału impulsowego wystąpił dokładnie w momencie wystąpienia napięcia o zadanym poziomie wyzwalań. Przebiegi sygnałów w chwili generowania sygnału impulsowego przedstawiono na Rys. 3. Przebieg oznaczony u_{SYN} przedstawia poziom wyjścia synchronizacji w funkcji czasu. Chwila t_{SYN} (oznaczona diamentem) wskazuje moment zmiany stanu wyjścia synchronizacji. Przebieg oznaczony jako $i(t)$ reprezentuje prąd sygnału impulsowego w funkcji czasu. Chwila t_{PK} oznaczona kołem przedstawia początek sygnału impulsowego. Na przebiegu napięcia sieci zasilającej $u(t)$ zaznaczono chwilowe wartości napięcia w chwili wysterowania wyjścia synchronizacji $u(t_{\text{SYN}})$ oraz na początku generowania sygnału impulsowego $u(t_{\text{PK}})$. Różnica między chwilami t_{PK} oraz t_{SYN} wynosi około 4 ms i jest to czas upływający od chwili pojawienia się poziomu wysokiego na złączach przekaźnika PK do momentu zwarcia styków PK.



Rys. 3. Przebiegi sygnałów w chwili generowania sygnału impulsowego
 Fig. 3. Signal waveforms at the moment of pulse signal generation

Drugim etapem weryfikacji było wielokrotne powtórzenie generacji sygnału impulsowego przy takich samych ustawieniach generatora. Wykonano 200 generacji w celu sprawdzenia czy sygnał impulsowy jest generowany zawsze w tej samej, ustalonej fazie napięcia zasilania. Wyniki eksperymentu przedstawiono na Rys. 4 w postaci zależności chwilowej wartości napięcia u od kolejnych prób generacji l . Długościami oznaczono chwilową wartość napięcia zasilania $u(t_{SYN})$ w momencie wystawienia wyjścia synchronizacji. Kwadratami oznaczono chwilową wartość napięcia na początku generowania sygnału impulsowego. Sygnał impulsowy jest generowany w chwilach, gdy napięcie sieci zasilającej jest w zakresie od 290 V do 350 V. Taka dokładność jest wystarczająca, aby uzyskać powtarzalne impulsy na wyjściu układu generatora.

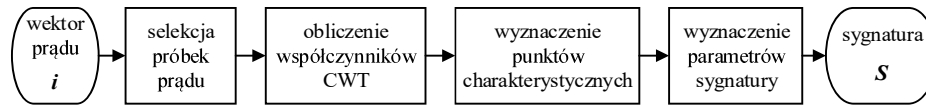


Rys. 4. Chwilowa wartość napięcia w kolejnych chwilach generacji sygnału impulsowego
 Fig. 4. The momentary voltage at successive moments of impulse signal generation

5. METODA IDENTYFIKACJI ZMIAN STANÓW OEE

Układ pomiarowy przedstawiony w rozdziale 2 rejestruje sygnał prądu, który powstaje w wyniku generacji impulsu i zapisuje go w postaci wektora \mathbf{i} . Celem proponowanej metody jest scharakteryzowanie wektora dyskretnych próbek prądu \mathbf{i} za pomocą cech liczbowych, które umożliwią wykrycie zmiany stanu OEE zasilanego z tego samego obwodu sieci nn. Wynikiem działania algorytmu jest zestaw cech wyrażonych w postaci liczb rzeczywistych, które opisują charakterystyczne właściwości sygnału impulsowego. Zbiór ten jest sygnaturą \mathcal{S} impulsu.

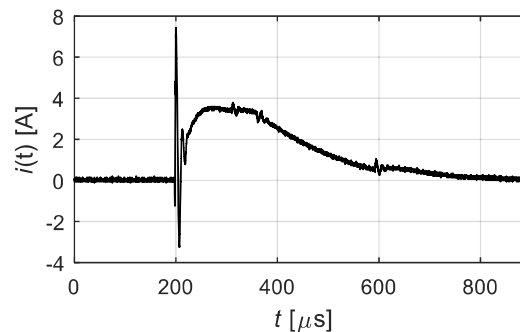
Na Rys. 5 przedstawiono schemat blokowy zaproponowanej metody identyfikacji. Składa się ona z trzech etapów realizowanych sekwencyjnie. Na wejście podawany jest sygnał prądowy, uprzednio próbkowany z założoną częstotliwością 30 MS/s. Wybierane są te próbki prądu, które charakteryzują zdarzenie związane z generacją impulsu. W pierwszym etapie następuje obliczenie współczynników transformaty falkowej oraz ich uporządkowanie w formie macierzy. Kolejny krok polega na wyznaczeniu punktów charakterystycznych w macierzy współczynników. W ostatnim etapie wyznaczone są parametry sygnatury \mathcal{S} . W kolejnych punktach opisano szczegóły operacji wykonywanych w ramach przedstawionych etapów.



Rys. 5. Schemat blokowy metody identyfikacji
Fig. 5. The block diagram of the method for identification

5.1. Selekcja próbek prądu

Wyznaczanie współczynników transformaty falkowej jest najbardziej wymagającą obliczeniowo operacją w ramach proponowanego algorytmu. Dla skuteczności działania metody najistotniejsze jest, aby poddać przekształceniu falkowemu fragment wektora prądu w pobliżu największego (zarówno jeśli chodzi o czas trwania, jak i amplitudę) zbocza impulsu. Dlatego też w wektorze prądu i znajdowana jest próbka o największej wartości, tj. i_{MAX} . Do dalszych obliczeń przekazywany jest fragment wektora prądu i_{SEL} , którego długość odpowiada czasowi trwania 900 μs , przy czym pierwsze 200 μs przypada na chwilę przed wystąpieniem wartości i_{MAX} , natomiast pozostałe 700 μs wypada już po wystąpieniu i_{MAX} . Przykład wektora prądu i_{SEL} przedstawiono na Rys. 6.



Rys. 6. Prąd impulsu wygenerowanego bez badanego OEE
Fig. 6. Current of impulse generated when no tested device is plugged

5.2. Wyznaczenie współczynników transformaty falkowej

Najczęściej obecnie wykorzystywanym przekształceniem falkowym jest dyskretna transformata falkowa (ang. DWT – Discrete Wavelet Transform), która w porównaniu z przekształceniem ciągłym (ang. CWT – Continuous Wavelet Transform) jest zdecydowanie mniej wymagająca obliczeniowo [5]. W proponowanej metodzie zastosowano jednak przekształcenie CWT, ponieważ pozwala ono na dobranie dowolnego kroku próbkowania płaszczyzny

czasowo-częstotliwościowej [6]. Ta cecha CWT umożliwia dokładne odwzorowanie sygnału w wybranym paśmie częstotliwości. Jest to szczególnie pomocne w opisywanym przypadku, gdy analizowany sygnał składa się z wielu składowych o istotnie różnych częstotliwościach (składowa podstawowa sieci energetycznej ma częstotliwość 50 Hz, podczas gdy składowe związane z sygnałem impulsowym przekraczają wartości kilkudziesięciu kHz).

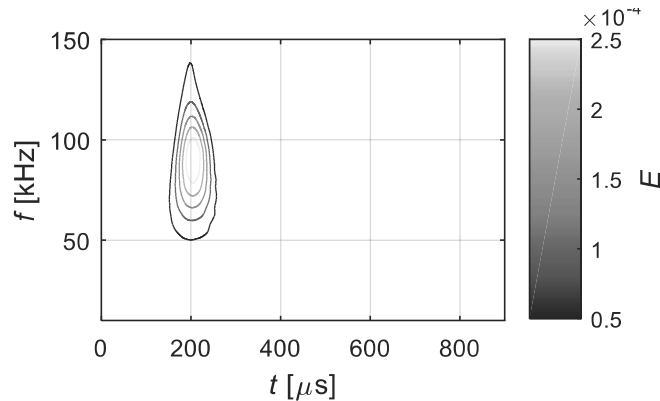
Do obliczenia współczynników przekształcenia falkowego wykorzystano falkę bazową typu "bump" zdefiniowaną w dziedzinie pulsacji ω . Na podstawie obserwacji i wstępnej analizy wielu zarejestrowanych sygnałów impulsowych określono, że pasmo dominującego fragmentu impulsu mieści się w zakresie częstotliwości od 10 do 150 kHz. Przedział częstotliwości, który zostanie odwzorowany przez przekształcenie falkowe jest determinowany przez zakres wartości współczynników skalujących falki bazowej. Dla zastosowanej falki bazowej częstotliwość f oraz współczynnik skali s można powiązać za pomocą zależności:

$$s = \frac{\mu}{2\pi \cdot f} \quad \text{gdzie: } \mu = 5. \quad (1)$$

Na podstawie powyższej zależności określono, że w celu wyznaczenia widma falkowego w wybranym zakresie częstotliwości, należy zmieniać współczynniki skali w przedziale od $5,2986 \cdot 10^{-6}$ do $8,1183 \cdot 10^{-5}$. W wyniku przekształcenia falkowego uzyskuje się macierz współczynników falkowych $W_{F \times T}$, gdzie F to liczba punktów częstotliwości f , dla których obliczono współczynniki transformaty, natomiast T to liczba próbek analizowanego sygnału prądu \dot{i}_{SEL} . Do dalszych obliczeń wykorzystuje się energię współczynników transformaty, którą wyznacza się z następującej zależności:

$$E_{t,f} = |W_{t,f}|^2. \quad (2)$$

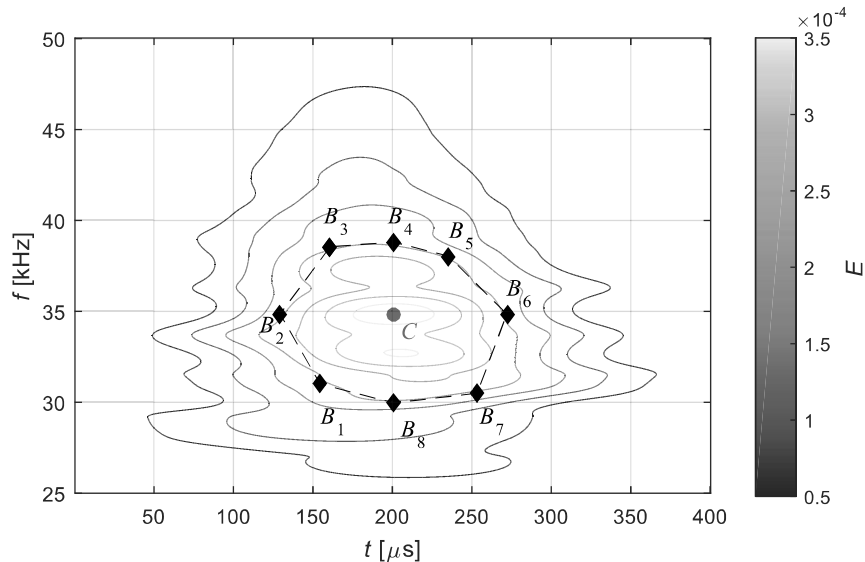
Energię współczynników falkowych zobrazowano w formie wykresu konturowego na Rys. 7.



Rys. 7. Energia współczynników falkowych impulsu wygenerowanego bez badanego OEE
 Fig. 7. Wavelet transform coefficients energy of impulse generated when no tested device is plugged

5.3. Wyznaczenie punktów charakterystycznych

Celem tego etapu jest znalezienie istotnych wartości w macierzy współczynników falkowych. Macierz energii współczynników E traktuje się jako zbiór punktów na płaszczyźnie czas-częstotliwość ($t-f$, jak na Rys. 8). W analizowanym przypadku najistotniejszym elementem macierzy E jest punkt o największej wartości energii, który nazwano punktem centralnym C (Rys. 8). W celu odwzorowania rozkładu wartości współczynników wokół punktu C zdefiniowano punkty graniczne $\{B_1, B_2, \dots, B_8\}$, dla których wartości energii współczynników $E_{t,f}$ przyjmują połowę wartości maksymalnej. Punkty graniczne zlokalizowane są na osiach głównych oraz na przekątnych przecinających punkt centralny C . W ten sposób kształt "wyspy" jest wstępnie opisany za pomocą współrzędnych dziewięciu punktów, co zostało przedstawione na Rys. 8.



Rys. 8. Wykres energii współczynników falkowych z zaznaczonymi punktami charakterystycznymi

Fig. 8. Graph of energy of wavelet coefficients with characteristic points marked

5.4. Wyznaczenie parametrów sygnatury

Bazując na współrzędnych punktów C oraz $B_{1..9}$ wyznaczono parametry sygnatury S . Współrzędne punktów C oraz $B_{1..9}$ wyrażone w postaci numerów wierszy i kolumn macierzy E stanowią cechy sygnatury o numerach 1..18. Odległości pomiędzy punktem C a kolejnymi punktami granicznymi stanowią cechy o numerach 19..26. Odległości między sąsiednimi punktami granicznymi to kolejne 8 cech sygnatury. Cechy o numerach 35, 36 i 37 to obwód, pole oraz kłistość (ang. circularity) [7] figury ograniczonej punktami $\{B_1, B_2, \dots, B_8\}$. Dwie ostatnie cechy sygnatury to czas (38) i częstotliwość (39) dla punktu C .

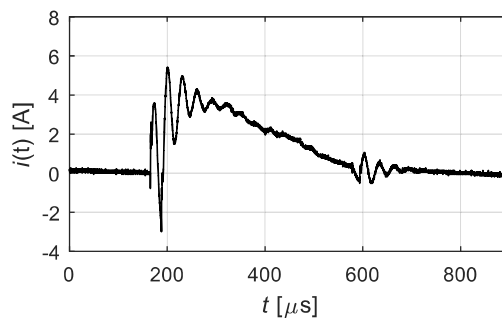
6. WYNIKI EKSPERYMENTÓW

Podczas prowadzonych eksperymentów generator wytwarzał sygnał impulsowy w odstępach 3,2 s. Próbkę prądu były rejestrowane z częstotliwością

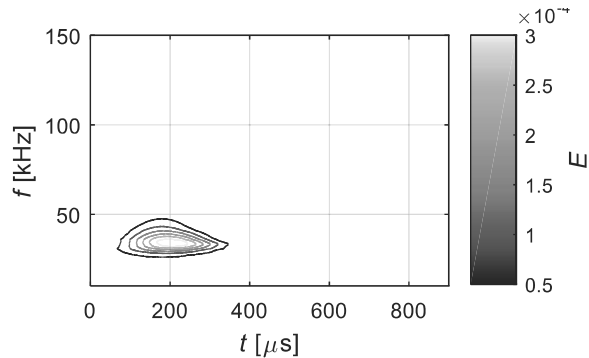
30 MS/s. W wyniku każdej z rejestracji otrzymano wektor prądu o długości $3 \cdot 10^6$ próbek.

Wykonano 6 serii pomiarowych. Podczas pierwszej serii nie podłączono żadnego OEE. Podczas kolejnych pięciu serii podłączano następujące urządzenia: żarówkę LED, wyciskarkę soków, odkurzacz, lampę fluorescencyjną, czajnik elektryczny. W każdej serii wygenerowano oraz zarejestrowano 30 impulsów.

Na Rys. 9 i Rys. 10 pokazano przykładowy wynik eksperymentu, gdy pracującym w tle urządzeniem była wyciskarka do soków. W porównaniu z Rys. 6 i Rys. 7 na których przedstawiono analogiczne wykresy dla serii pomiarowej bez badanego OEE, widać istotną zmianę kształtu impulsu na przebiegu czasowym. Różnica jest również widoczna w wynikach transformaty falkowej. Energia współczynników transformaty skupia się w innym fragmencie obserwowanego pasma. "Wyspa" zmieniła swój kształt z podłużnego na okrągły, natomiast częstotliwość środkowa zmniejszyła się z ok. 90 kHz (gdy nie było badanego OEE) do ok. 30 kHz (gdy badany OEE była wyciskarka soków).



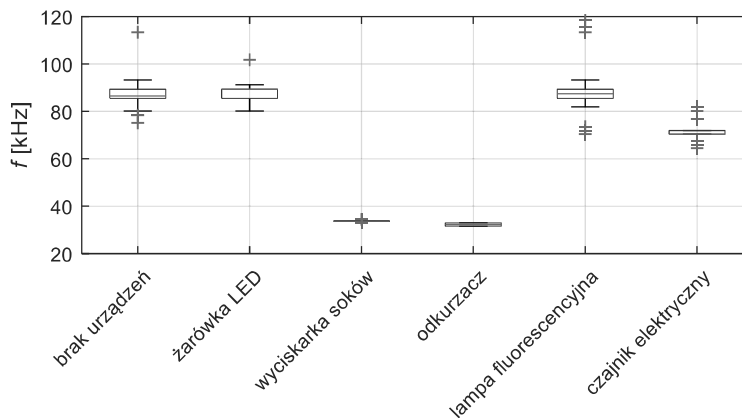
Rys. 9. Prąd impulsu wygenerowanego podczas pracy wyciskarki soków
Fig. 9. Current of impulse generated when juice squeezer is plugged



Rys. 10. Energia współczynnika falkowych impulsu wygenerowanego podczas pracy wyciskarki soków

Fig. 10. Wavelet transform coefficients energy of impulse generated when juice squeezer is plugged

Na Rys. 11 przedstawiono wartości cechy sygnatury nr 39, czyli częstotliwości odpowiadającej punktowi centralnemu. Zastosowanie wykresów skrzynkowych pozwala na przedstawienie wartości cechy dla wszystkich wykonanych eksperymentów. Częstotliwość punktu centralnego wyniosła około 90 kHz w trzech konfiguracjach: gdy w tle nie pracowało żadne urządzenie, gdy pracowała żarówka LED oraz gdy pracowała lampa fluorescencyjna. Wartość cechy wyniosła około 70 kHz, gdy pracującym urządzeniem był czajnik elektryczny. Podczas pracy odkurzacza lub wyciskarki soków wartość cechy to 30 kHz. Typ pracującego OEE ma zatem istotny wpływ na parametry rejestrowanego sygnału impulsowego.



Rys. 11. Wykres skrzynkowy cechy nr 39 – częstotliwości punktu centralnego

Fig. 11. Boxplot of feature no. 39 – The frequency of central point

7. PODSUMOWANIE

Zaprojektowany i wykonany układ pomiarowy umożliwia generowanie sygnałów impulsowych w wybranej fazie napięcia. Sygnały uzyskiwane w wyniku akwizycji stanowią podstawę do przeprowadzenia analiz czasowo-częstotliwościowych, których wynikiem jest określenie aktualnego stanu pracy OEE. Przedstawione wyniki eksperymentów pokazują, że zaproponowany system pomiarowy oraz metoda przetwarzania umożliwiają identyfikację zmian stanów niektórych OEE w obwodzie sieci niskiego napięcia. Zmiana stanu tego obwodu wpływa na parametry generowanego sygnału impulsowego. Zastosowanie przekształcenia falkowego umożliwia opisanie zmiany kształtu impulsu a co za tym idzie, wykrycie zmiany stanu OEE.

LITERATURA

1. Shaw, S.R.; Leeb, S.B.; Norford, L.K.; Cox, R.W.: Nonintrusive Load Monitoring and Diagnostics in Power Systems, *IEEE Trans. Instrum. Meas.* 2008, ss. 1445–1454.
2. Torquato, R., Acharya, J., Xu, W.: A Method to Determine Stray Voltage Sources - Part II: Verifications and Applications, *IEEE Trans. On Power Delivery*, 2015, ss. 720-727.
3. Duarte, C.; Delmar, P.; Goossen, K.W.; Barner, K.; Gomez-Luna, E. Non-intrusive load monitoring based on switching voltage transients and wavelet transforms, *Proc. 2012 Futur. Instrum. Int. Work*, ss. 101–104.
4. Wójcik, A.; Winiecki, W.; Łukaszewski, R.; Bilski, P.: Analysis of Transient State Signatures in Electrical Household Appliances, *Proc. of the 2019 10th IEEE International Conference on Intelligent Data Acquisition and Advanced Computing Systems*, 2019, ss. 639–644.
5. Lin, Y.; Tsai, M.: Non-Intrusive Load Monitoring by Novel Neuro-Fuzzy Classification Considering Uncertainties, *IEEE Transactions on Smart Grids*, 2014, ss. 2376-2384.
6. Torrence, C., and Gilbert P. Compo. "A practical guide to wavelet analysis." *Bull. Am. Meteorol. Soc.* 79.1, ss. 61-78, 1998.
7. Friel J., Grande J., Hetzner D., et. al., *Practical Guide to Image Analysis*. 2000. Web.