

prof. dr hab. inż. Ryszard Rybski
Instytut Metrologii, Elektroniki i Informatyki
Uniwersytet Zielonogórski
ul. prof. Z. Szafrana 2
65-516 Zielona Góra
email: r.rybski@imei.uz.zgora.pl

Zielona Góra, 1 sierpnia 2023 r.

WPŁYNEŁO

2023 -08- 04
dn.....

RECENZJA

**rozprawy doktorskiej Pana mgr. inż. Krzysztofa Dowalli
pt. „Rozpoznawanie stanów odbiorników energii elektrycznej z wykorzystaniem analizy
zniekształceń w obrębie jednego okresu sygnału prądu”
opracowana na zlecenie Rady Naukowej Dyscypliny Automatyka, Elektronika,
Elektrotechnika i Technologie Kosmiczne Politechniki Warszawskiej**

1. Obszar problemowy rozprawy

Gospodarka energetyczna jest jednym z najważniejszych problemów współczesnego świata. Prowadzone są wielokierunkowe działania, których celem jest z jednej strony dążenie do zaspokojenia ciągle rosnącego zapotrzebowania na energię, z drugiej strony zapobieganie negatywnym skutkom oddziaływania na środowisko, będących następstwem wytwarzania i wykorzystywania energii.

Jednym z kierunków działań w tym obszarze są przedsięwzięcia związane z oszczędnym zużywaniem energii elektrycznej. Prowadzone są m.in. prace zmierzające do efektywniejszego wykorzystania energii elektrycznej po stronie użytkowników końcowych, zarówno odbiorców przemysłowych jak i gospodarstw domowych. Poza oczywistymi działaniami polegającymi na wprowadzaniu nowych technologii i urządzeń o zmniejszonym zapotrzebowaniu na energię elektryczną, ważne są przedsięwzięcia umożliwiające racjonalne wykorzystanie odbiorników energii elektrycznej (OEE). W tym przypadku użytkownik końcowy powinien dysponować informacją o bieżącym zużyciu energii. Jednak dla większości użytkowników końcowych w dalszym ciągu jeszcze podstawowym i zwykle jedynym źródłem informacji o zużywanej energii są rachunki od dostawcy energii. Taka informacja jest niewystarczająca do wypracowania pożądanych nawyków, nawet u odbiorców w pełni uświadamiających sobie konieczność oszczędzania energii elektrycznej, coraz częściej nie tylko z powodów wyłącznie ekonomicznych ale również z ogólnie pojętego podejścia proekologicznego.

Jednym ze sposobów rozwiązania tego problemu jest wdrażanie systemów monitorowania zużycia energii elektrycznej (ang. ALM - Appliance Load Monitoring), które dostarczają na bieżąco informacji o zużyciu energii przez poszczególne OOE. Publikowane wyniki badań potwierdzają wymierne korzyści wynikające ze stosowania takich systemów. Aktualnie stosowane systemy ALM są systemami typu ILM (ang. Intrusive Load Monitoring). W tych inwazyjnych systemach każde urządzenie jest indywidualnie opomiarowane. Takie rozwiązanie jest kosztowne a jego wdrażanie może być ekonomicznie uzasadnione jedynie w przypadku budowania nowych obiektów. Alternatywą są systemy nieinwazyjnego monitorowania zużycia energii elektrycznej (ang. Non-Intrusive Load Monitoring - NILM). "Nieinwazyjność" systemu



oznacza, że niezbędne pomiary wykonywane są w jednym miejscu sieci zasilającej, którym może być np. miejsce dołączenia licznika energii elektrycznej, natomiast odpowiednie algorytmy pozwalają wyznaczyć pobory energii przez poszczególne odbiorniki. Wstępne badania pokazują, że tego typu systemy mogą być wykorzystywane również do diagnostyki urządzeń, wykrywania uszkodzeń lub anomalii w ich funkcjonowaniu. Informacje z takiego systemu są przydatne w pierwszej kolejności dla użytkownika końcowego ale również mogłyby być wykorzystane np. do modelowania popytu na energię elektryczną.

Obecnie stosowane systemy NILM istotnie ustępują skutecznością działania systemom inwazyjnym. Koncepcja systemów nieinwazyjnych jest stosunkowo nowa. Jej początki datuje się na lata 80-te ubiegłego wieku. Badania zostały zintensyfikowane w ostatniej dekadzie. Dotychczasowe wyniki badań pokazują, że systemy NILM charakteryzują się nie tylko niższymi kosztami wdrożenia ale również potencjalnie mają możliwości funkcjonalne na poziomie systemów inwazyjnych. Aktualnie jednak systemy te mają jeszcze pewne ograniczenia, w tym m.in. nie pozwalają na bezbłędną identyfikację niektórych odbiorników oraz wykrywanie nieprawidłowości w ich pracy. Do kierunków prowadzonych obecnie badań będzie jeszcze nawiązanie w części recenzji poświęconej koncepcji oraz realizacji rozprawy. Jednak już ta krótką, przedstawioną wyżej charakterystyka systemów nieinwazyjnego monitorowania wskazuje, że konieczne są dalsze badania, które wyeliminowałyby istniejące ograniczenia.

Badania w ww. obszarze prowadzone są m.in. przez zespół badawczy Politechniki Warszawskiej a zainicjowane zostały kilka lat temu przez prof. Wiesława Winieckiego. Jednym z głównych celów badań było opracowanie metod i algorytmów przetwarzania i analizy sygnałów, które pozwoliłyby przezwyciężyć dotychczasowe ograniczenia systemów nieinwazyjnego monitorowania zużycia energii elektrycznej. W tej sytuacji poniekąd naturalnym wydaje się podjęcie przez Autora rozprawy, który jest członkiem wspomnianego zespołu, prac badawczych zmierzających do opracowania nowych metod poprawiających skuteczność działania znanych dotychczas rozwiązań systemów NILM.

Uwzględniając przedstawione wyżej argumenty uważam, że podjęte w recenzowanej pracy doktorskiej badania naukowe, których celem jest (str. 18 rozprawy): „*opracowanie nowych metod rozpoznawania stanów odbiorników energii elektrycznej z wykorzystaniem analizy zniekształceń w obrębie jednego okresu sygnału prądu sieci nn, które mogą zostać wykorzystane w systemach NILM*” są aktualne i ważne oraz mają istotne znaczenie teoretyczne i praktyczne dla nauk inżynierjno-technicznych.

2. Koncepcja oraz realizacja rozprawy

Przystępując do charakterystyki rozprawy należy w tym miejscu zaznaczyć, że stanowi ona zbiór opublikowanych i powiązanych tematycznie artykułów naukowych, co jest zgodne z Art. 187, ust. 3. obowiązującej ustawy "Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce".

Recenzowana rozprawa doktorska obejmuje w kolejności: streszczenie w języku polskim i w języku angielskim, spis treści, wprowadzenie (rozdział 1, str. 9-19), wkład Autora rozprawy (rozdział 2, str. 20-33), kopie publikacji składających się na rozprawę (rozdział 3, str. 34-144), podsumowanie (rozdział 4, str. 145-148) oraz bibliografię (151 pozycji obejmujących najważniejsze publikacje odzwierciedlające stan badań w zakresie tematycznym rozprawy). Rozprawa liczy łącznie 159 stron numerowanych.



Rozdział pierwszy jest wprowadzeniem do pracy, w którym dokonano przeglądu oraz oceny znanych rozwiązań systemów NILM, przedstawia motywację, cel oraz tezę pracy. Istotne dla sformułowania tezy pracy elementy znajdują się w podrozdziałach 1.2 i 1.3. W pierwszym z nich dokonano klasyfikacji systemów ze względu na częstotliwość próbkowania sygnałów. W systemach Grupy I - LF - pomiary wykonuje się z częstotliwością próbkowania rzędu kilku herców, co m.in. nie pozwala na identyfikację odbiorników o zbliżonej mocy. W systemach Grupy II - MF - próbkuje się sygnały z częstotliwością z przedziału od 1 kHz do kilkudziesięciu kHz, do identyfikacji OEE stosuje się analizę zniekształceń sygnałów bazującą na analizie widmowej, najczęściej w oparciu o algorytm FFT. W systemach Grupy III - HF sygnały próbkowane są z częstotliwością od kilkudziesięciu kHz do pojedynczych MHz i do identyfikacji OEE wykorzystuje się analizę zniekształceń bazującą na przekształceniu Fouriera, w tym przede wszystkim SFTF (ang. Short-Time Fourier Transform). Tu istotnym ograniczeniem jest utrata informacji o czasie występowania składowych prądu i napięcia. Z tego powodu rozwijane są metody analizy czasowo-częstotliwościowej opartej na przekształceniu falkowym. Badania te są m.in. ukierunkowane na wykrywanie zdarzeń, która to funkcjonalność jest niezbędna w systemach NILM. Kolejną istotną cechą systemów NILM jest możliwość identyfikacji uszkodzeń poszczególnych OEE. Przeglądowi stanu wiedzy w tym obszarze, ukierunkowanemu na identyfikację uszkodzeń będących następstwem występowania szeregowego zwarcia łukowego poświęcono podrozdział 1.3.

W oparciu o przedstawiony w usystematyzowany i przejrzysty sposób stan wiedzy dotyczący systemów monitorowania zużycia energii elektrycznej, Autor formułuje główny cel pracy (przedstawiony już wcześniej w recenzji) oraz stawia następującą główną tezę: "Istnieje możliwość rozpoznawania zmian stanów odbiorników energii elektrycznej na podstawie analizy zniekształceń w obrębie jednego okresu sygnału prądu sieci niskiego napięcia."

Na udowodnienie głównej tezy złożą się dowody, wskazanych przez Autora, następujących szczegółowych tez: poprzez analizę zniekształceń w obrębie jednego okresu sygnału prądu sieci niskiego napięcia istnieje możliwość: detekcji zmiany stanu przez którykolwiek spośród OEE w danym obwodzie; identyfikacji, który OEE w danym obwodzie zmienił stan; odróżnienia zmian stanu przez OEE o zbliżonym poborze prądu; odróżnienia zmian stanu przez OEE o zbliżonej charakterystyce prądowo-napięciowej; poprawy stabilności przetwarzanego sygnału poprzez przetwarzanie z uwzględnieniem okresowości sygnałów w sieci nn; detekcji uszkodzenia urządzenia lub obwodu podczas pracy wielu OEE; identyfikacji uszkodzonego urządzenia lub urządzenia zasilanego przez uszkodzoną linię zasilającą.

Rozdział pierwszy kończy lista publikacji składających się na rozprawę, którą zamieszczono poniżej w wersji podanej przez Autora.

- P1. Dowalla K., Winiecki W., Łukaszewski R., Kowalik R., "Identyfikacja odbiorników energii elektrycznej z wykorzystaniem przekształcenia falkowego sygnałów napięcia zasilającego", Przegląd Elektrotechniczny, 94(11), s. 42-46, 2018, DOI:10.15199/48.2018.11.10, **punktacja MNiSW: 70, udział autora rozprawy: 60%**.
- P2. Dowalla K., Łukaszewski R., Wójcik A., Januszewski M., "Adaptacja systemu pomiarowego i metoda przygotowania danych do badań algorytmów NIALM", R. Rybski (red.), "Systemy pomiarowe w teorii i w praktyce", Uniwersytet Zielonogórski, 2020, s. 29-44, ISBN 978-83957716-1-3, **punktacja MNiSW: 20, udział autora rozprawy:**

70%.

- P3. Dowalla K., Bilski P., Łukaszewski R., Wójcik A., Kowalik R., "Application of the Time-Domain Signal Analysis for Electrical Appliances Identification in the Non-Intrusive Load Monitoring", *Energies*, 15(9), 2022, DOI: 10.3390/en15093325, **punktacja MNiSW: 140, udział autora rozprawy: 60%**.
- P4. Dowalla K., Bilski P., Łukaszewski R., Wójcik A., Kowalik R., "NILM Application for Real Time monitoring of appliances energy consumption", Zbigniew Kokosiński (red.), *Proceedings of the 11th IEEE International Conference IDAACS, Institute of Electrical and Electronics Engineers*, 2021, s.1022-1025, ISBN 978-1-6654-4210-7, DOI: 10.1109/IDAACS553288.2021.9660389, **punktacja MNiSW: 20, udział autora rozprawy: 60%**.
- P5. Dowalla K., Bilski P., Łukaszewski R., Wójcik A., Kowalik R., "Wpływ częstotliwości próbkowania na skuteczność systemu NILM z analizą sygnałów w dziedzinie czasu", *Przegląd Elektrotechniczny*, 2022, 98(11), s.173-176, DOI: 10.15199/48.2022.11.35, **punktacja MNiSW: 70, udział autora rozprawy: 60%**.
- P6. Wójcik A., Bilski P., Łukaszewski R., Dowalla K., Kowalik R., "Identification of the State of the Electrical Appliances with the Use of a Pulse Signal Generator", *Energies*, 14(3), 2021, DOI: 10.3390/en14030673, **punktacja MNiSW: 140, udział autora rozprawy: 10%**.
- P7. Dowalla K., Bilski P., Kowalik R., "Series arc fault detection and line selection based on Non-Intrusive Load Monitoring Method", *Proceedings of the 18th IMEKO TC10 Conference: Measurement for Diagnostics, Optimization and Control to Support Sustainability and Resilience, International Measurement Confederation*, 2022, s. 90-94, ISBN 978-92-990090-0-0, **punktacja MNiSW: 0, udział autora rozprawy: 70%**.
- P8. Dowalla K., Bilski P., Łukaszewski R., Wójcik A., Kowalik R., "A Novel Method for Detection and Location of Series Arc Fault for Non-Intrusive Load Monitoring", *Energies*, 16(1), 2023, DOI: 10.3390/en16010171, **punktacja MNiSW: 140, udział autora rozprawy: 60%**.

Rozdział drugi (Wkład autora rozprawy) oraz rozdział trzeci (Kopie publikacji składających się na rozprawę) zostaną poniżej scharakteryzowane i ocenione łącznie.

Zbiór publikacji składających się na rozprawę obejmuje: 5 artykułów opublikowanych w czasopiśmie, w tym 3 artykuły w *Energies* (P3, P6, P8, 140 punktów, wkład autora odpowiednio 60%, 10%, 60%), 2 artykuły w *Przeglądzie Elektrotechnicznym* (P1, P5, 70 punktów, wkład autora w obydwu pracach - 60%), dwa rozdziały w monografiach (P2, P4, 20 punktów, wkład autora odpowiednio 70% i 60%), 1 artykuł w materiałach konferencji międzynarodowej (P7, 0 punktów, wkład autora - 70%).

Wszystkie publikacje są wieloautorskie. W tej sytuacji skoncentruję się na ocenie tych prac przede wszystkim mając na uwadze ich zawartości merytoryczną w zakresie wynikającym z deklarowanego przez Autora rozprawy udziału w ich opracowaniu.

Praca P1 dotyczy identyfikacji OEE z wykorzystaniem przekształcenia falkowego sygnałów napięcia zasilającego. W pracy przedstawiono i zweryfikowano eksperymentalnie zaproponowaną przez Autora koncepcję wykorzystania ciągłego przekształcenia falkowego w celu uzyskania dokładnej informacji o czasie występowania poszczególnych składowych

widna na podstawie analizy sygnału napięcia w obrębie jednego okresu. Dzięki temu poprawiono skuteczność identyfikacji stanu pracy OEE w porównaniu z wcześniej stosowaną, również przez Autora, analizą częstotliwościową z wykorzystaniem STFT.

Publikacje P2-P6, dotyczące metod wykorzystujących analizę w dziedzinie czasu, stanowią kluczową część rozprawy i obejmują zaproponowane przez Autora nowe metody detekcji i rozpoznawania stanów OEE oparte na analizie sygnałów prądu i napięcia w dziedzinie czasu.

W pracy P2 przedstawiono zaproponowaną przez Autora metodę wstępnego przetwarzania danych pomiarowych polegającą na ich zapisie w postaci macierzowej. Za pomocą opracowanego w tym celu systemu pomiarowego wykonano eksperymenty, w wyniku których powstał autorski zbiór danych niezbędny do badań nad nowymi metodami NILM. Zapis przekształconych odpowiednio próbek prądu w postaci macierzy IP pozwolił na opracowanie nowego sposobu wyznaczania sygnatury OEE. Był też podstawą do zaproponowanego, nowatorskiego w odniesieniu do algorytmów NILM, sposobu poprawy stosunku sygnału do szumu wykorzystującego filtrację medianową próbek występujących w określonych chwilach okresu składowej podstawowej - filtracja medianowa wzdłuż wierszy wspomnianej macierzy IP.

Kluczowym zagadnieniem umożliwiającym zastosowanie algorytmów identyfikacji OEE jest wykrycie zmiany stanu któregoś z urządzeń, co jest określane dalej mianem detekcji zdarzenia. Znane z dotychczasowych publikacji algorytmy bazujące m.in. na analizie zmiany natężenia prądu czy też mocy pobieranej przez odbiorniki jak również oparte na analizie czasowo-częstotliwościowej nie zapewniają skutecznej detekcji zdarzeń w przypadku odbiorników dużej mocy lub jednoczesnej pracy większej liczby odbiorników o łącznej mocy powyżej ok. 1 kW. W pracy P3 zaproponowano nowe podejście wykorzystujące analizę sygnałów w dziedzinie czasu. Bazuje ono na zastosowaniu wektorów zmian prądu i sygnatur. Kluczowe znaczenie dla wykorzystania analizy zmian wymienionych wektorów miało zaproponowane przez Autora wprowadzenie miary podobieństwa między porównywanymi wektorami zmian natężenia prądu SF (ang. Similarity Factor), której wartość jest równa odległości euklidesowej między analizowanym wektorem zmian natężenia prądu oraz wektorem sygnatur. Ponadto istotne było wprowadzenie wartości progowej współczynnika podobieństwa jako elementu wzorca (sygnatury) OEE. Przedstawione w pracy wyniki badań potwierdziły skuteczność detekcji i identyfikacji pracujących jednocześnie różnego typu OEE, również w przypadku odbiorników o podobnym poborze mocy oraz zbliżonych charakterystykach prądowo-napięciowych.

W pracy P4 przedstawiono aplikację NILM do monitorowania zużycia energii przez urządzenia w czasie rzeczywistym. W ramach pracy Autor zaimplementował algorytm detekcji zdarzeń oraz identyfikacji OEE w środowisku Matlab do pracy w trybie ciągłym, opracował i zaimplementował interfejs użytkownika oraz funkcjonalności systemu NILM w środowisku Matlab i przeprowadził testy skuteczności zaimplementowanych algorytmów.

W dotychczas przeprowadzonych i przedstawionych w rozprawie eksperymentach sygnały były próbkowane ze stosunkowo wysoką częstotliwością (250 kHz). Biorąc pod uwagę możliwość wykorzystania opracowanego systemu do celów komercyjnych, istotnym kryterium stają się koszty realizacji systemu. Obniżenie kosztów jest możliwe m.in. poprzez uproszczenie części sprzętowej, w tym m.in. umożliwienie pracy systemu z mniejszą częstotliwością próbkowania. W pracy Autor przedstawił wyniki badań, których celem było określenie minimalnej częstotliwości próbkowania zapewniającej akceptowalny poziom skuteczności systemu. W badaniach Autor wykorzystał wcześniejsze dane, uzyskane poprzez próbkowanie

z wysoką częstotliwością, przeprowadzając analizy na danych z programowo obniżoną częstotliwością próbkowania.

Przedstawione dotychczas w rozprawie zagadnienia koncentrowały się na algorytmach opracowanych do badania sprawnych OEE pracujących w instalacji wolnej od uszkodzeń. Istotnym rozszerzeniem funkcjonalności systemu NILM jest możliwość identyfikacji uszkodzeń poszczególnych OEE oraz kompletnego obwodu. W pracach P7 i P8 zostały zaproponowane nowe metody detekcji i lokalizacji uszkodzeń elektrycznych w obwodzie sieci na przykładzie szeregowego zwarcia łukowego. W pracy P7 przedstawiono zaplanowane i przeprowadzone przez Autora odpowiednie eksperymenty z wykorzystaniem opracowanego generatora zwarć łukowych. Zaproponowane i zdefiniowane nowe wskaźniki występowania zwarć łukowych w połączeniu z uzyskanymi danymi eksperymentalnymi były podstawą do opracowania nowej koncepcji identyfikacji miejsca wystąpienia zwarcia łukowego poprzez identyfikację urządzeń pracujących w obwodzie. Przedstawiono również wyniki badań eksperymentalnych potwierdzających poprawność metody. W pracy P8 przedstawiono wyniki badań będące istotnym rozszerzeniem pracy P7. M.in. zastosowano zmodyfikowany układ pomiarowy, który znacząco rozszerzył bazę danych. To z kolei pozwoliło na zdefiniowanie 11 nowych wskaźników występowania zwarcia łukowego oraz modyfikację wcześniejszego algorytmu lokalizacji szeregowego zwarcia łukowego. Poprawiło to skuteczność lokalizacji zwarcia łukowego nawet w przypadku nieciągłości trwania łuku.

Rozprawę zamyka podsumowanie, w którym Autor wymienia najważniejsze oryginalne osiągnięcia oraz formułuje najważniejsze wnioski.

Dokonując merytorycznej oceny całej rozprawy stwierdzam, że jest ona napisana na dobrym poziomie merytorycznym. Zawiera właściwie sformułowany i ważny problem naukowy oraz prezentuje poprawne rozwiązanie tego problemu, które zostało uzyskane przez Autora samodzielnie i z zastosowaniem odpowiedniej metodologii naukowej. Na podstawie przedstawionego omówienia treści całej rozprawy doktorskiej należy odnotować, że jej Autor wykazał się bardzo dobrymi umiejętnościami formułowania problemów naukowo-badawczych oraz ich efektywnego rozwiązywania wykorzystując przy tym wiedzę z zakresu systemów pomiarowych, teorii obwodów, modelowania, badań symulacyjnych i eksperymentalnych oraz cyfrowego przetwarzania sygnałów.

3. Oryginalne osiągnięcia

Udowadniając sformułowaną tezę oraz realizując wyznaczone cele badawcze, Autor rozprawy uzyskał kilka oryginalnych wyników naukowych, do których między innymi zaliczam:

1. Opracowanie oryginalnych metod analizy stanów sieci niskiego napięcia, umożliwiających wyodrębnić zmiany w obrębie jednego okresu składowej podstawowej, w oparciu o analizę w dziedzinie czasu zarejestrowanych cyfrowo przebiegów sygnałów prądu i napięcia. Na podkreślenie zasługuje zaproponowany sposób przekształcenia sygnałów do notacji macierzowej umożliwiający filtrację próbek występujących w konkretnej fazie okresu składowej podstawowej, co znacząco poprawiło stabilność sygnału.

2. Opracowanie sposobu definiowania parametrów sygnatur charakteryzujących poszczególne odbiorniki energii elektrycznej, umożliwiających rozpoznawanie zmiany ich stanu. Na uwagę zasługuje fakt, że do wyznaczenia sygnatury pojedynczego odbiornika energii elektrycznej wystarczający jest sygnał zarejestrowany podczas pojedynczej zmiany stanu.
3. Wykazanie w oparciu o przeprowadzone przez Autora testy laboratoryjne, że parametry zdefiniowanych sygnatur są charakterystyczne i mogą zostać wykorzystywane do identyfikacji obserwowanych zdarzeń (załączeń odbiorników energii elektrycznej). Przy tym należy podkreślić, iż zaproponowana metoda rozpoznawania zdarzeń utrzymuje wysoki poziom dokładności rozpoznawania odbiorników energii elektrycznej również wraz ze wzrostem liczby odbiorników pracujących w tle podczas rozpoznawanej zmiany.
4. Wykazanie wpływu częstotliwości próbkowania analizowanych przebiegów prądu i napięcia na skuteczność rozpoznawania obserwowanych zdarzeń wraz z uwzględnieniem charakterystyki prądowo-napięciowej rozpoznawanych odbiorników.
5. Opracowanie sposobu wyznaczania wartości 11 oryginalnych wskaźników występowania szeregowego zwarcia łukowego, bazujących na analizie zarejestrowanych cyfrowo przebiegów sygnałów prądu i napięcia w dziedzinie czasu.
6. Praktyczne wyznaczenie, na podstawie przeprowadzonych fizycznych testów laboratoryjnych, najbardziej efektywnych wskaźników występowania szeregowego zwarcia łukowego opartych o analizę w dziedzinie czasu,.
7. Opracowanie oryginalnego wskaźnika umożliwiającego identyfikację miejsca występowania zwarcia łukowego w obwodzie, poprzez identyfikację odbiorników energii elektrycznej zasilanych poprzez zwarcie łukowe. Wartości wskaźnika są wyznaczane na podstawie bezwzględnych różnic wartości próbek prądu między sąsiednimi okresami składowej podstawowej napięcia sieci niskiego napięcia, podczas których szeregowe zwarcie łukowe zostało wykryte w ciągu 50 kolejnych analizowanych okresów składowej podstawowej napięcia sieci.

Mając na uwadze wyżej wymienione oryginalne osiągnięcia naukowe uważam, że Pan mgr inż. Krzysztof Dowalla zrealizował założony cel badawczy oraz uzasadnił słuszność sformułowanej tezy. Ponadto wykazał się umiejętnościami samodzielnego rozwiązywania problemów naukowo-technicznych z wykorzystaniem właściwych metod badawczych i na poziomie naukowym odpowiadającym wymaganiom przy realizacji rozpraw doktorskich z nauk inżynierijno-technicznych.

4. Uwagi i komentarze

Podtrzymując pozytywną ocenę całej rozprawy doktorskiej można jednak sformułować następujące uwagi natury ogólnej i szczegółowej:

1. Sygnatury urządzeń w publikacjach dotyczących rozpoznawania odbiorników energii elektrycznej oparte są na przebiegach sygnału prądu w obrębie jednego okresu sygnału składowej podstawowej sygnału napięcia. W przypadku większych obciążeń wartość skuteczna sygnału napięcia może się obniżyć, co ma wpływ na wartość sygnału prądu, którego próbki są elementami sygnatury urządzeń. Czy te zmiany wartości napięcia nie wpłynęły istotnie na skuteczność zaproponowanego w rozprawie algorytmu? Ponadto z treści

rozprawy nie wynika przez jaki czas zbierane były dane pomiarowe, a poziom napięcia w sieci niskiego napięcia może zmieniać się w pewnym zakresie np. ciągu doby, ze względu na dołączanie odbiorników o stosunkowo dużej mocy i różnym charakterze.

2. Do rozpoznawanie odbiorników energii elektrycznej stosowano bardzo prosty klasyfikator k Najbliższych Sąsiadów, na dodatek z $k = 1$ (nie uwzględniający zatem sąsiedztwa). Przy użyciu nawet nieznacznie bardziej zaawansowanego klasyfikatora czy też większej wartości parametru k z pewnością możliwe byłoby uzyskanie lepszych rezultatów. Ponadto w sygnaturze wszystkie atrybuty mają taką samą wagę. Czy nie byłoby uzasadnione, żeby nawet przy stosowaniu tak prostego klasyfikatora zastosować metodę selekcji cech ?
3. W sytuacji prowadzenia badań podejście polegające na wykorzystaniu własnego stanowiska laboratoryjnego do przeprowadzenia pomiarów i przygotowania zbioru danych do analiz jest właściwym rozwiązaniem i zostało to w recenzji pozytywnie ocenione. Jednak brakuje w rozprawie jakiegokolwiek przykładu zastosowania opracowanych metod do wymienionych w rozprawie publicznie dostępnych zbiorów danych MF.
4. Analizowane dane pomiarowe zostały zebrane na specjalistycznym stanowisku pomiarowym, z wykorzystaniem komputera i profesjonalnej karty akwizycji danych. Jeśli systemy NILM mają znaleźć praktyczne zastosowanie w gospodarstwach domowych, powinny być możliwe do zaimplementowania na relatywnie prostej i przystępnej finansowo platformie sprzętowej. Czy takie rozwiązanie nie obniży możliwości funkcjonalnych systemu i skuteczności zaproponowanych algorytmów ?

Praca pod względem redakcyjnym jest poprawnie opracowana, w sposób zwięzły i jasny przedstawiono w niej uzyskane przez Autora wyniki badań, zawiera niewielką liczbę tzw. błędów literowych, które mają pomijalny wpływ na prezentowane w pracy treści (ostatnia uwaga nie dotyczy nie ocenianego pod tym kątem rozdziału 3 składającego się z kopii publikacji).

Wyżej wyszczególnione uwagi w recenzji, częściowo dyskusyjne, nie ujmują i nie podważają w niczym wyniku pozytywnej oceny recenzowanej rozprawy doktorskiej.

5. Podsumowanie

Uwzględniając wyżej wymienione uwagi i komentarze oraz całość rozprawy doktorskiej wraz z oryginalnymi osiągnięciami naukowo-badawczymi stwierdzam, że:

Opiniowana praca doktorska spełnia wymagania stawiane rozprawom doktorskim, zgodnie z Ustawą o stopniach i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki z dnia 14 marca 2003 r. (Dz.U. z 2017 r. poz. 1789), oraz zgodnie z Ustawą z 3 lipca 2018 r. – Przepisy wprowadzające ustawę - Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz.U. z 2018 r. poz. 1669 z póź. zm.) w dziedzinie nauk inżynieryjno-technicznych, w dyscyplinie automatyka, elektronika, elektrotechnika i technologie kosmiczne, wnosząc o przyjęcie rozprawy i jej dopuszczenie do publicznej obrony.

Ryszard Rybicki