

Dr hab. inż. Damian Grzechca, prof. Pol. Śl.
Politechnika Śląska
Wydział Automatyki, Elektroniki i Informatyki
Katedra Elektroniki, Elektrotechniki i Mikroelektroniki

Gliwice, 27 lipca 2023 r.

RECENZJA ROZPRAWY DOKTORSKIEJ

Tytuł rozprawy: Rozpoznawanie stanów odbiorników energii elektrycznej z wykorzystaniem analizy zniekształceń w obrębie jednego okresu sygnału prądu

Autor rozprawy: mgr inż. Krzysztof Dowalla

Promotor rozprawy: dr hab. inż. Piotr Bilski, prof. PW

Promotor pomocniczy: dr hab. inż. Ryszard Kowalik, prof. PW

Niniejsza recenzja została przygotowana na zlecenie Rady Naukowej Dyscypliny Automatyka, Elektronika, Elektrotechnika i Technologie Kosmiczne Politechniki Warszawskiej, na podstawie decyzji z dnia 23.05.2023 i pisma z dnia 26.05.2022r. Przewodniczącego Rady Naukowej Dyscypliny Automatyka, Elektronika, Elektrotechnika i Technologie Kosmiczne Pana Profesora doktora habilitowanego inżyniera Tomasza Stareckiego.

1. Informacje wstępne

Rozprawa doktorska mgr inż. Krzysztofa Dówalla dotyczy metod nieinwazyjnego monitorowania urządzeń w sieci niskiego napięcia (NILM – Non Intrusive Load Monitoring). Praca obejmuje 8 pozycji literaturowych, które stanowią integralną część rozdziału trzeciego, czyli jednego z czterech rozdziałów, w tym wprowadzenia, omówienia wkładu autora w powstanie publikacji zamieszczonych w rozdziale 3 oraz podsumowania.. Zauważyć należy, że Autor rozprawy jest pierwszym autorem 7 publikacji, z których 2 są za 140 punktów, a sumaryczna liczba punktów wynosi 600. Udział w powstaniu przedstawionych publikacji wynosi 60% dla pozycji [P1, P3, P4, P5, P8], 70% dla w pozycjach [P2, P7] i 10% w powstanie publikacji [P6]. Publikacje [P1-P8] tworzą logiczną całość i dotyczą celu oraz tezy głównej pracy, która została w rozprawie podzielona na 7 tez szczegółowych pokrywających zagadnienia poruszane w pracach Autora.

2. Zagadnienia naukowe rozpatrywane w rozprawie

(Jakie zagadnienia naukowe/badawcze jest rozpatrywane w pracy (cel i teza rozprawy) i czy zostało ono dostatecznie jasno sformułowane przez autora?)

Doktorant zajmuje się rozpoznawanie stanów OEE, a w zasadzie detekcją i identyfikacją poszczególnych urządzeń podłączonych do sieci niskiego napięcia na podstawie analizy prądu zasilającego. Nieinwazyjne metody diagnostyczne, w tym również metody obserwacji stanów odbiorników energii elektrycznej niskiego napięcia są jednym z podstawowych wymagań w kontekście zrównoważonej gospodarki, w której śledzenie stanu urządzenia jest pożądane z perspektywy diagnostyki predykcyjnej oraz świadomego używania odbiorników w określonych trybach pracy. Temat ten jest aktualny z kilku powodów, z których podstawowym jest brak ingerencji w wewnętrzną strukturę urządzenia (OEE), które prowadzić może najczęściej do utraty gwarancji. Dlatego ogólna koncepcja monitorowania instalacji elektrycznej i poszczególnych urządzeń na linii zasilającej jest ekonomicznie zasadna, co redukuje koszt implementacji do jednego dodatkowego modułu wyposażonego w możliwość implementacji odpowiedniej algorytmiki.

Metody monitorujące stan urządzenia jest możliwość stwierdzenie, czy dane urządzenie rozpoczęło lub zakończyło pracę, następnie jeśli urządzenie posiada kilka trybów pracy można stwierdzić, w jakim

jest aktualnie stanie pracy, np. tryb czuwania, tryb energooszczędny, itp. W tym miejscu najczęściej analizuje się pobór energii przez odbiornik tworząc swoistego rodzaju mapę zapotrzebowania na energię elektryczną gospodarstwa domowego, co w konsekwencji można wykorzystać do inteligentnego zarządzania energią lub przekazać tę informację do systemu nadrzędnego, np. do dystrybutora. Zdefiniowane stany pozwalają wówczas na określenie wystąpienia anomalii podczas włączania lub wyłączenia urządzenia. W tym kontekście rozpoznawanie stanów podnosi poziom bezpieczeństwa ponieważ może być wykorzystane do diagnostyki predykcyjnej, a ponadto na podstawie badań wpływa na zachowanie domowników związane z eksploatacją urządzeń poprzez świadome odłączanie urządzeń z sieci niskiego napięcia redukując w ten sposób zużycie całkowitej energii.

Stwierdzić więc można, że temat nieinwazyjnej diagnostyki urządzeń na podstawie analizy prądu zasilającego jest aktualny i eksplorowany przez środowisko naukowe.

O ile cel rozprawy nie budzi wątpliwości, to tyle teza główna „Istnieje możliwość rozpoznawania zmian stanów odbiorników energii elektrycznej na podstawie analizy zniekształceń w obrębie jednego okresu sygnału prądu sieci niskiego napięcia” wydaje się być zbyt mało konkretna ze względu na przytoczony przegląd literatury, gdzie wskazano już „możliwość identyfikacji”. Uzupełnienie tezy głównej o tezy szczegółowe jest w moim przekonaniu zasadne, ponieważ faktycznie konkretyzuje postawione sobie zadania badawcze. Tytuł rozprawy, w mojej ocenie, może być niewłaściwie rozumiany, ponieważ rozpoznawanie stanów OEE jest czymś więcej niż detekcją i identyfikacją załączenia lub wyłączenia urządzenia. Tezy szczegółowe rozprawy pokrywają się z badaniami zaprezentowanymi w poszczególnych artykułach, stanowiących integralną część recenzowanej rozprawy.

Wyróżnić należy 3 główne wątki rozprawy, którymi zajmował się Autor. Pierwszy, to identyfikacja odbiornika (urządzenia) z wykorzystaniem przekształcenia falkowego. Drugi, najważniejszy, wątek pracy dotyczy identyfikacji odbiorników na podstawie analizy przebiegów czasowych. Zauważyć tutaj należy pewien ciąg przyczynowo skutkowy, ponieważ Autor konstruuje stanowisko pomiarowo-badawcze, następnie wykonuje szereg badań związanych z analizą czasową, dobiera częstotliwości próbkowania sygnału, a następnie analizuje wpływ częstotliwości na jakość poszczególnych metod czasowych. Podsumowaniem tej części prac jest opracowanie metody identyfikacji stanu OEE na podstawie wymuszenia impulsowego. Trzeci wątek rozprawy dotyczy detekcji i lokalizacji zwarcia w instalacji niskiego napięcia, a w zasadzie pierwszych objawów zwarcia, co umożliwiłoby wypracowanie odpowiedniej informacji na potrzeby ochrony zarówno OEE, jak i instalacji elektrycznej niskiego napięcia, więc widać tutaj wyraźnie aspekt podniesienia poziomu bezpieczeństwa.

Podsumowując, zagadnienia naukowe rozpatrywane w rozprawie są nietrywialne, właściwie sformułowane i pozwalają stwierdzić, że Doktorant potrafi definiować cele i tezy naukowe.

3. Analiza źródeł, stan wiedzy i zastosowań w przemyśle

(Czy w rozprawie przeprowadzono w sposób właściwy analizę źródeł, w tym literatury światowej, stanu wiedzy i zastosowań w przemyśle?)

Lista publikacji zawiera 104 pozycje naukowe, które dobrze komponują się z zakresem prac realizowanym przez Doktoranta. Recenzowany opis został wzbogacony o dodatkową listę publikacji (pozycje od 105 do 151) wykorzystywanych w publikacjach mgr. Dowalla. Analizując dostępną literaturę przedstawia metody identyfikacji OEE oraz dostępne bazy danych, które najczęściej budowane są dla pojedynczych odbiorników w instalacji sprawnej. W przypadku uszkodzenia urządzenia bądź instalacji zasilającej, algorytmy tak skonstruowane mogą stać się nieskuteczne, co jest bezpośrednią motywacją wprowadzenia Autorskich metod wykrywających zdarzenia włączenia i wyłączenia OEE. Przeprowadzona przez mgr inż. Krzysztofa Dowalla analiza dotycząca ekstrakcji

cech charakterystycznych z sygnałów prądu i napięcia, prowadzi do wniosku, że metody te są najczęściej wyidealizowane, niepraktyczne i implementacyjnie kosztowne. Stwierdzić więc można, że przegląd literatury zawarty w rozdziale 1 wskazuje na prawidłową analizę źródeł w skali międzynarodowej jednocześnie wskazując na istotny brak metod nieinwazyjnego monitorowania OEE wielu urządzeń oraz wykrywania stanu zagrożenia w postaci łuku.

Autor przytacza badania wskazujące na potrzebę pozyskania informacji o aktualnym zapotrzebowaniu na energię danego OEE, co w konsekwencji prowadzi do zmniejszenia zużycia i większej świadomości społecznej. O ile z perspektywy naukowej spis nie budzi zastrzeżeń, o tyle Autor dość oszczędnie odnosi się do możliwych zastosowań w przemyśle, co może być skutkiem nawiązanej współpracy Zespołu z partnerem przemysłowym. Podsumowując, uważam, że analiza źródeł przedstawiona przez Doktoranta jest oddaje aktualny stan wiedzy w zakresie NILM.

4. Metody i założenia użytych metod

(Czy autor rozwiązał postawione zagadnienia, czy użył właściwej do tego metody i czy przyjęte założenia są uzasadnione?)

Podstawą zaproponowanych metod jest analiza czasowa prądu (i napięcia) zasilającego odbiornik energii elektrycznej w obrębie pojedynczego okresu sygnału napięcia sieciowego, które oparte są na układzie pomiarowym umieszczonym w głównej linii zasilającej. Układ pomiarowy składa się m.in. z modułu przetwarzania sygnału analogowego w postać cyfrową z dużą częstotliwością próbkowania sięgającą setek kiloherców. Podejście takie jest korzystne zarówno w aspekcie możliwości odfiltrowania krótkotrwałych umożliwiają wykrycie krótkotrwałych impulsów, chwilowych zaburzeń, jak i ekonomicznych, ponieważ instalacja pojedynczego systemu umożliwia analizę czasową wszystkich podłączonych urządzeń OEE.

Założeniem metod jest ograniczony czas analizy i wypracowanie odpowiedniego algorytmu do identyfikacji i detekcji OEE. Metody przedstawione w rozprawie zaliczyć można do metod słownikowych lub sygnaturowych, w których porównywane są bieżące odczyty z zapisanymi sygnaturami w bazie. Ograniczenie się do 20ms okresów z jednej strony jest słuszne, szczególnie kiedy analizowany jest stan sinusoidalny ustalony i można go wykorzystać do identyfikacji stanów układu, jednak z perspektywy analizy stanów przejściowych może być zbyt krótkie, ponieważ zależne od konkretnego urządzenia OEE. Doktorant przeprowadził eksperymenty z wykorzystaniem dość licznej grupy urządzeń, m.in. oświetlenie, odbiornik telewizyjny, lodówka, odkurzacz, powszechnie pojawiających się w domostwie.

Podkreślić należy jeszcze jeden aspekt, który odróżnia badania Doktoranta od istniejących i dostępnych baz danych PLAID lub WHITED, które zawierają sygnały zarejestrowane podczas pracy pojedynczych urządzeń. Postawiony problem badawczy przez mgr inż. Krzysztof Dowalla zakłada możliwość detekcji i identyfikacji urządzeń podczas normalnej pracy innych urządzeń pracujących w sieci niskiego napięcia.

W świetle przedstawionych publikacji oraz aktualnych trendów i potrzeb stwierdzić można, że przedstawione podejście oparte na metodach słownikowych jest aktualne i powszechnie wykorzystywane, a poczynione założenia poczynione w celu opracowania własnych metod są zasadne.

5. Oryginalność rozprawy, samodzielny i oryginalny dorobek Autora

(Na czym polega oryginalność rozprawy, co stanowi samodzielny i oryginalny dorobek autora, jaka jest pozycja rozprawy w stosunku do stanu wiedzy i poziomu techniki reprezentowanych przez literaturę światową?)

Ocenę oryginalnego dorobku autora w aspekcie publikacji umieszczonych w rozprawie łączą się z przedstawionymi wcześniej trzema wątkami tj. identyfikacją OEE za pomocą transformaty falkowej, identyfikacją i detekcją OEE na podstawie szybkiego próbkowania sygnału w dziedzinie czasu oraz detekcji i identyfikacji szeregowego zwarcia łukowego.

Mgr inż. Krzysztof Dowalla swoją przygodę z nauką rozpoczął już w trakcie realizacji pracy magisterskiej, która zastosował przekształcenie falkowe do identyfikacji OEE. W wyniku przeprowadzonych eksperymentów stwierdził, że falka Morleta pozwala na uzyskanie identyfikacji odbiorników z największą skutecznością. Ze względu na realizację eksperymentów w ramach pracy magisterskiej, pracę tę traktować można jako punkt początkowy, który zainspirował Doktoranta do eksplorowania tematyki identyfikacji i detekcji OEE na podstawie analizy czasowej. Rozdział 2.2 oraz 2.3 stanowią zbiór analiz i metod, które zaliczyć należy do osiągnięć Autora. W artykule [P2] przedstawiono system pomiarowy zaimplementowany w środowisku LabView, który posłużył do rejestracji ponad 2000 zdarzeń dla 14 OEE. W pracy tej opracowano sposób synchronizacji danych pomiarowych z dwóch stanowisk pomiarowych z wykorzystaniem korelacji krzyżowej szeregów czasowych oraz sposób wyznaczenia sygnatury OEE $\Delta I_{wz\acute{o}r}^{(x,y)}$, który liczony jest po przeprowadzeniu filtracji medianowej sygnałów w dziedzinie czasu zapisanych w postaci macierzowej IP.

Praca [P3] jest kontynuacją poszukiwań prawidłowej detekcji zmiany stanu urządzenia (w zasadzie detekcji włączenia i/lub wyłączenia) dla urządzeń pobierających stosunkowo dużą moc czynną. Doktorant zauważył, że detekcja zdarzeń oparta na zmianach mocy o kilka bądź kilkanaście watów, np. włączenie oświetlenia LED, może być nie wykryte lub fałszywie zinterpretowane. Do najważniejszych osiągnięć tej pracy zaliczyć można: opracowanie algorytmu detekcji i identyfikacji stanów OEE opartego na SFT (Similiarity Factor Threshold – progowy współczynnik podobieństwa), którego wartość określana jest na podstawie zmian amplitud sygnału prądu w okresie, co w konsekwencji umożliwi uniknięcie fałszywych detekcji. Dodatkowym elementem sygnatury OEE jest wprowadzenie odległości σ , która wskazuje czas (liczba okresów składowej podstawowej sieci nn) potrzebny do osiągnięcia stanu ustalonego. Wykorzystanie tej informacji okazało się kluczowe do podniesienia skuteczności detekcji zdarzeń.

Podsumowaniem prac [P2] i [P3] jest zawarte w artykule [P4] demonstrator, który w trybie ciągłym analizuje dane z wykorzystaniem metod opracowanych w tych pracach. Praktyczna implementacja została stworzona w laboratorium NILM na Wydziale Elektroniki i Technik Informatycznych Politechniki Warszawskiej. Wykonane oprogramowanie umożliwia zdefiniowanie do 15 odbiorników, których stan może być skutecznie zidentyfikowany. Implementacja oraz wizualizacja dostarcza również informacji na temat energii zużytej przez poszczególne OEE, co umożliwiło nawiązanie współpracy z podmiotem komercyjnym w obszarze NILM. Demonstrator zbudowany w laboratorium NILM został zaprojektowany z myślą o implementacji metod opisanych w pracach [P2] i [P3] dlatego częstotliwość próbkowania jest stosunkowo duża i wynosi 250kHz, co sprawia, że koszt instalacji w miejscu docelowym może być nieakceptowalny. Doktorant postanowił wykonać badania skuteczności metod [P2] i [P3] związane z różną częstotliwością próbkowania i wyznaczyć jej wartość minimalną, przy której metody identyfikacji i detekcji będą nadal skuteczne. Koncepcję zmiany częstotliwości oparł na decymacji sygnału rzeczywistego. Autor zaproponował wprowadzenie współczynnika acc_{id} celem porównania skuteczności działania algorytmów dla poszczególnych częstotliwości próbkowania, czyli odsetek zidentyfikowanych stanów (klas) z dokładnością większą od współczynnika acc_{id} . W wyniku przeprowadzonych eksperymentów stwierdzono, że urządzenia dużej mocy są poprawnie zidentyfikowane już dla częstotliwości próbkowania 2,5kHz, natomiast dla odbiorników małej mocy częstotliwość powinna być wyższa i jako optymalną wybrano 12,5kHz. Dla urządzeń nieliniowych małej mocy najwyższą skuteczność identyfikacji uzyskano dla częstotliwości

próbkowania 25 kHz, powyżej tej wartości nie uzyskano poprawy rezultatów. Właśnie tę częstotliwość uznano za optymalną w kontekście analizowanych OEE, co nie zmienia faktu, że dla 19 z 28 urządzeń o liniowej charakterystyce prądowo-napięciowej uzyskano 95% skuteczność identyfikacji dla częstotliwości próbkowania 1250Hz. Analiza przeprowadzona w tej pracy jest istotna z praktycznego punktu widzenia i stanowi ważną informację dla potencjalnego klienta zainteresowanego wdrożeniem wyników uzyskanych przez mgr. Dowalla.

Rozszerzeniem metod identyfikacji urządzeń w obrębie pojedynczego okresu jest propozycja wykorzystania generatora sygnałów impulsowych. Autorzy w [P6] zaproponowali metodę HF-GEN opierającą się na wygenerowaniu krótkiego impulsu o zdefiniowanym kształcie tak, aby stworzyć krótkotrwały stan nieustalony. Impuls ten dla konkretnych urządzeń generuje powtarzalne kształty przebiegów prądu. Zaletą metody jest brak konieczności rejestrowania przebiegów sygnału przed i po zmianie stanu urządzenia, co jest konieczne dla metod zaprezentowanych w [P2] i [P3]. Niestety, wkład Doktoranta w powstanie tej publikacji nie zawiera koncepcji, a jedynie udział w analizie wyników oraz walidację wyników i wizualizację.

Istotnym rozszerzeniem badań jest wprowadzenie możliwości detekcji i lokalizacji szeregowego zwarcia łukowego. O ile metody zaprezentowane w pracach [P1-P6] dotyczą identyfikacji sprawnych OEE w instalacji wolnej od uszkodzeń, o tyle opracowanie metod „wczesnego ostrzegania” przed narastającym problemem w sieci nn w postaci zwarcia zwiększa bezpieczeństwo użytkownika końcowego i umożliwia pozyskanie informacji prewencyjnej. Praca [P7] zawiera opis konstrukcji generatora zwarć łukowych (opartym na standardzie IEC 62606:2013) oraz koncepcję wskaźnika wskaźnika MVC_{50} , który umożliwia identyfikację miejsca występowania zwarcia łukowego poprzez identyfikację urządzeń przez nie zasilanych. Przebieg eksperymentu polegał na wprowadzeniu zwarcia łukowego w jeden z siedmiu punktów obwodu na zasilaniu od jednego do sześciu urządzeń pracujących jednocześnie. Wskaźnik MVC_{50} jest obliczany poprzez agregację bezwzględnych wartości różnic pomiędzy 50 kolejnymi okresami sygnałów prądu w czasie trwania szeregowego zwarcia łukowego. Uzyskano prawie 92% skuteczność identyfikacji miejsca zwarcia.

Ostatnią publikacją rozdziału trzeciego jest [P8], która oprócz prac [P2] i [P3] stanowi największą wartość naukową i wkład naukowy Doktoranta. Publikacja [P8] jest dojrzalą i rozszerzoną wersją [P7] i w mojej ocenie stanowi najważniejsze podsumowanie prac mgr. inż. Krzysztofa Dowalli. Schemat blokowy metody jest przedstawiony w publikacji [P8] na rysunku 2. Autor wprowadził 16 wskaźników występowania szeregowego zwarcia łukowego, z czego pięć zaczerpnął z dostępnych opracowań literaturowych, a zaproponował dodatkowych 11 wskaźników. Dyskusyjna jest liczba opracowanych wskaźników, ponieważ w artykule [P8] jest ich w sumie 9, z czego pierwszych 7 zastosowano do wyznaczenia cech zarówno napięcia, jak i prądu (z czego wynika liczba 14), a dwa ostatnie do wyznaczenia parametrów wyłącznie dla prądu, co sumarycznie daje oczywiście 16 parametrów (lub cech) dla analizowanych sygnałów. Na podstawie cytowań umieszczonych przy poszczególnych wskaźnikach stwierdzić można, że jedynie wskaźniki (b), (d), (e), (g) oraz (i) nie są zaczerpnięte z literatury, co wskazywałoby na 9 cech autorskich. Na bazie wymienionych cech sygnału zaproponowano 28 zbiorów umożliwiających detekcję zwarcia łukowego z wykorzystaniem klasyfikatora lasu losowego (ang. Random forest). Autorzy wykazali skuteczność wykrywania zwarcia łukowego na poziomie 98%, co jest również skutkiem modyfikacji wskaźnika MVC_{50} , która umożliwia wykrycie zwarcia łukowego w przypadku wystąpienia jego nieciągłości.

Podsumowując tę część rozprawy, uważam, że przedstawiony zbiór publikacji jest wartościowy, ciekawy naukowo i pokrywa się z celami i tezami przedstawionymi przez Doktoranta.

6. Umiejętność przedstawienia uzyskanych wyników

(Czy autor wykazał umiejętność poprawnego i przekonującego przedstawienia uzyskanych przez siebie wyników (zwięzłość, jasność, poprawność redakcyjna rozprawy).)

Redakcja samej rozprawy nie budzi zastrzeżeń, jest napisana starannie i nie wymaga poprawek, choć Doktorant nie ustrzegł się literówek i drobnych błędów stylistycznych, czy języka żargonowego, np.: „wydobycie cech sygnałów” zamiast np. „wyznaczenie”.

W rozprawie brakuje definicji stanu urządzenia, co znacznie uprościłoby interpretację opisu. Stany urządzenia lub rozpoznawanie stanów urządzenia jest nadzbiorem detekcji włączenia/wyłączenia OEE i dlatego Autor powinien wyraźnie zdefiniować, co poprzez to określenie rozumie w pracy. Następnie wprowadzane jest określenie „detekcja zdarzeń”, co wprost rozumie się jako włączenie lub wyłączenie urządzenia (zmiana ze stanu „on” w: stan „off” lub odwrotnie), czyli wykrycie pojawienia się lub odłączenia OEE. Na podstawie definicji zdarzenia oraz detekcji można przystąpić do dalszych etapów tj. identyfikacji urządzenia. Zamiennosc wykorzystania pojęć „stanów urządzenia” oraz „detekcja zdarzeń” jest w moim odczuciu myląca. Odnosząc się do uzyskanych rezultatów, to w poszczególnych artykułach naukowych są one zrozumiałe, czytelne, a dyskusja wyników jest rzetelna.

7. Przydatność rozprawy w naukach inżynierjno-technicznych

Rozprawa doktorska pana mgr Dowalla zawiera szereg analiz i metod pozwalających na identyfikację OEE, a dodatkowo zawiera przydatne informacje na temat identyfikacji łuku, którego wykrycie umożliwia sprawne zabezpieczenie instalacji przed dużo poważniejszym zagrożeniem, które prowadzić może do pożaru. W mojej ocenie praca ma duże znaczenie praktyczne, a wyniki uzyskane przez Doktoranta mogą zostać wykorzystane praktycznie, co z resztą zostało już zainicjowane poprzez podpisanie umowy o współpracy z podmiotem zewnętrznym. Metody przedstawione w rozprawie mogą zostać wprost zaimplementowane w urządzeniu docelowym, a z pewnością powinny stanowić referencję dla nowych metod nieinwazyjnego monitorowania odbiorników energii elektrycznej.

8. Uwagi krytyczne

Praca Pana Krzysztofa Dowalli to logiczny ciąg przyczynowo skutkowy rozpoczęty jeszcze w trakcie tworzenia pracy magisterskiej, a później kontynuowanej w zespole NILM założonym przez prof. Winieckiego. Autor konstruuje stanowisko pomiarowo-badawcze, następnie wykonuje szereg badań związanych z analizą czasową, opracowuje metody wykrywania zdarzeń na linii zasilającej, tworzy demonstrator technologiczny, po czym dobiera częstotliwości próbkowania sygnału celem optymalizacji kosztów wytworzenia systemu. Przypadki analizowane przez Doktoranta w ramach opracowanych metod są najczęściej bardziej realne i przez to trudniejsze do analizy ze względu na założenie równoczesnej pracy kilku urządzeń w sieci. Uważam również, że ostatni wątek rozprawy dotyczący detekcji i lokalizacji zwarcia w instalacji niskiego napięcia, a w zasadzie pierwszych objawów zwarcia, poszerza wprost zakres rozprawy o aspekt bezpieczeństwa. Nie zmienia to faktu, że podczas czytania rozprawy nasunęły się uwagi, głównie o charakterze polemicznym, które przedstawione są poniżej:

- a) W torze przetwarzania sygnałów występuje FGP, którego konfiguracji nie ma w zamieszczonej rozprawie. Podobnie jest dla FDP o częstotliwości granicznej 70Hz – wzmianka o filtrze 3-go rzędu (Butterwortha). Abstrahując od tego, że wzmianka ta nie występuje we wszystkich

- artykułach, to czy topologia tego filtra ma znaczenie? Czy jest do pominięcia w dalszej części analizy sygnału? która ma wpływ na częstotliwość i fazę sygnału powinna być wyjaśniona.
- b) W artykule [P1] jest napisane, że „Analiza była wykonywana na próbkach zawierających jeden okres częstotliwości napięcia zasilającego (20ms) poddanego uprzedniej filtracji dolnoprzepustowej, o której wspomniano wcześniej.”. Wcześniej wspomniano o filtrze FDP, którego częstotliwość wynosi 70Hz. Skąd w takim razie w sygnale komponenty o częstotliwościach kilkunastu kiloherców? W innym artykule [P2] jest napisane, że wykorzystano „filtr dolnoprzepustowy o paśmie zaporowym powyżej częstotliwości 70Hz.”. W kontekście pozostałych artykułów (zamieszczonych schematów blokowych) FDP występuje przed sygnałem napięciowym.
 - c) Doktorant wykorzystuje filtrację medianową (np. wskazane w jednym z artykułów okno o długości 23) do eliminacji krótkotrwałych zakłóceń o charakterze impulsowym jednocześnie podkreślając, że prowadzi ona również do redukcji szumów. Zapomina przy tym, że filtracja ta wprowadza opóźnienie zależne od zastosowanego okna. Czy wpływ długości okna był brany pod uwagę i jaki ma wpływ na opracowane metody detekcji i identyfikacji?
 - d) Doktorant dość swobodnie operuje terminologią związaną z diagnostyką i testowaniem, zauważyć należy, że czym innym jest detekcja, czym innym lokalizacja i jeszcze czymś innym identyfikacja. Doktorant zajmuje się głównie detekcją i identyfikacją urządzenia włączanego do sieci. Niejasny jest też kontekst wykorzystywania słowa stan urządzenia, brakuje formalnie zdefiniowanych stanów, a w jednym z artykułów znaleźć można zdanie: „In the case of multi-state appliances (such as a washing machine or dishwasher), it is often difficult to isolate their specific operational states.”, co niestety nie zostało dalej analizowane. Biorąc to pod uwagę, Doktorant nadużywa konotacji słownej „stan OEE”, właściwym wydaje się być „detekcja OEE”, czyli wykrywa urządzenie lub stwierdza jego brak w sieci. Identyfikacja natomiast to wskazanie na konkretny stan urządzenia, ale w sytuacji kiedy tych stanów jest więcej niż dwa. Detekcja urządzenia lub uszkodzenia to wykrycie, czy dane urządzenie jest w sieci, czy go nie ma. Identyfikacja stanu jest kolejnym krokiem po detekcji urządzenia, czyli wiadomo, że dane urządzenie się pojawiło (nastąpiła detekcja), ale można stwierdzić lub analizować w jakim jest stanie i wówczas mówimy o identyfikacji stanu OEE.
 - e) W artykule [P6] napisano, że impuls generowany jest przez podłączenie AL (attached load) przez czas np. 40ms i włączany co 1s. Jak te parametry mają się do zaproponowanego generatora, w którym definiuje się czas narastania na poziomie 60us, długość impulsu 1ms? Czy faktycznie jako generator można potraktować dowolne urządzenie? Czy wzięto pod uwagę czas przejściowy urządzenia?

9. Wniosek końcowy

W świetle powyższych uwag stwierdzam, że opiniowana rozprawa doktorska spełnia warunki określone w art. 13 *Ustawy o stopniach naukowych i tytule naukowym* z dnia 14 marca 2003 r. z późn. zm. (Dz.U. 2017, poz. 1789) oraz ustawy *Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce* z dnia 20 lipca 2018r. i wnioskuję o dopuszczenie mgr inż. Krzysztofa Dowalla do dalszych etapów przewodu doktorskiego w dyscyplinie Automatyka, Elektronika, Elektrotechnika i Technologie Kosmiczne.

