



POLITECHNIKA  
LUBELSKA



WYDZIAŁ ELEKTROTECHNIKI  
I INFORMATYKI

KATEDRA ELEKTROENERGETYKI

20-618 Lublin, ul. Nadbystrzycka 38A

tel. (+ 48 81) 53 84 360, fax (+48 81) 538 43 19

<http://weii.pollub.pl>

e-mail: [we.ke@pollub.pl](mailto:we.ke@pollub.pl)

Lublin, 10.06.2024 r.

**dr hab. inż. Piotr Miller, prof. Uczelni**

[p.miller@pollub.pl](mailto:p.miller@pollub.pl)

tel. 502 180 550

## **Recenzja rozprawy doktorskiej**

mgra inż. Piotra Łukaszewskiego

### **„Zastosowanie metody pęku macierzy do klasyfikacji i lokalizacji zwarć w sieciach dystrybucyjnych na podstawie analizy fal wędrownych”**

Promotor pracy: dr hab. inż. Łukasz Nogal, prof. uczelni

Podstawą opracowania niniejszej recenzji jest uchwała Rady Dyscypliny Naukowej Automatyka, Elektronika i Elektrotechnika i Technologie Kosmiczne Politechniki Warszawskiej nr 733/II/2024 z dnia 16 kwietnia 2024 r. oraz informacja o powołaniu do pełnienia funkcji recenzenta podpisana przez Przewodniczącego Rady Dyscypliny Naukowej Automatyka, Elektronika i Elektrotechnika i Technologie Kosmiczne Politechniki Warszawskiej prof. dr hab. inż. Tomasza Stareckiego w dniu 19 kwietnia 2024 r.

Recenzja opiera się o postanowienia Ustawy Prawo o Szkolnictwie Wyższym i Nauce z dnia 20 lipca 2018 r.

## **1 Wybór tematu rozprawy**

Ustalenie miejsca zwarcia, po jego wystąpieniu, jest bardzo istotne dla służb zabezpieczeniowych. Jest to zagadnienie istotne zarówno z punktu widzenia sprawdzenia poprawności działania urządzeń zabezpieczeniowych, ale także dla celów inspekcyjno-remontowych. W pierwszym przypadku szczególnie istotna jest szybkość zlokalizowania miejsca zwarcia, natomiast dokładność lokalizacji ogranicza się do ustalenia strefy działania zabezpieczenia. Cele inspekcyjno-remontowe stawiają z kolei na dokładność lokalizacji miejsca zakłócenia, gdyż precyzyjne określenie miejsca zwarcia pozwala na: szybsze przywrócenie linii do pracy, weryfikację poprawności działania zabezpieczeń czy też

wykonanie działań prewencyjnych przeciwko zwarciom trwałym. Informacja o dokładnej lokalizacji występowania zwarć przemijających pozwala szybko dotrzeć do miejsca, gdzie należy zrobić wycinkę drzew, wymienić uszkodzony izolator, czy też wykonać inne prace, których celem będzie wyeliminowanie możliwości przekształcenia zwarcia przemijającego w zwarcie trwałe.

Lokalizatory zwarć są czymś oczywistym w sieciach przesyłowych najwyższych napięć. Ich stosowanie w sieciach przesyłowych jest wręcz wymagane ze względu na ich rozległość oraz rolę jaką sieci te pełnią w zakresie zapewnienia bezpieczeństwa pracy systemu elektroenergetycznego. Kiedyś stosowano lokalizatory impedancyjne (mniej dokładne), obecnie są to lokalizatory zrealizowane w oparciu o zjawiska falowe cechujące się znacznie większą dokładnością. W każdym z tych przypadków pomocny jest fakt, że sieć przesyłowa jest siecią zamkniętą, w której możliwe jest zainstalowanie aparatury pomiarowej po obydwu końcach zabezpieczanej linii co w sposób znaczący ułatwia lokalizację miejsca zakłócenia.

Zupełnie inaczej przedstawia się sprawa w sieciach dystrybucyjnych średnich napięć, gdzie lokalizatory zwarć nie są już tak rozpowszechnione. Sieci te mają strukturę drzewiastą i nie są tak rozległe jak sieci przesyłowe. Próba wykorzystania zjawisk falowych w procesie lokalizacji miejsca zakłócenia napotyka na trudności związane z dużą liczbą odbić fal wędrujących przez sieć wywołanych zwarciem, co z kolei znacząco utrudnia ich detekcję. Autor rozprawy postanowił jednak wykorzystać zjawiska falowe nie tylko do lokalizacji miejsca zakłócenia w sieciach dystrybucyjnych średniego napięcia, ale także to ich klasyfikacji. Ponadto postanowił wykorzystać w tym celu pomiar sygnałów elektrycznych tylko w jednym punkcie sieci i całkowicie zrezygnować z wykonywania dodatkowych symulacji elektromagnetycznych stanów przejściowych. Zadanie jest niezwykle ambitne a poprzeczka postawiona bardzo wysoko.

Biorąc powyższe pod uwagę uznaję tematykę rozprawy za ważną, aktualną oraz wybraną prawidłowo, zarówno pod względem naukowym jak i praktycznym.

## **2 Ogólna ocena rozprawy**

Opiniowana rozprawa zawiera 256 stron, przy czym część główna zawiera 179 stron tekstu wraz ze stroną tytułową, podziękowaniami, streszczeniami w języku polskim i angielskim, spisem treści ilustracjami, wzorami oraz wykazem literatury zawierającym 174 pozycje (wykaz literatury został przeniesiony na koniec rozprawy, poza załączniki). Pozostałe strony to załączniki liczące w sumie 76 stron. W pracy zabrakło wykazu podstawowych oznaczeń i skrótów, co może dziwić biorąc pod uwagę liczbę wzorów i wyrażeń matematycznych obecnych w rozprawie.

Część główna rozprawy podzielona została na siedem rozdziałów wliczając w nie zarówno rozdział wstępny, jak i podsumowujący całą rozprawę.

Przegląd literatury, obejmujący zagadnienia związane z teorią fal, modelowaniem elementów systemu elektroenergetycznego, problematyką zwarciową, automatyką zabezpieczeniową oraz lokalizatorami zwarć został przeprowadzony w rozprawie rzetelnie, jest adekwatny i wystarczający. Najstarsza pozycja w wykazie literatury datowana jest na rok 1876, najnowsza pochodzi z roku 2024. Cztery pozycje w wykazie literatury powstało przy udziale Autora rozprawy (2 artykuły opublikowane oraz 2 artykuły w recenzji).

W rozdziale pierwszym, wprowadzającym, można znaleźć krytyczny, literaturowy przegląd metod wyznaczania lokalizacji miejsca zwarcia w sieciach dystrybucyjnych oraz metod klasyfikacji rodzajów zwarć. Przegląd literatury jest podstawą uzasadnienia podjęcia tematu badań oraz sformułowania tezy rozprawy, która brzmi następująco: *„Możliwe jest opracowanie algorytmów klasyfikacji i lokalizacji zwarć w sieciach dystrybucyjnych opartych na pomiarze sygnałów elektrycznych fal wędrownych w jednym punkcie sieci i niewymagających pełnych obliczeń symulacyjnych elektromagnetycznych stanów przejściowych. Do wykonania tych algorytmów można wykorzystać metodę pęku macierzy.”* Sposób sformułowania tezy uważam za prawidłowy.

Zasadniczym celem rozdziału drugiego było zweryfikowanie adekwatności szerokopasmowych modeli linii elektroenergetycznych dostępnych w środowisku Matlab-Simulink oraz wypracowanie aparatu matematycznego wykorzystywanego w dalszej części pracy. W tym celu Autor zaprezentował rozwiązania równań telegrafistów dla linii wielofazowych uwzględniając specyfikę pracy linii średnich napięć. Wyznaczając parametry opracowanych modeli Autor porównał tradycyjne podejście do ich wyznaczania (na podstawie bibliotek dostępnych w programie Matlab) oraz bardziej dokładne (model D'Amore'a). Autor wyznaczył i porównał w ten sposób parametry modelu linii elektroenergetycznej 220 kV na słupach serii H52 oraz linii elektroenergetycznej 15 kV na słupach P-10,5 wykazując, że mogą one zostać wykorzystane w dalszych badaniach.

W rozdziale trzecim opisano badania laboratoryjne przeprowadzone przez Autora rozprawy, zmierzające do wyznaczenia charakterystyk częstotliwościowych przetworników pomiarowych stosowanych w elektroenergetyce. Rozdział ten miał także na celu wybór właściwego przetwornika, które będzie stosowany w dalszych badaniach oraz opracowanie modeli transmitancyjnych wybranych modeli przetworników. Badaniom poddano dwa modele klasycznych przekładników prądowych, dwa modele klasycznych przekładników napięciowych, dwa modele sensorów napięciowych oraz cewkę Rogowskiego.

Rozdział czwarty zawiera omówienie algorytmu wykrywania impulsów falowych wykorzystujący krótkoczasową metodą pęku macierzy oznaczoną w pracy jako KMPPM. Rozdział zaczyna się krótkim wprowadzeniem, który na podstawie przeglądu literatury omawia znane metody wykrywania fal wędrownych w systemie elektroenergetycznym. Autor zwraca uwagę na specyfikę topologii sieci

dystrybucyjnych średnich napięć, które mają strukturę drzewiastą, nie są tak rozległe jak sieci przesyłowe co skutkuje dużą liczbą odbić fal wędrujących przez sieć, co z kolei znacząco utrudnia ich detekcję. A rozdziale dokładnie omówiono aparat matematyczny wykorzystywany w algorytmie. Omówiono także sam algorytm i przetestowano jego działanie na dwóch modelach sieci testowych: modelu sieci SN oraz WN. W przypadku sieci testowych uzyskano bardzo obiecujące wyniki, gdyż w ponad 90% przypadków bezwzględny błąd lokalizacji czasowej czoła fali zwarciowej nie przekraczał 1  $\mu$ s (mediana tego błędu to 0,5  $\mu$ s). Opracowana przez Autora metoda KMPM została następnie wykorzystana do klasyfikacji i lokalizacji zwarć w sieciach średniego i wysokiego napięcia, co zostało opisane w kolejnych rozdziałach rozprawy doktorskiej.

I tak rozdział piąty zawiera opis algorytmu klasyfikacji zwarć na podstawie amplitud impulsów fal wędrownych generowanych przez zwarcie. Oczywiście algorytm wykorzystuje metodę KMPM. W rozdziale oprócz omówienia autorskiego algorytmu zaprezentowano także wyniki jego zastosowania na modelach testowych. Do testów wykorzystano model sieci SN oparty na modelu IEEE 34-bus, opracowany przez Autora rozprawy model niewielkiej sieci SN oraz model sieci przesyłowej WN. Wszystkie modele testowe zostały dokładnie opisane w załącznikach do rozprawy. Według Autora rozprawy wyniki klasyfikacji zwarć uzyskane dla modeli testowych (zarówno w przypadku sieci SN jak i WN) są obiecujące. Analiza wartości zaprezentowanych w poszczególnych tabelach budzi tutaj pewne wątpliwości. Wartości procentowe błędów są w niektórych przypadkach bardzo duże, chociaż jak twierdzi Autor rozprawy, dotyczy to przede wszystkim zwarć, których wystąpienie jest mało prawdopodobne.

Podobna sytuacja ma miejsce w rozdziale szóstym, gdzie omówiony został algorytm wyznaczania lokalizacji zwarć z wykorzystaniem metody KMPM. Są to w zasadzie dwa algorytmu, z których jeden porównuje sekwencje zmierzonych za pomocą KMPM impulsów falowych z sekwencjami wygenerowanymi dla różnych miejsc zwarć, natomiast drugi wykorzystuje zamiast zmierzonych sekwencji, zapis przedziału sygnału, na podstawie którego tworzy się uproszczone sekwencje. Także w przypadku tego rozdziału, po omówieniu samego algorytmu (algorytmów), Autor rozprawy przeprowadził testy jego działania na modelach sieci testowych. Testom poddany został, podobnie jak w przypadku algorytmu klasyfikacji zwarć, model sieci SN oparty na sieci testowej IEEE 34-bus, opracowany przez Autora rozprawy model niewielkiej sieci SN oraz model sieci WN. Dokładne wyniki testów zamieszczone zostały w załącznikach, natomiast w rozdziale szóstym podano zbiorcze tabele, wykresy oraz omówiono uzyskane wyniki. Tak jak można się było spodziewać wyniki lokalizacji zwarć dla sieci WN były bardzo dokładne, natomiast w przypadku sieci średnich napięć, podobnie jak w przypadku algorytmu klasyfikacji zwarć, mogą budzić pewne wątpliwości. Należy podkreślić, że Autor postawił sobie porzeczkę niezwykle wysoko. Podjął się opracowania falowych algorytmów klasyfikacji

oraz lokalizacji zwarć w sieciach dystrybucyjnych średniego napięcia, przy czym założył, że będą opierały się na pomiarach sygnałów elektrycznych tylko w jednym punkcie sieci i nie będą korzystały z symulacyjnych obliczeń szybkozmiennych stanów przejściowych. Cel niezwykle ambitny, częściowo został zrealizowany, ale w treści rozprawy można wyraźnie wyczytać, że Autor zdaje sobie sprawę z tego, że perspektywa dalszych badań jest bardzo szeroka.

Rozdział siódmy zawiera podsumowania, wnioski, wykaz istotnych osiągnięć rozprawy oraz pomysły Autora rozprawy na dalsze badania.

Integralną częścią pracy są załączniki, w których zamieszczono parametry konstrukcyjne linii elektroenergetycznych, parametry modeli transmitancyjnych przetworników średnich napięć, opis modelu testowego sieci najwyższych napięć, opis modelu testowego sieci dystrybucyjnej oparty na znanym z literatury modelu IEEE 34-bus, opis „niewielkiego” modelu sieci średniego napięcia oraz obszerne prezentacje wyników działania algorytmów klasyfikacji oraz lokalizacji zwarć w sieciach testowych.

Strukturę rozprawy oraz jej zawartość oceniam pozytywnie. Podkreślić należy duży wkład pracy Autora w przygotowanie tekstu bardzo rozbudowanego o wyrażenia matematyczne oraz ogromny wkład pracy w przygotowanie i opracowanie wyników testów zamieszczonych w załącznikach.

### 3 Uwagi redakcyjne szczegółowe

Autor rozprawy nie ustrzegł się niestety błędów redakcyjnych. Poniżej kilka przykładów:

Nr strony	Lokalizacja	Uwagi
13	Akapit 2 od dołu	„... na podstawie analizy transformaty falkowej sygnału dla <b>różnych skali</b> - ...” – jeżeli „różnych”, to „skal”.
13	Akapit 2 od dołu	„Sama transformacja falkowa jest rozwinięciem <b>transfomacji</b> Fouriera” – powinno być „transformacji”.
15	Akapit 2 od dołu	„...a $R_{app}$ i $X_{app}$ , o składowe zmierzonej ...” – powinno być „to”.
15	Akapit 1 od dołu	„Bywa przecież tak, że linie <b>powietrzne</b> zasilają linie kablowe...” – raczej „ <b>napowietrzne</b> ”.
15	Akapit 1 od dołu	„Co więcej informacja o odległości miejsca zwarcia od <b>pomiaru</b> nie <b>jest</b> wskazuje konkretnej lokalizacji punktu...” – powinno być „od <b>miejsca pomiaru</b> ” i słowo „ <b>jest</b> ” jest zbędne.
15	Akapit 1 od dołu	„Kolejnym <b>problem</b> jest to, że metodę przetestowano...” – powinno być „ <b>Kolejnym problemem</b> ”.
27	Akapit pod (2.14)	„Wykorzystano tu własność macierzy, która mówi, <b>ze</b> iloczyn dwóch nieosobliwych” – powinno być „ <b>że</b> ”.
37	Akapit pod 2.2.3	„W praktyce jednak zakłada się, że <b>jako, że</b> przewody odgromowe są uziemione poprzez konstrukcje wsporcze linii i mają potencjał bliski potencjałowi ziemi.” – „jako że” to często stosowana konstrukcja przez Autora, tutaj jednak kompletnie nie pasuje.
69	Akapit 1 od góry	Błędne odwołanie do rys. 3.11. W przypadku fali prądowej właściwym rysunkiem jest rys. 3.10. Rys. 3.11 dotyczy fali napięciowej.

Nr strony	Lokalizacja	Uwagi
69	Akapit 1 od dołu	„(dopisać w jakim modelu wyliczono zwarcia – odniesienie do dalszej części tekstu)” – faktycznie przydałaby się ta informacja.
82	Akapit pod Rys. 4.4	„Na rys. 4.5. przedstawiono porównanie aproksymacji trzech przesuniętych sygnałów po <b>odflitrowaniu</b> składowych wysoko tłumionych.” – powinno być „odfiltrowaniu”.
95	Akapit 1 od góry	„ <b>Modelu</b> sieci wysokich napięć opisano w załączniku C.” – powinno być „Model sieci”.
104	Akapit 1 od góry	Odwołanie do nieistniejącego podrozdziału 5.25.2
111	Akapit 2 od dołu	„... po przebyciu 1 km amplituda składowej zerowej maleje do <b>55,6% początkowej</b> , natomiast ...” – zabrakło słowa „wartości” przed „początkowej”.
116	Akapit 5 od góry	„... maksymalne opóźnienie impulsu, przy którym traktuje się go jako znaczący.]” – niepotrzebny nawias kwadratowy.
117	Akapit 3 od dołu	„Jest to zakres <b>częstotliwości przy której</b> niemożliwe jest wychwycenie kształtu czoła fali” – brakuje przecinka.
123	Akapit 2 od dołu	„Zmodyfikowana metoda klasyczna charakteryzuje się niższą dokładnością niż opracowany algorytm, <b>w szczególności jeśli</b> chodzi o zwarcia jednofazowe i dwufazowe bez udziału ziemi.” – brakuje przecinka.
132	Akapit 2 od dołu	„...ziemi bądź większej <b>ilości faz</b> w czasie krótszym ...” – powinno być „liczby faz”, jest to ilość policzalna.
137	Akapit pod Tab. 6.1	„Mediany błędów nie przekraczają 16 m, co w przypadku <b>tego</b> linii napowietrznych jest niezwykle małą wielkością...” – „tego” jest zbędne.
141	Akapit 2 od góry	„Niestety, taka analiza <b>mimo, że</b> zawęża obszar poszukiwań zwarcia, to nie pozwala nam wskazać ani zwartej linii ani konkretnego punktu zwarcia na niej.” – przecinek powinien być po „analiza”.
148	Akapit 2 od góry	„Ta sekwencja, która najbardziej przypomina wynik pomiaru <b>odpowiadać</b> rzeczywistej lokalizacji zwarcia.” – powinno być „odpowiada”.
158	Akapit 1 od góry	„Co więcej, analiza bardzo długich spacerów <b>więzała by</b> się z analizą szerokiego przedziału czasu, co również wydłużyłoby obliczenia.” – powinno być „wiązałyby”.
165	Akapit 1 od dołu	„Wynika to z udostępnienia częstotliwości bardzo niskich, <b>niskich, i</b> średnich na potrzeby radiofonii...” – zbędny przecinek.
166	Akapit 1 od dołu	„Dotychczasowe implementacje algorytmu metody pęku macierzy nie były wystarczająco skuteczne w identyfikowaniu <b>następujących po sobie impulsach.</b> ” – powinno być „impulsów”.

Liczb błędów redakcyjnych jest akceptowalna, tym bardziej, że nie są to jakieś rażące błędy.

#### 4 Uwagi redakcyjne o charakterze ogólnym

- Autor rozprawy zrezygnował z dzielenia wyrazów w całym dokumencie przy jednoczesnym zastosowaniu obustronnego wyrównania tekstu, także w tytułach. Efektem podjętej decyzji jest niezbyt estetycznie wyglądające „rozstrzelanie” wyrazów w niektórych wierszach, niestety także w tytułach rozdziałów i podrozdziałów. Ewidentnie źle wygląda to w przypadku rozdziału 2, załącznika A oraz załącznika B. Przykłady w tekście rozprawy to: str. 16, akapit 2 od dołu,



wiersz przed „niejednoznacznością”; str. 18, akapit 1 od góry, wiersz przed „dystrybucyjnych”; str. 21, teza rozprawy, wiersz przed „elektromagnetycznych”, itd.

- Pamiętam, że podczas pisania prac naukowych zwracano mi uwagę na tzw. „sieroty”, czyli pojedyncze spójniki, które nie powinny pozostawać na końcu wiersza. Zawsze jest z tym sporo pracy, by się ich pozbyć. Autor niestety nie zadbał o to.
- Znalazłem kilka błędów dotyczących wyboru właściwej formy wyrazów. Dotyczyły one np. zgodności liczb: pojedynczej i mnogiej. Przykład ze str. 13, akapit pod wyrażeniem (1.2): „Określenie, którą zależność wykorzystać dokonywane jest zwykle na podstawie analizy transformaty falkowej sygnału dla **różnych skali**” oraz ze str. 74, rozdz. 4: „Skutkuje to bardzo dużą liczbą odbić **fali wędrujących** przez sieć w jej węzłach.” Inny przykład źle użytej formy to str. 69, akapit 1 od dołu: „Wynika to z kształtu ich **charakterystyk częstotliwościowe**, które charakteryzują się...”.
- Interpunkcja to częsty mankament współczesnych prac naukowych. Czasami Autorzy zapominają wstawiać przecinki tam, gdzie one być powinny wstawione, czasami wstawiają ich nadmiar. W skrajnych przypadkach obydwa rodzaje błędów interpunkcyjnych rozkładają się po połowie. W przypadku recenzowanej pracy Autor zwykle stawia przecinki na zapas. Przykłady: str. 13, akapit 2 od góry: „**Jako, że fale** te propagują się z prędkością bliską prędkości światła...” – zwykle przed „że” faktycznie stawiamy przecinek, tutaj jednak jest on zbędny (podobna konstrukcja występuje w sumie 13 razy na str. 28,29,37,44,78,107,138,145,146,154,160,175); str. 20, akapit 2 od góry: „Każdy algorytm **zabezpieczeniowy, czy lokalizacyjny** wykorzystuje dane pomiarowe z sieci elektroenergetycznej.” – przed „czy” z kolei raczej nie stawia się przecinka; str. 24, akapit 2 od góry: „Największą konsekwencją tego faktu jest silne tłumienie składowej **zerowej, jako rozpraszanej** na rezystancji ziemi.” – tutaj także przecinek jest zbędny; str. 58, akapit nad 3.1: „Byłoby to ekonomicznie **efektywniejsze, niż** zakup dodatkowej aparatury pomiarowej...” – tutaj przecinek także jest zbędny, ale w tym akapicie znajdzie się również przykład brakującego przecinka w zdaniu: „**W przypadku gdyby** dostępne na rynku rozwiązania wiernie odwzorowywały fale wędrownne...”.
- Rozdziały 3.2.5. oraz 3.2.6. dotyczą sensorów napięciowych, tymczasem z treści podrozdziałów wynika, że są to przekładniki („Charakterystykę **przekładnika** zamodelowano...” „Na rys. 3.7. przedstawiono charakterystyki Bodego **przekładnika** ...”). Podpisy po rys. 3.7. oraz 3.8. są już poprawne. Myślę, że jest to efekt zastosowania techniki „kopiuj wklej”.
- Autor nie zadbał o komfort czytelnika w zakresie spójności pracy. Poszczególne rozdziały, podrozdziały są urywane, kończy je np. wzór. Brakuje akapitów kończących i wprowadzających do zagadnień omawianych w kolejnym rozdziale. Przykłady: Podrozdział 2.1.1. zakończony wzorem (2.48); podrozdział 2.2.3. zakończony wzorami (2.91), (2.92); podrozdział 2.3 zakończony wzorem (2.145); podrozdział 3.1. zakończony listingiem i tabelą 3.2.; podrozdział 4.1. zakończony wzorem (4.23), itd. Tymczasem wystarczy na zakończenie rozdziału czy podrozdziału napisać jedno, dwa zdania zamykające jedną część i wprowadzające do dalszej treści i wrażenie spójności będzie zachowane.

Pomimo powyższych uwag stwierdzam, że Autor potrafi redagować teksty techniczne i odbiór całości rozprawy jest pod względem redakcyjnym jak najbardziej pozytywny.

## 5 Uwagi o charakterze ogólnym i dyskusyjnym:

- W rozdziale 3 rysunki 3.3. - 3.9. prezentują charakterystyki Bodego przetworników zbadanych podczas prac laboratoryjnych Autora rozprawy. W przypadku niektórych z tych przetworników Autor omawiając charakterystykę pokusił się o ocenę ich przydatności w kontekście dalszych

proszę, aby w ramach wprowadzenia do prezentacji omawianych wyników określić wstępnie kryteria, które powinien spełniać przetwornik, aby spełniał oczekiwania Autora rozprawy. Czy Autor mógłby określić i podać kryteria, które pomogłyby czytelnikowi w samodzielnej ocenie przydatności przetworników na podstawie charakterystyk Bodego?

- W przypadku zaprezentowanych na rysunkach 3.3. – 3.9. charakterystyk Bodego trudno jest odróżnić wyniki pomiaru od wyników aproksymacji. Charakterystyki niemal się pokrywają i jedynie wykres błędu aproksymacji pozwala stwierdzić, że jednak charakterystyki nie pokrywają się idealnie. Czy można by było tak dobrać skale wykresów, żeby te różnice były bardziej widoczne?
- Autor rozprawy stwierdza w podrozdziale 3.3., że w przypadku sygnału prądowego najwierniej kształt impulsów falowych odwzorowuje przekładnik prądowy nr I. I jest to zgodne z tym, co widać na wykresie (rys. 3.10.). Rzeczywiście krzywa oznaczona kolorem czerwonym, chociaż jest przesunięta w górę, to niemal idealnie odwzorowuje przebieg krzywej oznaczonej kolorem czarnym (sygnał wejściowy). W przypadku sygnału napięciowego wybór Autora padł na sensor napięciowy nr II. Tymczasem rysunek 3.11. tego nie potwierdza. Krzywa jasnozielona, która według legendy jest skojarzona z sensorem napięciowym nr II w żaden sposób nie zbliża się nawet do przebiegu krzywej czarnej reprezentującej sygnał wejściowy.
- Wyniki uzyskane w rozprawie są dyskusyjne. Zarówno w kontekście klasyfikacji zwarć, jak również ich lokalizacji wykazane błędy dla sieci średniego napięcia są jednak stosunkowo duże. Czy Autor rozprawy uważa, że opracowane w ramach rozprawy algorytmy lokalizacji i klasyfikacji zwarć są już gotowe do komercyjnej implementacji? Jeżeli nie, to jakie warunki powinny spełnić, by taka implementacja stała się możliwa?

Powyższe uwagi traktuję jako dyskusyjne i pozostające bez wpływu na moją, pozytywną ocenę rozprawy.

## **6 Uwagi końcowe, podsumowanie, spełnienie wymogów ustawowych**

Ustawa o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki wymaga, aby rozprawa doktorska stanowiła oryginalne rozwiązanie problemu naukowego. Opiniowana rozprawa według mnie spełnia to wymaganie. Zgodnie z wymogami Ustawy Doktorant, mgr inż. Piotr Łukaszewski, wykazał się wiedzą, umiejętnością samodzielnego prowadzenia pracy naukowej oraz umiejętnością prowadzenia badań i przedstawienia ich wyników.



Lista istotnych osiągnięć rozprawy, które powinny być uznane za oryginalny dorobek Doktoranta zawiera następujące, najistotniejsze elementy:

- przeprowadzenie badań laboratoryjnych w zakresie wyznaczenia charakterystyk przenoszenia sygnałów w zakresie od 10 Hz do 20 MHz przez przetworniki wykorzystywane w elektroenergetyce (przekładniki prądowe i napięciowe, sensory napięciowe i cewki Rogowskiego),
- opracowanie modeli transmitancyjnych wymienionych powyżej przetworników,
- opracowanie szerokopasmowych modeli sieci średnich napięć w środowisku Matlab-Simulink,
- modyfikacja metody pęku macierzy oraz wykorzystanie jej w autorskich algorytmach klasyfikacji i lokalizacji zwarć,
- opracowanie autorskich algorytmów klasyfikacji i lokalizacji zwarć w sieciach średniego napięcia z wykorzystaniem pomiaru tylko w jednym punkcie sieci.

Doktorant w rozprawie zmierza konsekwentnie do realizacji jej celu pracy. Pomimo drobnych mankamentów wykład jest jasny i czytelny, zawiera także wszystkie istotne elementy: genezę, cel pracy, krytyczny przegląd aktualnego stanu wiedzy, sformułowanie problemu, jego rozwiązanie, prezentację wyników, podsumowanie ze wskazaniem wkładu własnego w rozwój dyscypliny naukowej oraz plany dalszych prac.

Biorąc pod uwagę przedstawioną powyżej ocenę stwierdzam, że opiniowana rozprawa doktorska Pana mgr inż. Piotra Łukaszewskiego stanowi cenny wkład w rozwój dyscypliny naukowej automatyka, elektronika, elektrotechnika i technologie kosmiczne oraz spełnia warunki i wymagania ustawowe stawiane rozprawom doktorskim, określone w art. 187 Ustawy Prawo o Szkolnictwie Wyższym i Nauce z dnia 20 lipca 2018 roku (Dz.U. z 2023 r. poz. 1668 z późn. zm.) i wnoszę o dopuszczenie jej do publicznej obrony.

Piotr Łukaszewski