

dr hab. inż. Mirosław Łukowicz
Katedra Energoelektryki
Politechnika Wrocławska
Wybrzeże Wyspiańskiego 27,
50-370 Wrocław,
E-mail: mirosław.lukowicz@pwr.edu.pl

Wrocław, 10.07.2017

RECENZJA

rozprawy doktorskiej mgra inż. Jakuba Jędrzejczaka

pt. „Reliability assessment of protective relays in harmonic-polluted power systems”

Niniejsza rozprawa została opracowana na zlecenie Dziekana Wydziału Elektrotechniki, Elektroniki, Informatyki i Automatyki Politechniki Łódzkiej dra hab. inż. Michała Strzeleckiego z dnia 10.05.2017.

1. Przedmiot rozprawy

Niezawodność układów zabezpieczeń elektroenergetycznych podlega ciągłej poprawie wraz z rozwojem technologii budowy przekaźników zabezpieczeniowych oraz rozwojem nowych wielkości kryterialnych i algorytmów obliczeniowo-decyzyjnych. Szczególnie w odniesieniu do Elektroenergetycznej Automatyki Zabezpieczeniowej (EAZ) oczekiwane minimalne czasy własne przekaźników, maksymalna selektywność i czułość są wymaganiami sprzecznymi w sensie możliwości ich spełnienia. Przy dostępnych algorytmach niezawodność układu zabezpieczeniowego można zmaksymalizować jedynie poprzez odpowiedni dobór nastaw funkcji zabezpieczeniowych, w tym odpowiednią koordynację poszczególnych zabezpieczeń.

Nie ulega jednak wątpliwości, że w przypadku wystąpienia dodatkowych, niezwiązanych ze zwarciami przebiegów przejściowych lub ustalonych w sygnałach zabezpieczeniowych (napięcie, prąd pierwotny chronionego elementu Systemu ElektroEnergetycznego (SEE)), średni czas eliminacji zwarć wydłuży się, a niezawodność automatyki zabezpieczeniowej zostanie zredukowana. To z kolei będzie skutkowało pogorszeniem niezawodności zasilania odbiorców, pogłębieniem uszkodzeń elementów SEE oraz obniżeniem zapasu stabilności SEE.

Ponieważ jakościowy opis niezawodności SEE jest współcześnie niewystarczający, proponuje się wprowadzenie wielkości (parametrów), które pozwolą opisać niezawodność w sposób ilościowy, co może mieć bezpośrednie przełożenie na dokładność szacowania kosztów i zysków płynących z funkcjonowania SEE. Innymi przyczynami poszukiwań ilościowego wyrażania niezawodności jest narastająca złożoność systemów, potrzeba uzasadnienia projektowania rozwiązań alternatywnych oraz konkurencja rynkowa.

Zukorska

Recenzowana rozprawa doktorska pt. „Reliability assessment of protective relays in harmonic-polluted power systems” jest próbą opracowania metodyki szacowania wpływu niezawodności EAZ na niezawodność pracy fragmentu SEE, w którym występują zakłócenia w postaci sygnałów harmonicznych. Głównym celem pracy jest uzasadnienie zastosowania stochastycznego procesu Markowa do zamodelowania przejść między odpowiednimi stanami pracy zabezpieczenia elektroenergetycznego i wykorzystanie tego modelu, informacji z historycznej bazy danych operatora SEE i wyników modelowania komputerowego w EMTP do oszacowania brakujących częstości przejść, traktowanych jako wskaźniki poprawnych i błędnych zdziałań zabezpieczenia.

2. Przegląd treści rozprawy

Przedstawiona do oceny rozprawa doktorska liczy łącznie 289 stron i składa się z krótkiego streszczenia rozprawy, przedmowy z celem projektu i postawionymi tezami, podziękowaniami, glosariusza, spisu treści, cytatów, listy tabel, listy rysunków, zestawienia najważniejszych pozycji bibliograficznych, 7 rozdziałów zasadniczych, załącznika oraz spisu literatury. Należy w tym miejscu zaznaczyć, że tezy rozprawy nie zostały przedstawione (powtórzone) w zasadniczych rozdziałach rozprawy, a jedynie w przedmowie (przed spisem treści).

Rozdział pierwszy jest wprowadzeniem do tematyki rozprawy. Rozdział 2 poświęcony jest podstawom EAZ sieci przesyłowych i rozdzielczych. Rozdział 3 zawiera informacje na temat metod i wskaźników oceny niezawodności SEE. Rozdział 4 jest obszernym przeglądem literaturowym zagadnień dotyczących zakłóceń harmonicznych w przesyłowych i rozdzielczych sieciach elektroenergetycznych. Rozdział 5 zawiera wyniki analizy wpływu zakłóceń harmonicznych w SEE na działanie elektromechanicznych i mikroprocesorowych przekładników zabezpieczeniowych. Rozdział 6 poświęcony jest praktycznym aspektom projektowania modelu niezawodnościowego z wykorzystaniem stochastycznego procesu Markowa. W rozdziale 7 opisano projekt modelu Markowa dla potrzeb estymacji wskaźników niezawodności fragmentu SEE z uwzględnieniem działania zabezpieczenia podstawowego i rezerwowego. Głównym celem tego rozdziału jest jednoczesne wykorzystanie wyników badań eksperymentalnych funkcji zabezpieczeniowych oraz wyników analizy niezawodnościowej fragmentu SEE do oszacowania niezawodności tegoż systemu w obecności zakłóceń harmonicznych. Po rozdziale 7 zamieszczono wnioski końcowe rozprawy doktorskiej oraz wskazano dalsze potencjalne kierunki badań.

W dodatku do rozprawy zawarto skrypty, tzw. m-pliki pakietu MATLAB, które były w badaniach wykorzystywane przez Doktoranta do obróbki danych i modelowania odpowiednich procesów. Dodatek zawiera również kod modelu cyfrowego zabezpieczenia odległościowego napisany w języku MODELS dla pakietu ATP-EMTP oraz program modelujący elektromechaniczne zabezpieczenie odległościowe. W dalszej części dodatku zamieszczono informacje dotyczące dopuszczalnych poziomów harmonicznych w sieciach przesyłowych i rozdzielczych oraz definicje różnych wskaźników poziomu zakłóceń harmonicznych. Opisano również prototyp zabezpieczenia mikroprocesorowego zaprojektowanego i zbudowanego przez Doktoranta.

Na końcu rozprawy zamieszczono spis ze 186 pozycjami literatury.

Zubowski

3. Ocena merytoryczna treści rozprawy

Przedstawiona do oceny rozprawa doktorska jest oryginalnym i wartościowym opracowaniem naukowym pod względem poznawczym jak i praktycznym, zawierającym obszernie i ciekawe wyniki badań eksperymentalnych opartych na symulacjach.

Poprawnie uzasadniono celowość badań naukowych zmierzających do opracowania metody szacowania wskaźników niezawodności automatyki zabezpieczeniowej wybranego elementu SEE, sformułowano tezę pracy, zakładając możliwość wykorzystania modelu Markowa oraz jednoczesnego wykorzystania danych symulacyjnych i historycznych z pracy SEE, do ilościowego określania stopnia niezawodności tegoż systemu.

Problem naukowy przedstawiony przez doktoranta został rozwiązany w rozdziałach 6 i 7, w których przedstawiono metodykę projektowania i analizy modelu niezawodnościowego obranego obiektu.

Do udowodnienia tezy wykorzystano właściwe narzędzia badawcze w postaci programów symulacyjnych ATP-EMTP i MATLAB. W środowisku programu ATP-EMTP wykonano model SEE z wydzieloną linią 110 kV i źródłami zakłóceń w postaci wyższych harmonicznych. Natomiast w środowisku MATLAB opracowano pakiet symulacyjno-obliczeniowy wspomagający i w sposób automatyczny realizujący zaproponowane przez doktoranta obliczenia.

W wyniku badań symulacyjnych udowodniono ponad wszelką wątpliwość istotny wpływ zakłóceń harmonicznych w SEE na poprawność działania automatyki zabezpieczeniowej i jej wpływ na niezawodność dostaw energii elektrycznej do odbiorców. Wskazano również sposób ilościowego określania niezawodności, co było głównym celem pracy.

Wyniki badań mają dużą wartość praktyczną, gdyż mogą być wykorzystane do opracowania odpowiednich modeli szacowania niezawodności innych elementów lub obszarów SEE.

4. Ocena struktury rozprawy doktorskiej, podziału treści i poprawności językowej

Praca napisana jest dobrym angielskim językiem naukowo-technicznym. Autor używa właściwej terminologii i zrozumiałych zwrotów technicznych. Ilość błędów gramatycznych i iteracyjnych (literówek) jest stosunkowo niewielka. Szata graficzna pracy nie budzi większych zastrzeżeń.

Zamieszczone rysunki są, poza kilkoma wyjątkami, czytelne i dobrze dobrane. Brak jedynie odwołań w treści rozprawy do rys. 7 oraz rysunków 8, 9, a także rysunków 10-28. Ponadto podpisy pod rys. 52, 54 i 56 oraz rys. 53, 55 i 57 są takie same, a te rysunki przecież nie przedstawiają tego samego.

Struktura pracy oraz podział treści na rozdziały jest odpowiedni, chociaż rozdział 4 jest nadmiernie obszerny, bowiem praca sama w sobie nie jest poświęcona zakłóceniom w SEE, ich źródłom oraz sposobom ich eliminacji i zapobiegania.

W rozdziale 4 na str. 85 lub nieco wcześniej (od str. 78) powinien być zamieszczony schemat stacji przekształtnikowej CIGRE, o której Doktorant pisze na str. 78. Na str. 85 pojawiają się wzory z wartościami, które można znaleźć tylko w oczekiwanym przez czytelnika schemacie. Ten brak kontrastuje z obecnością niewiele wnoszącego rys. 121. Prowadzone

Zalowa

rozważania w tym miejscu rozprawy wydają się być ogólne, a są jednak ściśle związane z brakującym rysunkiem. Brak jest w związku z tym wyjaśnień odnośnie do jakichkolwiek wielkości pojawiających się we wzorach (2-33).

Co prawda w tytule rozprawy nie pojawia się pojęcie procesu Markowa, ale ze względu na wykorzystanie w pracy teorii procesów stochastycznych Markowa wyczuwa się niedostatek obszerniejszej podbudowy matematycznej tych zagadnień. Można było tej tematyce poświęcić nawet jeden cały rozdział.

Spis literatury dołączonej do pracy zawiera dobrze dobrane, właściwe dla tematyki rozprawy pozycje. Są to pozycje nowe, opublikowane w renomowanych czasopismach zachodnich. Autor rozprawy prawidłowo cytuje kluczowe pozycje literaturowe, jednak cytowanie na str. 237 pozycji literaturowej [37] własnego autorstwa przy omawianiu szeregów Fouriera wydaje się lekką niezręcznością, a czerpanie informacji o definicji elektroenergetycznego przekaźnika zabezpieczeniowego z Wikipedii (pozycja [45]) niech pozostanie bez komentarza.

5. Główne osiągnięcia Doktoranta

Za główne osiągnięcie Doktoranta należy uznać opracowanie w środowisku programu MATLAB systemu symulacyjno-obliczeniowego RELWARE wykorzystującego w swym działaniu również program ATP-EMTP. Poprawne działanie tego narzędzia wraz z wynikami obliczeń zamieszczonymi w rozprawie potwierdzają słuszność postawionej tezy. Wiąże się ono z szeregiem osiągnięć cząstkowych, do których można zaliczyć:

- zastosowanie uproszczonego modelu Markowa do analizy niezawodnościowej wydzielonego fragmentu SEE z przebiegami zniekształconymi wyższymi harmonicznymi,
- analiza wpływu zakłóceń harmonicznymi w sygnałach zabezpieczeniowych na wskaźniki niezawodności fragmentu SEE,
- jednoczesne wykorzystanie w analizie niezawodnościowej fragmentu SEE wyników cyfrowego modelowania działania zabezpieczeń elektroenergetycznych i wskaźników wyznaczonych na podstawie danych empirycznych pochodzących z eksploatacji urządzeń.

Do znaczących osiągnięć doktoranta należy również zaliczyć dorobek publikacyjny w postaci współautorstwa dwóch artykułów opublikowanych w roku 2017 w IEEE Transactions on Power Delivery.

6. Uwagi szczegółowe i dyskusyjne

1. Jak należy rozumieć „przemnażanie faz” na str. 74?
2. Co to znaczy, że duże kondensatory redukują rezystancję obciążeń (obciążenia) (str. 75)?
3. Przekształtnik działa jako prostownik dla kątów 0° i 90° stopni. A co pomiędzy tymi wartościami? (str. 79).
4. Co oznacza w podpisie pod rys. 10-28, 52, 54 „instantaneous real power”? Czy istnieje taka wielkość w elektrotechnice?
5. Na str. 115 Doktorant napisał, że stosunek odpowiednich napięć i prądów reprezentuje impedancję linii, w której dochodzi do zwarcia. Jest to tak ogólne stwierdzenie, że nie

Zalozona

można go zaakceptować w tej pracy bez dodatkowych wyjaśnień. Należy nadmienić, że impedancja linii nie może zmieniać się pod wpływem zwarcia. Jak to ma się do pojęcia impedancji linii zabezpieczanej? Obliczona wartość zespolona (odpowiednio obliczona) może być porównana z impedancją zgodną (impedancją dla składowej zgodnej), a nie ze składową zgodą chronionej strefy. Brakuje jednego słowa.

6. Wyjaśnienia wymaga prawy rys. 83, a w zasadzie zastosowany algorytm pomiaru impedancji. Widać co prawda opóźnienie pomiaru równe 20 ms (okno pomiarowe), ale nie ma żadnego stanu przejściowego pomiaru. Czy możliwa jest skokowa zmiana obliczanej wartości modułu impedancji? Jak coś takiego się otrzymuje? Siatka tego wykresu jest narysowana bardzo źle, więc trudno lokalizuje się odpowiednie zmiany sygnałów w dziedzinie czasu.
7. Autor rozprawy posługuje się pojęciami dość ogólnymi takimi jak (str. 112) „the protection algorithm (DFT)”. DFT jako takie nie jest algorytmem zabezpieczeniowym. To jest zbyt dalekie uogólnienie.
8. Na str. 115 pojawia się pojęcie „fault region” w sensie charakterystyka działania dla danej strefy. Powinno być raczej „operating characteristic”. Wszelkie porównania prowadzone są nie z impedancją zgodną zabezpieczanego odcinka linii, ale z przyjętą charakterystyką działania dla tego odcinka. Proszę o wyjaśnienie zasady działania zabezpieczenia odległościowego.
9. Jak działa zabezpieczenie odległościowe wykorzystujące wartości „true RMS” (str. 115). Co to za zabezpieczenie? Gdzie w pozycji [2] można znaleźć informacje na ten temat?
10. Na str. 117 Doktorant napisał, że prądowe przekładniki pomiarowe zwykle stosowane są z integratorami. Jakimi? Podano również informację, że prądowe przekładniki zabezpieczeniowe przesyłają do zabezpieczeń prądy o wartości od 1 A do 5 A. A co powyżej tych wartości?
11. Skąd Doktorant wziął wartości (5 V - 50 V) napięć dla przekładników napięciowych? Jak to ma się do znamionowych napięć wtórnych zabezpieczeniowych przekładników napięciowych?
12. Na str. 121 opisano stany modelowane w systemie z rys. 103. Załączenie baterii kondensatorów następuje w 508 ms a nie 580 ms. Po 600 ms modelowane jest zwarcie jednofazowe, co potwierdzają przebiegi z rys 87-90, ale spadek impedancji faz A i C na rys. 91 i 92 jest niewytłumaczalny. Od 600 ms modelowane jest doziemne zwarcie dwufazowe faz A i B (rys. 87 – 90), natomiast z rys. 91 i 92 wynika, że fazami uczestniczącymi w zwarcu były A i C. Ponadto nasuwa się pytanie skąd wzięły się wartości impedancji zabezpieczenia elektromechanicznego? Ono mierzy jakąś impedancję? Na rys. 103 moment załączenia źródła harmonicznego (zamknięcie wyłącznika) oznaczono jako 0.3 s, a powinno być 508 ms. Ponadto zwarcie dwufazowe, które ma być doziemne, na schemacie oznaczono jako zwarcie bez udziału ziemi.
13. Na rys. 103 widoczne są tylko dwa zabezpieczenia elektromechaniczne otwierające wyłączniki faz B i C, a eliminowane są wg rys. 87-90 zwarcia również w fazie A.
14. Wg rys. 103 załączenie źródła harmonicznego w 208 ms odbywa się prawdopodobnie jednak bez równoległej baterii kondensatorów (zał.-wył. w 133-139 ms). Rysunek ten stanowi swego rodzaju łamigłówkę dla czytelnika. Co było, a co powinno być modelowane?
15. Proszę o kilka słów komentarza do sposobu modelowania obciążenia linii 110 kV z rys. 103 i 115. Jakie było obciążenie tej linii?

Julian

16. Na str 128 ostatnie zdanie jest niezrozumiałe. W każdym przypadku THD jest niezmiennie i zmienia (wpływa na) wartości impedancji linii. Jak to rozumieć? Impedancja linii jest wielkością stałą, parametrem linii.
17. W ostatnim akapicie na str. 132 Doktorant napisał o skutkach opóźnienie działania zabezpieczenia ze względu na obecność harmonicznych w sygnałach zabezpieczeniowych. Od selektywności i działania zabezpieczeń rezerwowych istotniejsze tu jest jednak dłuższe w czasie oddziaływanie samych prądów zwarciovych i wpływ zwarcia na stabilność SEE.
18. Na str. 133 Doktorant napisał, że wyższe harmoniczne wpływają na wartość składowej podstawowej napięcia, prądu. Czy to jest prawda? Wpływają na pomiar i to różnie w zależności od algorytmu pomiarowego. Wartość składowej podstawowej w systemie jest niezależna od zakłóceń harmonicznych.
19. Na str. 133 Doktorant napisał, że czasy wyłączenia zmieniają się w zależności od zabezpieczanej fazy linii przesyłowej i THD. Co do tego ma faza A, B, czy C? Fazy są jednorodne (po przepleceniu). Dalej w tym samym akapicie napisano, że algorytm DFT ma stały czas wyłączenia zwarć. Ten algorytm ma tylko stałą długość okna pomiarowego. Czas działania zabezpieczenia może zależeć np. od miejsca zwarcia lub rezystancji zwarcioviej. Stały czas wyłączenia? Jest to bardzo mało prawdopodobne.
20. Dalej w tym samym rozdziale pojawia się pojęcie „a tripping error”. Co to jest? A inna wartość THD niż 18.6% nie powoduje „a tripping error”?
21. Zdanie ze str. 133 brzmi „Different protection settings affect the performance of a relaying system, as well”. Czy Doktorant spodziewał się, że zmiana nastaw przekaźnika nie ma wpływu na jego działanie?
22. Czy możliwość generowania parametrów zwarciovych manualnie lub wg rozkładu równomiernego nie jest zbyt dużym ograniczeniem możliwości opracowanego RelWare? A co z rzeczywistymi rozkładami tych parametrów? Te rozkłady też, a może przede wszystkim te, należy modelować. Proszę o rozwinięcie tego zagadnienia.
23. Proszę podać kilka faktów dotyczących WIRELAY21P. Jak zamodelowane zostało zabezpieczenie odległościowe z rys. 115.
24. Proszę o wyjaśnienie, w jaki sposób zaprojektowano filtr (71). Co wnosi odjemnik w liczniku? Czy w ogóle jest tam potrzebny? I przede wszystkim dlaczego przyjęto częstotliwość odcięcia tego filtra równą 60 Hz? Czy to jest standardowe podejście w projektowaniu przekaźników zabezpieczeniowych? Takie założenie sprawia, że filtr ten rzeczywiście wprowadza opóźnienie działania zabezpieczania równe około 6 ms. To względnie duża wartość. Proponuję zapoznanie się z rozdziałem 1 w [2].
25. Autor na str. 147 napisał, że spośród 14000 symulacji tylko 2358 wykorzystane zostały do analizy niezawodnościowej, a reszta posłużyła do „dopasowania” nastaw zabezpieczenia odległościowego. Czy to jest standardowa procedura nastawiania zabezpieczeń elektroenergetycznych? Wydaje się, że właśnie w tych badaniach (niezawodnościowych) nastawy systemu zabezpieczeniowego powinny być najbliższe rzeczywistym, tzn. dobrane z ogólnie przyjętymi normami, procedurami.
26. W odniesieniu do przebiegu napięcia z rys. 117 nasuwa się pytanie, czy taki przypadek jest możliwy w rzeczywistym SEE? Widać tam 3-tny wzrost napięcia fazowego.
27. Co jest przyczyną niewykrycia zwarcia w fazie C na rys. 119. Przecież zwarcie jest symetryczne i metaliczne, a mierzone moduły impedancji w trzech fazach mają te same wartości.

J. J. J.

28. Proszę o ustosunkowanie się do wartości wyliczonych we wzorach (72)-(75). Czy czas symulacji (0.6 s) ma wpływ na wartości estymowanych prawdopodobieństw? Czy w ogóle powinien lub też może mieć taki wpływ?
29. Na str. 274 przy krótkim opisie dyskretnej transformaty Fouriera Doktorant napisał, że zabezpieczenie zbiera informacje o wektorze napięcia i prądu, dzięki czemu możliwe jest precyzyjne zbadanie stanu i dynamiki systemu. Czy słowo „precyzyjne” nie zostało tu użyte na wyrost?

7. Uwagi redakcyjne

1. Numer strony w spisie treści dla „Jury” powinien być 3, a jest 2.
2. Na str. 137 pojawia się rozdział oznaczony jedyneką rzymską, a wydaje się, że powinien być to podrozdział 6.3.1, jeżeli w ogóle to wyszczególnienie jest tam potrzebne. W spisie literatury pominięto rozdział „Bibliography”.
3. W spisie rysunków (str. 21-22) zamiast greckiej litery alfa jest polskie „A”. To jest prawdopodobnie efekt zbyt dużego zaufania do automatycznego generowania spisu treści w programie WORD.
4. Na str. 40 chyba jest coś przestawione lub podane zostały niepoprawne daty – lata 60-te, a napisano do 1956 r.
5. Na str. 73 pojawiają się skróty PCC, TCR, EAF, których nie zamieszczono w spisie akronimów na początku rozdziału 4. Analogicznie skróty: CSI oraz ZS na str. 75, skrót AF na rys. 5.
6. Co to jest „AC filter”? Chyba chodzi o filtry po stronie prądu przemiennego, więc powinno być „AC side filter”.
7. Na str. 79 jest „instant AC and DC power components”. Chyba powinno być „AC and DC side instantaneous powers” (moce chwilowe po odpowiednich stronach), które to moce powinny być oznaczane małymi literami p. Duża litera „P” oznacza moc czynną.
8. Na str. 85 pojawia się impedancja zastępcza o wartości 0, ale bez jednostki.
9. Niepotrzebnie pojawia się objaśnienie skrótu SCL, bowiem jest on zawarty w spisie akronimów. Jak to się ma do skrótów, które nie zostały wyjaśnione i nie są zestawione w spisie?
10. Czy stosuje się zapis wartości zespolonej we współrzędnych biegunowych w formie „ $|Z|$ at θ ”? Chyba częściej można spotkać zapis $|Z|e^{j\theta}$ lub w krajach anglosaskich $|Z|\angle\theta$.
11. We wzorach (18, 31) Q_C „spadło” z kreski ułamkowej.
12. Na str. 95 zamiast słowa „sufficient” powinno być raczej „acceptable”.
13. Na str. 99 chyba błędnie przetłumaczono tytuł pozycja bibliograficznej [37]. „Cyfrowy przekładnik elektroenergetyczny do modelowania zwarć w systemie elektroenergetycznym”. W tytule mowa jest jednak o przebiegach.
14. Na str. 99 napisano, że harmoniczne powodują zakłócenie wektorów napięć i prądów, które z kolei mają wpływ na działanie elementów SEE. Całe zdanie nie jest najlepiej sformułowane. Zakłócone są przebiegi a nie wektory, natomiast wektory nie wpływają na działanie elementów.
15. Na str. 101 jest Mvar i rzeczywiście powinno być Mvar, natomiast na rys. 66 i w jego podpisie MVA_r, co jest zapisem błędnym.

Zalewski

16. Rysunek 103 być może powinien być pojawić się już w okolicach str. 117, ale jest też bardzo przydatny na str. 127.
17. We wzorze (43) albo brakuje znaku „+” między symbolami macierzy X i B (jeżeli model jest liniowy), albo raczej całe wyrażenie prawej strony powinno być wciągnięte pod znak funkcji $f(*)$ dla zaznaczenia, że model stanowy jest nieliniowy. Podkreślenie oznaczenia wektora stanu X oraz U jest zbędne. To nie są wektory liczb zespolonych.
18. W rozdziale 5 nie zamieszczono listy akronimów, a na str. 121 nie podano znaczenia skrótu FPGA. Brak jest chyba konsekwencji w strukturze poszczególnych rozdziałów, w odniesieniu do zestawień używanych skrótów.
19. We wzorze (45) po znaku równości pojawia się skalar 0. Ponieważ jest to wektor o wartościach zerowych, to powinien być zapisany czcionką bold „0” lub „ $\vec{0}$ ”.
20. Ponieważ wzory (67) do (69) nie mają być ogólnymi zależnościami, a dotyczą impedancji dla składowej podstawowej (50 Hz), w związku z tym we wzorach tych powinno być $k=1$.
21. Na str. 149 napisano, że zabezpieczenie wysyła „locking signal”. Powinno być raczej „tripping signal” albo „trips CB”. Lock-out dotyczy innych operacji.
22. Podrozdział 6.2 to „Index Terms”, 7.3 to „Nomenclature”, a 7.2 to „Index Terms”. A nie „keywords”? Jak ostatecznie być powinno?
23. Na str. 162 odwołanie do wzorów (18) i (21) jest błędne, jak również do wzoru (24) na str. 169.
24. Na str. 173 napisano, że bardzo zakłócone wektory napięć i prądów płyną w systemach przesyłowych. Wektory i napięcia nie płyną. To zdanie powinno być zredagowane inaczej.
25. Na str. 270 wartości ułamka powinny być podane po kropce, a nie po przecinku.
26. Na str. 271 brakuje wyrazu „response” po „as flat frequency ...”.
27. Literówki na str. 18, 27, 45, 51, 60 (powinny być duże litery w opisach skrótów), 61, 63, 165 (powinno być „unchanged”).

Przedstawione powyżej uwagi nie obniżają wartości merytorycznej rozprawy i nie umniejszają osiągnięć Doktoranta.

8. Wniosek końcowy

Przedstawiona rozprawa stanowi samodzielne rozwiązanie aktualnego i ważnego problemu naukowego i praktycznego. Doktorant właściwie wykorzystał zaproponowane metody badawcze i modele matematyczne do osiągnięcia założonego celu.

Recenzowana rozprawa doktorska mgr inż. Jakuba Jędrzejczaka pt. **Reliability assessment of protective relays in harmonic-polluted power systems** spełnia ustawowe wymagania dotyczące rozpraw doktorskich zawarte w art. 13 Ustawy z dnia 14 marca 2003 r. o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki (Dz. U. nr 65, poz. 595 z późniejszymi zmianami). W związku z tym wnioskuję do Rady Wydziału Elektrotechniki, Elektroniki, Informatyki i Automatyki Politechniki Łódzkiej w Łodzi o dopuszczenie jej do publicznej obrony.

Jakub Jędrzejczak