

Dr hab. inż. Lubomir Marciniak, prof. PCz

Częstochowa, 22.07.2019

Instytut Elektroenergetyki
Politechnika Częstochowska
42-200 Częstochowa,
Aleja Armii Krajowej 17, p. F221
E-mail: lubmar@el.pcz.czyst.pl

RECENZJA

rozprawy doktorskiej mgr inż. Bernarda Wiechy pt. „Nowe kryteria detekcji zwarć doziemnych w sieciach rozdzielczych średniego napięcia”

Niniejsza recenzja została opracowana na zlecenie Dziekana Wydziału Elektrycznego Politechniki Wrocławskiej prof. dr hab. inż. Waldemara Rebizanta, które przekazano pismem W-5/965/2019 z dnia 24.06.2019 wraz z egzemplarzem rozprawy doktorskiej.

1. Aktualność tematyki rozprawy

Zwarcia doziemne w sieciach średnich napięć (SN) są najczęściej występującymi zakłóceniami. Wpływają one niekorzystnie na wskaźniki niezawodności sieci takie jak: SAIDI, SAIFI i MAIFI. Zwarcia te powodują trwałe uszkodzenia urządzeń elektroenergetycznych, zagrożenia porażeniowe i pożarowe. Są one często przyczyną dużych przepięć prowadzących do znacznie groźniejszych w skutkach zwarć podwójnych i wielokrotnych.

W ostatnich latach nastąpił znaczny postęp w zakresie selektywnego wykrywania i eliminacji zwarć doziemnych w sieciach SN. Do największych osiągnięć należy niewątpliwie upowszechnienie się admitancyjnych kryteriów detekcji zwarć i ich implementacja w postaci cyfrowych algorytmów pomiarowych i decyzyjnych w terminalach zabezpieczeniowych. Jednak skuteczność działania zabezpieczeń ziemnozwarciowych jest nadal niezadawalająca, zwłaszcza w sieciach kompensowanych.

Stosowane obecnie kryteria detekcji zwarć (nadprądowe, kierunkowe czynności biernoprądowe oraz admitancyjne) bazują głównie na wykorzystaniu podstawowych harmonicznych sygnałów prądu i napięcia kolejności zerowej. Kryteria te są skuteczne w przypadku zwarć pośrednich z udziałem stosunkowo niedużej rezystancji przejścia

w miejscu zwarcia, na ogół nieprzekraczającej 2-4 k Ω , lub stacjonarnych i quasi-stacjonarnych zwarć łukowych z jednoczesnym występowaniem stosunkowo niedużej rezystancji przejścia. Zwarcia pośrednie wysokorezystancyjne z udziałem nieliniowej rezystancji przejścia oraz zwarcia łukowe przerywane nie są wykrywane przez zabezpieczenia z klasycznymi (konwencjonalnymi) kryteriami działania z powodu ograniczeń technicznych. Głównymi ograniczeniami są:

- próg napięciowy warunkujący działanie większości zabezpieczeń. Napięcie rozruchowe musi być większe od maksymalnego napięcia asymetrii dla składowej zerowej;
- próg prądowy. Prąd rozruchowy musi być większy od maksymalnego prądu uchybowego filtrów składowej zerowej prądu.

Od progu napięciowego i prądowego zależą też inne ograniczenia – czynno- i biernoprądowe oraz admitancyjne (konduktancyjne, susceptancyjne). Ponadto w przypadku niestacjonarnych zwarć łukowych występuje duża zmienność wielkości kryterialnych powodująca nieciągłość pobudzenia i w efekcie brak zadziałania zabezpieczeń.

Szacuje się, że w sieciach SN w Polsce, zależnie od sposobu uziemienia punktu neutralnego sieci, nie jest wykrywanych od 2 do 15% zwarć doziemnych.

Doskonalenie sposobów detekcji zwarć doziemnych w oparciu o wykorzystanie nowych technik cyfrowego przetwarzania sygnałów i nowych kryteriów działania zabezpieczeń, w tym tak zwanych wieloczęstotliwościowych admitancyjnych (konduktancyjnych i susceptancyjnych) jest istotne zarówno z naukowego jak i praktycznego punktu widzenia. Recenzowana rozprawa doktorska pt. „**Nowe kryteria detekcji zwarć doziemnych w sieciach rozdzielczych średniego napięcia**” stanowi udaną próbę rozwiązania ważnego i aktualnego problemu detekcji zwarć z wykorzystaniem nowoczesnych narzędzi i metod badawczych. Jej głównym celem jest udowodnienie zasadności wykorzystania zoptymalizowanych wieloczęstotliwościowych kryteriów głównie admitancyjnych do selektywnej detekcji zwarć w sieciach SN z różnymi sposobami uziemienia punktu neutralnego.

2. Przegląd treści rozprawy

Przedstawiona do oceny rozprawa doktorska liczy łącznie 106 stron i składa się z wykazu ważniejszych oznaczeń, 8 rozdziałów i spisu literatury (punkt 9).

Rozdział 1, czyli wstęp zawiera uzasadnienie celowości prowadzenia prac badawczych zmierzających do poprawy skuteczności detekcji zwarć w sieciach SN z punktem neutralnym izolowanym, uziemionym przez rezystor i uziemionym przez cewkę kompensacyjną. Wskazano na ograniczenia wynikające ze stosowania tradycyjnych kryteriów detekcji zwarć opartych na wykorzystaniu podstawowych harmonicznych prądu i napięcia kolejności zerowej. Dokonano syntetycznego przeglądu nowych, testowanych metod wykrywania zwarć, głównie wysokorezystancyjnych, wykorzystujących składowe wysokoczęstotliwościowe sygnałów. Wskazano na potrzebę doskonalenia algorytmów pomiarowych i decyzyjnych stosowanych obecnie do detekcji zwarć doziemnych przez wykorzystanie w nich składowych wysokoczęstotliwościowych.

W rozdziale 2 sformułowano tezę pracy w brzmieniu: **„Istnieje możliwość optymalizacji charakterystyk wieloczęstotliwościowych filtrów ortogonalizujących, które pozwalają wykorzystać dostępne formuły obliczeniowe konduktancji i susceptancji do detekcji zwarć doziemnych w sieciach rozdzielczych SN”**, której udowodnienie postawiono za główny cel pracy. Wymagało to wykonania szeregu zadań badawczych, zasygnalizowanych przez Doktoranta. Są to:

- wykorzystanie algorytmów programowania nieliniowego do optymalizacji wieloczęstotliwościowych filtrów ortogonalizujących sygnały pomiarowe zabezpieczeń;
- implementacja algorytmów detekcji doziemień w środowisku Matlab;
- analiza skuteczności algorytmów detekcji zwarć doziemnych na podstawie sygnałów uzyskanych z wielowariantowych symulacji zwarć w sieci SN zamodelowanej w programie ATP-EMTP.

W rozdziale 3 omówiono ogólne właściwości rozdzielczych sieci SN, ich podział ze względu na sposób uziemienia punktu neutralnego, przeprowadzono uproszczoną analizę zwarć doziemnych w tych sieciach i wymieniono wielkości charakterystyczne stosowane do oceny zwarć doziemnych.

Rozdział 4 zawiera opis filtrów składowych zerowych prądu i napięcia dostarczających podstawowych wielkości pomiarowych do zabezpieczeń ziemnozwarciowych oraz opis konwencjonalnych kryteriów detekcji zwarć doziemnych: zerowonapięciowego, zerowoprądowego, kierunkowego czynno- i biernoprądowego, admitancyjnego, konduktancyjnego i susceptancyjnego. Opisano też niekonwencjonalne kryteria ziemnozwarciowe:

- uogólnione kryterium biernomocowe oparte na iloczynie całki za okres sygnału prądu i transformaty Hilberta sygnału napięcia, które uwzględnia moce bierne podstawowej i wyższych harmoniczných sygnałów;
- wieloczęstotliwościowe kryterium admitancyjne wykorzystujące admitancję wypadkową, której część czynna zawiera uśrednione sumy konduktancji a część bierna uśrednione sumy susceptancji dla podstawowej i wyższych harmoniczných.

W rozdziale 5 opisano model sieci SN sporządzony w programie EMTP do generacji przebiegów zwarciových wykorzystywanych do celów optymalizacji filtrów oraz do późniejszej oceny skuteczności zaproponowanych algorytmów detekcji zwarć. Sporządzono model sieci mieszanej o napięciu znamionowym 20 kV składającej się z pięciu pól liniowych. Całkowity prąd pojemnościowy tej sieci wynosi 79,5 A. Sieć może pracować z punktem neutralnym:

- izolowanym,
- uziemionym przez rezystor o wartości 105 Ω (na prąd znamionowy 110 A);
- uziemionym przez cewkę Petersena i równolegle załączany rezystor (przez układ AWSC) wymuszający prąd czynny do wartości 20,6 A.

Model umożliwił symulowanie zwarć rezystancyjnych z udziałem liniowej i nieliniowej rezystancji zwarcia, zwarć łukowych stacjonarnych i niestacjonarnych w tym zwarć przerywanych. Model umożliwił także generowanie zakłóceń harmoniczných.

Rozdział 6 jest kluczowym rozdziałem pracy, w którym sformułowano nowe zoptymalizowane, w zamyśle autora wieloczęstotliwościowe, kryteria zabezpieczeniowe:

- mocowe oparte na wykorzystaniu transformaty Hilberta,
- zoptymalizowane wieloczęstotliwościowe kryteria oparte na doborze współczynników pary optymalizowanych filtrów ortogonalizujących i zastosowaniu klasycznych algorytmów pomiarowych wykorzystujących składowe ortogonalne sygnałów:
 - czynno- i biernomocowe oraz mieszane,
 - quasi-konduktancyjne,
 - quasi-susceptancyjne,
 - quasi-admitancyjne wykorzystujące sumę ważoną składowych konduktancji i susceptancji.

W rozdziale tym opisano także, przynajmniej w ogólnym zarysie, metodę optymalizacji zaproponowanych kryteriów.

Rozdział 7 zawiera analizę skuteczności zaproponowanych zoptymalizowanych kryteriów zabezpieczeniowych. Oceniano ją na zbiorze testowym zwarć doziemnych (nie

podano jak licznym) z występowaniem czterech typów zwarć doziemnych z dużą liczbą parametrów zmienianych losowo (rezystancji przejścia, napięcia zapłonu i stałej czasowej łuku, miejsca zwarcia, fazy zwartej, zawartości harmoniczných, błędów filtrów składowych zerowych) znacznie zaciemniających wyniki analizy. Oceniano procentowy udział działań nadmiarowych (błędnych) i brakujących. Wyniki badań sporządzono dla zoptymalizowanych kryteriów zabezpieczeniowych, w których zastosowano filtry ortogonalizujące 2-okresowe i filtry uśredniające 3-okresowe w przypadkach próbkowania sygnałów z częstotliwością 1000 lub 2000 Hz. Na podstawie badań wyselekcjonowano najlepsze warianty kryteriów wieloczęstotliwościowych dla trzech rodzajów sieci i porównano skuteczność ich działania z konwencjonalnymi kryteriami: zoptymalizowanego susceptancyjnego z susceptancyjnym w sieci z izolowanym punktem neutralnym, zoptymalizowanego konduktancyjnego z konduktancyjnym w sieci uziemionej przez rezystor i zoptymalizowanego susceptancyjnego z konduktancyjnym w sieci kompensowanej z AWSC. Z porównań wynika, że nowe kryteria charakteryzują się znacznie lepszą skutecznością detekcji zwarć w przypadku zwarć przerywanych i przez nieliniową rezystancję przejścia. Przedstawiono też wybrane przypadki procesów detekcji zwarć różnego rodzaju z wykorzystaniem nowych kryteriów zabezpieczeniowych w trzech rodzajach sieci.

W p. 7.3.7 przedstawiono funkcje współczynników zoptymalizowanych par filtrów dla zaproponowanych kryteriów wieloczęstotliwościowych. Nietrudno zauważyć, że filtry te, w stosunku do klasycznych filtrów z oknami sinus i cosinus, są mocno zniekształcone i nie są ani ortogonalne, ani pasmowoprzepustowe i wyraźnie tłumią podstawową harmoniczną.

Rozdział 8 zawiera podsumowanie wyników pracy. Punkt 9, oznaczony przez autora jako rozdział, to spis literatury zawierający 99 pozycji.

3. Ocena merytoryczna treści rozprawy

Przedstawiona do oceny rozprawa doktorska jest oryginalnym i wartościowym opracowaniem naukowym z dyscypliny elektrotechnika, obecnie automatyka, elektronika i elektrotechnika w dziedzinie nauk inżynieryjno-technicznych. Jest ona wartościowa zarówno pod względem poznawczym jak i praktycznym.

Prawidłowo uzasadniono celowość badań naukowych zmierzających do poprawy skuteczności wykrywania zwarć doziemnych, sformułowano oryginalną tezę pracy, zakładającą możliwość syntezy wieloczęstotliwościowych filtrów ortogonalizujących pozwalających uzyskać znaczną poprawę skuteczności detekcji zwarć za pomocą

zoptymalizowanych kryteriów, głównie admitancyjnych (konduktancyjnego i susceptancyjnego) ale również czynno- i biernomocowych. Dokonano syntezy zoptymalizowanych kryteriów oraz wykazano, na podstawie badań symulacyjnych, ich wyższą skuteczność w wykrywaniu zwarć w porównaniu z kryteriami konwencjonalnymi.

Problem naukowy opisany przez Doktoranta został rozwiązany w rozdziałach 6 i 7, w których przedstawiono opisy zaproponowanych zoptymalizowanych kryteriów zabezpieczeniowych: czynno- i biernomocowych oraz konduktancyjnych i susceptancyjnych, opis metody optymalizacyjnej oraz wyniki optymalizacji badanych kryteriów dla sieci testowej z punktem neutralnym izolowanym, uziemionym przez rezystor oraz uziemionym przez dławik kompensacyjny. Przedstawiono także wyniki analizy porównawczej skuteczności zaproponowanych kryteriów z kryteriami konwencjonalnymi oraz wyniki wpływu zakłóceń sygnałów zabezpieczeniowych na skuteczność wykrywania doziemień. Skuteczność detekcji zwarć za pomocą nowych kryteriów zabezpieczeniowych potwierdzono przebiegami procesów detekcji wybranych zwarć łukowych quasi-stacjonarnych i przerywanych w sieci testowej z różnymi sposobami uziemienia punktu neutralnego.

Do udowodnienia tezy wykorzystano właściwe narzędzia badawcze w postaci programów symulacyjnych ATP-EMTP i Matlab. W środowisku programu ATP-EMTP wykonano model sieci SN 20 kV, zasymulowano i zarejestrowano dwie serie przebiegów zwarciovych różnego rodzaju, z których jedną wykorzystano do optymalizacji nowych algorytmów zabezpieczeniowych, a drugą do ich testowania. Natomiast w środowisku Matlab wykonano syntezę zoptymalizowanych algorytmów zabezpieczeniowych oraz ich testowanie.

Do syntezy nowych algorytmów zastosowano metodę nieliniowego programowania matematycznego bez ograniczeń, która w ogólnym przypadku, w zastosowaniu do kryterium quasi-admitancyjnego, sprowadza się do określenia współczynników dwóch filtrów ortogonalizujących w_c i w_s , dwóch współczynników wagowych w_p i w_q i współczynnika progu decyzji w_0 . Dobór wspomnianych współczynników odbywa się drogą minimalizacji funkcji celu, jaką jest skumulowany błąd średniokwadratowy między docelowymi a aktualnymi chwilowymi decyzjami dla danego zestawu treningowego. Do minimalizacji funkcji celu zastosowano zmodyfikowany algorytm Livenberga-Marquardta.

W wyniku badań symulacyjnych udowodniono ponad wszelką wątpliwość znacznie wyższą skuteczność zaproponowanych algorytmów detekcji zwarć w stosunku do algorytmów konwencjonalnych. Dotyczy to zwłaszcza zmodyfikowanego kryterium susceptancyjnego $d_{\bar{b}}$ dla sieci kompensowanych z AWSC, które pozwala radykalnie

poprawić skuteczność wykrywania zwarć doziemnych z udziałem nieliniowej rezystancji zwarcia nawet o kilkadziesiąt procent (około 30%) w stosunku do tradycyjnego kryterium konduktancyjnego G_{50} . Innymi słowy, udowodniono zasadność stosowania zmodyfikowanych kryteriów zabezpieczeniowych wykorzystujących zoptymalizowane filtry ortogonalizujące do poprawy skuteczności detekcji zwarć doziemnych, co było głównym celem pracy.

Wyniki badań mają dużą wartość praktyczną, gdyż mogą być wykorzystane do opracowania prototypu zabezpieczenia.

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

Praca napisana jest dobrym językiem naukowo-technicznym. Autor używa właściwej terminologii i zrozumiałych zwrotów technicznych. Ilość błędów gramatycznych jest stosunkowo niewielka natomiast błędów edycyjnych (literówek) duża (kilkadziesiąt). Szata graficzna pracy nie budzi większych zastrzeżeń. Zamieszczone rysunki są czytelne i dobrze dobrane.

Struktura pracy oraz podział treści na rozdziały, w przeciwieństwie do wartości merytorycznej, pozostawiają wiele do życzenia. Rozdział 3 zawiera przeważnie wiedzę bardzo ogólną, wręcz podręcznikową, i mógłby być z powodzeniem usunięty, gdyż spełnia on rolę „wypełniacza”. Podobna uwaga dotyczy większości materiału w rozdziale 4.

Opis testowego modelu sieci SN w p. 5.2 jest dość ogólny. Brakuje w nim szczegółów dotyczących zwłaszcza budowy linii (rodzaju kabli i przewodów linii napowietrznych oraz długości poszczególnych odcinków). Skąpo opisano także przypadki zwarć łukowych z jednoczesnym udziałem rezystancji przejścia. Z przypadków zwarć doziemnych w p. 7.3.6 wynika, że rezystancja przejścia była niewielka, najczęściej nie większa niż 1 k Ω .

Wyniki przedstawione w podrozdziale 7.3.2 zasługują na zdecydowanie obszerniejsze objaśnienia i dyskusję. Nie jest jasne, jakim zwarciom odpowiada brak działania zabezpieczeń, a jakim odpowiadają działania nadmiarowe.

Wydaje się także, że p. 7.3.7 przedstawiający zoptymalizowane filtry dla poszczególnych kryteriów zabezpieczeniowych powinien znajdować się na początku rozdziału 7, a dopiero po nim powinna wystąpić analiza skuteczności zoptymalizowanych kryteriów wykorzystujących te filtry.

Spis literatury dołączony do pracy zawiera pozycje właściwe, dobrze dobrane do tematyki rozprawy. W zdecydowanej większości zamieszczone pozycje są dość nowe,

opublikowane po roku 2000 w renomowanych czasopismach zachodnich i na tematycznych konferencjach międzynarodowych. Autor rozprawy prawidłowo cytuje wszystkie załączone pozycje. Niepokoi fakt, że w spisie literatury Doktorant nie umieścił żadnej swojej publikacji. Z bazy DONA Politechniki Wrocławskiej wynika, że ma on w swoim dorobku pięć publikacji, z których cztery są powiązane tematycznie z rozprawą doktorską i powinny być cytowane, gdyż świadczą one o weryfikacji i aprobachie tematyki rozprawy w środowisku naukowym.

5. Główne osiągnięcia Doktoranta

Za główne, oryginalne osiągnięcie Doktoranta można uznać **syntezę zoptymalizowanych wieloczęstotliwościowych ziemnozwarciowych kryteriów zabezpieczeniowych wykorzystujących filtry ortogonalizujące i udowodnienie ich wyższej skuteczności wykrywania zwarć doziemnych w porównaniu z kryteriami konwencjonalnym**. Wiąże się ono z szeregiem osiągnięć cząstkowych, takich jak:

- zdefiniowanie nowych wieloczęstotliwościowych kryteriów detekcji zwarć doziemnych (zerowomocowych i admitancyjnych),
- optymalizacja parametrów filtrów ortogonalizujących wykorzystywanych w nowych kryteriach dla trzech rodzajów sieci ze względu na sposób uziemienia punktu neutralnego,
- ocena skuteczności działania nowych kryteriów na podstawie reprezentatywnego zbioru sygnałów zwarciovych uzyskanych z symulacji w sieci SN zamodelowanej w ATP-EMTP. W zbiorze uwzględniono szeroką gamę zwarć: z udziałem liniowej i nieliniowej rezystancji przejścia, zwarć łukowych stacjonarnych i niestacjonarnych, zwarć łukowych przerywanych z udziałem rezystancji przejścia do 10 k Ω , z uwzględnieniem szerokiego spektrum harmonicznych w napięciach zasilających.
- ocena porównawcza skuteczności wyselekcjonowanych nowych kryteriów zabezpieczeniowych z kryteriami konwencjonalnymi.

Do liczących się osiągnięć Doktoranta należy zaliczyć także jego dorobek publikacyjny, na który składa się pięć prac współautorskich.

6. Uwagi szczegółowe i dyskusyjne

1. Pomysłodawcy wieloczęstotliwościowego admitancyjnego kryterium detekcji zwarć, J. Altonen i A. Wahlroos, założyli sumowanie składowych częstotliwościowych wielkości kryterialnej. Przykładowo dla wieloczęstotliwościowego kryterium susceptancyjnego

oznacza to obliczenie susceptancji wypadkowej będącej sumą susceptancji dla podstawowej i wyższych harmonicznych sygnałów pomiarowych. Tymczasem w zoptymalizowanych kryteriach wieloczęstotliwościowych przedstawionych w pracy optymalizuje się „filtry ortogonalizujące”. Wykorzystanie składowych „pseudoortogonalnych” z takich filtrów do obliczania wielkości kryterialnej za pomocą standartowych algorytmów pomiarowych nie powoduje automatycznie sumowania składowych częstotliwościowych. W związku z tym powstaje pytanie, które kryteria są lepsze – te uzyskane z sumowania czy zaproponowane w pracy. Czy były prowadzone jakiegokolwiek badania porównawcze w tym zakresie?

2. Czy jest zasadne używanie nazwy „filtry ortogonalizujące” w stosunku do zoptymalizowanych filtrów, które z ortogonalnością mają niewiele wspólnego?
3. Optymalizacja kryteriów zabezpieczeniowych jest bardzo złożonym procesem. Tymczasem w pracy przedstawiono tylko ogólny jej zarys. Wydaje się, że praca powinna zawierać załącznik w postaci opisu algorytmu optymalizacji i jego implementację w postaci listingu programu wykonanego w Matlabie.
4. Optymalizację algorytmów zabezpieczeniowych przeprowadzono na podstawie określonej populacji przebiegów zwarciovych w sieci o konkretnej konfiguracji i o zadanych parametrach. W jakim stopniu obliczone zoptymalizowane filtry mogą być zastosowane w innych sieciach, o innej konfiguracji i parametrach zwarciovych?
5. Jak liczny musi być zbiór treningowych przebiegów zwarciovych, żeby uzyskać zadawalające rezultaty optymalizacji? W pracy nie ma żadnej wzmianki na ten temat.
6. Przeprowadzona ocena skuteczności zaproponowanych kryteriów zabezpieczeniowych jest zbyt ogólna. Na jej podstawie nie można się zorientować, jakiej grupie zwarć można przypisać działania nadmiarowe, a jakiej błędne? Przykładowo, jaka jest graniczna wartość rezystancji przejścia, powyżej której zabezpieczenia przestają działać?
7. W pracy zoptymalizowano filtry ortogonalizujące o długości okna równej najczęściej dwóm lub trzem okresom. Dlaczego wybrano taką długość okna? Ponadto, czy zamiast stosować filtry uśredniające o długości okna równej trzem okresom lub dłuższej, żeby „uciąglić” wielkość kryterialną przy zwarciach przerywanych występujących sporadycznie, nie lepiej zastosować krótsze uśrednianie i inercję czasową, jak to zaproponował K. Musierowicz w pracy [58]? Wydłużanie okna uśredniającego prowadzi przecież do zmniejszenia wielkości kryterialnych i tym samym do zmniejszenia czułości.

7. Uwagi redakcyjne

1. Wyrażenie „Automatyka Wymuszania Składowej Czynnej” w spisie treści i w p. 2.3 (str. 12) należy pisać małymi literami, gdyż nie jest to nazwa własna.
2. Oznaczenie prądów I_{0L} i I_{0S} na stronie 19 jako całkowitych wartości prądów doziemnych linii i sieci (potrójonych wartości składowych zerowych) burzy od dawna ustanowiony porządek w oznaczeniach i wprowadza chaos pojęciowy. To samo dotyczy oznaczeń pojemności dla składowych zerowych C_{0L} i C_{0S} . Pod pojęciem składowej zerowej rozumiana była do tej pory zawsze pojedyncza składowa zerowa. Całkowity prąd doziemny oznaczany jest najczęściej indeksem E (earth), a potrójona pojemność dla składowej zerowej indeksem T (total). Tak więc dla uniknięcia nieporozumień należałoby przyjąć na przykład następujące oznaczenia: $I_{EL} = 3I_{0L}$, $I_{ES} = 3I_{0S}$, itp.
3. We wzorach (3.5) i (3.6) są błędy. Powinna w nich występować susceptancja $1/(j\omega L_{DŁ})$ a nie reaktancja $j\omega L_{DŁ}$.
4. Zwrot „zwarcia liniowe”, wielokrotnie powtarzany w pracy, jest nieodpowiedni. Chodzi przecież o zwarcia przez rezystancję R_p o stałej, niezależnej od prądu, wartości.
5. Zwrot na stronie 32 „indukcja jest odbiornikiem mocy biernej” powinien brzmieć „indukcyjność jest odbiornikiem mocy biernej”.
6. W nagłówku 4.4.2 występuje odsyłacz do literatury, czego się raczej nie robi.
7. We wzorze (4.28) jest o jedno „j” za dużo.
8. Na stronie 36 w ostatnim wierszu występuje błąd przeniesienia tekstu.
9. Odwołanie się do rysunku 5.3 na stronie 37 jest błędne gdyż rysunek 5.3 nie przedstawia charakterystyki magnesowania przekładnika IO-11.
10. Na rysunku 5.4 strumień Ψ nie może być w [VA].
11. Zwrot „przez cewkę Petersena o wartości zmiennej losowo” w pierwszym akapicie pod rysunkiem 5.4 na str. 39 powinien brzmieć „przez cewkę Petersena o wartości reaktancji zmiennej losowo”.
12. Zwrot na stronie 41 „zwarcia metaliczne przez statyczną rezystancję” powinien brzmieć „zwarcia metaliczne i przez statyczną rezystancję”.
13. Pod koniec 2 akapitu na stronie 64 zamiast zwrotu „modeli przejścia” powinno być „modeli rezystancji przejścia”.
14. W tabeli 7.45 zamiast „Bad. [%]” powinno być „Nad, [%]”.
15. Na str. 84 zamiast „dla tak niekorzystnym warunkom” powinien być „dla tak niekorzystnych warunków”.

16. W pracy występują liczne literówki (kilkadziesiąt) i słowa użyte w niewłaściwych przypadkach, na przykład:

- str. 7 ak. 1 jest „ograniczenie” zamiast „ogranicza”;
- str. 9 jest „W rozdział 6” zamiast w „W rozdziale 6”;
- str. 10 ak. 2 jest „zerowo napięciowy” zamiast „zerowo-napięciowy” lub „zerowonapięciowy” oraz jest „ko2nwencjonalne” zamiast „konwencjonalne”;
- str. 11 ak. 1 jest „poszykuje” zamiast „poszukuje”, ak. 4 jest „punk” zamiast „punkt”;
- str. 14 p.3.3.1 ak. 2 jest „prowadzenie” zamiast „wprowadzenie”;
- str. 16 p.3.2.4 jest „samo gaśnięcia” zamiast „samogaśnięcia” oraz w p. 3.3 ak. 3 jest „jednym przewodami” zamiast „jednym przewodem”.

Przedstawione powyżej uwagi redakcyjne nie obniżają jednak wartości merytorycznej rozprawy i nie umniejszają osiągnięć autora.

8. Wniosek końcowy

Przedstawiona rozprawa stanowi samodzielne rozwiązanie aktualnego i ważnego problemu naukowego i praktycznego w dyscyplinie elektrotechnika, obecnie automatyka elektronika i elektrotechnika. Doktorant właściwie wykorzystał zaproponowane metody badawcze i modele matematyczne do osiągnięcia założonego celu.

Recenzowana rozprawa doktorska mgr inż. Bernarda Wiechy pt. **”Nowe kryteria detekcji zwarć doziemnych w sieciach rozdzielczych średniego napięcia”** 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 Elektrycznego Politechniki Wrocławskiej we Wrocławiu o dopuszczenie jej do publicznej obrony.

