



POLITECHNIKA ŚWIĘTOKRZYSKA W KIELCACH
WYDZIAŁ ELEKTROTECHNIKI, AUTOMATYKI
I INFORMATYKI

25-314 KIELCE, AL. TYSIĄCLECIA PAŃSTWA POLSKIEGO 7 Tel.: (041) 34 24 129 Fax/tel.: (041) 34 47 758 E-mail: weaii@tu.kielce.pl

dr hab. inż. Andrzej Ł. Chojnacki, prof. PŚk
Politechnika Świętokrzyska w Kielcach
Wydział Elektrotechniki, Automatyki i Informatyki
Katedra Energetyki, Energoelektroniki i Maszyn elektrycznych

Kielce, 27.06.2023 r.

SEKRETARIAT
Rady Dyscypliny AEEITK

Wpłynęło dnia 27. 06. 2023

Zarejestrowano pod nr

Podpis *dm*

RECENZJA
rozprawy doktorskiej
mgr inż. Jarosława Maksymiliana Kmaka

**„Analiza wpływu losowości parametrów sieci i spodziewanych zakłóceń na
wybór sposobu połączenia z ziemią punktu neutralnego w sieci średniego
napięcia”**

Promotor rozprawy: dr hab. inż. Wiesław Nowak, prof. AGH

Promotor pomocniczy: dr inż. Rafał Tarko

1. Podstawa opracowania recenzji

Recenzja została opracowana na zlecenie Przewodniczącego Rady Dyscypliny Naukowej Automatyka, Elektronika, Elektrotechnika i Technologie Kosmiczne Akademii Górniczo Hutniczej dr hab. inż. Ryszarda Sroki, prof. AGH, pismo z dnia 27 kwietnia 2023 roku, w związku z powołaniem mnie na recenzenta przez Radę Dyscypliny Naukowej Automatyka, Elektronika, Elektrotechnika i Technologie Kosmiczne Akademii Górniczo Hutniczej na posiedzeniu w dniu 27 kwietnia 2023 roku.

2. Ogólna charakterystyka rozprawy

Ocenie podlega rozprawa doktorska „Analiza wpływu losowości parametrów sieci i spodziewanych zakłóceń na wybór sposobu połączenia z ziemią punktu neutralnego w sieci średniego napięcia”. Rozprawa zawiera 180 stron tekstu i składa się z 8 rozdziałów podstawowych (150 stron), 1 załącznika (7 stron) oraz bibliografii, liczącej 212 pozycji. Rozprawę poprzedza streszczenie w języku polskim oraz angielskim (2 strony), a także wykaz ważniejszych oznaczeń wykorzystanych w pracy (9 stron).

Rozdziały główne obejmują następujące zagadnienia:

1. Wstęp.
2. Problemy wyboru sposobu połączenia z ziemią punktu neutralnego sieci elektroenergetycznych.

3. Kryteria wyboru sposobu połączenia z ziemią punktu neutralnego w sieciach średnich napięć.
4. Analiza czynników losowych wpływających na skutki jednofazowych zwarcí doziemnych w sieciach średnich napięć.
5. Model sieci średniego napięcia do statystycznych badań skutków jednofazowych zwarcí doziemnych.
6. Metoda statystycznej oceny skutków jednofazowych zwarcí doziemnych w sieciach średnich napięć.
7. Zastosowanie analizy statystycznej do wyboru wariantu pracy punktu neutralnego przykładowej sieci średniego napięcia.
8. Podsumowanie.

W załączniku Autor zamieścił model sieci średniego napięcia z uwzględnieniem parametrów wzdłużnych linii. Przedstawił schemat rozważanej sieci w postaci czteroprzewodowego obwodu zastępczego oraz jej kompleksowy model matematyczny.

Jak już wspomniano, rozprawa doktorska zawiera wykaz literatury liczący 212 pozycji. Uważam, iż jest to znaczna liczba publikacji. Pozytywnie wypada także ocena jakościowa źródeł. Znaczną ich część stanowią materiały anglojęzyczne (ok. 40%), co sugeruje, iż Autor dokonał bardzo dokładnej kwerendy bibliotecznej obejmującej publikacje krajowe, ale także międzynarodowe. Przedstawione pozycje literaturowe pochodzą w większości z ostatnich dziesięciu lat oraz są poprawnie dobrane do tematyki pracy. W wykazie znajdują się także pozycje własne Autora rozprawy doktorskiej. Publikacje są cytowane w sposób prawidłowy, we właściwych miejscach rozprawy.

3. Ocena wyboru tematu rozprawy i jej zakresu

Problem wyboru sposobu pracy punktu neutralnego sieci średnich napięć nie jest zagadnieniem nowym, aczkolwiek pozostaje cały czas aktualny. Wynika to z kilku aspektów do których zaliczyć trzeba przede wszystkim wagę problemu oraz jego złożoność i wieloaspektowość. Wybór konkretnego rozwiązania technicznego w tym zakresie wynika przede wszystkim z analizy zagrożenia porażeniowego przy zwiarcích doziemnych oraz skuteczności działania zabezpieczeń ziemnozwarciowych. W analizach tych nie powinno się także pomijać kwestii poziomu przepięć dorywczych i przejściowych jakie występują w przypadku wykorzystania konkretnego sposobu pracy punktu neutralnego. Waga problemu jest więc olbrzymia. W skrajnym przypadku wybór sposobu pracy punktu neutralnego sieci może decydować o życiu lub śmierci człowieka. Złożoność i wieloaspektowość zagadnienia polegają między innymi na wzajemnie przeciwstawnych wymaganiach, jakie na prądy i napięcia występujące podczas zakłócenia, a więc także na impedancję uziemienia punktu neutralnego, nakładają wyżej wymienione kryteria (minimalizacja zagrożenia porażeniowego oraz skuteczność działania zabezpieczeń ziemnozwarciowych). Wybór sposobu pracy punktu neutralnego jest więc w praktyce kompromisem pomiędzy poszczególnymi wymaganiami. Ponieważ priorytety nie tylko poszczególnych krajów, ale także poszczególnych podmiotów na terenie jednego kraju, są zróżnicowane, prowadzi to do wyboru różnych sposobów pracy punktu neutralnego. Często wspomniane priorytety są wynikiem wymagań technicznych oraz prawnych, a nawet uwarunkowań historycznych.

Dodatkowy problem w kwestii wyboru sposobu pracy punktu neutralnego stwarza fakt, iż większość sieci SN to sieci mieszane, napowietrzno-kablowe. W wielu

opracowaniach wskazuje się jako rozwiązanie sugerowane dla sieci czysto napowietrznych uziemianie punktu neutralnego przez dławik gaszący, natomiast dla sieci czysto kablowych uziemianie punktu neutralnego przez rezystor. W sieciach mieszanych, które dominują w praktyce, optymalny wybór sposobu pracy punktu neutralnego wymaga bardzo szczegółowej analizy warunków porażeniowych oraz skuteczności działania zabezpieczeń ziemnozwarciowych. Analiza taka jest dość czasochłonna i skomplikowana. Dodatkowo jej wyniki mogą być obciążone znacznymi błędami szacunku ze względu na zmienność parametrów sieci, które wpływają na analizowane aspekty. Do takich parametrów zaliczamy przede wszystkim rezystancję uziemienia, rezystancję zwarcia oraz wartość napięcia roboczego.

W powyższym kontekście (autor recenzji celowo przedstawił jedynie zarys problemu) tematyka rozprawy doktorskiej wydaje się aktualna i ważna. Wpisuje się ona w jeden z najbardziej aktualnych nurtów badawczych współczesnej elektroenergetyki polskiej (Bezpieczeństwo oraz niezawodność eksploatacji sieci elektroenergetycznych). We Wstępie do pracy Autor bardzo szczegółowo uzasadnił przyczynę podjęcia tematu. W znacznym uproszczeniu, problem badawczy polega na wielokryterialnej analizie pracy sieci średniego napięcia przy różnych sposobach pracy punktu neutralnego, przy losowej zmienności wybranych parametrów sieci elektroenergetycznej. Do parametrów sieci, które Autor poddał analizie statystycznej zaliczają się: impedancja dróg ziemnopowrotnych linii średniego napięcia, rezystancja uziemień stacji SN/nn, rezystancja zwarcia oraz napięcie robocze na szynach SN stacji WN/SN. Kryteria oceny sposobu pracy punktu neutralnego sieci, które Autor rozważył w pracy to: wartości napięć uziomowych oraz skuteczne działanie zabezpieczeń ziemnozwarciowych, w tym zerowonapięciowych, zerowoprądowych, admitancyjnych, konduktancyjnych, susceptancyjnych oraz porównawczo-admitancyjnych. Jako podsumowanie zrealizowanej pracy Autor dokonał zestawienia porównawczego otrzymanych wyników (ranking). Na tej podstawie wskazał optymalne dla analizowanej sieci testowej rozwiązania problemu sposobu pracy punktu neutralnego. Wykazał, że zaproponowana przez Niego metoda wyboru sposobu pracy punktu neutralnego sieci, bazująca na analizie statystycznej parametrów tej sieci jest skuteczna. Nie prowadzi co prawda do sformułowania jednoznacznych rekomendacji, które rozwiązanie należy przyjąć, jednak przy założonym akceptowalnym poziomie ryzyka zagrożenia porażeniowego pozwala na określenie warunków, jakie muszą być spełnione przy danym sposobie pracy punktu neutralnego.

Praca składa się pod względem treści z trzech części. Pierwsza obejmuje zagadnienia dość dobrze znane i opisane w literaturze, jak sposoby pracy punktu neutralnego sieci elektroenergetycznych (sieci ze skutecznie uziemionym punktem neutralnym, sieci z izolowanym punktem neutralnym, sieci z punktem neutralnym uziemionym przez cewkę, sieci z punktem neutralnym uziemionym przez rezystor, sieci z punktem neutralnym uziemionym przez układ równoległy cewki i rezystora), opis kryteriów decydujących o wyborze jednego z tych sposobów, a także wpływ parametrów sieci na wartość jednofazowego prądu zwarcia doziemnego. Część druga obejmuje statystyczną analizę wielkości (parametrów), które wpływają na wartość jednofazowego prądu zwarcia doziemnego oraz na występujące napięcia rażeniowe. Na podstawie danych empirycznych pochodzących z rzeczywistych pomiarów, a także na drodze badań teoretycznych bazujących na dostępnej literaturze, Autor określił cechy i właściwości statystyczne prób losowych obejmujących: impedancję dróg ziemnopowrotnych linii średniego napięcia, rezystancji uziemienia stacji SN/nn, rezystancji zwarcia oraz napięcia

na szynach SN stacji WN/SN. Trzecia część pracy, obejmująca rozdziały piąty, szósty i siódmy, jest najważniejsza i stanowi jej środek ciężkości. Autor na przykładzie wybranej sieci testowej średniego napięcia (Rozdział 5) prezentuje metodę statystycznej oceny skutków jednofazowych zwarć doziemnych (Rozdział 6). Metoda ta w sposób niezależny pozwala na ocenę możliwych wartości napięć rażeniowych, przy zmienności parametrów sieci w założonym zakresie oraz skuteczności (lub jej braku!) działania zabezpieczeń ziemnozwarciowych. Zaletą metody w porównaniu z dotychczas stosowanymi, jest generowanie zestawu możliwych parametrów zwarciovych (U_E , U_o , I_o) dla losowych zestawów parametrów sieci. Otrzymane próby losowe dzielona są na trzy kategorie A, B oraz C. Do kategorii A zaliczane są te stacje dla których maksymalne wartości napięć uziomowych w próbie są mniejsze od wartości dopuszczalnych dla czasu $t_F = 1s$ (maksymalny czas wyłączenia zwarcia doziemnego w sieciach SN). W grupie tej dla czasów krótszych niż 1s zapewnione jest bezpieczeństwo porażeniowe niezależnie od wartości rezystancji uziemienia stacji. Do kategorii B zaliczane są te stacje dla których maksymalne wartości napięć uziomowych w próbie są większe od wartości dopuszczalnych dla czasu $t_F = 1s$, ale jednocześnie mniejsze od wartości dopuszczalnych dla czasu $t_F = 0,2s$ (najkrótszy możliwy czas wyłączenia zwarcia doziemnego w sieciach SN). W stacjach tych istnieje możliwość zapewnienia bezpieczeństwa porażeniowego poprzez dobór nastaw czasów zadziałania zabezpieczeń ziemnozwarciowych z przedziału od 0,2 do 1 s, niezależnie od rezystancji uziemienia stacji. Do kategorii C zaliczane są te stacje dla których maksymalne wartości napięć uziomowych w próbie są większe od wartości dopuszczalnych dla czasu $t_F = 0,2s$. W tych stacjach ryzyko wystąpienia zagrożenia porażeniowego zależy od rezystancji uziemienia tych stacji. W grupie tej Autor przeprowadził dalsze badania statystyczne mające na celu określenie ryzyka wystąpienia zagrożenia porażeniowego w zależności od czasu trwania zwarcia. Końcowym etapem zaproponowanej procedury jest stworzenie rankingu wariantów sposobu pracy punktu neutralnego.

Podobne podejście zostało wykorzystane w kontekście analizy możliwych nastaw zabezpieczeń ziemnozwarciowych. Autor określił dla poszczególnych zabezpieczeń zakres sygnałów rozruchowych zapewniających pewne oraz selektywne działanie, uwzględniając także brak działań zbędnych. Na tej podstawie określił, czy wartości poszczególnych prób losowych mieszczą się w przyjętych zakresach. Także w tym przypadku dokonał podziału stacji na trzy kategorie. W przypadku kategorii A istniała możliwość zastosowania konkretnego zabezpieczenia, natomiast dla kategorii B oraz C nie było możliwości zastosowania zabezpieczenia lub jego zastosowanie było obwarunkowane np. zastosowaniem blokady kierunkowej. Dla kategorii B i C Autor określił prawdopodobieństwa zbędnego działania zabezpieczeń.

Omówioną w rozdziale 6 metodę Autor wykorzystuje w rozdziale 7 do analizy rzeczywistej sieci kablowo – napowietrznej 15kV, zasilanej z sieci 110kV poprzez transformator o mocy 25MVA. Z badanej rozdzielni 15kV zasilane są cztery pola liniowe zasilające 44 stacje elektroenergetyczne 15/0,4kV, jedno pole potrzeb własnych z transformatorem uziemiającym TU 15,75/0,42kV o grupie połączeń ZNyn11 oraz pole pomiaru napięcia. Dla 44 analizowanych stacji 15/0,4kV Autor wykonał po 1000 losowych symulacji jednofazowych zwarć doziemnych dla każdego rozważanego sposobu pracy punktu neutralnego sieci. Na tej podstawie przeprowadził obszerną analizę zagrożenia porażeniowego oraz skuteczności działania zabezpieczeń ziemnozwarciowych dla rozważanej sieci.

Uważam, iż tematyka pracy jest bardzo istotna zarówno w wymiarze badawczo – naukowym, jak i utylitarnym. Mimo dużej różnorodności opracowań naukowych z tego zakresu, wciąż poszukuje się lepszych i bardziej efektywnych metod wyboru sposobu pracy punktu neutralnego.

Autor na podstawie przeprowadzonej analizy literatury oraz po uwzględnieniu wyników wstępnych analiz postawił w swojej rozprawie tezę: „Uwzględnienie losowości parametrów sieci i zakłóceń umożliwi wyznaczenie dla każdego ze sposobów połączenia z ziemią punktu neutralnego sieci średniego napięcia, wymaganych nastaw elektroenergetycznej automatyki ziemnozwarciowej lub maksymalnych rezystancji uziemienia stacji SN/nn, tak aby zagrożenie porażeniowe podczas jednofazowych zwarc doziemnych nie przekroczyło założonego akceptowalnego poziomu.” Jako cel badań wskazał „opracowanie spójnego zestawu metod statystycznych, umożliwiających obiektywną ocenę i podejmowanie decyzji o wyborze reżimu pracy punktu neutralnego sieci średnich napięć.” Jest to precyzyjne przedstawienie celu pracy i problemu, który Autor postanowił rozwiązać. Informuje dokładnie o zamierzeniach Autora.

Podsumowując. Postawiony problem badawczy, teza oraz cel pracy są spójne i uzasadnione aktualnym stanem wiedzy oraz potrzebami elektroenergetyki, a także wpisują się w bieżące warunki funkcjonowania sektora elektroenergetycznego w Polsce.

4. Dobór metod badawczych

Do rozwiązania postawionego problemu Autor zaproponował połączenie trzech metod badawczych. Jako pierwszą wykorzystał metodę analizy i krytyki piśmiennictwa (kwerendę biblioteczną). Na jej podstawie określił aktualny stan wiedzy oraz wskazał w jakim zakresie podjęty problem jest inny od dotychczas znanych opracowań naukowych. W tym miejscu jeszcze raz podkreślę, iż Autor bardzo poważnie potraktował ten etap pracy badawczej, o czym świadczy obszerna bibliografia obejmująca 212 pozycji literaturowych. W kolejnym kroku wykorzystał metodę modelowania statystycznego. Na podstawie zgromadzonych danych empirycznych opracował modele statystyczne wielkości wpływających na wartość napięcia uziomowego, tj. przede wszystkim impedancji dróg ziemnopowrotnych linii średniego napięcia, rezystancji uziemienia stacji SN/nn, rezystancji zwarcia oraz napięcia roboczego na szynach SN stacji WN/SN. W ostatnim etapie prowadzenia badań wykorzystał metodę modelowania komputerowego. Modelowanie komputerowe jest obecnie najbardziej efektywnym narzędziem analizy złożonych problemów nauki i techniki. Podstawową zaletą takiego podejścia jest duża dokładność uzyskiwanych wyników oraz możliwość dynamicznej zmiany parametrów fizycznych modelu lub warunków jego pracy, bez konieczności powtórnego konstruowania wirtualnej reprezentacji analizowanego zjawiska lub obiektu. Typowymi przykładami praktycznego zastosowania modelowania matematycznego są problemy komputerowo wspieranego projektowania złożonych systemów inżynierskich. Autor w swojej pracy bazuje na programie EMTP-ATP.

W odniesieniu do przyjętych metod badawczych oraz sposobu ich wykorzystania nie zgłaszam żadnych zastrzeżeń. Metody badawcze są właściwe, a ich wykorzystanie poprawne.

5. Umiejętność samodzielnego prowadzenia pracy naukowej

Recenzowana rozprawa jest pracą o bardzo dobrym poziomie merytorycznym. Autor bez wątplenia wykazał, że posiada umiejętność: formułowania i rozwiązywania problemów naukowych, przyjmowania uzasadnionych założeń i stawiania tez, wykorzystywania i rozwijania właściwych podejść metodycznych, rozwiązywania postawionych zadań oraz przekonującej prezentacji uzyskanych rezultatów. Śledząc drogę rozwoju oraz publikacje Doktoranta można wnioskować o Jego samodzielności i inicjatywie w podejmowaniu wielu trudnych zadań. Na szczególną uwagę zasługuje wysoki poziom prowadzonych rozważań, co dobrze rokuje Jego karierze naukowej i zawodowej.

6. Strona redakcyjna rozprawy

Praca jest zredagowana w sposób dość staranny. Na szczególną uwagę zasługują bardzo wysokiej jakości rysunki i grafiki. W pracy zdarzają się jednak nieliczne błędy stylistyczne oraz redakcyjne. Poniżej wymienię jedynie przykładowe:

- str. 4, 4 wers od dołu, jest „o wyborze sposobie”, powinno być „o wyborze sposobu”;
- str. 18, 2 wers od dołu, jest „Szczególną uwagą zwrócono...”, powinno być „Szczególną uwagę zwrócono...”;
- str. 41, 16 wers od dołu, jest „Na rysunku 3.1. przedstawiono...”, powinno być „Na rysunku 3.1 przedstawiono...”;
- str. 42, 5 wers od góry, jest „Rys. 3.2.”, powinno być „Rys. 3.1.”;
- str. 45, wers 15 od góry, jest „Znacznie wykorzystywanych...”, powinno być „Znaczenie wykorzystywanych...”;
- str. 45, wers 4 od dołu, jest „...będące spadkami napięć powstałych na rezystancjach uziomów...”, powinno być „...będące spadkami napięć, które powstały na rezystancjach uziomów...”;
- str. 46, 7 wers od dołu – nowy akapit „Krzywa...” zaczyna się bez wcięcia akapitowego;
- str. 49, podpis rysunku 3.6 – wszystkie zmienne i symbole pisane są w pracy kursywą. W podpisie rysunku 3.6 $\cos\varphi$ jest napisany czcionką prostą;
- str. 51, 8 wers od dołu, jest „oceniano również zagrożenie porażeniowego ludzi...”, powinno być „oceniano również zagrożenie porażeniowe ludzi...”;
- str. 62, 1 wers od góry, jest „właściwości”, powinno być „własności”. Autor w całej pracy używa słowa „własności”, stąd konsekwentnie tutaj też powinno być „własności”;
- str. 73, 1 wers od dołu, jest „gruntów składowych”, powinno być „gruntów składowych”;
- str. 85, 8 wers od góry, jest „zarównow szczytach”, powinno być „zarówno w szczytach”;
- str. 93, 9 wers od góry, jest „zgodnie procedurą”, powinno być „zgodnie z procedurą”;
- str. 158, 10 wers od góry, jest „admitancji doziemnej w wszystkich”, powinno być „admitancji doziemnej we wszystkich”;

- Brak jest konsekwencji w rozpoczynaniu nowego akapitu od wcięcia akapitowego. Generalnie Autor rozpoczyna nowy akapit wcięciem. W niektórych przypadkach akapity rozpoczynają się od marginesu (str. 28 trzeci akapit, str. 30 drugi, trzeci i czwarty akapit, str. 46 pierwszy i trzeci akapit, str. 98 pierwszy akapit, str. 104 drugi i trzeci akapit, str. 106 drugi akapit, str. 162 drugi akapit).
- W pozycji 83 Bibliografii jest „Hoppel, W.:”, powinno być „Hoppel W.:”.

Wykazane powyżej niedociągnięcia nie wpływają w żaden sposób na wartość merytoryczną pracy.

7. Uwagi szczegółowe i krytyczne

W ocenianej pracy doktorskiej zauważyć można bardzo systematyczne podejście do tematyki rozprawy. Pracę czyta się bardzo dobrze. Autor stopniowo wprowadza czytelnika w tematykę pracy, rozpoczynając od informacji podstawowych, tj. sposoby pracy punktu neutralnego – opis, wady i zalety (rozdział 2) oraz kryteria wyboru sposobu połączenia z ziemią punktu neutralnego (rozdział 3), a skończywszy na opisie własnych badań teoretycznych i symulacyjnych (rozdział 4 – Analiza czynników losowych wpływających na skutki jednofazowych zwarć doziemnych w sieciach średnich napięć, rozdział 5 – Model sieci średniego napięcia do statystycznych badań skutków jednofazowych zwarć doziemnych, rozdział 6 – Metoda statystycznej oceny skutków jednofazowych zwarć doziemnych w sieciach średnich napięć oraz rozdział 7 – Zastosowanie analizy statystycznej do wyboru wariantu pracy punktu neutralnego przykładowej sieci średniego napięcia). Oceniając pozytywnie rozprawę doktorską oraz zaprezentowane w niej wyniki, chciałbym zwrócić uwagę na kwestie dyskusyjne oraz mankamenty:

1. Na stronie 15, objaśniając symbol f Autor napisał „funkcja gęstości rozkładu prawdopodobieństwa”. Oczywiście nie jest to błąd, ale używa się po prostu zwrotu „funkcja gęstości prawdopodobieństwa”. Słowo rozkład jest wykorzystywane na przykład w składni „Funkcja gęstości prawdopodobieństwa rozkładu normalnego ma postać.” W innych przypadkach słowa „rozkład” używa się zamiennie ze słowem „funkcja”, czyli albo „funkcja gęstości prawdopodobieństwa” albo „rozkład gęstości prawdopodobieństwa”. Ponieważ zakłada się z definicji, że funkcja gęstości prawdopodobieństwa jest różniczkowalna, to określa się ją dla rozkładów ciągłych. W przypadku rozkładów dyskretnych używa się tylko i wyłącznie zwrotu „rozkład gęstości prawdopodobieństwa”.
2. Także na stronie 15 Autor objaśnia symbole x_{max} oraz x_{min} jako wartość maksymalną oraz minimalną. Co prawda coraz częściej w badaniach statystycznych mówi się po prostu o maksimum i minimum, ale według klasycznego nazewnictwa są to maksymalna oraz minimalna statystyka pozycyjna.
3. Na stronie 20 Autor napisał: „W zależności bowiem od przyjętego rozwiązania, różnie kształtują się poziomy prądów zwarć doziemnych, a tym samym wielkość zagrożenia porażeniowego oraz niezawodność działania automatyki zabezpieczeniowej.” W tym kontekście zamiast słowa „niezawodność” użyłbym słowa „pewność”. Zawodność dotyczy sytuacji w której zabezpieczenia powinny zadziałać poprawnie, a nie działają, lub też nie powinny działać a

- działają. Są to w takim przypadku stany zakłóceniami. Autorowi chodziło raczej o możliwość zastosowania konkretnych zabezpieczeń oraz taki dobór nastaw, aby ich działanie było pewne i skuteczne. W pracy termin „niezawodność” w analogicznym znaczeniu pojawia się wielokrotnie.
4. Na stronie 35 Autor stwierdza, że „W efekcie wartość rezystancji R_N powinna spełniać warunek:”, po czym podaje zależność (2.23) określającą wartości prądu I_{RN} oraz $I_{F(R)}$.
 5. Na stronie 36 Autor napisał, że ciekawe rozwiązanie zaproponowano w Instytucie Politechniki Poznańskiej. W jakim Instytucie?
 6. Czym jest spowodowany spadek modułu impedancji Z_R (Rys. 4.4 a) oraz wzrost argumentu φ_R (Rys. 4.4 b) impedancji dróg ziemnopowrotnych dla kabli trójżyłowych z zewnętrzną osłoną włóknistą przy $R_B = 50 \Omega$?
 7. Jeżeli wskaźniki k_4 oraz k_5 w tabeli 4.4 wyznaczone były według zależności (4.5) i (4.6), to w zależnościach tych powinno być jeszcze mnożenie przez 100%. W aktualnej postaci wzory (4.5) oraz (4.6) wyrażają wartości względne, a nie procentowe.
 8. Czy Autor nie uważa, że pojęcie „grunty mieszane” (Str. 71 i kolejne) jest zbyt enigmatyczne? Pod tym pojęciem może kryć się wszystko, począwszy od gruntów rzeczywiście mieszanych, poprzez wszystkie poprzednio wymienione kategorie (grunty rolne, gliny, ropy, piaski, żwiry, kamienie). Potwierdza to rysunek 4.11, gdzie wyraźnie można zaobserwować, że grunty mieszane mają największy rozstęp wartości w próbie.
 9. Czy Autor jest w stanie wyjaśnić dane zaprezentowane w tabeli 4.7 oraz na wykresie na rysunku 4.12? Dlaczego grunty mokre mają największą rezystancję? Dlaczego największy rozstęp obserwujemy dla gruntów suchych? Czy niestety nie jest tak, że te dane nie są do końca wiarygodne? Szkoda, że Autor nie zamieścił w pracy rozkładu dwuwymiarowego rezystancji uziemienia stacji R_B w układzie rodzaj gruntu oraz jego wilgotność. Taki rozkład dostarczyłby znacznie więcej informacji.
 10. Na stronie 82 Autor napisał, iż: „W celu weryfikacji hipotezy statystycznej, że zmienna R_B podlega rozkładowi [logarytmo-normalnemu], zastosowano nieparametryczny test Kołmogorowa-Smirnowa.” Niestety nie podaje wyników tego testu. Ponadto podkreślić należy, iż test Kołmogorowa-Smirnowa jest testem „dość słabym”. Autor mógł wykorzystać chociażby znacznie dokładniejszy test χ^2 Pearsońa.
 11. Na stronie 83 Autor przedstawił funkcję gęstości rozkładu Weibulla w postaci (4.10):

$$f(r_F) = \lambda \cdot \beta \cdot r_F^{\beta-1} \cdot \exp(-\lambda \cdot r_F^\beta)$$

Czy nie wygodniejsza byłaby postać:

$$f(r_F) = \frac{\mu}{b} \cdot \left(\frac{r_F}{b}\right)^{\mu-1} \cdot \exp\left(-\left(\frac{r_F}{b}\right)^\mu\right)$$

W proponowanej postaci znacznie łatwiej jest dokonać interpretacji parametrów kształtu μ oraz skali b modelu.

12. W podrozdziale 4.6 Autor przedstawił wyniki analiz statystycznych dotyczących napięcia roboczego na szynach SN stacji WN/SN. Nie przedstawił jednak żadnych konkretnych statystyk opisowych zmiennej losowej u_r (u_{rmin} , u_{rmax} , u_r , m_e , s). Na rysunku 4.18 zaprezentowana została empiryczna dystrybuanta $F(u_r)$. Dystrybuanta ta została wykorzystana w badaniach symulacyjnych. Skoro Autor poświęcił znaczny czas oraz włożył wiele wysiłku w realizację modeli teoretycznych impedancji dróg ziemnopowrotnych linii średniego napięcia, rezystancji uziemień stacji SN/nn oraz rezystancji zwarcia, to czy nie warto było podjąć także próbę realizacji modelu teoretycznego napięcia u_r ?
13. W odniesieniu do dystrybuanty zaprezentowanej na rysunku 4.18 Autor zamieścił informację, że otrzymano ją na podstawie pomiarów w jednej stacji 110/15kV. Czy jeżeli model ma być uniwersalny pomiary nie powinny być przeprowadzone w co najmniej kilku stacjach? Sposób regulacji napięcia, dokładność układu ARN, jakość przełącznika zaczepów, właściwości transformatora 110/15kV oraz zmienność obciążenia mogą być w każdej stacji odmienne, co wpłynie finalnie na rozkład wartości napięć roboczych.
14. W rozdziale 5, na stronach 87-88 Autor opisuje modele zrealizowane w programie EMTP-ATP. Wspomina o modyfikacji modułu ABC2SEQ. Szkoda, że nie zamieścił w pracy, chociażby w załączniku, kodów źródłowych obrazujących tą modyfikację.
15. Czy kompleksowy model sieci SN przedstawiony w pracy jest w całości autorstwa Doktoranta, czy też na potrzeby swojej pracy zaadaptował istniejące modele? Moje pytanie wynika z faktu, iż znane mi są w tym zakresie liczne dokonania Promotora ocenianej pracy, który tematyką symulacji zwarć zajmuje się od wielu lat.
16. Na stronie 101 Autor napisał: „W tym ujęciu pomija się współczynniki k_b i k_c ($k_b=0$, $k_c=1$)...”. Współczynnik k_b dla zabezpieczeń zerowomocowych przyjmuje najczęściej wartości z przedziału od 1,1 do 1,2. Jeżeli pomijamy jego wpływ, to zakładamy $k_b=1$, a nie $k_b=0$.
17. Czy wyniki zaprezentowane na rysunkach 6.2, 6.3, 6.4, 6.5, 6.6, 6.7 oraz 6.11 są autorstwa Doktoranta, czy są to tylko przykładowe dane zaczerpnięte z literatury?
18. Czy przyjęta w pracy liczba symulacji $N=1000$ była w jakiś sposób ustalana (obliczana), czy też została narzucona odgórnie. Przy znacznej liczbie losowanych parametrów 1000 losowań nie jest liczbą dużą. Na pewno nie wyczerpuje możliwych kombinacji tych parametrów. Zgodnie z prawem wielkich liczb, a na nim opiera się metoda Monte Carlo, wraz ze wzrostem liczby powtórzeń zbliżamy się coraz bardziej do wartości rzeczywistych oraz uwzględnienia wszystkich możliwych stanów.
19. Na stronie 134 Autor napisał, że: „Pole 04 należy do grupy B’ w przypadku uziemienia sieci oraz kompensacji z wymuszeniem składowej czynnej prądu o wartości 100A.” Z rysunku 7.23 oraz z danych w tabeli 7.18 wynika, że w tym przypadku pole 04 należy do grupy C’.
20. Analizując dane na wykresach z rysunków 7.36-7.39 zauważamy, że dla układów z punktem neutralnym uziemionym przez rezystor wraz ze wzrostem prądu zmniejsza się susceptancja zerowa, aż do prądu 400A. Czym należy

tłumaczyć, że dla rezystora 500 A susceptancja nagle w sposób znaczący rośnie?

Autor rozprawy zrealizował obszerną pracę doktorską. Jej wykonanie wymagało znacznych umiejętności badawczych, ale także organizacyjnych. Realizacja algorytmu komputerowego służącego do symulacji zwarć jednofazowych, przy różnych parametrach technicznych układu, wykazała, iż Doktorant biegle posługuje się metodami symulacyjnymi. Autor rozprawy wykazał się także umiejętnością opracowywania sprawozdań i raportów z prac badawczych. Wykazane powyżej w recenzji niedociągnięcia oraz uchybienia nie umniejszają wartości merytorycznej całego opracowania. Pewne nieścisłości pojawiły się zapewne na etapie redagowania pracy. Z kolei przedstawione w recenzji uwagi i sugestie mają przede wszystkim charakter polemiczny i dyskusyjny. Podsumowując, ogólna ocena rozprawy jest w pełni pozytywna.

8. Podsumowanie, spełnienie wymogów ustawowych

Uzyskane w rozprawie wyniki, oparte w przeważającej części na badaniach własnych Autora, są wartościowe zarówno z punktu widzenia naukowego, jak i utylitarnego. Autor zaprezentował w swojej rozprawie doktorskiej oryginalne rozwiązanie problemu naukowego. Jako jego wkład w dyscyplinę naukową elektrotechnika zaliczam przede wszystkim:

- obszerną kwerendę biblioteczną i przedstawienie analizy literatury przedmiotu i stanu badań w zakresie analizy zwarć jednofazowych z ziemią, kształtowania bezpieczeństwa porażeniowego oraz optymalizacji doboru nastaw zabezpieczeń ziemnozwarciowych;
- analizę zmienności oraz opracowanie modeli statystycznych parametrów sieci, wpływających na wartość prądów jednofazowych zwarć z ziemią oraz na wartość napięć uziomowych, w tym: impedancji dróg ziemnopowrotnych linii średnich napięć, rezystancji uziemień stacji SN/nn, rezystancji zwarcia (badania literaturowe) oraz napięcia roboczego na szynach SN stacji WN/SN;
- opracowanie modelu symulacyjnego sieci elektroenergetycznej w programie EMTP-ATP, uwzględniającego losową zmienność wybranych parametrów sieci, umożliwiającego ocenę zagrożenia porażeniowego i wybór oraz dobór nastaw zabezpieczeń ziemnozwarciowych;
- opracowanie uniwersalnej metody pozwalającej na stworzenie rankingu sposobów pracy punktu neutralnego dla dowolnej sieci SN. Co prawda, sam Autor sugeruje, że: „Zastosowanie opracowanej metody do wyboru sposobu połączenia z ziemią punktu neutralnego w sieci średniego napięcia, nie prowadzi do możliwości sformułowania jednoznacznych rekomendacji, które rozwiązanie należy w danej sieci zastosować.” Opracowana metoda pozwala jednak na uzyskanie bardzo obszernej informacji dotyczącej braku zagrożenia porażeniowego lub ryzyka przekroczenia przez napięcie uziomowe dopuszczalnych wartości, ale również warunków jakie muszą być spełnione, aby dopuszczalne ryzyko nie zostało przekroczone. Metoda ta umożliwia także ocenę, czy konkretne zabezpieczenie jest możliwe do zastosowania w danej sieci oraz dobór nastaw tych zabezpieczeń. Metoda ta ma bardzo duży potencjał do wykorzystania w praktyce eksploatacyjnej.

Sposób prowadzenia badań oraz uzyskane rezultaty możliwe do wykorzystania w praktyce, potwierdzają znaczną wiedzę Doktoranta w jego dyscyplinie naukowej, a także umiejętność samodzielnego prowadzenia pracy naukowej i przedstawiania jej wyników. Postawioną w pracy tezę uważam za udowodnioną. Cel pracy został osiągnięty. Dysertacja stanowi niewątpliwie oryginalny wkład Autora w obszar modelowania komputerowego i analizy bezpieczeństwa przeciwporażeniowego oraz zwarć jednofazowych w sieciach średniego napięcia.

Na podstawie powyższych rozważań stwierdzam, iż w mojej ocenie **recenzowana praca spełnia wszystkie warunki i wymagania stawiane rozprawom doktorskim** określone przez obowiązującą ustawę (Ustawa 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, ze zm. w Dz. U. z 2005 r. Nr 164, poz. 1365, w Dz. U. z 2011 r. Nr 84, poz. 455, Dz. U. z 2016 r. poz. 882, Dz. U. z 2017 r. poz. 1789) – ustawa znowelizowana) w związku z art. 179 ust. 1 i ust. 2 ustawy z dnia 3 lipca 2018 r. Przepisy wprowadzające ustawę Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz. U. z 2018 r. poz. 1669 z późn. zm.). w zakresie dyscypliny Automatyka, Elektronika, Elektrotechnika i Technologie Kosmiczne (zawierającej dyscyplinę elektrotechnika). **Wnioskuje o dopuszczenie pracy do publicznej obrony.**

Chojnacki Andrzej