



**Recenzja rozprawy doktorskiej pana mgr. inż. Marcina Niedopytalskiego:
“Zabezpieczenie odległościowe linii wysokiego napięcia o adaptacji parametrycznej
do zmiennych dopuszczalnych zdolności przesyłowych”**

1. Podstawa wykonania recenzji

Niniejszą recenzję opracowano na podstawie Uchwały Rady Wydziału Elektrycznego Politechniki Śląskiej z dnia 24 września 2013 roku. Podstawą wykonania jest opracowanie pod ww. tytułem o objętości 167 stron, w tym spis literatury zawierający 130 pozycji publikacji (książki, publikacje, opracowania – 103 pozycje, dyrektywy, ustawy, normy, dokumenty o charakterze prawnym – 10 pozycji, katalogi urządzeń, instrukcje obsługi – 13 pozycji oraz 4 odniesienia do stron internetowych) oraz trzy załączniki.

2. Teza naukowa i zakres pracy

Autor sprecyzował tezę naukową w rozdziale 1 na stronie 8 pracy. Zdaniem Doktoranta:

Możliwe jest zwiększenie poprawności i selektywności działania kryterium odległościowego bazującego na pomiarach iokalnych linii wysokiego napięcia ze zmienną w szerokich granicach obciążalnością dopuszczalną poprzez wykorzystanie algorytmów adaptacyjnych i niekonwencjonalnych metod decyzyjnych.

Dla udowodnienia powyższych tez naukowych Autor przyjął następujący zakres swojej pracy:

- w rozdziale drugim scharakteryzował stany pracy linii napowietrznych wysokich napięć, ze szczególnym uwzględnieniem sezonowej i dynamicznej zmienności obciążalności dopuszczalnej linii napowietrznych jak również z punktu widzenia skutków przeciążeń i zwarć w tych liniach,
- w rozdziale trzecim porównał podstawowe zabezpieczenia wykorzystywane w liniach wysokich napięć o zmiennych w szerokim zakresie dopuszczalnych obciążeniach. Przedyskutował możliwe modyfikacje charakterystyk pomiarowych dla linii wykorzystującej zintensyfikowane zdolności przesyłowe dla zapewnienia odpowiedniego poziomu ochrony dla wszystkich możliwych stanów pracy dopuszczalnej chronionej linii i elementów z nią sąsiadujących,

- w rozdziale czwartym przeanalizował możliwości dostosowania obszarów działania zabezpieczenia odległościowego do zmiennych obciążeń dopuszczalnych linii. Na początku rozdziału opisał algorytm pomiarowo-decyzyjny zabezpieczenia odległościowego, następnie po przedstawieniu sposobów wyznaczania parametrów charakterystyk pomiarowych zweryfikował zdolności wykrywania zwarcí pośrednich dla różnych sposobów określania zasięgu rezystancyjnego,
- w rozdziale piątym zaprezentował adaptacyjne kryterium odległościowe linii wysokiego napięcia dla zmiennych obciążeń dopuszczalnych, opisał moduły algorytmów decyzyjnych a następnie przedstawił transformaty czasowo-częstotliwościowe w zastosowaniu do analizy sygnałów. Rezultatem analiz opisanych w tym rozdziale jest opracowany algorytm kryterium detekcji stanu zwarcia umożliwiający rozróżnienie stanu pracy linii,
- w rozdziale szóstym opisał wyniki badań symulacyjnych przeprowadzonych w wybranym układzie testowym, wraz z prezentacją przyjętych modeli.
- w rozdziale siódmym przedstawił w bardzo rozszerzonej formie wiele wniosków oraz uwag końcowych.

Praca zawiera również 3 załączniki, w których Autor opisał:

- w załączniku Z1 odwzorowanie fragmentu systemu elektroenergetycznego, który wybrał do badań symulacyjnych,
- w załączniku Z2 znaczenie stanów przedzwarciovych na wyznaczane w czasie zwarcí punkty geometryczne impedancji,
- w załączniku Z3 wpływ warunków sieciowych na kryterium detekcji stanu zwarcia

3. Ocena znaczenia i aktualności podjętej tematyki

Awarie zwarciovowe w liniach elektroenergetycznych powinny być bardzo szybko usuwane, przez co nastąpi ograniczanie przerw w dostarczaniu odbiorcom energii elektrycznej. Jest to bardzo ważne zadanie dla służb eksploatujących przesyłowe i dystrybucyjne sieci elektroenergetyczne. Fundamentalną rolę w realizacji tych zadań pełnią układy pomiarowe, za pomocą których możliwe jest precyzyjne wyznaczenie miejsca zakłócenia. Poszukiwanie efektywnych metod lokalizowania uszkodzeń w liniach elektroenergetycznych jest w tej sytuacji bardzo ważnym i interesującym problemem badawczym.

Polska elektroenergetyka znajduje się w momencie przełomowym. Rozwój gospodarczy kraju wymusza zwiększone zapotrzebowanie na energię elektryczną, co powoduje wzrastające wykorzystanie sieci elektroenergetycznej. Opóźnienie decyzji o rozpoczęciu nowych inwestycji w energetyce jest faktem, co może wywołać trudności w osiągnięciu minimalizacji ograniczeń sieciowych. To jak i konieczność podłączania i odbioru energii od trudno regulowalnych odnawialnych źródeł energii (przede wszystkim źródeł wiatrowych), powoduje konieczność zwiększenia przepustowości linii.

Takie zmiany warunków pracy nie pozostaną bez wpływu na pracę zabezpieczeń odległościowych. Może nastąpić obniżenie skuteczności zabezpieczenia odległościowego przez zmniejszenie jego obszaru działania. Dla zwiększonych obciążeń, przekraczających statycznie dopuszczalną obciążalność prądową, wystąpić może zjawisko nachodzenia na obszar pracy dopuszczalnej i w konsekwencji tzw. zadziałanie nadmiarowe zabezpieczeń. W ekstremalnych sytuacjach może dojść do awarii systemowej będącej konsekwencją wyłączeń kaskadowych sąsiednich linii przesyłowych.

Zaproponowany przez Autora adaptacyjny algorytm pomiarowo-decyzyjny zabezpieczenia odległościowego bazujący na pomiarach lokalnych może w istotny sposób poprawić funkcjonowanie automatyki elektroenergetycznej w warunkach zmiennych obciążeń dopuszczalnych.

Autor pracy postanowił bardzo umiejętnie wykorzystać możliwości dzisiejszej techniki w szczególności zastosowanie transformaty falkowej, jako jednej z najszybszych metod detekcji zwarc. Efektywność identyfikacji zakłóceń przy zastosowaniu transformacji falkowej związana jest z ciągłą obserwacją sygnałów pomiarowych w liniach przesyłowych oraz interpretacją porównawczą z sygnałami wzorcowymi. Dobrze opracowany algorytm detekcyjny będzie źródłem informacji o chwili wystąpienia i czasie trwania zakłócenia. Może również współdziałać z podstawowymi zabezpieczeniami, jako element wspomagający.

Uważam, że temat podjęty przez Autora jest bardzo aktualny zaś wyniki analiz niezwykle istotne dla poszukiwań rozwiązań mających na celu poprawę funkcjonowania automatyki elektroenergetycznej w stanach dynamicznej obciążalności awaryjnej, szczególnie w aspekcie ograniczenia możliwych działań nieselektywnych.

4. Ocena merytoryczna pracy

4.1. Zastosowana metodyka badań

Autor do prowadzenia badań symulacyjnych zwarc w sieciach przesyłowych wybrał pakiet programowy Netomac, zaś do badania procesów pomiarowego i decyzyjnego utworzonych modeli kryterium podimpedancyjnego użył programu Matlab. Tak przygotowane stanowiska badawcze pozwoliło na prowadzenie symulacji zwarc wielowariantowych dla zmiennych obciążeń dopuszczalnych. Zakres możliwości badawczych takiego stanowiska należy uznać za interesujący, zaś sposób wykonywania przez Autora badań za rzetelny i wyjątkowo dociekliwy.

Wybór narzędzia matematycznego do badań symulacyjnych nie jest wbrew pozorom procesem łatwym. Wiele współczesnych znanych oprogramowań komputerowych daje możliwości przeprowadzenia badań zjawisk ustalonych i przejściowych w systemie elektroenergetycznym. Właściwy wybór polega zatem na poszukiwaniu programu, w którym jest do dyspozycji najlepsze, z punktu widzenia wytyczonych badań symulacyjnych odwzorowanie elementów badanego układu, jak również zastosowana odpowiednia metoda numeryczna.

Autor wykazał się umiejętnością swobodnego i właściwego wykorzystania bezpośredniej współpracy pomiędzy programami: Matlab oraz Netomac. Zastosowanie tylko jednego z nich nie mogłoby być wystarczające. W programie Matlab, w którym są również możliwe symulacje stanów przejściowych w liniach, będący do dyspozycji model linii jest zbyt uproszczony. Istotna jest tutaj możliwość wyprowadzanie rezultatów z programu Netomac oraz wprowadzanie danych bezpośrednio do i z programu Matlab.

Należy zatem stwierdzić, że Autor ma doskonałe rozeznanie tematu w dziedzinach symulowania stanów dynamicznych wywołanych zakłóceniami w systemie oraz przetwarzania sygnałów. Bardzo dobrze opisuje zamierzenia badawcze a następnie bogato dokumentuje przeprowadzone symulacje. Podane w załącznikach szczegółowe dane pozwalają na ewentualną weryfikację uzyskanych przez Niego wyników za pomocą innego dostępnego oprogramowania komputerowego np. DigSilent, ATP, MicroTran lub (najlepiej) pomiarowo.

4.2. Ocena wyników analizy

Wyniki badań symulacyjnych wykonanych przez Doktoranta wykazały słuszność jego koncepcji wprowadzenia adaptacyjnego algorytmu działania kryterium odległościowego. Nowy algorytm działania zabezpieczenia odległościowego powstały z integracji algorytmu adaptacyjnego z kryterium detekcji stanu zwarcia stanowi rozwiązanie mogące spowodować znaczną poprawę działania zabezpieczeń odległościowych linii. Potwierdza to przeprowadzona analiza porównawcza działania proponowanego algorytmu z klasycznym dla zabezpieczenia odległościowego.

Wyniki testów przeprowadzonych w rozdziałach 5 i 6 umożliwiły Autorowi przeprowadzenie badań i pogłębionej analizy pracy algorytmów. Jak udowodnił w rozdziale 5, opracowany algorytm kryterium detekcji stanu zwarcia umożliwia rozróżnienie stanu pracy linii, umożliwiających uzyskanie informacji o wystąpieniu stanu zwarcia doziemnego, międzyfazowego lub pracy normalnej. W rozdziale 6 przeprowadził analizy reakcji algorytmów na obciążenia przekraczające wartości dopuszczalne dla klasycznych linii oraz sytuacje nagłej ich zmiany. Obszerne analizy dotyczyły różnych stanów pracy w podstawowym chronionym obiekcie – linii L_{AB} . Badania prowadził dla różnej lokalizacji zwarcia, wartości rezystancji przejścia w miejscu zwarcia oraz zmiennych warunków w stanie przedzwarciovym. Analizował poprawność reakcji na zaistniałe zwarcia, poprawność czasu wyłączenia linii, czułość, selektywność oraz zdolność do wykrywania zwarcć pośrednich.

Przechodząc do ogólnej oceny wyników badań stwierdzam, że cele postawione na wstępie rozprawy zostały przez Autora całkowicie osiągnięte. Opracowany nowy algorytm działania zabezpieczenia odległościowego jest – co wykazały przeprowadzone symulacje – efektywnym narzędziem badawczym, zaś nabyta wiedza w trakcie realizacji rozprawy i uzyskane rezultaty można uznać za w pełni pozytywne efekty ocenianej rozprawy.

4.3. Uwagi redakcyjne

Recenzowana praca jest bardzo dobrze zredagowana i jest wolna od znaczących uchybień. Napisana jest językiem poprawnym i zrozumiałym, a szata graficzna nie budzi żadnych zastrzeżeń. Autor dokładnie prezentuje rezultaty swoich badań i wykazuje się rzetelnością w opracowywaniu treści poszczególnych rozdziałów. Nie wnoszę również zastrzeżeń, co do zakresu wykorzystanych źródeł literaturowych.

4.4. Uwagi dyskusyjne

Jest rzeczą oczywistą, że obszerna praca była wolna od spraw, na które recenzent patrzy inaczej niż Autor rozprawy. Poniżej przedstawiam moje uwagi mając świadomość, że większość z nich to uwagi drobne lub wręcz dyskusyjne.

- Na początku pracy w rozdziale 1.3 Autor przedstawił kilka założeń upraszczających, m.in. założył: „występowanie zakłóceń pojedynczych”. Ta informacja jest niewystarczająca w stosunku do zakresu badań przyjętego przez autora. Należało podać „...pojedynczych, jednoczesnych”.
- Założono, że „przekładniki prądowe i napięciowe są idealne dla całego pasma wykorzystywanych częstotliwości i nie ulegają nasycaniu, brak zniekształceń w torze analogowego przetwarzania sygnałów”. Z czego wynika to uproszczenie?. W niektórych artykułach można znaleźć stwierdzenie, że stany przejściowe nie odgrywają w analizie falkowej znaczącej roli. Czy Autor podziela ten pogląd i z czego to wynika?. Wydaje się, że dodanie dokładnych modeli przekładników uwzględniających stan nasycenia nie stanowi żadnego problemu przy korzystaniu z programu Netomac. Czy Autor testował taką sytuację i uzyskał wiarygodne uzasadnienie przyjętego założenia upraszczającego?
- Przyjęcie stałej rezystancji przejścia w miejscu zwarcia o stałej w czasie trwania zakłócenia wartości potwierdza, że Autor uważa stany przejściowe za mało istotne dla prowadzonych badań. Może należało jednak wykonać symulację porównawczą uwzględniającą rzeczywiste dynamiczne odwzorowanie łuku zwarciovego?
- W pracy badania symulacyjne przeprowadzono dla zwarć jednokrotnych, jednoczesnych. Jak zadziała algorytm adaptacyjny oraz detekcji zwarć podczas zakłóceń wielokrotnych np. podczas działania automatyki SPZ lub JSPZ?
- Wydaje się, że w pracy nadużywane jest pojęcie „weryfikacja” odmieniane i stosowane dla różnych celów. Weryfikacja stanowi działanie zmierzające do rozstrzygnięcia prawdziwości danego zdarzenia. Odniesienie tego do wyników uzyskanych na modelu matematycznym polegać zatem powinno na porównaniu z rezultatami pomiarów przeprowadzonych w układach rzeczywistych. Każdy model jest bowiem tylko reprezentacją systemu rzeczywistego i wyniki uzyskane za jego pomocą mogą być w najlepszym wypadku aproksymacją rzeczywistego działania. Proszę o wyraźną definicję pojęcia weryfikacji wykorzystywanego w pracy.

- Główny obiekt badany w pracy – linia przesyłowa, bardzo słusznie reprezentowana jest, jako element o parametrach rozłożonych zależnych od częstotliwości. Pozostała część systemu jest modelowana, jako impedancja skupiona obliczona na podstawie wyznaczonej mocy zwarciowej. Powstaje pytanie, czy jest poprawne obliczanie wielkości w małym fragmencie sieci (odwzorowanym z najwyższą dokładnością) bez uwzględniania przy tym wpływu pozostałej części systemu. Co będzie w przypadku, jeśli do tych samych węzłów podłączone są inne linie przesyłowe?
- W większości przypadków systemy z obu krańców linii są połączone. Jakie ma to znaczenia dla proponowanego algorytmu adaptacyjnego oraz detekcji zwarć?
- W południowej części PSE pracuje, jako nieobciążona linia przesyłowa 400 kV jeszcze na domiar wyposażona w kondensatorowe przekładniki napięciowe. Jest to linia o znacznej długości (ok. 260 km), a zatem moc jej ładowania jest ok. 150 MVar. Podczas jej wyłączenia powstaje problem przepięć łączeniowych powstających przy wyłączeniu nieobciążonej linii o znacznej długości. Czy fakty te mają jakieś znaczenie dla proponowanych w pracy algorytmów?

5. Wniosek końcowy

Uwagi podniesione oraz pytania szczegółowe, mają wyraźnie charakter dyskusyjny i nie wpływają na moją ocenę recenzowanej rozprawy, która jest jednoznacznie pozytywna.

Autor we właściwy sposób rozwiązał poprawnie postawiony problem. Użył w tym celu nowoczesnych metod naukowych i udowodnił postawioną przez siebie tezę. Sposób przeprowadzonych analiz wskazuje, że mgr inż. **Marcin Niedopytalski** posiada umiejętność samodzielnego prowadzenia pracy naukowej. Praca spełnia wymagania stawiane rozprawom doktorskim określone w Ustawie o Stopniach Naukowych i Tytule Naukowym oraz o Stopniach i Tytule w Zakresie Sztuki z dnia 14 marca 2003 roku. Wnioskuje o dopuszczenie rozprawy do publicznej obrony.




8. Ostateczna ocena pracy, jako rozprawy doktorskiej

Reasumując stwierdzam, że doktorant określił jednoznacznie zagadnienie naukowe, postawił właściwą tezę, którą następnie udowodnił samodzielnie i przy użyciu właściwych do tego zadania metod naukowych. Wykazał się przy tym ogólną wiedzę teoretyczną w zakresie algorytmów wyznaczania impedancji w zabezpieczeniach odległościowych, w zakresie budowy nowatorskich kryteriów działania zabezpieczenia odległościowego czy w zakresie posługiwania się nowoczesnymi narzędziami, takimi jak transformata falkowa, a także udowodnił, że potrafi posługiwać się wiedzą z zakresu modelowania matematycznego elementów i całego systemu elektroenergetycznego z wykorzystaniem odpowiednich narzędzi komputerowych. Uzyskane w rozprawie wyniki są bez wątpienia wartościowe a sama rozprawa nie wymaga poprawek ani uzupełnień. Można stwierdzić, że rozprawa stanowi oryginalne rozwiązanie problemu naukowego a autor wykazywał się ogólną wiedzę teoretyczną i umiejętnością samodzielnego prowadzenia pracy naukowej.

Wyrażam, więc przekonanie, że **opiniowana rozprawa doktorska mgr inż. Marcina Niedopytalskiego pt. „Zabezpieczenie odległościowe linii wysokiego napięcia o adaptacji parametrycznej do zmiennych dopuszczalnych zdolności przesyłowych”** spełnia wymagania stawiane rozprawom doktorskim podane w Ustawie z dn. 14 marca 2003 r.. stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki (Dz. U. nr 65, poz. 595) oraz podane w rozporządzeniu Ministra Nauki i Szkolnictwa Wyższego z dnia 22 września 2011 roku. Wnoszę, przeto o jej przyjęcie i dopuszczenie do publicznej obrony.

