

Dr hab. inż. Andrzej Kanicki, prof. nadzw. PŁ

Politechnika Łódzka

Instytut Elektroenergetyki

Dyscyplina: Elektrotechnika, specjalność: elektroenergetyka, informatyka
w elektroenergetyce

Recenzja

**rozprawy doktorskiej mgr inż. Marcina Niedopytalskiego
pt. „Zabezpieczenie odległościowe linii wysokiego napięcia o adaptacji
parametrycznej do zmiennych dopuszczalnych zdolności przesyłowych”**

1. Podstawa i przedmiot recenzji

Recenzję opracowałem na podstawie zlecenia z dn. 26.09.2013 r., z Wydziału Elektrycznego Politechniki Śląskiej i działającego w tym zakresie dziekana prof. dr hab. inż. Pawłem Sową.

Opiniowana rozprawa doktorska obejmuje 137 stron tekstu podstawowego, ujętego w 7 rozdziałach, bardzo dobrze dobrany wykaz literatury, na który składa się 130 wielojęzycznych pozycji oraz trzy załączniki.

2. Dobór tematu rozprawy

Poprawa działania elektroenergetycznej automatyki zabezpieczeniowej w zmieniającym się ciągle systemie elektroenergetycznym jest i będzie celem wielu prac naukowych przez następne lata. Z najważniejszych przyczyn wpływających na zmianę zachowania się systemu elektroenergetycznego, a przy tym na działania

elektroenergetycznej automatyki zabezpieczeniowej, jakie pojawiły się w ostatnich latach to między innymi: energetyka odnawialna, urządzenia energoelektroniczne, w tym urządzenia typu FACTS, zwiększanie stopnia wykorzystania elementów przesyłowych systemu, w tym poprzez zastosowanie obciążalności dynamicznej tych elementów, a w przypadku linii napowietrznych zastosowanie przewodów niskozwisowych. Ostatnie dwa warunki powodują, że zmniejsza się różnica pomiędzy wartością prądu zwarciovego a obciążeniowego. Innym aspektem oddziałyującym na badania w dziedzinie elektroenergetycznej automatyki zabezpieczeniowej jest rozwój teleinformatyki, zwiększenie się zdolności obliczeniowych mikroprocesorów stosowanych w zabezpieczeniach i nowe metody obliczeniowe takie jak np. sztuczne sieci neuronowe lub wykorzystane w tej rozprawie przekształcenie falkowe. Powyżej wymienione uwarunkowania powodują, że zmieniają się warunki pracy elektroenergetycznej automatyki zabezpieczeniowej i występuje potrzeba poszukiwania nowych algorytmów identyfikacji stanów zakłóceń systemy elektroenergetycznego w tym mogą to być algorytmy wykorzystujące pomiary rozproszone oraz algorytmy stosujące skomplikowane procesy obliczeniowo-decyzyjne.

Reasumując wybór tematu rozprawy, dotyczący nowych algorytmów pomiarowo-decyzyjnych wykorzystywanych w zabezpieczeniach odległościowych, uważam za trafny i w pełni uzasadniony potrzebami współczesnej elektroenergetycznej automatyki zabezpieczeniowej, pomimo dużej liczby prac w tej dziedzinie.

3. Teza rozprawy i jej oryginalność

Cel pracy i przegląd problemów, będących przedmiotem dalszych analiz, zakończony postawioną tezą naukową, autor przedstawił w rozdziale 1.2. Główny problem naukowy upatruje on w udowodnieniu tezy, że możliwe jest zwiększenie poprawności działania zabezpieczenia odległościowego linii wysokiego napięcia wykorzystując jedynie lokalne wielkości prądu i napięcia w sytuacji zmiennych

obciążalności tych linii poprzez zastosowanie algorytmu adaptacyjnego i nową metodę decyzyjną opartą na przekształceniu falkowym.

Oryginalne elementy wykonanej pracy to:

1. wyprowadzenie zależności na nastawy zasięgu rezystancyjnego w algorytmach podimpedancyjnych zabezpieczenia odległościowego,
2. stworzenie adaptacyjnego algorytmu działania kryterium odległościowego w zależności od zmiennej sytuacji obciążeniowej rozważanej linii elektroenergetycznej z uwzględnieniem czynników fałszujących wyznaczaną impedancję takich jak: rezystancja przejścia, obciążenie linii czy zasilanie linii z lokalnego źródła,
3. opracowanie kryterium detekcji stanu zwarcia wykorzystujące do tego celu transformatę falkową prądu zwarciovego,
4. integracja algorytmu adaptacyjnego z kryterium detekcji stanu zwarcia w nowy algorytm działania zabezpieczenia odległościowego
5. przeprowadzenie analizy porównawczej proponowanego i klasycznego algorytmu działania zabezpieczenia odległościowego.

4. Rozwiązanie problemu i zastosowane metody

Udowadniając postawioną tezę autor, w pierwszej części rozprawy, omówił metody wyznaczania impedancji we współczesnych zabezpieczeniach odległościowych pokazując ich niedostatki oraz zaprezentował czynniki fałszujące wyznaczaną impedancję: rezystancję przejścia, obciążenie linii w stanie przedzwarciovym oraz zasilanie linii z lokalnego źródła. Określił sposób doboru zasięgu reaktancyjnego i rezystancyjnego zabezpieczenia odległościowego dokonując ich optymalizacji w zależności od stanu pracy linii. Ta część pracy pozwala na stwierdzenie, że autor posiada bardzo dobrą ogólną wiedzę teoretyczną z elektrotechniki i umiejętności samodzielnego prowadzenia pracy naukowej. Na zakończenie została wykonana weryfikacją zdolności wykrywania zwarć pośrednich dla wyprowadzonych różnych sposobów doboru zasięgu rezystancyjnego zabezpieczenia.

Druga część pracy omawia, zaproponowany przez autora, nowatorski algorytm adaptacyjnego doboru zasięgu rezystancyjnego charakterystyk pomiarowych zabezpieczenia odległościowego.

Trzecia część rozprawy jest poświęcona omówieniu ciągłej i dyskretnej transformaty falkowej oraz graficznym interpretacjom skalowalności i przesuwania funkcji falkowej. Na podstawie analizy właściwości przekształcenia falkowego i różnych funkcji falkowych autor zaproponował kryterium detekcji stanu zwarcia na podstawie wyników otrzymanych z przekształcenia falkowego prądu dobierając parametry tego przekształcenia, w tym funkcję falkową symlet 3-go rzędu. Kryterium to cechuje się wysoką skutecznością rozróżniania stanu zwarcia od stanu pracy normalnej nawet w sytuacjach, gdy wektor impedancji stanu przedzwarciovego znajduje się w obszarze dedykowanym wyłączeniu linii. Wadą tego przekształcenia jest wysoka częstotliwość próbkowania sygnału prądu wynosząca 25 kHz. Następnie dokonano połączenia algorytmu adaptacyjnego z kryterium detekcji stanu zwarcia w nowy algorytm działania zabezpieczenia odległościowego.

W ostatniej części rozprawy przeprowadzono analizy działania, klasycznego i proponowanego algorytmu zabezpieczania odległościowego w różnych stanach pracy systemu elektroenergetycznego.

5. Stopień wiedzy

Sposób przedstawienia oraz rozwiązania problemów, będących przedmiotem rozprawy, dowodzi bardzo dobrego przygotowania autora z zakresu algorytmów wyznaczania impedancji we współczesnych zabezpieczeniach odległościowych czy umiejętności posługiwania się nowoczesnymi narzędziami takimi jak transformata falkowa. Autor wykazał się umiejętnościami z zakresu modelowania matematycznego elementów systemu elektroenergetycznego z wykorzystaniem odpowiednich narzędzi komputerowych. Potwierdzeniem tego jest swobodne operowanie wiadomościami z tych dziedzin, co było podstawą prawidłowo budowanych modeli i algorytmów oraz rzeczowej dyskusji przyjmowanych zależności, założeń upraszczających i ograniczeń

a następnie właściwego przetworzenia danych otrzymanych z symulacji potrzebnych do udowodnienia postawionej tezy.

6. Prezentacja uzyskanych wyników

Struktura logiczna pracy i układ treści wskazuje na umiejętność właściwego naświetlenia problemu, sposobu jego rozwiązania oraz analizy uzyskanych wyników. Analiza dobrze wyselekcjonowanej bibliografii, z bogatej literatury przedmiotu, jest przedstawiona rzeczowo i pod właściwym kątem, a jednocześnie przegląd literatury wykonano bardzo zwięźle. Jedynym zarzutem w tym elemencie jest fakt, że w przeglądzie literatury podanym w rozdziale 1 brak jest analizy metod doboru nastawy zasięgu rezystancyjnego w algorytmach podimpedancyjnych zabezpieczenia odległościowego. W rozprawie poprawnie jest stosowana terminologia i nazewnictwo. Styl, poprawność języka i opracowanie redakcyjne pracy są staranne.

7. Uwagi krytyczne i wątpliwości

1. Dla proponowanego algorytmu klasycznego i adaptacyjnego należałoby wykonać analizę wrażliwości działania algorytmu na skutek zmian różnych wielkości wejściowych. Proszę o podanie, w formie liczbowej, wpływu zmiany częstotliwości o np. 1% na działanie obu algorytmów.
2. Brak jest informacji w sprawie zadziałania algorytmu adaptacyjnego podczas zmiany obciążenia od wartości maksymalnej do zera tzn. podczas zrzutu obciążenia.
3. W linii 400 kV prąd biegu jałowego może osiągnąć wartości rzędu 100 A i jest oczywiście charakteru pojemnościowego. Podobna sytuacja będzie w linii kablowej 110 kV, które dość powszechnie są obecnie stosowane w Polsce. Istotne jest, jak w tej sytuacji będą działały algorytm klasyczny i adaptacyjny przy zwarciu w takich warunkach początkowych.
4. W rozprawie pominięto szereg czynników wpływających na działanie analizowanego zabezpieczenia odległościowego. Jednym z takich czynników

jest błąd filtru antyaliasingowego zwłaszcza w sytuacji wystąpienia w mierzonym prądzie lub napięciu drgań o częstotliwości wyższej niż 50 Hz. Proszę o komentarz w tej sprawie.

5. Proszę o wyjaśnienie przyczyn zmiany mierzonej impedancji w funkcji czasu w sytuacji braku zmian prądów w funkcji czasu, pomijając zanikanie składowej nieokresowej prądu zwarciovego. Taką sytuację możemy obserwować analizując zamieszczone wyniki obliczeń na rysunku 6.7 i dalszych. Na stronach od 119 do 128 rozprawy nie wyjaśniono tego problemu pisząc ogólnie, że cytuję „Zgodnie z analizami teoretycznymi wpływu czynników fałszujących wyznaczanie impedancji, podczas przeprowadzonych badań potwierdzono, że dla zwarć występujących w końcowym fragmencie strefy zauważalny jest wpływ uwzględnienia rezystancji elementów sieciowych na wyznaczone impedancje. Powoduje on zmniejszanie wyznaczonej reaktancji w stosunku do wartości wynikającej z miejsca zwarcia dla przypadków zwarć pośrednich. Skutkiem tego jest możliwość wnikania końca wektora wyznaczonej impedancji w obszar działania zabezpieczenia odległościowego...”.
6. Jak zadziała algorytm adaptacyjny i algorytm detekcji zwarcia podczas zwarcia jednofazowego w jednej z linii równoległych magnetycznie sprzężonych w typowej konfiguracji takiej linii i w układach: pracują obie linie, pracuje jedna linia a druga jest wyłączona i uziemiona?
7. Jakich problemów można oczekiwać stosując zabezpieczenie linii wysokiego napięcia oparte na pomiarach z obu końców linii i zakładając wartości prądów obciążenia niewiele mniejsze od prądu zwarciovego? To pytanie można zakwalifikować, jako pytanie kolokwialne.

Powyższe uwagi, do których zapewne autor odniesie się podczas publicznej obrony, nie umniejszają mojej wysokiej oceny merytorycznej rozprawy, wskazują jedynie na złożoność problematyki, będącej jej przedmiotem. Drobne uwagi natury redakcyjnej i korektorskiej przekazałem autorowi inną drogą i pomijam je w recenzji.