

Wrocław, 25 września 2015

Prof. Janusz Szafran
Emerytowany profesor Wydziału Elektrycznego
Politechniki Wrocławskiej

RECENZJA ROZPRAWY DOKTORSKIEJ

Mgr inż. ŁUKASZA STASZEWSKIEGO

Pt. Adaptacyjne zabezpieczenia przeciążeniowe linii przesyłowych

wykonana na zlecenie Dziekana Wydziału Elektrycznego Politechniki Wrocławskiej
zgodnie z uchwałą Rady Wydziału z dnia 10 lipca 2015 roku.

1. Ogólna charakterystyka tematyki rozprawy.

Rozprawa doktorska mgr inż. Łukasza Staszewskiego nt. „Adaptacyjne zabezpieczenie przeciążeniowe linii przesyłowych” zrealizowana pod kierunkiem prof. Dr hab. Inż. Waldemara Rebizanta dotyczy zagadnień związanych z oceną i zastosowaniem rzeczywistych warunków w jakich odbywa się sterowania i zabezpieczenia w systemie elektroenergetycznym. Czynniki atmosferyczne takie jak : wiatr, temperatura otoczenia, nasłonecznienie mają istotny wpływ na pracę wielu elementów systemu , szczególnie tak rozległych jak linie przesyłowe. Działania te stają się koniecznością gdyż od pewnego czasu mamy do czynienia z jednej strony z rosnącym zapotrzebowaniem na energię elektryczną któremu nie towarzyszy stosowna rozbudowa infrastruktury a z drugiej zmiany konfiguracyjne takie że układ : wytwarzanie , transmisja, dystrybucja odbiór jest w poważnym stopniu zakłócony rosnącą energetyką odnawialną w której wytwarzanie jest bliskie odbiorów i umieszczane tam gdzie są odpowiednie warunki atmosferyczne.

Konsekwencją tych czynników jest konieczność uwzględniania w czasie rzeczywistym dodatkowych czynników modyfikujących algorytmy zabezpieczeń i procedury sterowania pracą systemu tak by zapobiegać zakłóceniom pracy systemu prowadzącym często do blackoutów. Prowadzi to z jednej strony do stosowania układów adaptacyjnych a z drugiej do rozwoju metod i techniki elastycznych, inteligentnych sieci elektroenergetycznych określanymi krótko jako smart grid.

Doktorant przedstawił w rozprawie doktorskiej analizę pierwotnych przyczyn prowadzących do blackoutów , która wykazała, że w wielu przypadkach zbędne wyłączenie przeciążonych linii przez zabezpieczenia było początkiem awarii i pociągało za sobą na ogół lawinę wyłączeń z podobnych przyczyn. Stąd koncepcja zmiany sztywnych nastaw zabezpieczeń i przejście do rozwiązań adaptacyjnych. Bazują one na odpowiednich modelach cieplnych, z których wynikają dopuszczalne temperatury przewodów , moce i wartości prądów. Stosownie do warunków atmosferycznych modyfikuje się nastawy zabezpieczeń ograniczając liczbę wyłączeń linii, które nie są powodowane zwarciami. Autor opracował takie algorytmy dla zabezpieczeń nadprądowych i odległościowych wykazując w przeprowadzonych badaniach symulacyjnych ich znaczną skuteczność.

Można więc stwierdzić, że tematyka rozprawy jest aktualna, ważna i interesująca tak naukowo jak i technicznie. Praca dotyczy wielu problemów, które związane są z intensywnymi badaniami wielu także światowych ośrodków.

2. Zawartość rozprawy i jej główne rezultaty

Recenzowana rozprawa ma 124 strony i zawiera spis treści, wykaz oznaczeń i symboli użytych w pracy, oraz dziewięć rozdziałów numerowanych, w tym zestawienie literatury. Układ pracy jest logiczny i konsekwentny i nie budzi zastrzeżeń. Spis literatury jest bogaty i liczy 93 pozycje w tym kilkanaście książkowych. Zdecydowana większość to pozycje literaturowe wydane po roku 2000 a także wiele wydanych po roku 2005 a nawet 2010. Przeszło połowa to literatura anglojęzyczna co wskazuje na bieżące zainteresowanie światowych ośrodków omawianą tematyką. Pozycje literaturowe, ich dobór i zawartość wskazują, że Doktorant ma dobre rozeznanie w pracach dotyczących treści realizowanej rozprawy.

W rozdziale 1 (Wstęp) Doktorant omawia ogólnie tematykę rozprawy i warunki konieczne podjęcia badań prowadzących do wykorzystania metod związanych z Dynamiczną Obciążalnością Linii przesyłowych. Ma to prowadzić do znacznego zwiększenia obciążalności linii a w konsekwencji do ograniczenia występowania blackoutów. Autor omawia i opisuje stosowane zabezpieczenia linii i wskazuje na konieczność i możliwość ich adaptacji do nowych warunków pracy linii i przeciwdziałaniu zbędnym wyłączeniom.

W rozdziale 2 (Cel i zakres pracy) Autor przedstawia tezę rozprawy oraz jej cel i zakres. **Teza pracy brzmi jak następuje: „Adaptacyjne zabezpieczenia przeciążeniowe linii przesyłowych wykorzystujące techniki dynamicznej obciążalności wpływa na zwiększenie możliwości przesyłowych linii i poprawę bezpieczeństwa pracy systemu elektroenergetycznego”.**

Zakres pracy mający zapewnić udowodnienie postawionej tezy wymaga według Autora:

- przeprowadzenia szczegółowej analizy wybranych awarii wielkoobszarowych oraz określenie typowych, wspólnych dla większości awarii elementów a szczególnie roli zabezpieczeń elektroenergetycznych w postępiach awarii.

- przeprowadzenie analizy możliwości wykorzystania dodatkowych algorytmów adaptacyjnych zabezpieczeń dostosowanych do warunków atmosferycznych wykorzystując metody Dynamicznej Obciążalności Linii.

- analiza algorytmów decyzyjnych zabezpieczeń linii zaangażowanych w procesy zainicjowania i postępu awarii wielkoobszarowych

- opracowanie nowych algorytmów zapewniających adaptacyjność zabezpieczeń i zmniejszenie prawdopodobieństwa udziału w awariach wielkoobszarowych. Symulacyjne badania uzyskanych efektów.

Podsumowując, można raz jeszcze podkreślić, że celem pracy jest udowodnienie postawionej i zapisanej powyżej tezy. Środkiem do osiągnięcia tego celu jest przedstawiony powyżej i zrealizowany zakres prac.

W rozdziale 3 (Analiza wybranych awarii wielkoobszarowych) Autor analizuje awarie wielkoobszarowe – blackouty – które doprowadzają do wyłączenia niemal wszystkich źródeł energii w znacznej części systemu. Skutki takich awarii są dotkliwe i kosztowne zatem ich ograniczenie ma wielkie znaczenie.

Punktem wyjścia do osiągnięcia tego celu musi być analiza powstawania i przebiegu takich awarii. Jest to możliwe między innymi dlatego, że w ostatnich kilkunastu latach blackouty objęły niemal wszystkie kontynenty a ich skala jeśli chodzi o populację którą objęły i niedostarczone moce jest ogromna – w niektórych przypadkach to setki milionów ludności i dziesiątki gigawatów. Przykładami granicznymi mogą tu być dwie awarie: jedna na granicy Kanady i Stanów Zjednoczonych z 2003 roku, która objęła 50 milionową populację i 62 gigawaty niedostarczonej mocy i druga w Indiach w 2012 roku , która objęła populację 670 milionów i „tylko” 32 Gw.

Przeprowadzona przez Autora analiza wykazała , że istnieje wiele wspólnych cech dotyczących powstawania, przyczyn, przebiegu i czasu trwania awarii aż do momentu blackoutu. Analiza ta pokazuje, że pierwotną przyczyną rozpoczęcia sekwencji zdarzeń prowadzących do blackoutu może być wyłączenie pojedynczej linii z powodu zwarcia lub przeciążenia a pogorszona sytuacja systemu może prowadzić do tej wielkoobszarowej awarii.

Zazwyczaj pierwszy etap trwa dość długo - minuty lub dziesiątki minut – ale ostatni to już sekundy lub ułamki sekund. W pierwszym etapie jest więc sporo czasu na przeciwdziałanie a a potem już nie ma szans – chyba że opracowano stosowne procedury automatyczne.

Jak pisze Autor, dokładna analiza awarii wielkoobszarowych wykazała, że przeciążenie linii przesyłowej jest najczęściej przyczyną prowadzącą do blackoutów. Odpowiedzialność za to ponosi najczęściej trzecia strefa zabezpieczenia odległościowego, szczególnie w warunkach podparcia związanego z zasilaniem z wielu źródeł oraz „konserwatywnych” nastawień związanych z założonymi warunkami atmosferycznymi pracy linii.

Można temu przeciwdziałać przez zastąpienie sztywnych nastaw zabezpieczeń związanych z arbitralnie przyjętymi warunkami atmosferycznymi pracy linii , przez precyzyjne nastawy wynikające z rzeczywistych warunków atmosferycznych.

W rozdziale 4 (Dynamiczna obciążalność linii) we wstępie Autor wyjaśnia, że aktualnie na etapie projektowania napowietrznych linii przesyłowych istotnym parametrem jest obciążalność prądowa to jest taka wartość długotrwałego prądu dla której osiąga się graniczną temperaturą roboczą, związanych z granicznym zwisem przewodu. Ta wartość graniczna jest jednak zależna od faktycznych warunków atmosferycznych: temperatury otoczenia a nie od założonych wartości. Wartości przyjęte zazwyczaj ze znacznym marginesem bezpieczeństwa prowadzą do automatycznych działań przy znacznych marginesach bezpieczeństwa.

Rozwiązaniem jest dynamiczna obciążalność linii w której monitorowane są wartości czynników atmosferycznych i stąd określa się maksymalne wartości , które w tych warunkach doprowadzą do granicznej temperatury roboczej. Do tych celów wykorzystuje się 2 modele bilansu cieplnego CIGRE i IEEE. Jak stwierdził to Autor prowadzą one do zbliżonych rezultatów a największy udział w procesach nagrzewania ma wartość płynącego prądu.

Jak wynika z badań Autora stosowanie DOL umożliwia znacznie lepsze wykorzystanie linii przesyłowych napowietrznych pozwalając na zwiększenie obciążeń od 25 do 78% obciążeń znamionowych z jednoczesnym zachowaniem wymogów bezpieczeństwa.

Autor do celów poszerzenia możliwości i efektów stosowania DOL wprowadził dodatkowe w istocie dynamiczne pojęcie nazwane kontrolowanym przeciążeniem. Jest to

wykorzystanie sytuacji w której prąd osiąga wartość większą od granicznej w chwili gdy temperatura przewodu jest niższa lub znacznie niższa od granicznej. Monitorowanie wartości temperatury może pozwolić na wiele minut lub nawet dziesiątek minut stosowania linii w takich warunkach , a reakcja jest potrzebna gdy zbliżamy się do wartości temperatury granicznej.

Stosowanie DOL oraz kontrolowanego przeciążenia może pozwolić na znaczne poprawienie możliwości przesyłowych linii a tym samym na eliminowanie lub ograniczanie czynników prowadzących do blackoutu .

W rozdziale 5 (Zabezpieczenia linii przesyłowych) omawia się właściwości wybranych, stosowanych zabezpieczeń linii przesyłowych – zabezpieczeń nadprądowych oraz odległościowych, które w wyniku stosowania DOL mają ograniczyć lub eliminować działania zbędne. Analiza przebiegu awarii wielkoobszarowych wskazała, że szczególnie znaczenie ma trzecia strefa zabezpieczeń odległościowych i jej uwarunkowania powinny być modyfikowane przez DOL tak aby zdecydowanie odróżnić przeciążenia od zwarć.

W rozdziale 6 (Dodatkowe algorytmy zabezpieczeń elektroenergetycznych) Autor opisuje metody i algorytmy wspomagające działania zabezpieczeń stosownie do dynamicznych obciążeń linii przesyłowych. Algorytmy te mają na celu:

- zrealizowanie DOL przez określanie maksymalnych granicznych temperatur linii oraz maksymalnych prądów w danych warunkach atmosferycznych.
- monitorowanie stanu pracy linii oraz określenie kontrolowanych przeciążeń
- poprawę rozróżnialności zwarć linii od innych ekstremalnych stanów
- wsparcie blokowania działania zabezpieczeń nadprądowych i odległościowych w przypadkach przeciążeń stosownie do algorytmów DOL.

W rozdziale 7 (Testowanie opracowanych algorytmów) przedstawiono wnikliwe i obszerne testy dotyczące opracowanych metod i algorytmów i ich zastosowanie do monitorowania stanu linii przesyłowych oraz efektywności użycia DOL we wsparciu działania zabezpieczeń w warunkach przeciążeń linii.

Badania te potwierdziły skuteczność nowych algorytmów wspomagających, pozwalających efektywnie rozróżniać zwarcia od przeciążeń. Przykładowo linie wyposażone w standardowe zabezpieczenia są wyłączane w rezultacie przeciążeń gdy nowe zabezpieczenia wspomagane przez DOL zabezpieczenia nie wyłączają linii w granicach dopuszczalnych prądów i temperatur.

Z analiz symulacyjnych prowadzonych w środowisku ATP-EMTP i Matlabu wynika też że stosowanie opracowanych metod i algorytmów może prowadzić do poprawy bezpieczeństwa pracy systemu elektroenergetycznego z naciskiem na zapobieganie blackoutom.

W rozdziale 8 (Podsumowanie i wnioski) dokonano podsumowania celu, zakresu i rezultatów wykonanych badań i symulacji. Przedstawiono wnioski końcowe z których wynika, że w efekcie rozpoznania głównych przyczyn blackoutów za które w znacznym stopniu są odpowiedzialne konserwatywnie nastawiane zabezpieczenia linii wyłączające je nawet w wyniku niewielkich przeciążeń jest możliwe przeciwdziałanie temu. Zostało to zrealizowane i poddane odpowiednim badaniom symulacyjnym , które wykazały dużą skuteczność i odporność na zbędne wyłączenia dzięki wykorzystaniu DOL zależnego od rzeczywistych warunków atmosferycznych.

Literatura Zestawienie literatury obejmuje 93 pozycje w tym kilkanaście książkowych. Tylko nieliczne z tych pozycji nie są w tekście cytowane. Więcej niż połowa to literatura anglojęzyczna co z jednej strony wskazuje na zainteresowania Doktoranta pracami realizowanymi na świecie a z drugiej wskazuje na aktualność tematyki rozprawy. Tym bardziej że literatura obejmuje prace z ostatnich 15 lat a wiele artykułów to publikacje z ostatnich 10 a nawet 5 lat. Fakt cytowania zdecydowanej większości publikacji w przedłożonej w rozprawie wskazuje, że istotnie literatura była przez Doktoranta wykorzystywana.

3. Ogólna ocena rozprawy

Po zapoznaniu się z treścią rozprawy, jej tezą, celami i zakresem stwierdzam, że jej cele zostały osiągnięte a teza udowodniona. Realizacja pracy wymagała szerokiej wiedzy teoretycznej i praktycznej, znajomości zaawansowanych technik modelowania cyfrowego i ich zastosowania oraz wielu praktycznych umiejętności. Umożliwiło to uzyskanie wielu interesujących rezultatów dotyczących wielkoobszarowych awarii i ich przebiegu i uwarunkowań oraz roli zabezpieczeń linii przesyłowych i innych uwarunkowań.

Wkład własny doktoranta dotyczy zagadnienia przeciwdziałania lub ograniczania black-outów poprzez zastosowanie Dynamicznego Obciążenia Linii oraz powiązanych zabezpieczeń adaptacyjnych i jest zawarty w rozdziałach 2, 3, 4, 6, 7.

Za szczególne osiągnięcia Autora uważam:

- wnikliwą i wszechstronną analizę powstawania i rozwoju rozlicznych, obejmujących wiele krajów awarii wielkoobszarowych
- analizę i opracowanie sposobu realizacji i algorytmów DOL,
- opracowanie adaptacyjnych zabezpieczeń linii i algorytmów ich realizacji z zastosowaniem DOL,
- Przeprowadzenie wszechstronnych badań symulacyjnych weryfikujących opracowane metody i algorytmy

4. Uwagi, problemy dyskusyjne

Recenzowana rozprawa jest napisana poprawnym i zrozumiałym językiem a jej układ graficzny również nie budzi żadnych zastrzeżeń. Zagadnienia teoretyczne i praktyczne wyjaśniane są jasno i logicznie i jest praca łatwa w czytaniu. Niewiele zauważonych usterek redakcyjnych zestawiam poniżej a także kilka problemów i pytań o charakterze merytorycznym

A) Uwagi szczegółowe i redakcyjne

1. Str. 35 Rys.4.5 – brak jednostek.
2. Str. 91- określenie „wysokie obciążenia” – może lepiej : duże, małe
3. Str 102 – na końcu pierwszego akapitu urwane i niedokończone zdanie
4. I ogólnie : w pracy używa się wielu symboli i oznaczeń. W całym tekście rozprawy przy wzorach nie ma objaśnień żadnych symboli nawet tych najważniejszych. Jest to pewne utrudnienie pomimo umieszczenia na początku indeksu symboli.

B) Uwagi, wątpliwości i pytania merytoryczne

1. Linie elektroenergetyczne są rozległymi obiektami biegnącymi dziesiątki, lub setki kilometrów. Ich fragmenty mogą być w zupełnie odmiennych warunkach

atmosferycznych. Jaka właściwie powinna być gęstość stacji pogodowych oraz jak w przypadku znacznych różnic określać parametry do Dynamicznego Obciążenia Linii.

2. Kontrolowane przeciążenia to interesujący pomysł użycia linii do przesyłu prądów większych niż dopuszczalne w przypadku istnienia zapasu temperatury linii. Proszę o wyjaśnienie jaka może być dynamika mierzonych wielkości oraz podatność na błędy powodowane zakłóceniami w praktycznych rozwiązaniach.
3. Stosowanie adaptacyjnych zabezpieczeń oraz Dynamicznego Obciążenia Linii pozwalają na zwiększenie obciążalności linii oraz ograniczenia częstości występowania blackoutów. Lepsze są więc warunki przesyłu energii. Czy może uciec na tym jakość zabezpieczeń ?

5. Wniosek końcowy

Uważam , że przedstawiona rozprawa doktorska stanowi wartościowy wkład w rozwoju metod obrony systemu elektroenergetycznego przed awariami wielkoobszarowymi oraz adaptacyjnych cyfrowych zabezpieczeń elektroenergetycznych. Opiniowana rozprawa prezentuje oryginalne podejście do rozwiązania ważnego zagadnienia naukowego, wsparte przygotowaniem odpowiednich algorytmów i ich weryfikacją.

Przedstawione rezultaty są ciekawe i również rokujące na przyszłość. Recenzowana rozprawa wykazuje też szeroką wiedzę Doktoranta w dyscyplinie naukowej Elektrotechnika i znaczną samodzielność.

Stwierdzam, że rozprawa przygotowana przez Łukasza Staszewskiego spełnia wymagania stawiane rozprawom doktorskim przez Ustawę o Stopniach i Tytule Naukowym z dnia 14 marca 2003 roku (Dziennik Ustaw nr 65, poz. 595) wraz z jej nowelizacją z dnia 18 marca 2011. Wnioskuje o dopuszczenie jej do publicznej obrony

Janusz Szafran

