

Prof. dr hab. inż. Adrian Halinka
Instytut Elektroenergetyki i Sterowania Układów
Politechnika Śląska

RECENZJA

rozprawy doktorskiej mgr inż. Rafała Kumali
pt: „Identyfikacja zakłóceń w wielotorowych różnopoziomowych napięciowo liniach elektroenergetycznych”

1. Dane ogólne

Podstawą wykonania recenzji rozprawy doktorskiej, jest pismo Dziekana Wydziału Elektrycznego Politechniki Śląskiej, prof. dr hab. inż. Pawła Sowy, powołujące się na uchwałę Rady Wydziału Elektrycznego Politechniki Śląskiej z dnia 25 października 2016 roku oraz opracowanie pod ww. tytułem, o objętości 167 stron razem z załącznikami i wykazem literatury.

2. Charakterystyka tematu i tezy

Od wielu lat obserwuje się działania w obrębie szeroko rozumianej elektroenergetyki związane z zaspokojeniem rosnącego popytu na energię elektryczną. Zwiększają się również oczekiwania odbiorców w odniesieniu do parametrów jakościowych jak i niezawodności dostaw energii elektrycznej. Wymagania te są jednocześnie konfrontowane z procesami decentralizacji i urynkwienia elektroenergetyki, których ważnym aspektem są zagadnienia (kryteria) ekonomiczne. Wynika z tego potrzeba przededefiniowania tradycyjnego podejścia do zagadnień eksploatacji, planowania i sterowania pracą systemu elektroenergetycznego (SEE), którego głównym wątkiem były wymagania techniczne, uzupełniając je uwarunkowaniami ekonomicznymi oraz administracyjno-prawnymi. Traktując pracę SEE lub wydzielonych w nim struktur funkcjonalnych i topologicznych jako proces techniczny, wymagania jakościowe i niezawodnościowe generowanej, przesyłanej i użytkowanej energii elektrycznej wymuszają konieczność zapewnienia wysokich wymagań technicznych pracy sieci elektroenergetycznej zarówno na poziomie sieci przesyłowych (najwyższych napięć) jak i sieci dystrybucyjnych. Mając na uwadze postępującą decentralizację struktur sieciowych, pojawianie się lokalnych źródeł energii elektrycznej o różnorodnej postaci energii pierwotnej, a co za tym idzie dyspozycyjności mocy, narzucane wymagania techniczne (rozptylowe) związane z handlem energią czy rosnące oczekiwania odbiorców, konieczna staje się transformacja tradycyjnie rozumianej pracy systemu elektroenergetycznego w silnie dynamiczny proces o dużym stopniu rozproszenia funkcjonalnego i decyzyjnego, a co za tym idzie o dużej elastyczności działania i nadążnej adaptacji do pojawiających się wymagań i oczekiwań zarówno o charakterze technicznym jak i ekonomicznym.

Jednym z czynników warunkujących odpowiedni poziom elastyczności w zarządzaniu pracą systemu elektroenergetycznego jest wyposażenie jego struktur sieciowych i stacyjnych w odpowiednio wyposażoną i skoordynowaną automatykę pomiarową, sterującą, łączeniową i zabezpieczeniową. Ze względu na coraz częstsze fluktuacje rozptywu mocy w sieci elektroenergetycznej, objawiające się m.in. dużą rozpiętością wartości przesyłanej mocy, zmiany jej kierunkowości, np. wskutek zmiany warunków generacyjnych (farmy wiatrowe, elektrownie fotowoltaiczne), czy wiekową, nie modernizowaną strukturę sieciową mogą pojawiać się problemy z zapewnieniem odpowiednich rozkładów obciążeń w sieci. Obserwowany progres zapotrzebowania na energię elektryczną wymusza coraz większą przepustowość linii elektroenergetycznych, co przy braku odpowiedniej infrastruktury

przesyłowej lub jej wysokiej awaryjności, np. wskutek dużego wyeksploatowania, prowadzi do przeciążeń prądowych linii co w konsekwencji może przerodzić się w awarię systemową.

Budowa nowych ciągów liniowych oprócz dużych kosztów inwestycyjnych obarczona jest szeregiem trudności natury prawnej. Przede wszystkim są one związane z uzyskaniem zgody ludności na realizację inwestycji, wykup gruntów, oceny i ekspertyzy oddziaływania na środowisko naturalne itp. co wiąże się ze znaczącym wydłużeniem czasu jej realizacji lub rezygnacją z inwestycji.

Coraz częściej obserwuje się na świecie jak i w kraju próby rozwiązania tego problemu przez prowadzenie torów linii o różnych poziomach napięciowych na wspólnych (istniejących) konstrukcjach wsporczych (stupach). Są to tak zwane wielotorowe linie wielonapięciowe (WLW). Jednak konsekwencją techniczną takich działań są, m.in. pojawiające się sprzężenia magnetyczne pomiędzy różnymi napięciowo torami linii. W wielu przypadkach zróżnicowane napięciowo tory zasilane są z innych źródeł (podsystemów zasilających) co dodatkowo komplikuje prowadzenie ruchu takiej sieci jak i identyfikację w jej strukturze stanów awaryjnych.

Recenzowana praca jest przykładem działalności naukowej w zakresie badań symulacyjnych i analiz stanów zakłóceń zwarciovych w liniach wielotorowych o różnych poziomach napięcia. Doktorant koncentruje się przede wszystkim na elektromagnetycznych stanach przejściowych podczas zwarć o charakterze złożonym, tj. zwarć pomiędzy torami linii o różnych poziomach napięć oraz zasilanych z wydzielonych odrębnych podsystemów. Przedmiotem badań są złożone zwarcia niejednoczesne, których sekwencja powstawania jest identyfikowana w różnych znacznikach czasowych (chwilach czasu).

W zaproponowanych przez Doktoranta modelach symulacyjnych stanów zwarciovych o charakterze elektromagnetycznym w złożonych strukturach sieciowych zawierających WLW - opracowanych z wykorzystaniem oprogramowania ATP-EMTP - konieczna była redukcja modeli sieci z wykorzystaniem ekwiwalentowania wybranych podsystemów sieciowych. Doktorant zaproponował i zastosował autorską metodę redukcji systemu pierwotnego zawierającego w swojej topologii wielotorowe linie wielonapięciowe.

Doktorant jako cel główny rozprawy przyjął rozwiązanie trudnego problemu analitycznej oceny stanów przejściowych o charakterze elektromagnetycznym towarzyszących złożonym zakłóceniom zwarciovym w strukturach sieciowych zawierających wielotorowe linie wielonapięciowe. Szczególną uwagę zwrócił na rozpoznanie i identyfikację takich scenariuszy stanów zakłóceń, które charakteryzują się specyficznymi cechami, m.in. wysokimi wartościami współczynników prądowych i napięciowych w odniesieniu do zakłóceń w sieciach nie zawierających WLW. Stany te stanowią potencjalne zagrożenie – szczególnie dla aparatury łączeniowej i pomiarowej – ze względu na towarzyszące im wysokie poziomy napięć i udarów prądowych oraz na trudności w ich identyfikacji i potencjalnym niebezpieczeństwie przeobrażenia się tych zakłóceń w niekontrolowaną awarię systemową.

Opracowana przez Doktoranta metodyka identyfikacji i analizy stanów elektromagnetycznych jedno- i niejednoczesnych, złożonych zakłóceń zwarciovych w wielotorowych liniach wielonapięciowych bazuje na wyznaczeniu szeregu współczynników oraz maksymalnych wartości chwilowych, m.in.:

- współczynników napięć,
- współczynników określających największy przyrost wartości chwilowych prądów w fazach dotkniętych zwarciem oraz zdrowych,
- współczynników wyznaczających maksymalne poziomy wartości chwilowych prądów międzysystemowych,
- współczynników wyznaczających maksymalne poziomy wartości chwilowych prądów doziemnych.

Dla złożonych zwarć niejednoczesnych pomiędzy fazami linii o różnych napięciach pracy i zasilanych z odrębnych źródeł Doktorant założył sekwencję zdarzeń o interwałach

czasowych wyznaczonych chwilami osiągnięcia przez sygnał napięciowy linii 400 kV wartości maksymalnych lub minimalnych.

Badania stanów elektromagnetycznych podczas złożonych zakłóceń zwarciovych w wielotorowych liniach wielonapięciowych przeprowadzono parametrycznie w zależności od:

- czasu zainicjowania zakłócenia zwarciovego,
- poziomu mocy zwarcioviej w węzłach zasilających,
- rozpatrywanego układu przewodów roboczych (poziomego, pionowego oraz trójkątno-poziomego),
- słupów linii elektroenergetycznych (kratowe lub pełnościenne)

i są one dedykowane dwóm układom WLW, tj. 2x400kV+220kV znajdujących się na obszarze PSE-Południe S.A. oraz 2x400kV+220kV +110kV zlokalizowanych na obszarze PSE-Zachód S.A.

Przyjęty cel główny rozprawy określa w pewien sposób jej zakres obejmujący m.in. charakterystykę linii elektroenergetycznych, w tym wielotorowych linii wielonapięciowych wraz z ich modelami matematycznymi, zagadnienia ekwiwalentowania struktur sieci elektroenergetycznych na potrzeby tworzenia modeli symulacyjnych, szczególnie dla badań stanów przejściowych o charakterze elektromagnetycznym, modelowanie w programie ATP-EMTP dwóch struktur sieci elektroenergetycznych zawierających WLW w celu symulowania w nich złożonych i niejednoczesnych zakłóceń zwarciovych, pozyskanie bogatej biblioteki przebiegów czasowych prądów i napięć w wybranych punktach sieci obrazujących dynamikę zwarć, sformułowanie współczynników pozwalających na rozpoznanie i identyfikację stanów zwarciovych - szczególnie niebezpiecznych z punktu widzenia prawidłowej pracy SEE, przeprowadzenie analizy parametrycznej wpływu wybranych czynników na cechy modelowanych zakłóceń zwarciovych, sformułowanie uwag i wniosków podsumowujących przeprowadzone badania i analizy.

W tym kontekście uważam, że zarówno temat jak i cel oraz zakres rozprawy zostały wybrane zgodnie z aktualnymi potrzebami badawczymi w kraju.

Główną tezę naukową pracy sformułowano na stronie 9 następująco:

„Przebiegi przejściowe napięć i prądów pojawiające się w wyniku złożonych stanów zakłóceń w wielotorowych liniach wielonapięciowych powodują powstanie ekstremalnych wartości przebiegów oraz udarów prądowych przekraczających wielokrotnie parametry przyjęte dla danego poziomu napięcia przez obowiązujące przepisy. Warunki pracy urządzeń pracujących w układach przesyłowych wielonapięciowych podczas zakłóceń złożonych mogą powodować poważne konsekwencje dla systemu elektroenergetycznego w postaci blackoutu lokalnego lub globalnego.”

Biorąc pod uwagę łącznie temat, cel i zakres oraz powyższą tezę naukową można stwierdzić, że rozpatrywane zagadnienie ma charakter naukowy odpowiedni na rozprawę doktorską.

3. Charakterystyka rozwiązania zagadnienia i użytych metod

Ze sformułowanego celu, zakresu oraz tezy rozprawy wynika, że podstawowym zamierzeniem Doktoranta było rozpoznanie i identyfikacja (za pomocą zaproponowanych współczynników) stanów zakłóceń zwarciovych w sieciach elektroenergetycznych wysokich i najwyższych napięć, których cechy – zwłaszcza w elektromagnetycznych stanach przejściowych – są trudne do identyfikacji a jednocześnie mogą stanowić potencjalny przyczynnik powstawania rozległych awarii systemowych - w sytuacji skrajnej prowadzić do tzw. blackoutu.

Dla tak sformułowanego celu konieczne były badania symulacyjne i analizy obejmujące m.in.: opracowanie i parametryzację modeli obiektów badanych układów sieci elektroenergetycznych z WLW, przyjęcie właściwego ekwiwalentowania struktury modelowanej sieci elektroenergetycznej dla potrzeb analiz elektromagnetycznych stanów

przejściowych, zaproponowanie metody redukcji wyjściowej (pierwotnej) struktury badanych podsystemów elektroenergetycznych, przeprowadzenie wielowątkowych i wielowariantowych badań symulacyjnych złożonych i niejednoczesnych zakłóceń zwarciovych w wybranych miejscach modelowanych sieci, sformułowanie współczynników prądowych i napięciowych pozwalających na identyfikację i ocenę zagrożeń danego zakłócenia na poprawność i ciągłość pracy całego SEE, analizę parametryczną przebiegów czasowych prądów i napięć w czasie złożonych zakłóceń zwarciovych i wynikające z niej potencjalne zagrożenia w pracy SEE, opracowanie wniosków o charakterze ogólnym z przeprowadzonych badań oraz rekomendacji dotyczących dalszych działań.

Sposób postawienia i rozwiązania tego problemu, przeprowadzone i przedstawione analizy teoretyczne jak i zastosowane środki symulacyjne dowodzą, że Doktorant zna i posługuje się metodami pracy naukowej.

Recenzowana praca podzielona jest na 5 rozdziałów o różnej objętości i zakresie tematycznym, zawiera ponadto spis literatury tematu oraz 6 załączników. Treść pracy można usystematyzować następująco: wprowadzenie do tematyki pracy, rola i charakterystyka napowietrznych linii elektroenergetycznych jako środka transportu energii elektrycznej w systemie elektroenergetycznym (SEE), geneza powstania i opis wielotorowych linii wielonapięciowych, ocena zagrożeń wynikająca z zakłóceń zwarciovych w WLW – szczególnie w trakcie stanów przejściowych o charakterze elektromagnetycznym – na bazie studiów literaturowych; określenie celu, zakresu i głównej tezy pracy; krótka charakterystyka pracy oraz wykaz użytego oprogramowania – rozdział 1; przedstawienie zasad wyboru modeli matematycznych elektroenergetycznych linii napowietrznych, uzasadnienie wyboru modelu Martiego linii użytego w opracowanym modelu fragmentu sieci, charakterystyka wielotorowych linii wielonapięciowych, przedstawienie wad i zalet stosowania WLW w strukturach SEE, przegląd WLW stosowanych w Polsce i na świecie, opis podstawowych cech stalowych słupów pełnościennych – rozdział 2; wprowadzenie do problematyki tworzenia struktur ekwiwalentnych na potrzeby modelowania pracy SEE, zasady tworzenia podsystemów ekwiwalentnych dla struktur sieciowych zawierających WLW, przedstawienie metody redukcji systemu pierwotnego dla wyodrębnionej sieci elektroenergetycznej zawierającej WLW, omówienie redukcji statycznej systemu pierwotnego przy użyciu oprogramowania SCC, propozycja algorytmu do obliczania parametrów statycznych systemu zewnętrznego (ekwiwalentu) w programie SCC – rozdział 3; omówienie głównych aspektów modelowania przyjętych struktur sieci przesyłowych zawierających WLW, przedstawienie sposobu przygotowania danych i parametrów modeli systemu pierwotnego dla obszaru: PSE-Południe S.A. oraz PSE-Zachód S.A.; sformułowanie współczynników prądowych i napięciowych wykorzystywanych następnie do identyfikacji i oceny zagrożeń wystąpienia danego zakłócenia zwarciovego; podział modelowanych złożonych stanów zwarciovych na grupy (m.in. zwarcia m-fazowe bez udziału ziemi, zwarcia z udziałem ziemi); określenie zmiennych (chwila inicjacji zwarcia, poziom mocy zwarcioviej źródeł, sposób mocowania przewodów na konstrukcji wsporczej, rodzaj konstrukcji wsporczej) uwzględnionych w sposób parametryczny w przeprowadzonych symulacjach; prezentacja wyników symulacji i analiz szczegółowych dla przykładowych (charakterystycznych) scenariuszy złożonych zakłóceń zwarciovych w modelowanych strukturach sieciowych – rozdział 4; podsumowanie przeprowadzonych symulacyjnych badań modelowych i analiz, przedstawienie w sposób syntetyczny wniosków i uogólnionych spostrzeżeń w oparciu o uzyskane wyniki oraz określenie potencjalnych kierunków dalszych badań – rozdział 5; obszerny, liczący 105 pozycji zestaw literatury przedmiotu (w tym 14 autorskich lub współautorskich); sześć załączników zawierających, m.in. bogate uzupełnienie wyników przeprowadzonych przez Doktoranta badań symulacyjnych i analiz.

Reasumując można stwierdzić, że tekst rozprawy jest przykładem przemyślanego, celowego i skutecznego działania Doktoranta w zakresie modelowania i analiz złożonych zakłóceń zwarciovych – również o charakterze niejednoczesnym - w wysokonapięciowych strukturach sieciowych zawierających wielotorowe linie wielonapięciowe. Jej treść obrazuje

swobodę działania Autora w zagadnieniach modelowania elementów i struktur sieciowych na potrzeby analiz dynamicznych, ekwiwalentowania – na potrzeby opracowania modelu sieciowego – struktur pierwotnych systemu elektroenergetycznego, określenia sposobu i zakresu badań symulacyjnych, przeprowadzania wielowątkowych badań w oparciu o zdefiniowane modele, analizy uzyskanych rezultatów i formułowania wniosków w celu określenia cech charakterystycznych złożonych zakłóceń zwarciovych, pozwalających na ich identyfikację i oszacowanie potencjalnych zagrożeń ich wystąpienia na pracę systemu elektroenergetycznego (powstanie i rozwijanie się awarii systemowych).

W moim przekonaniu w rozprawie przyjęto i zastosowano odpowiednie metody naukowe i środki realizacji do rozwiązania postawionych problemów i wykazania jej tezy.

4. Wartość merytoryczna rozpatrywanej rozprawy

Wartość pracy obrazują dokonania Doktoranta zarówno w zakresie rozważań teoretycznych, działań symulacyjnych jak i analitycznych. Prawidłowe i efektywne wykorzystanie współczesnej wiedzy w zakresie modelowania cyfrowego złożonych funkcjonalnie i topologicznie sieci elektroenergetycznych wysokich i najwyższych napięć zawierających wielotorowe linie wielonapięciowe, zaproponowanie sposobu ekwiwalentowania systemu pierwotnego SEE dla modeli układów sieciowych zawierających WLW, formułowanie scenariuszy badań symulacyjnych zawierających wielowariantowe kombinacje złożonych, niejednoczesnych zakłóceń zwarciovych, przeprowadzenie szeregu badań symulacyjnych w celu oceny parametrycznej wpływu wybranych czynników na obserwowane ekstremalne cechy przebiegów czasowych prądowych i napięciowych, zaproponowanie metody współczynników prądowych i napięciowych do identyfikacji zdarzeń zwarciovych stanowiących przypadki szczególnie silnych stanów przepięciowych lub uderów prądowych stanowią składniki wartościujące recenzowaną pracę. O wartości pracy stanowią również wyniki przeprowadzonych analiz pozwalających wykazać w sposób jednoznaczny, że maksymalne poziomy wartości chwilowych obserwowanych przebiegów napięć i prądów podczas zakłóceń zwarciovych w wielotorowych liniach wielonapięciowych wielokrotnie przekraczają poziomy określone w dokumentach normatywnych dla danego poziomu napięcia.

Moim zdaniem główne osiągnięcia Autora to:

- Logiczne i precyzyjne postawienie problemu badań, ich celu, zakresu i tezy.
- Charakterystyka wielotorowych linii wielonapięciowych, m.in. geneza ich powstania, stosowane kryteria podziału WLW, sposób prowadzenia tzw. pasów technologicznych ciągów liniowych w terenie, opis stosowanych układów przewodów roboczych na konstrukcjach wsporczych (słupach); przedstawienie głównych zalet i wad stosowania rozwiązań WLW, ocena – na bazie przeglądu literaturowego - ilościowa rozwoju tego rodzaju układów sieciowych w kraju i na świecie.
- Zaproponowanie metodyki ekwiwalentowania systemu pierwotnego w modelach układów sieciowych zawierających wielotorowe linie wielonapięciowe.
- Opracowanie - z wykorzystaniem oprogramowania ATP-EMTP - modeli symulacyjnych dwóch złożonych struktur sieci wysokich i najwyższych napięć zawierających układy WLW.
- Sformułowanie oraz przeprowadzenie wielowariantowych i wielowątkowych scenariuszy badań symulacyjnych złożonych, międzysystemowych, zakłóceń zwarciovych o charakterze niejednoczesnym.
- Zaproponowanie wykorzystania metody współczynników napięciowych i prądowych do identyfikacji cech stanów przejściowych o charakterze elektromagnetycznym w trakcie zakłóceń zwarciovych charakteryzujących się ekstremalnymi poziomami przepięć i/lub uderów prądowych. Stany takie mogą przerodzić się w rozległe awarie systemowe (blackout).

- Oszacowanie spodziewanych poziomów maksymalnych wartości chwilowych prądów i napięć w symulowanych układach sieciowych z WLW, występujących w trakcie badanych stanów zwarciovych. Wartości te wielokrotnie przekraczających poziomy określone w dokumentach normatywnych dedykowanych układom linii elektroenergetycznych o jednym poziomie napięcia.
- Analiza porównawcza cech prądowych i napięciowych złożonych zakłóceń zwarciovych w wielotorowych liniach wielonapięciowych pracujących na słupach o konstrukcji kratowej i pełnościennej.

5. Uwagi krytyczne i dyskusyjne

W trakcie lektury treści rozprawy nasunęły się pewne uwagi i pytania zarówno o charakterze ogólnym jak i szczegółowym.

Pytania i uwagi o charakterze ogólnym:

1. Przeprowadzone i zamieszczone w rozprawie badania symulacyjne oraz analizy złożonych i niejednoczesnych zakłóceń zwarciovych w wielotorowych liniach wielonapięciowych (WLW) nie zawierały scenariuszy uwzględniających działanie – w trakcie zakłóceń – automatyki restytucyjnej linii, tj. automatyki Samoczynnego Ponownego Załączenia (SPZ), zarówno 1- jak i 3-fazowej. Istnieje duże prawdopodobieństwo identyfikacji w tych stanach awaryjnych przypadków charakteryzujących się równie ekstremalnymi poziomami przepięć oraz udarów prądowych (czynności łączeniowe „na zwarcie”). Wydaje się, że ujęcie w badaniach automatyki SPZ wiązałoby się z koniecznością uwzględnienia kolejnego czynnika (zmiennej parametrycznej) – mianowicie czasu przerwy SPZ.
2. Dlaczego przedmiotem badań w rozprawie nie były również struktury sieciowe z WLW zawierającymi linie średniego napięcia? Z zamieszczonych w rozprawie wyników badań wynika, że właśnie tory linii o najniższych poziomach napięć są szczególnie narażane na silne przepięcia lub udary prądowe. Określony w rozprawie cel ma charakter ogólny – nie odnosi się do konkretnych poziomów napięć lub grup napięciowych. Czy podobne badania można by przeprowadzić na opracowanych przez Doktoranta modelach sieciowych z uwzględnieniem WLW zawierających tory ŚN?
3. W założeniach badawczych jak i opracowanych modelach symulacyjnych nie uwzględniono obecności przetworników pomiarowych (przekładników pomiarowych i zabezpieczeniowych). Z perspektywy elektroenergetycznej automatyki zabezpieczeniowej (EAZ) – do której Doktorant wielokrotnie odnosi wnioski ze swoich badań – jest to problem zasadniczy. Zarówno dokładność przetwarzania jak i dynamika przetwornika pomiarowego jest jednym z determinantów poprawnego działania automatyki zabezpieczeniowej. Przyjmując liniową zgodność sygnału pozyskanego z przetwornika w odniesieniu do sygnału pierwotnego, we współczesnych cyfrowych zabezpieczeniach elektroenergetycznych wejściowe sygnały pomiarowe poddaje się ściśle dolnoprzepustowej, analogowej filtracji antyaliasingowej a następnie cyfrowej wąskopasmowej filtracji ortogonalnej, eksponującej z sygnału składową użyteczną (zazwyczaj o częstotliwości 50 Hz). Z tego względu uzyskane przez Doktoranta przebiegi czasowe prądów i napięć nie stanowią znaczącego zagrożenia dla poprawnej pracy algorytmów pomiarowych i decyzyjnych EAZ. Sytuacja taka mogła by wystąpić w sytuacjach, gdy składowa użyteczna osiągała by wartości ekstremalne. W pracy brak jednak informacji chociażby na temat poziomu widm amplitudowych sygnałów pomiarowych w np. w 20 ms oknach czasowych. W związku z tym stwierdzenie Doktoranta zawarte w podsumowaniu „Ekstremalne wartości chwilowe prądów międzysystemowych, prądów płynących między fazą zwartą a ziemią i udarów prądowych w fazach niedotkniętych zakłóceniem oraz bardzo duże wartości składowej nieokresowej o

znaczej stałej czasowej zanikania w tych specyficznych sygnałach prądowych, mogą spowodować nieprawidłowe działanie EAZ ..." (str. 88) uważa się za nieudokumentowane w rozprawie żadnymi wynikami badań czy rozważaniami teoretycznymi. Natomiast sygnały takie stanowią realne zagrożenie dla odpowiedniej „jakości” pracy przetworników pomiarowych (przekładników), szczególnie dedykowanych układom EAZ.

4. Doktorant często odnosi uzyskane ekstremalne poziomy przepięcie czy uderów prądowych do ich niszczącego wpływu na układy izolacyjne lub aparaturę łączeniową. Zupełnie jednak pomija zagrożenia jakie one stanowią dla zainstalowanej w SEE aparatury pomiarowej (nie tylko dla celów EAZ).
5. W rozprawie pojawia się szereg nieprecyzyjnych sformułowań, szczególnie w odniesieniu do pozyskanych przebiegów czasowych prądów i napięć. Przykładowo, w podsumowaniu na str. 87 Doktorant pisze: „... w fazach „zdrowych” toru prądowego o niższym poziomie napięcia mogą pojawić się przepięcia o znaczej wartości i/lub udary prądowe o bardzo dużej zawartości składowej aperiodycznej w chwili powstania zakłócenia.”; „... mogą pojawić się bardzo duże wartości chwilowe prądów międzysystemowych oraz prądów płynących między fazą zwartą a ziemią o znaczej zawartości składowej nieokresowej.”; „... sygnały napięciowe w fazach zwartych mają charakter oscylacyjny o znaczej wartości stałej czasowej zanikania.” Proszę wyjaśnić pojęcia „bardzo duża zawartość składowej aperiodycznej” oraz „znacząca zawartość składowej nieokresowej” dla sygnałów prądowych. W przypadku sygnałów napięciowych chodzi prawdopodobnie o nałożone na sygnał podstawowy o częstotliwości 50 Hz, m.in. tłumione, wysokoczęstotliwościowe składowe oscylacyjne.
6. Dlaczego zrezygnowano z uwzględnienia nieliniowości magnetycznych w modelach autotransformatorów i transformatorów, które posiadają rdzenie ferromagnetyczne? Na stronie 49 Doktorant pisze: „W celu parametryzacji modelu SATTRAFO wymagane jest podanie parametrów R_T i X_T dla strony GN oraz DN. Wybór procedury SATTRAFO do zamodelowania transformatorów i autotransformatorów umożliwił więc bezpośrednie wykorzystanie danych z programu SCC do parametryzacji modelu ATPDraw.” Uzyskiwane w wynikach badań wartości maksymalne sygnałów prądowych jak i zawarty w nich wysoki poziom składowych aperiodycznych, może skutkować nasyceniem (częściowym lub całkowitym) ich rdzeni.

Pytania i uwagi szczegółowe:

1. Czym Doktorant uzasadnia przyjętą wartość częstotliwości macierzy transformacji f_t dla modelu Martiego wynoszącą 30 kHz (str. 48)? Czy była ona weryfikowana uzyskanymi wynikami symulacji, np. poprzez wyznaczenie widm częstotliwościowych przebiegów czasowych prądów i napięć?
2. Czy sposób mocowania przewodów roboczych i odgromowych na słupach nie ogranicza realnych scenariuszy modelowanych złożonych, niejednoczesnych zakłóceń zwarciovych? Na podstawie, np. rysunku 4.4a trudno wyobrazić sobie zwarcie L3 (toru I) z fazą L1 (toru II) albo fazy L3 (toru I) z fazą L3 (toru II) na rys. 4.4b – co dla układu na rys. 4.4c wydaje się wielce prawdopodobne?
3. Na str. 62 prac Doktorant pisze: „... liczba czynników decydujących o dynamice zmian sygnałów prądowych oraz napięciowych podczas elektromagnetycznych stanów przejściowych wywołanych ZZZ jest znaczna i bardzo trudno jest określić jednoczesny wpływ wszystkich parametrów na wartości chwilowe prądów i napięć.” W pracy nie analizowano dynamiki zmian sygnałów prądowych i napięciowych podczas złożonych zakłóceń zwarciovych (ZZZ), określano jedynie ich cechy charakterystyczne zorientowane w czasie, np. maksymalne wartości chwilowe sygnałów w obserwowanym oknie czasowym. Dynamika sygnału nie determinuje bezpośrednio jego maksymalnych wartości.
4. Str. 75: „... liczba parametrów determinujących dynamikę zmian sygnałów prądowych oraz napięciowych podczas elektromagnetycznych stanów przejściowych

wywołanych ZZZ jest znaczna i niezwykle trudno jest określić jednoczesny wpływ wszystkich parametrów ...". Proszę przytoczyć kilka zmiennych (parametrów) determinujących dynamikę zmian sygnałów prądowych i napięciowych.

5. Str. 80: „W praktyce, przedstawione cechy sygnałów napięciowych mogą być potencjalną przyczyną nieprawidłowego działania EAZ ...”. Jak już wspomniano, sygnały te zostaną poddane dolnoprasmowej filtracji analogowej o częstotliwości odcięcia filtra rzędu (200÷300) Hz. Przytaczane sygnały napięciowe (rys. 4.20 i 4.21) zawierają tłumione składowe oscylacyjne o częstotliwościach rzędu kiloherców.
6. Na str. 81 Doktorant pisze: „... w sygnałach prądowych toru WN objętych ZZZ o charakterze niejednoczesnym mogą pojawić się bardzo duże składowe aperiodyczne o wartości przekraczającej składową okresową.” Proszę doprecyzować sformułowanie „bardzo duże składowe aperiodyczne o wartości (o który parametr składowej aperiodycznej chodzi?) przekraczającej składową okresową (może chodzi o wartość amplitudy składowej okresowej ?)”.
7. Dlaczego przebiegi czasowe prądów $i_{T4h}(t)$ zamieszczone na rys. 4.24 (str. 82) nie mają charakteru sinusoidalnego i nie zawierają „silnej” składowej podstawowej (użytecznej), tj. sygnału sinusoidalnego o częstotliwości 50 Hz?

Także poziom edytorski pracy jest poprawny. Pewne zastrzeżenia budzi czytelność kilku rysunków jak i użytych w rozprawie sformułowań. Pojawiają się również pewne przeoczenia czy błędy edytorskie:

1. str. 10: „Pierwszy rozdział ma charakter informacyjny.” Jak to rozumieć? W wielu pozostałych rozdziałach zawartych jest również szereg informacji.
2. str. 61: „... jako chwile wystąpienia zakłócenia zwarcowego przyjęto maksymalną wartość sinusoidy napięcia toru 400 kV ...” chodzi prawdopodobnie o moment inicjacji zwarcia, którego czas trwania (występowania) jest znacznie dłuższy.
3. str. 75: „... czasu wystąpienia zakłócenia zwarcowego.” – czy chodzi o czas trwania zakłócenia czy o moment jego inicjacji? (patrz uwaga 2)

6. Wnioski końcowe

Doktorant rozwiązał poprawnie postawiony problem. Za pomocą dostępnych, nowoczesnych metod naukowych udowodnił postawioną przez siebie tezę.

- 6.1 Na podstawie lektury przedstawionej mi do recenzji rozprawy doktorskiej i analizy jej treści stwierdzam, że recenzowana praca spełnia wymagania stawiane rozprawom doktorskim w Ustawie o Stopniach Naukowych i Tytule Naukowym oraz o Stopniach i Tytule w Zakresie Sztuki z dnia 14 marca 2003 roku (Dz.U. 2003 Nr 65 poz. 595).

- 6.2 Wnioskuje o dopuszczenie rozprawy do publicznej obrony.


9.11.2016