

Łódź, dnia 24 sierpnia 2019 roku

Dr hab. inż. Andrzej Kanicki

Politechnika Łódzka

Instytut Elektroenergetyki

Dyscyplina: Elektrotechnika, specjalność: elektroenergetyka, informatyka
w elektroenergetyce

**Recenzja rozprawy doktorskiej mgr inż. Darii Agaty MACHA
pt. „Elektromagnetyczne stany przejściowe w liniach przesyłowych zasilających
układy lokalne”**

Promotor rozprawy – prof. dr hab. inż. Paweł Sowa

1. Podstawa i przedmiot recenzji

Recenzję rozprawy doktorskiej mgr inż. Darii Agaty MACHA pt. „Elektromagnetyczne stany przejściowe w liniach przesyłowych zasilających układy lokalne” wykonanej pod kierunkiem promotora prof. dr hab. inż. Pawła Sowy opracowałem na podstawie zlecenia prof. dr hab. inż. Pawła Sowy, dziekana Wydziału Elektrycznego Politechniki Śląskiej z dnia 5.08.2019 roku. Opiniowana rozprawa doktorska obejmuje:

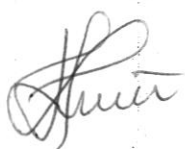
- 141 stron tekstu podstawowego, ujętego w dziewięciu rozdziałach,
- wykazu literatury, na który składa się z 101 wielojęzycznych pozycji,
- dwóch załączników.

2. Problematyka naukowa rozprawy, teza rozprawy i jej oryginalność

W pierwszym rozdziale rozprawy autorka przedstawiła tezę pracy w postaci trzech zagadnień. Sformułowana teza nie została poprzedzona szczegółową analizą dotychczas opublikowanych referatów konferencyjnych lub artykułów w czasopiśmie. To



spowodowało, że spis literatury zamieszczony na końcu pracy nie jest kompletny. W pierwszej części tezy autorka pisze m. in., że „Istnieje potrzeba ... oceny stabilności napięciowej, ...”. To sformułowanie jest zbędne, albowiem pojęcie stabilności napięciowej jest w elektroenergetyce rozumiane jako zachowanie się wartości skutecznej napięcia w warunkach zmian pochodnej nadwyżki mocy biernej źródła nad potrzebami odbiorów, czyli należy do klasy przebiegów przejściowych określanych terminem „elektromagnetyczno-mechaniczne” (patrz rys. 2.1 w rozprawie). Należałoby fragment „oceny stabilności napięciowej” w tezie pominąć. W tej części tezy autorka pisze „Istnieje potrzeba opracowania identyfikacji symulacyjnej elektromagnetycznych napięciowych zjawisk przejściowych występujących w układach przesyłowych współpracujących z podsystemami lokalnymi, celem określenia narażeń aparatury pierwotnej”. Potrzeba opracowania takiej metodyki jest oczywiście ważna i celowa, ale brak jest w pracy takiej metodyki w sensie formalnym. W pracy wykonano obliczenia wielu przypadków elektromagnetycznych napięciowych zjawisk przejściowych występujących w układach przesyłowych współpracujących z podsystemami lokalnymi, ale to nie jest jeszcze sformalizowana metodyka. Taka metodyka powinna punkt po punkcie przedstawiać jak postępować w przypadku dowolnej sieci i dowolnej sytuacji do obliczeń. Można mieć wątpliwości czy kiedykolwiek taka metodyka powstanie choć jej zarys jest znany w literaturze od dawna, ale jest on bardzo ogólny. W tej sytuacji uważam, że pierwszą część tezy można by sformułować następująco „Istnieje potrzeba identyfikacji symulacyjnej elektromagnetycznych napięciowych zjawisk przejściowych występujących w układach przesyłowych współpracujących z podsystemami lokalnymi, celem określenia narażeń aparatury pierwotnej lub możliwości wystąpienia chaosu ferorezonasowego oraz zalecenia środków zaradczych.”. Do drugiej i trzeciej części tezy nie mam żadnych zastrzeżeń. Na podkreślenie jak ważna i skomplikowana jest tematyka, którą zajęła się doktorantka, przytoczę opis problemu jaki był rozwiązywany wspólnie przez Instytut Energetyki w Warszawie i Instytut Elektroenergetyki Politechniki Łódzkiej na zlecenie PSE. W pewnym fragmencie sieci 400 kV zarejestrowano przebiegi o krotności około 5 co spowodowało zniszczenie ochronnika przeciwprzepięciowego. Ponieważ sytuacja zdarzyła się podczas odbioru stacji 400 kV to została zarejestrowana. W wyniku wykonanych analiz, podobnych do tych zawartych w rozprawie, okazało się, że przyczyną takiego przebiegu była nieodpowiednia kolejność wzajemnego załączania/wyłączania linii i dławików poprzecznych tam zainstalowanych. Od czasu wykonania tej analizy minęły już trzy lata a sytuacja eksplozji ochronnika przeciwprzepięciowego się nie powtórzyła.



Reasumując tematyka, jaką zajęła się doktorantka jest wciąż aktualna, teza po drobnych poprawkach jest aktualna i jest potrzebna dla elektroenergetyki.

Rozdział drugi rozprawy to przegląd i klasyfikacja napięciowych przebiegów przejściowych w funkcji częstotliwości ich składowych. W rozdziale tym zwrócono uwagę na wagę zakłóceń niejednoczesnych w generowaniu napięciowych przebiegów przejściowych. Rozdział ten jest typowym wprowadzeniem do problematyki, którą zajęto się w rozprawie.

W rozdziale trzecim zawarto przegląd literatury na temat redukcji rzeczywistego systemu elektroenergetycznego do układu zastępczego, w którym można prowadzić symulacyjne obliczenia elektromagnetycznych napięciowych zjawisk przejściowych. Zagadnienia te są ciekawie zaprezentowane, ale doktorantka nie wykorzystuje tych metod w dalszej części rozprawy. Zachodzi więc pytanie czy ten rozdział pracy jest konieczny?

W następnym rozdziale omówiono metody modelowania linii elektroenergetycznej dla celów badania elektromagnetycznych napięciowych zjawisk przejściowych oraz metodę przekształcenia modalnego. Omówiono także takie problemy jak uwzględnianie ulotu dynamicznego czy zjawiska naskórkowości. Te modele zostały zaczerpnięte z opisu zawartego w programie EMTP, ale są niezbędne dla zrozumienia dalszej części pracy związanej z symulacjami wykonanymi przez doktorantkę. W rozdziale tym pokazano dodatkowo różnice w wynikach otrzymywanych za pomocą opisanego modelu Martiego i modelu linii składającego się z kaskadowego połączenia 100 czwórników typu PI wykazując wyższość modelu Martiego.

Rozdział piąty omawia zjawisko ferrezonansu i chaosu ferrezonansowego oraz opisuje wybrane metody badania tego zjawiska. Zjawisko to prowadzi do dużych lub bardzo dużych przebiegów, ale można je stosunkowo łatwo tłumić. Trzeba tylko wiedzieć, w jakim miejscu sieci zainstalować elementy tłumiące i o jakich parametrach a w tym celu należy przeprowadzić obliczenia symulacyjne.

Rozdział szósty to właściwie kontynuacja rozdziału czwartego, ale ukierunkowany na modele przekładników prądowych, przekładników napięciowych indukcyjnych i pojemnościowych oraz modele ograniczników przebiegów. Modele te będą wykorzystane w dalszych badaniach doktorantki.

Rozdział następny to wyniki badań elektromagnetycznych napięciowych zjawisk przejściowych dla wybranych przez doktorantkę przypadków. Wybór sieci i zakłóceń do obliczeń, dokonany ekspercko przez doktorantkę, jest właściwy i wynika z potrzeb udowodnienia tez rozprawy. Do badań symulacyjnych elektromagnetycznych napięciowych zjawisk przejściowych zastosowano program ATP-EMTP oraz program Micro Tran.



Podstawowe symulacje wykonano za pomocą programu ATP-EMTP a symulacje zawarte w podrozdziale 7.2.2 wykonano za pomocą programu Micro Tran. W pracy nie uzasadniono, dlaczego zastosowano dwa programy.

W rozprawie jest jeszcze rozdział ósmy, dwustronicowy, w którym omówiono metodę redukcji systemu lokalnego. Rozważania te są oparte na opublikowanej już metodzie, metody tej w rozprawie nie zastosowano. Uważam, że rozdział ten jest całkowicie zbędny w pracy.

Podsumowanie pracy jest w rozdziale dziewiątym.

3 Uwagi krytyczne

3.1. Uwagi redakcyjne

1. W pracy jest kilkanaście błędów gramatycznych i interpunkcyjnych. Nie będę ich wszystkich tu cytował, podam jeden, np. na stronie 108 ostatnie zdanie jest następujące „W przypadku niewielkich rozbieżności pomiędzy rozwarciem styków wyłącznika.”
2. W spisie literatury jest kilka błędów utrudniających znalezienie danej pozycji np. błędnie podane strony artykułu.
3. W rozdziale czwartym nie znalazłem wzorów na rezystancję i reaktancję wewnętrzną przewodu.

3.2. Uwagi do dyskusji

1. W podrozdziale 7.2 zaprezentowano wyniki badań symulacyjnych elektromagnetycznych napięciowych zjawisk przejściowych za pomocą wskazanych uprzednio narzędzi komputerowych. Do tych wyników można sformułować następujące zastrzeżenia:
 - a) Brak jest podania wartości kroku obliczeń w badaniach symulacyjnych i metody w jaki został on określony.
 - b) Jak już pisałem, w pracy wiele uwagi poświęcono omówieniu metod redukcji modelu systemu elektroenergetycznego. Tymczasem, w pracy bez żadnego uzasadnienia systemy zewnętrzne w stosunku do badanej linii 400 kV zostały zamodelowane za pomocą mocy zwarciowej o nieznanej wartości. Czy nie należało by sprawdzić, czy wyniki będą identyczne, gdy zamiast mocy

zwarciowej wprowadzić linię zasilającą badaną linię, ta dodatkowa linia powinna być zamodelowana za pomocą modelu Martiego z mocą zwarciową na jej końcu? Przykładowo, w przypadku określania modelu zredukowanego dla obliczeń rozptyłów mocy (problem nieliniowy) określa się system podstawowy modelowany bez żadnych uproszczeń oraz system zewnętrzny też modelowany bez uproszczeń i dokonuje się redukcji pozostałej części badanego systemu. Następnie powiększa się system zewnętrzny i sprawdza się czy wyniki są takie same przy założonej wartości błędu. Jeśli tak to wyjściowy system zewnętrzny jest właściwym ekwiwalentem reszty systemu, jeśli nie powtarza się tę procedurę.

- c) Brak jest podania jakie elementy dodatkowe były modelowane w poszczególnych przypadkach np. dla wyników z rys. 7.5÷7.9 czy były uwzględnione pojemności szyn zbiorczych, pojemności systemu zastępczego czy transformatora.
 - d) Nie podano też warunków niejednoczesności wyłączania wyłącznika podsystemu lokalnego co dotyczy wyników z rys. od 7.4 do 7.14.
 - e) W pracy nie podano parametrów pojemnościowych przekładników napięciowych.
2. W pracy założono, że pomija się wpływ pojemności bocznikujących wyłączników ze względu na ich pomijalnie mały wpływ na przebiegi przejściowe. Tak nie można założyć, gdy w sieci są zainstalowane indukcyjne przekładniki napięciowe, podrozdział 7.2.2. Pojemności bocznikujące wyłączników w przypadku występowania indukcyjnych przekładników napięciowych mogą być źródłem ferorezonansu.
3. W tego typu symulacjach, wyniki końcowe lepiej podawać w jednostkach względnych a nie w kilowoltach.
4. Charakter zmian, w przebiegach napięcia po stronie wtórnej przekładnika napięciowego pojemnościowego dla zakłócenia zwarciowego trójfazowego w linii (rys. od 7.15 do 7.19) jest nieuzasadniony, albowiem napięcie ustalone wynosi:
- a) dla linii o długości 50 km około 210 kV,
 - b) dla linii o długości 100 km około 200 kV,
 - c) dla linii o długości 150 km około 50 V,
 - d) dla linii o długości 200 km około 60 V,
 - e) dla linii o długości 250 km około 70 V.
5. Dlaczego część wyników jest w kV a część w V?
6. Bardzo ciekawy wykres izolinii wartości szczytowych napięć podczas zwarć niejednoczesnych w funkcji długości linii i mocy zwarciowej został podany na rys. 7.24.



- Do rysunku tego powinien być przypisany choć jeden wykres z przebiegami chwilowymi napięcia dla wybranego punktu tego rysunku po to, aby móc zweryfikować wyniki z rys. 7.24.
7. Na rys. 7.28 podano przebiegi napięć na początku linii nieobciążonej po jej odłączeniu od zasilania raz po stronie pierwotnej a na rys. 7.29 podano wyniki po stronie wtórnej pojemnościowego przekładnika napięciowego. Proszę o wyjaśnienie jaki element w modelu przekładnika tak silnie tłumi przebiegi po stronie wtórnej.
 8. Na rys. 7.30 pokazano wyniki symulacji przebiegów na początku linii w cyklu SPZ tzn. stan normalny, zwarcie trójfazowe, przerwa beznapięciowa (wynosząca 0,5 sekundy) i ponowne załączenie 3-fazowe. Uwagi:
 - a) Brak oznaczenia miejsca pomiaru napięcia na schemacie, co utrudnia jednoznaczną ocenę otrzymanych wyników, czy pomiar jest na szynach czy na początku linii?
 - b) Jaki był czas od chwili powstania zwarcia do momentu zgaszenia łuku w wyłączniku?
 - c) Czy proces wyłączania przez wyłącznik był jednoczesny z punktu widzenia przerywania łuku w poszczególnych fazach?
 - d) Czy proces wyłączania wyłączników na obu końcach linii też był jednoczesny?
 - e) Czy w modelu wyłącznika uwzględniono prąd ucięcia?
 - f) Jak zamodelowano model łuku swobodnego palącego się w miejscu zwarcia i proces gaszenia kolumny połukowej w przerwie beznapięciowej?
 - g) Dlaczego w przebiegu napięcia nie widać obniżenia się napięcia podczas trwania zwarcia?
 9. Uwagi do przebiegów napięć na początku linii podczas cyklu – zwarcie jednofazowe – przerwa trójfazowa – ponowne załączenie trójfazowe, rys. 7.32:
 - a) Podczas zwarcia jednofazowego napięcia faz zdrowych powinny wzrosnąć, ale tego zjawiska nie ma w tym przebiegu, dlaczego?
 - b) W czasie przerwy beznapięciowej napięcie fazy zwartej drga wokół składowej stałej. Składowa stała ma amplitudę około 80 kV a składowa zmienna o częstotliwości 50 Hz ma amplitudę wynoszącą około 70 kV. Jak wytłumaczyć to zjawisko? Co jest źródłem tej składowej?
 - c) Po ponownym załączeniu nie występują składowe swobodne. Z rysunku w rozprawie nawet po jego dużym powiększeniu nie można określić zgodności wielkości chwilowych po ponownym załączeniu. Czy jest to możliwe, że we



wszystkich trzech fazach kąty wszystkich składowych napięcia tuż przed i po załączeniu są jednakowe?

10. Na rys. 7.33 mamy przebiegi napięć na stronie wtórnej pojemnościowego przekładnika napięciowego podczas cyklu JSPZ (zwarcie jednofazowe, przerwa jednofazowa i ponowne załączenie wyłączonej fazy). W napięciu w fazie zwartej występuje zmniejszone napięcie o częstotliwości 50 Hz i amplitudzie wynoszącej około 20 V. Czy w fazach zdrowych podczas przerwy beznapięciowej płyną prądy – nie wiadomo. Nie rozumiem przyczyny występowania tego napięcia.
11. Jak otrzymywane wyniki zmieniają się, gdy zamiast linii jednotorowej rozważyć linię dwutorową. Omówić ten problem na jednym wybranym przykładzie.
12. Jak wpłynie na otrzymywane wyniki zastosowanie słupów rurowych?

Należy tutaj dodać, że w problematyce badań symulacyjnych elektromagnetycznych napięciowych zjawisk przejściowych nie ma i nie będzie prostych metod określania błędów generowanych przez opracowany model. Sprawdzenie poprawności otrzymanych przebiegów będzie wynikało z analizy tych przebiegów.

Do pozostałych przebiegów nie mam żadnych uwag a powyższe uwagi, do których zapewne autorka odniesie się podczas publicznej obrony, nie umniejszają mojej pozytywnej oceny merytorycznej rozprawy, wskazują jedynie na złożoność problematyki, będącej jej przedmiotem.

4. Dorobek publikacyjny

Analizując dorobek publikacyjny autorki na podstawie wymienionych w bibliografii rozprawy jej publikacji, stwierdzam, że dorobek ten to jeden referat na Konferencji APE w 2019 roku, pozycja [52] w spisie literatury. Jest to dorobek bardzo skromny, ale wystarczający do pozytywnej oceny recenzowanej rozprawy.

Brak publikacji w czasopiśmie z ministerialnej listy A powoduje, że moim zdaniem nie ma podstaw do złożenia wniosku o wyróżnienie niniejszej rozprawy doktorskiej.

5. Ostateczna ocena rozprawy doktorskiej

Reasumując stwierdzam, że doktorantka określiła jednoznacznie zagadnienie naukowe, postawiła właściwą tezę, którą następnie samodzielnie udowodniła przy użyciu właściwych do tego zadania metod naukowych. Uzyskane w rozprawie wyniki są wartościowe a sama



rozprawa nie wymaga poprawek ani uzupełnień. Można stwierdzić, że rozprawa stanowi oryginalne rozwiązanie problemu naukowego a autorka wykazywała się ogólną wiedzę teoretyczną i umiejętnością samodzielnego prowadzenia pracy naukowej w dyscyplinie **automatyka, elektronika i elektrotechnika**.

Wyrażam, więc przekonanie, że **opiniowana rozprawa doktorska** mgr inż. Darii Agaty MACHA pt. „**Elektromagnetyczne stany przejściowe w liniach przesyłowych zasilających układy lokalne**” spełnia wymagania stawiane rozprawom doktorskim podane w Ustawie z dnia 14 marca 2003 roku o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki (Dz. U. nr 65, poz. 595 wraz z późniejszymi zmianami). Wnoszę, przeto o jej przyjęcie i dopuszczenie do publicznej obrony.

Andrzej Kanicki

