

dr hab. inż. Mariusz Stępień, prof. PŚ

Politechnika Śląska, Wydział Elektryczny
Katedra Energoelektroniki, Napędu Elektrycznego i Robotyki
44-100 Gliwice, ul. B. Krzywoustego 2

Gliwice, 30.10.2023 r.

RECENZJA

rozprawy doktorskiej **mgr. inż. Łukasza WOŹNIAKA**
pt. *Wpływ parametrów taśm HTS 2G na ograniczanie prądu w stanach przejściowych transformatorów nadprzewodnikowych*

Promotor w przewodzie doktorskim: dr hab. inż. Paweł Surdacki, prof. uczelni
Promotor pomocniczy: dr inż. Leszek Jaroszyński

1. Podstawa opracowania recenzji

Podstawą prawną opracowania recenzji rozprawy doktorskiej mgr. inż. Łukasza Woźniaka jest pismo Zastępcy Przewodniczącego Rady Dyscypliny Automatyka, Elektronika, Elektrotechnika i Technologie Kosmiczne Politechniki Lubelskiej, dr hab. inż. Michała Majki z dnia 12 września 2023 r. informujące o powołaniu mnie przez wspomnianą Radę Dyscypliny, uchwałą nr AEiE/36_3.8b/20-24 z dnia 12.07.2023 r., na recenzenta rozprawy.

2. Wprowadzenie

Rosnące zapotrzebowanie na energię elektryczną oraz rosnące oczekiwania w zakresie sprawności procesu przetwarzania tej energii wymuszają konieczność konstruowania urządzeń elektrycznych coraz wydajniejszych i o coraz lepszych parametrach. Jednym z kluczowych elementów procesu przetwarzania energii jest transformator, zarówno jako urządzenie energetyczne dużej mocy, jak i stosowany w urządzeniach końcowych o mniejszych mocach. Transformator jako urządzenie powszechne w elektrotechnice, dobrze znane i przebadane, nie pozostawia już dużego pola manewru w zakresie poprawy jego parametrów elektrycznych poprzez same zmiany konstrukcyjne. Kierunkiem rozwoju w tym zakresie wydaje się być jedynie technologia materiałowa. Stąd też dużym zainteresowaniem naukowców, w związku z interesującymi właściwościami, cieszą się transformatory z uzwojeniami nadprzewodnikowymi. Dają one nie tylko możliwości transformacji energii z niespotykaną dotąd sprawnością i gęstością mocy, ale również wykazują ciekawe właściwości eksploatacyjne. Wymagają jednak jeszcze dość intensywnych i wielowątkowych badań na poziomie laboratoryjnym.

Recenzowana rozprawa doktorska usytuowana jest w obszarze transformatorów energetycznych mocy z uzwojeniami nadprzewodnikowymi. Autor bazując na obwodowym modelowaniu numerycznym stara się wykazać, że zaproponowane modele obwodowe pozwalają na skuteczny dobór materiału nadprzewodnika na uzwojenia, zapewniający poprawną pracę transformatora, szczególnie w stanach przejściowych. Modelowanie takie, ze względu na nietypowe właściwości materiałów oraz mocno nieliniowe ich charakterystyki, jest wyzwaniem trudnym i niebanalnym. Recenzowana praca wnosi zatem istotny wkład do elektrotechniki w obszarze transformatorów, a szerzej w zakresie przetwarzania i dystrybucji energii elektrycznej.

3. Ocena strony formalnej rozprawy

Przedłożona do oceny rozprawa doktorska ma formę zwartej monografii o objętości 116 stron. Praca ma prawidłową strukturę, zawierającą spis rzeczy, spis oznaczeń, część zasadniczą podzieloną na sześć rozdziałów oraz spis literatury i krótki załącznik.

Tytuł recenzowanej rozprawy doktorskiej odpowiada w pełni jej treści, ułożonej w typową dla rozpraw doktorskich strukturę, to znaczy część wstępną, część zasadniczą i podsumowanie. W tytule pracy zadeklarowano analizę wpływu parametrów taśm HTS 2G na właściwości transformatora, podczas gdy w treści pracy nacisk położony jest bardziej na opracowanie narzędzia do analizy takich parametrów, niż samo przebadanie ich wpływu na transformator. Szczegółowo struktura pracy została omówiona w dalszej części recenzji.

4. Ogólna charakterystyka rozprawy

Przedmiotem rozprawy jest przede wszystkim, bazujący na oprogramowaniu do analizy obwodowej, model numeryczny transformatora z uzwojeniami nadprzewodnikowymi, który pozwala na wyznaczenie parametrów zastępczych i właściwości takiego transformatora, zarówno w stanie ustalonym, jak i w stanach przejściowych. Model numeryczny zbudowany został na bazie oprogramowania PSpice, wykorzystując zdefiniowane przez użytkownika bloki obliczeniowe ABM (Analog Behavioral Modelling). Wykorzystanie tych bloków umożliwia zamodelowanie złożonych właściwości nadprzewodników, w szczególności wzajemnej zależności ich parametrów krytycznych. Opracowane modele pozwalały również na wyznaczenie w celach porównawczych właściwości transformatora konwencjonalnego (z uzwojeniami miedzianymi), odpowiadającego konstrukcją badanemu transformatorowi nadprzewodnikowemu. Pozwalało to w łatwy i szybki sposób analizować wpływ różnego rodzaju taśm nadprzewodnikowych na właściwości transformatora.

4.1. Teza, cel i zakres pracy

W pracy, w sposób wyraźny zostały zdefiniowane teza i cel rozprawy. Teza mówi, że "modele komputerowe stanów przejściowych transformatorów nadprzewodnikowych umożliwiają dobór taśmy HTS 2G zapewniający skuteczne ograniczanie prądów włączania i prądów zwarciovych". Takie sformułowanie tezy jest jak najbardziej poprawne, przy czym nie definiuje jednoznacznie o jakie modele numeryczne, zwane przez autora "komputerowymi", chodzi. Zakres badań, jakie przeprowadził i opisał w rozprawie Autor, dążą jednak do udowodnienia tak postawionej tezy, co należy uznać jako działanie właściwe.

Cel zdefiniowany w pracy mówi o analizie modeli dwóch rodzajów taśm nadprzewodnikowych HTS 2G oraz przebadaniu ich wpływu na proces ograniczania prądu w stanach przejściowych. W pracy analizie poddawano proces włączania transformatora do sieci oraz proces zwarcia operacyjnego, co jest w pełni zgodne ze zdefiniowanym celem pracy. Zdefiniowany cel pracy mówi również o przeprowadzeniu weryfikacji modeli numerycznych, co jest nawiązaniem do porównania wyników z wynikami badań laboratoryjnych transformatora zwanego przez Autora "modelem fizycznym". Wyniki tych badań, prowadzonych przez zespół Pracowni Technologii Nadprzewodnikowych Instytutu Elektrotechniki, jak można się domyślać z treści pracy, Autor zaczerpnął z dostępnych źródeł literaturowych.

We wstępie określono zakres pracy ujmujący opracowanie modeli numerycznych transformatora, w tym modelu odpowiadającego istniejącemu i przebadanemu transformatorowi referencyjnemu oraz modeli transformatorów dużej mocy. Część pracy poświęcona określeniu zakresu pracy zawiera także opis jej struktury.

4.2. Struktura pracy

Rozprawa składa się z sześciu rozdziałów, spisu literatury oraz załącznika. Zawiera również streszczenie w języku polskim i angielskim oraz wykaz oznaczeń i skrótów, które zostały użyte w pracy. W dalszej części rozdziału omówiono szczegółowo zawartość poszczególnych rozdziałów rozprawy.

Pierwszy, krótki, bo zaledwie czterostronicowy rozdział pracy zawiera wstęp oraz tezę i cel pracy. Wstęp jest ogólnym zarysowaniem tendencji badań, w obszarze których zawiera się recenzowana pracy.

Rozdział drugi poświęcono modelowaniu taśm nadprzewodnikowych. Zawiera on zarówno część wstępną, poświęconą opisowi właściwości nadprzewodników, jak i bardzo istotną część definiującą model numeryczny taśmy HTS. W rozdziale tym Autor opisał wszystkie istotne aspekty modelowania, które zostały w dalszej części wykorzystane do modelowania samego transformatora.

Rozdział trzeci poświęcono właściwościom transformatorów, w szczególności ich modeli zastępczych oraz opisu stanów przejściowych. W rozdziale tym wskazano również na różnice w modelach numerycznych transformatorów konwencjonalnych i nadprzewodnikowych.

Rozdziały czwarty i piąty są kluczowymi w pracy w zakresie analizy merytorycznej. Obejmują modelowanie transformatorów nadprzewodnikowych wraz z ich porównaniem do transformatorów klasycznych (zwanymi w pracy konwencjonalnymi), dla mocy odpowiednio 10 kVA w rozdziale czwartym oraz 21 MVA w rozdziale piątym. W rozdziale czwartym otrzymane wyniki porównano z wynikami transformatora referencyjnego (zwanego modelem fizycznym), natomiast w rozdziale piątym przedstawiono wyniki modelowania dla dwóch różnych rodzajów taśm 2G - ze stabilizatorem miedzianym oraz bez takich warstw.

Ostatni rozdział, szósty, ma charakter podsumowujący. W rozdziale zawarto również informację na temat najważniejszych osiągnięć Autora pracy. W rozdziale tym nieco brakuje wyraźniejszego rozdzielenia ogólnego podsumowania od zasadniczych wniosków końcowych, w tym w ujęciu ilościowym, potwierdzających osiągnięcie tezy pracy. Obydwa te elementy (podsumowanie i wnioski końcowe) można w tym rozdziale znaleźć, ale nie są one ustrukturalizowane. Niewielka rozbudowa części podsumowującej mogłaby podnieść jakość merytoryczną pracy.

Autor wyszczególnił w pracy jeszcze dwa rozdziały - rozdział siódmy w postaci spisu literatury oraz rozdział ósmy jako dodatek. Te części pracy nie stanowią jednak odrębnych rozdziałów i nie powinny być numerowane wg podstawowej numeracji rozdziałów. Przy okazji warto zauważyć, że dodatek zawiera wartościowy z punktu widzenia pracy materiał, który mógłby być nieco rozbudowany i stanowić samodzielny, istotny dla pracy, rozdział.

Podsumowując, struktura pracy jest poprawna, typowa dla rozpraw doktorskich. Zawiera wszystkie istotne informacje wymagane do opisu pracy badawczej bazującej na analizie teoretycznej, modelowaniu numerycznym i nawiązaniu do eksperymentu laboratoryjnego. Struktura zawiera też pewne niedociągnięcia, ale w ujęciu całościowym jest kompletna i wyczerpuje badane zagadnienie, zatem rozprawa nie wymaga rozbudowy ani uzupełnień.

5. Ocena rozprawy

Recenzowana rozprawa doktorska jest efektem realizacji badań w ramach przewodu doktorskiego wszczętego w dniu 21 września 2016 r. w dyscyplinie "Elektrotechnika", a na skutek zmian prawnych w strukturze dyscyplin naukowych sklasyfikowanego do dyscypliny "Automatyka, elektronika, elektrotechnika i technologie kosmiczne". Praca zrealizowana została w obszarze elektrotechniki i w tym obszarze, będącym częścią nowej dyscypliny naukowej, została przeprowadzona jej ocena, w tym jej wkład w rozwój wspomnianego obszaru naukowego.

5.1. Ocena ogólna

Praca dotyczy istotnego zagadnienia, jakim jest poprawa sprawności i gęstości energii elektrycznej podczas jej przekształcania poprzez wykonanie uzwojeń transformatorów energetycznych z materiałów nadprzewodnikowych, charakteryzujących się nie tylko niskim poziomem strat mocy, ale również możliwościami ograniczania prądów zwarciovych. W pracy Autor skupił się na opracowaniu obwodowych modeli numerycznych do analizy właściwości transformatorów, szczególnie w stanach przejściowych. Wyznaczenie, w oparciu o uproszczone modele numeryczne, parametrów transformatora wykazującego, poprzez odpowiedni dobór taśm nadprzewodnikowych, dobre właściwości eksploatacyjne, również w

stanach przejściowych stanowi **oryginalne rozwiązanie** wskazanego **problemu naukowego**, który podjęto w rozprawie. Autor przeprowadził kompletny cykl badawczy rozpoczynając od analitycznego ujęcia problemu, w którym zastosował znane modele matematyczne zjawisk zachodzących zarówno w transformatorze, jak i w samych uzwojeniach nadprzewodnikowych, uzyskał wyniki, które porównał zarówno wzajemnie między sobą, jak i z danymi pochodzącymi z pomiarów oraz wyciągnął stosowne wnioski. Takie podejście potwierdza **umiejętność samodzielnego prowadzenia pracy badawczej** przez Autora. Prowadzone badania mają charakter interdyscyplinarny. Obejmują wiedzę z zakresu maszyn elektrycznych oraz przekształcania energii, a także z nadprzewodnictwa, charakteryzującego się tym, że wiele zagadnień nie posiada ugruntowanej teorii, a istniejące opisy matematyczne bazują na danych empirycznych. Umiejętność powiązania tych zagadnień potwierdza, że Autor **posiada ogólną wiedzę teoretyczną** w dyscyplinie, w ramach której prowadzone są badania.

Praca w zakresie oceny ogólnej ma też pewne niedociągnięcia, których wyeliminowanie mogłoby jeszcze podnieść jej wartość naukową. W tym zakresie należy wyróżnić dwa kluczowe elementy: brak systematycznej analizy stanu aktualnego wiedzy oraz brak analizy poprawności uzyskanych wyników modelowania numerycznego. Pewien niedosyt budzi też brak weryfikacji eksperymentalnej wyników przeprowadzonej bezpośrednio przez Autora. W zakresie analizy stanu wiedzy Autor wielokrotnie odnosi się do źródeł literaturowych, często powołując się na kilkanaście pozycji jednocześnie. Są to jednak odniesienia służące głównie wskazaniu źródeł informacji, takich jak znane w literaturze modele analityczne lub właściwości materiałów, a także cytowania odnoszące się do wyników eksperymentalnych, na których Autor bazuje w pracy. Analiza stanu wiedzy powinna wskazywać, jaki jest stan badań prezentowany w literaturze względem badań podejmowanych w pracy, czyli w tym przypadku czy istnieją modele numeryczne transformatorów nadprzewodnikowych i w jaki sposób realizowane jest opisywane w literaturze modelowanie stanów przejściowych, a także co nowego wnoszą do stanu wiedzy modele opracowane przez Autora. W zakresie dyskusji uzyskanych wyników modelowania, Autor całkowicie pominął problem oceny dokładności uzyskanych rezultatów. Wyniki modelowania podobnie jak wyniki pomiarów mogą być obciążone błędem, w szczególności, że dane wejściowe do modeli pochodziły z różnych źródeł i różna mogła być ich dokładność i rozrzut danych. Wskazane byłoby przeprowadzenie analizy wrażliwości modelu na zmianę danych wejściowych. W odniesieniu do wspomnianego braku własnej weryfikacji laboratoryjnej oczywistym jest, że przeprowadzenie badań eksperymentalnych w nadprzewodnictwie jest dużym wyzwaniem, ale w przypadku recenzowanej pracy prosty eksperyment pokazujący reakcję pojedynczej taśmy na prąd przemienny byłby interesującą weryfikacją modeli prezentowanych w rozdziale drugim, a przy okazji potwierdziłby umiejętność prowadzenia badań laboratoryjnych przez Autora pracy. Autor niewątpliwie taką umiejętność posiada, co potwierdził sprawnym wykorzystaniem wyników eksperymentu do porównania z wynikami modelowania w rozdziale czwartym pracy.

5.2. Uwagi dyskusyjne

Przedstawiona powyżej ocena ogólna pracy pokazuje jej wysoką wartość naukową. Wskazane niedociągnięcia odnoszą się do elementów, które zostały pominięte w trakcie edycji pracy, ale nie stanowią one błędów natury merytorycznej - lektura pracy wskazuje, że Autor był świadomy istotności tych zagadnień, ale przy szerokim spektrum poruszanych w pracy problemów, nieco je zaniedbał.

Lektura pracy wskazuje jednak na kilka zagadnień merytorycznych, które zostały poruszone w pracy w sposób niepełny lub niejednoznaczny i wymagałyby wyjaśnienia lub komentarza ze strony Autora. Zagadnienia te zostały wypunktowane poniżej w postaci uwag dyskusyjnych.

1. W podrozdziale 3.2 na str. 37 i 38 Autor przedstawia schemat zastępczy transformatora nadprzewodnikowego pomijając w nim rezystancje gałęzi podłużnych, natomiast w podrozdziale 4.3 na str. 52 przedstawia model transformatora (w postaci schematu zastępczego), gdzie takie rezystancje uwzględnia. Jaki schemat zastępczy jest zatem właściwy dla transformatora nadprzewodnikowego i kiedy rezystancje wzdłużne mogą być pominięte?

2. W podrozdziale 4.4 na str. 55 Autor pisze, że prąd stanu jałowego w eksperymencie jest 3,5-krotnie większy od prądu wyznaczonego numerycznie, natomiast zmierzone i wyznaczone straty mocy są niemal identyczne. Jako wyjaśnienie podaje wycieki azotu, które spowodowały wychłodzenie rdzenia. Czy tylko takie mogą być przyczyny takiej sytuacji? Czy istnieje powiązanie wartości prądu stanu jałowego z wartością wydzielanych w tym stanie strat mocy w transformatorze?
3. W podrozdziale 2.4 na str. 30 Autor przyjmuje wartość rezystancji szcztkowej (dodanej na potrzeby poprawności obliczeń) na poziomie 10^{-15} , natomiast wcześniej w podrozdziale 2.1 na str. 17 podaje, że rezystywność nadprzewodnika jest 18 rzędów mniejsza od miedzi (co sugeruje wartość mniejszą niż rezystancja szcztkowa). Czy przyjęcie rezystancji szcztkowej o takiej wartości było zabiegiem poprawnym? Jaki był jej wpływ na parametry nadprzewodnika w stanie nadprzewodnictwa?
4. W podrozdziale 4.5 na str. 59 Autor przedstawia porównanie wyników pomiarów i modelowania transformatora. Impulsy prądu otrzymane pomiarowo są wyraźnie szersze od impulsów uzyskanych numerycznie. W jaki sposób Autor może wytłumaczyć tę różnicę?
5. W podrozdziale 5.2 na str. 71 Autor opisuje straty w kriostacie. Na początku rozdziału 5 (podrozdział 5.1 na str. 64) Autor pisze, że "rdzeń jest odizolowany cieplnie od uzwojeń, które są chłodzone w kąpeli ciekłego azotu LN2 o temperaturze 77K, natomiast w podrozdziale 5.3 na str. 74 twierdzi, że "zadaniem kriochłodziarki jest odprowadzenie 2.13 kW ciepła". Jaki jest zatem założony sposób chłodzenia? Czy straty energii chłodzenia zawsze należy uwzględniać w bilansie sprawności transformatora?
6. W podrozdziale 5.5 na str. 89 Autor pisze, że "podczas włączania transformatora (konwencjonalnego) do sieci uzwojenia nie zmieniają swojej temperatury. W jaki sposób można wyjaśnić takie zachowanie uzwojeń miedzianych?

Niektóre mniej istotne uwagi dyskusyjne, które nie wymagają wyjaśnień Autora, zamieszczono poniżej w celach informacyjnych, dając Autorowi możliwość ich uwzględnienia (lub unikania w przypadku błędnego rozumowania) w dalszej pracy badawczej.

- Na str. 26 Autor pisze, że wykorzystano modelowanie obwodowe, bo modelowanie metodą elementów skończonych charakteryzuje się wielokrotnie większą złożonością obliczeń. Autor powinien jednak pamiętać, że złożoność obliczeń MES daje znacznie szersze spektrum rezultatów i pozwala na uwzględnienie wielu elementów niemożliwych do uwzględnienia w modelowaniu obwodowym. Argument złożoności obliczeń nie powinien być zatem jedynym kryterium wyboru metody obliczeń,
- Autor używa w pracy pojęcia modelu fizycznego w odniesieniu do prototypu. Jest to podejście nieco mylące. Można byłoby uznać prototyp 10 kVA jako model fizyczny transformatora 21 MVA w skali. Autor wskazał jednak, że transformator 21 MVA ma zupełnie inną konstrukcję. Transformator 10 kVA nie jest zatem jego modelem, stąd korzystniejsze byłoby określenie prototyp lub transformator eksperymentalny,
- W podrozdziale 2.2 na str. 21 Autor zestawiał w tabeli 2.3 parametry nadprzewodnika do obliczeń prądu krytycznego. Nie podano dla jakiego rodzaju nadprzewodnika (taśmy) parametry te się odnoszą i dlaczego wybrano właśnie takie,
- W podrozdziale 2.3 na str. 23 Autor pisze, że taśmy HTS 2G są tańsze od 1G, bo zawierają mniej srebra - nie popiera tego żadnymi cytowaniami, natomiast w rozdziale 3 na str. 36 że z roku na rok obserwowany jest spadek cen przewodów HTS 2G - ta deklaracja opatrzona jest czterema cytowaniami z lat 1965 - 2011 (czyli najmłodsze z nich ma 12 lat). Taka ocena jest mało wiarygodna i wydaje się być wyłącznie oceną intuicyjną Autora,
- W podrozdziale 4.6 na str. 63 Autor pisze, że porównawcza charakterystyka (...) pozwoliła zweryfikować i dopasować wykonany model komputerowy. Nie podał jednak na czym polegało to dopasowanie i jaki efekt uzyskano w jego wyniku,

- W podrozdziale 5.5 na str. 82 Autor pisze, że "modelowanie komputerowe stanów przejściowych pozwala na dobór parametrów elektrycznych i cieplnych zapewniających skuteczne ograniczanie prądów włączania i prądów zwarciovych. Nie jest jednak jednoznaczne jakie to konkretnie parametry i w jaki sposób odbywał się ich dobór,
- W tym samym podrozdziale Autor pisze, że "modele komputerowe (...) pozwalają na optymalny dobór rozwiązań konstrukcyjnych...". Należy pamiętać, że "optymalny dobór" wymaga przeprowadzenia procesu optymalizacji, a taka w pracy nie była prowadzona,
- W podrozdziale 5.5 na str. 93 Autor pisze, że "podczas zwarcia nastąpił zapad napięcia". Pojęcie zapadu ma w elektrotechnice ścisłą definicję, a sytuacja opisana w pracy niekoniecznie wypełnia znamiona tej definicji,
- Ostatnia uwaga jest z pogranicza merytoryczno-redakcyjnego. W pracy zamieszczony został spis oznaczeń. Nie jest zrozumiałym dlaczego Autor umieścił tam tylko część oznaczeń. Utrudnia to lekturę pracy i powoduje, że oznaczenia są niejednoznaczne. Przykładowo, w spisie oznaczeń nie ma wielkości C . Wielkość ta jednak pojawia się w zależności (4.3) gdzie jest stałą odkształceń elastycznych ścian domen oraz w zależności (5.1), gdzie jest stosunkiem przekroju nadprzewodnika do przekroju taśmy. Dla odmiany wielkość γ jest zdefiniowana w spisie oznaczeń jako gęstość ośrodka, natomiast na rysunku 5.21 oznacza kąt odpowiadający czasowi prądu jednokierunkowego. W opracowaniach inżynierskich, a w szczególności w rozprawach doktorskich takie nieścisłości nie powinny mieć miejsca.

5.3. Dobór i wykorzystanie źródeł

Praca jest prawidłowo uźródłowiona. Spis literatury, zamieszczony na końcu pracy, zawiera 106 pozycji literatury ułożonych w porządku alfabetycznym względem nazwiska pierwszego autora. Spis zawiera zarówno pozycje książkowe, monografie, jak również dużą liczbę artykułów opublikowanych zarówno w czasopismach, jak i w formie referatów konferencyjnych. Wśród artykułów naukowych cytowanych jest 85 pozycji opublikowanych w języku angielskim i 16 w języku polskim. Cytowania w zakresie merytorycznym można podzielić na dwie główne grupy: te z zakresu nadprzewodnictwa i te dotyczące transformatorów. Oczywiście dość liczna grupa publikacji jest wspólna i dotyczy transformatorów z nadprzewodnikami. Jedną z pozycji literatury jest również odniesienie do Polskiej Normy. Mając na uwadze charakter pracy można by się spodziewać większej liczby źródeł zawierających dane katalogowe, ale prawdopodobnie Autor czerpał takie dane z artykułów naukowych.

Wspomniane źródła literaturowe są generalnie poprawnie cytowane w pracy. Cytowania odnoszą się zarówno do zagadnień merytorycznych, wykorzystywanego w pracy aparatu matematycznego, jak i zapożyczonej z literatury grafiki (w tym istotnych z punktu realizacji pracy zdjęć i charakterystyk transformatora zwanego modelem fizycznym). Pewnym mankamentem sposobu cytowania jest podejście, które można by nazwać cytowaniem grupowym. Autor bardzo często w jednym miejscu podaje odniesienia do nawet kilkunastu pozycji, przez co trudnym jest ustalenie, jaki konkretnie fragment z danej pracy Autor chciałby przytoczyć. Jest oczywistym, że w niektórych obszarach istnieje bardzo wiele pozycji literatury, ale w takim przypadku wystarczyłoby przytoczenie maksymalnie dwóch, może trzech. W pracy są miejsca gdzie tych pozycji podano ponad dziesięć (przykładowo w ostatnim akapicie na str. 12 podane są łącznie 22 pozycje). Nie jest to podejście błędne, ale wprowadza pewnego rodzaju niejednoznaczność. Podsumowując, **sposób uźródłowienia pracy** zarówno w zakresie merytorycznym, jak i technicznym **jest właściwy i wystarczający**.

W spisie literatury można znaleźć czternaście pozycji, dla których Autor pracy jest współautorem, w tym pięć dla których jest pierwszym autorem. Trzy z nich opublikowano w zagranicznych czasopismach wysokopunktowanych, jedną w monografii krajowej, a sześć w materiałach konferencyjnych. Warto podkreślić i uznać za wyróżniającą dużą liczbę publikacji współautorskich, w tym publikacji z listy JCR, gdyż potwierdzają one wysoką jakość badań oraz wszechstronność warsztatu badawczego Autora pracy.

5.4. Ocena strony redakcyjnej

Strona redakcyjna pracy jest poprawna. Język pracy jest zwięzły i logiczny. Część opisowa pracy uzupełniona jest dobrze dobranym aparatem matematycznym oraz reprezentatywnym i zrozumiałym materiałem graficznym. Liczba rysunków w pracy jest znaczna. Autor niepotrzebnie minimalizował objętość pracy przez ich zmniejszanie, ponieważ ucierpiała na tym czytelność rysunków, w szczególności charakterystyk. Odnosi się to między innymi do rysunków 2.15 - 2.23 oraz 4.9 - 4.19.

Pewną nieścisłością edytorską jest zamienne stosowanie pojęć: "stan nadprzewodnictwa", "stan nadprzewodzący" i "stan nadprzewodzenia". Przykładowo, na stronie 16 w drugim akapicie pojawia się sformułowanie: "krytyczne wartości, które w stanie nadprzewodzącym...". Następnie na str. 17 w sekcji 2.2.1 Autor zaczyna akapit sformułowaniem: "Stan nadprzewodnictwa...", a pod koniec tego akapitu pojawia się sformułowanie "...może wyjść ze stanu nadprzewodzenia...". Autor używa zatem trzech różnych określeń dla tego samego zjawiska. Stosowanie różnych pojęć mogłoby oznaczać, że mowa jest o różnych zjawiskach, co nie jest prawdą. W języku polskim angielskie pojęcie "superconducting state" tłumaczone jest najczęściej jako "stan nadprzewodnictwa" i to określenie należałoby uznać jako właściwe. Budzącym wątpliwość jest również użycie sformułowania, że materiał "nadprzewodzi" (takie sformułowanie pojawia się na przykład na str. 16 - czwarty wiersz od dołu). Biorąc pod uwagę fizykę zjawiska poprawnym byłoby stwierdzenie, że materiał przewodzi w warunkach (lub w stanie) nadprzewodnictwa.

Autor stosuje numerację rozdziałów, wzorów i rysunków przypisaną do rozdziałów, co ułatwia odzukiwanie interesujących fragmentów w tekście. Poza drobnym mankamentem związanym z czytelnością wskazanych rysunków zamieszczony materiał graficzny, a także tabele i wzory są dobrze dobrane i czytelne, a w tekście ich dotyczącym najczęściej zamieszczono stosowne odwołania. Daje to dobry ogólny obraz rozprawy pod względem redakcyjnym.

Praca zawiera też drobne błędy edytorskie i językowe, które wkraśli się do treści w procesie redakcyjnym. Zauważone błędy zestawiono poniżej (skrót „R.” oznacza odpowiednio rozdział, podrozdział lub sekcję). Nie rzutują one w żaden sposób na poprawność merytoryczną pracy.

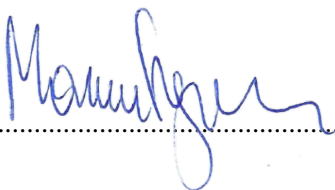
- R. 1.2, str. 14, pierwszy akapit: zamiast „*zjawiska*” powinno być „*zjawisk*”,
- R. 1.2, str. 15, pierwszy akapit: zamiast „*jest konieczne*” powinno być „*jest konieczna*”,
- R. 1.2, str. 15, 8 linia od dołu: zamiast „*analizę parametrów*” powinno być „*analizę wpływu parametrów*”,
- R. 2.2.1, str. 17, w tytule rozdziału zamiast „*Powierzchnia krytyczna...*” powinno być „*Powierzchnia parametrów krytycznych...*”; podobnie opis i podpis rys. 2.1 na str. 18,
- R. 2.2.1, str. 18, w Tab. 2.2 definicja w drugim wierszu zawiera błąd składni,
- R. 2.3.2, str. 25, na Rys. 2.6 jest błąd w podpisie - niezgodność z Tab. 2.5; przedstawiono taśmę SF12050, a podano, że jest to taśma produkcji AMSC,
- R. 2.4.1, str. 25, 3 linia od dołu: zamiast „*rezystancji*” powinno być „*rezystorów*” - rezystancja jest wielkością fizyczną, a rezystor elementem obwodu,
- R. 4.3, str. 50, pierwszy akapit podrozdziału: zamiast „*został opracowany*” powinno być „*zostały opracowane*”,
- R. 4.4, str. 53, 7 linia od dołu: zamiast „*rezystencja*” powinno być „*rezystancja*”,
- R. 4.4, str. 54, 6 linia od góry: zamiast „*odpowiadającej*” powinno być „*odpowiadająca*”,
- R. 4.5.1, str. 58, 9 linia od góry: zamiast „*wartość*” powinno być „*wartości*”,
- R. 4.5.1, str. 58, ostatni akapit: zamiast „*przekładnie*” powinno być „*przekładnię*”; autor wskazuje przekładnię napięciową θ_u , podczas gdy właściwą wydaje się być przekładnia zwojowa θ_z ,
- R. 4.6, str. 62, 5 linia od dołu: zamiast „*komputerowego*” powinno być „*komputerowy*”,
- R. 5.4.2, str. 81, Rys. 5.16, błędny opis osi: zamiast „*Napięcie...*” powinno być „*Straty mocy, kW*”.

6. Podsumowanie i konkluzja końcowa

Założone cele pracy zostały osiągnięte. Autor wykazał się wiedzą i umiejętnościami prowadzenia badań analitycznych i numerycznych oraz weryfikacji eksperymentalnej, wykazując tym samym zdolność do prowadzenia pracy naukowej w zakresie nauk technicznych. Recenzowana rozprawa doktorska stanowi oryginalne rozwiązanie problemu naukowego oraz wykazuje ogólną wiedzę teoretyczną Autora w dyscyplinie naukowej **automatyka, elektronika, elektrotechnika i technologie kosmiczne**. Uznaję również, że teza rozprawy została w pełni uzasadniona. Pozwala mi to na sformułowanie następującej konkluzji końcowej:

KONKLUZJA KOŃCOWA

Na podstawie lektury przedłożonej mi do recenzji rozprawy i po analizie jej treści stwierdzam, że recenzowana rozprawa doktorska zatytułowana: *Wpływ parametrów taśm HTS 2G na ograniczanie prądu w stanach przejściowych transformatorów nadprzewodnikowych*, autorstwa Pana **mgr. inż. Łukasza WOŹNIAKA**, spełnia wymagania dotyczące rozpraw doktorskich określone w art. 13 Ustawy z dnia 14 marca 2003 r. o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki (Dz. U. Nr 65, poz. 595, z późn. zm.) i w związku z tym **wnioskuję** do Rady Dyscypliny Naukowej Automatyka, Elektronika, Elektrotechnika i Technologie Kosmiczne Politechniki Lubelskiej **o jej dopuszczenie do publicznej obrony**.



.....