

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, 19.11.2025 r.

SEKRETARIAT
Rady Dyscypliny AEEITK

Wpłynęło dnia 1.12.2025

Zarejestrowano pod nr 510.5.7/25

Podpis Sm

RECENZJA

rozprawy doktorskiej mgr. inż. Piotra SZCZERBY
pt. *Modeling and Analysis of Magnetic Components
used in High-Frequency Power Electronics Systems*

Promotor w przewodzie doktorskim: dr hab. inż. Cezary Worek, prof. AGH

1. Podstawa opracowania recenzji

Podstawą prawną opracowania recenzji rozprawy doktorskiej mgr. inż. Piotra Szczerby jest pismo przewodniczącego Rady Dyscypliny Automatyka, Elektronika, Elektrotechnika i Technologie Kosmiczne AGH z dnia 25 września 2025 r. informujące o powołaniu mnie przez wspomnianą Radę Dyscypliny na recenzenta rozprawy.

2. Wprowadzenie

Obserwowany od lat trend związany z miniaturyzacją urządzeń przekształcających energię elektryczną, w szczególności zasilaczy impulsowych i wynikającym z tego podwyższaniem gęstości mocy takich urządzeń, przy jednoczesnym zapewnieniu wysokiej sprawności, a co za tym idzie redukcji strat mocy, wymaga uważnego przyjrzenia się elementom indukcyjnym – ich konstrukcji, właściwemu doborowi oraz zapewnieniu właściwego punktu pracy (dotyczy to w szczególności elementów zawierających rdzenie ferrytowe).

Recenzowana rozprawa doktorska wpisuje się w pełni w te trendy. Przedmiotem rozważania w pracy są parametry i modele elementów indukcyjnych, w szczególności zawierających rdzenie toroidalne i pracujących w układach impulsowego przekształcania energii. Opracowanie takich modeli analitycznych może w wydajny sposób usprawnić proces doboru elementów indukcyjnych do konstruowanych urządzeń oraz pozwolić na szczegółową analizę pracy zarówno całych urządzeń, jak i samych elementów indukcyjnych, w szczególności pod względem właściwego wykorzystania materiału magnetycznego, jak i generowanych strat mocy. Jest to zagadnienie trudne, a znane obecnie modele, bazujące głównie na zależnościach empirycznych, nie uwzględniają wszystkich istotnych aspektów pracy takich elementów i nie pozwalają na właściwe odwzorowanie ich pracy, w szczególności przy wymuszeniach niesinusoidalnych, w tym impulsowych. Recenzowana rozprawa podejmuje te zagadnienia.

3. Ocena strony formalnej rozprawy

Recenzowana rozprawa doktorska ma formę zwartej monografii o łącznej objętości 183 stron. Na tę objętość składają się części wstępne pracy, w tym streszczenia, spis rzeczy oraz wykaz oznaczeń i skrótów, spisy rysunków i tabel, część zasadnicza złożona z siedmiu rozdziałów oraz spis literatury. Struktura pracy jest prawidłowa, typowa dla tego typu rozpraw doktorskich.

Tytuł rozprawy wskazuje na analizę i modelowanie komponentów magnetycznych używanych w wysokoczęstotliwościowych systemach energoelektronicznych. Tytuł w pełni

Sm

odpowiada zawartości pracy, przy czym jest to tytuł dość ogólny nie definiujący zasadniczego problemu podjętego w treści rozprawy, jakim było modelowanie parametrów materiałów magnetycznych (tytuł rozprawy sugeruje modelowanie komponentów magnetycznych, choć nigdzie w pracy nie wskazano definicji komponentu) przeznaczonych do pracy w układach impulsowych. Zaproponowane podejście należy uznać jednak jako właściwe, ujmujące wskazane zagadnienie w nieco szerszym zakresie.

Praca została napisana w języku angielskim. Zawiera ona również dwustronicowe streszczenie w języku polskim. Ze względu na język pracy, w dalszej części recenzji przywoływane będą na potrzeby dyskusji, zarówno sformułowania w języku oryginału, jak i w bezpośrednim tłumaczeniu na język polski.

4. Ogólna charakterystyka rozprawy

Przedmiotem rozprawy jest opracowanie modeli obliczeniowych, w szczególności bazujących na danych empirycznych, oraz analiza parametrów rdzeni magnetycznych pracujących jako części elementów indukcyjnych w różnego rodzaju układach energoelektronicznych, w szczególności impulsowych, czyli pobudzanych prostokątnym przebiegiem napięcia. Głównym obiektem zainteresowań Autora pracy była przenikalność zespolona magnetyków oraz powstające w nich straty mocy. Czasem Autor odnosi się również do strat powstających w uzwojeniu elementu indukcyjnego, ale najczęściej tylko po to, aby te straty wyeliminować z bilansu całkowitego strat i uzyskać w ten sposób straty mocy w materiale magnetycznym. Ze względu na właściwości materiałów magnetycznych, w szczególności występujące silne nieliniowości, nasycenie, wpływ parametrów zewnętrznych oraz pracę przy pobudzeniach niesinusoidalnych podjęte zagadnienie charakteryzowało się dużym stopniem złożoności, a przeprowadzenie analizy wymagało dużej biegłości, zarówno w zakresie aparatu matematycznego, jak i interpretacji powstających zjawisk fizycznych. Pozwoliło to w efekcie na powstanie ciekawej pracy, zawierającej interesujący, nietrywialny materiał badawczy o dużym potencjale aplikacyjnym.

4.1. Teza, cel i zakres pracy

W rozprawie w sposób jawny nie zdefiniowano tezy badawczej. Badania w pracy realizowano dla osiągnięcia wskazanych w sposób jawny celów, wśród których było opracowanie modeli wyznaczania przenikalności magnetycznej i strat mocy w materiałach magnetycznych, opracowanie modeli numerycznych pozwalających na symulację obwodową i połowę właściwości elementów indukcyjnych oraz identyfikacja pomiarowa wybranych wielkości. Przy definiowaniu celów Autor zdecydowanie nadużywa słowa „weryfikacja”. Występuje ono w sześciu na siedem zdefiniowanych celów badawczych, przy czym brak informacji jakie i skąd pochodzące wielkości będą podlegać weryfikacji. Być może właściwszym (na pewno w kilku przypadkach) byłoby sformułowanie „identyfikacja” lub „wyznaczenie”. W treści pracy w bardzo niewielu miejscach prowadzona jest weryfikacja, w szczególności w ujęciu ilościowym danych lub modeli. Po tej drobnej korekcie cele pracy należy uznać za prawidłowo sformułowane i pozwalające na przeprowadzenie skutecznego procesu badawczego.

Lektura pracy wskazuje, że na początku Autor miał pewne problemy ze zdefiniowaniem zakresu pracy. Część wstępna pracy odnosi się do podejmowanych zagadnień bardzo szeroko, a sformułowania sugerują daleko idące uogólnienia. Na szczęście wraz z postępem pracy Autor zakres ten doprecyzowuje, kształtując go w sposób zbliżony ze zdefiniowanymi w pracy celami. W pracy nie ma zatem problemu z ustaleniem, czy dane działania badawcze dotyczą głównego obszaru zainteresowań Autora, czy też są działaniami uzupełniającymi. Zakres przeprowadzonych badań jest kompletny, potwierdzający wiarygodność uzyskanych wyników.

4.2. Struktura pracy

Praca posiada poprawną strukturę, typową dla rozpraw doktorskich. Obejmuje część wstępną, do której można zaliczyć dwa pierwsze rozdziały, część zasadniczą, zawartą w rozdziałach od trzeciego do szóstego, oraz część podsumowującą, przedstawioną w rozdziale siódmym. Strukturę pracy w części początkowej uzupełniają streszczenia, spis rzeczy, oznaczeń, rysunków i tabel, natomiast w części końcowej spis literatury.

Część wstępną zwrócić uwagę na rozdziałach pierwszym i drugim. Rozdział pierwszy zawiera elementy wprowadzające pracy, w tym omówienie celu i zakresu oraz zarys tematyki. Rozdział drugi to odniesienie Autora do obecnego stanu wiedzy. Pewne elementy tego rozdziału wydają się być zbędne (jak na przykład szczegółowa analiza zasady działania przekształtników DC/DC – takie rozważania są przedmiotem podstawowego kursu energoelektroniki na poziomie inżynierskim studiów). Autor przeprowadził próbę klasyfikacji „komponentów indukcyjnych” stosowanych w układach impulsowych, przy czym zaproponowana klasyfikacja jest mocno dyskusyjna, ale nie jest ona przedmiotem oceny w pracy. Najbardziej interesująca część tego rozdziału to klasyfikacja magnetyków oraz analiza ich właściwości i sposobów modelowania. Należy zauważyć, że jest to bardzo obszerny fragment pracy liczący prawie pięćdziesiąt stron.

Część zasadnicza pracy obejmuje cztery rozdziały. Pierwszy z nich, będący rozdziałem trzecim pracy, należy uznać jako najistotniejszy z naukowego punktu widzenia. Definiuje on modele empiryczne materiałów magnetycznych (zarówno te opisujące parametry zastępcze, w tym przenikalność zespoloną, jak i te opisujące powstawanie strat mocy w materiałach magnetycznych). Częścią rozdziału jest opis idei oraz analiza autorskiego modelu strat zaproponowanego w pracy, zwanego jako iRESE (udoskonalony model bazujący na równaniach Steinmetz'a). Drugi z rozdziałów części zasadniczej poświęcony jest badaniom eksperymentalnym wybranych elementów indukcyjnych. W trakcie badań Autor przedstawia kilka prototypów (łącznie dziewięć) różnych cewek (zwanymi w pracy jako „Sample”), w większości nawiniętych na rdzeniu toroidalnym i prowadzi dla nich pomiary parametrów zastępczych i strat mocy, przy czym różne badania prowadzone są dla różnych cewek, przez co utrudnione jest porównywanie wyników. Autor w większości nie podaje również jakie kryteria skłoniły go do wyboru właśnie takiej cewki do wskazanych pomiarów. Kolejny rozdział, oznaczony jako piąty w pracy, poświęcony jest analizie numerycznej, polowej i obwodowej. Jest to rozdział dość krótki, a przedstawione wyniki nie odnoszą się bezpośrednio do wyników z rozdziału czwartego, mają zatem charakter nieco poglądowy. Ostatni z rozdziałów części zasadniczej odnosi się do analizy błędów. Jest to rozdział bardzo lakoniczny, a przedstawiona w nim analiza nie ma charakteru oceny metrologicznej uzyskanych rezultatów zarówno badań symulacyjnych i eksperymentalnych, a jedynie jakościową dyskusję nad mogącymi powstawać w trakcie takich badań błędami. Trudno ten rozdział uznać zatem jako przydatny w pracy.

Część podsumowująca zawarta jest w rozdziale siódmym. Nie jest to jednak typowe podsumowanie wraz z wnioskami końcowymi. Autor podzielił ten rozdział na trzy części: główny wkład, ograniczenia oraz propozycja dalszych prac. Szkoda, że Autor nie pokusił się na przedstawienie podsumowania całościowego pracy wraz z wnioskami w ujęciu jakościowym i ilościowym. Pozwoliłoby to na nakreślenie zarówno samego obrazu pracy, pokazanie jej wartości naukowej, jak i przypomnienie problemów, na jakie natknął się autor w trakcie jej realizacji.

5. Ocena rozprawy

Rozprawa doktorska mgr. inż. Piotra Szczerby pt. „Modeling and Analysis of Magnetic Components used in High-Frequency Power Electronics Systems” obejmuje dość szerokie spektrum zagadnień inżynierskich skupionych wokół analizy właściwości i modelowania

elementów indukcyjnych w zastosowaniach do elektroniki mocy. Jej ocena merytoryczna przeprowadzona została pod kątem wkładu rozprawy w rozwój dyscypliny „automatyka, elektronika, elektrotechnika i technologie kosmiczne”.

5.1. Ocena ogólna

Praca dotyczy istotnego zagadnienia, jakim jest identyfikacja parametrów materiałów magnetycznych, przeznaczonych w szczególności do pracy przy podwyższonych częstotliwościach i przenoszących przebiegi odkształcone, co ma miejsce przy energoelektronicznym przekształcaniu energii. Parametry materiałów magnetycznych podawane przez producentów często znacznie odbiegają od parametrów rzeczywistych i odnoszą się do ściśle ustalonych warunków pracy. Konieczne jest zatem opracowanie metody szybkiej identyfikacji parametrów materiałów magnetycznych, w szczególności tych, które odpowiadają za parametry obwodu zastępczego, w szczególności przenikalność magnetyczną oraz straty mocy.

W literaturze istnieje wiele modeli i metod opisu parametrów materiałów magnetycznych. Większość z nich bazuje na danych empirycznych i odnosi się do określonych warunków pracy oraz określonych aplikacji materiałów magnetycznych. Podjęte w pracy rozważania stanowią przegląd przydatności istniejących modeli empirycznych oraz wprowadzają nowy (zmodyfikowany) model wyznaczania strat mocy bazujący na stosowanym powszechnie w tym zakresie równaniu Steinmetza. Zaproponowane podejście jest podejściem o charakterze modułowym i pozwala na stosowanie go do charakteryzowania materiałów magnetycznych w różnych warunkach pracy i przy różnego rodzaju wymuszeniach.

W pracy Autor w sposób bardzo sprawny uporządkował istniejące modele opisujące parametry materiałów magnetycznych, w szczególności w odniesieniu do identyfikacji strat mocy, skupiając się na rodzinie modeli bazujących na różnego rodzaju modyfikacjach powszechnie znanego i stosowanego ogólnego równania Steinmetza. Doktorant wskazał dla jakich zastosowań i w jakich warunkach poszczególne modele mogą być stosowane oraz jakie są ich wady i zalety. W sposób przejrzysty wskazał wady istniejących rozwiązań w zakresie pracy materiałów magnetycznych z przebiegami prostokątnymi, czyli takimi jakie mają miejsce w zasilaczach impulsowych oraz zaproponował autorską modyfikację istniejącego rozwiązania w tym zakresie. Rozważania analityczne uzupełnione zostały w pracy szerokim spektrum badań eksperymentalnych, potwierdzających główne założenia przedstawione w ujęciu analitycznym. Dodatkowo rozważania analityczne i eksperymentalne zostały uzupełnione o wybrane badania symulacyjne.

Zaproponowana metoda identyfikacji parametrów materiałów magnetycznych, zdefiniowana analitycznie i potwierdzona eksperymentalnie stanowi **oryginalne rozwiązanie** postawionego w pracy **problemu badawczego**, wnosząc istotny wkład w rozwój dyscypliny „automatyka, elektronika, elektrotechnika i technologie kosmiczne”. Właściwe zdefiniowanie celu badań, umiejętność wnioskowania oraz analizy wyników, a także zastosowanie metody eksperymentu w badaniach potwierdzają **umiejętność samodzielnego prowadzenia pracy badawczej** przez jej Autora. Przekrojowe i systematyczne podejście do rozważanego zagadnienia, analiza aspektów interdyscyplinarnych i zastosowanie tej wiedzy w rozważaniach analitycznych i eksperymentcie laboratoryjnym potwierdzają, że Autor posiada **ogólną wiedzę teoretyczną w dyscyplinie**, w ramach której prowadzone były badania.

5.2. Uwagi dyskusyjne

W trakcie lektury pracy nie natrafiono na istotne niedociągnięcia lub błędy merytoryczne w zakresie analizowanych zagadnień, wymagające uzupełnień lub zmian w treści rozprawy. Niektóre zagadnienia wymienione w tej części recenzji odnoszą się do zagadnień, które Autor przedstawił lub wyjaśnił w sposób niejednoznaczny lub niepełny i wskazane byłoby ich

doprecyzowanie. Poniżej wypunktowano najistotniejsze uwagi dyskusyjne do pracy. Ich wyjaśnienie powinno pozwolić na poprawę warsztatu badawczego Doktoranta w przyszłości.

1. W rozdziale 3 autor zaproponował schemat zastępczy elementu indukcyjnego (inductor model) - rys. 30. Na schemacie występuje szeregowe połączenie rezystancji z pojemnością. Rezystancja w tej gałęzi oznaczona jest jako "inductor stray capacitance equivalent series resistance" - czyli zastępcza rezystancja szeregową pojemności pasożytniczej cewki. Jest to dość zawiłe sformułowanie. Jaki cel miało dołączenie szeregowej rezystancji do analizowanej pojemności pasożytniczej tej cewki? Zazwyczaj analizując parametry pojemności rezystancja związana z upływem z danej pojemności dołączana jest do kondensatora równolegle. Dlaczego w tym przypadku dołączono rezystancję szeregowo? Czy było jakieś uzasadnienie fizyczne takiego podejścia. Jak można to skomentować odnosząc ten model do wyników z rozdziału 4 (w podsumowaniu tego rozdziału Autor pisze, że "pojemność pasożytnicza miała pomijalny wpływ na przenikalność zespoloną")?
2. Druga uwaga jest kontynuacją zagadnienia wspomnianego w uwadze 1. W sekcji 3.4.1 zdefiniowano zależność określającą zastępczą wartość pojemności pasożytniczej (185). Dla tej zależności nie zdefiniowano żadnych założeń ani ograniczeń. Czy jest to zależność obowiązująca dla każdej cewki i w każdych warunkach?
3. W rozdziale 3 autor dokonuje przekształcenia wzoru na moc wyrażoną poprzez wartości skuteczne (206) na wzór opisany poprzez wartości maksymalne (207) przyjmując do przekształcenia współczynnik kształtu równy pierwiastkowi z 2. Dalej wykorzystywane jest to przekształcenie do wyprowadzenia zależności (209) i (210). Przyjęty współczynnik kształtu jest poprawny tylko dla wybranych kształtów przebiegów. Czy to oznacza, że wyprowadzona zależność ma ograniczenia w stosowaniu wyłącznie do wymuszeń sinusoidalnych?
4. W podrozdziale 4.1 Autor pisze, że w Tabeli 3 zestawiono parametry fizyczne cewki. Brak informacji skąd Autor pozyskał wskazane "parametry fizyczne" - czy są to dane pomiarowe, dane od producenta, czy też dane z literatury? Na pewno takie informacje warto opatrzyć źródłem literaturowym o ile nie pochodzą z własnych pomiarów. W tabeli oprócz parametrów geometrii są również wartości takie jak częstotliwość rezonansu własnego, indukcyjność, pojemność, itp. W jaki sposób te wielkości zostały wyznaczone lub pozyskane?
5. W sekcji 4.1.2 Autor pisze, że "the results show (...) that the loss tangent (...) can reach up to 0.048 for self resonant frequency and up to 0.16 at 13 MHz which is the end of (...) measured range". Ze wskazanych rysunków nie wynikają podane wielkości, nie jest znana/podana częstotliwość rezonansu własnego oraz nie wiadomo dlaczego akurat 13 MHz to granica możliwości pomiarowych? Nie jest zrozumiałym sformułowanie "up to 0.048" oraz "up to 0.16". Sformułowanie to wymagałoby szerszego komentarza Autora i doprecyzowania pewnych informacji.
6. Na potrzeby pomiarów, wśród cewek eksperymentalnych (Sample) wykonano cewkę powietrzną. Wymiary tej cewki, jak również liczba zwojów była inna niż cewek nawiniętych na rdzeniu. Jakie kryteria zastosowano przy określaniu parametrów konstrukcyjnych tej cewki? Czy przeprowadzono analizę numeryczną pola magnetycznego cewki powietrznej potwierdzającą, że strumień magnetyczny zamyka się w przestrzeni odpowiadającej rdzeniowi magnetycznemu (w innym przypadku objętość magnetowodu/długość drogi magnetycznej dla cewki powietrznej będzie inna niż dla takich samych cewek z rdzeniem magnetycznym)?
7. W sekcji 4.2.1 przedstawiono pomiary pętli histerezy dla 100 kHz. Wskazano, że różnice w wartościach indukcji nasycenia po dodatniej i ujemnej stronie pętli wynikają z ograniczeń wzmacniacza sygnału pracującego poza zakresem znamionowym.

M. Kozłowski

Dodatkowo wskazano, że uskoki charakterystyk wynikają ze sposobu całkowania sygnału w LTspice. W pracy nie wyjaśniono jaka była zasada (procedura) pomiaru tych krzywych, nie wskazano przebiegów źródłowych prądu wymuszającego i napięcia, a także nie zamieszczono (nie podano na liście referencji) kart katalogowych zastosowanych przyrządów. Bez tych danych nie jest możliwa ocena uzyskanych wyników. Czy otrzymane charakterystyki porównano z danymi katalogowymi producenta dla badanego materiału?

8. Na rys. 64 przedstawiono porównanie wyznaczonych strat mocy z wartościami podanymi przez producenta. Na ten cel wykorzystano oryginalne charakterystyki z kart katalogowych (choć nie podano do nich odnośnika/źródła). Rysunki te są mocno nieczytelne i wyglądają jakby zostały przygotowane za pomocą edytora graficznego. Autor twierdzi, że dla materiałów 3C90 i 3F3 wyniki są spójne, a dla 3C94 różnią się znacząco. Jakie są kryteria spójności w tej analizie i na jakiej podstawie Autor wysnuł takie konkluzje? Czy w związku z rozbieżnościami dla 3C94 pomiary były powtarzane dla różnych próbek wykonanych z tego samego materiału (i czy były powtarzalne)? Czy nie byłoby wygodniejszym naniesienie danych producenta na własne charakterystyki pomiarowe niż odwrotnie (wtedy można byłoby dobrać zakresy wartości poprawiające czytelność)? Ta uwaga odnosi się również do konkluzji Autora zawartej na str. 142 w podsumowaniu rozdziału 4, gdzie Autor pisze, że "It is likely due to high material spreads during the manufacturing process" - porównanie kilku próbek tego samego materiału mogłoby wskazać jaki jest rozrzut "technologiczny" - w pracy nie znaleziono informacji o takim badaniu.
9. W sekcji 4.2.3 Autor pisze: The core resistance characteristics extraction procedure was performed using a Bode 100 impedance analyzer. (...) the impedance (...) was measured at various levels of excitation signals ranging from 0.1 mT to 20mT. Autor w sposób arbitralny wykorzystuje analizator Bode 100 do pomiarów (w wielu miejscach w rozprawie) nie podając w pracy żadnych jego parametrów. Stosowanie przyrządów pomiarowych bez zapoznania się z zakresami pomiarowymi, funkcjonalnościami i dokładnościami pomiaru oraz pominięcie tych informacji w rozprawie nie jest przykładem dobrej praktyki badawczej. Na jakich "różnych poziomach" mierzona była indukcyjność i co oznacza "sygnał wymuszający" podawany w mT? W jaki sposób wymuszenie to realizowane było w praktyce?

Kilka mniej istotnych uwag oraz komentarzy do zamieszczonych w rozprawie wyników, niewymagających komentarza Autora, zamieszczono poniżej.

1. Na str. 1: "(...) global authorities are promoting the transition to green energy sources, including electrical vehicles (...)". Jakim rodzajem źródeł "zielonej energii" są pojazdy elektryczne? Podobnie na str. 8: "DC battery systems mostly fuel green energy". W jaki sposób system baterii może zasilać "zieloną energię"?
2. Czy rys. 6 na str. 10 pochodzi z własnych źródeł Autora, czy zaczerpnięty z literatury. Niektóre obszary zaznaczono prostokątami, a niektóre owalami. Jaka jest tego interpretacja praktyczna?
3. W pracy brak definicji komponentu magnetycznego, elementu indukcyjnego, itp. Autor używa tych pojęć w mieszany sposób, przez co nie jest przejrzystym co ma na myśli w danym momencie.
4. Oznaczenie R_{leak} na rys. 38 wydaje się być niepoprawne. Rezystancja szeregową transformatora nie jest odpowiednikiem rezystancji rozproszenia - to rezystancja odpowiadająca za straty w "miedzi" (na rezystancji uzwojenia).
5. Przed zależnością (219) na str. 97 Autor pisze, że dokonuje "some empirical modifications". Jakich "empirycznych" modyfikacji dokonano między równaniami (218) i (219)? To raczej zabiegi wyłącznie matematyczne.

6. W rozdziale 4 Autor przedstawił zdjęcia i informacje na temat tzw. "Sampli" przedstawiając wybiórczo najpierw trzy pierwsze - str. 105, potem jeszcze Sample 7, 8 i 9 (str. 117). Pewne dane zestawiono w tabelach, przy czym w każdej z tabel są wybrane cewki i wybrane ich parametry (za każdym razem inne). Autor nie przedstawia ani uzasadnienia, dlaczego te cewki i te parametry, a w całej pracy brak informacji na temat sposobu wykonania, doboru parametrów (np. liczby zwojów, gabarytów i materiału rdzenia). Autor w sposób losowy omawia i porównuje wybrane parametry wybranych cewek. Takie podejście nie służy przydatności przeprowadzonych pomiarów laboratoryjnych, a w szczególności możliwości porównania pomiarów z wynikami uzyskanymi analitycznie.
7. Drugą dużą wadą rozdziału 4 są zamieszczone charakterystyki. Nieczytelne, z nałożonymi na siebie kilkoma seriami pomiarów i różnymi skalami wartości. Ta uwaga wydaje się mieć charakter redakcyjny, ale niestety wspomniane niedociągnięcia rzutują na wartość merytoryczną rozprawy. Autor w treści omawia i porównuje wyniki, ale sprawdzenie poprawności jego wywodów jest niemożliwe ze względu na nieczytelność danych (nigdzie w pracy nie zamieszczono choćby jednej tabeli z danymi, na których podstawie sporządzono charakterystykę). A Autor z pełnym przekonaniem konkluduje, (przykładowo), że "this method introduces only 1% discrepancy to the measurements described in paragraphs 4.2.4.2 and 4.2.4.3" (str. 139). Z danych zamieszczonych w tych sekcjach, w szczególności z charakterystyk na rysunkach 69 i 71 nie da się takich wniosków wyciągnąć, nawet przy znacznych staraniach. Podobnie sprawa wygląda na str. 107-109. Autor deklaruje, że błąd nie przekracza 2%, a rysunki 48-51 są kompletnie nieczytelne. Taki sposób zredagowania pracy w części eksperymentalnej zdecydowanie umniejsza jej wartość estetyczną i przydatność do dalszego wykorzystania.
8. Przy omawianiu zależności (231) Autor pisze, że "capacitance is a simply product of (...) frequency and (...) inductance". To sformułowanie nie jest poprawne. Dodatkowo wygodnym byłoby podawanie w tekście symboli stosowanych we wzorze.
9. Na str. 124 na rys. 63 przedstawiono wartości przenikalności względnej odniesionej do jakiejś wielkości odniesienia. W pracy nigdzie nie zdefiniowano tej wielkości, ani nie podano w jaki sposób ją ustalono.
10. Na str. 128 Autor pisze: "(...) in the equation (225) repeated here for convenience:" i podaje równanie (232). Niestety równania (232) i (225) nie przedstawiają tego samego.
11. W podrozdziale 5.2 (str. 145) Autor podaje parametry pasożytnicze przyrządów pomiarowych (np. pojemność sondy napięciowej 47 pF, czy rezystancja wewnętrzna wzmacniacza sygnału równa 0.8 Ohm). O takich wartościach nie wspomniano nigdzie w treści rozdziału 4 poświęconego eksperymentowi. Nie ma o nich też mowy w rozdziale 6 (dyskusja błędów). Czy wartości parametrów pasożytniczych były uwzględniane systematycznie w badaniach, czy tylko okazyjnie?

5.3. Dobór i wykorzystanie źródeł

Spis literatury w rozprawie zawiera 226 pozycji, w zdecydowanej większości anglojęzycznych. Jest to liczba zdecydowanie wyczerpująca temat i wystarczająca na potrzeby rozprawy. Cytowana literatura odnosi się do aktualnego stanu wiedzy. Zawiera publikacje wydane w bardzo szerokim spektrum czasu (od wydanych jeszcze w XIX wieku do wydanych w obecnym roku). Literatura jest cytowana w tekście pracy, a wykorzystanie literatury jest zasadne.

Pewnym niedociągnięciem w pracy jest „grupowe” cytowanie źródeł. Nie jest to podejście, które można uznać za właściwe. Np. na str. 16 wskazano: [1],[4],[21-37] czyli łącznie 18 pozycji, nie wskazując co szczególnego jest w tych publikacjach. Podobnie na str. 37: [98-125], czyli 27 pozycji łącznie. Są też fragmenty pracy, gdzie Autor kilka kolejnych akapitów opatruje

takim samym zestawem referencji. Nie ułatwia to dotarcia do danych źródłowych, które potwierdzałyby przytaczane w pracy wiadomości.

Tak jak wspomniano, Autor cytuje publikacje z bardzo szerokiego zakresu czasowego. Jest to podejście poprawne, pozwalające na dotarcie do źródeł pierwotnych. W początkowej części pracy zauważono, że Autor zdecydował się na cytowanie źródeł wtórnych (np. odnosząc się do ogólnych trendów w zakresie materiałów magnetycznych cytuje inną pracę doktorską). Przykładem źródła wtórnego jest też pozycja [12]. Na poziomie pracy doktorskiej warto docierać do źródeł pierwotnych, którym Wikipedia nie jest. Warto jednak pamiętać, że wszystkie hasła Wikipedii opatrzone są przypisami i źródłami pierwotnymi.

Podsumowując, mimo wskazanych wyżej drobnych niedociągnięć, dobór i wykorzystanie źródeł należy uznać za prawidłowe i wystarczające na potrzeby rozprawy.

5.4. Ocena strony redakcyjnej

Strona redakcyjna rozprawy jest dobra. Mimo znacznej swojej objętości – 183 stron licząc łącznie z załącznikami, Autor zadbał o dobrą przejrzystość tekstu i obszerną stronę graficzną. W tekście zamieszczono łącznie 78 rysunków i 30 tabel (Autor zamieścił spis rysunków i tabel na wstępie rozprawy). Praca została napisana w języku angielskim. Język pracy jest zwięzły, logiczny i wygodny w lekturze. Pewnym mankamentem jest używanie w zdaniach strony czynnej czasowników, co prowadzi czasem do niefortunnnych sformułowań. Przykładowo na początku rozdziału 4 znajduje się zdanie: "This chapter experimentally verifies the assumptions and claims made in Chapter 3". To nie rozdział weryfikuje założenia, tylko w rozdziale przedstawiono wyniki weryfikujące założenia zawarte w rozdziale 3. Zatem strona bierna byłaby tu właściwsza.

Autor nie dba o justowanie tekstu. Pozostawienie tzw. "sierot i wdów" jest dopuszczalne. Nie można zaakceptować natomiast przenoszenia do nowej linii numeru rysunku, rozdziału oraz rozdzielania wartości od jednostki. Np. str. 127: "Chapter 7" przy czym 7 w nowej linii, na str. 133: "300 kHz" - kHz w nowej linii, str. 138: "Figure 63a-c" podobnie.

W pracy przygotowano spisy oznaczeń i skrótów. Spis oznaczeń jest niekompletny i całkowicie nieprzydatny. Autor w pracy używa olbrzymiej liczby oznaczeń w ogóle nie zdefiniowanych i nie wyjaśnionych. Często te same symbole używane są do różnych wielkości. Wprowadza to dość duży chaos, w szczególności w rozdziale 2 i 3. Być może usystematyzowanie ich w postaci pełnego spisu uporządkowałoby nieco ten problem.

Nagłówki tabel powinny być umieszczone nad tabelą, a nie pod (pod rysunkiem umieszcza się podpisy, ale tabela nie ma podpisu, tylko nagłówek). Autor jest konsekwentny w swoim postępowaniu, ale trudno uznać je za poprawne.

Podpisy pod rysunkami są nieczytelne i niezbieżne ze spisem rysunków. W podpisach brak oznaczeń wielkości przedstawianych na rysunkach, a legenda w postaci nazw kolorów powoduje, że podpisy liczą czasem kilkanaście linijek tekstu (podpis pod rys. 64 liczy aż 18 linii tekstu). To mocno utrudnia analizę zawartych na charakterystykach danych.

Inne drobne uwagi redakcyjne zauważone w tekście:

- Na str. 21: Jednostką jest [$^{\circ}\text{C}$] a nie [C]. Dlatego 450 [$^{\circ}\text{C}$], a nie 450⁰ [C].
- Na str. 57 na początku 2.4.3: transformers "are" zamiast "is".
- Na str. 109 Autor pisze: "In the method presented in this paper". Rozprawa doktorska to nie "paper".

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 inżyniersko-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 cele rozprawy zostały w pełni osiągnięte. 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: *Modeling and Analysis of Magnetic Components used in High-Frequency Power Electronics Systems*, autorstwa Pana mgr. inż. **Piotra SZCZERBY**, spełnia wymagania dotyczące rozpraw doktorskich określone w art. 187 ust. 1 i ust. 2 Ustawy z dnia 20 lipca 2018 roku Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz.U. 2024, poz.1571 z późn. zm.) i w związku z tym **wnioskuję** do Rady Dyscypliny Naukowej Automatyka, Elektronika, Elektrotechnika i Technologie Kosmiczne Akademii Górniczo-Hutniczej im. Stanisława Staszica w Krakowie o jej **dopuszczenie do publicznej obrony**.



