Bydgoszcz, dn. 14 października 2022 r.

Dr hab. inż. Jan Mućko, prof. PBŚ
Politechnika Bydgoska im. Jana i Jędrzeja Śniadeckich
Wydział Telekomunikacji, Informatyki i Elektrotechniki
ul. Prof. S. Kaliskiego 7; 85-796 Bydgoszcz

POLITECHNIKA ŚLĄSKA
Rada Dyscypliny
Automatyka, Elektronika i Elektrotechnika
wpłynęło dnia 19.10.2022
nr 34 zał. .....

Recenzja
rozprawy doktorskiej mgra inż. Michała Zellnera

pt. "**Wybrane zagadnienia układów bezprzewodowego przesyłu energii elektrycznej z silnym sprzężeniem magnetycznym**"

opracowana na zlecenie Przewodniczącej Rady Dyscypliny Automatyka, Elektronika i Elektrotechnika, dr hab. inż. Moniki Kwoki, prof. PŚ (pisma nr: RDAEE/77/2022 i RDAEE.512.9.2022 z dnia 25 lipca 2022 r.)

1. Przedmiot recenzji. Jakie zagadnienie naukowe jest rozpatrzone w pracy (teza rozprawy) i czy zostało ono dostatecznie jasno sformułowane przez Autora?

Przedmiotem recenzji jest rozprawa doktorska pt. "*Wybrane zagadnienia układów bezprzewodowego przesyłu energii elektrycznej z silnym sprzężeniem magnetycznym*", której autorem jest mgr inż. Michał Zellner. Promotorem rozprawy jest dr hab. inż. Zbigniew Kaczmarczyk, prof. Pol. Śl.

Rozprawa liczy 134 strony tekstu zawartego w 8 rozdziałach oraz w bibliografii i załącznikach zamieszczonych na końcu rozprawy. Bibliografia liczy 88 pozycji. Zamieszczona w rozprawie doktorskiej literatura jest reprezentatywna dla analizowanych w pracy zagadnień. Recenzentowi nie jest znane inne opracowanie takie, jakie stanowi niniejsza rozprawa.

Publikacje mgra inż. Michała Zellnera (zamieszczone w bibliografii) to jeden artykuł samodzielny i dwa współautorskie. Pierwszy artykuł (samodzielny) został opublikowany w Przeglądzie Elektrotechnicznym w 2019 r. Kolejne dwa, współautorskie, zostały opublikowane w Przeglądzie Elektrotechnicznym oraz materiałach międzynarodowej konferencji IEEE 19th International Power Electronics and Motion Control Conference odpowiednio w latach 2020 i 2021. W bazie Orcid znajduje się jeszcze jeden (czwarty) artykuł współautorski, z 2018 r., jednak nie dotyczy bezpośrednio tematów związanych z rozprawą doktorską.

W rozdziałach ***1 Wstęp***, ***2 Aktualny stan zagadnienia*** i ***3 Wprowadzenie*** Autor wprowadza w tematykę będącą przedmiotem rozprawy i wykazuje, że zagadnienia którymi będzie się w pracy zajmował są aktualne. Następnie przedstawia on swoją motywację do pracy oraz ***tezę, cel i zakres pracy***. W rozdziałach tych Autor przedstawia także przyjętą w rozprawie metodykę badań i terminologię. Wykaz ważniejszych oznaczeń i skrótów znajduje się bezpośrednio po spisie treści, przed tymi rozdziałami.

Przedmiotem i głównym celem dysertacji było wykazanie prawdziwości **tezy**:

„Możliwe jest konstruowanie prostych układów bezprzewodowego przesyłu energii elektrycznej z silnym sprzężeniu magnetycznym, które bez zastosowania sprzężeń zwrotnych zapewniają znaczną sztywność napięcia wyjściowego”,

i jej zweryfikowanie eksperymentalne.

Cele szczegółowe, prowadzące do osiągnięcia celu głównego, były następujące:

- opracowanie modelu matematycznego oraz symulacyjnego układu przeznaczonego do badań przekształtników z obwodami pośredniczącymi w postaci cewek z silnym sprzężeniem magnetycznym i dodatkowymi elementami reaktancyjnymi, zasilanych z falownika napięcia oraz z prostownikiem po stronie obciążenia,
- określenie właściwości zaproponowanych układów,
- opracowanie metody projektowania tych układów,
- zaprojektowanie, skonstruowanie i przebadanie laboratoryjne prototypu.

Przedstawione cele szczegółowe zrealizowano dwuetapowo. Początkowo użyto uproszczonej metody symbolicznej, tj. opisu za pomocą pierwszej harmonicznej. Następnie użyto metody numerycznej. Zastosowano typową metodę badawczą stosowaną w naukach technicznych, która zawierała: przegląd literatury, zidentyfikowanie problemów, przyjęcie założeń, opracowanie modelu, wyznaczenie właściwości, zaproponowanie metody projektowania, dokonanie weryfikacji eksperymentalnej.

Uważam, że teza, cel rozprawy i zadania szczegółowe są ważne ze względów poznawczych oraz aplikacyjnych. Zostały ono dostatecznie jasno sformułowane przez Autora. Działania podjęte przez Doktoranta są aktualne.

W rozdziale ***4. Układ IPT*** przedstawiono podstawowe informacje dotyczące podzespołów układu IPT (Inductive Power Transfer) takich jak: falownik, oraz prostownik synchroniczny z wyjściowym filtrem pojemnościowym. W rozdziale tym przedstawiono także równania opisujące przebiegi wielkości elektrycznych układu. Rozważano dwa tryby pracy CCM i DCM.

Rozdział ***5 Układ pośredniczący – metoda symboliczna*** opisuje zespół cewek sprzężonych wraz z dodatkowymi biernymi elementami kompensacyjnymi. Rozważano działanie układu bez dodatkowych elementów kompensacyjnych i z tymi elementami. Zastosowano przy tym metodę opisu za pomocą pierwszej harmonicznej. Falownik był reprezentowany przez źródło o sinusoidalnej fali napięcia. Prostownik z filtrem pojemnościowym i odbiornikiem rezystancyjnym reprezentowany był natomiast przez ekwiwalentny rezystor w obwodzie prądu przemiennego. Analizowano różne topologie układu w zależności od sposobu dołączenia (lub ich braku) dodatkowych elementów kompensacyjnych. Ostatecznie szczegółowej analizy dokonano dla układu nieskompensowanego oraz topologii określanej w literaturze jako S-S (Series - Series). Przedstawiono metody projektowania tych układów przy uwzględnieniu założeń dotyczących sprawności jak i ustępliwości charakterystyk wyjściowych, prądowo-napięciowych.

W rozdziale ***6. Układ pośredniczący – metoda numeryczna*** przedstawiono metodę numeryczną pozwalającą na dokładniejsze określenie właściwości układu w porównaniu z zastosowaniem jedynie metody symbolicznej. Metoda numeryczna polegała na opisie układu za pomocą równań stanu, a następnie symulacji pracy tego układu. Obliczenia zrealizowano w środowisku programistycznym Pycharm z wykorzystaniem języka Python. Wyniki symulacji pozwoliły wyznaczyć charakterystyki układu uwzględniające niesinusoidalne przebiegi prądów i napięć w układzie. Charakterystyki te porównano z uzyskanymi metodą symboliczną oraz uzyskanymi eksperymentalnie, co pokazano w kolejnym rozdziale.

W rozdziale ***7. Badania laboratoryjne*** przedstawiono szczegółowo opis prototypu zgodnego z założeniami rozprawy (z rozdziału 3). Został on zaprojektowany ze względu na uzyskanie możliwie wysokiej sprawności i sztywnego napięcia wyjściowego. Parametry elementów tego podzespołu wyznaczono zgodnie z metodą przedstawioną w rozdziale 5.

Najważniejszymi założeniami projektowymi były: napięcie zasilania 24 V, napięcie wyjściowe 24 V ± 10%, moc znamionowa 100 W, częstotliwość pracy układu 100 kHz. Założono jednakową dobroć cewek ($QL1 = QL2$) równą 100 oraz współczynnik sprzężenia magnetycznego k wynoszący 0,8. Projektując cewki posłużono się programem FEMM 4.2, przeznaczonym m.in. do obliczeń elementów magnetycznych metodą elementów skończonych (MES). Do budowy cewek sprzężonych zastosowano rdzenie kubkowe o średnicy zewnętrznej 66 mm wykonane z materiału 3F3. Po wykonaniu cewek sprzężonych zweryfikowano parametry tych cewek pod względem zgodności z wcześniejszymi założeniami uzyskując wystarczającą zbieżność wyników. Do budowy falownika oraz prostownika synchronicznego wykorzystano równolegle połączone tranzystory MOSFET typu AON7502, a jako sterowniki bramkowe wybrano układy IXD_614 ze względu na ich możliwy duży chwilowy prąd wyjściowy (14 A). Układ sterowania został wyposażony w mikrokontroler serii XMC1302 (Infineon), rekomendowany do przekształtników energoelektronicznych.

Przedstawione wyniki eksperymentalnych badań ilościowych były wystarczające, aby potwierdzić poprawność zaproponowanej metody projektowania układów IPT o sztywnym napięciu wyjściowym, zgodnie z przyjętymi założeniami rozprawy. Jak można zaobserwować poszczególne przebiegi napięć i prądów zmierzone dla prototypu były zgodne z wynikami teoretycznymi obliczonymi metodą numeryczną w rozdziale 6, co udowadnia, że założenia dotyczące prototypu zostały zrealizowane, a cele postawione na wstępie rozprawy zostały osiągnięte.

Tak postawione zadanie było poważnym zadaniem zarówno naukowym jak i konstrukcyjnym. Zastosowanie opracowanego przez Doktoranta układu może mieć szereg zastosowań praktycznych ważnych dla gospodarki.

W rozdziale ***8. Wnioski*** Autor stwierdza, że cel pracy został zrealizowany, przedstawia najważniejsze wnioski wynikające z pracy, propozycje dalszych badań i wymienia swoje najważniejsze osiągnięcia.

2. Ocena wyboru tematyki rozprawy. Jaka jest przydatność rozprawy Autora z punktu widzenia nauk technicznych, czy założenia przyjęte przez Autora są uzasadnione?

Obecnie technologie bezprzewodowego przesyłu energii elektrycznej są intensywnie rozwijane i znajdują coraz więcej zastosowań. Potencjalne zastosowania mogą obejmować zarówno urządzenia małej mocy jak i urządzenia przemysłowe dużej mocy. Układy takie znajdują zastosowania do ciągłego zasilania lub okresowego doładowywania sprzętu gospodarstwa domowego oraz przenośnych urządzeń codziennego użytku jak np. smartfonów, tabletów, elektronarzędzi, zabawek, robotów sprzątających. Bezprzewodowo zasilane są także implanty medyczne np. kardiostymulatory.

Jedną z głównych zalet ładowania bezprzewodowego jest wygoda. Nie ma potrzeby podłączania urządzenia. Wystarczy je umieść w odpowiednim miejscu i rozpocznie się ładowanie. Ładowanie bezprzewodowe zwiększa również wytrzymałość urządzenia; nie ma fizycznych kabli ani złączy, które mogłyby się plątać, zużywać lub łamać. Znikają także problemy ze zgodnością złącz. Eliminując złącze ładowania, urządzenia może być szczelne i może pracować w trudnych warunkach, np. w środowisku zagrożonym wybuchem.

Autor dokonując analizy teoretycznej, opisując algorytm projektowania oraz konstruując prototyp udowodnił, że zaproponowane rozwiązanie systemu zasilania bezprzewodowego, w którym nie zastosowano sprzężenia zwrotnego, charakteryzuje się wysoką sprawnością energetyczną przy jednoczesnej małej ustępliwości charakterystyki wyjściowej prądowo-napięciowej. Świadczy to o realizacji celów pracy i uzasadnionym, poprawnym przyjęciu założeń.

Uważam, że opracowane przez Doktoranta urządzenie, jest istotne zarówno w sensie poznawczym jak i dla rozwoju gospodarczego. Uważam, że tematyka przedstawiona przez Doktoranta, opisująca tak szczegółowo zjawiska w systemie IPT o wysokiej sprawności i małej ustępliwości charakterystyki wyjściowej przy braku sprzężenia zwrotnego nie była w Polsce dotąd przedmiotem tak wnikliwych badań, co stanowiło ważny bodziec motywujący podjęcie prac badawczych.

Biorąc pod uwagę znaczenie i potrzebę dynamicznego rozwoju tych urządzeń uważam, że wybór tematyki badań jest zasadny zarówno z powodów poznawczych, jak i aplikacyjnych. Problematyka związana z realizowanym tematem jest aktualna. Znalazła ona odzwierciedlenie w tytule, który zrozumiale i komunikatywnie określa zawartość rozprawy. Zarówno analiza teoretyczna jak i wyniki zaprezentowane w rozprawie mogą być pomocne w projektowaniu nowoczesnych urządzeń zasilających bezprzewodowo.

3. Czy Autor rozwiązał postawione zagadnienie i użył właściwej metody?

Autor rozwiązał zagadnienie postawione w pracy i użył właściwej do tego metody. W tym celu sformułował własne, autorskie założenia dotyczące budowy systemu IPT. Zastosowana metodologia sprowadzała się do następujących sekwencji: przegląd literatury światowej naukowej i technicznej z wykorzystaniem adekwatnych do postawionego problemu baz, zdefiniowanie problemu badawczego i założeń, propozycja rozwiązania postawionego problemu (zaproponowanie topologii, sposobu sterowania, elementów), analiza matematyczna, badania symulacyjne, budowa i badania modelu laboratoryjnego, porównanie uzyskanych różnymi metodami wyników. Tego typu postępowanie jest podejściem typowym stosowanym przez społeczność naukową w dyscyplinie automatyka, elektronika i elektrotechnika. Uważam, że zastosowana w rozprawie metodologia rozwiązania problemu

naukowego i technicznego jest prawidłowa. Świadczy także o tym końcowy efekt badań w postaci prawidłowo działającego modelu eksperymentalnego.

4. Jaki jest charakter rozprawy (teoretyczny, doświadczalny, konstrukcyjny), jaka jest jej pozycja w stosunku do wiedzy czy poziomu techniki reprezentowanych przez literaturę światową?

Rozprawa ma charakter zarówno teoretyczny, konstrukcyjny jak i doświadczalny. Po analizie literatury światowej Autor zaproponował topologię i konstrukcję układu zasilania bezprzewodowego o założonych parametrach. Następnie dokonał teoretycznej analizy działania układu. Przeprowadził także badania układu na drodze symulacyjnej i eksperymentalnej co świadczy także o doświadczalnym charakterze pracy.

Uzyskane przez Doktoranta rezultaty potwierdzają postawioną na wstępie tezę badawczą. Została ona potwierdzona zarówno analitycznie, symulacyjnie jak i eksperymentalnie. Poruszana w rozprawie tematyka jest aktualna w stosunku do stanu wiedzy dotyczącej urządzeń zasilających bezprzewodowo. Świadczą o tym umieszczone w spisie literatury publikacje Autora. Jedna samodzielna (w Przeglądzie Elektrotechnicznym) i dwie współautorskie (w Przeglądzie Elektrotechnicznym i na konferencji międzynarodowej).

5. Na czym polega oryginalność rozprawy, co stanowi samodzielny i oryginalny dorobek Autora?

Uważam, że oryginalny, samodzielny dorobek Autora to:

- przeprowadzenie usystematyzowanej analizy wszystkich możliwych przypadków uzyskania sztywnego napięcia wyjściowego w układach IPT o topologii S-S,
- opracowanie dwóch metod opisu badanych układów (symbolicznej i numerycznej). Szczególnie istotna jest oryginalna metoda numeryczna, która w sposób dokładniejszy odzwierciedla wpływ nieliniowych przekształtników po stronie zasilania i obciążenia,
- określenie właściwości układów IPT o sztywnym napięciu wyjściowym,
- opracowanie metody projektowania rozważanych układów, która zapewnia uzyskanie bardzo dobrych parametrów (mieszczących się w założonych granicach) ze względu na sprawność i sztywność napięcia wyjściowego,
- wykazanie, że wystarczające jest zastosowanie jedynie szeregowej kompensacji po stronie wtórnej, charakteryzującej się minimalizacją strat mocy, sztywnością napięcia wyjściowego i prostotą,
- zweryfikowanie koncepcji na podstawie badań laboratoryjnych skonstruowanego prototypu o napięciu wyjściowym 24 V, mocy wyjściowej 100 W, częstotliwości pracy 100 kHz oraz sprawności całkowitej 87%.

6. Jakie są słabe strony rozprawy i jej główne wady?

6.1. Uwagi do dyskusji, wymagające uzasadnienia (nie muszą to być słabe strony rozprawy)

- Strona 40 linie 6-7 i dalsza treść rozprawy. Jest: „W metodzie symbolicznej prostownik wraz z filtrem pojemnościowym i odbiornikiem zastępuje się równoważną rezystancją zmiennoprądową"
  Jest to metoda bardzo często stosowana w uproszczonej analizie uwzględniającej tylko podstawowe harmoniczne prądów i napięć w układzie. Jednak w określonych warunkach metoda symboliczna prowadzić może do poważnych błędów obliczeniowych. Szkoda, że Autor nie powołał się na literaturę (np. DOI: 10.1109/CPE.2016.7544216), w której analizowano te warunki.
- Strona 48 rysunek 5.3.
  Choć z matematycznego punktu widzenia rozważania wydają się poprawne, trudno jednak wyobrazić sobie, że dla współczynnika sprzężenia magnetycznego cewek równego zeru (nawet w warunkach optymalnego doboru tych cewek) współczynnik sztywności napięcia wyjściowego ($k_{|U|} = U(R_n)/U(R\text{->}\infty)$ będzie na poziomie 0,7. Proszą Autora o ustosunkowanie się do tej kwestii.
- Strona 58, rysunek 5.11.
  Czy układy z rysunku 5.11a i 5.11c można nazwać skompensowanymi? Czy elementy kompensujące z rysunku 5.11a i 5.11c spełniają warunek zapisany zależnością (5.36)? Czy te elementy można w ogóle nazwać elementami kompensującymi? Np. na rys. 5.11 c do „kompensacji" charakteru indukcyjnego reaktancji $(1\text{-}k)X_{L1}^*$ wprowadzono kolejny element indukcyjny X_1^*. Przyjęte nazewnictwo jest nieprecyzyjne. Może elementy dołączone dodatkowo do sprzężonych cewek lepiej nazywać np. elementami dodatkowymi, a tylko te o charakterze pojemnościowym, nazywać kompensującymi?
- Strona 72 i kolejne, rozdział 6 opisujący zastosowaną metodę numeryczną. Dlaczego w dysertacji nie wykorzystano dostępnych zarówno komercyjnych jak i bezpłatnych programów symulacyjnych, które uprościłyby znacznie analizę numeryczną układów.

6.2. Uwagi szczegółowe

- Strona 6, Wykaz najważniejszych oznaczeń. Dotyczy także dalszego tekstu rozprawy. Jest: „SP – stan przewodzenia diod prostownika". Jest to formalnie prawidłowe oznaczenie. Jednak może wprowadzić czytelnika w błąd. Można pomylić je z oznaczeniem sposobu kompensacji szeregowo-równoległej S-P.
- Strona 14, linia 4 i 5 od dołu oraz dalszy tekst rozprawy. Oznaczono odmiany układów jako „(1)" oraz „(2)".Oznaczenia takie mogą wprowadzić czytelnika w błąd, gdyż tak oznacza się numery wzorów.
- Strona 44, wzór (5.4). Błąd redakcyjny. Zmienna E powinna być zapisana jako zmienna zespolona.
- Strona 51, rysunek 5.5b oraz strona 52 rysunek 5.6 i 1 linia tekstu od dołu strony. Wcześniej, na rysunku 5.5b przekładnię transformatora określono literą n. Czemu więc wprowadzono nowe pojęcie przekładni napięciowej oznaczonej literą v (rys. 5.6)?
- Strona 53, wzór 5.41. Wzór ten wydaje się być błędny. Proszę Autora o komentarz lub korektę tego wzoru.

- Strona 54, komentarz do rysunku 5.7. Tekst komentarza nie jest jasny. Na rysunku przedstawiającym „Względne parametry dodatkowych elementów kompensujących" pokazano m.in. charakterystykę dla współczynnika sprzężenia cewek k=1. Jeśli k=1, to transformator nie ma indukcyjności rozproszeń i nie ma co kompensować. Należałoby to odpowiednio skomentować, pisząc np, że w tym przypadku wprowadzenie elementu "dekompensującego" (dodatkowego elementu na zewnątrz transformatora) wymaga wprowadzenia także dodatkowego elementu kompensującego.
- Strona 87, 2 linia od dołu strony. Jest: „... spowodowane zastosowaniem indukcyjnego elementu kompensującego po stronie pierwotnej ..."
  Jest to niezręczne sformułowanie. Charakter indukcyjny elementów schematu zastępczego, zdaniem Autora "jest kompensowany" elementem kompensującym indukcyjnym". Zamiast używać w ogólnym przypadku określeń "elementy kompensujące" lepiej byłoby używać określenia np. elementy dodatkowe, gdyż tylko część z nich, te o charakterze pojemnościowym będzie elementami kompensującymi.
- Strona 89, 7 linia od góry strony. Jest: „ ... prąd jest opóźniony w fazie względem napięcia."
  Mamy tu do czynienia z przebiegami niesinusoidalnymi zarówno jeśli chodzi o prąd jak i napięcie. Kształt prądu jest inny niż kształt napięcia. Jak więc Autor porównuje przesunięcie fazowe tych przebiegów, skoro mają one różne kształty? Stwierdzenie Autora jest nieprecyzyjne.
- Strona 89, rysunek 6.12 i kolejne. Co oznacza litera φ umieszczona na osi poziomej? Autor nigdzie nie definiuje znaczenia tej zmiennej!

7. **Czy rozprawa świadczy o dostatecznej wiedzy autora i znajomości współczesnej literatury z zakresu dyscypliny naukowej, jakiej rozprawa dotyczy?**

Rozdziały 1, 2 opisują stan wiedzy dotyczący podstaw teoretycznych, budowy i zastosowań układów do bezprzewodowego transfery energii elektrycznej z wykorzystaniem sprzężenia indukcyjnego. W rozdziale 3 Autor pokazuje obszary zagadnienia, które wymagają dalszych pogłębionych badań i przedstawia motywacje tych badań oraz cele i tezę rozprawy.
Przedstawione w tych rozdziałach treści wskazują, że Autor rozprawy posiada rozległą wiedzę dotyczącą omawianej w rozprawie problematyki. Bibliografia liczy 88 pozycji. Publikacje Doktoranta (zamieszczone w bibliografii) to jeden artykuł samodzielny i dwa współautorskie. Jedna z publikacji prezentowana była na konferencji międzynarodowej.

8. **Czy autor wykazał umiejętność poprawnego przekonywującego przedstawienia uzyskanych przez siebie wyników (zwięzłość, jasność, poprawność redakcyjna rozprawy)?**

Autor wykazał umiejętność poprawnego przekonywującego przedstawienia uzyskanych przez siebie wyników. Styl pracy jest jasny i zrozumiały. Uważam, że dostrzeżone usterki nie mają wpływu na ogólną, bardzo dobrą ocenę pracy.

9. **Czy i jaka jest przydatność rozprawy dla gospodarki narodowej?**

Przedstawione przez Autora rozwiązanie może mieć znaczny wpływ na rozwój wiedzy i zastosowań układów do bezprzewodowego, indukcyjnego zasilania urządzeń mobilnych i takich, do których bezpośredni dostęp jest utrudniony oraz urządzeń pracujących w środowisku agresywnym lub wybuchowym. Zarówno uzyskane parametry modelu eksperymentalnego jak i wyniki badań wskazywać mogą na duże możliwości aplikacyjne.

10. **Czy rozprawa spełnia wymagania stawiane rozprawom doktorskim przez obowiązujące przepisy?**

Po zapoznaniu się z zakresem badań naukowych i wnioskami zawartymi w recenzowanej rozprawie uważam, że **stanowi ona oryginalne rozwiązanie problemu naukowego** w oparciu o analizę, modelowanie i projektowanie przekształtnika energoelektronicznego do bezprzewodowego, indukcyjnego transferu energii elektrycznej w zastosowaniu do zasilania wielu rodzajów urządzeń.

Uważam, że **dostrzeżone usterki mają jedynie marginalny wpływu na ogólną, bardzo dobrą ocenę pracy**. Dostrzeżone usterki występują sporadycznie i dotyczą przede wszystkim stosowania nieprecyzyjnych zwrotów językowych.

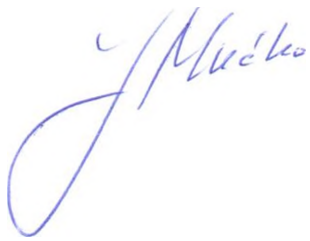
Zawarte w recenzowanej rozprawie rozważania teoretyczne i badania symulacyjne, potwierdzone wynikami badań eksperymentalnych, wskazują na szerokie możliwości ich praktycznego zastosowania. Autor wykazał się dużym zasobem wiedzy teoretycznej, szczegółową znajomością zagadnień objętych tematyką pracy oraz dobrą znajomością literatury specjalistycznej. Jego przygotowanie badawcze zaowocowało umiejętnościami wykorzystania specjalistycznego oprogramowania i aparatury pomiarowej. Wszystko to świadczy o **umiejętności Autora do prowadzenia badań naukowych** pozwalających rozszerzyć wiedzę dotyczącą uprawianej dyscypliny naukowej.

Treść rozprawy jest zrozumiała, zawiera niezbędne sformułowania, zastosowana terminologia jest prawidłowa, a przyjęte oznaczenia i symbole są czytelne. Liczne rysunki ilustrują omawiane zagadnienia. Podsumowując należy stwierdzić, że badania przeprowadzone przez mgra inż. Michała Zellnera są celowe i przydatne zarówno w sensie poznawczym jak i aplikacyjnym. **Stwierdzam, że postawiony w pracy cel**, dzięki zastosowanym metodom badawczym i opracowaniu nowych rozwiązań technicznych, **został osiągnięty**, a **teza udowodniona**.

Wniosek

Przedstawione w rozprawie doktorskiej pt. *„Wybrane zagadnienia układów bezprzewodowego przesyłu energii elektrycznej z silnym sprzężeniem magnetycznym"* zagadnienia związane z analizą, badaniami i zastosowaniem tego typu urządzeń należy uznać za istotne pod względem naukowym, jak i w procesie ich analizy i projektowania.

Pan mgr inż. Michał Zellner wykazał się bardzo dobrą znajomością badanych zagadnień oraz umiejętnością formułowania i rozwiązywania problemów naukowych.

Według mojej oceny, recenzowana praca doktorska mgra inż. Michała Zellnera spełnia wymagania stawiane rozprawom doktorskim, zgodnie z Ustawą o stopniach i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki z dnia 14 marca 2003 r. (Dz.U. z 2017 r. poz. 1789) oraz zgodnie z Ustawą z 3 lipca 2018 r. – Przepisy wprowadzające ustawę - Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz.U. z 2018 r. poz. 1669 z póź. zm.) w dziedzinie nauk inżynieryjno-technicznych, w dyscyplinie automatyka, elektronika i elektrotechnika, **wnoszę o przyjęcie rozprawy i jej dopuszczenie do publicznej obrony**.

Jan Mućko