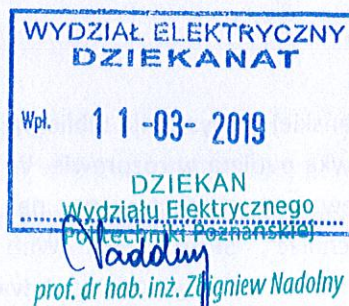


Dr hab. inż. Krzysztof Chwastek, prof. PCz
Instytut Elektroenergetyki
Politechniki Częstochowskiej
Al. Armii Krajowej 17
42-201 Częstochowa



Częstochowa, 8.03.2019 r.

**Recenzja rozprawy doktorskiej mgr inż. Michała Filipiaka
pt. „Indukcyjny przesył energii do systemu dostępu pojazdu samochodowego”,
promotor: prof. dr hab. inż. Ryszard Nawrowski
promotor pomocniczy: dr inż. Jarosław Jajczyk**

1. Podstawa formalna opracowania recenzji

Podstawę formalną opracowania recenzji stanowi stosowna uchwała Rady Wydziału Elektrycznego Politechniki Poznańskiej oraz umowa o dzieło nr 04/49/2019/7 zawarta w dniu 28.01.2019r., podpisana w imieniu Politechniki przez Dziekana Wydziału Elektrycznego, prof. dr hab. inż. Zbigniewa Nadolnego.

2. Tematyka, cel i zakres rozprawy

Praca doktorska pana mgr inż. Michała Filipiaka pt. „Indukcyjny przesył energii do systemu dostępu pojazdu samochodowego” dotyczy aktualnej i rozwijanej w ostatnich latach tematyki bezprzewodowego przesyłu energii. O aktualności zagadnienia świadczyć może fakt publikowania prac poświęconych temu zagadnieniu w znaczących czasopismach o cyrkulacji światowej, np. A. Kurs et al., Wireless Power Transfer via strongly coupled magnetic resonances, Science 317 (2007) 83-86, A. P. Sample et al., Analysis, experimental results, and range adaptation of magnetically coupled resonators for Wireless Power Transfer, IEEE Transactions on Industrial Electronics 58 (2) (2011) 544-553, S. L. Ho et al., A comparative study between novel WiTricity and traditional inductive magnetic coupling in wireless charging, IEEE Transactions on Magnetics 47 (5) (2011) 1522-1525, S. Das Barman et al., Wireless powering by magnetic resonant coupling: Recent trends in wireless power transfer system and its applications, Renewable and Sustainable Energy Reviews 51 (2015) 1525-1552, S. Chatterjee et al., Design optimization for an efficient Wireless Power Transfer system for electric vehicles, Energy Procedia 117 (2017) 1015-1023, D. Kim et al., State-of-the-art literature review of WPT: Current limitations and solutions on IPT, Electric Power Systems Research 154 (2018) 493-502. Z tego względu należy pozytywnie ocenić dobór tematyki rozprawy.

Autor skoncentrował się w pracy doktorskiej nad implementacją układu zasilania systemu dostępu do pojazdu samochodowego, co zapewne ma związek z jego zainteresowaniami, por. przykładowo¹, jak też może wynikać z roli Poznania jako jednego z ważniejszych ośrodków przemysłu motoryzacyjnego w Polsce. Tematyka rozprawy ma silny związek z większością wcześniejszych publikacji Autora, o czym można wnioskować na podstawie raportu wygenerowanego przez

¹ M. Filipiak, J. Jajczyk, R. Nawrowski, Ł. Putz, Urządzenia diagnostyczne w pojazdach samochodowych, Poznań University of Technology Academic Journals „Electrical Engineering” 69 (2012) 227-234
M. Filipiak, J. Jajczyk, Badanie układu turbodoładowania w silnikach spalinowych ZS, Poznań University of Technology Academic Journals „Electrical Engineering” 92 (2017) 73-82

Bibliotekę Politechniki Poznańskiej. W systemie bibliograficznym wykazano 20 rekordów, z tej liczby 16 prac ma związek z tematyką podjętą w rozprawie. W dorobku publikacyjnym Autora przeważają prace konferencyjne, przeważnie prezentowane na konferencjach krajowych (Zastosowania Komputerów w Elektrotechnice², SPETO, E3S Web of Conferences) i międzynarodowych (Computational Problems of Electrical Engineering, Advanced Methods in the Theory of Electrical Engineering). Ogólna ocena dorobku doktoranta powinna zostać oceniona pozytywnie, jako spełniająca wymagania ustawy. Należy jednak stwierdzić, że wskaźniki bibliograficzne są nieco niskie, przykładowo w bazie Scopus zaindeksowano zaledwie trzy prace Autora, a wykazany w tej bazie Jego *h-index* wynosi 1. Recenzent rekomenduje Autorowi, aby spróbował w dalszej swojej działalności naukowo-badawczej publikować prace bezpośrednio w czasopismach indeksowanych przez Web of Science, z tzw. listy filadelfijskiej. Zagadnienia, jakimi się zajmuje, mają tego typu potencjał publikacyjny, co wskazano wyżej.

Celem rozprawy jest opracowanie oraz implementacja układu, realizującego bezprzewodowy przesył energii do systemu dostępu w samochodzie.

Zakres tematyczny rozprawy obejmuje następujące zagadnienia:

- badanie sprawności układów bezprzewodowego zasilania i ładowania urządzeń elektrycznych,
- symulacja pracy układów bezprzewodowego zasilania,
- zaprojektowanie urządzenia pozwalającego na przekazanie energii do wybranego systemu komfortu pojazdów samochodowych,
- wykonanie badań laboratoryjnych.

3. Ogólna ocena rozprawy

Rozprawa obejmuje 168 stron tekstu, z czego 28 stron to załączniki. Zasadniczy tekst rozprawy został pogrupowany w 10 rozdziałach, przy czym końcowe rozdziały mają długość raczej symboliczną (2-4 strony). Rozdział pierwszy stanowi wprowadzenie w tematykę, Autor opisuje w nim wybrane rozwiązania systemów zabezpieczeń pojazdów samochodowych oraz podaje informacje na temat źródeł zasilania tych systemów. W rozdziale drugim Autor przedstawia cel, zakres oraz tezę pracy. Teza sformułowana przez Autora brzmi: Zaprojektowany układ zasilania umożliwi bezprzewodowy transfer wymaganej energii do systemu dostępu pojazdu samochodowego, przyczyniając się jednocześnie do zmniejszenia zanieczyszczenia środowiska przy jednakowym komforcie użytkowania pojazdów. Kolejne rozdziały pracy stanowią konsekwentną próbę udowodnienia powyższej tezy. Recenzentowi po lekturze pracy nasunęła się uwaga, że sformułowanie o zmniejszeniu zanieczyszczenia środowiska nie było do końca szczęśliwie dobrane. Autor jest ewidentnie utalentowanym inżynierem-praktykiem i zaprojektowanie układu zasilania, implementacja prototypu, przeprowadzenie pomiarów i badań symulacyjnych dowodzą, że potrafi formułować problemy badawcze oraz je skutecznie rozwiązywać. Analiza ekonomiczno-ekologiczna zaprojektowanego układu, zawarta w dwustronicowym rozdziale nr 9, stanowi zbiór uwag o charakterze teoretycznym, dotyczących kosztów zakupu baterii oraz wpływu litu zawartego w bateriach na obciążenie środowiska naturalnego. Recenzentowi wydaje się, że w celu jednoznacznego udowodnienia stwierdzenia o możliwym mniejszym wpływie zaproponowanego układu na zanieczyszczenie środowiska najlepiej byłoby wykonać dwa podobne układy zasilania, przy czym jeden powinien zostać zasilony za pomocą baterii, a drugi za pomocą jednego z układów rezonansowych analizowanych w pracy. Następnie należałoby przeprowadzić analizę porównawczą

² Autor od kilku lat pełni rolę członka komitetu organizacyjnego tej konferencji

po odpowiednio długim okresie eksploatacji obu układów. Tego typu podejście stanowiłoby „experimentum crucis” dla praktyka. Z drugiej strony jednak czas realizacji rozprawy doktorskiej uległy znacznemu wydłużeniu. Wnioskowanie tylko na podstawie danych literaturowych i pochodzących z Internetu może w ogólnym przypadku prowadzić do błędów. Oczywiście brak zainstalowanej baterii w zaprojektowanym układzie zasilania przemawia za słusznością stwierdzenia o jego proekologicznym charakterze, pojawia się jednak pytanie, czy tego typu stwierdzenie nie jest trywialne i powinno zostać wyartykułowane jako część tezy. Ta uwaga recenzenta ma charakter polemiczny i nie wpływa w sposób znaczący na ogólnie pozytywną ocenę dokonań Autora.

W rozdziale trzecim Autor dokonał analizy aktualnego stanu wiedzy na temat metod bezprzewodowego przesylu energii. Opisał przykładowe konfiguracje układów impulsowych, przedstawił podstawowe założenia standardu Qi Wireless Power Standard oraz wybrane układy, w których zastosowano zasilanie bezprzewodowe (elektryczna szczoteczka do zębów, urządzenia wskazujące, systemy ładowania urządzeń mobilnych, układy stosowane w technice motoryzacyjnej (immobilisery, systemy ładowania dla pojazdów transportu miejskiego i samochodów elektrycznych)). W rozdziale czwartym Autor przedstawił podstawowe informacje teoretyczne na temat wielkości fizycznych i zależności między nimi, które są istotne do opisu teoretycznego procesu bezprzewodowego przesylu energii. Rozdział piąty, najobszerniejszy w całej pracy (62 strony), poświęcony został dokonaniom własnym Autora. Autor przedstawił w nim założenia projektowe, opisał szczegółowo zastosowany układ pomiarowy oraz opracowaną przez siebie aplikację służącą do optymalizacji parametrów geometrycznych cewek metodą Monte Carlo. W rozdziale tym znalazły się również wyniki symulacji wykonane za pomocą autorskiej aplikacji oraz programu PSpice-Cadence, jak też wyniki pomiarów dla rzeczywistych układów (dwu-, trój- i czterocewkowych). Kolejny rozdział stanowi w pewnym sensie rozwinięcie poprzedniego. Autor przedstawił w nim wyniki badań dla prototypowych układów do przesylu energii do systemu dostępu pojazdu, opracowanych na podstawie wniosków z uprzednio przeprowadzonych testów i symulacji. Konkluzją z badań było stwierdzenie, że zaproponowane układy dwucewkowy i trójcewkowy pozwalają na dostarczenie wymaganej energii do kluczyka dostępu do pojazdu. Układ trójcewkowy wykazywał nieco wyższą sprawność niż jego dwucewkowy odpowiednik. Kolejne trzy rozdziały mają dość symboliczną długość (od jednej do trzech stron) i poświęcone są ogólnie rzecz biorąc zagadnieniom z zakresu kompatybilności elektromagnetycznej oraz analizie ekonomicznej dla zaproponowanego systemu zasilania bezprzewodowego. W rozdziale dziesiątym Autor zawarł wnioski i uwagi końcowe, a w załączniku do pracy zamieścił opracowane przez siebie charakterystyki i wyniki symulacji w formie tabelarycznej. Spis literatury jest stosunkowo obszerny i obejmuje 154 pozycje, z czego 34 to źródła internetowe.

Ogólna ocena rozprawy jest pozytywna. Lektura pracy wskazuje na fakt dogłębnego przeanalizowania przez Autora dostępnych źródeł literaturowych dotyczących bezprzewodowego przekazywania energii. Autor wykazał się zdolnościami w zakresie projektowania eksperymentu badawczego oraz umiejętnościami praktycznymi (przeprowadzenie szeregu badań symulacyjnych, umiejętność tworzenia wyspecjalizowanego oprogramowania w języku C#, wykonanie prototypów cewek nadawczych i odbiorczych z wykorzystaniem technologii druku 3D (rapid prototyping), wykonanie pomiarów na stanowisku pomiarowym, analiza otrzymanych wyników).

4. Uwagi krytyczne i szczegółowe

Oceniając ogólnie pozytywnie przedmiot rozprawy i osiągnięcia Autora, pragnę zwrócić uwagę na mankamenty pracy i kwestie dyskusyjne.

4.1 Uwagi redakcyjne

Praca napisana jest poprawnym i zrozumiałym stylem, co nie oznacza, że jest ona wolna od uchybień.

1. Doktorant nie odmienia imienia serbskiego wynalazcy Nikoli Tesli (str. 5,6);
2. w pracy dość często pomijane są przecinki w miejscach, w których zasady interpunkcji nakazują ich stosowanie, np. w zdaniach pobocznych. Dla odmiany niekiedy pojawiają się one w miejscach nieoczekiwanych, np. str. 123 „... występowanie tzw. skutków biologicznych, czyli wymiernych reakcji ...”;
3. zasady pisowni polskiej zakładają, że separatorem dziesiętnym jest przecinek, podczas gdy w pracy niekiedy pojawia się w tej roli kropka, np. str. 16 „rzędu 1.37 kW z 1 m³”;
4. zdarzają się sporadyczne potknięcia stylistyczne (np. pierwsze zdanie na stronie 17, na tejże stronie zdanie „ ... w publikacji [74] uwzględniono do obliczeń model połowy ...”, str. 62 „kolejne charakterystyki wykonano na autorskim oprogramowaniu”);
5. niekiedy brak jest definicji wszystkich symboli występujących w danej formule, przykładowo „ n ” we wzorze definicyjnym (4.9) nie zostało zdefiniowane, o tym, że jest to liczba zwojów cewki można się dowiedzieć dopiero dwie strony dalej (tekst przed formułą (4.13));
6. różniczki indukcji i odległości we prawie Biota-Savarta (wzór 4.6) oraz funkcja „log” we wzorze (4.10) zapisane zostały kursywą (w tym miejscu recenzent chciałby zarekomendować Autorowi lekturę publikacji prof. dr hab. inż. Krystyna Pawluka pt. „Jak pisać teksty techniczne poprawnie”);
7. rysunki (3.2) i (3.3) zawierają źródła napięcia stałego, a powinny zawierać źródła napięcia przemiennego;
8. na niektórych schematach brak jest prawidłowego oznaczenia węzłów;
9. na rys. 4.10 i 5.8 prąd płynący przez odbiornik jest niepoprawnie oznaczony jako I_1 ;
10. niekonsekwencja w zapisie nazwiska Neumanna (str. 18);
11. niekiedy zdarzają się drobne literówki, np. str. 18 „Simulik’u” – tutaj dodatkowo niepotrzebny jest apostrof; str. 25 „sprawność na poziome”, str. 37 „Impedancje cewki można zapisać”, str. 41 „...jeżeli układ sterujący posiada taka możliwość”, str. 49, podpis pod rysunkiem 5.4 „w technologii FDM”, str. 62 „przyczyną tej różnicy jest wyznaczana analityczne indukcyjność”, str. 125 „w przypadku wystąpienia tego zjawiska może dojść ...”;
12. W macierzy równań obwodowych danych wzorami (5.20) i (5.21) indukcyjność sprzężenia wzajemnego w pierwszym wierszu i trzeciej kolumnie powinna mieć indeks „13”, nie „11”;
13. dane bibliograficzne w niektórych przypadkach są niepełne (przykładowo brak stron).

4.2 Uwagi polemiczne i krytyczne, pytania do Autora

1. W drugim z równań (4.20) opisujących model obwodowy indukcyjnego przesyłu energii Autor najprawdopodobniej „zgubił” spadek napięcia na rezystancji odbiornika;
2. proszę o zweryfikowanie poprawności wyrażenia na impedancję wejściową, zależność (4.27) (znak dla reaktancji pojemnościowej);
3. W tabeli 6.1 Autor podaje wartości indukcyjności rzędu kilku mikrohenrów z dokładnością do trzech miejsc po przecinku; podobnie w tabelach w załączniku do pracy sprawność jest podawana z dokładnością do dwóch miejsc po przecinku – czy to nie przesada?

4. Jeżeli chodzi o wykorzystany w pracy aparat matematyczny, to Autor wyznacza dla kilku konfiguracji zależności na impedancję wejściową, ewentualnie zapisuje równania dla poszczególnych oczek obwodu w postaci macierzowej. Brak jest w pracy prób powiązania w sposób analityczny otrzymanych zależności z wyprowadzoną formułą na sprawność układu. Z treści pracy wynika, że głównym celem badań Autora było opracowanie optymalnej konfiguracji cewek, a jako kryteria optymalności przyjął On maksymalną sprawność układu, ewentualnie poziom mocy wyjściowej. Oczekuję, że podczas obrony dysertacji Autor w przekonujący sposób wykaże umiejętność znalezienia związku analitycznego pomiędzy zależnościami opisującymi przynajmniej jeden z analizowanych schematów a sprawnością układu.
5. Charakterystyki sprawności w funkcji częstotliwości wyznaczone za pomocą Pspice i autorskiego oprogramowania (aplikacji BZU) w niektórych przypadkach różnią się, por. przykładowo ch-ki na rys. 5.25 i 5.26 (str. 67). Proszę o komentarz, co może być przyczyną zaobserwowanych różnic między tymi charakterystykami. Przebiegi sprawności obliczonej z wykorzystaniem oprogramowania BZU (np. rys. 5.26, 5.29) wykazują dwa maksima dla pewnych wartości rezystancji obciążenia. Co może być przyczyną ich występowania?

5. Uwagi końcowe

Rozprawa stanowi oryginalne rozwiązanie problemu naukowego w dyscyplinie Elektrotechnika oraz wykazuje ogólną wiedzę teoretyczną Doktoranta, a także umiejętność samodzielnego prowadzenia przez Niego pracy naukowej. Przedstawione wyżej uwagi polemiczne i krytyczne nie wpływają w znaczący sposób na ogólną ocenę recenzowanej rozprawy.

Stwierdzam, że recenzowana rozprawa doktorska mgr inż. Michała Filipiaka pt. „Indukcyjny przesył energii do systemu dostępu pojazdu samochodowego” spełnia wymagania ustawowe stawiane rozprawom doktorskim (Ustawa o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki z dnia 14 marca 2003 r. - Dz. U. z 2003 r. nr 65, poz. 595 ze zmianami wprowadzonymi Ustawą z dnia 18 marca 2011 oraz późniejszymi zmianami oraz w artykule 187 ustawy Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce z dnia 20 lipca 2018 roku (Dz.U. 2018 poz. 1668)) i wnoszę o jej dopuszczenie do publicznej obrony.

