

10. 05. 2022

Wpłynęło dnia
Zarejestrowano pod nr
Podpis

dr hab. inż. Sławomir Hausman, prof. uczelni

Instytut Elektroniki
Wydział Elektrotechniki, Elektroniki, Informatyki i Automatyki
Politechnika Łódzka
Al. Politechniki 10
93-590 Łódź

Recenzja rozprawy doktorskiej

Autor rozprawy: **mgr inż. Grzegorz Oleszek**

Tytuł: " **Comprehensive methodology for emission level prediction from magnetically coupled nonlinear circuits in automotive**"

Promotorzy: **dr hab. inż. Łukasz Śliwczyński**
dr hab. inż. Cezary Worek, prof. uczelni

Praca wykonana na **Wydziale Informatyki, Elektroniki i Telekomunikacji Akademii Górniczo-Hutniczej**

PODSTAWA OPRACOWANIA

Poniższa recenzja została opracowana na zlecenie Przewodniczącego Rady Naukowej Dyscypliny Automatyka, Elektronika i Elektrotechnika Akademii Górniczo-Hutniczej dra hab. inż. Ryszarda Srokę, prof. uczelni, datowane na 14 stycznia 2022 r.

TEMATYKA, CEL BADAŃ, TEZY

Badania prowadzone przez mgra inż. Grzegorza Oleszka wpisują się w ważną i aktualną tematykę kompatybilności elektromagnetycznej w pojazdach samochodowych i pływających. Współczesne pojazdy o napędzie spalinowym i elektrycznym zawierają coraz więcej zespołów złożonego wyposażenia elektrycznego i elektronicznego, od którego zależy nie tylko komfort i parametry jezdne ale także bezpieczeństwo pasażerów. Zjawiska występujące w rozległych obwodach elektrycznych pojazdów, w tym możliwość występowania silnych impulsów prądowych sprzyjają wzajemnemu zaburzaniu pracy poszczególnych podzespołów i modułów elektronicznych, które może następować drogą przewodzenia, sprzężeń pojemnościowych lub indukcyjnych oraz drogą emisji promieniowanej. Warto zauważyć, że problem zaburzeń i związanych z nimi niebezpieczeństw staje się coraz poważniejszy wraz ze zwiększaniem się poziomu autonomii pojazdów, a więc w konsekwencji złożoności ich wyposażenia w układy elektryczne i elektroniczne. Dodatkowo, występowanie nieliniowości powoduje, że wyższe harmoniczne prądów o relatywnie małych częstotliwościach podstawowych mogą zakłócać odbiorniki urządzeń radiokomunikacyjnych w pojazdach.

Mimo, że badania naukowe, uregulowania normalizacyjne i praktyka przemysłowa w zakresie kompatybilności elektromagnetycznej są bardzo bogate, to nowe obszary zastosowań i rozwój w przemyśle motoryzacyjnym stawiają nowe wyzwania. Zakres badań ulega ciąglemu rozszerzaniu ze względu na postępujący rozwój techniki oraz coraz ostrzejsze wymagania zwłaszcza w zakresie

bezpieczeństwa i niezawodności. Jednym z wyzwań staje się prognozowanie poziomu emisji zaburzeń promieniowanych w nieliniowych obwodach sprzężonych magnetycznie. Warto podkreślić, że szybkie tempo opracowywania nowych urządzeń elektrycznych/elektronicznych i wprowadzanie ich kolejnych wariantów skłania do skrócenia czasu (i kosztów) badań kompatybilnościowych. Tym właśnie, ważnym, zagadnieniem zajął się Autor.

Autor w podrozdziale „Work thesis” sformułował następującą tezę:

Therefore, this work argues that the proposed methodology of predicting the radiated emission levels satisfies the ± 6 dB limit for the carrier signal and the dominant harmonic spurs within the LF band.

Wydaje się, że w swoim sformułowaniu teza powinna jakoś charakteryzować proponowaną metodykę. Określenie „the proposed methodology” tego nie wyjaśnia. Ponadto, uważam, że tłumaczenie polskiego słowa „teza” jako „thesis”, choć często stosowane, nie jest właściwe i powinno raczej brzmieć „research claim”. Niezależnie od powyższych uwag, cel i zakres pracy zostały wystarczająco jasno opisane w rozdziale 1, a podanie tez nie jest wymogiem formalnym w pracach doktorskich.

Autor prowadził swoją pracę przy użyciu metod teoretycznych, symulacji komputerowych oraz badań empirycznych. Opiniowana praca ma więc charakter teoretyczno- doświadczalny.

OMÓWIENIE STRONY FORMALNEJ ROZPRAWY

Rozprawa, wraz z dodatkiem i bibliografią ma objętość 152 stron. Nie obejmuje to spisu treści, podziękowań i streszczenia, które ponumerowano odrębnie. Układ uważam za dostosowany do tematyki i zakresu badań opisywanych przez Autora. Omówienie układu rozprawy ograniczę do stwierdzenia, że jest ona podzielona na siedem rozdziałów, włączając w to wstęp i podsumowanie. Rozprawę napisano w języku angielskim, na ogół jasno i poprawnie pod względem językowym. Pewne uwagi krytyczne, dotyczące niejasności sformułowań, zawarłem w dalszej części recenzji. Drobne uchybienia językowe, np. pewne błędy stylistyczne i interpunkcyjne, uważam za zbędne. Bibliografia zawiera 244 pozycje (artykuły i książki naukowe, witryny internetowe oraz materiały firmowe), w tym 4 pozycje autorstwa Doktoranta.

OCENA NAUKOWEJ WARTOŚCI ROZPRAWY

Przystępując do oceny wartości naukowej dysertacji, chcę zaznaczyć, że Autor udokumentował w niej przeprowadzone przez siebie rozważania i badania na tyle szczegółowo, że pozwala to na ich ocenę merytoryczną przez czytelnika, w tym przez recenzenta. Na podkreślenie zasługuje dobre rozeznanie w stanie wiedzy na temat tych zagadnień kompatybilności elektromagnetycznej, które są istotne dla badań prowadzonych przez Autora. Bibliografia jest bardzo bogata, zawiera 244 pozycje (artykuły i książki naukowe, witryny internetowe oraz materiały firmowe), w tym 4 pozycje autorstwa Doktoranta. Autor uwzględnił także najnowsze materiały (z lat 2021 i 2022), opublikowane w ostatnich miesiącach przed złożeniem dysertacji. Źródła są, moim zdaniem, reprezentatywnie i poprawnie dobrane, a także są powoływane w dysertacji we właściwym kontekście. W każdym rozdziale rozprawy Doktorant przedstawił aktualny stan wiedzy, wskazując jednocześnie ograniczenia metod znanych z literatury, które miałyby być wyeliminowane dzięki rozwiązaniom proponowanym w dysertacji. Praca jest bardzo obszerna i zawiera dużo materiału w postaci wzorów matematycznych, wyników symulacji i wyników pomiarów. Na uznanie zasługuje opanowanie przez Autora zarówno podstaw teoretycznych, różnych

metod symulacyjnych, techniki pomiarowej (w tym w elektromagnetycznej komorze bezodbiowej) oraz zagadnień normalizacyjnych.

Do oryginalnych wyników pracy zaliczam:

1. Zaproponowanie metody określania poziomu zaburzeń promieniowanych wprowadzanych przez obwody nieliniowe za pośrednictwem cewek sprzężonych indukcyjnie. Zaproponowana metoda pozwala na modelowanie zaburzeń dla złożonych systemów.
2. Zaproponowanie nowych modeli cewek, które pozwalają m.in. uwzględnić różne niedoskonałości (odstępstwa od geometrycznej regularności) ich uzwojenia, jakie występują w masowej produkcji. Odstępstwa od regularności zostały przyjęte na podstawie badania przekrojów rzeczywistych cewek.
3. Uwzględnienie różnych przestrzennych położzeń cewek, w tym ich wzajemnego przesunięcia osiowego, promieniowego i kąтового. Pozwoliło to na uzyskanie znacząco większej dokładności modelowania sprzężeń. Zagadnienie to, choć może się wydawać już dawno rozwiązane, wcale takim nie jest, co np. ujawnia się w bardzo podobnych badaniach nad wzajemnymi sprzężeniami rezonatorów pierścieniowych w metamateriałach elektromagnetycznych, czy w modelowaniu maszyn elektrycznych. Badania w tym zakresie są nadal prowadzone a ich wyniki są publikowane w wysoko punktowanych czasopismach.
4. Zbadanie możliwości i ograniczeń modelowania z uwzględnieniem nieliniowości.
5. Eksperymentalna walidacja części opracowanych przez siebie metod oceny zaburzeń wywoływanych przez emitujący obwód nieliniowy, z wykorzystaniem pomiarów wykonanych w komorze semi-bezodbiowej w konfiguracji zgodnej z normą CISPR 25. Potwierdzenie, że dzięki zaproponowanej metodyce możliwe jest przewidywanie poziomów emisji promieniowanej w przedziale ± 6 dB dla sygnału nośnego i dominujących harmonicznym w paśmie LF.

Podsumowując ten punkt recenzji uważam, że Doktorant dobrze poznał stan wiedzy, właściwie wskazał i umotywował (aspektami praktycznymi, w tym ekonomicznymi) kierunki swoich badań, zastosował właściwe metody badawcze. Opisane wyniki badań stanowią samodzielny dorobek Autora i są oryginalne w skali światowej.

UWAGI KRYTYCZNE

Nie dostrzegłem w rozprawie żadnych fundamentalnych usterek merytorycznych, jednak z recenzenckiego obowiązku wskażę kilka dostrzeżonych przeze mnie błędów i słabszych stron:

1. Autor stwierdza (str. 2) „Therefore, to allow accurate determination of low-level disturbances with a presence of a relatively high ambient noise, mentioned standards [2, 4] allow the use of the reduced measurement bandwidth (from default 9 kHz or 10 kHz to 1 kHz) in the LF. In that case, the peak values remain unchanged, yet the monitored noise floor is lowered.” To twierdzenie nie jest bezwzględnie prawdziwe i zależy od poziomu wartości szczytowych względem poziomu szumu.
2. Tytuł podrozdziału „Work thesis” (co prawdopodobnie w języku polskim miałoby oznaczać „Teza pracy”) powinien raczej mieć postać „Thesis research claim”.

3. Nie wiadomo jakie pozycje literatury oznacza „recent works” w zdaniu „All the above parameters were considered in recent works as constant factors representing axial e_a and radial e_r displacements.” (str. 21). Należało powołać się na konkretne pozycje z wykazu literatury.
4. Nie jest jasne jakiego narzędzia symulacyjnego użyto do uzyskania rozkładów gęstości prądu zwizualizowanych na rys. 2.6. (str. 14)
5. Co oznacza „tight coupling” oraz „possible to shrink more” w zdaniu „The asymmetrical distribution of inductance values shown in Figure 2.9 results from the tight coupling of turns, possible to shrink more only due to reduced wire diameter and insulation thickness.” (str. 23)?
6. Które wzory z podrozdziału 2.2 wykorzystano do wyznaczenia wartości modułu impedancji i fazy zobrazowanych na rys. 2.13 (str. 26)?
7. Wyrażenie „on the contrary” zostało błędnie użyte w zdaniu „The presented solution employing 2D simulation showed a satisfactory correlation with the measured impedance of the coil samples on the contrary.” Przypuszczam, że zamierzony przez Autora sens zdania wymagałby konstrukcji typu „By contrast, the presented solution employing 2D simulation showed a satisfactory correlation with the measured impedance of the coil samples” (str. 30).
8. Na rys. 3.1 użyto czcionki bezszeryfowej, która uniemożliwia odróżnienie prądów I (na rysunku jest l) od długości l (na rysunku jest l) (str. 31).
9. Str. 34: „is the complex numer” \rightarrow „is a complex numer”.
10. Str. 37.: „The attempts to simulate the complete multiturn windings consumed more than 22 .. 28h, with frequent issues related to the convergence of calculations.” Należałoby w tym miejscu podać zastosowaną metodę obliczeniową i jej implementację oraz wykorzystane zasoby obliczeniowe.
11. Oznaczenia zmiennych we wzorze (34) i na rys. 3.7 powinny być chyba ze sobą zgodne, ale nie są, np. zmienna g nie pojawia się na rys. 3.7 (str. 38).
12. Tytuł sekcji „Evaluation results” (str. 40) powinien raczej brzmieć „Experimental model validation results”. „Evaluation results” ma zbyt ogólne znaczenie i nie daje czytelnikowi pojęcia, czego ta część pracy będzie dotyczyła.
13. Czy zamiast „Base calibration” (str. 59), nie powinno być „Basic calibration”?
14. Do rozwiązania których konkretnie równań wykorzystano pakiet ode45? Należałoby podać ich numery. (str. 74)
15. Str. 116: „part of dB” \rightarrow a fraction of dB?
16. Nie jest jasne co oznacza „frequency offset” i jakie relacje fazowe ma na myśli Autor we fragmencie (str. 123): „Capabilities and limitations of the nonlinear low-power characterization have been investigated and discussed within the next major step. First, the existing gap in the available instrumentation was identified in the low-frequency band. Then, the complete solution was

proposed to overcome the limitation in the frequency offset measurements of the harmonic spurs (including their phase relations).” Gdzie to zagadnienie zostało omówione w dysertacji?

17. „The relative expanded uncertainty of the proposed solution was estimated as 3.2 % (with the option to improve it further) in the case of the angle measurement, which was found very satisfactory.” (str. 124) Z jakiego punktu widzenia, w porównaniu z czym lub według jakiej miary ten wynik jest zadowalający?
18. „That resulted in accurate representation (below 2 %) of the coils, which supported reliable estimation of the mutual inductance in the next step.” Prawdopodobnie w nawiasie powinno być (modelling error below 2%). (str. 133). Podobnie nieprecyzyjne jest określenie dokładności/błędów w kolejnym paragrafie: „(better than 0.5 % in a case of a ferrite coil)”, (4 % maximum difference). Nie wiadomo co jest lepsze od czego i jaką maksymalną różnicę Autor ma na myśli.

Pomimo powyższych uwag, ogólny poziom merytoryczny dysertacji oceniam wysoko.

PODSUMOWANIE OCENY ROZPRAWY I WIEDZY DOKTORANTA

Opisane badania odpowiadają na ważne i aktualne potrzeby w zakresie badania i zapewniania kompatybilności elektromagnetycznej w przemyśle samochodowym. Praca zawiera oryginalne wyniki, które rozszerzyły wiedzę w przedmiotowym zakresie. Najważniejsze z nich wymieniłem we wcześniejszej części recenzji. Pan mgr inż. Grzegorz Oleszek omawia zagadnienia ujęte w pracy kompetentnie i z uwzględnieniem aktualnego stanu wiedzy. Autor opublikował część wyników przedstawionych w swojej dysertacji w artykule [1] w czasopiśmie *Progress In Electromagnetics Research C*, vol. 92, pp. 87-100, 2019. (40 pkt. w ministerialnym wykazie czasopism) oraz w trzech komunikatach konferencyjnych [2, 3, 4] opublikowanych w recenzowanych materiałach konferencji międzynarodowych. Listę tych pozycji przytaczam poniżej, ponieważ Doktorant nie wyodrębnił jawnie swoich publikacji w treści dysertacji:

- [1] G. Oleszek, "2D Disturbance Map of Low-Power Front-End Circuits in Low Frequency Band," *Progress In Electromagnetics Research C*, vol. 92, pp. 87-100, 2019.
- [2] G. Oleszek, "Coexistence of the wireless charger and low-power circuit in a car interior," *2021 IEEE 19th International Power Electronics and Motion Control Conference (PEMC)*, pp. 237-242, 2021.
- [3] G. Oleszek, "RF disturbances from magnetically coupled nonlinear AFE circuit under LF band," in *EPNC 2020 Electromagnetic Phenomena in Nonlinear Circuits : XXVI symposium*, Torino, Italy, 2020.
- [4] G. Oleszek, "Estimation of the Operating Range of Automotive Key Fobs during a Radiated Emissions Test under a Low Frequency Band," *2019 MIXDES - 26th International Conference "Mixed Design of Integrated Circuits and Systems*, pp. 350-355, 2019.

Powyższe, recenzowane, osiągnięcia potwierdzają pozytywną ocenę międzynarodowego środowiska naukowego dla pracy badawczej Doktoranta (przynajmniej w opublikowanej ich części), co jest moim zdaniem istotne i powinno być brane pod uwagę przy ocenie materiału składającego się na rozprawę doktorską.

Podsumowując tę część recenzji, uważam że p. mgr inż. Grzegorz Oleszek w swojej rozprawie samodzielnie uzyskał znaczące wyniki badań naukowych oraz wykazał się dużą wiedzą z zakresu dyscypliny *automatyka, elektronika i elektrotechnika*, w której prowadzony jest przewód.

ZGODNOŚĆ Z WYMAGANIAMI USTAWOWYMI I KONKLUZJA

Po zapoznaniu się z przedłożoną mi do recenzji dysertacją mgr inż. Grzegorza Oleszka, stwierdzam z przekonaniem, że spełnione są wymagania Art. 187 ustawy "Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce" z dnia 20 lipca 2018 roku (Dz. ust. 2018, poz. 1668 z późn. zmianami), gdzie mowa o oryginalnym rozwiązaniu problemu naukowego, ogólnej wiedzy teoretycznej kandydata w danej dyscyplinie naukowej oraz umiejętność samodzielnego prowadzenia pracy naukowej. W związku z tym, stawiam wniosek o przyjęcie tego opracowania jako rozprawy doktorskiej w dyscyplinie *automatyka, elektronika i elektrotechnika* i dopuszczenie mgr inż. Grzegorza Oleszka do publicznej obrony.

Łódź, 3 kwietnia 2022 r.



Sławomir Hausman