

Gdańsk, 20.01.2021

dr hab. inż. Piotr Kowalczyk, prof. uczelni
Politechnika Gdańska
Wydział Elektroniki, Telekomunikacji i Informatyki

RECENZJA ROZPRAWY DOKTORSKIEJ

Tytuł: **Resonance methods for microwave characterization of ferromagnetic spheres**

Tytuł w języku polskim: **Metody rezonansowe charakteryzacji mikrofalowej kulek ferromagnetycznych**

Autor: **mgr inż. Adam Pacewicz**

Promotor: **dr hab. inż. Bartłomiej Salski, prof. uczelni**

Dyscyplina: **Automatyka, Elektronika i Elektrotechnika (Elektronika)**

1. Informacje ogólne o opiniowanej pracy

Recenzja powstała na zlecenie Rady Naukowej Dyscypliny Automatyka, Elektronika i Elektrotechnika Politechnik Warszawskiej – pismo RPW/19782/2020 N z dnia 30.12.2020 wystosowane przez Przewodniczącą Rady Dyscypliny AEiE, prof. dr. hab. inż. Tomasza Stareckiego.

Praca ma charakter głównie eksperymentalny i dotyczy metod pomiarowych parametrów magnetycznych materiałów ferromagnetycznych, w szczególności szerokości linii rezonansu ferromagnetycznego (ΔH) oraz magnetyzacji nasycenia (M_s) dla kulek żyromagnetycznych (mono- i polikrystaliczne kulki granatu itrowo-żelazowego) i rodzajów poprzecznych elektrycznie. Badania wykonywane były w szerokim zakresie częstotliwości mikrofalowych (od 1 do około 30 GHz).

Rozprawa składa się z czterech podstawowych części (rozdziałów) oraz czterech uzupełnień które załączono do pracy bezpośrednio w postaci publikacji naukowych (trzy z nich to artykuły w renomowanych czasopismach naukowych o wysokim wskaźniku cytowań – IF, jedna to komunikat konferencyjny).

W rozdziale pierwszym autor przedstawił aktualny stan wiedzy, cele, motywację oraz sformułował trzy twierdzenia/tezy (w wolnym tłumaczeniu):

- zależność szerokości linii rezonansu ferromagnetycznego od wewnętrznego pola magnetycznego może być sparametryzowana modelem liniowym (parametry o fizycznej interpretacji);
- model elektrodynamiczny rodzaju dominującego w kulkach żyromagnetycznych można wykorzystać do modelowania jego sprzężenia z modami wnęki prostokątnej, co umożliwi określenie szerokości linii z pomiarów częstotliwości niezależnie od poziomu sprzężenia;
- model elektrodynamiczny rodzaju dominującego w sferach ferromagnetycznych może być zastosowany do pomiarów ich magnetyzacji nasycenia i pozwala na poprawę dokładności pomiaru.

Drugi rozdział stanowi szczegółowe wprowadzenie teoretyczne do omawianych zagadnień. Zawiera klasyfikację materiałów magnetycznych, wyjaśnia istotę i znaczenie tensora przenikalności magnetycznej, tłumaczy równanie charakterystyczne (z uwzględnieniem skończonej przewodności ścianek wnęki). Na końcu rozdziału opisane są metody analizy rodzajów rezonansowych w materiałach namagnesowanych oraz metody pomiaru szerokości linii rezonansu ferromagnetycznego oraz magnetyzacji nasycenia.

Rozdział trzeci jest z pewnością najważniejszym elementem rozprawy i stanowi opis oryginalnego wkładu własnego mgr. inż. Adama Pacewicza. W pewnym sensie jest to streszczenie załączonych do pracy publikacji zawartych w uzupełnieniach A-D. Część ta zawiera między innymi uzasadnienie postawionych wcześniej tez. Uzupełnienie A (publikacja JCR, IF=3.998) dotyczy wykorzystania zamkniętego układu sprzęgającego w postaci wnęki podkrytycznej, który umożliwia dokładny pomiar dobroci, a przez to precyzyjne określenie szerokości linii rezonansu ferromagnetycznego dla różnych kulek żyromagnetycznych (dziesięciu, o różnych średnicach i magnetyzacjach nasycenia). Otrzymane wyniki potwierdziły, że zależność szerokości linii rezonansu ferromagnetycznego od pola jest (prawie idealnie) liniowa i może zostać zamodelowana dwoma parametrami posiadającymi bezpośredni sens fizyczny. Wykazano także niewielki wpływ strat związanych ze ścianami wnęki. Stanowi to potwierdzenie pierwszej ze sformułowanych tez. W pracy przytoczonej w uzupełnieniu B (publikacja JCR, IF=2.286) porównano różnego typu algorytmy przetwarzania danych pozyskiwanych eksperymentalnie (wnęka prostokątna), a otrzymane wyniki usystematyzowano. Ponadto, opracowano i zweryfikowano (w oparciu o trzy typy mono- i polikrystalicznych kulek granatu itrowo-żelazowego) nowy algorytm oparty na równaniu charakterystycznym, pozwalający na uzyskanie precyzyjnej wartości szerokości linii, niezależnie od poziomu sprzężenia pomiędzy rodzajami rezonansowymi badanej próbki i rodzajami rezonansowymi samej wnęki (potwierdzenie tezy drugiej). W uzupełnieniu C (komunikat konferencyjny) zaprezentowano wyniki badań związku pomiędzy dobrocią a szerokością linii rezonansu. Pokazano, że błędy pomiarowe w eksperymentach z wnęką podkrytyczną mogą być znaczące w przypadku mniejszych szerokości linii rezonansu ferromagnetycznego i dużych elektrycznie próbek. Publikacja zaprezentowana w uzupełnieniu D (publikacja JCR, IF=2.717) dotyczyła stosowalności równania charakterystycznego do wyznaczania wartości magnetyzacji nasycenia w oparciu o różnice częstotliwości rezonansowych. Zaproponowane podejście zweryfikowano dla kilku różnych próbek, potwierdzając jednocześnie skuteczność i precyzję otrzymanych wyników. Publikacja ta stanowi uzasadnienie dla sformułowanej wyżej trzeciej tezy.

Ostatni rozdział jest podsumowaniem osiągnięć autora, a tym samym jego wkładu w rozwój dyscypliny. Wyciągnięte wnioski są spójne, logiczne i poparte otrzymanymi wcześniej wynikami. Na końcu rozdziału zestawione zostały możliwe kierunki dalszego rozwoju.

Na bibliografię pracy składają się 64 publikacje, w tym pozycje książkowe oraz aktualne artykuły opublikowane w renomowanych czasopismach branżowych.

2. Krytyczny przegląd formy i treści rozprawy

Podsumowując część recenzji zawartą w punkcie pierwszym można stwierdzić, że cel i tezy rozprawy zdefiniowane są jasno i jednoznacznie. Rozdziały ułożone są w sposób tworzący logiczną

całość, a odpowiedni dobór literatury dopełnia przekazywane treści. Pomimo, że liczba pozycji w bibliografii nie jest wysoka, to moim zdaniem wystarczy ona do stworzenia pełnego obrazu rozważanych zagadnień.

Wysoki poziom rozprawy potwierdza fakt, że jest ona poparta publikacjami w prestiżowych czasopismach naukowych o znaczącym wskaźniku cytowań (IF). Jest to potwierdzenie nie tylko poprawności przeprowadzonych badań, ale także ich użyteczności i wagi na arenie międzynarodowej. Jest to z pewnością najmocniejsza strona rozprawy. W głównej treści rozprawy autor odnosi się jednak wyłącznie do trzech publikacji z listy JCR (Uzupełnienia A, B i D) oraz jednego komunikatu konferencyjnego (Uzupełnienie C). Jednocześnie autor deklaruje bliski związek rozprawy z sześcioma pracami z listy JCR, których jest współautorem. Podobnie jest w przypadku komunikatów konferencyjnych – tu także autor deklaruje bliski związek z sześcioma pracami, jednak odnosi się bezpośrednio tylko do jednej z nich. W mojej opinii dorobek naukowy autora pozwalałby na przygotowanie pracy o znacznie szerszym zakresie, oczywiście nie zmienia to mojej wysokiej oceny rozprawy.

Jeśli chodzi o słabe strony pracy, to niestety autorowi nie udało się uniknąć drobnych usterek językowych (np. str. 26, linia 14) i edycyjnych (np. paragraf 2.9.2), jednak nie mają one żadnego wpływu na wartość merytoryczną pracy. Nie udało się także wyeliminować całkowicie niewielkich potknięć w formalizmie matematycznym. Na przykład wzór (1) definiuje moment magnetyczny jako wartość skalarną, co nie jest błędem, jednak już do określenia magnetyzacji – patrz wzór (5) musi on być zdefiniowany wektorowo (a staje się on wektorem dopiero we wzorze (13)). Podobne niekonsekwencje występują we wzorach (21), (22) i dalej w (24). Jednak uważam, że także te usterki nie rzutują na przekazywaną treść i jej wartość merytoryczną. Tym samym uważam, że wspomniane kwestie te nie wymagają dodatkowego komentarza ze strony autora.

Poza oceną samej rozprawy doktorskiej mgr. inż. Adama Pacewicza na szczególną uwagę zasługuje ogólny dorobek naukowy doktoranta, w szczególności chodzi tu o działalność publikacyjną. Doktorant jest współautorem 8 publikacji w najbardziej prestiżowych czasopismach naukowych oraz 14 komunikatów konferencyjnych.

3. Podsumowanie

Rozprawa doktorska mgr. inż. Adama Pacewicza wyróżnia się systematycznością i wnikliwością, świadczy o posiadanej przez doktoranta wiedzy teoretycznej i praktycznej. Jednocześnie praca ta jest ważnym przyczynkiem do badań nad materiałami magnetycznymi w dyscyplinie Automatyka, Elektronika i Elektrotechnika (Elektronika). Moim zdaniem spełnia (nawet z nadmiarem) wymagania określone w art. 13 ust.1 Ustawy z dnia 14.03.2003r. o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki (Dz. U. z dnia 21.06.2016 r., poz. 882). W związku z powyższym, **wnioskuję o dopuszczenie mgr. inż. Adama Pacewicza do dalszych etapów przewodu doktorskiego.**

Poziom merytoryczny pracy oraz fakt, że wyniki badań zostały szeroko opublikowane w renomowanych czasopismach naukowych sprawia, że dodatkowo **wnioskuję o rozważenie wyróżnienia pracy.**

dr hab. inż. Piotr Kowalczyk