

prof. dr hab. inż. Stanisław Radkowski
Instytut Pojazdów
Politechniki Warszawskiej

Warszawa 15.01.2020 r.

**Recenzja rozprawy doktorskiej
mgr inż. Piotra Gazdy pt.**

„Zastosowanie zjawiska gigantycznej magnetoimpedancji w taśmach ze stopów amorficznych w budowie sensorów pola magnetycznego”

Podstawa prawna opracowania opinii:

*Pismo Pani Prof. Natalii Golnik, Dziekana Wydziału
Mechatroniki, nr WMt.521.31.2019 z dnia
07.10.2019 r.*

1. Uwagi o sformułowanym zadaniu

Czujniki pola magnetycznego wykorzystywane są nie tylko do pomiaru pola magnetycznego, ale także do bezstykowych pomiarów innych wielkości w tym przesunięć, prędkości obrotowe, kątów obrotu czy biosygnatów oraz rejestracji wyników eksperymentów w badaniach nieniszczących. W latach 80-tych ubiegłego wieku zwrócono uwagę na zjawisko gigantycznej magnetorezystancja objawiające się występowaniem dużych zmianach rezystancji wielowarstwowej struktury magnetycznej w funkcji zewnętrznego pola magnetycznego. Otrzymane wyniki przyczyniły się do wzrostu zainteresowania zjawiskiem, polegającym na dużych zmianach impedancji elementu ferromagnetycznego (taśma, drut lub błona) przewodzącego prąd elektryczny w obecności zewnętrznego pola magnetycznego. Zaobserwowane zmiany impedancji wynosiły nawet kilkaset procent, stąd nazwa -gigantyczna magnetoimpedancja, w skrócie GMI (Giant Magnetoimpedance), które występuje w bardzo miękkich materiałach magnetycznych, przede wszystkim w taśmach i drutach amorficznych.

Jak Doktorant podkreśla w rozprawie, możliwość różnorodnego zastosowania tego typu sensorów, szczególnie ich przydatność w pomiarach lokalnych zmian mierzonych parametrów a przede wszystkim możliwość kształtowania zjawiska gigantycznej magnetoimpedancji w zależności od struktury i składu amorficznego stopu, zewnętrznego

pola magnetycznego, częstotliwości prądu a szczególnie przebiegu procesu wyżarzania, sprawiły, że wspomniana tematyka stała się wielce inspirująca, zarówno jako zadanie naukowe, ale również jako wyzwanie techniczne.

Dlatego podjęcie próby zaprojektowania sensora i jego weryfikacji w badaniach laboratoryjnych oraz wskazanie możliwych na tej podstawie algorytmów oceny i ich wpływu na przyjęte rozwiązania projektowe uważam za szczególnie interesujące. Mając na uwadze obecny stan wiedzy w tym zakresie należy uznać, że cele rozprawy sformułowane są poprawnie, a tematyka pracy ma duże znaczenie naukowo–poznawcze i aplikacyjne.

2.Charakterystyka pracy

Opiniowana praca składa się z dziesięciu rozdziałów, spisu literatury, zestawienia przyjętych oznaczeń, streszczeń w języku polskim i angielskim i zajmuje 119 strony. Wykaz literatury obejmuje 150 pozycji. Wybór literatury obejmuje w zdecydowanej większości pozycje (117) sprzed ostatnich pięciu lat.

3.Ogólna ocena rozprawy

Zagadnienia podjęte w pracy zostały przedstawione w dziesięciu rozdziałach, które w szczególności zawierają:

- a) rozdział pierwszy, wprowadzenie w tematykę rozprawy ze szczególnym podkreśleniem aplikacyjnego znaczenia podjętego zagadnienia i nakreśleniem głównych elementów możliwego rozwiązania w odniesieniu do materiałów amorficznych;
- b) rozdział drugi, zawiera przegląd prac wykonanych w rozprawie oraz sformułowaną tezę pracy- "Możliwe jest zbudowanie sterowanego cyfrowo ,kompensacyjnego sensora pola magnetycznego, wykorzystującego zjawisko gigantycznej magnetoimpedancji w taśmach ze stopów amorficznych"
- c) rozdział trzeci zawiera opis wiedzy w szczególności: najważniejsze wiadomości o GMI wraz z przeglądem modeli stosowanych w badaniu sensorów tego typu z uwzględnieniem opisu materiałów w tym zagadnienia impedancji ferromagnetycznej materiału; analizy zjawiska w funkcji zakresu częstotliwościowego; następnie Autor przedstawia modele teoretyczne zjawiska GMI ; możliwości analizy krzywej GMI; stosowane sensory pól magnetycznych; konstrukcje prototypowe sensorów pola magnetycznego wykorzystujące zjawisko GMI ; nowoczesne materiały magnetyczne

- w tym magnetyki amorficzne oraz analizę wpływu relaksacji termicznej i termomagnetycznej na właściwości materiałów amorficznych
- d) rozdział czwarty zawiera opis kryteriów wyboru materiałów;
 - e) w rozdziale piątym Autor skupia się nad takimi zagadnieniami jak prezentacja metodyki badań, opracowanych i wykorzystanych stanowisk badawczych, w szczególności przedstawione są: stanowisko do badania właściwości magnetycznych badanych materiałów oraz stanowisko do indukowania anizotropii materiału w procesie relaksacji termomagnetycznej;
 - f) w rozdziale szóstym Doktorant zawiera wyniki własnych badań eksperymentalnych dla wybranych materiałów w stanie wyjściowym i poddanych procesowi relaksacji termomagnetycznej oraz analizuje wpływ częstotliwości na efekt GMI
 - g) rozdział siódmy to prezentacja metody modelowania zjawiska w taśmach amorficznych; całość uzupełnia analiza rezultatów modelowania sygnałów pomiarowych;
 - h) rozdział ósmy Doktorant wykorzystał do zaprezentowania opracowanego sensora do pomiaru pól magnetycznych wykorzystującego zjawisko magnetoimpedancji; opisu koncepcji zaproponowanego sensora; przedstawienia sposobu doboru materiału na rdzeń sensora; projektu i modelu proponowanego układu; opisu wykonania prototypu sensora oraz wyniki badań właściwości użytkowych proponowanego sensora;
 - i) rozdziały dziewiąty i dziesiąty zawierają odpowiednio podsumowanie pracy, wnioski końcowe oraz kierunki dalszych prac: w podsumowaniu Autor eksponuje najważniejsze osiągnięcia pracy w tym zaproponowany model i opracowaną procedury modelowania, a uzupełnieniem podsumowania jest omówienie dalszych badań i możliwości szerszej aplikacji proponowanych rozwiązań.

Całość przeprowadzonych wywodów jest bardzo interesująca, a przedstawiony materiał wskazuje na bardzo dobre przygotowanie warsztatowe Kandydata.

4. Uwagi szczegółowe i zapytania

W trakcie czytania rozprawy nasuwa się kilka uwag i refleksji.

Doktorant w skrótowy sposób ujmuje zagadnienia wymogów technologicznych. Przykładowo zwraca się uwagę na wpływ gładkości powierzchni taśm amorficznych w procesie ich wytwarzania na obniżenie koercji, szczególnie gdy są wykonane z materiałów magnetycznie miękkich. Przeprowadzenie obróbki cieplnej powoduje relaksację amorficznej struktury, co może istotnie zmniejszyć istniejące wcześniej

naprężenia a tym samym występująca anizotropia magnetyczna i utrwalenia granic domen w znacznym stopniu mogą ulec zmianie. Równocześnie zauważa się, że relaksacja naprężeń podczas obróbki cieplnej jest efektywnym sposobem polepszania właściwości magnetycznych a przy podwyższaniu temperatury wyżarzania powyżej pewnej wartości zależnej od temperatury krystalizacji stopu amorficznego obserwuje się silny wzrost koercji H_c . Wydaje się, że pogłębione studia nad tymi zagadnieniami mogłyby prowadzić do interesujących wniosków odnośnie projektowanych sensorów.

W paragrafie szóstym Autor przedstawiając wyniki badań przeprowadzonych eksperymentów pozostawia czytelnikowi możliwość interpretacji podjętych analiz statystycznych, które mogą mieć istotny wpływ na dokładności wyznaczenia parametrów przyjętych modeli. Sądzę, że odpowiedni komentarz dałby możliwość czytelnikowi łatwiejszego śledzenie przedstawionych w tym punkcie wywodów. Co szczególnie ze względu na znaczenie przeprowadzonych eksperymentów. Szczególnie wiele miejsca poświęcił Autor określeniu wpływu wyżarzającego prądu na wyznaczenie charakterystyki indukcji B w funkcji pola magnesującego H . Badaniom poddano sześć różnych amorficznych stopów dla pięciu wartości prądu. Dodatkowo Autor analizował wpływ częstotliwości wymuszającej zjawisko GMI na współczynnik zmiany impedancji- wykorzystując pięć różnych pasm częstotliwości. Podkreślając wagę i znaczenie tak rozległego eksperymentu cennym uzupełnieniem byłoby przedstawienie metody i omówienie zastosowanej analizy statystycznej pozwoliłoby lepiej zrozumieć istotę procedury tuningowania parametrów modelu.

5.Końcowa ocena pracy

Oceniając całość przedstawionej rozprawy należy podkreślić istotną wagę poznawczą i techniczną głównego problemu pracy. Tak ujęte zagadnienie jest odpowiednią bazą danych do rozwiązania zagadnień poznawczych sformułowanych jako zadania naukowe rozprawy doktorskiej oraz jest w pełni wystarczające do sprawdzenia poprawności przyjętej metodyki postępowania, analizy i weryfikacji otrzymanych wyników.

Zagadnienie zostało rozwiązane samodzielnie, a uzyskane rezultaty mogą być w części bezpośrednio wykorzystane w postaci rozwiązań aplikacyjnych, w części stanowią przesłankę do dalszych badań metodycznych. Rozwiązując zadanie zakreślone w pracy Autor wykazał się wycuciem problemów technicznych i wiedzą w dziedzinie Jego aktywności naukowej. Połączenie tej wiedzy ze znajomością metod analizy przebiegu

zjawiska umożliwiło Doktorantowi rozwiązanie interesującego zadania naukowego. W szczególności warto podkreślić następujące walory merytoryczne rozprawy:

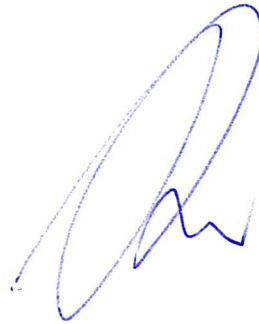
opracowanie metodyki pomiaru właściwości magnetycznych próbek taśmowych o wysokiej względnej przenikalności magnetycznej, opracowanie procedur pomiaru zmian impedancji w zjawisku GMI wytworzonych próbek a opracowane stanowisko umożliwiło zadawanie pola magnesującego H z wysoką rozdzielczością, w tym umożliwiło poznanie dynamiki zmian impedancji w zakresie słabych pól magnesujących. Wyniki takie nie były do tej pory prezentowane w literaturze, a były one niezbędne do realizacji zadania budowy sensora z wykorzystaniem taśmy amorficznej.

Dodatkowo, opracowano stanowisko do kontrolowanego indukowania anizotropii w taśmach ze stopów amorficznych w procesie relaksacji termomagnetycznej. Pozwoliło to przeprowadzić optymalizację wartości prądu wyzarzającego w procesie relaksacji termomagnetycznej i umożliwiło uzyskanie magnetyka z taśmy amorficznej o właściwościach dostosowanych do wymagań budowy sensora magnetycznego wykorzystującego zjawisko GMI we wspomnianych taśmach amorficznych. Równocześnie Doktorant przedstawił rozwinięcie, opracowanego przez Machado, fizycznego modelu zjawiska GMI w taśmach amorficznych, co istotnie pozwala na bardziej dokładne modelowanie fizycznego mechanizmu zjawiska GMI w taśmach ze stopów amorficznych.

Przeprowadzone analizy i badania symulacyjnie oraz badania z wykorzystaniem rzeczywistego sensora pola magnetycznego, którego podstawą jest zjawisko gigantycznej magentoimpedancji. wskazały, że tak skonstruowany sensor jest szczególnie przydatny w układach kompensacyjnych, jako detektor zerowego pola magnetycznego (stanu równowagi). Zebrane wyniki badań uwzględniają wybrane właściwości metrologiczne opracowanego sensora w tym charakterystykę przetwarzania, niepewność wskazań, jak również stabilność czasową oraz temperaturową.

Biorąc pod uwagę zakres prac badawczych, które umożliwiły opracowanie recenzowanej rozprawy doktorskiej, oryginalność rozwiązania zagadnienia naukowego, a tym samym fakt potwierdzenia umiejętności samodzielnego prowadzenia pracy naukowej uważam, że przedłożona rozprawa może służyć za podstawę do rozpatrzenia wniosku o nadanie Kandydatowi stopnia doktora nauk technicznych. Wobec spełnienia wszystkich wymogów Ustawy o Stopniach i Tytule Naukowym z dnia 12.09.1990 r. wraz ze zmianami z dnia 14.03.2003 r., stawiam wniosek o dopuszczenie mgr inż. Piotra Gazdy do publicznej obrony rozprawy doktorskiej. Równocześnie przedstawiony zakres prac

a szczególnie zakres przeprowadzonych badań eksperymentalnych i wskazane przez Doktoranta aplikacyjne możliwości zaproponowanych rozwiązań konstrukcyjnych, umożliwiających wykorzystanie taśm amorficznych jako bazy do wykonania tego typu sensorów, upoważniają mnie do postawienie wniosku o wyróżnienie rozprawy doktorskiej.

A handwritten signature in blue ink, consisting of a large, stylized initial 'A' followed by a smaller, more complex signature.