

Recenzja rozprawy doktorskiej
mgr inż. Piotr Frydrych pt.

„Modelowanie charakterystyk magnesowania amorficznych rdzeni dwuosiowych sensorów transduktorowych”

Podstawa prawna opracowania opinii:

Pismo Pani Prof. Natalii Golnik, Dziekan Wydziału Mechatroniki, nr WMt.521.12.2019 z dnia 06.05.2019 r.

1. Uwagi o sformułowanym zadaniu

Czujniki pola magnetycznego nie tylko są bezpośrednio wykorzystywane do pomiaru parametrów pola magnetycznego. Na przykład wiele czujników pola magnetycznego, szczególnie czujników hallotronowych i magnetorezystorów jest używanych do bezstykowych pomiarów mechanicznych takich jak przesunięcia, prędkości obrotowe czy kąty obrotu. Dla odmiany, w głowicach odczytowych, przy zapisie informacji w pamięciach dyskowych i taśmowych, powszechnie stosuje się czujniki magnetorezystancyjne. W większości pomiarom pola magnetycznego towarzyszy pole środowiska, naturalne – ziemskie oraz wytwarzane przez systemy techniczne a nawet człowieka, przede wszystkim jego system nerwowy. Odwołując się ponownie do przykładu, należy wskazać, że magnetoencefalografia umożliwia pomiar magnetycznego pola mózgu w skali nawet poniżej pojedynczych fT (fentotestli).

Jedną z bardziej pasjonujących aplikacji, z tego zakresu jest zastosowanie pomiarów magnetycznych do oceny właściwości mechanicznych tkanki mózgowej, szczególnie sztywność i częstość drgań własnych tkanki oraz budowy na tej podstawie modeli zmian chorobowych a nawet oceny stopnia rozwoju procesów degradacyjnych o podłożu geriatrycznym..

Natomiast w pomiarach słabych pól magnetycznych, szczególna rola przypada czujnikom transduktorowym (ang. flux-gate sensor). W czasie drugiej wojny światowej

były one używane do wykrywania łodzi podwodnych, a w 1958 roku czujnik transduktorowy na pokładzie Sputnika 3 został zastosowany jako czujnik pola magnetycznego na orbicie okołoziemskiej. Najważniejszą zaletą sondy transduktorowej jest fakt, że sygnał wyjściowy jest sygnałem przemiennym o określonej częstotliwości. Można więc go łatwo oddzielić od sygnałów temperaturowego pełzania zera, jak i szumów. Umożliwia to pomiar pól magnetycznych w zakresie 10 nT – 100 μ T z błędem nie większym niż 2%. Przy pozornej prostocie zarówno zasady działania konstrukcji czujnika jak i konstrukcji czujnika, czułość i błędy pomiaru wywołane występowaniem szumów magnetycznych będą zależeć od jakości materiału magnetycznego i precyzji wykonania.

Mając na uwadze wspomniane zagadnienia Doktorant zainteresował się problemem modelowania charakterystyk magnesowania rdzeni szczególnie rdzeni amorficznych w tego typu sensorach. Należy podkreślić Jego zainteresowanie możliwością wykorzystania do tego celu modelu Preisacha. Co prawda model ten był początkowo dedykowany jedynie do opisu histerezy magnetycznej, jednak użyta tam formuła matematyczna okazała się możliwa do zaimplementowania w opisie zjawisk histerezy obserwowanych w innych dziedzinach nauki. Powstał w ten sposób formalizm, który pozwala na analizę systemów histerezowych, przy zastosowaniu odpowiednio zdefiniowanych operatorów. Doktorant w swojej pracy podjął próbę wyjścia poza model fenomenologiczny i podjął zagadnienie zbadania znaczenia wielkości fizycznych w modelu Preisacha i ich wpływu na wyniki symulacji, a ostatecznie na otrzymane rozwiązania techniczne.

Dlatego podjęcie próby tak zorientowanego modelu i jego weryfikacji w badaniach laboratoryjnych oraz wskazanie możliwych na tej podstawie algorytmów oceny 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 znaczenie naukowo–poznawcze i aplikacyjne.

2.Charakterystyka pracy

Opiniowana praca składa się z dziewięciu rozdziałów, spisu literatury wykazu ważniejszych oznaczeń oraz streszczeń w języku polskim i angielskim i zajmuje 142 strony. Wykaz literatury obejmuje 150 pozycji. Wybór literatury obejmuje w zdecydowanej większości pozycje (112) sprzed ostatnich pięciu lat.

3. Ogólna ocena rozprawy

Zagadnienia podjęte w pracy zostały przedstawione w dziewięciu 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;
- b) rozdział drugi, zawiera przegląd stanu wiedzy w szczególności: najważniejsze zastosowania sensorów transduktorowych wraz z przeglądem rozwiązań stosowanych w konstrukcjach sensorów tego typu z uwzględnieniem opisu materiałów i kształt rdzenia; konfiguracji uzwojeń pomiarowych, wpływu technologii wykonania sensora; kształtu przebiegu magnesującego i przetwarzanie sygnału pomiarowego.

Całość kończy podsumowanie przeglądu sensorów transduktorowych oraz przegląd modeli charakterystyk magnesowania rdzeni magnetycznych w tym Modeli Isinga, Heisenberga, Stonera-Wohlfarta, Jilesa-Athertona oraz modelu Preisacha i dyskusja możliwości rozszerzenia modeli histerezy magnetycznej na podstawie koncepcji Preisacha wraz podsumowaniem przeglądu istniejących modeli charakterystyk magnesowania;

- c) rozdział trzeci zawiera opis miniaturowych dwuosiowych sensorów transduktorowych zagadnienia technologii wytwarzania rdzeni ramkowych oraz miniaturowych dwuosiowych sensorów; przyjętego układu pomiarowego wraz z charakterystykami pomiarowymi sensorów transduktorowych ; opracowany układ do pomiaru pętli histerezy rdzenia ramkowego oraz wyniki tych pomiarów i analiz wyników pomiarów;
- d) rozdział czwarty zawiera opracowany przez Doktoranta model charakterystyk magnesowania rdzeni magnetycznych sensorów transduktorowych oraz zestawienie wymagań odnośnie modelu charakterystyk magnesowania rdzeni sensorów transduktorowych; model statyczny wraz z przyjętym rozkładem pola przemagnesowania, opis zastosowania superpozycja płaszczyzn Preisacha; problematykę anizotropii rdzenia; dyskusją mechanizmów przesuwania ścian domenowych i obrotów domen wraz z równaniem modelu statycznego pętli histerezy magnetycznej; schemat modelu statycznego wraz z analizą możliwości odtworzenia szczególnych właściwości pętli histerezy magnetycznej z wykorzystaniem opracowanego modelu; badanie zgodności opracowanego modelu z modelami

Preisacha i Stonera-Wohlfarta; modelowanie rozkładu kąтового magnetyzacji; opis metody doboru parametrów modelu statycznego wraz z wynikami modelowania pętli histerezy dla tego modelu; model dynamiczny ; opis koncepcji pola efektywnego oraz analizę mechanizmów strat dynamicznych uwzględniającą wpływu reaktancji rdzenia; przedstawienie metody obliczania wartości pola efektywnego ; wyniki modelowania pętli histerezy dla modelu dynamicznego ;zagadnienia optymalizacja kształtu rdzeni ramkowych metodą momentów magnetycznych; podsumowanie opracowanego modelu charakterystyk magnesowania;

- e) w rozdziale piątym Autor skupia się nad takimi zagadnieniami jak: optymalizacja kształtu rdzeni ramkowych metodą momentów magnetycznych; wykorzystanie metody momentów magnetycznych modelowaniu rozkładów indukcji magnetycznej w amorficznym rdzeniu ramkowy;
- f) rozdział szósty zawiera model charakterystyk użytkowych sensora transduktorowego; przedstawienie obliczeń wartości pola w rdzeniu sensora i napięcia indukowanego w uzwojeniach; obliczanie wartości pola zmierzonego; opisy wykorzystania metod demodulacji amplitudowej i metody największej wiarygodności;
- g) rozdział siódmy to prezentacja modelowania charakterystyki pomiarowej na przykładzie sensora z rdzeniem Metglas 2605 CO wraz z doбором parametrów modeli statycznego i modelu dynamicznego ; modelowanie wartości pola magnesującego i sygnałów napięciowych indukowanych na uzwojeniach pomiarowych; całość uzupełnia analiza wyników modelowania sygnałów pomiarowych;
- h) rozdziały ósmy i dziewiąty 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. Uzupełnieniem podsumowania jest omówienie dalszych badań i możliwości szerszej aplikacji proponowanej metodyki.

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

4.Uwagi szczególne i zapytania

W podpunkcie 1.2 rozprawy Autor pisze: "Celem pracy jest opracowanie modelu charakterystyk magnesowania rdzeni miniaturowych dwuosiowych sensorów transduktorowych. Opracowany model umożliwi dobór optymalnych parametrów sterowania, optymalizację geometrii rdzenia oraz selekcję najbardziej odpowiednich

materiałów na rdzenie sensorów transduktorowych z rdzeniami z magnetyków amorficznych”. Również bardzo precyzyjnie zakreśla ten zakres: ”Zakres pracy obejmuje opracowanie dwuwymiarowego, anizotropowego, dynamicznego modelu histerezy magnetycznej rdzeni ze stopów amorficznych. Model będzie powiązany z parametrami fizycznymi materiału rdzenia i zachodzącymi w nim procesami magnesowania” Nasuwa się pytanie, czy w podobny sposób nie udałoby się Autorowi sformułować tezy naukowej? Na przykład, w literaturze z tej dziedziny przewija się pytanie odnośnie klasycznego modelu histerezy Preisacha posiadającego właściwość „zacierania” zapamiętanych stanów rewersyjnych (ang. wiping-out property) oraz właściwość kongruencji małych pętli histerezy (ang. congruency property). Badania eksperymentalne przywołane w literaturze poświęconej badaniom histerezy ferromagnetyków wykazały, że teza o właściwości kongruencji nie jest spełniona. Jeżeli tak jest, to czy w rozwijanym przez Doktoranta modelu wątek eliminacji właściwości kongruencji wręcz nie mógłby być porównany z postawianym zadaniem odpowiedniej ekspozycji tej właściwości?

Kontynuując, w nawiązaniu do rysunków nr 32 i 34 można postawić pytanie czy jeżeli natężenie koercji i natężenie nasycenia jednak nie zachowują dla różnych parametrów magnesowania tego samego stosunku ich wartości, to jaki ma to wpływ na zmiany częstotliwości mierzonego sygnału i czy oprócz modulacji AM i nie należy analizować wpływu modulacji FM?

W pracy wskazano na znaczenie modulacji amplitudowej, tymczasem istotą badań jest druga harmoniczna a nie pasmo wokół na przykład tej harmonicznej, gdzie można określić efekty modulacji amplitudowej w tym częstotliwościową strukturę funkcji modulującej, tu oznaczoną jako $m(t)$. Czy Doktorant mógłby z tego punktu widzenia przybliżyć cel i zakres zadania opisanego w punkcie 6.2.1?

Z kolei w punkcie 6.2.2 Autor przedstawiając metodę największej wiarygodności pozostawia czytelnikowi możliwość interpretacji samego eksperymentu statystycznego, który jest czynnikiem rozstrzygającym w określeniu dokładności określania wartości badanych parametrów. Sądzę, że odpowiedni komentarz dałby możliwość czytelnikowi łatwiejszego śledzenia przedstawionych w tym punkcie wywodów.

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. Tak zrealizowane ujęcie 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 wykorzystane bezpośrednio w postaci rozwiązań aplikacyjnych, w części stanowią przesłankę do dalszych badań metodycznych. Rozwiązując zadanie określone w pracy Autor wykazał się wyczuciem problemów technicznych i wiedzą w dziedzinie Jego aktywności naukowej. Połączenie tej wiedzy ze znajomością metod analizy sygnałów umożliwiło Doktorantowi rozwiązanie interesującego zadania naukowego. W szczególności warto podkreślić następujące walory merytoryczne rozprawy:

- wskazanie najefektywniejszego modelu w modelowania charakterystyk magnesowania dwuosiowych sensorów transduktorowych, wykonanych z pojedynczej warstwy taśmy amorficznej;

- opracowanie miniaturowych, dwuosiowych sensorów transduktorowych z zastosowaniem różnych materiałów amorficznych;

- opracowanie technologii wytwarzania rdzeni ramkowych przy zastosowaniu fotolitografii;

- opracowanie układu do pomiaru charakterystyk magnesowania rdzeni sensorów w dwóch kierunkach;

- zastosowanie siedmiowarstwowych laminatów w technologii grubowarstwowej;

- opracowanie modelu umożliwiającego modelowanie histerezy dynamicznej dla częstotliwości pracy sensorów transduktorowych.

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 Frydrycha do publicznej obrony rozprawy doktorskiej. Równocześnie przedstawiony zakres prac i osiągnięte przez Niego rezultaty upoważniają mnie do postawienie wniosku o wyróżnienie rozprawy doktorskiej.

