



Tomasz Prauzner

*Wydział Matematyczno-Przyrodniczy
Akademia Jana Długosza w Częstochowie
al. Armii Krajowej 13/15, 42-200 Częstochowa
e-mail: matompra@poczta.onet.pl*

DETERMINISTYCZNE PROGRAMY SYMULACYJNE JAKO NARZĘDZIE PROJEKTOWANIA SYSTEMÓW TECHNICZNYCH

Streszczenie. W artykule przedstawione zostały przeglądowe informacje i efekty badań naukowych dotyczących opracowania modelu czujnika indukcyjnego w programie ANSYS Maxwell. Przedstawiono innowacyjny, szczegółowo odwzorowany model czujnika, opracowany metodą MES, który w przyszłości na etapie wstępnych prac projektowych może zastąpić model rzeczywisty. Ze względu na złożoność projektu ukazane zostaną jedynie wybrane efekty pracy dotyczące składowych czujnika którymi są: uzwojenie zasilające oraz pomiarowe. Poprawne opracowanie modelu odzwierciedlające szczegółowość projektu czujnika gwarantuje uzyskanie danych pomiarowych o małych błędach względnych mierzonych wielkości w pomiarach metrologicznych. Ponadto, zdaniem autora, zastosowanie deterministycznych programów symulacyjnych w kształceniu technicznym wyznacza również nowe możliwości efektywnego procesu dydaktycznego opartego na nowoczesnej technologii informatycznej zgodnej z aktualnymi wymaganiami i potrzebami rynku pracy. Dwuargumentowość wynikająca z problematyki zarówno typowo technicznej, jak i dydaktycznej jest wynikiem dbałości oraz troski związanej z praktycznym wdrożeniem innowacyjnych technik inżynierskich w świetle aktualnych potrzeb społecznych. Przedstawione wyniki badań opartych na modelowaniu MES są kontynuacją badań w zakresie oceny czułości czujnika indukcyjnego w pomiarach grubości warstw ochronnych metalu. Metoda MES wykorzystana została do weryfikacji badań laboratoryjnych prowadzonych w laboratorium metrologii Politechniki Częstochowskiej, natomiast obliczenia MES wykonano w Instytucie Techniki i Systemów Bezpieczeństwa AJD w Częstochowie.

Słowa kluczowe: MES, symulacja komputerowa, modelowanie.

DETERMINISTIC SIMULATION PROGRAMS AS A TOOL FOR DESIGNING TECHNICAL SYSTEMS

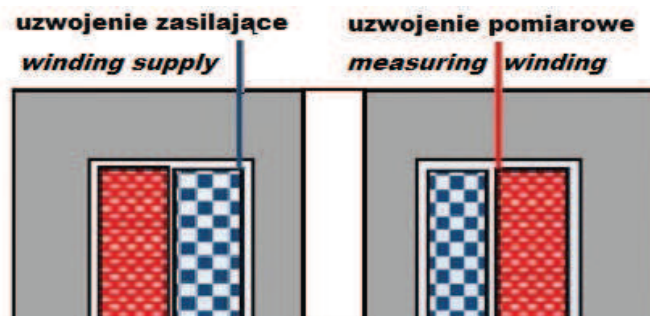
Abstract. The paper presents the review information and results of research on the development model of an inductive sensor in ANSYS Maxwell. It presents an innovative, detail mapped sensor model developed by FEM, which in the future on the stage of preliminary design work can replace the actual model. Due to the complexity of the project will be shown only selected results of work on the components of the sensor which, winding and power measurement. Proper development of a model reflecting the detailed design of the sensor guarantees measuring data with a relatively small error measured values in the measurement metrology. Moreover, according to the author's use of deterministic simulation programs in technical education also sets new possibilities for effective teaching process based on modern information technology consistent with current requirements and needs of the labor market. Binary resulting from problems typical of both technical and teaching is the result of care related to the practical implementation of innovative engineering techniques in light of current social needs.

The results of the research-based modeling FEM are a continuation of research in the evaluation of the sensitivity of an inductive sensor in measuring the thickness of the protective layer of metal. FEM method was used to verify laboratory tests conducted in the laboratory of metrology Technical University of Czestochowa but FEM calculations were performed at the Institute Technical and Safety Systems AJD Czestochowa.

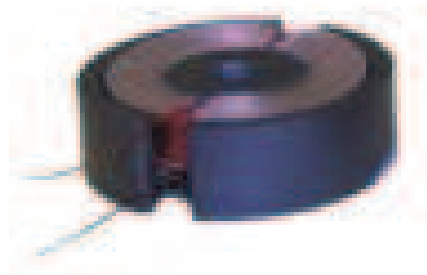
Keywords: FEM, computer simulation, modeling.

Wstęp

Czujnik indukcyjny zbudowany został z dwóch uzwojeń nawiniętych na wspólnym rdzeniu ferromagnetycznym. (rys.1,2) Jedno uzwojenie jest zasilane sygnałem pomiarowym o zmiennej częstotliwości i określonej amplitudzie. Drugie uzwojenie pełni rolę pomiarową i służy do badania wielkości pola magnetycznego prądów wirowych indukowanych w badanej powierzchni, w celu określenia grubości warstwy ochronnej metalu na podstawie trzech próbek w postaci blachy stalowej pokrytych cynkiem i lakierem ochronnym.



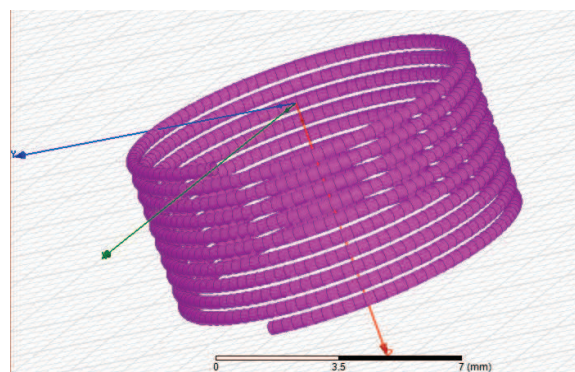
Rys.1. Widok poprzeczny badanego czujnika indukcyjnego



Rys. 2. Widok przykładowanego czujnika indukcyjnego opartego na rdzeniu kadłubkowym i korpusie. Źródło: <http://telzam.pl>.



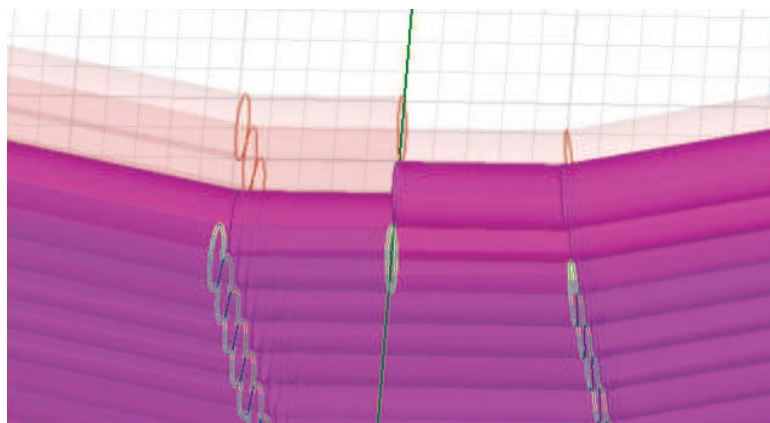
Rys. 3. Pomiar grubości warstw. Źródło: www.sklep.negotrust.pl.



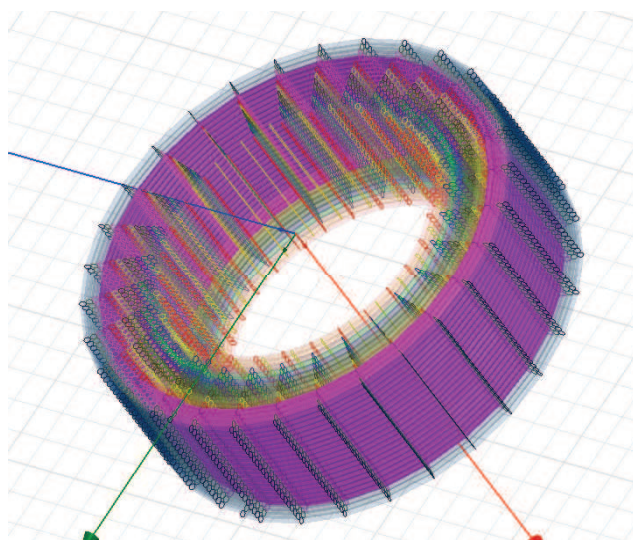
Rys. 4. Projekt cewki jednozwojowej na potrzeby modelowania całego uzwojenia. Źródło: opracowanie własne.

Projekt uzwojeń czujnika

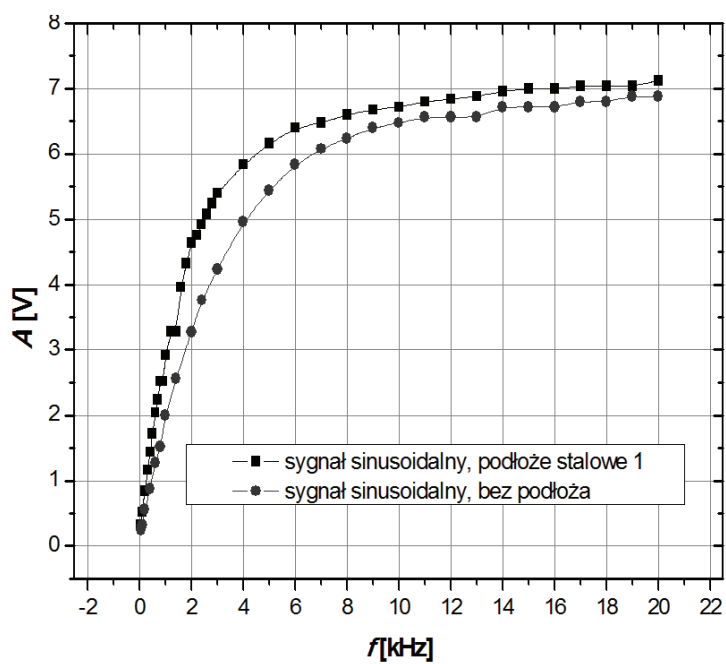
Jak już wspomniano, w urządzeniu występują dwa uzwojenia nawinięte na jednym korpusie. O ile nawinięcie takich uzwojeń na korpusie w praktyce nie nastręcza większych trudności, o tyle wykonanie modelu na potrzeb obliczeń MES jest już bardzo żmudne i pracochłonne. Wykonanie projektu można oprzeć na różnych wariantach. W przedstawionym przykładzie posłużono się wyjściowym modelem oferowanym przez oprogramowanie - cewki płaskiej (spiralnej). Następnie dokonano zmian jej parametrów elektrycznych i geometrycznych, dzięki czemu uzyskano cewkę wyciągniętą przedstawioną na rysunku 4. Następnie, poprzez dalszą korektę parametrów i klonowania elementu, wykonano kolejne, o coraz większej średnicy. Oczywiście długość i szerokość uzwojenia musiała być wstępnie obliczona do wymiarów rzeczywistych korpusu i rdzenia. Na rdzeniu ferromagnetycznym nawinięto uzwojenie zasilające wykonane z 600 zwojów drutu miedzianego o średnicy $\varnothing 0,1\text{mm}$. Na uzwojeniu zasilającym nawinięto 300 zwojów drutu miedzianego o średnicy $\varnothing 0,1\text{mm}$ tworzące uzwojenie pomiarowe [9]. Takie same parametry zachowano w zamodelowanym uzwojeniu. Pojedyncze kolejne uzwojenia różnią się nie tylko długością drutu, ale i kierunkiem nawinięcia. Wykonanie parzystych uzwojeń wykonane zostało poprzez tzw. odbicie lustrzane, jednak wyniknęły z tego kolejne trudności związane z połączeń początków i końców poszczególnych warstw uzwojeń (rys. 5). Ponieważ program musiał połączyć płaszczyzny końca i początku kolejnych uzwojeń, wykonano szereg operacji dotyczących przesunięć położenia względem siebie. W efekcie uzyskano model dwóch uzwojeń: zasilającego i pomiarowego przedstawionego na rysunku 6.



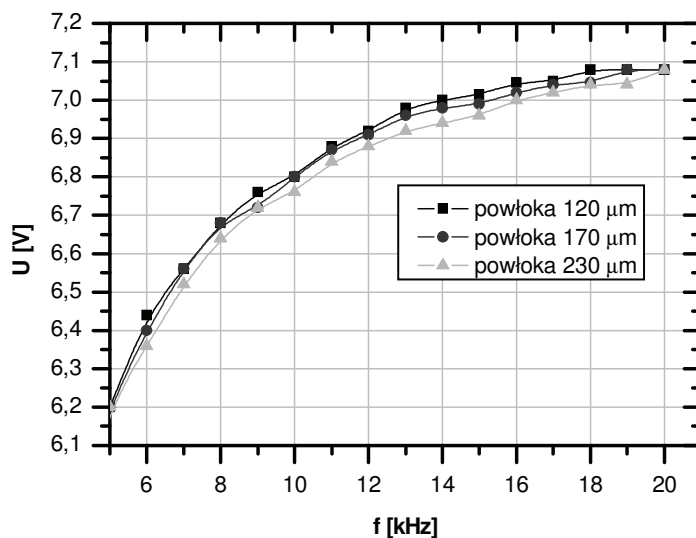
Rys. 5. Widok poszczególnych warstw uzwojeń (po średnicy) przed ich połączeniem



Rys. 6. Pośredni efekt wykonania modelu uzwojeń czujnika w programie ANSYS Maxwell



Rys.7. Przykładowe wyniki pomiarów amplitudy sygnału pomiarowego czujnikiem indukcyjnym na badanej powierzchni oraz bez podłoża, dla sygnału sinusoidalnego (wyniki uzyskane metodą bezpośrednich pomiarów technicznych)



Rys. 8. Przykładowe wyniki pomiarów grubości warstw cynkowo-lakierniczych dla przebiegu sygnału zasilającego o przebiegu sinusoidalnym (wyniki uzyskane metodą bezpośrednich pomiarów technicznych)

Wnioski

Przedstawione efekty pracy ukazują jedynie wstępne etapy projektu wirtualnego czujnika. Ze względu na złożoność modelu oraz ograniczonej objętości pracy, szczegółowość problemów, z jakimi spotyka się osoba pracująca w programie została pominięta. Rysunki 7 oraz 8 ukazują przykładowe wyniki pomiarów uzyskane metodą laboratoryjną, na podstawie wykonanego w rzeczywistości czujnika [6]. Opracowywany model końcowy posłuży do weryfikacji dotychczasowych wyników dotyczących określenia czułości czujnika w zależności od jego konstrukcji oraz parametrów układu zasilającego. Ponadto, zgodnie z wiedzą pedagogiczną dotyczącą efektywności kształcenia z wykorzystaniem nowoczesnych pomocy dydaktycznych w kształceniu technicznym, powyższy projekt można zaliczyć do metody projektów oraz metody problemowej [5]. Z punktu widzenia aktualnych potrzeb rynku pracy dotyczących wysoko wykwalifikowanej kadry inżynierskiej, znajomość deterministycznych programów symulacyjnych (w tym wypadku z grupy programów opartych na metodzie elementów skończonych) znacząco podnosi atrakcyjność intelektualną i wiedzę techniczną przyszłego absolwenta i pracownika. Powyższy przykład dostarcza niezwykle istotnej wiedzy dotyczącej celowości innowacji dydaktycznych w kształceniu technicznym [7]. Metoda

symulacji komputerowych jest obecnie jedną z najatrakcyjniejszych metod aktywizujących młodzież do pracy. W zakresie neurodydaktyki służy lepszemu zgłębieniu procesu poznawczego oraz wiedzy medycznej [4]. W ujęciu aktualnych problemów globalnych związanych np. z terroryzmem, ekologią, ochroną środowiska itp., kształcenie na kierunkach technicznych i inżynierskich wymaga zastosowania w procesie dydaktycznym innowacyjnych metod pracy oraz środków technicznych wspomagających edukację w zakresie kształcenia specjalistycznego [8]. Deterministyczne symulacje komputerowe mające charakter oprogramowania interakcyjnego (dialogowego i specjalistycznego), są praktyczną odpowiedzią na powszechnie głoszone postulaty konektywizmu oraz konstruktywizmu.

Literatura

- [1] Dokumentacja techniczna oprogramowania, <http://www.ansys.com/Products/Electronics/ANSYS-Maxwell>
- [2] Materiały szkoleniowe nt.: Obliczenia pól elektromagnetycznych w ANSYS Maxwell, <http://www.mesco.com.pl>
- [3] Prauzner T., Symulacja w komputerowym wspomaganii *nauczania*, [w:] *Informatyka w dobie XXI wieku nt.: Nauka, technika, edukacja a nowoczesne technologie informatyczne*, Wydawnictwo Politechnika Radomska im. Kazimierza Pułaskiego oraz Wydawnictwo Naukowe Instytutu Technologii Eksploatacji – Państwowego Instytutu Badawczego, red. A.Jastriebowa, M. Raczyńska, Radom 2011.
- [4] Prauzner T., *Analysis of the results of the pedagogical research and EEG in the aspect of effective modern teaching aids in the technical education*, [w:] International Scientific Conference Society. Integration. Education vol.IV, Latvia, Rezekne 2015.
- [5] Prauzner T., *Dydaktyczne uwarunkowania rozwijania samodzielnego myślenia i działania studentów w kształceniu technicznym*, Wydawnictwo AJD, Częstochowa 2016.
- [6] Prauzner T., *Finite Element Method in an analysis of selected parameters of an inductive sensor for protective coatings measurements*, Przegląd Elektrotechniczny, 91 nr.12, 2015.
- [7] Prauzner T., *Funkcja nowoczesnych aplikacji informatycznych w realizacji projektu inżynierskiego na przykładzie dydaktyki szkoły wyższej*, [w:] Edukacja – Technika – Informatyka, Wybrane problemy edukacji informatycznej i informacyjnej, Rocznik Naukowy NR 5/2014, cz.2, Rzeszów 2014.

- [8] Prauzner T., *ICT education in practice*, [w:] Edukacja ustawiczna dorosłych, red. Prof. dr hab. Bednarczyk H., Wydawnictwo Naukowe Instytutu Technologii Eksploatacji – Państwowego Instytutu Badawczego, Radom 2012.
- [9] Prauzner T., Ptak P., *Analiza parametrów pracy wybranych czujników pola magnetycznego*, Przegląd Elektrotechniczny, R. 90 NR 12/2014.