



KARTA OPISU PRZEDMIOTU - SYLABUS

Nazwa przedmiotu

Modelowanie obwodów magnetycznych [N1Eltech2>PO5-MOM]

Przedmiot

Kierunek studiów
Elektrotechnika

Rok/Semestr
4/8

Studia w zakresie (specjalność)
–

Profil studiów
ogólnoakademicki

Poziom studiów
pierwszego stopnia

Język oferowanego przedmiotu
polski

Forma studiów
niestacjonarne

Wymagalność
obieralny

Liczba godzin

Wykład	Laboratorium	Inne
10	10	0
Ćwiczenia	Projekty/seminaria	
0	10	

Liczba punktów ECTS

3,00

Koordynatorzy

dr hab. inż. Rafał Wojciechowski prof. PP
rafal.wojciechowski@put.poznan.pl

dr inż. Milena Kurzawa
milena.kurzawa@put.poznan.pl

Wykładowcy

Wymagania wstępne

Wiedza - Student posiada podstawową wiedzę z zakresu elektrotechniki, teorii obwodów, teorii pola elektromagnetycznego, maszyn i napędu elektrycznego. Umiejętności - Umiejętność efektywnego samokształcenia się w dziedzinie związanej z wybranym kierunkiem studiów; umiejętność podejmowania właściwych decyzji przy rozwiązywaniu zadań i problemów z zakresu modelowania obwodów elektrycznych oraz analizy maszyn elektrycznych. Kompetencje - Student ma świadomość poszerzania swoich kompetencji, wykazuje gotowość do pracy w zespole, zdolność do podporządkowania się regułom obowiązującym podczas zajęć wykładowych i laboratoryjnych.

Cel przedmiotu

Celem niniejszego przedmiotu jest przekazanie studentom podstawowej wiedzy z zakresu modelowania oraz analizy obwodów magnetycznych, a także nabycie umiejętności tworzenia prostych modeli obwodowych oraz poznanie praktycznych zastosowań metod polowych w środowiskach symulacyjnych

Przedmiotowe efekty uczenia się

Wiedza:

1. Student zna właściwości materiałów magnetycznych (miękkich i twardych), rozumie zjawisko histerezy oraz efekt nasycenia, a także ich wpływ na pracę urządzeń elektrycznych.
2. Student posiada uporządkowaną wiedzę z zakresu modelowania obwodów magnetycznych (zna m.in. prawo Hopkinsona, sposoby formułowania źródeł pola, metodę schematów zastępczych oraz metodę Christoffela-Schwarza), a także podstawy metod polowych, w szczególności metody elementów skończonych (MES).

Umiejętności:

1. Student potrafi obliczyć wartość permeancji i reluktancji magnetycznej, strumień magnetyczny oraz siły pochodzenia magnetycznego w prostych układach metodami analitycznymi.
2. Student potrafi posługiwać się oprogramowaniem inżynierskim (np. CST Studio Suite) do analizy rozkładu pola magnetycznego w dwuwymiarowych obwodach magnetycznych.
3. Potrafi wyznaczyć straty mocy w rdzeniu oraz analizować wpływ geometrii obwodu na parametry urządzenia.

Kompetencje społeczne:

1. Ma świadomość ważności precyzyjnego modelowania obwodów magnetycznych w kontekście energooszczędności projektowanych układów i urządzeń.

Metody weryfikacji efektów uczenia się i kryteria oceny

Efekty uczenia się przedstawione wyżej weryfikowane są w następujący sposób:

Wykład:

- ocena wiedzy i umiejętności wykazanych na teście pisemnym o charakterze problemowym,
- ocenianie ciągle na każdych zajęciach (premiowanie aktywności i jakości wypowiedzi).

Zajęcia projektowe:

Realizacja jednego z projektów inżynierskich, z zakresu:

- projekt prostego obwodu magnetycznego,
- projektu obwodu magnetycznego prostego dławika,
- jednofazowego transformatora sieciowego małej mocy,
- projektu obwodu magnetycznego transformatora impulsowego.

Laboratorium:

- sprawdzian i premiowanie wiedzy niezbędnej do realizacji kolejnych ćwiczeń laboratoryjnych,
- ocenianie ciągle na zajęciach aktywności studenta i przyrostu jego wiedzy oraz umiejętności, a także kompetencji społecznych związanych z pracą w zespole,
- ocena wiedzy i umiejętności związanych z realizacją zadań laboratoryjnych, ocena sprawozdania z wykonanego ćwiczenia.

Treści programowe

Wstęp i podstawowe prawa elektromagnetyzmu: Prawa Maxwella w ujęciu całkowym, prawo Ampera, prawo przepływu. Analogie między obwodami elektrycznymi i magnetycznymi. Właściwości materiałów magnetycznych: Ferromagnetyki, paramagnetyki, diamagnetyki. Fizyka procesu magnesowania, domeny magnetyczne. Krzywa pierwotna magnesowania, pętla histerezy (statyczna i dynamiczna). Modelowanie obwodowe: Prawo Hopkinsona. Obliczanie reluktancji i permeancji dla różnych geometrii, metoda Christoffela - Schwarza. Uwzględnianie strumieni rozproszenia w procesie modelowania. Obwody nieliniowe i źródła pola: cewki, uzwojenia i magnesy trwałe. Rozwiązywanie obwodów z nasycającym się rdzeniem (metody graficzne i iteracyjne). Charakterystyki magnesów trwałych, prosta zwrotu, punkt pracy magnesu, formułowanie źródeł pola. Siły i energia w polu magnetycznym. Energia pola magnetycznego. Metoda pracy wirtualnej oraz tensor naprężeń Maxwella do obliczania sił w przetwornikach. Wstęp do Metody Elementów Skończonych (MES/FEM). Dlaczego metody obwodowe nie są wystarczająco. Modelowanie straty mocy (histerezy i wiropędowe).

Tematyka zajęć

Wykład:

1. Podstawy pola magnetycznego.
2. Materiały magnetyczne.
3. Metody obwodowe.

4. Obwody nieliniowe oraz źródła pola.
5. Siły i energia w polu magnetycznym.
6. Wstęp do metod numerycznych.
7. Modelowanie strat mocy.

Zajęcia projektowe:

1. Wydanie tematów i założeń projektowych. Dobór geometrii rdzenia, wybór materiałów magnetycznych z katalogów (karty materiałowe), wstępne założenia projektowe.
2. Obliczenia obwodu magnetycznego (dla stanu nienasyconego - obwód liniowy). Podział obwodu na sekcje, obliczanie reluktancji poszczególnych fragmentów rdzenia i szczeliny powietrznej. Wyznaczenie współczynników rozproszenia.
3. Projekt uzwojenia wzbudzającego. Obliczenie wymaganej siły magnetomotorycznej (amperozwojów) do uzyskania założonej indukcji w szczelinie. Dobór przekroju drutu i liczby zwojów (uwzględnienie gęstości prądu i wypełnienia okna).
4. Analiza stanu nasycenia. Wyznaczenie charakterystyki magnesowania strumień - prąd dla całego obwodu na podstawie nieliniowej charakterystyki materiału $B = f(H)$.
5. Obliczenia parametrów funkcjonalnych. Wyznaczenie indukcyjności cewki (w funkcji prądu lub szczeliny) oraz siły przyciągania zwory (w przypadku elektromagnesu).
6. Szacowanie strat mocy w uzwojeniu oraz w rdzeniu magnetycznego.
7. Obrona projektu. Oddanie dokumentacji obliczeniowej, weryfikacja poprawności doboru parametrów, dyskusja nad wynikami.

Zajęcia laboratoryjne:

1. Wprowadzenie do środowiska symulacyjnego. Interfejs użytkownika, pre-processing, definicja problemu (planarny 2D / osiowoosymetryczny). Formułowanie prostej geometrii.
2. Definiowanie modelu materiałowego. Wprowadzanie nieliniowych krzywych B-H. Definiowanie materiałów cewek i izolacji.
3. Modelowanie geometrii projektowanego urządzenia. Przeniesienie wymiarów z zajęć projektowych do środowiska CAD w symulatorze. Ustalenie warunków brzegowych (np. balloon boundary).
4. Generacja siatki i solver magnetostatyczny. Dobór gęstości siatki.
5. Post-processing - analiza polowa. Wizualizacja linii sił pola, mapy indukcji magnetycznej B.
6. Post-processing - parametry całkowite. Wyznaczanie z symulacji: siły, momentu, indukcyjności, strumienia sprzężonego. Porównanie wyników z obliczeniami projektowymi (obliczenie błędu względnego).
7. Symulacja parametryczna

Metody dydaktyczne

Wykłady - prezentacja zagadnień z wykorzystaniem środków multimedialnych, ilustrowana przykładami podawanymi na tablicy, dyskusja nad zagadnieniami problemowymi,

Zajęcia projektowe - realizacja projektów,

Zajęcia laboratoryjne:

- sprawdzian i premiowanie wiedzy niezbędnej do realizacji kolejnych ćwiczeń laboratoryjnych,
- ocenie ciągle na zajęciach aktywności studenta i przyrostu jego wiedzy oraz umiejętności, a także kompetencji społecznych związanych z pracą w zespole,
- ocena wiedzy i umiejętności związanych z realizacją zadań laboratoryjnych, ocena sprawozdania z wykonanego ćwiczenia.

Literatura

Podstawowa:

1. Glinka T. Eksploatacja i diagnostyka maszyn elektrycznych i transformatorów, Wyd. Nau. PWN, 2022.
2. Przyborowski W., Suproniuk M., Wybrane zagadnienia eksploatacyjne oraz elementy obliczeń parametrów i charakterystyk maszyn elektrycznych, Wojskowa Akademia Techniczna, 2020.
3. Glinka T., Maszyny elektryczne wzbudzone magnesami trwałymi, Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice 2018.
4. Mazur D., Gołębiowski M., Rudy M., Modelowanie i analiza układów elektromechanicznych metodą elementów skończonych, Oficyna Wydawnicza Politechniki Rzeszowskiej, 2016.
5. Balderes T. Finite element method, AccessScience, 2014.
6. Michalski W., Podstawy teorii pola elektromagnetycznego. Statyczne pola elektryczne i magnetyczne, Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, 2013.
7. Demenko A., Obwodowe modele układów z polem elektromagnetycznym, WPP, Poznań, 2004.

8. Nowak L., Modele polowe przetworników elektromechanicznych w stanach nieustalonych, WPP, Poznań, 1999.
9. Turowski J., Elektrodynamika techniczna, Wyd.II, WNT, Warszawa, 1993,
10. Dabrowski M. Projektowanie maszyn elektrycznych prądu przemiennego, WNT, Warszawa, 1988.

Uzupełniająca:

Artykuły naukowe i publikacje z zakresu tematyki dotyczącej projektowania przetworników, maszyn elektrycznych.

Bilans nakładu pracy przeciętnego studenta

	Godzin	ECTS
Łączny nakład pracy	77	3,00
Zajęcia wymagające bezpośredniego kontaktu z nauczycielem	32	1,50
Praca własna studenta (studia literaturowe, przygotowanie do zajęć laboratoryjnych/ćwiczeń, przygotowanie do kolokwium/egzaminu, wykonanie projektu)	45	1,50