

Zespół Autorski:

Andrzej Pfitzner, Agnieszka Mossakowska-Wyszyńska, Dominik Kasprowicz

**Metody Matematyczne w Elektronice i Fotonice (MEF)
(Mathematical Methods in Electronics and Photonics)**

Poziom kształcenia: *II stopień*

Forma i tryb prowadzenia przedmiotu: *stacjonarna*

Kierunek studiów: *Elektronika*

Specjalność: *Systemy Zintegrowanej Elektroniki i Fotoniki*

Klasy programowe:

Poziom przedmiotu: *zaawansowany*

Status przedmiotu: *obowiązkowy*

Język przedmiotu: *polski*

Semestr nominalny (tylko dla przedmiotów obowiązkowych): 2

Minimalny numer semestru:

Wymagania wstępne, zalecane przedmioty poprzedzające: -

Limit liczby studentów: 30

Powód zgłoszenia przedmiotu: *nowy program studiów II stopnia na kierunku Elektronika*

Cel przedmiotu: *Celem przedmiotu jest zapoznanie studentów z metodami opisu matematycznego i symulacji działania składników systemów elektronicznych i fotonicznych, ukształtowanie umiejętności w zakresie posługiwania się algorytmami, modelami i symulatorami o charakterze uniwersalnym do rozwiązywania problemów technicznych i badawczych w tym obszarze.*

Treść kształcenia:

Informacje ogólne:

Przedmiot składa się z części wykładowej oraz projektowej. W ramach części projektowej każdy uczestnik kursu wykonuje dwa projekty indywidualne, za które może uzyskać odpowiednio po 25 punktów. W ramach wykładu przewidziane są dwa kolokwia zaliczeniowe, za które można uzyskać po 25 punktów. Pierwsze kolokwium odbędzie się w połowie, a drugie pod koniec semestru. Terminy kolokwiów będą przekazane z co najmniej tygodniowym wyprzedzeniem. Warunkiem zaliczenia przedmiotu jest uzyskanie co najmniej 13 punktów z każdego kolokwium i co najmniej 12 punktów z każdego projektu. Łącznie można uzyskać maksymalnie 100 punktów, zaś ocena końcowa z przedmiotu jest wystawiana według poniższej reguły:

91-100 punktów ocena: 5.0

81-90 punktów ocena: 4.5

71-80 punktów ocena: 4.0

61-70 punktów ocena: 3.5

50-60 punktów ocena: 3.0

Opis wykładu:

Materiał wykładu obejmuje następujące bloki tematyczne:

- Wprowadzenie. Rodzaje równań różniczkowych. Opis matematyczny podstawowych zagadnień elektroniki i fotoniki (równania Maxwella, równanie kinetyczne Boltzmanna, model*

Wydziałowa Komisja Akredytacji Przedmiotów (WKAP)

termodynamiczny). Klasyfikacja równań różniczkowych cząstkowych (eliptyczne, paraboliczne, hiperboliczne).

- *Pojęcie równania różniczkowego zwyczajnego i jego rozwiązywanie. Zagadnienie początkowe. Równania wyższych rzędów. Przykład generator drgań sinusoidalnych*
- *Metody numerycznego całkowania dla zagadnień 1D, 2D i 3D. Przykład wyznaczania bilansu mocy ośrodków aktywnych. Równania różniczkowe niejednorodne, funkcje Greena.*
- *Przybliżone metody rozwiązywania równań nieliniowych. Przykład: numeryczne rozwiązywanie równania dyspersyjnego w światłowodzie planarnym.*
- *Równania hiperboliczne, równanie falowe. Metoda separacji zmiennych (Fouriera). Numeryczne rozwiązywanie równania falowego a przybliżone rozwiązania analityczne. Przykład dla światłowodu planarnego.*
- *Metody numerycznego rozwiązywania układu równań różniczkowych sprzężonych pierwszego stopnia. Przykład porównanie rozwiązań numerycznych z wynikami przybliżonego rozwiązania analitycznego dla lasera DFB.*
- *Częstotliwościowe metody elektrodynamiki obliczeniowej, pół-analityczne metody macierzowe. Metoda macierzy przejścia TMM i metoda macierzy rozpraszania SMM. Przykłady ich zastosowania do analizy kryształów fonicznych (TMM) i struktur o symetrii parzystej (SMM).*
- *Zagadnienia eliptyczne, operator Laplace'a, równanie Poissona. Zagadnienia paraboliczne - przepływ prądu i ciepła w strukturach elektronicznych (równania ciągłości prądów elektronów i dziur, równanie Fouriera). Warunki brzegowe i początkowe.*
- *Dyskretyzacja równań w przestrzeni położenia i czasu, różnice i elementy skończone, schemat Cranka-Nicolson. Iteracyjne rozwiązywanie dużych układów równań liniowych - metody sprzężonych gradientów, generacja i adaptacja siatek dyskretyzacyjnych.*
- *Numeryczne algorytmy rozwiązywania układów równań różniczkowych cząstkowych zależnych: uogólniona metoda Newtona-Raphsona a metoda kolejnych przybliżeń. Metody przyspieszania algorytmów numerycznych, ekstrapolacja rozwiązań, analiza małosygnalowa. Przybliżenia początkowe i zastosowanie algorytmów ewolucyjnych.*
- *Metody tworzenia modeli "kompaktowych" elementów elektronicznych dla systemów CAD, efektywne przybliżenia analityczne, ciągłość modeli, konstruowanie wzorów empirycznych i modeli tablicowych.*
- *Symulacja statystyczna oparta na metodzie Monte-Carlo, przewidywanie uzysku produkcyjnego, analiza korelacyjna.*

Projekt:

Zadania projektowe w części fonicznej obejmują wykonanie analizy numerycznej wzmocnienia ośrodków aktywnych w wybranych strukturach falowodowych oraz analizy własności transmisyjnych struktur wykazujących parzystą symetrię. Zadania te będą realizowane w środowisku programistycznym Matlab z wykorzystaniem omawianych na wykładzie metod numerycznych.

Zadania projektowe w części elektronicznej obejmują analizę numeryczną rozkładów pola i koncentracji nośników w strukturach układów scalonych dla różnych warunków chłodzenia, wyznaczanie charakterystyk prądowo-napięciowych i czasowych skalowanych przyrządów półprzewodnikowych, tworzenie bądź modyfikacje modelu kompaktowego elementu elektronicznego pod kątem efektywności obliczeniowej i dokładności. Część zadań będzie realizowana w środowisku Matlab, część przy użyciu profesjonalnych symulatorów TCAD.

Egzamin: *nie*

Literatura (wybrane, wskazane przez wykładowcę rozdziały publikacji):

1. Salah Obayya, *Computational Photonics*, John Wiley & Sons, Inc. 2011
2. Herbert Baaser, *Development and Application of the Finite Element Method based on MatLab*, Springer-Verlag 2010
3. Matthew N. O. Sadiku, *Numerical techniques in electromagnetics*, CRC Press LLC 2001
4. A. Pfitzner, *Modelowanie elementów półprzewodnikowych dla statystycznej symulacji układów scalonych VLSI*, Prace Naukowe Elektronika z.120, OWPW, 1999
5. D. Potter, *Metody obliczeniowe fizyki*, PWN Warszawa 1977
6. G.H. Golub and C. F. Van Loan, *Matrix Computations*, Baltimore: The Johns Hopkins University Press, 2nd ed., 1989.
7. Z. Fortuna, B. Macukow, J. Wąsowski, *Metody numeryczne*, Podręczniki Akademickie EIT, WNT Warszawa, 2005
8. E. Dudek-Dyduch, J. Wąs, L. Dutkiewicz, K. Grobler-Dębska, B. Gudowski, *Metody Numeryczne – Wybrane zagadnienia*, Wydawnictwa AGH, Kraków 2011

Materiały uzupełniające wg wskazówek wykładowcy:

9. Wartak, M., *Computational Photonics: An Introduction with MATLAB*, Cambridge University Press. 2013
10. Autar Kaw, E. Eric Kalu, *Numerical Methods with Applications, Abridged, Second Edition*, 2010
11. Won Y. Yang, Wenwu Cao, Tae S. Chung, John Morris, *Applied Numerical Methods Using MATLAB*, John Wiley & Sons, Inc. 2005
12. Steven T. Karris, *Numerical Analysis Using MATLAB and Excel*, Orchard Publications 2007
13. Jaan Kiusalaas, *Numerical Methods in Engineering with MATLAB*, Cambridge University Press 2005
14. D.R. Fokkema, G. L.G. Sleijpen, and H. A. Van der Vorst, *Generalized conjugate gradient squared*, *Journal of Computational and Applied Mathematics*, vol. 71, no. 1, pp.125–146, 1996.
15. D.R. Fokkema, G. L.G. Sleijpen, and H. A. van der Vorst, *Accelerated Inexact Newton Schemes for Large Systems of Nonlinear Equations*, *SIAM Journal of Scientific Computing*, vol. 19, no. 2, pp. 657–674, 1998
16. R.E. Bank, D.J. Rose, and W. Fichtner, *Numerical Methods for Semiconductor Device Simulation*, *IEEE Transactions on Electron Devices*, vol. ED-30, no. 9, pp.1031–1041, 1983
17. S. Selberherr, *Analysis and Simulation of semiconductor Devices*, SpringerVerlag, 1984
18. *Sentaurus User Guide*, Synopsys, 2020 i następne wersje

Wymiar godzinowy zajęć:

W	C	L	P	
30	-	-	30	(60)

Wymiar w jednostkach ECTS: 4

Liczba godzin pracy studenta związanych z osiągnięciem efektów kształcenia (opis):

1. liczba godzin kontaktowych – 55 godz., w tym
 - obecność na wykładach 30 godz.,
 - obecność na ćwiczeniach projektowych 15 godz.,
 - udział w konsultacjach 10 godz.
2. praca własna studenta – 55 godz., w tym
 - przygotowanie do kolokwium 10 godz.,

Wydziałowa Komisja Akredytacji Przedmiotów (WKAP)

- wykonywania zadań projektowych 35 godz.,
- przygotowanie sprawozdań (projekty) 10 godz.

Łączny nakład pracy studenta wynosi 110 godz., co odpowiada 4 pkt ECTS.

Liczba punktów ECTS na zajęciach wymagających bezpośredniego udziału nauczycieli akademickich: 2 pkt ECTS, co odpowiada 55 godz. kontaktowym.

Liczba punktów ECTS, którą student uzyskuje w ramach zajęć o charakterze praktycznym: 2 pkt ECTS, co odpowiada 50 godz. zadań projektowych

Efekty kształcenia/uczenia się:

Efekty kształcenia/uczenia się student, który zaliczył przedmiot:	forma zajęć/ technika kształcenia	sposób weryfikacji (oceny)	odniesienie do efektów uczenia się dla programu
WIEDZA			
Ma poszerzoną i pogłębioną wiedzę w zakresie matematyki, obejmującą metody numeryczne niezbędne do modelowania i analizy działania zaawansowanych elementów elektronicznych i fotonicznych.	wykład	kolokwium	P7U_W01 P7U_W03
Wie jak stosować zaawansowane metody numeryczne do rozwiązywania złożonych problemów inżynierskich i prostych badawczych w zakresie elektroniki i fotoniki	wykład	kolokwium	P7U_W03 P7U_W04 P7U_W06
Zna metody tworzenia modeli elementów dla systemów EDA (ECAD)	wykład	kolokwium	P7U_W04 P7U_W06
UMIEJĘTNOŚCI			
Potrafi pozyskiwać informacje z literatury, baz danych oraz innych źródeł, także w języku angielskim; potrafi integrować uzyskane informacje, dokonywać ich interpretacji, a także wyciągać wnioski oraz formułować i uzasadniać opinie.	projekt	projekt	P7U_U01 P7U_U09
Potrafi przygotować dobrze udokumentowane opracowanie problemów z zakresu elektroniki i fotoniki.	projekt	projekt	P7U_U03
Ma umiejętność samokształcenia się.	wykład, projekt	kolokwium, projekt	P7U_U05
Potrafi przeprowadzać eksperymenty symulacyjne dla charakteryzacji elementów elektronicznych i fotonicznych.	projekt	projekt	P7U_U07 P7U_U08
Potrafi wykorzystać poznane metody oraz modele matematyczne do analizy szczegółowych zagadnień fizycznych i technicznych elektroniki i fotoniki	projekt, wykład	projekt, kolokwium	P7U_U07 P7U_U08
KOMPETENCJE SPOŁECZNE			

Wydziałowa Komisja Akredytacji Przedmiotów (WKAP)

Potrafi odpowiednio określić priorytety służące realizacji określonego przez siebie lub innych zadania.	projekt	projekt	P7U_K01
---	---------	---------	---------