**Nazwa przedmiotu:**

Mikroelektronika

**Koordynator przedmiotu:**

dr hab. inż Andrzej PFITZNER, prof. PW

**Status przedmiotu:**

Fakultatywny ograniczonego wyboru

**Poziom kształcenia:**

Studia I stopnia

**Program:**

Elektronika i Telekomunikacja

**Grupa przedmiotów:**

Przedmioty kierunkowe obieralne

**Kod przedmiotu:**

MIKZ

**Semestr nominalny:**

5 / rok ak. 2020/2021

**Liczba punktów ECTS:**

6

**Liczba godzin pracy studenta związanych z osiągnięciem efektów uczenia się:**

145 Uzasadnienie: Bilans nakładu pracy przeciętnego studenta: studia wykładowe z podręcznikiem (10 wykładów): 45 h, uzupełniające studia literaturowe: 15 h, rozwiązanie zadań problemowych (z podręcznika): 35 h, wykonanie zadań symulacyjnych: 20 h, przygotowanie do egzaminu (rozwiązanie przykładowych zadań problemowych i testowych): 10 h, udział w konsultacjach grupowych u prowadzącego i drogą elektroniczną (np. Skype), dyskusja wyników symulacjii oraz egzamin: (4 do 6) + (12 do 10) + 2 + 2 = 20 h. Łączny nakład pracy studenta wynosi zatem: 45 + 15 + 35 + 20 + 10 + 20 = 145 h

**Liczba punktów ECTS na zajęciach wymagających bezpośredniego udziału nauczycieli akademickich:**

1

**Język prowadzenia zajęć:**

polski

**Liczba punktów ECTS, którą student uzyskuje w ramach zajęć o charakterze praktycznym:**

3

**Formy zajęć i ich wymiar w semestrze:**

|  |  |
| --- | --- |
| Wykład:  | 30h |
| Ćwiczenia:  | 15h |
| Laboratorium:  | 0h |
| Projekt:  | 15h |
| Lekcje komputerowe:  | 0h |

**Wymagania wstępne:**

Przedmiot Mikroelektronika wymaga znajomości podstawowych zagadnień z fizyki w zakresie elektromagnetyzmu i fizyki ciała stałego oraz z teorii obwodów.
Przydatne są też wiadomości z Podstaw Elektroniki.

**Limit liczby studentów:**

30

**Cel przedmiotu:**

Celem przedmiotu jest zapoznanie studentów z modelami elementów układów scalonych oraz podstawowymi technologiami ich wytwarzania.
W warstwie praktycznej celem jest wykształcenie umiejętności prawidłowego przeprowadzania symulacji układów elektronicznych, korzystając z programów takich jak SPICE, będących składnikami systemów komputerowego wspomagania projektowania (CAD) układów scalonych. Obejmuje to w szczególności umiejętność właściwego wykorzystywania modeli elementów oraz definiowania i wyznaczania ich parametrów spójnych z technologią wytwarzania.
Ambicją autora przedmiotu jest przekazanie studentom podstawowej wiedzy i umiejętności z obszaru mikroelektroniki w sposób spójny, nastawiony na zrozumienie zagadnień (a nie pamięciowe opanowanie informacji encyklopedycznych) oraz ułatwienie samodzielnych studiów dla pogłębienia wiadomości i zdobywania nowych kompetencji w miarę rozwoju elektroniki i inżynierii komputerowej.

**Treści kształcenia:**

Wprowadzenie
• Technologie mikroelektroniczne
• Komputerowo wspomagane projektowanie, rola modelowania elementów
• Wprowadzenie do symulacji elektrycznej – program SPICE

Modelowanie elementów układów elektronicznych
Diody półprzewodnikowe
• Wiadomości wstępne
• Prądy rekombinacji-generacji
• Mechanizm przepływu prądu
• Charakterystyka prądowo-napięciowa
• Właściwości małosygnałowe złącza p-n: zależności prądowo-napięciowe, elementy schematu zastępczego
• Praca impulsowa diody: charakterystyki czasowe, model ładunkowy
• Model diody dla symulacji komputerowej: schemat i parametry modelu, wyznaczanie parametrów elektrycznych
Tranzystory bipolarne
• Wiadomości wstępne
• Model Ebersa-Molla: koncepcja modelu, zależności prądowo-napięciowe, parametry statyczne
• Charakterystyki statyczne tranzystora bipolarnego: charakterystyki tranzystora npn w różnych konfiguracjach
• Efekty zależne od punktu pracy: rezystancje obszarów quasi-neutralnych, zmiany współczynnika wzmocnienia prądowego, obszar bezpiecznej pracy tranzystora
• Właściwości małosygnałowe tranzystora bipolarnego: schematy zastępcze i ich parametry, zakres małych i wielkich częstotliwości, częstotliwości graniczne tranzystora bipolarnego
• Przełączanie tranzystora bipolarnego: przebiegi czasowe, inwerter bipolarny
• Model tranzystora bipolarnego dla symulacji komputerowej: schemat i parametry modelu, wyznaczanie parametrów elektrycznych
Tranzystory polowe
• Wiadomości wstępne. Struktura MIS
• Struktura fizyczna i zasada działania tranzystora MOS
• Charakterystyki prądowo-napięciowe tranzystora MOS
• Parametry statyczne tranzystora MOS
• Właściwości małosygnałowe tranzystora MOS: modele i ich parametry dla małych i dużych częstotliwości
• Przełączanie tranzystora MOS w układzie inwertera
• Model tranzystora MOS dla symulacji komputerowej: schemat i parametry modelu, wyznaczanie parametrów elektrycznych

Realizacje mikroelektroniczne
Technologie wytwarzania układów scalonych
• Specyfika układów scalonych
• Technologie i rodzaje izolacji: technologie bipolarne, technologie MOS
Podstawowe operacje procesów technologicznych
• Wytwarzanie warstw przewodzących i dielektrycznych
• Operacje litografii
• Domieszkowanie (implantacja, dyfuzja)
• Montaż i hermetyzacja
Wybrane konstrukcje scalone
• Elementy pasożytnicze
• Realizacje tranzystorów pnp, diod i elementów pasywnych
• Komórki pamięci półprzewodnikowych
• Tendencje rozwoju mikroelektroniki

**Metody oceny:**

Zaliczenie przedmiotu Mikroelektronika dokonywane jest na podstawie pracy bieżącej i podczas egzaminu.

Oceny cząstkowe są formułowane w systemie punktowym w proporcji:
do 30 punktów – za pracę bieżącą, tj. rozwiązanie zadań wskazanych w ciągu półsemestru,
do 70 punktów – za egzamin pisemny.
W ramach egzaminu można uzyskać:
do 20 punktów – za test,
do 50 punktów – za część zadaniowo-problemową.

Oceny końcowe wystawiane są następująco:
od 91 do 100 punktów – bardzo dobra (5)
od 81 do 90 punktów – ponad dobra (4,5)
od 71 do 80 punktów – dobra (4)
od 61 do 70 punktów – dość dobra (3,5)
od 51 do 60 punktów – dostateczna (3)
 do 50 punktów – niedostateczna (2)

Test egzaminacyjny polega na wybraniu prawidłowej odpowiedzi spośród czterech możliwości na każde z 10 pytań dotyczących wykładu.

Celem części zadaniowo-problemowej egzaminu jest sprawdzenie stopnia zrozumienia prezentowanych zagadnień oraz umiejętności rozwiązywania problemów praktycznych posługiwania się modelami elementów układów scalonych, wyznaczaniem parametrów tych modeli oraz charakteryzowaniem właściwości elektrycznych elementów i podstawowych układów. Egzamin obejmuje zatem:
- rozwiązywanie zadań obliczeniowych,
- wyjaśnianie i ilustrowanie obserwowanych efektów
- rozwiązywanie problemów stosując odpowiednie metody modelowania i analizy,
- proponowanie procedur eksperymentalnych wyznaczania parametrów.

W realizacji przedmiotu kluczową rolę odgrywają dostarczane do samodzielnego rozwiązywania problemy i zadania. Pomagają one zrozumieć i utrwalić materiał wykładowy oraz nabyć wymagane umiejętności. Równocześnie ułatwiąją przygotowanie się do egzaminu, do którego są zbliżone średnim stopniem trudności.

**Egzamin:**

tak

**Literatura:**

 Literatura podstawowa:
1. A. Pfitzner, Mikroelektronika, 2009, podręcznik multim. na stronie przedmiotu
Do rozwiązywania części zadań i problemów korzysta się z symulatora PSPICE udostępnionego publicznie przez Cadence Design Systems, Inc. (http://pcb.cadence.com): OrCAD Pspice Demo Version 9.1 jest również dołączona do wykładu.

Literatura uzupełniająca:
2. A. Pfitzner, E. Piwowarska, W. Pleskacz, Podstawy Elektroniki, podręcznik multim. (CD) PW, 2002
3. W. Marciniak, Przyrządy półprzewodnikowe i układy scalone, WNT Warszawa, kilka wydań od 1987
4. J. Porębski, P. Korohoda. SPICE program analizy nieliniowych układów elektronicznych. WNT, 1996
5. Praca zbiorowa, Elementy i układy elektroniczne, projekt i laboratorium. WPW, 2007.
7. R. L. Geiger, P. E. Allen, N. R. Strader, VLSI design techniques for analog and digital circuits, McGraw-Hill, Inc. 1994

**Witryna www przedmiotu:**

https://inz.okno.pw.edu.pl/

**Uwagi:**

W zasadniczej części przedmiot Mikroelektronika oparty jest na przedmiotach z tej tematyki prowadzonych w różnych wersjach przez autora od 1980 roku na Wydziale Elektroniki i Technik Informacyjnych Politechniki Warszawskiej.Jest też uzupełnieniem do przedmiotu Układy Scalone, poświęconego głównie aspektom projektowym.
Termin mikroelektronika powstał jako określenie obszaru techniki obejmującego realizację, tj. zaprojektowanie i wyprodukowanie podzespołów elektronicznych w czasach, kiedy układy elektroniczne realizowane były przez połączenie dyskretnych (indywidualnych) elementów aktywnych i biernych na płytach drukowanych. Człon mikro odróżniał te elementy elektroniczne od makroskali całego układu, a ponadto nawiązywał do najlepszych wówczas osiągnięć w redukcji części wymiarów do poziomu mikrometrowego.
Postęp technologii mikroelektronicznych i rozwój metod projektowania doprowadziły do realizacji całych systemów elektronicznych w postaci monolitycznych półprzewodnikowych układów scalonych (System on Chip). Wskazuje to nie tylko na scalenie technologiczne, ale także na postępującą integrację wielu obszarów elektroniki i inżynierii komputerowej w metodologii projektowania. O ile w aspekcie technik wytwarzania tradycyjne rozumienie obszaru mikroelektroniki w zasadzie nie zmieniło się, chociaż korzysta się z coraz bardziej wyrafinowanych, precyzyjnych (na skalę nawet nanometrową) operacji technologicznych, to w odniesieniu do realizacji „podzespołów” termin mikroelektronika stał się bardzo pojemny i jest używany niejednoznacznie.
Niniejszy przedmiot nawiązuje w dużym stopniu do tradycyjnej nazwy mikroelektronika przy czym płytkę drukowaną zastąpił monolityczny układ scalony (chip), którego elementy są w centum uwagi zamiast dawnych dyskretnych przyrządów.

## Charakterystyki przedmiotowe

### Profil ogólnoakademicki - wiedza

**Charakterystyka W1:**

Ma podstawową wiedzę o konstrukcji, zasadzie działania, właściwościach i modelach diod półprzewodnikowych

Weryfikacja:

Rozwiązania zadań problemowych w trakcie półsemestru, egzamin (test+część problemowa)

**Powiązane charakterystyki kierunkowe:** K\_W05, K\_W13, K\_W15

**Powiązane charakterystyki obszarowe:** I.P6S\_WG, I.P6S\_WK

**Charakterystyka W2:**

Ma podstawową wiedzę o konstrukcji, zasadzie działania, właściwościach i modelach tranzystorów bipolarnych

Weryfikacja:

Rozwiązania zadań problemowych w trakcie półsemestru, egzamin (test+część problemowa)

**Powiązane charakterystyki kierunkowe:** K\_W05, K\_W13, K\_W15

**Powiązane charakterystyki obszarowe:** I.P6S\_WG, I.P6S\_WK

**Charakterystyka W3:**

Ma podstawową wiedzę o konstrukcji, zasadzie działania, właściwościach i modelach tranzystorów polowych

Weryfikacja:

Rozwiązania zadań problemowych w trakcie półsemestru, egzamin (test+część problemowa)

**Powiązane charakterystyki kierunkowe:** K\_W05, K\_W13, K\_W15

**Powiązane charakterystyki obszarowe:** I.P6S\_WG, I.P6S\_WK

**Charakterystyka W4:**

Zna podstawowe technologie mikroelektroniczne i procesy wytwarzania układów scalonych

Weryfikacja:

Odpowiedzi na pytania zamieszczone w podręczniku, egzamin

**Powiązane charakterystyki kierunkowe:** K\_W06, K\_W05

**Powiązane charakterystyki obszarowe:** III.P6S\_WG.o, I.P6S\_WG, I.P6S\_WK

**Charakterystyka W5:**

Zna podstawowe konstrukcje elementów w układach scalonych i rolę elementów pasożytniczych

Weryfikacja:

 Odpowiedzi na pytania zamieszczone w podręczniku, egzamin

**Powiązane charakterystyki kierunkowe:** K\_W05, K\_W06, K\_W15

**Powiązane charakterystyki obszarowe:** I.P6S\_WG, I.P6S\_WK, III.P6S\_WG.o

### Profil ogólnoakademicki - umiejętności

**Charakterystyka U1:**

Potrafi wyznaczać charakterystyki elementów półprzewodnikowych (diód, tranzystorów bipolarnych i MOS) na podstawie parametrów konstrukcyjnych.

Weryfikacja:

Rozwiązania zadań problemowych, ocena pracy podczas półsemestru, egzamin

**Powiązane charakterystyki kierunkowe:** K\_U05, K\_U07, K\_U13

**Powiązane charakterystyki obszarowe:** I.P6S\_UU, I.P6S\_UW, III.P6S\_UW.3.o

**Charakterystyka U2:**

Potrafi dobierać parametry konstrukcyjne przyrządów półprzewodnikowych w celu uzyskania zadanych właściwości elektrycznych

Weryfikacja:

Rozwiązania zadań problemowych, ocena pracy podczas półsemestru, egzamin

**Powiązane charakterystyki kierunkowe:** K\_U05, K\_U07, K\_U13

**Powiązane charakterystyki obszarowe:** I.P6S\_UU, I.P6S\_UW, III.P6S\_UW.3.o

**Charakterystyka U3:**

Potrafi wyekstrahować parametry modeli diód, tranzystorów bipolarnych i MOS na podstawie ich charakterystyk elektrycznych

Weryfikacja:

Rozwiązania zadań problemowych i symulacyjnych, ocena pracy podczas półsemestru, egzamin

**Powiązane charakterystyki kierunkowe:** K\_U05, K\_U07, K\_U13, K\_U17

**Powiązane charakterystyki obszarowe:** I.P6S\_UU, I.P6S\_UW, III.P6S\_UW.3.o, III.P6S\_UW.1.o

**Charakterystyka U4:**

Potrafi dobierać modele, formułować pliki wejściowe i przeprowadzać symulacje komputerowe oraz wyznaczać parametry elektryczne elementów układów scalonych

Weryfikacja:

Rozwiązania zadań problemowych i symulacyjnych, ocena pracy podczas półsemestru, egzamin

**Powiązane charakterystyki kierunkowe:** K\_U05, K\_U07, K\_U13, K\_U17

**Powiązane charakterystyki obszarowe:** I.P6S\_UU, I.P6S\_UW, III.P6S\_UW.3.o, III.P6S\_UW.1.o