

Autor:

dr hab. inż. Andrzej Pfitzner, prof. uczelni

Podstawy Mikroelektroniki (PMK)
Introduction to Microelectronics

Poziom kształcenia: *I stopień*

Forma i tryb prowadzenia przedmiotu: *stacjonarna*

Kierunek studiów: *Elektronika*

Specjalność: *Elektronika i Fotonika*

Grupa przedmiotów:

Poziom przedmiotu: *podstawowy*

Status przedmiotu: *obowiązkowy*

Język przedmiotu: *polski*

Semestr nominalny: *5*

Minimalny numer semestru: *5*

Wymagania wstępne, zalecane przedmioty poprzedzające: *Wymagana znajomość podstaw elementów i układów elektronicznych, np. w ramach PPP, ELA1,2.*

Limit liczby studentów: *150*

Powód zgłoszenia przedmiotu: *modyfikacja i unowocześnienie programu studiów dla kierunku Elektronika, zmiana specjalności EiK na Elektronika i Fotonika*

Cel przedmiotu:

Zapoznanie się z podstawami projektowania i realizacji układów i systemów elektronicznych w postaci układów scalonych. Wprowadzenie pojęcia specjalizowanych układów scalonych (*Application Specific Integrated Circuits - ASIC*), zapoznanie studentów z aspektami praktycznymi i ekonomicznymi projektowania i zamawiania produkcji tych układów. Przygotowanie do specjalistycznych przedmiotów obieralnych z projektowania zintegrowanych systemów cyfrowych, analogowych i mieszanych.

Treść kształcenia:

WYKŁADY:

Tematyka wykładów:

1. Wiadomości wstępne. Cele integracji mikroelektronicznej układów elektronicznych (złożoność funkcjonalna, pobór mocy, koszt, niezawodność, IP). Układy standardowe (katalogowe) a układy ASIC i programowalne. Płytki wieloprojektowe. Etapy tworzenia nowego układu/systemu. Systemy CAD.
2. Technologiczne uwarunkowania projektowania układów scalonych. Konstrukcje CMOS i BiCMOS. Operacje wytwarzania, dostęp do produkcji. Projektowanie topografii, maski produkcyjne. Możliwości i ograniczenia.
3. Problemy, metody i style projektowania. Etapy od opisu funkcjonalnego do projektu fizycznego. Automatyzacja projektowania. Od *full custom* do układów programowalnych, kryteria wyboru stylu projektowania. Uproszczenia procesu projektowania, maski abstrakcyjne, schemat kreskowy, standaryzacja. Bloki IP, SoC, NoC, PSoC.

Wydziałowa Komisja Akredytacji Przedmiotów (WKAP)

4. Ekonomiczne aspekty mikroelektroniki, *design for manufacturability*. Rozrzuty produkcyjne, rodzaje i źródła. Zaburzenia parametryczne i katastroficzne. Reguły projektowania. Metody weryfikacyjne. TCAD, symulacja statystyczna.
5. Elementy czynne i bierne w układach scalonych. Podstawowe konstrukcje i charakterystyki tranzystorów MOS i bipolarnych, uwarunkowania topograficzne. Tranzystor bipolarny w układach CMOS i BiCMOS. Elementy pasożytnicze. Właściwości i ograniczenia realizacji elementów biernych.
6. Proste scalone bramki logiczne: podstawowe pojęcia i wymagania. Regeneracja poziomów logicznych, źródła i tłumienie zakłóceń, kierunkowość. Statyczny inwerter CMOS, bramki NAND i NOR: kształtowanie charakterystyk przełączania, czasów włączania, wyłączania i propagacji sygnału, poboru mocy. Ograniczenia liczby wejść.
7. Bramki kombinacyjne CMOS. Statyczne: składniki pojemności obciążającej, czasy przełączania, pobór mocy; kryteria wymiarowania tranzystorów w bramkach złożonych, bramki transmisyjne i trójstanowe. Dynamiczne: bramki typu DOMINO; wymagania i ograniczenia. Porównanie bramek statycznych i dynamicznych.
8. Testowanie i testowalność układów cyfrowych. Defekty, uszkodzenia, ich modele. Wektory testowe, poziom wykrywalności uszkodzeń, wykrywalność i obserwowalność węzłów. Testowanie funkcjonalne i strukturalne. Testowanie prądowe. Układy łatwo testowalne, układ sekwencyjny z łańcuchem skanującym, krawędziowa ścieżka skanująca. Układy samotestujące się. Niezawodność układów do zastosowań krytycznych.
9. Przerzutniki, rejestry, komórki pamięci półprzewodnikowych. Przerzutnik Schmitta, wymiarowanie. Statyczny przerzutnik bistabilny: wymagania konstrukcyjne, realizacje z taktowaniem zegarem. Przerzutniki typu D. Generacja sygnałów zegarowych. Komórki pamięci półprzewodnikowych: statycznych i dynamicznych RAM, ROM o stałej zawartości i programowalne. Komórki SONOS.
10. Pamięci półprzewodnikowe. Ogólna struktura układów pamięci. Sterowanie działaniem pamięci, podstawowe zależności czasowe. Realizacje układów zapisu i odczytu. Realizacja pamięci nieulotnej „flash” typu NOR i NAND. Zastosowania pamięci ROM, układy kombinacyjne, programowalne układy cyfrowe.
11. Scalone układy analogowe: podstawowe problemy, bloki analogowe w układach cyfrowych. Porównanie układów analogowych i cyfrowych z punktu widzenia projektanta. Tranzystor MOS a bipolarny w zastosowaniach analogowych. Problemy specyficzne dla układów analogowych: zależności temperaturowe, rozrzuty produkcyjne tranzystorów MOS i bipolarnych oraz elementów biernych. Efekty pasożytnicze i przeciwdziałanie.
12. Realizacja układów źródeł prądowych i napięciowych. Minimalizacja wpływu zmian temperatury i rozrzutów produkcyjnych. Zespoły źródeł prądowych. Wymagania dla rodzajów źródeł napięciowych. Pierwotne źródła napięć odniesienia. Mnożnik U_{BE} w technologii CMOS. Układ PTAT. Regulacja układów przesuwania napięcia.
13. Wzmacniacze różnicowe i wybrane zagadnienia ich projektowania. Porównanie właściwości wzmacniaczy różnicowych bipolarnego i MOS. Reguły projektowania topografii dla minimalizacji systematycznego napięcia niezrównoważenia w układach CMOS. Wzmacniacz operacyjny a komparator. Komparator z pamięcią. Wzmacniacze w pamięciach dynamicznych RAM. Kompensacja niezrównoważenia losowego. Realizacja wzmacniaczy szerokopasmowych, układów o regulowanym wzmacnieniu.
14. Pobór mocy układów scalonych. Mechanizmy poboru mocy w układach cyfrowych i analogowych. Składniki mocy a wzrost skali integracji. Wpływ temperatury na niezawodność

Wydziałowa Komisja Akredytacji Przedmiotów (WKAP)

układów scalonych, mechanizmy uszkodzeń. Składniki rezystancji termicznej. Chłodzenie układów scalonych. Uwarunkowania projektowania, stabilność elektryczno-ciepna.

15. Przyszłość mikroelektroniki.

LABORATORIA:

Tematyka laboratorium stanowi wprowadzenie do projektowania, realizacji i testowania specjalizowanych układów scalonych, prezentuje wybrane aspekty praktyczne tych zagadnień: 1. Projektowanie i symulacja układu elektrycznego bramki cyfrowej 2. Projektowanie i weryfikacja topografii układu scalonego w stylu full-custom. 3. Projektowanie z wykorzystaniem komórek standardowych; wstęp do automatyzacji projektowania. 4. Zagadnienia projektowania analogowych układów CMOS z uwzględnieniem rozrzutów produkcyjnych. 5. Testowanie cyfrowych układów scalonych. 6. Pomiary ostrzowe prototypów.

Treść kształcenia - streszczenie w jęz. angielskim:

The goal: Introduction to design and implementation of electronic circuits and systems as integrated circuits. Presentation of the concept of Application Specific Integrated Circuits - ASIC, practical and economical aspects of its design, prototyping and fabrication in the fabless design/silicon foundry business model. Preparation for advanced courses in design of integrated digital, analogue and mixed circuits and systems.

The following topics will be covered:

1. Introductory information
2. Manufacturing determinants of the IC design
3. Problems, methods and styles of the design
4. Economical aspects of microelectronics, design for manufacturability
5. Active and passive elements of the integrated circuits
6. Simple integrated logic gates
7. Combinational CMOS gates
8. Testing and testability of the integrated circuits
9. Flip-flops, registers, semiconductor memory cells
10. Semiconductor memories
11. Analogue integrated circuits
12. Implementation of the current and voltage source circuits
13. Differential amplifiers and selected problems of their design
14. Power consumption of the integrated circuits
15. Future of the microelectronics

Egzamin: *tak*

Literatura:

1. W. Kuźmicz, A. Pfitzner, Podręcznik elektroniczny do przedmiotu dostępny z witryny www.przedmiotu (w trakcie modyfikacji)
2. A. Gołda, A. Kos, "Projektowanie układów scalonych CMOS", WKŁ, W-wa 2010
3. M. J. Patyra, "Projektowanie układów MOS w technice VLSI", WNT, W-wa 1993
4. W. Kuźmicz, "Projektowanie analogowych układów scalonych". wyd. 2, WNT, W-wa 1985
5. T. Łuba, B. Zbierzchowski, "Komputerowe projektowanie układów cyfrowych", WKiŁ, W-wa 2000
6. W. Mały, "Atlas of IC Technologies", Benjamin/Cummings, Menlo Park 1987.

Wydziałowa Komisja Akredytacji Przedmiotów (WKAP)

Witryna www przedmiotu:

<http://vlsi.imio.pw.edu.pl/pmk/>

zawiera podręcznik, materiały do ćwiczeń laboratoryjnych, instrukcje obsługi narzędzi CAD

Oprogramowanie:

Narzędzia komputerowego wspomagania projektowania (jak edytor masek, symulatory, programy weryfikacyjne) wchodzące w skład oprogramowania własnego IMiOCAD Zakładu Metod Projektowania w Mikroelektronice oraz innych programów CAD (np. Mentor) w powiązaniu ze wzbogaceniem platformy komputerowej laboratorium.

Wymiar godzinowy zajęć:

W	C	L	P	
2	-	2		(60h/sem.)

Wymiar w jednostkach ECTS: 4

Przewidywane formy kształcenia i organizacja przedmiotu

Zajęcia laboratoryjne prowadzone są w blokach trzygodzinnych (3x45min) pod opieką prowadzącego. Oprócz tego studenci mają do dyspozycji laboratorium z odpowiednim oprogramowaniem dostępne też w trybie otwartym oraz konsultacje. Mają też możliwość zapoznać się z pomiarami ostrzowymi struktur scalonych. Zaliczenie zajęć laboratoryjnych następuje na podstawie wyników przedstawionych w formie raportów, częściowo w postaci projektów. Na ocenę ćwiczeń laboratoryjnych wpływa też stopień przygotowania do zajęć, wnioski i rozmowa zaliczeniowa.

Na ocenę końcową składają się: suma ocen z laboratoriów projektowych (max. 45 pkt) oraz przeliczona na punkty ocena z egzaminu ustnego (max. 55 pkt). Do uzyskania pozytywnej oceny końcowej konieczne jest spełnienie łącznie następujących warunków: uzyskanie zaliczenia co najmniej 8 ćwiczeń z 9 oraz zdanie egzaminu (ocena 3 odpowiadająca 25 punktom). Standardowe przeliczenie punktów na oceny końcowe.

Wiedza i umiejętności studenta przychodzącego na przedmiot: Oczekiwana znajomość podstaw elementów i układów elektronicznych oraz podstaw układów logicznych.

Liczba godzin pracy studenta związanych z osiągnięciem efektów uczenia się:

- liczba godzin kontaktowych: 64 godz., w tym:**
 - obecność na wykładach: 30 godz.,
 - obecność na zajęciach laboratoryjnych i rozmowach zaliczeniowych: 30 godz.
 - konsultacje wykładowe i laboratoryjne: 4 godz.
- praca własna studenta: 50 godz., w tym:**
 - praca w laboratorium otwartym (w tym opracowanie wyników): 20 godz.
 - analiza materiału wykładowego, przygotowanie do laboratorium: 15 godz.
 - przygotowanie do egzaminu: 15 godz.

Łączny nakład pracy studenta wynosi 114 godz., co odpowiada 4 pkt. ECTS.

Liczba punktów ECTS na zajęciach wymagających bezpośredniego udziału nauczycieli akademickich: 2.2 pkt. ECTS, co odpowiada 64 godz. kontaktowym.

Wydziałowa Komisja Akredytacji Przedmiotów (WKAP)

Liczba punktów ECTS, którą student uzyskuje w ramach zajęć o charakterze praktycznym: 1,8 pkt. ECTS, co odpowiada 50 godz. pracy studenta związanej z realizacją laboratorium i laboratoryjnych zadań projektowych.

Efekty uczenia się:

Efekty	forma zajęć	sposób weryfikacji	odniesienie do efektów uczenia się dla programu
student, który zaliczył przedmiot:			
WIEDZA			
w1: ma ogólną wiedzę o wytwarzaniu układów scalonych	wykład	egzamin	K1_W12
w2: zna metody i style projektowania układów scalonych	wykład	egzamin	K1_W12
w3: zna pojęcie specjalizowanych układów scalonych oraz cel i zakres ich zastosowań	wykład	egzamin	K1_W12, K1_W13, K1_W14, K1_W15
w4: zna budowę i właściwości podstawowych bramek i bloków cyfrowych realizowanych mikroelektronicznie	wykład	wykonanie zadań laboratoryjnych egzamin	K1_W09, K1_W12
w5: zna zasady testowania systemów cyfrowych	wykład, ćwiczenia laboratoryjne	wykonanie zadań laboratoryjnych egzamin	K1_W12, K1_W11
w6: zna zasady i problemy realizacji mikroelektronicznej układów analogowych	wykład, ćwiczenia laboratoryjne	wykonanie zadań laboratoryjnych egzamin	K1_W08, K1_W12
w7: zna tendencje rozwojowe mikroelektroniki	wykład	egzamin	K1_W13, K1_W14, K1_W15
UMIĘTNOŚCI			
u1: potrafi zaprojektować schemat i topografię prostego układu cyfrowego i analogowego korzystając z różnych technik	wykład, ćwiczenia laboratoryjne	wykonanie zadań laboratoryjnych	K1_U13, K1_U16, K1_U21
u2: potrafi zweryfikować prosty projekt układu scalonego	ćwiczenia laboratoryjne	wykonanie zadań laboratoryjnych	K1_U21
u3: potrafi scharakteryzować i przetestować prosty układ scalony	ćwiczenia laboratoryjne	wykonanie zadań laboratoryjnych	K1_U21, K1_U20
u4: potrafi przeanalizować prosty układ scalony pod kątem produkowalności	ćwiczenia laboratoryjne	wykonanie zadań laboratoryjnych	K1_U02, K1_U13
u5: potrafi udokumentować wykonany projekt	ćwiczenia laboratoryjne	wykonanie zadań laboratoryjnych	K1_U06
KOMPETENCJE SPOŁECZNE			
ks1: rozumie potrzebę wzbogacania wiedzy przez samokształcenie	wykład, ćwiczenia laboratoryjne	wykonanie zadań laboratoryjnych	K1_K01
ks2: ma świadomość ważności przestrzegania i propagowania zasad etyki zawodowej	wykład, ćwiczenia laboratoryjne	wykonanie zadań laboratoryjnych	K1_K02
ks3: zna i rozumie związki mikroelektroniki z rozwojem gospodarczym i społecznym	wykład	egzamin	K1_K02