



**UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI DI MILANO-BICOCCA**

SYLLABUS DEL CORSO

Laboratorio di Elettronica I

2627-1-F1703Q014

Obiettivi

L'insegnamento di Laboratorio di Elettronica I ha l'obiettivo di fornire agli studenti le conoscenze di base e le competenze operative necessarie per l'analisi, la progettazione, la simulazione e la caratterizzazione di circuiti analogici integrati in tecnologia CMOS, affrontando blocchi circuitali di complessità crescente, dai singoli dispositivi MOS fino agli amplificatori operazionali. Attraverso l'utilizzo di strumenti professionali di Computer-Aided Design (CAD) e di metodologie progettuali adottate in ambito industriale e della ricerca, il corso introduce gli studenti al flusso professionale di sviluppo dei circuiti integrati, dalla progettazione e simulazione circuitale fino alle attività di verifica del progetto propedeutiche alla prototipazione su silicio e alla successiva caratterizzazione sperimentale.

Il corso si articola in tre attività complementari:

1. Introduzione ai principi della progettazione di circuiti integrati analogici in tecnologia CMOS, mediante lo studio dei dispositivi MOS, degli stadi elementari a singolo transistor, degli amplificatori differenziali e degli amplificatori operazionali, con particolare attenzione alle metodologie di analisi e progettazione dei principali blocchi funzionali dell'elettronica analogica integrata.
2. Introduzione all'utilizzo di strumenti professionali di Computer-Aided Design (CAD) per la progettazione, la simulazione e la verifica di circuiti integrati analogici.
3. Introduzione alla strumentazione elettronica di laboratorio, comprendente oscilloscopio, alimentatore, generatore di funzione, multimetro e altra strumentazione di base, nonché alle principali tecniche di misura per la caratterizzazione elettrica dei circuiti elettronici.

Al termine del corso gli studenti saranno in grado di analizzare e simulare circuiti analogici integrati mediante strumenti CAD professionali, interpretarne i risultati di simulazione e utilizzare la principale strumentazione elettronica di laboratorio per effettuare misure e verifiche sperimentali.

Risultati di apprendimento attesi

- Conoscenza e capacità di comprensione (Knowledge and understanding)
Gli studenti acquisiranno le conoscenze fondamentali della progettazione di circuiti analogici integrati in

tecnologia CMOS, dei dispositivi MOS e dei principali blocchi funzionali dell'elettronica analogica, dei principi di funzionamento degli strumenti professionali di Computer-Aided Design (CAD) e della principale strumentazione elettronica di laboratorio.

- Capacità di applicare conoscenza e comprensione (Applying knowledge and understanding)
Gli studenti saranno in grado di analizzare e simulare semplici circuiti analogici integrati mediante strumenti CAD, eseguire analisi circuitali di base e utilizzare la strumentazione elettronica di laboratorio per effettuare semplici misure e verifiche sperimentali.
- Autonomia di giudizio (Making judgements)
Gli studenti svilupperanno la capacità di interpretare criticamente i risultati delle simulazioni e delle misure sperimentali, confrontandoli con le previsioni teoriche e valutando il comportamento dei principali blocchi circuitali analogici.
- Abilità comunicative (Communication skills)
Gli studenti saranno in grado di descrivere il funzionamento dei circuiti analizzati, discutere i risultati delle simulazioni e delle misure sperimentali e redigere semplici relazioni tecniche utilizzando una terminologia scientifica e tecnica appropriata.
- Capacità di apprendimento (Learning skills)
Gli studenti acquisiranno le competenze metodologiche necessarie per approfondire autonomamente la progettazione di circuiti analogici integrati, l'utilizzo di strumenti CAD professionali e le tecniche di misura elettronica, costituendo una base per il successivo insegnamento di Laboratorio di Elettronica II e per corsi più avanzati di microelettronica e progettazione di circuiti integrati.

Contenuti sintetici

- Nozioni di progettazione analogica in tecnologia CMOS
- Uso del software CADENCE per simulazione di circuiti analogici CMOS
- Nozioni di strumentazione elettronica per la caratterizzazione dei circuiti integrati

Programma esteso

Il corso introduce lo studente ai principi della progettazione di circuiti integrati analogici in tecnologia CMOS e si articola in tre attività complementari.

1. Lezioni frontali dedicate ai fondamenti della progettazione analogica CMOS.
Gli argomenti trattati comprendono: tecnologia CMOS, dispositivi MOS, interruttori analogici, specchi di corrente, riferimenti di tensione e di corrente, stadi di amplificazione e amplificatori operazionali.
2. Esperienze di laboratorio di progettazione assistita da calcolatore, finalizzate all'apprendimento dell'utilizzo dell'ambiente CAD Cadence® per la progettazione, simulazione e verifica di circuiti integrati analogici.
Le esercitazioni comprendono, a titolo esemplificativo, il progetto e la simulazione di singoli transistor con particolare attenzione agli aspetti di funzionamento dei dispositivi CMOS in scala nanometrica, stadi differenziali, amplificatori operazionali a singolo e doppio stadio.
3. Esperienze di laboratorio sperimentale, dedicate all'utilizzo della principale strumentazione elettronica di laboratorio (oscilloscopio, alimentatore, generatore di funzione, multimetro e analizzatore di spettro) per la caratterizzazione elettrica di semplici circuiti analogici e l'introduzione alle principali tecniche di misura.

Prerequisiti

Laurea di I livello in Fisica o equivalente. Nozioni di Elettronica analogica di base

Modalità didattica

L'insegnamento prevede un totale di 120 ore, articolate in tre attività complementari:

1. 48 ore di lezioni frontali, dedicate ai fondamenti della progettazione di circuiti integrati analogici in tecnologia CMOS. Le lezioni trattano gli aspetti teorici dell'analisi e della progettazione dei principali blocchi funzionali dell'elettronica analogica integrata.
2. 48 ore di attività di laboratorio CAD, dedicate all'utilizzo dell'ambiente professionale Cadence® per la progettazione, la simulazione e la verifica di circuiti integrati analogici. Le esercitazioni guidano gli studenti nello sviluppo e nell'analisi di semplici blocchi circuitali, quali dispositivi MOS, stadi differenziali e amplificatori operazionali.
3. 24 ore di laboratorio sperimentale, dedicate all'utilizzo della strumentazione elettronica di laboratorio (oscilloscopio, alimentatore, generatore di funzione, multimetro e analizzatore di spettro) per la caratterizzazione elettrica di semplici circuiti analogici e l'apprendimento delle principali tecniche di misura.

La frequenza è fortemente raccomandata, in particolare per le attività di laboratorio CAD e per le esperienze sperimentali, che costituiscono una parte essenziale del percorso formativo.

L'insegnamento è erogato in lingua italiana; su richiesta di uno o più studenti, potrà essere erogato in lingua inglese.

Materiale didattico

Testi di riferimento:

A. Baschirotto "Dispense di Microelettronica"

Gray, Hurst, Lewis, Meyer, "Analysis and design on analog integrated circuits"

F. Maloberti, "Analog designfor CMOS VLSI systems"

B. Razavi, "Design of analog integrated circuits"

M. Norgia, R. Ottoboni, A. Pesatori, C. Svelto, "Misure - Dai fondamenti alla strumentazione", Ed. Esculapio.

Nihal Kularatna, "Digital and Analogue Instrumentation: Testing and Measurement", IEE.

Periodo di erogazione dell'insegnamento

I semestre

Modalità di verifica del profitto e valutazione

Esami orali (colloqui) in presenza su appuntamento (da fissare via mail a andrea.baschirotto@unimib.it)

Lo studente potrà presentare due Relazioni di Laboratorio basate su:

1. Progetto e simulazione di semplici circuiti analogici a singolo transistor;
2. Misure elettriche ed elettroniche su semplici configurazioni circuitali.

L'esame conterà di:

- Colloquio sulle Relazioni di Laboratorio (se presentate)
- Colloquio su argomenti svolti a Lezione

Orario di ricevimento

Il ricevimento avverrà su appuntamento con i docenti del corso (da contattare via mail a [andrea.baschirotto](mailto:andrea.baschirotto@unimib.it), [marcello.dematteis](mailto:marcello.dematteis@unimib.it), valeria.vadala@unimib.it).

Sustainable Development Goals

IMPRESE, INNOVAZIONE E INFRASTRUTTURE
