



**UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI DI MILANO-BICOCCA**

SYLLABUS DEL CORSO

Laboratorio di Elettronica II

2627-1-F1703Q015

Obiettivi

L'insegnamento di Laboratorio di Elettronica II ha l'obiettivo di fornire agli studenti le conoscenze e le competenze necessarie per l'analisi, la progettazione, la simulazione e la caratterizzazione sperimentale di circuiti elettronici analogici.

Il corso si articola in due attività complementari: da un lato la progettazione e la simulazione di circuiti analogici integrati mediante strumenti professionali di Computer-Aided Design (CAD), dall'altro la caratterizzazione elettrica di semplici circuiti analogici mediante strumentazione elettronica di laboratorio, quali alimentatori, generatori di funzione, oscilloscopi, analizzatori di spettro e altra strumentazione dedicata.

Particolare attenzione è rivolta allo studio di amplificatori operazionali, filtri analogici, amplificatori di carica e amplificatori a basso rumore per sensori realizzati in tecnologia CMOS, all'analisi delle prestazioni nominali e statistiche dei circuiti integrati e alla caratterizzazione del comportamento statico, dinamico e del rumore elettronico.

Al termine del corso gli studenti saranno in grado di progettare e simulare semplici circuiti analogici integrati mediante strumenti CAD professionali, interpretarne criticamente i risultati di simulazione e caratterizzarne sperimentalmente il comportamento elettrico mediante misure di laboratorio.

Risultati di apprendimento attesi

- **Conoscenza e capacità di comprensione**
Gli studenti acquisiranno le conoscenze fondamentali relative alla progettazione e alla simulazione di circuiti analogici integrati, ai principi di funzionamento degli strumenti professionali di Computer-Aided Design (CAD), alle tecniche di caratterizzazione elettrica dei circuiti analogici e ai principali fenomeni che influenzano le prestazioni dei circuiti integrati, quali variabilità di processo, temperatura e rumore elettronico.
- **Capacità di applicare conoscenza e comprensione**
Gli studenti saranno in grado di progettare e simulare semplici circuiti analogici integrati mediante strumenti

CAD, eseguire analisi statiche, dinamiche e di rumore, valutarne le prestazioni in differenti condizioni operative e caratterizzare sperimentalmente semplici circuiti analogici utilizzando la strumentazione elettronica di laboratorio.

- **Autonomia di giudizio**
Gli studenti svilupperanno la capacità di interpretare criticamente i risultati delle simulazioni e delle misure sperimentali, confrontare differenti soluzioni circuitali e valutare gli effetti della variabilità di processo, della temperatura e del rumore sulle prestazioni dei circuiti analogici.
- **Abilità comunicative (Communication skills)**
Gli studenti saranno in grado di presentare e discutere i risultati delle attività di progettazione, simulazione e caratterizzazione sperimentale utilizzando una terminologia scientifica e tecnica appropriata e redigendo relazioni tecniche chiare e complete.
- **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 corsi avanzati di microelettronica e progettazione di circuiti integrati.

Contenuti sintetici

- Introduzione alla progettazione di circuiti analogici mediante Computer-Aided-Design (CAD)
- Progettazione CMOS di Operational Transconductance Amplifiers (OTA)
- Procedura di progettazione di Operational Transconductance Amplifiers (OTA)
- Simulazioni dei circuiti analogici in condizioni nominali (punto operativo, frequenza, tempo, rumore sia nel dominio del tempo che della frequenza, stabilità ad anello chiuso)
- Densità spettrale di potenza di rumore nei circuiti ad anello chiuso
- Simulazioni PVT (Process-Voltage-Temperature)
- Simulazioni Montecarlo
- Esercitazioni circuitali in laboratorio

Programma esteso

Lezione 1: Operational Transconductance Amplifiers (OTA) compensati tramite schema Miller

- Introduzione
- Schema base di OTA con stadio di uscita in classe A
- Punto Operativo
- Modello di Piccolo segnale
- Comportamento sul Grande Segnale
- Densità Spettrale di Potenza di Rumore riferita all'ingresso
- Circuito di Common-Mode Feedback

Lezione 2: Procedura di progettazione di Operational Transconductance Amplifiers (OTA) compensati tramite schema Miller

- Introduzione
- Specifiche dell'amplificatore

- Stadio differenziale
- Capacità di Miller di Ingresso
- Stadio di uscita in classe A
- Stadio di uscita in classe AB
- Dimensionamento del Circuito di Common-Mode Feedback

Lezione 3: Strumenti CAD

- Creazione di uno schematico circuitale e di un simbolo
- Simulazione di semplici circuiti analogici utilizzando il tool Analog Design Environment
- Esecuzione di simulazioni che includono le variazioni di processo/tensione/temperatura
- Esecuzione di simulazioni Montecarlo

Prerequisiti

Laurea di I livello in fisica o equivalente.

Modalità didattica

LEZIONI FRONTALI in cui saranno presentati i concetti fondamentali della progettazione analogica in tecnologia CMOS.

ESERCITAZIONI in aula con presentazione e discussione di esempi di circuiti analogici a livello transistor.
ESERCITAZIONI nel laboratorio di elettronica dove gli studenti saranno divisi per gruppi (2 studenti per gruppo).
Gli studenti seguiranno esercitazioni guidate, precedute da una presentazione in aula.

LAVORO di GRUPPO per sviluppo e simulazione stadi analogici.

La frequenza è fortemente raccomandata ed è essenziale per tutte le attività.

Il corso verrà erogato in Italiano.

Materiale didattico

- Dispense e Slides fornite dal docente
- Johns, David A., and Ken Martin. *Analog integrated circuit design*. John Wiley & Sons, 2008.
- Sansen, Willy M. *Analog design essentials*. Vol. 859. Springer Science & Business Media, 2007.
- Kularatna, Nihal. *Digital and analogue instrumentation: testing and measurement*. No. 11. IET, 2003.
- M. Norgia, R. Ottoboni, A. Pesatori, C. Svelto. *Misure - Dai fondamenti alla strumentazione*. Ed. Esculapio.

Periodo di erogazione dell'insegnamento

secondo semestre

Modalità di verifica del profitto e valutazione

L'esame consta di una PROVA ORALE.

Durante la prova orale, lo studente presenterà due Relazioni di Laboratorio:

1. RelazioneCAD: Progetto e simulazione a livello transistor di un circuito analogico (il cui schema generale verrà fornito dai docenti del corso durante le lezioni);
2. RelazioneMeas: Misure elettriche ed elettroniche su semplici configurazioni circuitali.

L'esame conterà di:

- Colloquio sulle Relazioni di Laboratorio;
- Colloquio su argomenti svolti a Lezione.

Le COMPETENZE e conoscenze richieste sono basate su:

- analisi e sintesi di stadi analogici con amplificatore operazione a transconduttanza (amplificatori e filtri attivi);
- simulazioni CAD degli stadi analogici oggetto della RelazioneCAD;
- conoscenza approfondita delle problematiche dei setup di misura oggetto della RelazioneCAD.

I CRITERI di valutazione sono:

- livello di conoscenza dei circuiti oggetto delle due relazioni di laboratorio, sia a livello di architettura sia a livello transistor;
- livello di originalità e approfondimento delle soluzioni circuitali adottate relative alla RelazioneCAD e alla RelazioneMeas.

Orario di ricevimento

Lun. 10-12

Sustainable Development Goals

IMPRESE, INNOVAZIONE E INFRASTRUTTURE
