



# UNIVERSITÀ DI PISA

---

## CIRCUITI INTEGRATI WIRELESS

**BRUNO NERI**

Academic year **2023/24**  
Course **INGEGNERIA ELETTRONICA**  
Code **1062I**  
Credits **9**

Modules	Area	Type	Hours	Teacher(s)
CIRCUITI INTEGRATI WIRELESS	ING-INF/01	LEZIONI	90	GABRIELE CIARPI BRUNO NERI DANIELE ROSSI

### Obiettivi di apprendimento

#### *Conoscenze*

Il corso si propone di guidare lo studente alla progettazione avanzata di circuiti integrati a radiofrequenza e microonde per applicazioni terminali mobili wireless, monitoraggio di funzioni vitali, RADAR a bassa potenza ecc. A tal fine, dopo alcuni approfondimenti relativi alla progettazione integrata dei blocchi principali (LNA, Mixer, Oscillatore, filtri etc), gli strumenti CAD più avanzati verranno presentati dal docente e utilizzati direttamente dagli studenti per progettare e simulare i principali blocchi del front end a radiofrequenza. Oltre alla simulazione a livello di circuito, verranno presentati anche alcuni esempi di SoC RF con riferimento a realizzazioni presenti in letteratura e/o esistenti sul mercato.

#### *Modalità di verifica delle conoscenze*

Nella prova orale verrà valutata la capacità dello studente di esporre correttamente i principali argomenti presentati durante il corso. E' prevista la presentazione di una relazione relativa ad un progetto assegnato alla fine del corso a ciascuno studente, nel corso della quale lo studente deve dimostrare la capacità di utilizzare uno specifico strumento CAD (ADS) per la progettazione e la simulazione RFIC.

#### Metodi:

Valutazione della relazione 33%  
Discussione sulla relazione 33%  
Domanda orale 33%

#### *Capacità*

Oltre ad approfondire la sua conoscenza delle potenzialità e delle problematiche specifiche della progettazione integrata, lo studente imparerà ad utilizzare l'ambiente CAD ADS (Advanced Design System) nel progetto, a partire dalle specifiche di sistema, di tutti i blocchi di un front end radio.

#### *Modalità di verifica delle capacità*

Progetto su ADS di una cella RF con annessa relazione, discussione e domanda su un argomento del corso

#### *Comportamenti*

Lo studente imparerà l'utilizzo appropriato del CAD bilanciato dalla capacità di effettuare un dimensionamento di massima con strumenti tradizionali dal quale partire per l'ottimizzazione mediante il simulatore.

#### *Modalità di verifica dei comportamenti*

Discussione finale del progetto e della relazione

#### *Prerequisiti (conoscenze iniziali)*

E' essenziale aver seguito con attenzione il corso di Elettronica delle Telecomunicazioni, anche se non è stato posto un blocco formale. E' consigliato aver seguito anche il corso di Elettronica Analogica.

#### *Corequisiti*

Nessuno



## UNIVERSITÀ DI PISA

---

### Prerequisiti per studi successivi

Nessuno

### Indicazioni metodologiche

Lezioni ed esercitazioni in aula in presenza. La lezione si sviluppa alla lavagna senza l'utilizzo di schemi predefiniti e slide in maniera interattiva e tenendo conto degli interventi degli studenti.

Metodo di insegnamento:

Lezioni, esercitazioni numeriche, laboratorio CAD

### Programma (contenuti dell'insegnamento)

**Il corso è costituito da due moduli gestiti dai Proff. Bruno Neri, Daniele Rossi e dall'Ing. Gabriele Ciarpì**

#### 1. Principi di progettazione di front end integrati a radiofrequenza (B.Neri).

Rumore e dinamica: SNR e BER, Minimum Dynamic Sygnal e Maximum Dynamic range. Budget di potenza, equazione del collegamento, SNR, BER e raggio di copertura. Distorsioni da intermodulazioni del terzo ordine: definizione, setting di misura, rapporto con punto di compressione a 1 dB, esempio di misura con analizzatore di spettro. LNA a BJT con matching integrato: dal circuito di Giacoletto alla cifra di rumore, impedenza ottima per il rumore, scelta del punto di riposo e dell'area attiva, massimizzazione del guadagno a 50 Ohm. LNA cascode. Confronto tra configurazione differenziale e single ended. Richiami sul MOS a canale corto. Circuito equivalente per il rumore alle alte frequenze. Verso il matching integrato. Confronto dal punto di vista della cifra di rumore tra diverse configurazioni. Metodo di T.H. Lee per la ricerca della soluzione ottima condizionata al budget di potenza. Mixer integrati: Guadagno di conversione della cella di Gilbert a MOS con adattamento a 50 Ohm dell'ingresso RF. Mixer a MOS a commutazione. Oscillatori integrati a filtro risonante e ad anello e controllo della frequenza di oscillazione. Introduzione al rumore di fase da un punto di vista fenomenologico e sua misura mediante analizzatore di spettro. Estrazione del rumore di fase di un VCO mediante un PLL. Approccio classico, tempo invariante, al rumore di fase e discrepanze con le osservazioni sperimentali. Il modello tempo variante di Hajimiri, la Impulse Sensitivity Function e sua definizione, applicazioni al calcolo della componente  $1/f_2$  e  $1/f_3$ . Rumore ciclostazionario e confronto tra oscillatore a filtro risonante e ad anello di fase. Effetto del sistema di regolazione dell'ampiezza sullo spettro del rumore in uscita ad un oscillatore. Phase Frequency Detector e sua superiorità nell'utilizzo con il PLL nella fase di aggancio (frequenza di riferimento e frequenza di uscita al VCO differenti). La soluzione a charge pump e sua realizzazione in tecnologia integrata. Il problema della dead zone e relativi rimedi. Effetto della divisione per N sul rumore di fase del PLL. PII N frazionale. Dual modulus prescaler e suo utilizzo nel PLL N frazionale. Il Direct Digital Syntetizer come modulatore universale. L'utilizzo come sintetizzatore di frequenza nel confronto col PLL. Amplificatori di Potenza: impedenza di massima potenza, efficienza, load pull, distorsioni. System on Chip a RF. RADAR low power integrati.

#### 1. Ambiente ADS e simulazione circuitale di front end a radiofrequenza (D.Rossi)

Presentazione del programma del laboratorio del corso. Blocchi principali di un sistema RF e relativi parametri di merito. Flusso di progetto di un circuito integrato RF. Ruolo dello strumento di simulazione nell'esplorazione dello spazio di progetto. Inadeguatezza degli algoritmi classici di simulazione, come SPICE. Peculiarità e requisiti per la simulazione di RFIC. Proprietà degli algoritmi di simulazione Periodic Steady State Analysis. Cenni al funzionamento degli algoritmi Shooting Method e Harmonic Balance. Presentazione del design-kit IHP SG25H4 (0,25  $\mu\text{m}$  HBT BiCMOS). Introduzione all'uso del CAD ADS. Esempio guidato relativo alla simulazione delle caratteristiche statiche e all'analisi ai piccoli segnali di un transistor NMOS. Caratterizzazione del transistor bipolare in configurazione emettitore comune. Analisi AC e SP per la valutazione delle caratteristiche dinamiche e di rumore del transistor. Progettazione di un LNA bipolare in configurazione cascode: circuito di polarizzazione, applicazione della tecnica del matching integrato in ingresso, guadagno di trasduttore, analisi delle non linearità (punto di compressione a 1-dB, punto di intercetta del terzo ordine). Progettazione di un LNA CMOS in configurazione cascode: richiami sul metodo di Lee per dimensionare le dimensioni dei transistori, circuito di polarizzazione, applicazione della tecnica del matching integrato in ingresso, guadagno di trasduttore, analisi delle non linearità (punto di compressione a 1-dB, punto di intercetta del terzo ordine). Implementazione e simulazione di un Mixer a cella di Gilbert doppiamente bilanciato in tecnologia bipolare: punto di lavoro, impedenze viste alle tre porte RF, OL e IF, guadagno di conversione, analisi delle non linearità (punto di compressione a 1 dB, valutazione della cifra di rumore nel circuito realizzato tramite analisi di rumore non lineare, valutazione dell'intercetta del terzo ordine). Estrazione della ISF del metodo Hajimiri per il calcolo del rumore di fase. Simulazione di Power Amplifier col metodo Load Pull. Simulazione a blocchi di un RADAR integrato low power.

### Bibliografia e materiale didattico

Sono consigliati per consultazione i seguenti testi reperibili in Biblioteca

Thomas H.Lee "The Design of CMOS Radiofrequency Integrated Circuits", Cambridge University Press, Second Edition, 2004

Behzad Razavi "RF Microelectronics" II Edition, Prentice Hall

Sorin Voinigescu "High Frequency Integrated Circuits" Cambridge University Press

### Indicazioni per non frequentanti

E' possibile seguire le lezioni dell'anno 2020/21 disponibili online. Gli studenti sono invitati a contattare il docente prima di iniziare la preparazione dell'esame.

### Modalità d'esame

Nella prova orale verrà valutata la capacità dello studente di esporre correttamente i principali argomenti presentati durante il corso. Nella relazione di laboratorio lo studente deve dimostrare la capacità di utilizzare uno specifico strumento CAD (ADS) per la progettazione e la simulazione RFIC.



## UNIVERSITÀ DI PISA

---

Metodi:

Esame orale finale

Rapporto di laboratorio

Ulteriori informazioni:

33% Report di Laboratorio (progettazione e simulazione CAD + report); 67% Esame orale

### Stage e tirocini

Nessuno

### Altri riferimenti web

Nessuno

### Note

Nessuna

*Ultimo aggiornamento 27/10/2023 08:09*