



DIPARTIMENTO: INGEGNERIA ELETTRICA ELETTRONICA E INFORMATICA

Corso di laurea in Ingegneria elettronica (L-8) A.A. 2023/2024

Programmazione didattica

Primo anno

Primo semestre

Denominazione	Att. Form.	SSD	CFU	Ore	Tip. Att.	Lingua
9796788 - ANALISI MATEMATICA I MODULO A Canale: A - Z SCAPELLATO ANDREA	A	MAT/05	6	50	AP	ITA
1001000 - FONDAMENTI DI INFORMATICA Canale: A - Z PALESI MAURIZIO	A	ING-INF/05	9	79	AP	ITA
1000998 - ALGEBRA LINEARE E GEOMETRIA Canale: A - Z BONACINI PAOLA	A	MAT/03	9	79	AP	ITA
1001157 - CHIMICA Canale: A - Z CONSIGLIO GIUSEPPE	A	CHIM/07	9	79	AP	ITA
9794279 - ACCERTAMENTO DELLE CONOSCENZE DI UNA LINGUA STRANIERA DELL'UNIONE EUROPEA	E		3	30	I	ITA
1002933 - ALTRE CONOSCENZE UTILI PER L'INSERIMENTO NEL MONDO DEL LAVORO	F		1	6	I	ITA

Secondo semestre

Denominazione	Att. Form.	SSD	CFU	Ore	Tip. Att.	Lingua
9796788 - ANALISI MATEMATICA I MODULO B Canale: A - Z SCAPELLATO ANDREA	A	MAT/05	6	58	AP	ITA
1001000 - FONDAMENTI DI INFORMATICA Canale: A - Z PALESI MAURIZIO	A	ING-INF/05	9	79	AP	ITA

Denominazione	Att. Form.	SSD	CFU	Ore	Tip. Att.	Lingua
1001238 - ECONOMIA APPLICATA ALL'INGEGNERIA Canale: A - Z <i>DI MAURO Carmela</i>	C	ING-IND/35	6	50	AP	ITA
1001377 - FISICA I Canale: A - Z <i>PUMO MARIA LETIZIA PIERA</i> <i>Richiesta SSD</i>	A	FIS/01	9	79	AP	ITA

Secondo anno

Primo semestre

Denominazione	Att. Form.	SSD	CFU	Ore	Tip. Att.	Lingua
9796789 - ANALISI MATEMATICA II Canale: A - Z <i>ZAMBONI Pietro</i>	A	MAT/05	6	58	AP	ITA
1011358 - FISICA II Canale: A - Z <i>PALADINO ELISABETTA</i>	A	FIS/03	9	79	AP	ITA
1001585 - ELETTRONICA Canale: A - Z <i>COCO Salvatore</i>	B	ING-IND/31	9	79	AP	ITA
1001164 - INSEGNAMENTO A SCELTA Canale: A - Z	D		12	100	AP	ITA

Secondo semestre

Denominazione	Att. Form.	SSD	CFU	Ore	Tip. Att.	Lingua
1001440 - DISPOSITIVI ELETTRONICI Canale: A - Z <i>PALUMBO Gaetano</i> <i>BALLO ANDREA</i>	B	ING-INF/01	9	79	AP	ITA
1001294 - TEORIA DEI SEGNALI Canale: A - Z <i>MORABITO Giacomo</i>	B	ING-INF/03	9	79	AP	ITA
1001433 - TEORIA DEI SISTEMI Canale: A - Z <i>BUCOLO MAIDE ANGELA RITA</i>	B	ING-INF/04	9	79	AP	ITA

Terzo anno
Primo semestre

Denominazione	Att. Form.	SSD	CFU	Ore	Tip. Att.	Lingua
1002682 - ALTRE CONOSCENZE UTILI PER L'INSERIMENTO NEL MONDO DEL LAVORO	F		3	18	I	ITA
1001211 - ANALISI MATEMATICA III Canale: A - Z <i>ZAMBONI Pietro</i>	C	MAT/05	6	50	AP	ITA
1001258 - ELETTRONICA Canale: A - Z <i>PENNISI Salvatore</i>	B	ING-INF/01	9	79	AP	ITA
1001219 - CONTROLLI AUTOMATICI Canale: A - Z <i>MUSCATO Giovanni</i> <i>GUASTELLA DARIO CALOGERO</i>	B	ING-INF/04	9	79	AP	ITA
1008288 - ELECTRONIC MEASUREMENTS MODULO A Canale: A - Z <i>GRAZIANI Salvatore</i>	B	ING-INF/07	6	50	AP	ENG
			0	0		

Secondo semestre

Denominazione	Att. Form.	SSD	CFU	Ore	Tip. Att.	Lingua
1008288 - ELECTRONIC MEASUREMENTS MODULO B Canale: A - Z <i>ANDO' Bruno</i>	B	ING-INF/07	6	50	AP	ENG
			0	0		
1001332 - CALCOLATORI ELETTRONICI Canale: A - Z <i>PATTI DAVIDE</i> <i>ASCIA Giuseppe</i>	C	ING-INF/05	9	79	AP	ITA
1001693 - FONDAMENTI DI TELECOMUNICAZIONI Canale: A - Z <i>BERITELLI FRANCESCO</i> <i>PALAZZO Sergio</i>	B	ING-INF/03	9	79	AP	ITA
1000971 - PROVA FINALE Canale: A - Z	E		3	75	AP	ITA

Dettaglio dei gruppi opzionali

Denominazione	Att. Form.	SSD	CFU	Ore	Tip. Att.	Lingua
---------------	------------	-----	-----	-----	-----------	--------

Legenda

Tip. Att. (Tipo di attestato): **AP** (Attestazione di profitto), **AF** (Attestazione di frequenza), **I** (Idoneità)

Att. Form. (Attività formativa): **A** Attività formative di base **B** Attività formative caratterizzanti **C** Attività formative affini ed integrative **D** Attività formative a scelta dello studente (art.10, comma 5, lettera a) **E** Per la prova finale e la lingua straniera (art.10, comma 5, lettera c) **F** Ulteriori attività formative (art.10, comma 5, lettera d) **R** Affini e ambito di sede classe LMG/01 **S** Per stages e tirocini presso imprese, enti pubblici o privati, ordini professionali (art.10, comma 5, lettera e)

Obiettivi formativi

ELETTRONICA

in - Terzo anno - Primo semestre

Docente: **PENNISI Salvatore**

Introduzione all'elettronica: Breve storia dell'elettronica. Classificazione dei segnali elettronici. Conversione A/D e D/A. Convenzioni sulle notazioni. Generatori dipendenti. Richiami di teoria dei circuiti (Leggi di Kirchhoff. Partitori. Circuiti equivalenti di Thevenin e Norton). Spettro di frequenza di segnali elettronici. Amplificatori. Esempio: Ricevitore FM. **Amplificatori operazionali:** Esempio di sistema elettronico analogico. Amplificazione. Guadagni di tensione, di corrente e di potenza. Rappresentazione del guadagno in decibel. L'amplificatore differenziale. Caratteristica di trasferimento di tensione dell'amplificatore differenziale. Guadagno (di tensione) differenziale. Amplificazione dei segnali. Modello dell'amplificatore differenziale. L'amplificatore operazionale ideale. *Ipotesi per l'analisi degli amplificatori operazionali ideali. *L'amplificatore invertente. *L'amplificatore di transresistenza. *L'amplificatore non invertente. *L'amplificatore a guadagno unitario o inseguitore di tensione (Buffer). *Amplificatore sommatore. *Amplificatore sottrattore. Filtri attivi passa-basso e passa-alto. *Integratore di Miller. *Derivatore. Nonidealità. Guadagno di modo comune. CMRR. Resistenze di ingresso e di uscita. Offset. Prodotto banda-guadagno. Slew rate. **Circuiti a diodi:** Diodo a giunzione. Richiami sulla caratteristica I/V del diodo. *Diodo in polarizzazione inversa, nulla e diretta. Modello per ampio segnale. Modello SPICE del diodo. Tempi di commutazione. *Analisi di circuiti a diodi. Analisi grafica con retta di carico. Analisi con il modello matematico del diodo ideale (resistenza di piccolo segnale). *Analisi a caduta di tensione costante. Circuiti a più diodi. *Raddrizzatore a semionda con carico R, C ed RC (Filtro capacitivo). Raddrizzatore a doppia semionda e a ponte. *Regolatore di tensione con diodo Zener. Fotodiodi, diodi Schottky, celle solari e diodi emettitori di luce. **Richiami sui transistori ad effetto di campo:** MOSFET a canale n (NMOS) e a canale p (PMOS) transistori bipolare NPN e PNP. Simboli circuitali ed equazioni di funzionamento nelle diverse regioni operative. *Polarizzazione del MOSFET. *Polarizzazione con rete a 4 resistori. Analisi basata sul metodo della retta di carico. Modelli SPICE. **Richiami sui Transistori bipolare:** BJT npn e pnp. Simboli circuitali ed equazioni di funzionamento nelle diverse regioni operative. *Modello di Ebers Moll. *Polarizzazione del BJT *Polarizzazione con rete a 4 resistori. Analisi basata sul metodo della retta di carico. Modelli SPICE. **Modelli di piccolo segnale e amplificatori a singolo stadio:** Il transistoro come amplificatore. Condensatori di accoppiamento e di bypass. Utilizzo dei circuiti equivalenti DC e AC. *Modello per piccolo segnale del diodo. *Modello per piccolo segnale del transistoro ad effetto di campo e del BJT. *Guadagno di tensione intrinseco del MOSFET e del BJT. *L'amplificatore a source comune (CS) e ad emettitore comune (CE) (guadagno di tensione a centro banda, resistenze di ingresso e di uscita). Dissipazione di potenza ed escursione del segnale. *Configurazioni a drain/collettore comune e gate/base comune (CD/CC, CG/CB). *Configurazione CS/CE con resistenza di degenerazione. Amplificatori multistadio accoppiati in AC. **Specchi di corrente:** *Analisi DC dello specchio di corrente MOS. *Modifica del rapporto di riflessione per lo specchio di corrente MOS e BJT. Specchio di corrente MOS cascode. **Coppia differenziale:** *Segnale differenziale e di modo comune. *Analisi per ampi segnali della coppia differenziale a BJT. *Analisi per piccoli segnali del guadagno differenziale e di modo comune e CMRR per coppia differenziale a BJT e MOS. **Risposta in frequenza:** *Risposta in frequenza degli amplificatori, guadagno a centro banda, frequenza di taglio inferiore, frequenza di taglio superiore. *Stima della frequenza di taglio inferiore con il metodo delle costanti di tempo in cortocircuito. Stima della frequenza di taglio inferiore per le configurazioni di amplificatore CS, CG, CD. *Modello in alta frequenza per il MOSFET. *Frequenza di transizione f_T . *Analisi ad alta frequenza dell'amplificatore source comune. *L'effetto Miller. *Stima della frequenza di taglio superiore con il metodo delle costanti di tempo a circuito aperto. Risposta in frequenza di un amplificatore CS, CD e CG (CE, CC, CB) e CS/CE con degenerazione. **I circuiti digitali:** Porte logiche ideali. *Definizione dei livelli logici e dei margini di rumore. Livelli logici. Margini di rumore. Risposta dinamica di una porta logica. *Tempi di salita e di discesa. *Ritardo di propagazione. Prodotto ritardo-potenza. Richiami di algebra booleana. Circuiti logici CMOS. *Caratteristiche statiche dell'invertitore CMOS. Caratteristica di trasferimento dell'invertitore CMOS. *Porte logiche NOR e NAND CMOS, Porte logiche CMOS complesse. Latch bistabile. *Flip-flop SR. *Flip-flop JK. *Flip-flop T. Flip-Flop race condition. Il latch di tipo D a porte di trasmissione. *Flip-flop master-slave. *Flip-Flop edge-triggered. Registri e contatori. Memorie ad accesso casuale (RAM). *La cella di memoria a sei transistori (6-T). Memorie dinamiche (DRAM). *La cella di memoria a un transistoro. Memorie a sola lettura (ROM). Memorie non volatili (EEPROM). *Memorie flash. **Simulazione di circuiti elettronici:** LTSPICE **Seminari di approfondimento:** seminari tenuti da esperti dell'industria microelettronica.

PROVA FINALE

in - Terzo anno - Secondo semestre

INSEGNAMENTO A SCELTA

in - Secondo anno - Primo semestre

DISPOSITIVI ELETTRONICI

in - Secondo anno - Secondo semestre

Docente: **PALUMBO Gaetano**

Elementi di fisica dei semiconduttori

Corrente di deriva. Coefficiente di mobilità. Legge di Ohm. Il silicio come semiconduttore. Elettroni e lacune. Campo e potenziale elettrico. Corrente e densità di corrente. Agitazione termica di elettroni e lacune. Concentrazione intrinseca. Semiconduttori drogati. Tipi di drogaggio e loro effetti. Mobilità nei semiconduttori drogati. Equilibrio termico e legge dell'azione di massa. Legge della neutralità di carica. Processi di generazione/ricombinazione e iniezione di portatori. Bassi e alti livelli di iniezione. Transitorio di ricombinazione. Processi di diffusione. Corrente di diffusione. Relazione di Einstein. Equazione di continuità (legge di conservazione della carica). Carica iniettata e profilo dei portatori minoritari. Potenziale in un materiale a concentrazione non uniforme. Equazioni di Boltzmann. Potenziale di Fermi.

Diodi

Giunzione pn. Regione di carica spaziale. Analisi della giunzione a gradino: campo elettrico, potenziale, larghezza della regione svuotata. Analisi della giunzione lineare: campo elettrico, potenziale, larghezza della regione svuotata. Giunzione pn fuori dall'equilibrio: barriera di potenziale e flussi di portatori in polarizzazione diretta e inversa. Portatori al contorno della regione svuotata. Diodo a base lunga: profilo dei portatori minoritari, densità di correnti. Diodo a base corta: profilo dei portatori minoritari, densità di correnti, tempi di transito. Caratteristica corrente-tensione della giunzione pn. Effetti di secondo ordine: bassi ed alti livelli di iniezione. Dipendenza dalla temperatura. Effetti capacitivi: capacità di svuotamento, capacità di diffusione. Rottura della giunzione e diodi Zener. Giunzioni metallo-semiconduttore: diodi Schottky e contatti ohmici. Modelli circuitali statici. Analisi di piccolo segnale. Modello di piccolo segnale per bassa frequenza. Modello di piccolo segnale per alta frequenza.

Transistore bipolari

Tipi di transistori: npn e pnp. Transistore in equilibrio. Regioni di funzionamento. Analisi del transistore bipolare in regione attiva diretta. Amplificazione di corrente nella configurazione a base comune. Efficienza di emettitore. Fattore di trasporto in base. Amplificazione di corrente nella configurazione a emettitore comune. Legami funzionali corrente-tensione nel transistore bipolare: configurazione Forward e Reverse. Modello di Ebers-Moll. Semplificazione del modello di Ebers-Moll: regione di interdizione, regione attiva diretta, regione attiva inversa, regione di saturazione. Effetti di secondo ordine: effetto Early, dipendenza di β_F dalla corrente di collettore. Curve caratteristiche nella configurazione ad emettitore comune. Effetti capacitivi: capacità base-emettitore, capacità base-collettore. Dipendenza dalla temperatura. Modelli di piccolo segnale per bassa frequenza. Modelli di piccolo segnale per alta frequenza. Frequenza di transizione. Effetti parassiti: resistenze distribuite e capacità di substrato.

Transistore MOS

Il condensatore MOS. Potenziale di banda piatta. Effetto della tensione gate-substrato nel condensatore MOS. Regioni di funzionamento: accumulazione, svuotamento, debole inversione, forte inversione. Potenziale di superficie e regioni di funzionamento. Tensione di soglia del condensatore MOS. Il transistore MOS: principio di funzionamento. Legami funzionali corrente-tensione nel transistore MOS: analisi del canale di conduzione espressione della corrente di drain. Regioni di funzionamento: interdizione, triodo e saturazione. Effetto body. Modulazione della lunghezza di canale. Effetti capacitivi: capacità gate-source, capacità gate-drain, capacità drain-bulk e source-bulk. Modelli di piccolo segnale per bassa frequenza. Modelli di piccolo segnale per alta frequenza.

Tecnologia planare (cenni)

Ossidazione termica. Diffusione termica. Impiantazione ionica. Deposizione di strati sottili: deposizione chimica in fase vapore, deposizione fisica in fase vapore. Trattamenti per migliorare la fetta: annealing e gettering. Fotolitografia: mascheratura, esposizione e attacco. Processo bipolare. Processo CMOS.

Per ogni singolo argomento trattato sono previste delle esperienze laboratoriali finalizzate a una migliore comprensione del funzionamento del dispositivo elettronico studiato. Tra le varie esperienze vi sono: introduzione al tool di simulazione e alla strumentazione elettronica che verrà impiegata; caratterizzazione dei componenti passivi e il loro utilizzo in circuiti semplici (partitori di tensione e corrente, integratori e derivatori passivi del primo ordine); curva caratteristica del diodo e sua applicazione come elemento raddrizzatore, capacitore variabile e sensore di temperatura; curve caratteristiche dei transistori bipolari e MOS e loro applicazioni come interruttori comandati e amplificatori.