

# **Ing. Elettronica/S**

**Disciplina:** N190ELS **AFFIDABILITA' E CONTROLLO DI QUALITA'** ING-INF/07  
**I**

**Corso di Studio:** ELS 0060779 **Crediti:** 5 **Tipo:** M

**Note:** MUT DA ELE PO

**Docente:** CATELANI MARCANTONIO P2 ING-INF/07 **Copertura:** MUT

**Ente appartenenza:** Dip. Ingegneria Elettron. e delle Telecom.

---

**Disciplina:** N741ELS **AFFIDABILITA' E CONTROLLO DI QUALITA'** ING-INF/07  
**II**

**Corso di Studio:** ELS 0060779 **Crediti:** 5 **Tipo:** M

**Note:** MUT DA ELE PO

**Docente:** CATELANI MARCANTONIO P2 ING-INF/07 **Copertura:** MUT

**Ente appartenenza:** Dip. Ingegneria Elettron. e delle Telecom.

---

**Disciplina:** N094ELS ANALISI MATEMATICA III

MAT/05

**Corso di Studio:** ELS

**Crediti:** 5 **Tipo:** A

**Note:**

**Docente:** MARINI MAURO

P1 MAT/05

**Copertura:** AFF03

**Ente appartenenza:** Dip. Ingegneria Elettron. e delle Telecom.

---

ANALISI MATEMATICA III - Laurea "breve" in Ing. Elettronica e Laurea Spec. Ele+TLC+Ing. Mat.

PROGRAMMA SVOLTO NELL'A.A. 2004-2005 (Prof. M. MARINI)

#### 1) FUNZIONI DI TRASFERIMENTO E FUNZIONI REALI POSITIVE

Sistemi fisici e modelli matematici: esempi. Le funzioni di trasferimento e funzioni di rete. Richiami sull'algebra dei polinomi. Test di Routh-Hurwitz. Cenno sulle applicazioni alla teoria della stabilità per sistemi differenziali lineari. Funzioni reali positive razionali. Proprietà. Il test "delle 4 condizioni" e il criterio di Talbot. Il caso dispari. L'algoritmo delle divisioni successive. Circuiti RCL passivi in serie e in parallelo. Impedenza e ammettenza complesse: esempi di sintesi. Il teorema di Bayard. Cenni sulla trasformata di Hilbert.

#### 2) TRASFORMATA DI FOURIER

La trasformata e l'antitrasformata di Fourier in L1. Proprietà: smorzamento, traslazione, omotetia, moltiplicazione, derivazione.

Rapidità della convergenza a zero della trasformata di Fourier. Il lemma di Jordan e calcolo delle trasformate e antitrasformate. Il teorema di Plancherel. La trasformata di Fourier in L2 e conseguenze. La proprietà di simmetria. Applicazioni alla trasmissione di segnali: il teorema del campionamento.

#### 3) - APPLICAZIONI ALLE EQUAZIONI DIFFERENZIALI

Richiami sulle proprietà delle soluzioni di equazioni differenziali lineari. Esempi di studio qualitativo: l'equazione monodimensionale di Schroedinger. Il problema dell'oscillazione. I teoremi di Sturm e di Leighton. L'equazione differenziale di Bessel. Le funzioni di Bessel di prima e di seconda specie. La funzione Gamma Euleriana e sue proprietà. Cenno sulle funzioni di Hankel. Formule di ricorrenza.

#### 4)-FUNZIONI IMPULSIVE

Introduzione euristica alla "funzione" delta. Richiami di analisi

funzionale. Le distribuzioni come funzionali lineari e continui. Prodotto di distribuzioni. Derivata nel senso delle distribuzioni. La distribuzione delta e sue proprietà.

Funzioni a decrescenza rapida. Distribuzioni temperate. La trasformata di Fourier nel senso delle distribuzioni. Cenno sulle serie di distribuzioni. Trasformate di Fourier di distribuzioni elementari. La proprietà di derivazione. Cenno sulla distribuzione  $\nu_p 1/t$ .

**Disciplina:** N747ELS **ANTENNE E PROPAGAZIONE II**

ING-INF/02

**Corso di Studio:** ELS 0061063

**Crediti:** 5 **Tipo:** X

**Note:** MUT DA ANTENNE PO

**Docente:** PELOSI GIUSEPPE

P1 ING-INF/02

**Copertura:** MUT

**Ente appartenenza:** Dip. Ingegneria Elettron. e delle Telecom.

---

**Disciplina:** P411ELS ANTENNE I

ING-INF/02

**Corso di Studio:** ELS 0061063

**Crediti:** 5 **Tipo:** M

**Note:** MUT. DA ANTENNE ELE PO

**Docente:** PELOSI GIUSEPPE

P1 ING-INF/02

**Copertura:** MUT

**Ente appartenenza:** Dip. Ingegneria Elettron. e delle Telecom.

---

**Disciplina:** P412ELS **ANTENNE II**

ING-INF/01

**Corso di Studio:** ELS 0061063

**Crediti:** 5 **Tipo:** M

**Note:** MUT. DA ANTENNE ELE PO

**Docente:** PELOSI GIUSEPPE

P1 ING-INF/02

**Copertura:** MUT

**Ente appartenenza:** Dip. Ingegneria Elettron. e delle Telecom.

---

Programma del corso di  
APPLICAZIONI DI MATEMATICA  
A.A. 2004-2005

#### 1) RICHIAMI SUI NUMERI COMPLESSI

Forma algebrica, forma trigonometrica, forma esponenziale. Leggi di De Moivre. Equazioni algebriche e radici. L'esponenziale in campo complesso e proprietà. Le funzioni trigonometriche e le formule di Eulero. Il logaritmo in campo complesso. Risolubilità di equazioni esponenziali

#### 2) FUNZIONI COMPLESSE

Funzioni complesse come trasformazioni piane. Continuità e derivabilità. Formule di Cauchy-Riemann. Funzioni analitiche e funzioni armoniche. Ricostruzione di funzioni analitiche. Teorema dell'unicità dell'estensione analitica. Integrale in campo complesso. Teorema di Cauchy e conseguenze. Sviluppabilità in serie di potenze di funzioni analitiche. Alcuni sviluppi notevoli [esponenziale, seno, coseno,  $(1-s)^{-1}$ ]. Serie di Laurent. Classificazione delle singolarità. Singolarità eliminabili, polari, essenziali e loro caratterizzazione. Teoremi di Casorati, di Liouville di D'Alembert. Il concetto di Residuo al finito. Primo teorema dei Residui e calcolo di Residui. Serie di Laurent all'infinito. Residuo all'infinito e Secondo Teorema dei Residui. Calcolo di Integrali in campo complesso.

#### 3) TRASFORMATA DI LAPLACE

Funzioni di ordine esponenziale. Ascissa di Convergenza. Trasformata di Laplace e analiticità. Prime proprietà: linearità, smorzamento, ritardo, "moltiplicazione per t". Trasformate di funzioni elementari: la funzione scalino, funzioni esponenziale, seno, coseno, polinomi. Primo Teorema della derivazione. Trasformata di Laplace della Funzione integrale. Trasformata di Funzioni periodiche. La convoluzione. Antitrasformata di funzioni razionali.

#### 4) APPLICAZIONI

Sistemi fisici e modelli matematici: esempi. Le funzioni di trasferimento e funzioni di rete. Il ruolo della convoluzione. Risoluzione di equazioni e sistemi differenziali lineari tempo-invarianti.. Circuiti RLC passivi. Analisi mediante la trasformata di Laplace. Convergenza a zero delle soluzioni. Il test di Routh-Hurwitz Cenni sul concetto di stabilità.

#### 5) TRASFORMATA ZETA E APPLICAZIONI ALLA TRASMISSIONE DI SEGNALI

Richiami sulle serie di potenze. Campionamento di segnali. Raggio di convergenza. Trasformata Zeta. Trasformate di campionamenti elementari. Le proprietà dello smorzamento, della "moltiplicazione per n", della traslazione. La convoluzione discreta. Antitrasformata Zeta e calcolo nel caso razionale. L'approccio ricorsivo.. Cenni sulla trasformata Zeta nell'analisi di sistemi tempo-discreti e nella trasmissione di segnali. Il teorema del campionamento.



**Disciplina:** N191ELS **CAD PER SISTEMI ELETTROMAGNETICI** ING-INF/02

**Corso di Studio:** ELS N191IEL **Crediti:** 5 **Tipo:** M

**Note:** MUT DA IEL

**Docente:** SELLERI STEFANO RC ING-INF/02 **Copertura:** MUT

**Ente appartenenza:** Dip. Ingegneria Elettron. e delle Telecom.

---

- [1] Concetti generali riguardanti circuiti integrati a microonde: MMIC.
- [2] Concetti fondamentali, espressione della nonlinearietà nei componenti circuitali passivi e attivi a microonde. Nonlinearità a due e tre terminali.
- [3] Sviluppo in serie di potenze e serie di Volterra di una nonlinearietà e prodotti; intermodulazione, fenomeni di compressione e punto di intercetta di ordine n.
- [4] Metodo del Bilanciamento Armonico, principi generali, trattazione teorica ed esempi di applicazioni a reti contenenti dispositivi a semiconduttore. Metodi di soluzione e di ottimizzazione.
- [5] Amplificatori a microonde per applicazioni wireless in tecnologia MMIC. Configurazioni base per applicazioni generiche a piccolo segnale. Reti a più transistori a BJT e FET. Amplificatori a guadagno variabile, moltiplicatore di Gilbert.
- [6] Esempi di progetto di amplificatori generici e a bassa cifra di rumore mediante dispositivi in package commerciali (MESFET ed HEMT serie ATF prodotti da HP-Agilent). Realizzazione di un prototipo di laboratorio.
- [7] Amplificatori a bassa cifra di rumore, adattamento ottimo, prestazioni e parametri fondamentali. LNA in tecnologia MMIC
- [8] Amplificatori di potenza, classi in uso in ambiente ibrido. Efficienza e linearità di un amplificatore di potenza: tecniche per il miglioramento della efficienza e linearità.
- [9] Conversione di frequenza. Principio di funzionamento mediante elementi nonlineari, teoria dell'analisi piccolo-segnale/grande-segnale, matrice di conversione. Mixer a singolo diodo, mixer bilanciati e doppiamente bilanciati. Utilizzo di ibridi a costanti concentrate. Mixer per impieghi speciali: reiezione della frequenza immagine.
- [10] Esempi di progetto di mixers mediante dispositivi in package commerciali (MESFET ed HEMT serie ATF prodotti da HP-Agilent).
- [11] Mixer a FET, pompato di drain e di gate, mixer resistivi a doppio gate. Cella di Gilbert a BJT e FET, mixer doppiamente bilanciato.
- [12] Modulazioni vettoriali mediante cella di Gilbert. Modulari digitali del tipo BPSK, QPSK e QAM. Capacità di canale e banda passante.
- [13] Sinterizzazione del segnale a microonde, tecniche e caratteristiche. Oscillatori a microonde.
- [14] Oscillatori a retroazione di Hartley e Colpitts e oscillatori a riflessione a costanti concentrate e distribuite. Oscillatori a dielettrico. VCO, Voltage Controlled Oscillator.
- [15] Progetto e realizzazione di un prototipo da laboratorio di VCO basato su BJT HP-Agilent: AT-41411, in tecnologia ibrida.
- [16] Sistemi ad aggancio di fase (PLL), caratteristiche e principio di funzionamento. Tecniche di analisi e progetto del filtro di anello, comparatore di fase, divisore di frequenza.
- [17] Cenni allo studio di sistema per un ricetrasmittitore a microonde.

**Disciplina:** P004ELS    **CIRCUITI INTEGRATI A MICROONDE II**    ING-INF/01

**Corso di Studio:** ELS    0060795    **Crediti:** 5    **Tipo:** M

**Note:** MUT DA ELETTRONICA DELLE MICROONDE ELE PO

**Docente:** CIDRONALI ALESSANDRO    RC    ING-INF/01    **Copertura:** MUT

**Ente appartenenza:** Dip. Ingegneria Elettron. e delle Telecom.

---

**Disciplina:** N192ELS COMPATIBILITA' ELETTROMAGNETICA I

ING-INF/02

**Corso di Studio:** ELS 0060786

**Crediti:** 5 **Tipo:** M

**Note:** MUT DA ELE PO

**Docente:** MILLANTA LUIGI

P2

ING-INF/07

**Copertura:** MUT

**Ente appartenenza:** Dip. Ingegneria Elettron. e delle Telecom.

---

Premessa: si noti che il programma di Compatibilità Elettromagnetica I è identico a quello di Compatibilità Elettromagnetica II. I due corsi si differenziano tuttavia (in modo molto sostanziale) perché nel corso di base il materiale viene esposto prevalentemente in modo dichiarativo, privilegiando le indicazioni operative e le giustificazioni fisiche su base sintetica piuttosto che analitica, mentre nel corso specialistico si aggiungono dimostrazioni, approfondimenti, e alcune trattazioni specifiche più specialistiche. Questa scelta è resa necessaria dal fatto che non ha senso spiegare metà della Compatibilità Elettromagnetica in un primo corso e l'altra metà nel secondo: chi frequenta il primo corso soltanto deve essere il grado di affrontare l'intera materia. Chiari esempi di questa linea di azione possono essere esposti, omissi qui per brevità.

#### PROGRAMMA

- 1) Richiami, terminologia (Campi, emettitori. Il rumore. Analizzatore di spettro, misuratore di radiodisturbi. Modelli ad alta frequenza dei componenti passivi, conduttori, "corto circuito" e "circuito aperto"). Le unità di misura specifiche. Distribuzione log-normale. Valutazione dell'incertezza dei laboratori di prova.
- 2) Ambiente elettromagnetico, scarica elettrostatica, fulmine, impulso elettromagnetico nucleare.
- 3) Efficacia di schermatura. Trattazione con i campi: lastre metalliche, reti, film metallici, fori, guarnizioni, conduttori passanti. Trattazione a costanti concentrate: accoppiamento capacitivo, induttivo. Il cavo coassiale.
- 4) Collegamenti delle masse, punto singolo seriale/parallelo, punti multipli. Voltmetro flottante, schermo di guardia.
- 5) Tecniche di protezione nei misuratori e sensori: amplificatori differenziali e sistemi bilanciati, trasformatori di isolamento, trasformatori longitudinali, filtraggi e disaccoppiamenti, filtri di segnale, filtri di rete. Isolatori ottici.
- 6) Normative: civili, militari, criteri generali ed applicazioni specifiche. Pericoli delle radiazioni elettromagnetiche non-ionizzanti, normative di protezione, misure e sorveglianza ambientale.
- 7) Esperimenti di laboratorio (analizzatori di spettro, oscilloscopi, misure di forme d'onda nel dominio del tempo e della frequenza, segnali periodici, segnali impulsivi, comportamento non ideale dei componenti passivi, incluso corto circuito e circuito aperto, misure di campi, prove di emissione e suscettibilità).

**Disciplina:** N742ELS    **COMPATIBILITA' ELETTROMAGNETICA II**    ING-INF/02

**Corso di Studio:** ELS    0060786    **Crediti:** 5    **Tipo:** M

**Note:** MUT DA ELE PO

**Docente:** MILLANTA LUIGI    P2    ING-INF/07    **Copertura:** MUT

**Ente appartenenza:** Dip. Ingegneria Elettron. e delle Telecom.

---

Premessa: si noti che il programma di Compatibilità Elettromagnetica I è identico a quello di Compatibilità Elettromagnetica II. I due corsi si differenziano tuttavia (in modo molto sostanziale) perché nel corso di base il materiale viene esposto prevalentemente in modo dichiarativo, privilegiando le indicazioni operative e le giustificazioni fisiche su base sintetica piuttosto che analitica, mentre nel corso specialistico si aggiungono dimostrazioni, approfondimenti, e alcune trattazioni specifiche più specialistiche. Questa scelta è resa necessaria dal fatto che non ha senso spiegare metà della Compatibilità Elettromagnetica in un primo corso e l'altra metà nel secondo: chi frequenta il primo corso soltanto deve essere il grado di affrontare l'intera materia. Chiari esempi di questa linea di azione possono essere esposti, omissi qui per brevità.

#### PROGRAMMA

- 1) Richiami, terminologia (Campi, emettitori. Il rumore. Analizzatore di spettro, misuratore di radiodisturbi. Modelli ad alta frequenza dei componenti passivi, conduttori, "corto circuito" e "circuito aperto"). Le unità di misura specifiche. Distribuzione log-normale. Valutazione dell'incertezza dei laboratori di prova.
- 2) Ambiente elettromagnetico, scarica elettrostatica, fulmine, impulso elettromagnetico nucleare.
- 3) Efficacia di schermatura. Trattazione con i campi: lastre metalliche, reti, film metallici, fori, guarnizioni, conduttori passanti. Trattazione a costanti concentrate: accoppiamento capacitivo, induttivo. Il cavo coassiale.
- 4) Collegamenti delle masse, punto singolo seriale/parallelo, punti multipli. Voltmetro flottante, schermo di guardia.
- 5) Tecniche di protezione nei misuratori e sensori: amplificatori differenziali e sistemi bilanciati, trasformatori di isolamento, trasformatori longitudinali, filtraggi e disaccoppiamenti, filtri di segnale, filtri di rete. Isolatori ottici.
- 6) Normative: civili, militari, criteri generali ed applicazioni specifiche. Pericoli delle radiazioni elettromagnetiche non-ionizzanti, normative di protezione, misure e sorveglianza ambientale.
- 7) Esperimenti di laboratorio (analizzatori di spettro, oscilloscopi, misure di forme d'onda nel dominio del tempo e della frequenza, segnali periodici, segnali impulsivi, comportamento non ideale dei componenti passivi, incluso corto circuito e circuito aperto, misure di campi, prove di emissione e suscettibilità).

I fondamenti della Fisica Quantistica e alcune delle sue applicazioni.

La “ crisi ” della Fisica classica e la nascita della “ Fisica quantistica ”: il Corpo Nero , fenomenologia e sua descrizione in termini dell’ ipotesi “ quantistica ” di Planck; l’ effetto fotoelettrico, fenomenologia e sua descrizione in termini di “ fotoni ”; cenni sulla produzione di Raggi X e sull’ effetto Compton. Spettri atomici e modello atomico di Bohr, ipotesi di quantizzazione dei livelli energetici degli atomi. Ulteriori aspetti ed esperienze sulla natura corpuscolare della luce: l’ esperienze di Young e Taylor. L’ ipotesi di De Broglie e le “ onde di materia ”; conferme sperimentali dalla diffusione di elettroni. Pacchetti d’ onda e particelle. Ipotesi ed Equazione di Schrödinger per la funzione d’ onda. Significato fisico della funzione d’ onda , valori di aspettazione di una grandezza fisica. Principio di Indeterminazione di Heisenberg. Relazione fra descrizione “ classica ” e “ quantistica ” dei fenomeni fisici: teorema di Ehrenfest e limite classico. Soluzioni e applicazioni dell’ Equazione di Schrödinger stazionaria relative a sistemi quantisti unidimensionali: riflessione e trasmissione di una particella da parte di un gradino di potenziale; riflessione e trasmissione di una particella da parte di una barriera di potenziale, effetto tunnel; buca di potenziale, “ stati legati ” di una particella; applicazioni pratiche relativi a diodi ad effetto tunnel, eterostrutture di semiconduttori ( quantum-wells ) etc. Quantizzazione dell’ oscillatore armonico, esempi concreti ( vibrazioni molecolari etc. ). Soluzioni e applicazioni dell’ Equazione di Schrödinger stazionaria relative a sistemi quantisti tridimensionali: buche di potenziale tridimensionali e potenziali centrali; applicazioni relative a “ quantum boxes ” e “ quantum dots ” e all’ atomo di Idrogeno. La quantizzazione del momento angolare; spettri rotazionali delle molecole; l’ esperienza di Stern e Gerlach e lo “ spin ” di una particella, evidenze spettroscopiche. Equazione di Schrödinger per duo o più particelle; conseguenze dell’ indistinguibilità di particelle identiche. Principio di esclusione di Pauli: distinzione delle particelle in Fermioni e Bosoni e sue conseguenze sulla funzione d’ onda. Cenni su le applicazioni relative all’ atomo di Elio, la molecola di Idrogeno, la formazione del legame covalente e la classificazione del Sistema periodico degli elementi. Metodi di soluzione approssimata dell’ Equazione di Schrödinger stazionaria: teoria delle perturbazioni stazionarie e sue semplici applicazioni. Soluzione dell’ Equazione di Schrödinger non stazionaria: metodi di approssimazione e teoria delle perturbazioni dipendenti dal tempo; applicazioni relative ad urti fra particelle e transizioni fra livelli stazionari di un sistema; regola aurea di Fermi. Confronto fra le probabilità di transizione fra due livelli per bosoni e fermioni e relative relazioni di “ bilancio dettagliato ”: cenni sulle conseguenze ed applicazioni ( emissione stimolata, fenomeni di condensazione, etc. ). Applicazione alla interazione radiazione-materia: assorbimento ed emissione di fotoni.

Nozioni di Fisica statistica.

Postulati di base e distinzioni relative alla Meccanica statistica di particelle classiche e di particelle quantistiche ( fermioni e bosoni). Funzione di distribuzione per particelle classiche: statistica classica o di Boltzman; semplici applicazioni al gas perfetto di molecole biatomiche. Funzione di distribuzione per bosoni: statistica di Bose-Einstein; semplici applicazioni al gas di fotoni e al calore specifico di un solido. Funzione di distribuzione per fermioni: statistica di Fermi-Dirac; semplici applicazioni al gas di elettroni liberi nei metalli e nei semiconduttori e all’ emissione termoionica.

Elementi di Elettronica Quantistica.

Interazione radiazione-materia: assorbimento, emissione spontanea, emissione stimolata, definizione dei relativi coefficienti; cenni relativi a questi fenomeni fisici in materiali di diverso tipo. Sistemi di amplificazione di segnali luminosi, il laser. Schema di base di un sistema laser . Equazioni di bilancio ( rate equations ) per un sistema laser: condizioni di soglia per l’ innesco dell’ emissione laser in regime continuo. Caratteristiche dell’ emissione laser. Funzionamento di un sistema laser in regime impulsato: tecniche di Q-switching per la produzione di impulsi di elevata energia. Funzionamento di un sistema laser in regime impulsato: tecniche di mode-locking per la produzione di impulsi ultrabrevi. Breve rassegna dei più comuni tipi di lasers e delle loro caratteristiche; esame più approfondito delle condizioni di funzionamento e caratteristiche dei lasers a semiconduttore.

Approfondimenti e sviluppi.

Nei limiti del possibile e dell’ interesse degli studenti si cercherà di approfondire argomenti specifici inerenti il corso anche in relazione agli sviluppi più recenti o futuri di queste tematiche ( es. nanotecnologie, quantum-computing e quantum-criptography, spintronica, etc. )



**Disciplina:** N175ELS **CONTROLLI AUTOMATICI**

ING-INF/04

**Corso di Studio:** ELS 0060784

**Crediti:** 5 **Tipo:** M

**Note:** MUT IEL

**Docente:** TESI ALBERTO

P1

ING-INF/04

**Copertura:** MUT

**Ente appartenenza:** Dip. Sistemi e Informatica

---

PROGRAMMA DI CONTROLLI AUTOMATICI - ANNO ACCADEMICO 2004/2005

1. Introduzione.

Scopo e linee principali del corso. Richiami sulle proprietà di sistemi lineari stazionari, sull'inseguimento di singoli segnali di riferimento e la reiezione di singoli disturbi (principio del modello interno). Inseguimento e reiezione di classi di segnali di riferimento (concetto di guadagno di sistema).

2. Stabilità dei sistemi di controllo a retroazione

Stabilità interna: definizione, condizioni e relazioni con il criterio di Nyquist; teorema del piccolo guadagno.

Caratterizzazione dei controllori stabilizzanti: impianto stabile e impianto instabile; caso del pendolo (doppio) inverso.

3. Tecniche di sintesi diretta.

Scelta della funzione di trasferimento ad anello chiuso; progetto del controllore sulla base delle specifiche. Cenni alla sintesi diretta a più obiettivi.

4. Limitazioni sulle prestazioni dei sistemi di controllo a retroazione.

Influenza di poli e zeri dell'impianto sulla banda e sulla risposta al gradino del sistema. Teorema di Bode sulla funzione di sensibilità  $S$  e la funzione ad anello chiuso  $W$ .

5. Stabilità e prestazioni robuste

Prestazioni nominali: vincolo sulla norma  $H$ -inf di  $S$ . Stabilità robusta: vincolo sulla norma  $H$ -inf di  $W$ . Prestazioni

robuste: vincolo sulla norma  $H$ -inf di  $S$  e  $W$ . Tecnica di loopshaping per impianti a minima rotazione di fase.

6. Sistemi a dati campionati.

Campionamento e ricostruzione dei segnali. Discretizzazione di un sistema lineare stazionario a tempo continuo; analisi del comportamento dinamico in trasformata  $Z$ . Progetto controllore digitale; tecniche di integrazione e matching.

(ultimo aggiornamento 21/01/05)



**Disciplina:** N845ELS **DISPOSITIVI ELETTRONICI**

ING-INF/01

**Corso di Studio:** ELS 0061123

**Crediti:** 5 **Tipo:** M

**Note:** MUT DA ELETTRONICA DELLO STATO SOLIDO ELE PO

**Docente:** MANES GIANFRANCO

P1 ING-INF/01

**Copertura:** MUT

**Ente appartenenza:** Dip. Ingegneria Elettron. e delle Telecom.

---

**Disciplina:** N756ELS **ELABORAZIONE NUMERICA DEI SEGNALI III** ING-INF/03

**Corso di Studio:** ELS 0060762 **Crediti:** 5 **Tipo:** M

**Note:** MUT DA (ELE PO)

**Docente:** DEL RE ENRICO P1 ING-INF/03 **Copertura:** MUT

**Ente appartenenza:** Dip. Ingegneria Elettron. e delle Telecom.

---

**Disciplina:** N752ELS **ELETTRONICA DEI SISTEMI DIGITALI II**

ING-INF/01

**Corso di Studio:** ELS 0060794

**Crediti:** 5 **Tipo:** M

**Note:** MUT DA ELE PO

**Docente:** TORTOLI PIERO

P1 ING-INF/01

**Copertura:** MUT

**Ente appartenenza:** Dip. Ingegneria Elettron. e delle Telecom.

---

1. Progetto di sistemi digitali ad alta velocità

Linee di trasmissione digitali. Rumore di commutazione (ground bounce) e (forward/reverse) cross-talk: cause, effetti, contromisure. Problemi di "lay-out", progetto dei circuiti stampati.

2. Dispositivi e sotto-sistemi dedicati

DSP, filtri FIR, processatori per FFT, DDS, PLL, CD.

3. Sistemi di acquisizione e sintesi di segnali

Track & Hold. Convertitori Sigma-Delta, flash, subranging e pipeline. Tecniche sperimentali per valutare le prestazioni statiche e dinamiche. Specifiche statiche e dinamiche dei convertitori D/A. Moltiplicatori D/A.

5. Analisi temporale di sistemi digitali

Temporizzazione di circuiti digitali e valutazione delle massime frequenze operative. Sistemi sincroni: distribuzione di clock, clock "skew".

**Disciplina:** N193ELS **ELETTRONICA DELLE TELECOMUNICAZIONI I** ING-INF/01  
**Corso di Studio:** ELS **Crediti:** 5 **Tipo:** A  
**Note:** MUT ELE  
**Docente:** PIERACCINI MASSIMILIANO P2 ING-INF/01 **Copertura:** AFF03  
**Ente appartenenza:** Dip. Ingegneria Elettron. e delle Telecom.

---

vedi ELETTRONICA DELLE TELECOMUNICAZIONI I - IEL

**Disciplina:** N745ELS **ELETTRONICA DELLE TELECOMUNICAZIONI II** ING-INF/01

**Corso di Studio:** ELS **Crediti:** 5 **Tipo:** A

**Note:** .

**Docente:** PIERACCINI MASSIMILIANO P2 ING-INF/01 **Copertura:** AFF03

**Ente appartenenza:** Dip. Ingegneria Elettron. e delle Telecom.

---

Richiami di nozioni di base sulle comunicazioni digitali, bus parallelo PCI, porta parallela, bus parallelo GPIB, bus parallelo SCSI, bus seriale SPI, bus seriale I2C, porta seriale RS232, bus seriale USB, ethernet, tecniche di modulazione digitali, modem, sistemi a radiofrequenza, telefonia cellulare GSM, bluetooth, cenni sullo standard IEEE 802.11, effetti biologici delle radiazioni elettromagnetiche impiegate in telecomunicazione, sistemi radar avanzati e applicazioni in campo civile.

**Disciplina:** N198ELS **ELETTRONICA INDUSTRIALE**

ING-INF/01

**Corso di Studio:** ELS N198IEL

**Crediti:** 5 **Tipo:** M

**Note:** MUT DA IEL NO

**Docente:** MASOTTI LEONARDO

P1 ING-INF/01

**Copertura:** MUT

**Ente appartenenza:** Dip. Ingegneria Elettron. e delle Telecom.

---

**Disciplina:** N174ELS **ELETTROTECNICA INDUSTRIALE**

ING-IND/31

**Corso di Studio:** ELS N174IEL

**Crediti:** 5 **Tipo:** M

**Note:** MUT DA ELE NO

**Docente:** REATTI ALBERTO

P2 ING-IND/31

**Copertura:** MUT

**Ente appartenenza:** Dip. Ingegneria Elettron. e delle Telecom.

---

Tutte le informazioni sui corsi ( programmi e  
appelli d'esame) sono consultabili al seguente  
indirizzo:

<a href="http://www.reatti.net">http://www.reatti.net</a>

**Disciplina:** N739ELS **FISICA DELLO STATO SOLIDO**

FIS/03

**Corso di Studio:** ELS

**Crediti:** 5 **Tipo:** A

**Note:**

**Docente:** BRUZZI MARA

P2 FIS/01

**Copertura:** AFF03

**Ente appartenenza:** Dip. di Energetica "S.Stecco"

---

Struttura cristallina

reticolo di Bravais - cella unitaria - reticoli cubici a corpo centrato ed a facce centrate - reticoli diamante, wurtzite e zinoblenda - Scattering alla Bragg - reticolo reciproco e zone di Brillouin - indici di Miller - cenni ai legami cristallini ( covalente, ionico, di Van der Waals ) - approssimazione adiabatica

Struttura elettronica

Modello di Kronig-Penney - Funzioni di Bloch - modello degli elettroni quasi liberi e diagramma a bande - impurezze donore e accettore shallow - semiconduttore intrinseco, estrinseco e degenerare - conducibilita' elettrica in un semiconduttore - effetto Hall - giunzione pn - giunzione Schottky. Cenni alle impurezze profonde.

Dinamica reticolare

Vibrazioni di reticoli monoatomici - scattering anelastico di fotoni da parte di fononi - fononi ottici ed acustici.

Proprieta' fisiche di materiali semiconduttori utilizzati in elettronica

Metodi per la crescita di materiali semiconduttori - discussione delle principali proprieta' elettroniche e di trasporto elettrico in semiconduttori quali Si, Ge, SiC, GaAs - cenni ai semiconduttori composti e leghe - cenni alle eterogiunzioni - misura di proprieta' elettriche di semiconduttori in laboratorio.



**Disciplina:** N762ELS **FISICA MATEMATICA**

MAT/07

**Corso di Studio:** ELS

**Crediti:** 5 **Tipo:** A

**Note:**

**Docente:** BORGIOI GIOVANNI

P2 MAT/07

**Copertura:** AFF03

**Ente appartenenza:** Dip. Ingegneria Elettron. e delle Telecom.

---

FISICA MATEMATICA (5 CFU, circa 50 ore di lezione).

Programma preliminare A.A. 2004-2005

Il corso è rivolto agli studenti della laurea specialistica in Ingegneria Elettronica, ma può essere scelto anche da studenti della laurea specialistica in Ingegneria Matematica.

Una scelta ragionata del programma da svolgere deve essere quindi valutata anche in base alla composizione dell'utenza studentesca, che può, peraltro, variare di anno in anno.

Preliminarmente vengono proposte le aree dalle quali sarà estratto il programma definitivo e dettagliato:

- 1) Modelli (fisici, ...) ed Equazioni Differenziali Ordinarie (EDO): stabilità, analisi qualitativa ...
- 2) Modelli ed Equazioni Differenziali a derivate Parziali (EDP): diffusione, onde, potenziale (Laplace, Poisson), equazione di Schrodinger.
- 3) Elementi di Meccanica Analitica: descrizione di sistemi meccanici per mezzo di coordinate lagrangiane; spazio delle configurazioni e spazio delle fasi; equazioni di Eulero-Lagrange; la funzione Lagrangiana; la funzione Hamiltoniana; le equazioni canoniche; Principi variazionali.

**Disciplina:** N169ELS **INFORMATICA INDUSTRIALE**

ING-INF/05

**Corso di Studio:** ELS N169IEL

**Crediti:** 5 **Tipo:** M

**Note:** MUT DA IEL

**Docente:** FANTECHI ALESSANDRO

P1

ING-INF/05

**Copertura:** MUT

**Ente appartenenza:** Dip. Sistemi e Informatica

---

Informatica Industriale II - Laurea Specialistica - Prof. A. Fantechi

Programma dell'Anno Accademico 2003-04

- 1) Modelli markoviani per valutazione Affidabilità , Safety e Disponibilità
- 2) Circuiti totally self-checking - Interwoven logic Quadded logic
- 3) Fault masking
- 4) codici correttori di errore PCM - Codici di Hamming
- 5) Ridondanza dinamica - ridondanza ibrida – duplicazione riconfigurabile, hot/cold spare (esempi reti), affidabilità duplicazione riconfigurabile.
- 6) NMR riconfigurabile e affidabilità dell'NMR riconfigurabile.  
(Adaptive voting Self purging Distributed voting Back-up sparing )
- 7) Shadow-box – Dischi RAID
- 8) Architetture di riferimento (caso Shuttle - L'architettura generica GUARDS)
- 9) Tolleranza ai guasti realizzata a software - Necessità algoritmi distribuiti per mantenere la consistenza in un sistema ridondato
- 10) Recovery in ambiente distribuito effetto domino
- 11) Memoria stabile - azioni atomiche distribuite - il paradosso dei generali bizantini Two phase commit protocol
- 12) Algoritmi di Byzantine agreement: le proprietà di validity e agreement  
L'algoritmo ZA - L'algoritmo di consistenza interattiva
- 13) Algoritmi di sincronizzazione di clock distribuiti
- 14) Valutazione della SW reliability
- 15) Introduzione al linguaggio Ada
- 16) I costrutti del linguaggio Ada83
- 17) Caratt. orientate a oggetti introdotte in Ada95 - la programmazione per estensione
- 18) Ada95: i protected types gli specialized annexes

**Disciplina:** N203ELS **INGEGNERIA DEL SOFTWARE**

ING-INF/05

**Corso di Studio:** ELS 0060630

**Crediti:** 5 **Tipo:** M

**Note:** MUT DA INF PO

**Docente:** BUCCI GIACOMO

P1 ING-INF/05

**Copertura:** MUT

**Ente appartenenza:** Dip. Sistemi e Informatica

---

**Disciplina:** N194ELS **LABORATORIO DI PROGETTAZIONE CAD IN** ING-INF/01  
**ALTA FREQUENZA**

**Corso di Studio:** ELS 0060795 **Crediti:** 5 **Tipo:** M

**Note:** MUT DA ELETTRONICA DELLE MICROONDE ELE PO

**Docente:** CIDRONALI ALESSANDRO RC ING-INF/01 **Copertura:** MUT

**Ente appartenenza:** Dip. Ingegneria Elettron. e delle Telecom.

---

**Disciplina:** N186ELS **MICROELETTRONICA I**

ING-INF/01

**Corso di Studio:** ELS

**Crediti:** 5 **Tipo:** A

**Note:** .

**Docente:** ATZENI CARLO

P1 ING-INF/01

**Copertura:** AFF03

**Ente appartenenza:** Dip. Ingegneria Elettron. e delle Telecom.

---

Vedi il Programma di Microelettronica I IEL

#### Tecnologie dei Circuiti Integrati bipolari

Caratteristiche generali delle tecnologie monolitiche planari. Processi fondamentali: crescita dei substrati, caratteristiche dei wafers, crescita epitassiale, processi di diffusione, ossidazione del Silicio, mascheratura e fotoincisione, progetto e fabbricazione del layout, processi di deposizione di film sottile.

Processo di fabbricazione dei transistori bipolari npn. Modifiche del processo fondamentale per transistori speciali (transistori di superguadagno, isolamento dielettrico, transistori di potenza..).

Transistori pnp verticali e laterali.

Diodi integrati. Diodi e transistori Schottky. Diodi Zener. Compensazione in temperatura con diodi Zener.

Resistori integrati a diffusione: realizzazione nella zona di base e di emettitore. Resistori epitassiali e a impianto ionico. Resistori 'pinched'. Resistori a film sottile.

Tolleranze e matching, deriva termica e tracking dei resistori. Tecniche di trimming. Trimming a laser dei resistori in film sottile.

Capacitori integrati a giunzione. Capacitori integrati MOS. Capacitori con armature di Polysilicon.

Tolleranze, matching e comportamento in temperatura dei capacitori integrati.

Processi di controllo sul wafer, taglio, assemblaggio e incapsulamento dei chips. Tipi di contenitore. Cause di malfunzionamento. Prove ambientali. Prove di vita accelerata. Affidabilità.

Tolleranza e matching delle caratteristiche dei circuiti integrati. Deriva e tracking in temperatura.

#### Tecnologie MOS

Tecnologie fabbricative dei diversi tipi di transistori MOS.

Tecniche di autoallineamento del gate. Tecnica del Polysilicon gate. Impiego dell'impianto ionico. Struttura CMOS.

Tecnologie HMOS. Tecnologie avanzate a doppio strato di interconnessione.

Logiche BiCMOS.

#### Circuiti integrati semi-custom

Circuiti integrati per applicazioni specifiche (ASIC). Circuiti 'Gate-Arrays'. Circuiti 'standard-cells'. Tecnica a macro-celle.

Modelli di Dispositivi Elettronici  
L.S. in Ing. Elettronica A.A. 2003-2004  
Prof. Giovanni Frosali

**MODULO relativo ai MODELLI DI TRASPORTO NEI SEMICONDUCTORI**

1. Scopo della modellistica fisico-matematica nella progettazione di dispositivi. Punto di vista microscopico e macroscopico. Esempi di grandezze e modelli macroscopici.
2. Introduzione alla Teoria del Trasporto. Funzioni di distribuzione. Densità angolari e di corrente. Funzioni di distribuzione. Distribuzione di Maxwell-Boltzmann.
3. Distribuzioni statistiche. Statistica di Maxwell-Boltzmann. Statistica di Bose-Einstein. Statistica di Fermi-Dirac. Calcolo delle probabilità nel caso discreto. Distribuzione di Fermi-Dirac.
4. Regime stazionario. Equilibrio e scostamento dall'equilibrio. Il caso di un circuito RL e di un semiconduttore.
5. Concetto di tempo medio. Vita media degli elettroni e delle lacune. Tempo di rilassamento dell'energia e della quantità di moto.
6. Fenomeni di non equilibrio in un semiconduttore. Scambi di particelle, di energia e di quantità di moto fra il reticolo cristallino, il gas di elettroni ed il gas di lacune: fenomeni di generazione e ricombinazione, urti e impurità neutre o ionizzate, vibrazioni reticolari o fononi.
7. Non equilibrio termodinamico. Distribuzione Maxwelliana traslata.
8. Disequilibrio dovuto al campo esterno. Disequilibrio dovuto a iniezione e svuotamento di portatori. Vibrazioni reticolari: Fononi. Onde elastiche in un reticolo monidimensionale. Vibrazioni reticolari: Fononi. Onde elastiche in un reticolo monoatomico
9. Onde elastiche in un reticolo bioatomico. Relazione di dispersione. Ramo acustico ed ottico. Vibrazioni reticolari in un solido. Fotone (quanto sonoro).
10. Fenomeni di trasporto nei semiconduttori. Trascinamento o deriva (drift). Bilancio della quantità di moto. Velocità di drift e mobilità.
11. Densità di corrente di drift. Caso del basso campo e legge di Ohm. Bilancio dell'energia. Energia media dei portatori.
12. Trasporto in basso campo: mobilità. Meccanismi di trasferimento di energia e quantità di moto dai portatori al reticolo. Mobilità totale. Regola di Mathiessen. Trasporto in alto campo: velocità di saturazione. Campi moderatamente elevati e campi molto elevati.
13. Fenomeni di trasporto nei semiconduttori. Diffusione. Il modello di diffusione del calore e la legge di Fick. Gradiente di una concentrazione. Densità di corrente di diffusione. Velocità media di diffusione. Diffusività e mobilità. Le relazioni di Einstein.
14. Ricombinazione-Generazione. Meccanismi termici, Auger, radiativi. Tassi di generazione e ricombinazione. Quasineutralità. G-R banda-banda termica. G-R banda-banda radiativa. G-R attraverso livelli intermedi.
15. G-R indiretta termica (SRH). G-R banda-banda Auger e generazione a valanga.
16. Il modello drift-diffusion (deriva-diffusione). L'equazione di continuità di elettroni e lacune. Equazione costitutiva per le densità di corrente di elettroni e lacune.
17. Le equazioni drift-diffusion. Potenziale microscopico e macroscopico. L'equazione di Poisson.
18. Condizioni al contorno (Dirichlet, Neumann, miste, nonlineari). Condizione sui contatti metallici. Condizione sull'interfaccia dielettrica. Caso ideale di dispositivo in un mezzo isolante.
19. Il modello di deriva-diffusione in equilibrio termodinamico. L'equazione di Poisson-Boltzmann. La relazione di Einstein. Introduzione ai quasi livelli di Fermi e loro significato.
20. Applicazioni del modello di deriva-diffusione, con il livello di Fermi intrinseco ed i quasi livelli di Fermi come variabili dipendenti.
21. Riepilogo sul modello di Drift-Diffusion. Diagrammi a bande e loro costruzione.
22. Diagramma a bande di equilibrio. Campo di built-in. Diagramma a bande di giunzioni. Diagrammi a bande fuori equilibrio.
23. Seminario del Prof. M.Anile su un modello di trasporto dipendente dall'energia. Risoluzione numerica per dispositivi MESFET e MOSFET.
24. Modelli di trasporto di ordine di superiore. Equazioni dinamiche per l'energia media e per la quantità di moto. Modelli per i tempi di rilassamento.
25. Mobilità in funzione dell'energia media dei portatori. Saturazione di velocità. Overshoot di velocità. Overshoot di velocità nel tempo. Overshoot di velocità nello spazio.

26. Densità, densità di corrente, densità di energia in termini di momenti. Chiusura della gerarchia di equazioni dei momenti. Modelli idrodinamici.

#### Complementi

L'equazione di Boltzmann classica. Espressione del termine di collisione.

L'equazione di Boltzmann semiclassica, nella zona di Brillouin. Cenno all'approssimazione "low density" ed all'approssimazione col termine di rilassamento. Dai modelli cinetici ai modelli fluidi.

Densità, densità di corrente, densità di energia in termini di momenti. Chiusura della gerarchia di equazioni dei momenti. Modelli idrodinamici. Cenno agli elettroni caldi. Flusso di energia ed equazione alternativa per la conservazione dell'energia



---

Sistemi di misura. Introduzione alla RADIOMETRIA e differenze con la FOTOMETRIA, unità di grandezza e simbologia. Quantità spettrali e non spettrali. Energia radiante, Flusso radiante, Intensità radiante, Irradianza Emettenza, Radianza, Assorbanza.. Meccanismi di interazione onde elettromagnetiche, materia.

Corpo nero, distribuzione spettrale della radiazione di corpo nero, Legge di Stefan Boltzmann, legge di radiazione di Plank, Legge dello spostamento di Wien. Corpi grigi, corpi reali. Corpo nero come riferimento per definire le proprietà di assorbimento e emissione dei corpi, corpi freddi e corpi caldi, misure assolute di temperatura basate sul colore.

Sistemi di misura. Fotometria, definizione radiometrica di candela, Curva di sensibilità dell'occhio umano standardizzata, visione fotopica e scotopica. Grandezze fotometriche e loro equivalenza con le grandezze radiometriche.

Principi di ottica geometrica, postulati, leggi della riflessione e rifrazione, applicazione della legge di Snell, riflessione totale, lastra a facce piane e parallele, applicazioni del principio di tempo stazionario, prismi, prisma riflettente, prisma dispersivo.

Ottica geometrica parassiale, specchi sferici, lenti sottili, distanza focale, immagine reale e virtuale, diottri sferici, equazione del diottero e distanze focali, lenti sottili, equazione dei costruttori di lenti, convenzioni sui segni, costruzioni geometriche, specchio sferico convergente, specchio sferico divergente, lente convergente, lente divergente.

Ingrandimento, costruzione grafica delle immagini, ingrandimento trasversale, combinazione di due lenti, diaframmi, numero "F", lente di ingrandimento, macchina fotografica

Lente d'ingrandimento e oculare, microscopio composto, telescopio ad espansione di fascio, specchi sferici, definizioni, convenzione e equazione dei punti coniugati

Ottica matriciale, matrici fondamentali, calcolo della distanza immagine, matrice di una lente sottile, stabilità di una cavità risonante, lenti spesse, matrice di trasferimento, diottria di una lente spessa,

Aberrazioni monocromatiche, coma, astigmatismo, aberrazione cromatica, equazione dei raggi, lenti a gradiente di indice. Doppia fenditura e reticolo di diffrazione, esercizi

Aberrazioni monocromatiche, coma, astigmatismo, aberrazione cromatica, equazione dei raggi, lenti a gradiente di indice. Doppia fenditura e reticolo di diffrazione, esercizi

Metodi di accoppiamento e disaccoppiamento della luce in guida, caratterizzazione di guide ottiche planari, dispositivi ottici integrati, interferometro di Mach-Zehnder, accoppiatore direzionale

Tecniche di fabbricazione di guide ottiche in vetro e niobato di litio, dispositivi ottici integrati  
Accoppiamento della luce in guida, misura delle costanti di propagazione

Fibre ottiche, condizioni di propagazione in fibra, tipi di fibre ottiche "step-index" e "graded index", apertura numerica, prodotto Banda-Lunghezza, fibre ottiche come sistemi per la guida di fasci laser, fibre in silice e in plastica..

Fibre ottiche, attenuazione, assorbimento del materiale, perdite per diffusione, perdite per effetti non lineari, dispersione, dispersione modale, dispersione cromatica, dispersione di guida d'onda., indice di rifrazione effettivo

Fibre ottiche, modi di propagazione in una guida planare, velocità di fase e velocità di gruppo, condizioni di monomodalità, amplificatori ottici, componentistica per fibre ottiche, sistemi di accoppiamento luce-fibra

Fotorivelatori, fotodiodi, fototransistori, fotodiodi intrinseci e estrinseci, fotodiodi attivi e passivi, efficienza di conversione, guadagno, grandezze tipiche, banda elettrica e banda ottica.

Fotorivelatori fotoconduttivi, circuiti equivalenti, punto di lavoro, circuiti di ricezione, fotodiodi PIN

Fotorivelatori di tipo termico, pirometri, circuiti equivalenti, reti di ricezione, applicazione per le misure su sorgenti laser, applicazioni per immagini tomografiche, banda elettrica e banda ottica, applicazioni dei pirometri per misure su fasci laser.

Misure con sensori piroelettrici in PVDF per la rilevazione della macchia focale di sistemi laser e la misura di potenza ottica. Elettronica di elaborazione segnale, di trasferimento dati e di presentazione immagini

Grandezze caratteristiche dei fotorivelatori, responsività, "Noise Equivalent Power",  $D^*$ , criteri di progetto per la minimizzazione del rumore del dispositivo della sorgente e del canale di comunicazione

Sensori per immagini a CCD, sensori lineari e a matrice, sensori per immagini nel visibile e nell'infrarosso, immagini per fluorescenza, schede elettroniche di pilotaggio acquisizione e trasferimento dati a personal computer.

**Disciplina:** N744ELS **OPTOELETTRONICA II**

ING-INF/01

**Corso di Studio:** ELS

**Crediti:** 5 **Tipo:** M

**Note:** MUT DA ELE PO

**Docente:** BIAGI ELENA

P2

ING-INF/01

**Copertura:** MUT

**Ente appartenenza:** Dip. Ingegneria Elettron. e delle Telecom.

---

Misure su fibre ottiche, misure di attenuazione, misure di dispersione, misure dell'indice di rifrazione, misure della lunghezza d'onda di "cutoff", misure di apertura numerica. Amplificatori ottici.  
Led, eterogiunzioni, geometrie costruttive, ELED, SELED, DOME LED, led superluminescenti, circuiti di pilotaggio, accoppiamento in fibra

Sistemi Laser industriali

Caratterizzazione di sistemi laser. Parametri caratteristici, curva della potenza emessa in funzione della corrente di pilotaggio, corrente di soglia, sensibilità rispetto alla temperatura, potenza massima di uscita, efficienza, rumore ottico

Misure dirette, potenza di uscita, corrente di pilotaggio, fotocorrente laser, tensione di polarizzazione (laser a diodo) stabilità della potenza ottica.

Sensori in fibra ottica

Sensori CCD E CMOS per immagini

Colorimetria

Fotoacustica laser; regime termoplastico e ablativo. Generazione e ricezione di ultrasuoni con sorgenti laser. Controlli non distruttivi con Laser e ultrasuoni, Sensori acustici in fibra ottica.

Interazione laser tessuti biologici. Tecniche di termoablazione percutanea

Tecniche laser per ablazione di materiali. LIPS (Laser Induced Plasma Spectroscopy)

Lettori CD e DVD

Nefelometria spettrale e polare e caratterizzazione di materiali

Tecniche per indagini termografiche.

Sistemi ottici per Digital Ligth Processing

Optica integrata. Guide planari, metodi di accoppiamento in guida, materiali e tecniche di fabbricazione dei circuiti ottici integrati, applicazioni alle telecomunicazioni e alla elaborazione dei segnali

---

**NOZIONI DI BASE SUI SISTEMI E SUI SEGNALI RADAR**

Principio di funzionamento generale dei sistemi radar. L'ambiente elettromagnetico. Parametri elettrici fondamentali per le misure radar. Ritardo ed effetto Doppler. Schema di principio di un sistema radar ad impulsi. Classificazione dei sistemi radar. Il radar come sistema di telecomunicazione. Caratteristiche di segnali e disturbi radar e fenomeni caratterizzanti l'eco radar ed i disturbi. Informazioni ottenibili dai sistemi radar. Integrazione dell'informazione ottenibile dai sistemi radar. Cenni sulle diverse tipologie di radar: radar di scoperta ed inseguimento, radar monostatici e bistatici, radar ATC primari e secondari, radar meteorologici, radar ad apertura sintetica, radar phased array. Equazione radar nello spazio libero. Comportamento della sezione equivalente radar al variare di frequenza ed angolo. Indici di prestazione di un sistema radar. Volume di risoluzione radar. Risoluzione in range, in angolo solido, in azimuth, in elevazione, in Doppler.

Nozioni di base sulla derivazione del campo elettrico retrodiffuso e sulla fluttuazione statistica delle eco radar. Tempo di decorrelazione delle eco radar e spettro Doppler. La PRF come variabile di compromesso tra ambiguità range e Doppler. Richiami sulle proprietà del rumore bianco e gaussiano filtrato in banda. Filtro adattato. Effetti del disadattamento Doppler. Banco di filtri per la rivelazione di bersagli con diversa velocità radiale. Treno di impulsi coerente ed incoerente. Filtro adattato a treno coerente. Osservazioni sull'effetto del disadattamento Doppler sul treno coerente: risoluzione ed ambiguità Doppler.

**ESEMPI DI SISTEMI RADAR**

Radar CW: principio di funzionamento ed aspetti realizzativi. Radar FM-CW: principio di funzionamento ed aspetti realizzativi. FM-CW a modulazione di frequenza sinusoidale e lineare. Radar MTI coerenti ed incoerenti

**IL PROBLEMA DELLA RIVELAZIONE DEI BERSAGLI**

Introduzione al problema della rivelazione dei bersagli mediante confronto a soglia. Probabilità di falso allarme e probabilità di rivelazione. Rivelazione basata su singolo impulso e su treno di impulsi. Equazione radar e approccio statistico al concetto di copertura radar. Rivelazione mediante singolo impulso di bersaglio completamente noto in rumore AWGN (rivelazione coerente).

Rivelazione incoerente di bersaglio completamente noto basata su singolo impulso: distribuzioni di Rayleigh e Rice. Espressione di PD e PFA nel caso di rivelazione basata su singolo impulso di generico bersaglio fluttuante. Calcolo diretto di PD e PFA nel caso di bersaglio fluttuante secondo Rayleigh. Cenni alla rivelazione basata su treno di impulsi: guadagno di integrazione, perdita di integrazione.

**DISTURBI ADDIZIONALI RADAR**

Disturbi intenzionali e non: Jamming e portata in presenza di jamming. Clutter volumetrico e portata in presenza di clutter volumetrico. Clutter di superficie e portata in presenza di clutter di superficie: caso limitato dal fascio di antenna e caso limitato dalla durata dell'impulso.

- Struttura e caratteristiche delle reti di comunicazione : generalità.
- Rete telefonica. Struttura di una centrale telefonica automatica.  
Architettura delle reti di connessione. Condizione di assenza di blocco.
- Reti per trasmissione dati e per comunicazione fra calcolatori. Protocolli: modello ISO/OSI.
- Rete telegrafica e telex. Sistemi e servizi telematici.
- Caratteristiche del traffico.
- Commutazione di circuito, di messaggio, di pacchetto.
- Commutazione veloce di pacchetto (FPS) e circuito (FCS).
- Rete numerica integrata nei servizi (ISDN).
- Il trattamento della segnalazione, sistema di segnalazione N.7 (SS7)
- Reti di comunicazione in area locale (LAN), standard IEEE 802.
- Reti di comunicazione in area metropolitana (MAN).
- Reti di comunicazione in area geografica (WAN).
- Servizi a commutazione di pacchetto: Protocollo X.25, Frame Relay, SMDS, TCP/IP.
- Problematiche inerenti l'interconnessione di reti di telecomunicazioni.
- ISDN a larga banda e ATM: Generalità, Aspetti architetturali, Aspetti trasmissivi, Livello fisico, ATM e AAL.
- Il livello fisico nell'accesso alle reti pubbliche : PDH, SDH
- Il livello collegamento : HDLC e suoi derivati.
- Il livello rete.
  
- Introduzione alla teoria delle code
- Caratterizzazione di un sistema a coda : Notazione di Kendall.
- Formula di Little.
- Definizione di fattore di carico, fattore di utilizzazione dei serveri, probabilità di sistema vuoto.

#### Ultrasuoni:

- Propagazione acustica: trattazione, impedenza acustica, attenuazione e assorbimento, onde trasversali e onde longitudinali.
- Effetto piezoelettrico: principio fisico dell'effetto piezoelettrico, trasduttori piezoelettrici, circuito equivalente di Mason, trasduttori monoelemento e a cortina, focalizzazione e fascio ultrasonico.
- Tecniche di indagine: tecnica eco, tecnica in riflessione, presentazioni di tipo A, B, C ed M. L'ecografia: esempio di una catena di acquisizione ecografica per uso biomedicale.
- Tecniche Doppler: effetto Doppler, tecnica Doppler CW, tecnica Doppler PW, Doppler 3D.
- Controlli non distruttivi: applicazioni degli ultrasuoni in campo industriale

#### Caratteristiche generali dei sensori:

Definizione di sensore, classificazione dei sensori, funzione di trasferimento, gamma dinamica, accuratezza, calibrazione, isteresi, non-linearità, saturazione, ripetibilità, risoluzione, circuito equivalente, risposta in frequenza, fattori ambientali, affidabilità, incertezza.

#### Sensori convenzionali:

- Effetti fisici: Effetto piroelettrico, effetto Seebeck, effetto Peltier, effetto Hall.
- Sensori di posizione: potenziometrici, a gravità, capacitivi, induttivi, magnetici, a ultrasuoni, giroscopio. Sensori di presenza. Sensori di velocità e di accelerazione. Sensori di sforzo. Sensori di pressione. Sensori di flusso. Sensori acustici. Sensori di umidità. Sensori di temperatura.

#### Elettronica di interfaccia:

Circuiti amplificatori. Amplificatore per strumentazione. Amplificatore di carica. Amplificatori chopper. Generatori di tensione di riferimento. Oscillatori. Stadi pilota. Circuiti a ponte. Rumore.

#### Sensori a stato solido:

Sensori a stato solido piezoresistivi, piezoelettrici, capacitivi. Sensori di sforzo. Accelerometri a stato solido. Effetto termoelettrico. Termoresistori. Diodi e transistori impiegati come sensori termici. Sensori di flusso. Sensori di vuoto. Sensori a infrarossi. Sensori Hall a stato solido. Smart sensors.

#### Sensori ottici:

Fotorivelatori fotovoltaici e fotoconduttivi, circuiti equivalenti, punto di lavoro. Fotorivelatori termici, termocoppie termopile, bolometri, sensori piroelettrici in PVDF. Sensori in fibra ottica, biomedicali a modulazione di lunghezza d'onda, intensità e fase. Sensori a CCD e in tecnologia MOS, confronti dispositivi per immagini e come rivelatori di radiazione. Optoacustica, regime ablativo e termo-elastico, sensori opto-acustici. Acusto-ottica, sensori per la ricezione di ultrasuoni. Sensori per immagini di tipo termico. Tecnologia DLP (Digital Light Processor).

**Disciplina:** N218ELS **SISTEMI DI TELECOMUNICAZIONE** ING-INF/03

**Corso di Studio:** ELS 0060748 **Crediti:** 5 **Tipo:** M

**Note:** MUT DA SISTEMI DI RADIOCOMUNICAZIONE TLC PO

**Docente:** FOSSI MARIO P2 ING-INF/03 **Copertura:** MUT

**Ente appartenenza:** Dip. Ingegneria Elettron. e delle Telecom.

---

Vedi Corso di SISTEMI DI TELECOMUNICAZIONE del Corso di laurea in Ingegneria delle Telecomunicazioni

**Disciplina:** N748ELS    **SISTEMI E COMPONENTI A MICROONDE I**    ING-INF/02

**Corso di Studio:** ELS    0061062    **Crediti:** 5    **Tipo:** M

**Note:** MUT DA CIRCUITI A MICROONDE E O.M ELE PO

**Docente:** BIFFI GENTILI GUIDO    P1    ING-INF/02    **Copertura:** MUT

**Ente appartenenza:** Dip. Ingegneria Elettron. e delle Telecom.

---

Concetto di dimensionalità di un circuito a microonde. Linee di trasmissione e discontinuità planari: microstrip, guide d'onda coplanari e linee a slot.

Dispositivi e giunzioni planari a microonde: ibridi, divisori, accoppiatori direzionali, risuonatori e filtri. Parametri di scattering dei dispositivi multiporta. Dispositivi non lineari per la rivelazione e mescolazione. Cenni sui sistemi e sottosistemi per la modulazione, demodulazione, trasmissione e ricezione dei segnali a microonde.

Metodologie di misura a microonde mediante analizzatore di reti scalare e vettoriale.



**Disciplina:** N749ELS **SISTEMI E COMPONENTI A MICROONDE II** ING-INF/02

**Corso di Studio:** ELS 0061062 **Crediti:** 5 **Tipo:** M

**Note:** MUT DA CIRCUITI A MICROONDE E O.M ELE PO

**Docente:** BIFFI GENTILI GUIDO P1 ING-INF/02 **Copertura:** MUT

**Ente appartenenza:** Dip. Ingegneria Elettron. e delle Telecom.

---

Metodi di analisi della propagazione guidata nelle linee di trasmissione planari e quasi planari utilizzate nei circuiti a microonde e ad onde millimetriche.

Metodi di analisi di antenne planari a microonde.

Progetto di circuiti e blocchi funzionali a microonde e ad onde millimetriche comprendenti giunzioni multiporta, accoppiatori, filtri, dispositivi lineari e non lineari.

Metodi e tecniche di analisi, sintesi ed ottimizzazione circuitale assistite dal calcolatore (CAD).

Metodologie di misura per la caratterizzazione di dispositivi e circuiti operanti nel campo delle microonde e onde millimetriche.

**Disciplina:** N202ELS **SISTEMI OPERATIVI**

ING-INF/05

**Corso di Studio:** ELS N202IEL

**Crediti:** 5 **Tipo:** M

**Note:** MUT DA IEL

**Docente:** ASSFALG JURGEN

25U

**Copertura:** MUT

**Ente appartenenza:** SERVIZI GENERALI

---

per il programma, così come per tutte le altre informazioni inerenti il corso, si veda la pagina  
<http://viplab.dsi.unifi.it/~assfalg/operating-systems.html>

**Disciplina:** N189ELS **TECNOLOGIE ED APPLICAZIONI DEI SISTEMI WIRELESS** ING-INF/01

**Corso di Studio:** ELS N189IEL **Crediti:** 5 **Tipo:** M

**Note:** MUT DA IEL NO

**Docente:** MANES GIANFRANCO P1 ING-INF/01 **Copertura:** MUT

**Ente appartenenza:** Dip. Ingegneria Elettron. e delle Telecom.

---

**Disciplina:** N440ELS **TECNOLOGIE PER I BENI CULTURALI**

ING-INF/01

**Corso di Studio:** ELS

**Crediti:** 5 **Tipo:** A

**Note:**

**Docente:** ATZENI CARLO

P1 ING-INF/01

**Copertura:** AFF03

**Ente appartenenza:** Dip. Ingegneria Elettron. e delle Telecom.

---

**Disciplina:** N743ELS **TEORIA DEI CIRCUITI II**

ING-IND/31

**Corso di Studio:** ELS N057INE

**Crediti:** 5 **Tipo:** M

**Note:** MUT DA ELETTROTECNICA INE

**Docente:** MANETTI STEFANO

P1

ING-IND/31

**Copertura:** MUT

**Ente appartenenza:** Dip. Ingegneria Elettron. e delle Telecom.

---

Definizioni e proprietà topologiche. Ramo, nodo, grafo, taglio anello, maglia, albero, coalbero, anelli e tagli fondamentali. Metodi di Analisi su base tagli ed anelli. Matrice incidenza. Metodo del Tableau. Metodo ai nodi modificato. Teorema di Tellegen.

Componenti attivi. Generatori controllati. Amplificatore Operazionale. Analisi di reti resistive contenenti componenti attivi.

Funzioni gradino unitario, impulso unitario, rampa. Proprietà di continuità delle tensioni sui condensatori e delle correnti sugli induttori. Circuiti degeneri.

Concetti di base sulla Trasformata di Laplace. Antitrasformata di Laplace. Scomposizione in fratti semplici. Circuiti equivalenti nel dominio di Laplace. Funzione di rete. Risposta in frequenza, risposta in ampiezza e risposta in fase.

Poli e zeri. Risposta impulsiva. Stabilità dei circuiti.

Parametri per la rappresentazione di reti due porte. Parametri  $z, y, h, g$ , e di trasmissione. Connessione di reti due porte.

Teorema del massimo trasferimento di potenza. Coefficiente di riflessione. Onda incidente e riflessa. Potenza disponibile. Parametri di diffusione.

Sistemi trifase. Analisi di sistemi trifase simmetrici ed equilibrati, simmetrici e non equilibrati, non simmetrici, con e senza filo neutro. Rifasamento di carichi trifase. Potenza nei sistemi trifase.

1. Funzioni di rete e classificazione delle funzioni filtranti.

Classificazione delle funzioni di rete e stabilità. Funzioni di bipolo passivo. Proprietà delle funzioni immittenza LC, RC, RL. Funzioni biquadratiche. Classificazione delle funzioni filtranti.

2. Approssimazione delle funzioni filtranti.

Metodi di Butterworth, Chebyshev, Cauer, Bessel. Trasformazioni in frequenza.

3. Sintesi di reti passive.

Metodi canonici per la sintesi di immittenza LC, RC ed RL. Sintesi di quadripolo LC semplicemente e doppiamente caricato mediante reti a scala. Sintesi di reti due porte passive RC a scala. Sintesi di reti due porte a resistenza costante: reti a L, a traliccio simmetrico, a T pontato.

4. Sensibilità.

Definizione di sensibilità e proprietà fondamentali. Sensibilità multiparametrica di tipo deterministico e statistico.

Sensibilità del guadagno.

5. Sintesi di reti attive.

Metodo dei blocchi in cascata e metodo dei blocchi accoppiati. Sintesi di poli e zeri reali. Filtri a retroazione positiva e negativa. Tecnica di sintesi mediante identità dei coefficienti. Metodi per l'aggiustamento del guadagno e per lo scalamento in ampiezza e frequenza. Teorema di complementarità e sue applicazioni. Filtri con tre amplificatori operazionali. Simulazione di reti a scala LC: sintesi con giratori, FDNR e mediante blocchi interlacciati. Realizzazione di giratori e FDNR con amplificatori operazionali.

6. Filtri a dati campionati.

Filtri a condensatori commutati.

7. Filtri tempo-continui realizzabili in tecnologia VLSI.

Circuiti a modo di tensione e a modo di corrente: cenni sui filtri MOSFET-C, OTA-C, con current conveyor.

