



# UNIVERSITÀ DI PISA

---

## ELETTRONICA BIOMEDICA I

**GIUSEPPE BARILLARO**

Anno accademico

2022/23

CdS

INGEGNERIA BIOMEDICA

Codice

743II

CFU

6

Moduli	Settore/i	Tipo	Ore	Docente/i
ELETTRONICA BIOMEDICA I	ING-INF/01	LEZIONI	60	GIUSEPPE BARILLARO LUCANOS MARSILIO STRAMBINI

### Obiettivi di apprendimento

#### *Conoscenze*

Gli obiettivi del corso sono quelli di fornire allo studente la capacità di analizzare e fare una progettazione di massima del front-end analogico di un'apparecchiatura biomedicale.

#### *Modalità di verifica delle conoscenze*

La verifica delle conoscenze avverrà attraverso una prova scritta e una prova orale.

#### *Capacità*

Lo studente acquisirà la capacità di analizzare e dimensionare i principali blocchi circuitali del front-end analogico di un'apparecchiatura biomedicale.

#### *Modalità di verifica delle capacità*

La verifica delle capacità dello studente avverrà attraverso la valutazione delle prove scritte ed orali.

#### *Comportamenti*

Lo studente imparerà ad analizzare e progettare i principali blocchi circuitali di un'apparecchiatura biomedicale ed utilizzarli in maniera sinergica per realizzare un front-end analogico.

#### *Modalità di verifica dei comportamenti*

La verifica dei comportamenti avverrà attraverso la valutazione delle prove scritte ed orali.

#### Prerequisiti (conoscenze iniziali)

Conoscenze di elettronica di base e teoria dei segnali

#### Programma (contenuti dell'insegnamento)

1. INTRODUZIONE: Introduzione alle apparecchiature biomedicali; cenni sui diversi tipi di segnali biomedicali. Schema generale di un'apparecchiatura biomedicale: attuatori, blocco di condizionamento. Front-end analogico: caratteristiche di un amplificatore per l'amplificazione di un segnale biomedico. Tipi di amplificatore: single-ended, differenziale, fully differential. Gli amplificatori differenziali. Segnale differenziale e guadagno differenziale; segnale di modo comune e guadagno di modo comune. Definizione di rapporto di reiezione del modo comune (CMRR). (Giuseppe Barillaro)
2. AMPLIFICATORE DA STUMENTAZIONE: Amplificatore differenziale ideale. Op-amp ad anello aperto come amplificatore differenziale: caratteristica ingresso-uscita, guadagno, prodotto guadagno-banda. Amplificatore differenziale a quattro resistenze: condizione sulle resistenze per avere guadagno differenziale unitario, introduzione all'influenza delle tolleranze sul CMRR. (Giuseppe Barillaro) Influenza delle tolleranze delle resistenze e dell'amplificazione differenziale sul CMRR in un amplificatore differenziale a quattro resistenze. Richiami al teorema di Miller per il calcolo dell'impedenza vista. Problematiche dell'amplificatore differenziale a quattro resistenze: impedenza di ingresso non sufficientemente elevata, correnti di polarizzazione, disimmetria del circuito. Esempio pratico di misura di segnale differenziale in presenza di un segnale di modo comune. Effetto dello sbilanciamento degli ingressi sul CMRR: caso di resistenze interne della sorgente di modo comune uguali, e impedenze viste dai due ingressi

## UNIVERSITÀ DI PISA

diverse; caso di resistenze interne della sorgente di modo comune diverse, e impedenze viste dai due ingressi uguali. Esempio pratico di degradazione del CMRR per effetto delle tolleranze sulle resistenze e dello sbilanciamento degli ingressi. Amplificatore da strumentazione costruito a partire da un differenziale: configurazione e calcolo del segnale in uscita dal primo e dal secondo stadio e del segnale in uscita totale. In-amp a 3 op-amp: guadagno differenziale e CMRR. Metodi di variazione del guadagno dello stadio differenziale: con resistenza esterna, con partitore bufferato. In-amp a 2 op-amp: calcolo del segnale d'uscita. In-amp a 2 op-amp: problematiche associate alla configurazione in cascata dei due op-amp; dipendenza del CMRR e del guadagno differenziale dalla frequenza. Metodi di variazione del guadagno differenziale. In-amp commerciali monolitici: AD620 e AD627. Descrizione delle specifiche principali riportate sui datasheets: impedenza di ingresso, impedenza d'uscita, range di guadagno, errore sul guadagno, risposta dinamica, metodi di variazione del guadagno, CMRR, correnti di polarizzazione e di offset, offset di tensione, dinamica di ingresso/uscita, headroom, PSRR, metodi di riduzione del disturbo dall'alimentazione, corrente di riposo. (Giuseppe Barillaro)

3. **AMPLIFICATORI DA ISOLAMENTO:** Amplificatore da isolamento. Isolamento galvanico e parametri che caratterizzano l'isolamento galvanico: massima tensione di isolamento, corrente di leakage, impedenza di isolamento. Metodi di isolamento: attraverso un campo magnetico ed un trasformatore; attraverso un accoppiamento led/fotodiodo; attraverso un campo elettrico con una coppia di condensatori. Configurazioni di amplificatori di isolamento di tipo ottico commerciali. Ponte di Wheatson. Dimensionamento del ponte: bilanciamento e linearizzazione. Massimizzazione della sensibilità del ponte. Disaccoppiamento delle reti: utilizzo dell'AD620 per il prelievo del segnale in uscita dal ponte e per il disaccoppiamento delle reti. Utilizzo di termoresistenze per il prelievo di un segnale dipendente dalla variazione di temperatura. Dimensionamento dell'in-amp per ottenere tensione in uscita lineare con la variazione di temperatura: valutazione della saturazione del primo stadio e del secondo stadio, prodotto guadagno-banda. Is-amp ottici con struttura a feedback ottico: con due op-amp nella parte isolata e con un op-amp nella parte isolata. Is-amp ottici commerciali: andamento della potenza del led in funzione della tensione e della corrente in ingresso e della corrente nel led. Equivalente circuito bipolare dal punto di vista grafico e architetture. Iso 100 burr-Brown: specifiche.
4. **FILTRI:** Introduzione ai filtri. Distinzione tra: filtri attivi e passivi, filtri analogici e digitali, filtri analogici tempo continuo e tempo discreto. Cenni ai filtri a condensatori commutati. Categorie di filtri ideali: passa-basso, passa-alto, passa-banda, elimina banda, passa-tutto. Filtro passa-basso reale e parametri caratteristici: ampiezza del ripple, banda passante, banda stoppata, banda del ripple. Funzione di trasferimento di un filtro reale: banda passante, zona di roll-off, banda stoppata, banda del ripple. Metodologia per la determinazione dei poli nella funzione di trasferimento per avere filtro stabile e fisicamente realizzabile. Sintesi e funzione di trasferimento di filtri biquadratici. Grafici e fattori di merito di filtri noti: filtro passa-basso, filtro passa-alto, filtro passa-banda, filtro elimina-riga, filtro passa-tutto. Esempio applicativo sulla realizzazione di un filtro passa-basso di ordine uno. Sintesi di filtri di Butterworth: polinomi e caratteristiche del filtro. Esempio sul calcolo dell'ordine di un filtro; esempio sulla sintesi di un filtro di Butterworth. Introduzione alle problematiche legate alla realizzazione di filtri di ordini superiori e passaggi da filtri passivi a filtri attivi. Filtri attivi: la cella di Sallen-Key con amplificatore non invertente e invertente. Calcolo della funzione di trasferimento della cella. Esercizio su progettazione di filtro passa-basso di Butterworth. I filtri passa-alto: trasformazione matematica a partire da un filtro passa-basso ed equivalente circuitale. I filtri passa-banda come serie e i filtri elimina-banda come parallelo di filtro passa-alto e passa-basso: condizioni da rispettare sulle frequenze per la realizzabilità. Filtri passa-banda ed elimina-banda passivi: funzione biquadratica, frequenza caratteristica, fattore di merito. Filtro passa-banda attivo basato sulla cella di Sallen-Key con amplificatore non invertente: funzione di trasferimento e condizione sul guadagno per la stabilità del sistema. Filtro passa-tutto attivo del primo ordine: modulo e fase della funzione di trasferimento. I filtri a condensatori commutati e problematiche dei filtri a tempo continuo. Configurazione a due interruttori ed espressione della resistenza equivalente. Ipotesi di lavoro sulla frequenza di clock. Valori della frequenza caratteristica e della capacità commutata. Realizzazione fisica degli interruttori e problematiche ad essa associate: le capacità parassite. Configurazione a quattro interruttori ed espressione della resistenza equivalente. Circuiti a condensatori commutati con op-amp invertente. Calcolo delle cariche e delle tensioni sui condensatori nella fase 1 e nella fase 2. Andamento del segnale di uscita nel tempo e inserimento di un condensatore per la memorizzazione delle tensioni di uscita precedenti. Amplificatore invertente a condensatori commutati: effetto dell'offset sull'ingresso non invertente, calcolo delle cariche e delle tensioni di uscita nella fase 1 e nella fase 2, andamento del segnale di uscita nel tempo. Sintesi di filtri con circuiti a condensatori commutati. Realizzazione di un integratore mediante circuito a condensatori commutati: relazione ingresso-uscita, definizione della resistenza equivalente e della capacità in funzione della frequenza e del tempo di clock. Progettazione di un integratore con circuito a condensatori commutati a quattro interruttori: cariche e tensione delle fasi 1 e 2 e confronto con circuito a due interruttori. Sintesi di filtri a tempo discreto a condensatori commutati: filtro passa-basso, diagramma a blocchi e relativa realizzazione circuitale. Sintesi di filtri a condensatori commutati di ordine due: dalla funzione di trasferimento allo schema a blocchi alla progettazione circuitale. Dimensionamento delle resistenze equivalenti, delle fasi di clock e delle capacità. Sintesi di un filtro generico biquadratico a condensatori commutati: dalla funzione di trasferimento allo schema a blocchi. Cella biquadratica universale: schema a blocchi e relativo circuito.
5. **CONVERTITORI A/D e D/A:** Convertitori analogico-digitale. Schema della porta di campionamento: porta ideale e porta reale. Introduzione alle architetture di conversione in commercio: flash, pipeline, SAR, integrativa. Errore di quantizzazione. Parametri principali di un convertitore analogico-digitale: frequenza di conversione, risoluzione, sensibilità, errore di quantizzazione. Schema circuitale e principio di funzionamento delle seguenti architetture di conversione: flash, pipeline, SAR, integrativi. Convertitori digitale-analogico a resistenze pesate e R-2R: schema circuitale e principio di funzionamento.
6. **CIRCUITI PER OPERAZIONI NON LINEARI:** Circuiti per operazioni non lineari basati sul moltiplicatore. Mux 2X basato su coppia differenziale a BJT: schema circuitale, funzionamento nel dettaglio. Analisi circuitali dettagliate del modello di Giacoletto e dello specchio di corrente. Mux 4X. Cella di Gilbert: schema circuitale, principio di funzionamento ed analisi nel dettaglio. Configurazioni dei principali circuiti non lineari: estrattore di radice quadrata, divisore, amplificatore logaritmico ed esponenziale. Realizzazione di moltiplicatori e divisori con amplificatori log/anti-log.
7. **ESERCITAZIONI**

### Bibliografia e materiale didattico

Elettronica di Millman, J. Millman, A. GRabel, P. Terreni, McGraw-Hill (2008).



## UNIVERSITÀ DI PISA

---

Appunti delle lezioni, esercizi, ed altro materiale fornito attraverso il sito web elearning (<https://elearn.ing.unipi.it/>).

### Indicazioni per non frequentanti

Nessuna

### Modalità d'esame

L'esame è composto da una prova scritta (1,5 h) ed una prova orale (mediamente 30 min). Il superamento della prova scritta è necessario per l'accesso alla prova orale.

La prova scritta consiste in un esercizio di progetto del front-end analogico di un'apparecchiatura biomedicale. LA prova scritta si intende superata se il candidato ottiene un punteggio di almeno 18/30.

La prova orale consiste in un colloquio tra il candidato e il docente, o anche tra il candidato e altri collaboratori del docente titolare. Durante la prova orale potrà essere richiesto al candidato di risolvere anche problemi/esercizi scritti, davanti al docente o in separata sede (come può accadere quando si danno al candidato alcuni minuti durante i quali si sposta su un tavolo vicino e l'interrogazione del docente prosegue con altri candidati).

*Ultimo aggiornamento 07/09/2022 10:15*