

I I S C I G N A - B A R U F F I - G A R E L L I

M O N D O V I

PROGRAMMAZIONE ANNUALE

ANNO SCOLASTICO 2025/26

INSEGNAMENTO	Sistemi Automatici — Sistemi Automatici
DOCENTE	Bertolino Davide, Gasco Giovanni
CLASSE	5AEE
INDIRIZZO	Elettronica ed Elettrotecnica

METODO DI INSEGNAMENTO

- ▶ Lezione frontale e dialogata
- ▶ Risoluzione guidata di esercizi e problemi
- ▶ Simulazioni al calcolatore (Scilab, simulatori online ad hoc)
- ▶ Esercitazioni pratiche con sensori e sistemi di acquisizione
- ▶ Laboratorio ed esercitazioni

STRUMENTI DI LAVORO

- ▶ LIM / Lavagna classica
- ▶ Dispense e appunti del docente
- ▶ Software di simulazione: MATLAB/Octave, Scilab, Simulink
- ▶ Schede Arduino e sensori per acquisizione dati
- ▶ Strumentazione di laboratorio: oscilloscopio, generatore di funzioni, multimetro

STRUMENTI DI VERIFICA

- ▶ Prove scritte e test strutturati
- ▶ Interrogazioni orali
- ▶ Relazioni di laboratorio
- ▶ Valutazione di progetti e simulazioni

OBIETTIVI

- ▶ Rappresentare e analizzare sistemi di controllo mediante schemi a blocchi e funzioni di trasferimento

- ▶ Applicare la trasformata di Laplace allo studio dei sistemi lineari tempo-invarianti
- ▶ Tracciare e interpretare i diagrammi di Bode di modulo e fase
- ▶ Valutare la stabilità di un sistema con i criteri di Bode, Routh-Hurwitz e il luogo delle radici
- ▶ Progettare e tarare regolatori PID per il controllo di processi
- ▶ Analizzare la risposta dei sistemi nel dominio del tempo (impulso e gradino)
- ▶ Conoscere i principali sensori e trasduttori industriali e le relative catene di acquisizione
- ▶ Comprendere il processo di campionamento e il teorema di Shannon-Nyquist

CONTENUTI DISCIPLINARI

UDA/MOD.1 — TEORIA DEI SISTEMI E SCHEMI A BLOCCHI

- Definizione di sistema: sistemi fisici, modelli matematici e rappresentazione ingresso-uscita
- Sistemi lineari tempo-invarianti (LTI): proprietà di linearità e sovrapposizione
- Funzione di trasferimento: definizione e significato fisico
- Schemi a blocchi: blocchi in serie, in parallelo e in retroazione
- Algebra degli schemi a blocchi: riduzione e semplificazione
- Regole di spostamento dei nodi sommatori e dei punti di diramazione
- Sistemi a catena aperta e sistemi a catena chiusa: confronto e vantaggi della retroazione
- Errore a regime: definizione e calcolo in funzione del tipo di sistema

UDA/MOD.2 — TRASFORMATA DI LAPLACE E RISPOSTA DEI SISTEMI

- La trasformata di Laplace: definizione, proprietà fondamentali e tabella delle trasformate notevoli
- Trasformata di funzioni elementari: gradino unitario, rampa, esponenziale, senoide
- Proprietà operative: linearità, traslazione nel tempo, derivazione, integrazione
- Antitrasformata di Laplace: scomposizione in fratti semplici
- Poli e zeri di una funzione di trasferimento: significato e rappresentazione nel piano s
- Risposta all'impulso: definizione, calcolo e significato fisico
- Risposta al gradino: regime transitorio e regime permanente
- Sistemi del primo ordine: costante di tempo τ , risposta al gradino e all'impulso
- Sistemi del secondo ordine: frequenza naturale ω_n , smorzamento ζ , poli complessi coniugati
- Risposta al gradino del secondo ordine: sovraelongazione, tempo di salita, tempo di assestamento

UDA/MOD.3 — ANALISI IN FREQUENZA: DIAGRAMMI DI BODE

- Risposta in frequenza di un sistema LTI: concetto e funzione di risposta armonica $G(j\omega)$
- Diagrammi di Bode: rappresentazione del modulo (dB) e della fase (gradi) in scala logaritmica
- Diagrammi di Bode di blocchi elementari: guadagno, polo reale, zero reale, integratore, derivatore
- Poli e zeri complessi coniugati: picco di risonanza e fattore di merito Q
- Tracciamento dei diagrammi asintotici e correzioni alle frequenze di taglio
- Composizione dei diagrammi di Bode per funzioni di trasferimento complesse
- Frequenza di attraversamento (crossover) di modulo e di fase
- Margine di fase e margine di guadagno: definizione e lettura dai diagrammi di Bode

UDA/MOD.4 — STABILITÀ DEI SISTEMI DI CONTROLLO

- Concetto di stabilità BIBO (Bounded Input – Bounded Output)
- Stabilità e posizione dei poli nel piano s : semipiano sinistro, asse immaginario, semipiano destro
- Criterio di Bode per la stabilità: margine di fase e margine di guadagno
- Condizioni di stabilità, instabilità e stabilità critica dal diagramma di Bode
- Criterio di Routh-Hurwitz: costruzione della tabella di Routh
- Applicazione del criterio di Routh-Hurwitz: condizioni necessarie e sufficienti di stabilità
- Casi speciali della tabella di Routh: riga di zeri e primo elemento nullo
- Il luogo delle radici: concetto, regole di costruzione e interpretazione
- Tracciamento del luogo delle radici: asintoti, punti di diramazione, intersezione con l'asse immaginario
- Utilizzo del luogo delle radici per la progettazione di sistemi di controllo
- Confronto tra i criteri di stabilità: ambiti di applicazione e complementarità

UDA/MOD.5 — REGOLATORI PID

- Il problema della regolazione: specifiche di prestazione nel dominio del tempo e della frequenza
- Azione proporzionale (P): effetto sul guadagno, sull'errore a regime e sulla stabilità
- Azione integrale (I): eliminazione dell'errore a regime e rischio di wind-up
- Azione derivativa (D): effetto anticipativo e miglioramento della risposta transitoria
- Il regolatore PID: funzione di trasferimento e schema a blocchi
- Taratura del PID: metodo di Ziegler-Nichols in catena aperta (curva di reazione)
- Taratura del PID: metodo di Ziegler-Nichols in catena chiusa (oscillazione critica)
- Cenni sulla taratura empirica e auto-tuning
- Anti-wind-up: tecniche per limitare la saturazione dell'azione integrale
- Implementazione digitale del PID: discretizzazione e scelta del tempo di campionamento

UDA/MOD.6 — SENSORI E TRASDUTTORI

- Definizione di sensore e trasduttore: classificazione per grandezza misurata e principio di funzionamento
- Caratteristiche metrologiche: sensibilità, linearità, accuratezza, precisione, ripetibilità, isteresi
- Range, fondo scala, risoluzione e tempo di risposta
- Sensori di temperatura: termoresistenze (Pt100, Pt1000), termistori NTC e PTC, termocoppie
- Ponte di Wheatstone: principio di funzionamento e applicazione alla misura di resistenze
- Estensimetri (strain gauges): principio di funzionamento, fattore di gauge, configurazioni a ponte
- Applicazioni degli strain gauges: misura di deformazione, forza, pressione e coppia
- Celle di carico: struttura e principio di funzionamento basato su strain gauges
- Encoder incrementali: principio di funzionamento, segnali A e B, risoluzione (PPR)
- Decodifica della quadratura: determinazione di direzione e posizione
- Encoder assoluti: cenni su codifica Gray e confronto con encoder incrementali
- Ingressi in corrente (loop 4-20 mA): vantaggi rispetto agli ingressi in tensione, immunità al rumore
- Conversione corrente-tensione: resistenza di shunt e condizionamento del segnale

UDA/MOD.7 — CAMPIONAMENTO E CONVERSIONE ANALOGICO-DIGITALE

- Dal mondo analogico al mondo digitale: necessità del campionamento
- Il processo di campionamento: campionamento ideale e campionamento reale (Sample & Hold)
- Spettro di un segnale campionato: replicazione spettrale e aliasing
- Il teorema di Shannon-Nyquist: frequenza di Nyquist e condizione di campionamento corretto
- Aliasing: cause, effetti e prevenzione con filtri anti-aliasing
- Frequenza di campionamento pratica: criteri di scelta (5-10× la banda del segnale)
- Convertitore Analogico-Digitale (ADC): principio di funzionamento e parametri fondamentali
- Risoluzione dell'ADC: numero di bit, quanto di quantizzazione (LSB), errore di quantizzazione
- Tipologie di ADC: ad approssimazioni successive (SAR), flash, sigma-delta (cenni)
- Convertitore Digitale-Analogico (DAC): principio di funzionamento (cenni)
- Catena di acquisizione completa: sensore → condizionamento → filtro anti-aliasing → S&H → ADC → elaborazione

ATTIVITÀ DI LABORATORIO

- ▶ Riduzione di schemi a blocchi: esercitazioni guidate con verifica tramite simulazione
- ▶ Calcolo di trasformate e antitrasformate di Laplace: esercizi applicativi
- ▶ Simulazione della risposta al gradino di sistemi del primo e secondo ordine (MATLAB/Octave)
- ▶ Tracciamento dei diagrammi di Bode asintotici e verifica con software di simulazione

- ▶ Lettura dei margini di fase e guadagno dai diagrammi di Bode simulati
- ▶ Applicazione del criterio di Routh-Hurwitz: esercizi di verifica della stabilità
- ▶ Tracciamento del luogo delle radici con supporto software
- ▶ Simulazione di un controllo PID: taratura con metodo di Ziegler-Nichols
- ▶ Misura di temperatura con Pt100/NTC e ponte di Wheatstone su Arduino
- ▶ Acquisizione e visualizzazione del segnale di uno strain gauge
- ▶ Lettura di un encoder incrementale con Arduino: conteggio impulsi e determinazione della direzione
- ▶ Acquisizione di un segnale 4-20 mA con Arduino e resistenza di shunt
- ▶ Verifica sperimentale del teorema di Shannon: campionamento di un segnale sinusoidale e osservazione dell'aliasing
- ▶ Progetto integrato: catena di acquisizione completa con sensore, condizionamento, campionamento e visualizzazione dati

In fede,

I Docenti: **Bertolino Davide, Gasco Giovanni**