

## **PROGRAMMA DEL CORSO DI**

### **Regolazione e Controllo dei Sistemi Meccanici a.a. 2000/2001**

#### **Riferimenti docenti**

Supplenza

#### **Obiettivi del corso**

Il corso si propone di fornire agli allievi le nozioni fondamentali e gli strumenti necessari per l'analisi di sistemi meccanici dinamici, e per il progetto dei dispositivi che possono essere utilizzati per modificare tale dinamica in modo da rispondere a date specifiche di funzionamento. Nel corso si dà particolare risalto alle applicazioni nelle quali il controllo dei sistemi meccanici mediante dispositivi elettronici e/o digitali costituisce un aspetto tecnologico fondamentale, come l'automazione industriale, la robotica, e la componentistica intelligente per veicoli e macchine in genere.

Il corso parte dalla modellazione dei sistemi meccanici e dei sistemi digitali nella descrizione (già in parte nota agli studenti) in forma di equazioni differenziali o alle differenze, per introdurre altre utili descrizioni (nello spazio di stato e, per sistemi lineari, in frequenza). Scopo di questa parte è quello di dare agli studenti la capacità di descrivere i problemi che dovranno affrontare in termini generali e, quindi, di riconoscere in essi casi specifici cui applicare le soluzioni fornite più avanti nel corso.

Si discutono poi le proprietà fondamentali dei sistemi considerati, quali la stabilità, la possibilità di determinare il comportamento dei sistemi mediante gli ingressi dati, la possibilità di ricostruire le grandezze incognite del modello mediante misura di altre grandezze disponibili. In relazione a queste caratteristiche, si descrivono misure quantitative che sono utilizzabili come specifiche di progetto.

Si passa quindi al progetto dei dispositivi, o degli algoritmi, per realizzare date specifiche a partire da sistemi il cui modello sia noto. Nel fare questo, si illustra e si discute la necessità di trovare compromessi tra tecniche esatte ma potenzialmente complesse e fragili, e tecniche euristiche semplici ma incomplete, anche in relazione alla struttura dei dispositivi su cui i regolatori progettati devono essere implementati (sensori ed attuatori, elettronica analogica e digitale). Si sottolinea in questa parte come il moderno progetto meccanico di sistemi dinamici non si svolga separatamente da quello dei dispositivi di regolazione e controllo, ma piuttosto sia opportuno integrare le due fasi in una co-progettazione oculata.

Si studiano infine le basi teoriche e le moderne tecniche di simulazione dei sistemi dinamici, con riferimento anche agli strumenti software disponibili commercialmente. Si mostra come le tecniche di simulazione numerica di sistemi dinamici continui sono alla base della realizzazione su elaboratori digitali di schemi di controllo progettati come sistemi continui.

#### **Metodologia**

Le lezioni sono prevalentemente tenute proiettando appunti schematici, che sono resi disponibili agli studenti in rete (<http://piaggio.cci.unipi.it/~bicchi/Bicchi.html>). Il corso si avvale per le esercitazioni di strumenti informatici (software di analisi e simulazione – Matlab) disponibili presso le strutture della facoltà, e di un telelaboratorio con esperimenti reali accessibili in rete senza limitazioni di orario (<http://piaggio.dsea.unipi.it>)

### **Conoscenze ed abilità minime presupposte**

Matematica (eq. differenziali e alle differenze, algebra delle matrici, geometria). Conoscenze di Fisica (meccanica ed elettromagnetismo).

*NOTA 1: Il corso si svolge in parallelo al corso di Meccatronica, nel quale si assume vengano svolte le parti di descrizione e modellazione delle componenti (sensori ed attuatori) elettromeccaniche, oleodinamiche, pneumatiche nonché dei dispositivi elettronici di potenza, di segnale, e digitale utilizzate nella automazione industriale. Si ritiene che queste nozioni debbano essere già note agli studenti per trarre massimo frutto dall'insegnamento di Regolazione e Controllo.*

*NOTA 2: ai fini del corso, sarebbe molto utile che gli studenti avessero una formazione pregressa, almeno di tipo operativo, sulle tecniche di soluzione delle equazioni dinamiche lineari mediante L- e Z-trasformate, e sulla integrazione numerica delle equazioni differenziali. Questi argomenti sono al momento trattati, nei limiti possibili, all'interno del corso.*

### **Capacità minime richieste alla fine del corso**

- Saper definire semplici modelli matematici di sistemi meccanici dinamici;
- Saper determinare le caratteristiche fondamentali di tali modelli (stabilità, controllabilità, osservabilità, risposte ad ingressi tipici);
- Saper interpretare, e porre, le specifiche di funzionamento di un sistema dinamico nelle diverse forme in cui esse possono venir descritte;
- Conoscere le tecniche di analisi dei sistemi lineari nel dominio della frequenza (funzioni di trasferimento, diagrammi di Bode e Nyquist, luogo delle radici);
- Saper costruire un algoritmo di simulazione per sistemi dinamici, mediante programmazione esplicita o grafica, avvalendosi di strumenti SW commerciali;
- Saper progettare un regolatore per un sistema assegnato che realizzi date specifiche di stabilità pratica, precisione, prontezza;
- Saper realizzare una implementazione digitale per un sistema di controllo progettato in tempo continuo.

### **Programma**

- 1. Introduzione.** Presentazione del corso. Sistemi meccanici dinamici, sistemi di regolazione e di controllo nella automazione industriale e nelle macchine moderne.  
(L:4; E:0)
- 2. Definizioni e nozioni introduttive.** Sistemi dinamici continui e discreti. Esempi. Significato fisico di ingressi, uscite, stati. Schemi a blocchi. Rappresentazioni matematiche dei sistemi dinamici. Proprietà dei sistemi: linearità, stazionarietà, fisica realizzabilità. Sistemi di regolazione e controllo. Non-linearità accidentali ed essenziali.  
(L:8; E:6)
- 3. Sistemi lineari.** Rappresentazioni di sistemi lineari (equazioni ordinarie, forma di stato, trasformate e funzioni di trasferimento). Soluzione dei sistemi lineari: risposte libere, forzate, transitorie e permanenti. Risposta armonica dei sistemi lineari. Diagrammi di risposta armonica (Bode, Nyquist). Sistemi del primo e secondo ordine elementari. Banda passante.  
(L:12; E: 7).

4. **Proprieta' fondamentali dei sistemi dinamici.** Concetto e definizioni di stabilita'. Tecniche di analisi della stabilita': metodi diretto e indiretto di Lyapunov. Applicazione ai sistemi lineari: criterio di Routh, equazione di Lyapunov. Controllabilita' e Osservabilita' dei sistemi: definizioni, applicazioni dirette e indirette, criteri di verifica per sistemi lineari. Gli osservatori dello stato.  
(L:12; E:7)
5. **Specifiche di funzionamento dei sistemi regolati.** Motivazioni per la retroazione: reiezione dei disturbi, insensibilita' agli errori di modellazione, modifica del comportamento dinamico. Specifiche di stabilita': margini di guadagno e di fase. Specifiche sul regime: precisione, insensibilita' ai disturbi, inseguimento di riferimenti tipici, banda passante. Specifiche sul transitorio: prontezza, smorzamento., risposta dell'asservimento. Verifica delle specifiche sul sistema regolato sulla base delle caratteristiche in anello aperto. Il luogo delle radici. Luoghi a modulo e fase costante.  
(L:10; E:6)
6. **Retroazione degli stati e retroazione delle uscite.** Effetti della retroazione sulle proprieta' fondamentali. Forma canonica di controllo e di osservazione. Allocazione degli autovalori per retroazione degli stati e per iniezione delle uscite. Il principio di separazione ed il regolatore dinamico. Regolatori semplificati: progetto per tentativi. Azioni e reti correttive. Regolatori standard.  
(L:10; E:6)
7. **Sistemi a dati campionati.** Discretizzazione di sistemi dinamici continui: applicazioni alla simulazione e alla realizzazione digitale dei regolatori. Stabilita' numerica delle tecniche di discretizzazione. Il campionamento e la tenuta dei segnali. Sintesi diretta dei regolatori digitali.  
(L:10; E:6)
8. **Analisi e sintesi assistita da calcolatore.** Uso di pacchetti SW commerciali per la analisi e la simulazione di sistemi dinamici (Matlab, Simulink).  
(L:0; E:6)

Numero totale di ore in cui si sviluppano nuovi argomenti (L):	66
Numero totale di ore in cui si svolgono esemplificazioni ed esercitazioni di laboratorio (E):	44
<b>Numero totale di ore:</b>	<b>110</b>

#### **Materiale didattico**

P. Bolzern, R. Scattolini, N. Schiavoni: "Fondamenti di Controlli Automatici", McGraw Hill  
 G. Marro, "Controlli Automatici", Zanichelli  
 Appunti del docente (disponibili in rete)

#### **Modalità d'esame**

L'esame è articolato in una prova scritta e un colloquio orale.