UNIVERSITÀ DI PISA

DINAMICA E CONTROLLO DI VEICOLI AEROSPAZIALI

GIOVANNI MENGALI

Anno accademico	2023/24
CdS	INGEGNERIA AEROSPAZIALE
Codice	749II
CFU	6

Moduli	Settore/i	Tipo	Ore	Docente/i
DINAMICA E CONTROLLO DI VEICOLI AEROSPAZIALI	ING-IND/03	LEZIONI	60	GIOVANNI MENGALI

Obiettivi di apprendimento

Conoscenze
Lo studente che completa con successo il corso avrà acquisito solide conoscenze relative ai modelli matematici per descrivere il comportamento dinamico di un aeromobile e di un veicolo spaziale. Lo studente verrà a conoscenza delle moderne metodologie di progetto dei sistemi di controllo dei veicoli aerospaziali, sia da un punto di vista teorico che pratico, e dei metodi numerici e di simulazione con cui validare le prestazioni e le caratteristiche dei sistemi controllati.

Modalità di verifica delle conoscenze
Lo studente deve dimostrare la capacità di mettere in pratica, con efficacia e spirito critico, le conoscenze acquisite durante il corso sotto la guida del docente.
Metodologie:

- Prova scritta
- Esame finale orale

Capacità
Al termine del corso lo studente sarà in grado di applicare le conoscenze acquisite alla risoluzione di un tipico problema di progetto di un sistema di controllo e di illustrare le principali metodologie e le ipotesi semplificative necessarie alla risoluzione del problema.

Modalità di verifica delle capacità
Lo studente dovrà dimostrare le proprie capacità attraverso la risoluzione scritta di uno o più problemi. Attraverso una discussione orale di fronte al docente lo studente dovrà inoltre dimostrare di saper esporre, con adeguato uso di linguaggio tecnico, i modelli matematici e le metodologie di progetto discussi durante il corso.

Comportamenti
Saranno acquisite opportune accuratezza e precisione nello svolgere attività di raccolta e analisi di dati sperimentali

Prerequisiti (conoscenze iniziali)
Fisica Generale, Analisi Matematica con particolare riferimento alle equazioni differenziali, comportamento dinamico dei sistemi con particolare riferimento ai sistemi lineari, trasformate di Laplace.

Indicazioni metodologiche
Lezioni frontali
Attività di apprendimento:

- Partecipazione alle lezioni
- Svolgimento di esercizi in preparazione alla prova scritta
- Studio individuale

Metodi di insegnamento:

- Lezioni effettuate alla lavagna o con l'ausilio del proiettore
- Esercitazioni alla lavagna con lo svolgimento di problemi simili ai quesiti di esame
- Utilizzo del sito web (http://elearn.ing.unipi.it/) per fornire materiale didattico aggiuntivo e per comunicare con gli studenti

- Uso della lingua Italiana per l'insegnamento del corso
- Uso di 1 prova scritta in itinere (con possibilità di sostituire la prova scritta finale)

Programma (contenuti dell'insegnamento)

- Richiami sull'analisi dei sistemi lineari. Rappresentazione del comportamento dinamico di un sistema tramite variabili di stato e funzioni di trasferimento. Sistemi elementari del primo e secondo ordine e principali parametri caratterizzanti la loro risposta al gradino.
- Risposta in frequenza di un Sistema lineare. Introduzione ai diagrammi di Bode. Costruzione del diagramma di Bode di sistemi elementari: guadagno puro, singolarità nell'origine, sistemi del primo e del secondo ordine. Effetto del rapporto di smorzamento nella risposta in frequenza. Pulsazione di risonanza e picco di risonanza. Filtro passa-tutto e suo diagramma di Bode. Effetto di un polo instabile. Risposta in frequenza di un ritardo puro e confronto con l'approssimazione di Padé. Costruzione del diagramma di Bode di un filtro "notch". Tracciamento dei diagrammi di Bode asintotici con esempi. Effetto di una variazione del guadagno.
- Costruzione di modelli semplificati di sistemi con scale temporali distinte. Approssimazioni di alta e bassa frequenza ed esempi relativi.
- Introduzione al luogo delle radici. Equazione caratteristica. Formula dei moduli e delle fasi. Regole generali di tracciamento del luogo delle radici. Regole generali di tracciamento del luogo delle radici. Esempi di costruzione di luoghi delle radici elementari. Applicazione dei concetti di alta e bassa frequenza per il tracciamento del luogo delle radici. Uso del luogo delle radici per la compensazione: caso della dinamica di un satellite rigido. Controllo proporzionale, proporzionale-integrale e con rete anticipatrice. Applicazione del luogo delle radici al caso di un satellite con appendice flessibile. Caso di controllo con sensore ed attuatore co-locati e non. Utilizzo di un filtro notch. Controllo con rete ritardatrice. Il contorno delle radici.
- Definizione di sensibilità e sua applicazione allo schema di controllo in retroazione. Problemi di controllo in anello aperto. Funzione di sensibilità e di sensibilità complementare. Introduzione dei disturbi e del rumore di misura. Tipo di sistema ed errore asintotico. Banda passante di un sistema. Calcolo della banda passante di un sistema ideale e sua relazione con la pulsazione naturale. Pulsazione di crossover e legame con la banda passante del sistema in anello chiuso. Condizione di stabilità neutra di un sistema in anello chiuso e sua determinazione grafica. Introduzione ai margini di stabilità. Margine di guadagno e margine di fase. Legame tra margine di fase e rapporto di smorzamento per sistemi ideali del secondo ordine. Effetto di un ritardo sulla stabilità in ciclo chiuso. Margine di riduzione di guadagno.
- Compensazione classica: controllo proporzionale, controllo con rete anticipatrice e controllo con rete ritardatrice. Introduzione al sistema di controllo PID nella forma standard e nella forma di serie PD-PI. Sintesi di un PID con il metodo di Ziegler-Nichols. Sintesi classica di un sistema di controllo PID. Controllo PID avanzato.
- Introduzione al criterio di stabilità di Nyquist. Il criterio di Nyquist nella forma generale ed in quella semplificata. Principali regole di tracciamento dei luoghi di Nyquist. Luoghi di Nyquist per sistemi con poli nell'origine con esempi applicativi. Sistemi condizionatamente stabili. Criterio di Nyquist per sistemi instabili in ciclo aperto. Margini di stabilità sul luogo di Nyquist. Margine vettoriale. Margini di stabilità e norme.
- Formula di Bode per i sistemi a fase minima. Limitazioni imposte dalla presenza di singolarità nel semipiano positivo. Integrale di Bode (formula dell'area) e conseguenze nel progetto del sistema di controllo. Prestazione nominale. Incertezze di modello e robustezza. Incertezza parametrica e teorema di Kharitonov. Incertezza dinamica e stabilità robusta. Progetto del controllore mediante "loop-shaping". Saturazione degli ingressi e schema "antiwindup".
- Sistemi di controllo nello spazio degli stati. Controllabilità ed osservabilità. Assegnazione dei poli. Inseguimento di un riferimento diverso da zero. Zeri di un sistema in variabili di stato. Inseguimento di un riferimento con controllo integrale. Osservatori. Dinamica dell'errore e principio di separazione. Introduzione al controllo lineare quadratico.

Bibliografia e materiale didattico

Il libro di testo ufficiale del corso è

- Mengali G., "Lezioni del corso di Dinamica e Controllo di Veicoli Aerospaziali", versione pdf fornita dal docente.

Il materiale didattico a disposizione degli studenti comprende una raccolta degli esercizi svolti durante le esercitazioni con soluzioni e commenti

Modalità d'esame

L'esame è composto da una prova scritta ed una prova orale. La prova scritta può essere sostituita da una prove scritta in itinere effettuata durante l'anno.
La prova scritta consiste in due o tre problemi da risolvere. Ciascun problema può essere suddiviso in due o tre domande. La durata della prova scritta è di due ore ed è valida solo per l'appello di esame in cui viene effettuata. Il superamento della prova scritta implica il corretto svolgimento di almeno metà di ciascuno dei problemi. La prova orale consiste in un colloquio tra il candidato ed i membri della commissione di esame. Durante il colloquio vengono chiesti due o tre argomenti discussi a lezione. Il candidato deve dimostrare di aver acquisito una conoscenza non meramente mnemonica degli argomenti e di conoscere i limiti di validità dei modelli/metodi utilizzati e le relative ipotesi semplificative adottate. Lo studente deve inoltre dimostrare una buona capacità di argomentazione utilizzando una corretta terminologia tecnica.

Ultimo aggiornamento 20/10/2023 17:38