

GIUSEPPE CARLO CALAFIORE

ESERCIZI DI AUTOMATICA E
CONTROLLI

CLUT

Classe L^AT_EX: `clut.cls` – opzioni: `grande`

©2007 C.L.U.T. Editrice
Proprietà letteraria riservata
Stampato in Italia da STAMPATRE – Torino
Copyright C.L.U.T. - Torino - 2007

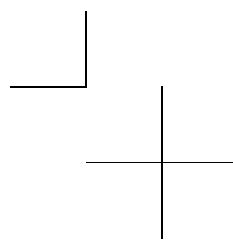
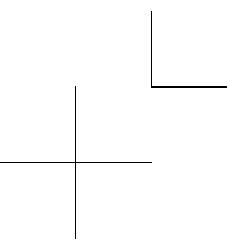
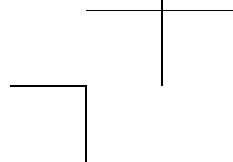
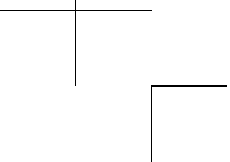
ISBN 88-7992-247-0

Edizioni C.L.U.T. - Torino
Corso Duca degli Abruzzi, 24 - 10129 Torino
Tel. 011 564 79 80 – Fax 011 54 21 92

RIPRODUZIONE TOTALE O PARZIALE VIETATA

L'esercizio fisico non fa male al corpo, anzi lo migliora. Invece, le nozioni acquisite per forza non giovano per niente alla mente.

Platone



Presentazione

Questo testo si propone di guidare lo studente nell'apprendimento dei fondamenti dell'Automatica e dei Controlli, tramite una serie di esercizi e temi di esame svolti.

Il testo è composto da undici capitoli, dove i capitoli dall'1 al 6 si riferiscono ai contenuti dei moduli didattici di Fondamenti di Automatica o Elementi di Automatica, mentre i capitoli dal 7 al 10 si riferiscono ai moduli di Controlli Automatici e affini. Il Capitolo 11 raccoglie infine alcuni temi di esame svolti relativi ad appelli di corsi a carattere automatico o controllistico tenuti presso il Politecnico di Torino.

Più in dettaglio, il Capitolo 1 presenta esercizi relativi alla modellizzazione di sistemi dinamici, sia tramite variabili di stato che tramite funzioni di trasferimento e diagrammi a blocchi. Il Capitolo 2 tratta di trasformate/antitrasformate di Laplace e Zeta e di calcolo della risposta temporale di sistemi dinamici. Il Capitolo 3 propone esercizi sull'analisi di stabilità dei sistemi lineari tempo invarianti (LTI) a tempo continuo e discreto, anche in presenza di parametri. Nel Capitolo 4 sono presentati esercizi sull'analisi di stabilità degli equilibri di sistemi non lineari, tramite i metodi di Lyapunov diretto e per linearizzazione. Il Capitolo 5 presenta esercizi sull'analisi di raggiungibilità e osservabilità di sistemi LTI descritti tramite variabili di stato, nonché esercizi sul progetto di regolatori per retroazione degli stati e di osservatori asintotici degli stati da misure dell'uscita. Il Capitolo 6 illustra un esempio applicativo completo relativo ad un sistema di levitazione magnetica.

Il Capitolo 7 contiene esercizi relativi alla rappresentazione grafica della risposta in frequenza ed al tracciamento dei diagrammi di Bode, polari

e di Nyquist. Gli esercizi nel Capitolo 8 trattano dell'analisi di stabilità dei sistemi retroazionati (criterio di Nyquist) e della valutazione dei margini di stabilità e di robustezza. Il Capitolo 9 propone quindi esercizi sulla analisi delle specifiche e sul progetto del compensatore dinamico da inserire in cascata in semplici architetture di controllo in retroazione unitaria. Nel Capitolo 10 viene infine sviluppato un progetto applicativo completo relativo al controllo di posizione di una antenna azionata tramite un motore elettrico in corrente continua.

Per le notazione e per le nozioni teoriche relative a Fondamenti di Automatica, questo eserciziario fa esplicito riferimento al testo [1]. Per le nozioni relative a Controlli Automatici, si fa invece riferimento a [2].

Per molti degli esercizi contenuti in questo testo sono stati sviluppati appositi modelli e funzioni ausiliarie funzionanti in ambiente Matlab/Simulink. Tutte le funzioni e i modelli menzionati sono disponibili nella pagina web di supporto al testo, all'indirizzo:

<http://staff.polito.it/giuseppe.calafiore/ESAUTCONT/testo.htm>

A questo stesso indirizzo è anche reperibile un *errata corrige* aggiornato.

Desidero infine ringraziare i colleghi Gustavo Belforte, Fabrizio Dabbene, Marina Indri e Michele Taragna per aver fornito alcuni dei temi di esame riportati nel Capitolo 11. Un ringraziamento particolare va all'Ing. Nicola Sacco, che ha collaborato ad una stesura preliminare di parte di questo testo.

G.C.

Torino, Settembre 2007

Indice

1	Modelli di Sistemi Dinamici	1
1.1	La sospensione attiva	1
1.2	L'assetto di un satellite artificiale	8
1.3	Il carro ponte	11
1.4	Un circuito RCL	15
1.5	Una antenna motorizzata	17
1.6	La dinamica approssimata di quota di un aereo	22
1.7	Il livello di un serbatoio	25
1.8	La sequenza di Fibonacci	27
1.9	Rappresentazione tramite schemi a blocchi	28
2	Risposta Temporale	35
2.1	Antitrasformata di Laplace e risposta forzata	35
2.2	Espansione modale e risposta libera	46
2.3	Antitrasformata Zeta e risposta forzata	50
2.4	Risposta libera per sistemi a tempo discreto	58
2.5	Uso di Matlab per le simulazioni numeriche	60
2.5.1	Rappresentazione dei sistemi LTI	60
2.5.2	Simulazione numerica dei sistemi LTI	63
2.5.3	Simulazione di sistemi non lineari	67
3	Stabilità dei Sistemi Lineari	69
3.1	Stabilità di sistemi LTI a tempo continuo	69
3.2	Applicazioni del criterio di Routh	73
3.3	Stabilità dei sistemi a tempo discreto	79

3.4	Applicazioni del criterio di Jury	80
3.5	Stabilità parametrica	84
4	Stabilità dei Sistemi Non Lineari	91
4.1	Stabilità dei sistemi a tempo continuo	91
4.2	Stabilità dei sistemi a tempo discreto	104
4.3	Stabilità parametrica	108
5	Stima e Regolazione dello Stato	111
5.1	Forme canoniche di Kalman	111
5.2	Rappresentazione minima di un sistema	119
5.3	Progetto di regolatori e osservatori	122
5.3.1	Regolazione dell'equilibrio per un carro ponte . . .	130
6	Regolazione di un Sistema di Levitazione Magnetica	137
6.1	Costruzione del modello	137
6.2	Calcolo degli equilibri e linearizzazione	138
6.3	Progetto del regolatore in retroazione statica dello stato .	141
6.4	Progetto del regolatore dinamico	145
7	Risposta in Frequenza	151
7.1	Diagrammi di Bode	151
7.2	Diagrammi di Polari e di Nyquist	165
8	Stabilità dei Sistemi Retroazionati	185
8.1	Stabilità e margini di robustezza	185
9	Progetto del Compensatore	203
9.1	Esercizi preliminari di progetto	203
9.2	Esercizi completi di progetto	207
10	Controllo di Posizione di una Antenna Motorizzata	231
10.1	Modello e schema a blocchi	231
10.2	Specifiche di progetto	235
10.3	Progetto del controllore	236
10.3.1	Analisi preliminare dell'impianto	236
10.3.2	Analisi delle specifiche	236
10.3.3	Progetto del controllore	237
11	Temì di Esame Svolti	241

11.1 Appello congiunto di Fondamenti di Automatica (06AYS) e Controlli Automatici (10AKS)	241
11.2 Appello di Fondamenti di Automatica (01AYS)	254
11.3 Appello di Fondamenti di Automatica (07AYS)	262
11.4 Appello di Controlli Automatici (01AKS, 01FSQ)	278
11.5 Appello di Controlli Automatici (14AKS) del 15/05/2007	284
11.6 Appello di Controlli Automatici (14AKS) del 17/07/2007	287
11.7 Appello di Controlli Automatici (14AKS) del 03/09/2007	289
Bibliografia	295