Premessa

Questo elaborato è stato svolto per l'esame di Dinamica e Controllo dei Processi per l'anno accademico 2015-2016, sostenuto in Luglio 2016 con il titolare del corso Prof. Scali Claudio.

Nell'elaborato sono presenti:

1. il programma di esame e nome del testo del nostro anno di riferimento, sui quali è stato sostenuto l'esame;
2. *i testi di esame* di anni passati sui quali ci siamo esercitati durante il corso (e in classe);
3. un esempio di svolgimento di alcuni esercizi da parte di uno studente di qualche anno fa;
4. **la Relazione svolta** per il nostro esame (priva dei file.m) accompagnata da esercizi su MATLAB presi come riferimento dal Prof. Scali.

L'esame prevede una parte di corso da 6 CFU comune ai corsi di Ing.Chimica e Ing.Energetica più una parte da 3 CFU riservata obbligatoriamente ad Ing.Chimica e facoltativamente ad Ing.Energetica.
La Relazione contiene entrambe le parti: spesso gli "energetici" tendono comunque a frequentare la parte facoltativa da 3 CFU ad integrazione del loro pacchetto di crediti facoltativi.

N.B.
La nostra Relazione segue un ordine numerico (numero in fondo in basso a destra).
Le pagine non numerate sono state inserite in un secondo momento per rendere questo testo più completo ed esauriente, ma essenziale nei documenti inseriti: ripetiamo che *i testi inseriti ci sono davvero stati utili*, ecco.

Buon lavoro

Marco e Matteo

master COPY COPISTERIA
050/8312126 388/[illegible]3745

DINAMICA e CONTROLLO dei PROCESSI (AA 2014-2015)
(9CFU - L.M. in Ingegneria Chimica)

Docente: Prof. Claudio Scali
Sede: Dipartimento di Ingegneria Civile e Industriale (DICI)
(ex : Dipartimento di Ingegneria Chimica, Chimica Industriale e Scienza dei Materiali – DICCISM)
e-mail:**claudio.scali@unipi.it;** web page: http://www1.diccism.unipi.it/Scali_Claudio/

OBIETTIVI E FINALITA' DEL CORSO
L'insegnamento ha come finalità quella di introdurre gli allievi alle problematiche di controllo di processo e di fornire le conoscenze per la piena comprensione del funzionamento della strumentazione e della dinamica degli impianti industriali.
Obiettivo dell'insegnamento è quello di fornire agli studenti gli strumenti fondamentali per l'analisi degli schemi di controllo dei processi industriali e per la scelta di regolatori, valvole e misuratori. Vengono presentate le metodologie e le tecniche fondamentali e sono illustrati esempi di schemi di regolazione di impianti industriali. Tra le tecniche di base è inclusa l'analisi armonica e nel progetto del regolatore sono inclusi analisi di robustezza e progetto di alcuni tipi di compensatori.
Numero totale di ore in cui si sviluppano nuovi argomenti (L): 60
Numero totale di ore in cui si svolgono esemplificazioni ed esercitazioni di laboratorio (E): 30
Numero totale di ore: 90

Programma:

INTRODUZIONE Funzionamento dinamico dei processi chimici: perturbazioni e cambiamenti di condizioni operative; obiettivo del sistema di controllo. Rappresentazione mediante modelli Ingresso-Uscita; ingressi campione; sistemi SISO e MIMO. Modelli dinamici ed equazioni differenziali: sistemi a parametri concentrati e a parametri distribuiti. Definizioni di linearità, tempoinvarianza, causalità; linearizzazione; variabili scostamento. Sistemi di controllo in circuito aperto e in circuito chiuso: effetto della retroazione (feed-back: FB). Elementi costituenti il sistema controllato: regolatore, attuatore, processo, misuratore. Azioni di controllo dei regolatori industriali (PID). Ordine del sistema e parametri caratteristici; esempi di modelli di processi industriali. Studio delle risposte nel tempo di sistemi tipici ad ingressi campione, in circuito aperto e in circuito chiuso, con regolatori diversi. (L: 12, E: 2)

TRASFORMATA di LAPLACE Definizione e proprietà della Trasformata di Laplace; teoremi fondamentali; trasformata di Laplace delle funzioni più comuni. AntiTrasformata di Laplace; espansione in frazioni parziali. Applicazioni della T.d.L. a equazioni differenziali ordinarie e alle derivate parziali. Funzione di Trasferimento; risposta all'impulso. Funzioni di trasferimento di sistemi elementari e parametri caratteristici. Guadagno, poli e zeri di un sistema; radici dell'equazione caratteristica e risposta del sistema; sistemi con ritardo e con risposta inversa. Diagrammi a Blocchi: algebra dei D. a B., riduzione a forma canonica. Studio delle risposte nel tempo di sistemi tipici ad ingressi campione, in circuito aperto chiuso, mediante trasformate di Laplace. (L: 5, E: 5)

STABILITA' DEI SISTEMI Definizioni di stabilità per sistemi lineari; stabilità i.l.u.l. Il criterio di Routh. Il Luogo delle Radici: definizioni e proprietà; regole per tracciare L.d.R. Esempi di L.d.R. per processi tipici; Effetto di zeri e poli; effetto delle diverse azioni del regolatore sulla stabilità del sistema. Condizioni di stabilità marginale e significato dei parametri caratteristici. (L: 9, E: 5)

PROGETTO DEL SISTEMA DI CONTROLLO Funzione di sensibilità e funzione di sensibilità complementare. Definizione di errore; errore a regime e tipi di sistema. Specifiche di prestazione e loro compatibilità. Specifiche di prestazione nel dominio tempo. Criteri per la valutazione della prestazione. Progetto analitico dei regolatori, progetto per tentativi sistematici e tuning. Regolatori avanzati e convenzionali: caratteristiche dei regolatori standard (PID). Tuning dei regolatori standard: metodo di Ziegler e Nichols, metodo della curva di reazione, metodo della curva di risposta. Cause di limitazione

della prestazione del sistema controllato: caratteristiche del processo, struttura del regolatore, vincoli su azione di controllo, incertezza sul modello del sistema. (L:12, E:6)

SCHEMI di CONTROLLO di PROCESSI INDUSTRIALI Rappresentazione grafica degli schemi di regolazione. Valvole di regolazione: curve caratteristiche e criteri di progetto. Misuratori: caratteristiche statiche e dinamiche. Esempi di regolazione delle variabili base: Portata, Livello, Pressione, Temperatura, in schemi di controllo di tipo SISO. Controllo di temperatura di reattori e forni: diverse soluzioni possibili; criteri di scelta. Controllo in Cascata: motivazioni, caratteristiche e progetto dei regolatori; controllo in Avanti: motivazioni, caratteristiche e progetto dei regolatori; esempi di applicazioni a processi industriali diversi. Schemi di controllo Selettivo, di Rapporto, a Priorità; tipiche applicazioni ai processi di interesse industriale. (L: 8, E: 2)

ANALISI FREQUENZIALE La funzione di risposta armonica: definizione, significato e calcolo dalla funzione di trasferimento; caratteristiche e proprietà. Rappresentazione della funzione armonica: diagrammi di Bode, rappresentazione asintotica; diagrammi di Nyquist. Sistemi a Fase Minima e a Fase Non Minima. Rappresentazione di processi tipici e regolatori standard con i diversi diagrammi. Criterio di stabilità di Bode e teorema di Nyquist: enunciato, uso. Esempi di applicazione per studi di stabilità di sistemi tipici; Effetto di zeri e poli sulla stabilità. Esempi di studio di stabilità comparato con analisi frequenziale e luogo delle radici. Stabilizzazione di sistemi instabili a circuito aperto con regolatori di tipo diverso. Specifiche di prestazione nel dominio tempo e frequenza; pulsazione e picco di risonanza, larghezza di banda. Margine di Guadagno e Margine di Fase. Progettazione del regolatore con tecniche in frequenza. (L: 18, E: 6)

ESERCITAZIONI con uso del software MATLAB: Analisi dinamica dei sistemi. Studi di stabilità, analisi della risposta dinamica di un sistema con regolatori diversi. Esecuzione di una serie di esercizi significativi. (già incluse tra le ore di esercitazione)

Testi di Riferimento:

- Scali C. "Controllo di Processo - Dinamica e Controllo dei Processi: Cap.I, Cap.XI". Dispense del corso, disponibili sul sito web: http://www1.diccism.unipi.it/Scali_Claudio/DCP/index.html
- Ogunnaike A. O., Ray W. H. "Process Dynamics, Modeling and Control". Oxford University Press; New York (USA), 1994.
- Marro G. "Controlli Automatici". Ed. Zanichelli, Bologna, 1998.

Modalità di svolgimento degli esami:

L'esame consiste in una prova orale comprendente la discussione degli esercizi assegnati durante l'anno e domande sul programma.
Il ricevimento viene svolto nell'orario previsto (Mercoledì pomeriggio), al termine delle lezioni, e/o come concordato direttamente con gli studenti, preferibilmente via e-mail.

Corso di Dinamica e Controllo dei Processi: Esercizi AA. 2015-2016
(Esercizi corso a comune (6 CFU; Ing. Chimica e Ing. Energetica- versione definitiva)

****

Nota: Ogni esercizio prevede impostazione del problema, sviluppo, alcune simulazioni e grafici significativi con Matlab; osservazioni e commenti. **(*)**= Opzionali;
Esercizi da fare al massimo in 2 persone; prima dell'esame (orale):
svolgere gli esercizi e spedirli in un unico file *nome.pdf* (incluso *files.m* - Matlab) a: claudio.scali@unipi.it

****

Esercizi n.1, 2,3 da risolvere nel dominio tempo

1) Sistemi non lineari. Il sistema riportato in Fig.1, rappresenta due serbatoi in serie non interagenti. Assumendo una relazione tra portata in uscita e battente del tipo: $Q_i = Cv_i(h_i)^{0.5}$, il sistema è non lineare. Costruire un modello linearizzato e confrontare le risposte $h_1(t)$ e $h_2(t)$ (modello vs. processo reale) per una variazione a gradino della portata in ingresso q, a partire da uno stato stazionario di equilibrio. Evidenziare le differenze al variare delle condizioni operative (stazionario iniziale e ampiezza dell'ingresso).

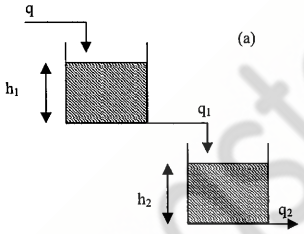


Fig. 1

2) Sistemi di ordine elevato. In Fig.2 è rappresentato un sistema lineare di ordine $n=2$:
a) Studiare la risposta per ingresso a gradino all'aumentare del numero di serbatoi (n) e dei loro volumi (V_1, $V_2, \ldots, V_n$).
b) Per un prefissato $n=5$, approssimare la risposta con un sistema del tipo primo ordine più ritardo (FOPTD), in modo da minimizzare l'errore tra la risposta vera $Y(t)$ e la risposta approssimata $Y°(t)$, per mezzo della funzione: $ISE = \int_0^\infty [e(t)]^2 dt; e(t) = Y(t) - Y°(t)$.
c) Studiare l'andamento della risposta per un ingresso sinusoidale $S(t) = A \sin(\omega t)$, (al variare del numero di elementi n e della pulsazione ω); valutare analiticamente l'ampiezza dell'uscita allo stazionario, sapendo che per un singolo elemento la relazione è: $\frac{B}{A} = \frac{1}{\sqrt{1+\omega^2\tau_1^2}}$.

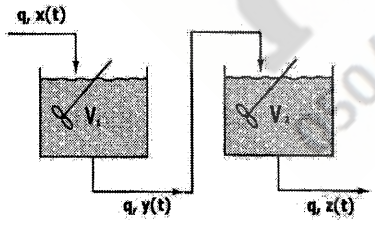


Fig. 2

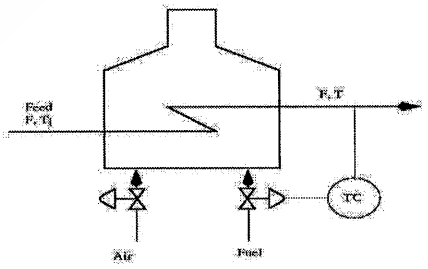


Fig. 3

3) Forno di combustione. Con riferimento allo schema Fig.3, con solo controllo FB della temperatura sulla portata di combustibile (assimilato a metano):
a) verificare la relazione $R(Z)$, (R: rapporto m^3 di Aria/m^3 di combustibile, Z: concentrazione volumetrica di O_2 nei fumi), è data da: $R(Z) = 9.52\frac{2+Z}{2-9.52Z}$; ricavare anche la relazione $T(Z)$, (T: temperatura di fiamma).
b) aggiungere schemi di controllo in grado di:
-- neutralizzare efficacemente disturbi sulla pressione della linea di alimentazione di combustibile e di aria;
-- migliorare le prestazioni nel caso di variazioni frequenti della portata di alimentazione F.
c) costruire i diagrammi a blocchi del sistema controllato, con indicazione della corrispondenza tra le variabili dello schema di processo.

4) Poli Dominanti e Non: Dato un processo di ordine elevato ($_{n\geq5}$, con poli reali negativi e distinti di ordini di grandezza diversa):
- analizzare il contributo dei poli alla risposta;
- verificare che il valore dei residui diminuisce all'aumentare del valore assoluto dei poli; (*) provare una dimostrazione teorica;
- ricavare un modello di ordine ridotto del sistema trascurando i poli non dominanti confrontare le risposte per un ingresso a gradino;
Nel caso di coppia di poli complessi coniugati (p1,p2= a±ib), valutare il loro contributo alla risposta al variare della parte reale e della parte immaginaria.

5) Effetto zeri positivi sulla risposta: Per un sistema avente uno zero positivo, con FdT: $P_5=\frac{K(-\alpha s+1)}{(\tau s+1)^2}$,
determinare la relazione tra il minimo valore della risposta al gradino e le costanti α e τ.
Per una FdT generale, studiare l'effetto di un numero pari (m=2) di zeri positivi sulla risposta.

6) Errore a regime: Nello schema a blocchi riportato in Figura 4, Pd è del tipo FOPTD, mentre $P=P_5$ (sistema con zero positivo).
Nel caso di attuatore e misuratore perfetti:
- Studiare la risposta con regolatore P e PI al variare dei parametri del regolatore, nei casi:
  a) $r=A/s$, $x=0$; b) $r=0$, $x=A/s$.
- Calcolare l'errore a regime ($E=r-y$) e studiare la risposta nel caso di inseguimento del riferimento per una variazione a rampa: $r=A/s^2$, $x=0$;
Nel caso di misuratore M affetto da errore statico ($K_m\neq1$), valutarne l'effetto sull'errore a regime nei casi a) e b), con regolatore PI.

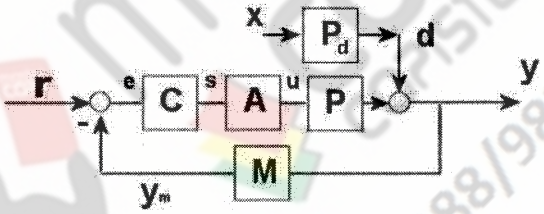


Fig. 4

7) Concordanza di segno $KcKp>0$ e stabilità: Dato il processo: $P_7=\frac{1-\alpha s}{(\tau s+1)^2}$
Valutare l'effetto della concordanza di segno $KcKp>0$ sulla stabilità del sistema con regolatore PI.
Effetto di un regolatore PID sulla stabilità del sistema: possibile stabilizzazione per ogni valore di guadagno?

8) Stabilizzazione di processi instabili in anello aperto: Per un processo avente uno zero e un polo positivo (P_8, con regolatore PI), verificare:

$$P_8=\frac{s-z_1}{(s-p_1)(s-p_2)};\quad z_1,p_1>0;\quad p_2<0;$$

- se $z_1<p_1$, non è possibile stabilizzare il sistema; è possibile per $z_1>p_1$ e opportuni valori di p_2.
- nel caso stabilizzabile, verificare che la condizione di concordanza di segno $KcKp>0$ non è necessaria e determinare il range di valori: $K_{c,min}<K_c<K_{c,max}$ che stabilizza il sistema.

9) Approssimazione di Padé e tuning regolatore PID: Studiare la stabilità di un processo FOPTD (per il caso $\theta/\tau=1$), all'aumentare dell'ordine della approssimazione di Padé e verificarne l'effetto su guadagno massimo e frequenza critica (K_{max} e ω*).
Effettuare un tuning del regolatore (algoritmo PI) con la tecnica Ziegler e Nichols.
Confrontare le prestazioni (per inseguimento del riferimento a gradino) nel caso di tuning secondo criteri di ottimizzazione: min ISE e min ITAE e secondo specifiche su sovraeleongazione (*Se*) e tempo di risalita (*tr*): *Se<10%, tr: minimo*.
Ripetere (tuning e confronto prestazioni) nei casi di processo a ritardo dominante ($\theta/\tau \gg 1$) e a capacità dominante ($\theta/\tau \ll 1$), con osservazioni conclusive.
(*): Ottimizzare la risposta mediante la funzione Matlab *fminsearch*.