POLITECNICO DI TORINO

Esami di Stato per l'abilitazione alla professione di Ingegnere
II sessione – Anno 2002

Ramo INFORMATICO – Tema N. 2

Si consideri il sistema riportato in Figura 1, costituito da un motore elettrico in corrente continua comandato in armatura e dai due serbatoi A e B contenenti un liquido incomprimibile.
Il motore, corredato del proprio blocco di azionamento (rappresentabile semplicemente come un amplificatore di guadagno $K_a = 10$), aziona la valvola che mette in comunicazione i due serbatoi, permettendo così di far variare la portata q_i del liquido che fluisce da A a B e conseguentemente la portata q_o in uscita dal serbatoio B.
Siano V_i la tensione di comando dell'amplificatore, V_a la tensione d'armatura del motore e V_e la tensione di f.e.m., tutte misurate in Volt; sia θ l'angolo di rotazione dell'albero motore, misurato in radianti. Sia infine h il livello raggiunto dal liquido nel serbatoio B, misurato in metri.
La portata q_o in uscita dal serbatoio B (espressa in m^3/s) rappresenta la variabile da controllare, mentre l'ingresso disponibile è ovviamente dato dalla tensione di comando dell'amplificatore V_i.

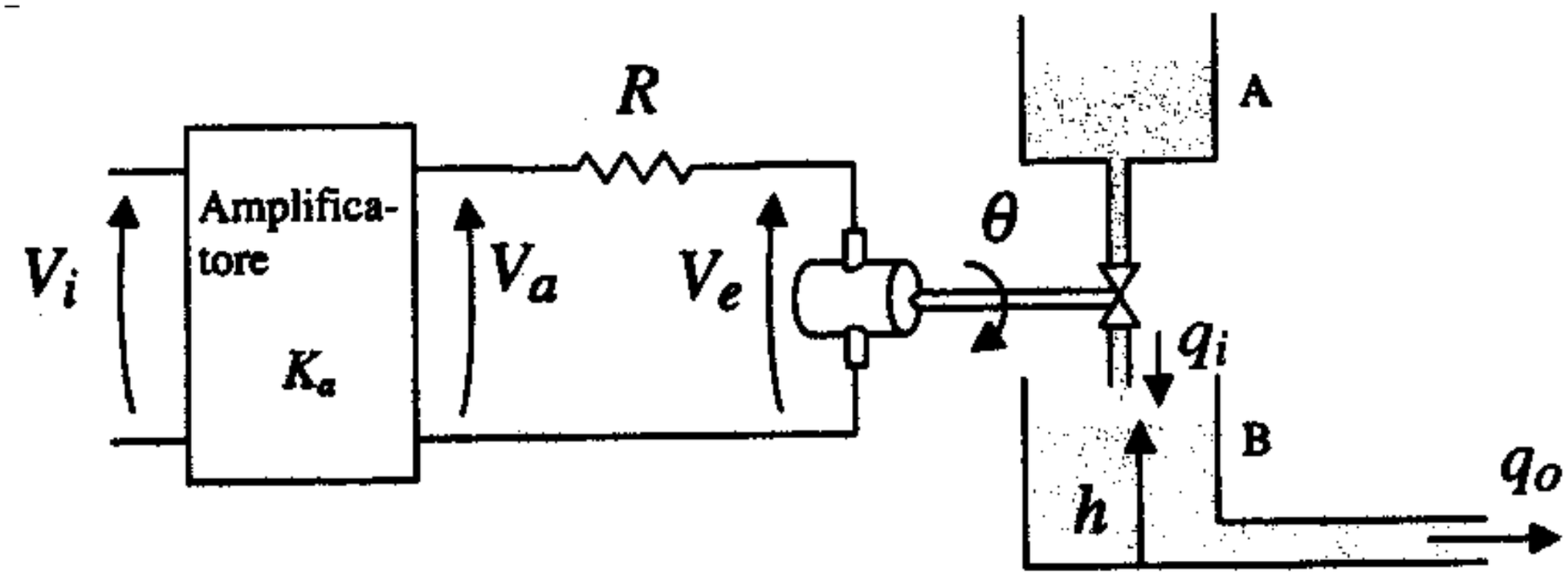

Figura 1

La resistenza R del motore elettrico vale 10 Ω, mentre l'induttanza del suo circuito d'armatura può essere considerata trascurabile; la costante meccanica K_m del motore, che definisce la coppia motrice erogata in funzione della corrente di armatura, vale 2 Nm/A, così come la costante elettrica K_e, che definisce la tensione V_e di f.e.m. in funzione della velocità di rotazione dell'albero motore, vale 2 Vs/rad. L'albero motore e la valvola danno origine complessivamente ad un momento di inerzia $J = 0.005$ Kg m^2, mentre l'area di base S_t del serbatoio B vale 5 m^2.
La portata q_i fra i due serbatoi è data dalla seguente funzione dell'angolo di rotazione dell'albero motore:

$$q_i = K_i \theta$$

con $K_i = 8\ m^3\ rad^{-1}\ s^{-1}$, mentre la portata d'uscita q_o è determinata in funzione del livello h come:

$$q_o = K_o h$$

con $K_o = 5\ m^2/s$.

Si supponga infine di misurare la portata d'uscita q_o per mezzo di un opportuno trasduttore, avente funzione di trasferimento ridotta ad una costante di proporzionalità $K_t = 1$.

A) Determinare, *in forma* sia *letterale* sia *numerica*, il modello in variabili di stato del sistema in oggetto, scegliendo opportunamente le variabili di stato.

B) Studiare le proprietà di stabilità, di controllabilità e di osservabilità del sistema trovato.

C) Determinare, *in forma* sia *letterale* sia *numerica*, la funzione di trasferimento $F(s) = \dfrac{q_o(s)}{V_i(s)}$.

D) Discutere la possibilità di garantire l'asintotica stabilità del sistema ad anello chiuso, ottenuto con una retroazione negativa unitaria dell'uscita q_o e con l'inserimento di un compensatore in cascata puramente statico di guadagno K_c, ove K_c può assumere qualsiasi valore reale compreso tra $-\infty$ e $+\infty$.

E) Progettare un sistema di controllo in retroazione della portata q_o, per mezzo di un compensatore dinamico in cascata <u>da realizzarsi in forma digitale</u>, tale da soddisfare le seguenti specifiche:
   - L'errore di inseguimento ad un riferimento costante di portata sia nullo in regime permanente, in assenza di disturbi.
   - L'errore di inseguimento ad un riferimento di portata $r(t) = \rho\, t$ sia non superiore in modulo a $0.01\ \rho$ in regime permanente, in assenza di disturbi.
   - L'effetto di un disturbo additivo $d_o = -\ 0.5\ m^3/s$ sull'uscita q_o, dovuto a perdite nella tubazione, sia non superiore in modulo a $0.01\ m^3/s$ in regime permanente.
   - La sovraelongazione della risposta ad un riferimento di portata a gradino unitario sia minore del 20% in assenza di disturbi.
   - Il tempo di salita della risposta ad un riferimento di portata a gradino unitario sia inferiore a 0.5 secondi in assenza di disturbi.

   Analizzare le proprietà del sistema ad anello chiuso ottenuto, mettendone in evidenza (oltre al soddisfacimento delle specifiche imposte, compatibilmente con i mezzi di calcolo a disposizione) le caratteristiche ritenute più significative.

F) Illustrare sinteticamente le caratteristiche principali dei componenti che dovranno essere utilizzati per la realizzazione pratica del sistema di controllo. Mettere in evidenza e discutere in particolare i principali punti critici della soluzione proposta, dal punto di vista delle prestazioni richieste ai diversi componenti e quindi della loro influenza sui costi preventivati per la realizzazione del progetto. (Suggerimento: fra le caratteristiche da analizzare possono esserci la velocità di calcolo richiesta al processore, l'attività massima richiesta al comando dell'azionamento del motore, requisiti di precisione e di "qualità" dei dispositivi di comando e di misura, determinati anche dalla capacità o meno del sistema controllato di attenuare rumori e disturbi, ecc.).

Nota: Nello sviluppo del progetto, il candidato può determinare direttamente la funzione di trasferimento $C(z)$ (nella variabile z) del compensatore digitale, avendo preventivamente definito un opportuno passo di campionamento, oppure progettare un compensatore analogico e successivamente convertirne la funzione di trasferimento $C(s)$ in forma digitale, scegliendo il passo di campionamento (ed il metodo di discretizzazione) in modo da garantire comunque il soddisfacimento delle specifiche imposte. In entrambi i casi si richiede al candidato di discutere e giustificare il valore scelto per il passo di campionamento.