

Reglerteknik Z/Kf/F/E

Kurskod: SSY 051, ERE 091, ESS 015

Tentamen 2009-08-20

Tid: 8:30-12:30,

Lokal: M-huset

Lärare: Bengt Lennartson 3722

Tentamen omfattar 25 poäng, där betyg tre fordrar 10 poäng, betyg fyra 15 poäng och betyg fem 20 poäng.

Tentamensresultat anslås senast den 3 september på avdelningens anslagstavla i ED-huset våning 5. *Granskning* av rättning sker den 3 och 4 september kl 12:30-13:00 på avdelningen.

Tillåtna hjälpmedel:

- Formelsamling i reglerteknik (gammal och ny). Anteckningar är tillåtna i formelsamlingen.
- Bodediagram (finns längst bak i tentatesen).
- Matematiska och fysikaliska tabeller, t ex Beta och Physics handbook.
- Valfri kalkylator.

Lycka till!

Institutionen för signaler och system
Avdelningen för reglerteknik, automation och mekatronik
Chalmers tekniska högskola



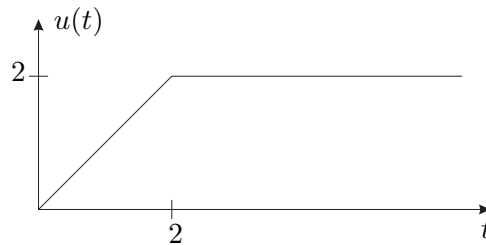
1

För ett visst system är sambandet mellan insignalen $u(t)$ och utsignalen $y(t)$ givet av differentialekvationen

$$4\dot{y} + y = u$$

Givet insignalen $u(t)$ enligt nedanstående figur, beräkna analytiskt systemets utsignal $y(t)$.

(2 p)



2

a) Linjärisera följande tillståndsmodell

$$\dot{x} = \sin(x) + u^3$$

kring den stationära arbetspunkten $x_0 = \pi/3$.

(2 p)

b) Avgör även om det linjäriserade systemet är stabilt.

(1 p)

3

En icke-minfasprocess

$$G(s) = \frac{1 - sT}{(1 + s)^2(1 + 0.5s)}$$

där tidskonstanten T är en osäker parameter, ska regleras med en P-regulator.

a) För vilka värden på förstärkningen K_p är det återkopplade systemet stabilt för ett godtyckligt positivt värde på tidskonstanten T .

(2 p)

b) Utnyttja resultatet i uppgift a) och bestäm förstärkningen K_p så att en godtycklig amplitudmarginal A_m erhålls för det nominella värdet på tidskonstanten $T = 1$. Ange speciellt värdet på K_p för $A_m = 2$ och 4.

(1 p)

c) Vilka avvikelser från det nominella värdet på tidskonstanten T kan accepteras innan det återkopplade systemet blir instabilt då amplitudmarginalen $A_m = 2$ och 4.

(1 p)

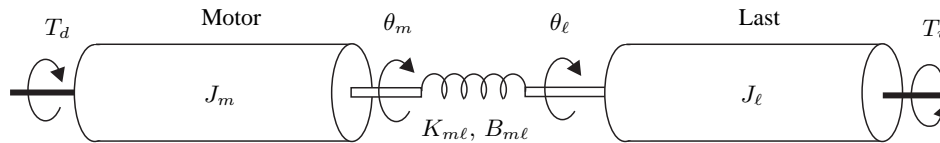
d) Ange en allmän slutsats angående relationen mellan amplitudmarginalen för ett återkopplat system och tillåtna parameterosäkerheter.

(1 p)

2

4

En motor med ett tröghetsmoment J_m , vinkeln θ_m och vinkelhastigheten $\omega_m = \dot{\theta}_m$ kopplas samman via en veka axel med en last med ett tröghetsmoment J_ℓ , vinkeln θ_ℓ och vinkelhastigheten $\omega_\ell = \dot{\theta}_\ell$.

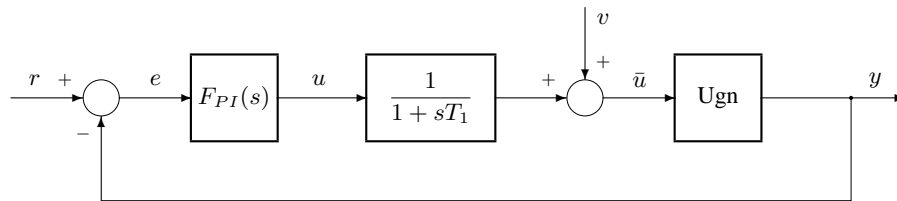


Den veka axeln genererar ett vinkelberoende fjädermoment $K_{m\ell}(\theta_m - \theta_\ell)$ och ett vinkelhastighetsberoende dämpningsmoment $B_{m\ell}(\omega_m - \omega_\ell)$. Lasten utsätts också för en laststörning i form av störmomentet T_v , medan motorn drivs av momentet T_d , som är systemets styrsignal.

- Formulera en tredje ordningens tillståndsmodell med T_d och T_v som insignaler samt ω_ℓ som utsignal. Valet av utsignal innebär att ω_m och ω_ℓ lämpligen väljs som tillståndsvariabler. Vilken blir då den tredje tillståndsvariabeln? (2 p)
- Välj i stället momentet på axeln $T_a = K_{m\ell}(\theta_m - \theta_\ell) + B_{m\ell}(\omega_m - \omega_\ell)$ som utsignal och visa att det då går att formulera en andra ordningens tillståndsmodell. Antag nu för enkelhets skull att $J_m = J_\ell = K_{m\ell} = B_{m\ell} = 1$. (2 p)
- Bestäm systemets poler i uppgift b) samt motsvarande dämpningskoefficient ζ och odämpade resonansfrekvens ω_n . (1 p)

5

Figuren nedan visar en enkel PI-reglering av temperaturen (y) i en oljeeldad ugn. Styrsignalen u är kommenderat bränsleflöde, vilket utgör insignalen till ett bränsleventilservo. Ugnens verkliga bränsletillflöde (\bar{u}) karakteriseras av en tidskonstant $T_1 = 5$ s i servot samt av ett störflöde v , som representerar variationer i bränsletryck, viskositet m m. Själva ugnens dynamik $G(s)$ kan beskrivas av en förstärkning $K_p = 20^\circ\text{C}/\text{flödesenhet}$, en tidskonstant $T_2 = 100$ s, och en dödtd $T_d = 20$ s.



- a) Välj integraltidskonstanten T_i i PI-regulatorn $F_{PI}(s) = K_i(1 + T_i s)/s$ så att den långsamma tidskonstanten kancelleras, dvs $T_i = T_2$. Välj därefter K_i så att fasmarginen $\varphi_m = 50^\circ$. (2 p)
- b) Studera överföringsfunktionen $G_{vy}(j\omega)$ från störningen v till utsignalen y och speciellt dess lågfrekvensasymptot. (1 p)
- c) Systemet utrustas nu med en bränsleflödesgivare (mäter \bar{u}) och en inre krets för reglering av bränsleflödet (kaskadreglering). Den inre kretsen förses också med en proportionell regulator $F(s) = K_p$. Rita ett blockschema som illustrerar det kompletta reglersystemet inklusive kaskadreglering samt studera lågfrekvensasymptoten för $G_{vy}(j\omega)$. Kommentera kaskadregleringens inverkan på kompensering av lågfrekventa laststörningar v . (2 p)

6

För en tillståndsmodell

$$\begin{aligned}\dot{x}(t) &= Ax(t) + Bu(t) \\ y(t) &= Cx(t)\end{aligned}$$

införs integralverkan enkelt vid tillståndsåterkoppling genom att inkludera ett extra integraltillstånd

$$x_{n+1}(t) = \int_0^t e(\tau) d\tau$$

som integrerar upp reglerfelet $e = r - y$. Motsvarande differentialekvation blir

$$\dot{x}_{n+1}(t) = r(t) - y(t)$$

där detta extra tillstånd ingår i regulatorn. Vid tillståndsåterkoppling blir då den modifierade styrlagen

$$u(t) = -L_u x(t) + \ell_{n+1} x_{n+1}(t)$$

där den positiva återkopplingen från tillståndet x_{n+1} ger negativ återkoppling från den integrerade utsignalen. Studera denna styrlag för en första ordningens process

$$\begin{aligned}\dot{x}(t) &= -ax(t) + u(t) \\ y(t) &= x(t)\end{aligned}$$

- Rita ett blockschema för ovanstående återkopplade system med integralverkan (för det givna första ordningens system) som visar att det kan tolkas som en inre tillståndsåterkoppling $-L_u x(t)$ tillsammans med I-reglering i en yttre återkopplingslinga. (1 p)
- Bestäm överföringsfunktionen $G_{ry}(s)$ från referenssignalen r till utsignalen y och välj förstärkningarna L_u och ℓ_{n+1} så att det återkopplade systemets poler placeras som en dubbelpol i $s = -\alpha$. (3 p)
- Visa att kvarstående fel undviks, d.v.s. att den statiska förstärkningen $G_{ry}(0) = 1$ även om processparametern a varierar eller är osäker. (1 p)

