

# Reglerteknik Z/Kf

Kurskod: SSY 051

Tentamen 2014-01-15

Tid: 8:30-12:30,

Lokal: M-huset

Lärare: Claes Breitholtz, tel: 3718

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

*Tentamensresultat* anslås senast den 29 januari på avdelningens anslagstavla i ED-huset våning 5. *Granskning* av rättning sker den 29 och 30 januari kl 12:30-13:00 på avdelningen.

*Tillåtna hjälpmedel:*

- Bodediagram (ingår längst bak i tentamenstesen).
- Matematiska och fysikaliska tabeller, t ex Beta och Physics handbook.
- Valfri kalkylator med tömt minne.
- **OBS!** Tidigare formelsamling i reglerteknik är ej tillåten, endast de formelblad som ingår i tentamenstesen.

Lycka till!

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

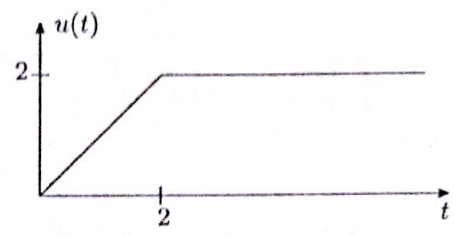


1

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

2

a) Linjärisera följande tillståndsmodell

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

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

(2 p)

2

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)

2

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)

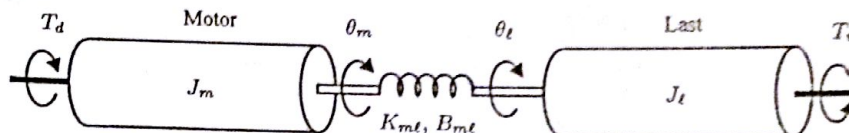
c) Vilka avvikelser från det nominella värdet på tidskonstanten  $T$  kan accepteras innan det återkopplade systemet blir instabilt då amplitudmarginalen  $A_m = 2$  och 4. (1 p)

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  $\theta_m$  och vinkelhastigheten  $\omega_m = \dot{\theta}_m$  kopplas samman via en veka axel med en last med ett tröghetsmoment  $J_\ell$ , vinkeln  $\theta_\ell$  och vinkelhastigheten  $\omega_\ell = \dot{\theta}_\ell$ .

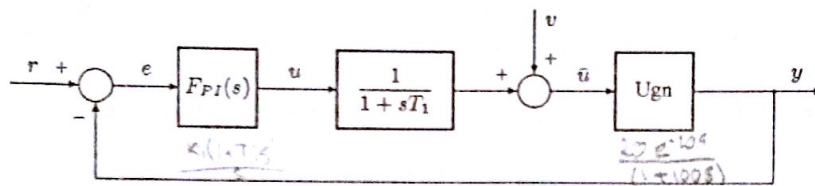


Den veka axeln genererar ett vinkelberoende fjädermoment  $K_{m\ell}(\theta_m - \theta_\ell)$  och ett vinkelhastighetsberoende dämpningsmoment  $B_{m\ell}(\omega_m - \omega_\ell)$ . Lasten utsätts också för en laststörning i form av störmomentet  $T_v$ , medan motorn drivs av momentet  $T_d$ , som är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

- Formulera en tredje ordningens tillståndsmodell med  $T_d$  och  $T_v$  som insignaler samt  $\omega_\ell$  som utsignal. Valet av utsignal innebär att  $\omega_m$  och  $\omega_\ell$  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  $\zeta$  och odämpade resonansfrekvens  $\omega_n$ . (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 dödtid  $T_d = 20$  s.



- a) Välj integraltidskonstanten  $T_i$  i PI-regulatorn  $F_{PI}(s) = K_i(1 + T_i s)/s$  så att den långsamma tidskonstanten cancelleras, 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)

För en tillståndsmodell

$$\dot{x}(t) = Ax(t) + Bu(t)$$

$$y(t) = Cx(t)$$

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

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

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

$$\dot{x}(t) = -ax(t) + u(t)$$

$$y(t) = x(t)$$

- a) 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)
- b) 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)
- c) 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)