Reglerteknik M3

Tentamen 2012-08-23

Tid: 08:30 – 13:30 Lokal: M

Kurskod: ERE033

Lärare: Knut Åkesson, Jonas Fredriksson

Läraren besöker tentamenssalen vid två tillfällen för att svara på eventuella frågor. Detta sker normalt sett en timme efter tentamensstart samt en timme före tentamens slut.

Tentamen omfattar totalt 30 poäng, där betyg tre fordrar 12 poäng, betyg fyra 18 poäng och betyg fem 24 poäng. Lösningar och svar till alla uppgifter ska vara tydligt motiverade.

Lösningsförslag till tentamen anslås på kurshemsidan senast första arbetsdagen efter tentamenstillfället. *Granskning* av rättning sker den *6 september* i laborationssalen (vattentankslabbet, rum 5220, kl. 12.30).

Tillåtna hjälpmedel:

- Reglerteknik M3 - Formelsamling
- Bodediagram
- Beta och Physics handbook, Standard Mathematical Tables, TEFYMA
- Chalmersgodkänd räknare alternativt valfri kalkylator med rensat minne, ej handdator/smartphone.
- För Erasmusstudenter är lexikon, till och från svenska, tillåtet.

Inga anteckningar är tillåtna!

1

a) Sambandet mellan en insignal u och utsignal y beskrivs av följande differentialekvation.

$$\ddot{y}(t) + 2\dot{y}(t) = u(t)$$

Avgör om systemet är insignal-utsignal stabilt.

(1p)

b) Sambandet mellan en insignal u och utsignal y beskrivs av följande differentialekvation.

$$\ddot{y}(t) + y(t) = u(t-1)$$

Låt $u(t) = \sigma(t)$, dvs $u(t)$ är enhetssteget. Bestäm utsignalen $y(t)$.

(1p)

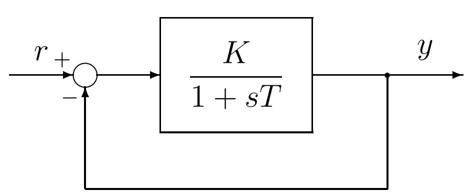
c) Sambandet mellan en insignal u och utsignal y beskrivs av följande differentialekvation.

$$\ddot{y}(t) + 2\dot{y}(t) + y(t) = \sin(\omega t)$$

Bestäm hur utsignalen $y(t)$ ser ut stationärt (dvs för stora t), gör detta för alla $\omega > 0$.

(1p)

d) Betrakta det återkopplade systemet nedan.



Bestäm tidskonstanten för överföringsfunktionen från r till y.

(1p)

e) Överföringsfunktionen för en ideal PD-regulator ges av $F(s) = K_p + K_d s$. Denna regulator ska implementeras i programvara där samplingsintervallet är h. Härled hur överföringsfunktionen för PD-regulatorn kan approximeras (rimlig approximation krävs) till en differensekvation som uppdateras med intervallet h. Ange svaret som hur utsignalen $u(kh)$ kan beräknas utifrån tidigare ut- och insignaler till regulatorn.

(2p)

2

Ett system med överföringsfunktionen

$$G(s) = \frac{1 - 10s}{(1 + 20s)^2}$$

ska regleras med en P-regulator som designas enligt Ziegler-Nichols självsvängningsmetod, dvs. regulatorns parameter ökas från noll tills det återkopplade systemet självsvänger med konstant amplitud. Bestäm periodtiden hos självsvängningen samt den motsvarande förstärkningen i P-regulatorn.

(3p)

3

För en värmeväxlare i ett visst fartygsmaskineri, beskriven av överföringsfunktionen $G(s)$, är styrstorheten ett ventilläge och utstorheten är en uppmätt temperatur. Experimentellt har man bestämt belopp och fas för några olika frekvenser.

ω (rad/s)	$\lvert G(j\omega)\rvert$ (dB)	$\arg G(j\omega)$ (grader)
0.1	10	-30°
0.2	8.5	-50°
0.4	7	-78°
0.8	2	-123°
1.6	-7	-180°
2.5	-14.5	-220°
4.0	-22	-261°
8.0	-36	-305°

Man vill använda denna information till att reglera värmeväxlaren så att inga kvarstående fel efter stegstörningar vid processingången (dvs störningar som direkt påverkar insignalen till processen $G(s)$) kan uppstå. Man har krav på stabilitet motsvarande en fasmarginal av minst 55° vid en överkorsningsfrekvens av minst 0.64 rad/min. Föreslå en lämplig regulatortyp, bestäm lämpliga parametervärden, och upprita ett tydligt Bodediagram över kretsöverföringen $L(s)$ där det tydligt framgår att specifikationerna är uppfyllda.

(5p)

4

Ena sidan av en tunn metallfilm med tjockleken b och stor yta bestrålas likformigt av en styrbar värmekälla vars temperatur är $T_e(t)$. Metallfilmens specifika värme är c_p, densiteten är ρ och temperaturen är $T_s(t)$. Effektflödet per ytenhet ges av Stefan-Boltzmanns strålningslag $p_h = \sigma(T_e^4 - T_s^4)$. Andra sidan av metallfilmen kyls av strömmande vatten där flödet är så stort att vattentemperaturen $T_c(t)$ påverkar filmtemperaturen men inte tvärtom. Kyleffekten per ytenhet är $p_c = \alpha(T_s - T_c)$. Både σ och α anses vara konstanter. Följande dynamiska modell beskriver då systemet

$$\frac{d}{dt}\{b\rho c_p T_s(t)\} = p_h(t) - p_c(t)$$

där utsignalen fås genom pyrometrisk mätning av $T_s(t)$, medan $T_e(t)$ och $T_c(t)$ är insignaler och där arbetspunkten kan anses given: T_{s0}, T_{e0} och T_{c0}.

a) Visa att överföringsfunktionerna för små variationer runt arbetspunkten från insignalerna till utsignalen är respektive:

$$\frac{\Delta T_s(s)}{\Delta T_e(t)} = \frac{4\sigma T_{e0}^3}{b\rho c_p s + 4\sigma T_{s0}^3 + \alpha},$$

$$\frac{\Delta T_s(s)}{\Delta T_c(t)} = \frac{\alpha}{b\rho c_p s + 4\sigma T_{s0}^3 + \alpha}.$$

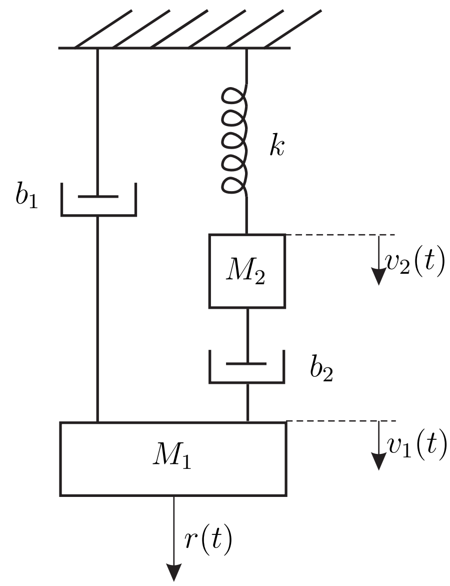
(3p)

b) Betrakta variationen av kyltemperaturen som en mätbar störning och bestäm en framkoppling som eliminerar dess inverkan. Rita ett blockdiagram över hela styrsystemet, som även innehåller en PI-regulator. (Design av PI-regulatorn ingår inte i uppgiften!). Notera att b) uppgiften kan lösas oberoende av a) uppgiften.

(2p)

5

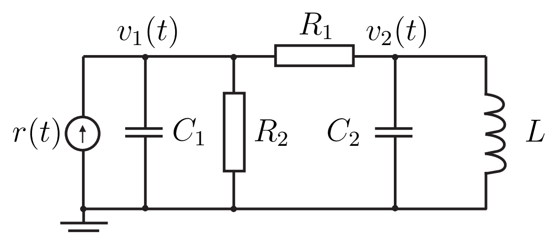
a) Det mekaniska systemet nedan består av två massor M_1 och M_2, två viskösa dämpare med dämpkonstaner b_1 och b_2, en fjäder med fjäderkonstant k samt en pålagd kraft $r(t)$. För det mekaniska systemet betecknar v_1 och v_2 hastigheterna för de två massorna.



Betrakta det mekaniska systemet och bestäm överföringsfunktionen från kraften r till hastigheten v_1.

(3p)

b) Den elektriska kretsen nedan har en strömgenerator som genererar strömmen $r(t)$. R_1 och R_2 är två resistanser, C_1 och C_2 är två kapacitanser och L en induktans. För den elektriska kretsen betecknar $v_1(t)$ och $v_2(t)$ två spänningar.



Bestäm överföringsfunktionen från strömmen r till spänningen v_1.

(3p)

6

Som alternativ till amplitudmarginal och fasmarginal kan maximala värdet av beloppet av känslighetsfunktionen S användas vid analys av återkopplade system. Antag att design av en viss regulator leder till att villkoret

$$|S(j\omega)| < 2$$

är uppfyllt för alla frekvenser. Hur stor fasmarginal φ_m är garanterad genom en sådan design? Det kan i detta fall förutsättas att kretsöverföringen $L(s)$ saknar poler i högra halvplanet samt på imaginäraxeln utanför origo.

(5p)