Försättsblad till skriftlig tentamen vid Linköpings universitet

Datum för tentamen	2014-10-24
Sal (1) (Om tentan går i flera salar ska du bifoga ett försättsblad till varje sal och ringa in vilken sal som avses)	TER1,TER2,TERE
Tid	14:00–19:00
Kurskod	TSRT19
Provkod	TEN1
Kursnamn/benämning	Reglerteknik
Institution	ISY
Antal uppgifter som ingår i tentamen	5
Jour/kursansvarig (Ange vem som besöker salen)	Svante Gunnarsson
Telefon under skrivtiden	013-281304,070-3113019
Besöker salen cirka kl.	15:00, 16:00 och 17:30
Kursadministratör/ kontaktperson (Namn, telefonnummer, mejladress)	Ninna Stensgård, 013-282225, ninna.stensgard@liu.se
Tillåtna hjälpmedel	1. *T. Glad & L. Ljung*: ”Reglerteknik. Grundläggande teori” eller liknande bok i reglerteknik 2. Tabeller och formelsamlingar, t.ex.: *L. Råde & B. Westergren*: ”Mathematics handbook”, *C. Nordling & J. Österman*: ”Physics handbook”, *S. Söderkvist*: ”Formler & tabeller” 3. Miniräknare utan färdiga program Inläsningsanteckningar får finnas i böckerna.
Övrigt	—
Vilken typ av papper ska användas, rutigt eller linjerat	Rutigt
Antal exemplar i påsen	

TENTAMEN I TSRT19 REGLERTEKNIK

SAL: TER1,TER2,TERE

TID: 2014-10-24 kl. 14:00–19:00

KURS: TSRT19 Reglerteknik

PROVKOD: TEN1

INSTITUTION: ISY

ANTAL UPPGIFTER: 5

ANSVARIG LÄRARE: Svante Gunnarsson, tel. 013-281304,070-3113019

BESÖKER SALEN: cirka kl. 15:00, 16:00 och 17:30

KURSADMINISTRATÖR: Ninna Stensgård, 013-282225, ninna.stensgard@liu.se

TILLÅTNA HJÄLPMEDEL:

1. *T. Glad & L. Ljung*: ”Reglerteknik. Grundläggande teori” eller liknande bok i reglerteknik
2. Tabeller och formelsamlingar, t.ex.:
   L. Råde & B. Westergren: ”Mathematics handbook”,
   C. Nordling & J. Österman: ”Physics handbook”,
   S. Söderkvist: ”Formler & tabeller”
3. Miniräknare utan färdiga program

Inläsningsanteckningar får finnas i böckerna.

LÖSNINGSFÖRSLAG: Finns på kursens websida efter skrivningens slut.

VISNING av tentan äger rum 2014-11-20, kl. 12.30–13.00 i Ljungeln, B-huset, ingång 27, A-korridoren till höger.

PRELIMINÄRA BETYGSGRÄNSER:	betyg 3	23 poäng
	betyg 4	33 poäng
	betyg 5	43 poäng

OBS! Lösningar till samtliga uppgifter ska presenteras så att alla steg (utom triviala beräkningar) kan följas. Bristande motiveringar ger poängavdrag.

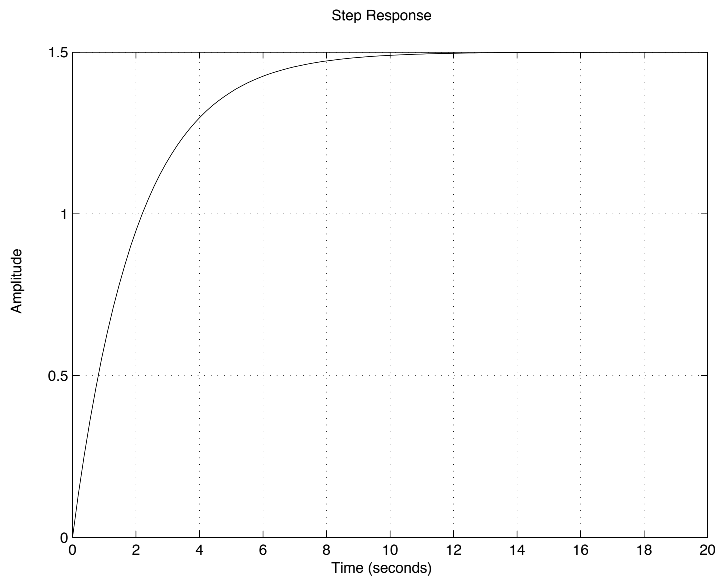
Lycka till!

1. (a) De nyutexaminerade civilingenjörerna Ivar och EMMa är på sin första tjänsteresa på väg till Sydostasien. De sitter bekvämt tillbakalutande på övervåningen i en Singapore Airlines Airbus A380. Autopiloten är igång och flygplanet glider fram i den mörka natten utan att piloterna behöver röra spakarna. Flygplanet och autopiloten bildar ett återkopplat reglersystem. Ge exempel på styrsignal $u(t)$, utsignal $y(t)$ och störsignal $v(t)$ för detta reglersystem. (3p)

   (b) Betrakta systemet

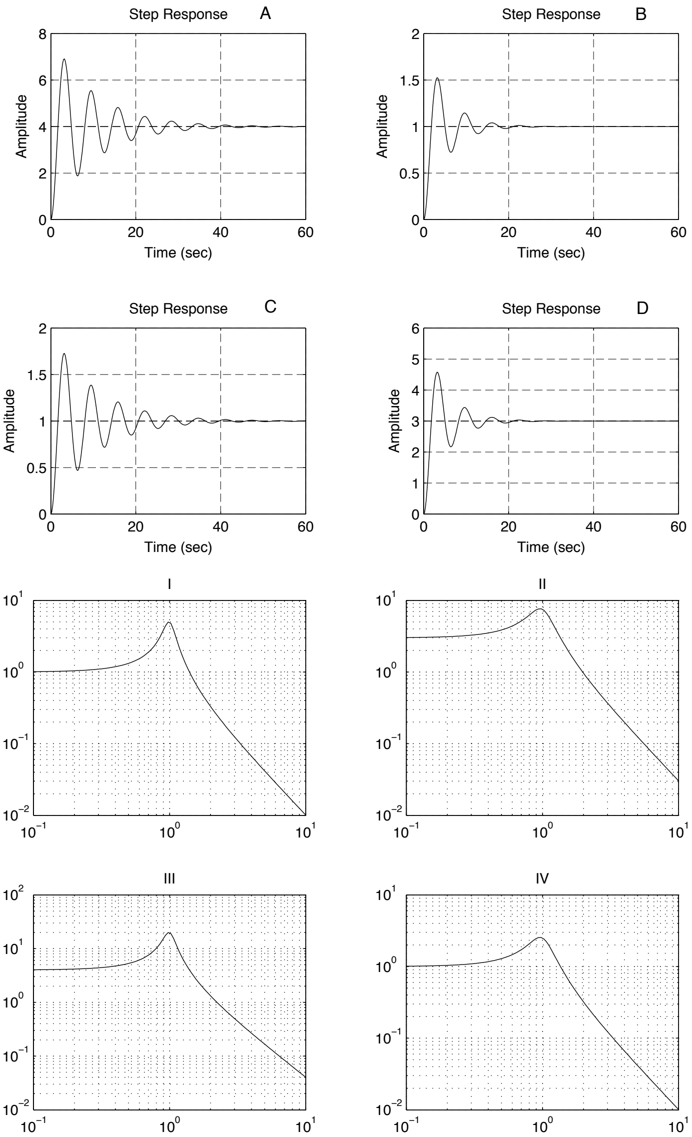
$$Y(s) = \frac{k}{s\tau + 1} U(s)$$

   För att bestämma koefficienterna k och τ låter man insignalen vara ett steg med amplitud 0.5. Stegsvarets utseende framgår av figur 1. Ange koefficienterna τ and k. (3p)



Figur 1: Figur till uppgift 1b.

(c) I figur 2 visas stegsvar och bodediagram för fyra system. Kombinera stegsvaren och bodediagrammen. (4p)



Figur 2: Stegsvar och bodediagram till uppgift 1c.

2. Betrakta en vattentank (enkeltank) av det slag som studeras i de två första labbarna i kursen. Nivån i tanken beskrivs av den olinjära differentialekvationen

$$\dot{h}(t) = -\frac{a\sqrt{2g}}{A}\sqrt{h(t)} + \frac{1}{A}q(t)$$

där $h(t)$ är nivån i tanken och $q(t)$ är inflödet. Vidare gäller att A är tankens bottenyta, a är arean hos utloppet och g är gravitationskonstanten.

(a) Verifiera att en stationär punkt för systemet, d v s den konstanta nivå, d v s $h(t) = h_0$, som fås för en konstant insignal, d v s då $q(t) = q_0$, ges av

$$h_0 = \frac{q_0^2}{a^2 2g}$$

Ange en fysikalisk tolkning av uttrycket. (2p)

(b) Om den olinjära modellen linjäriseras kring en stationär punkt kan systemet approximativt beskrivas med överföringsfunktionen

$$Y(s) = \frac{1}{s+\alpha}U(s) \tag{1}$$

där $U(s)$ och $Y(s)$ betecknar avvikelsen i insignal respektive utsignal från den stationära punkten. Vidare är

$$\alpha = a\sqrt{\frac{g}{2h_0}}$$

och bottenytan är satt till $A = 1$. Antag nu att $a = 0.01$ och använd approximationen $g \approx 10$. Låt fallet $h_0 = 5$ beteckna “hög nivå”och låt $h_0 = 5/9$ utgöra ”låg nivå”? Ange överföringsfunktionen för tanken i de två fallen. (1p)

(c) Antag att den linjära modellen, ekvation (1), styrs med PI-återkopplingen

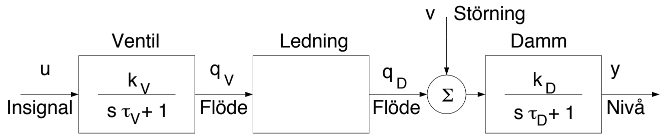
$$U(s) = (K_P + K_I\frac{1}{s})(R(s) - Y(s))$$

Ange det återkopplade systemets karakteristiska ekvation. (2p)

(d) Betrakta fallet med den låga nivån. Bestäm koefficienterna K_P och K_I så att det återkopplade systemets poler placeras i -0.04. (2p)

(e) Antag att återkopplingen som beräknades i d) används vid den höga nivån. Var hamnar det återkopplade systemets poler? Gör även en uppskattning av vilken översläng stegsvaret får vid den höga nivån. (3p)

3. Betrakta ett system bestående av en ventil och en damm enligt figuren.



Figur 3: System

Överföringsfunktionen från insignal till nivå, om man försummar ledningen, ges av

$$Y(s) = \frac{k_V k_D}{(s\tau_V + 1)(s\tau_D + 1)} U(s)$$

På nästa sida visas bodediagrammet för fallet $k_V = 5, \tau_V = 1, k_D = 2, \tau_D = 3$.

(a) Antag att insignalen varieras sinusformat enligt $u(t) = \sin t$ och att $v(t) = 0$. Ange $y(t)$ i stationärt tillstånd, d v s efter att det homogena delen av utsignalen dött ut. (2p)

(b) Beräkna en återkoppling på formen

$$U(s) = F(s)(R(s) - Y(s))$$

sådan att följande krav uppfylls:

- Det stationära felet ska till absolutbeloppet vara mindre än 0.01 då $r(t)$ är ett steg med amplitud ett och $v(t) = 0$.
- Skärfrekvens 2 rad/s.
- Fasmarginal 60°.

(5p)

(c) Antag att återkopplingen som beräknades i b) används i en situation då $r(t) = 0$ och $v(t)$ är ett steg med amplitud ett. Vad blir reglerfelet i stationärt tillstånd? (1p)

(d) Antag att vi har missbedömt snabbheten hos ventilen och att överföringsfunktionen för systemet istället ges av

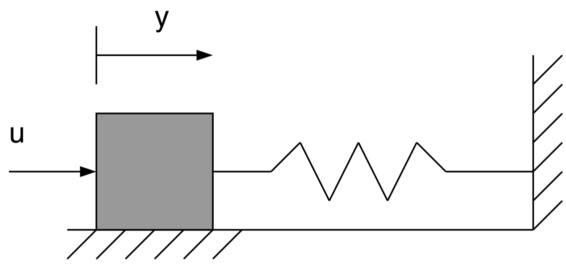
$$Y(s) = G^0(s)U(s)$$

där

$$G^0(s) = \frac{10}{(s(1+\delta)+1)(s3+1)}$$

där $\delta > 0$ anger felet i ventilens tidskonstant. Ange det relativa modellfelet $\Delta G(s)$. (2p)

4. Ett mekaniskt system, återgivet i figur 4, består av en massa som rör sig på ett horisontellt plan under inverkan av en yttre kraft $u(t)$. Massan påverkas även av en kraft p g a friktion mot underlaget samt kraften från en fjäder mellan massan och en vägg.



Figur 4: Mekaniskt system

Systemet beskrivs av differentialekvationen

$$m\ddot{y}(t) = u(t) - ky(t) - b\dot{y}(t)$$

där $y(t)$ betecknar massans position och där $y(t) = 0$ anger massans viloläge då $u(t) = 0$. Konstanterna m, k och b betecknar massa, fjäderkonstant respektive friktionskoefficient. Vi antar att $m = k = 1$.

(a) Antag att man använder inför tillståndsvariablerna $x_1(t) = y(t)$ och $x_2(t) = \dot{y}(t)$. Verifiera att systemet beskrivs på tillståndsform av modellen

$$\dot{x}(t) = \begin{pmatrix} 0 & 1 \\ -1 & -b \end{pmatrix} x(t) + \begin{pmatrix} 0 \\ 1 \end{pmatrix} u(t) \qquad y(t) = \begin{pmatrix} 1 & 0 \end{pmatrix} x(t)$$

(1p)

(b) För vilka värden på b har systemet reella poler? (2p)

(c) Antag att $b = 0.5$. Bestäm en positionsreglering i form av en tillståndsåterkoppling på formen

$$u(t) = -Lx(t) + l_0 r(t)$$

sådan att det återkopplade systemets poler placeras i -2. (4p)

(d) Antag att man lägger på en referenssignal i form av ett steg med amplituden ett. Vad blir utsignalen $y(t)$ när massan ställt in sig i sin nya position, och hur stor blir insignalen (kraften) i stationärt tillstånd? (3p)

5. Ett system antas kunna beskrivas av modellen

$$Y(s) = G(s)U(s)$$

där

$$G(s) = \frac{1}{s+1}$$

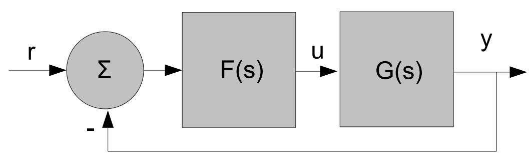
Systemet styrs med återkopplingen

$$U(s) = F(s)(R(s) - Y(s))$$

där

$$F(s) = K \cdot \frac{s+1}{s}$$

enligt figuren nedan, där som vanligt målet är att utsignalen ska följa referenssignalen så bra som möjligt.



Figur 5: Reglersystem

(a) Ange bandbredden för det återkopplade systemet som funktion av förstärkningen K. (2p)

(b) Antag att referenssignalen är sinusformad, d v s $r(t) = \sin \omega t$. Ange ett villkor på K för att förstärkningen från referenssignalen $r(t)$ till styrsignalen $u(t)$ skall vara mindre än ett för alla ω. (3p)

(c) Antag återigen att $r(t) = \sin \omega t$. Ange ett villkor på K för att förstärkningen från referenssignalen $r(t)$ till styrsignalens derivata $\dot{u}(t)$ skall vara mindre än ett för alla ω i intervallet $0 \leq \omega \leq 10$. (5p)