



Försättsblad till skriftlig tentamen vid Linköpings universitet

Datum för tentamen	2015-01-13
Sal (1) (Om tentan går i flera salar ska du bifoga ett försättsblad till varje sal och ringa in vilken sal som avses)	TERE, TER2, TER3
Tid	8:00-13:00
Kurskod	TSRT19
Provkod	TEN1
Kursnamn/benämning	Reglerteknik
Institution	ISY
Antal uppgifter som ingår i tentamen	5
Jour/kursansvarig (Ange vem som besöker salen)	Johan Löfberg
Telefon under skrivtiden	013-281304,070-3113019
Besöker salen cirka kl.	9:00, 11:00 och 12:30
Kursadministratör/ kontaktperson (Namn, telefonnummer, mejladress)	Ninna Stensgård, 013-282225, ninna.stensgard@liu.se
Tillåtna hjälpmedel	1. <i>T. Glad & L. Ljung</i> : "Reglerteknik. Grundläggande teori" eller liknande bok i reglerteknik 2. Tabeller och formelsamlingar, t.ex.: <i>L. Råde & B. Westergren</i> : "Mathematics handbook", <i>C. Nordling & J. Österman</i> : "Physics handbook", <i>S. Söderkvist</i> : "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: TERE, TER2, TER3

TID: 2015-01-13 kl. 8:00-13:00

KURS: TSRT19 Reglerteknik

PROVKOD: TEN1

INSTITUTION: ISY

ANTAL UPPGIFTER: 5

ANSVARIG LÄRARE: Johan Löfberg, tel. 013-281304,070-3113019

BESÖKER SALEN: cirka kl. 9:00, 11:00 och 12:30

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 tentans slut.

VISNING av tentan äger rum 2015-01-28, kl. 12.30–13.00 i Reglertekniks bibliotek, B-huset, ingång 25, A-korridoren till höger.

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

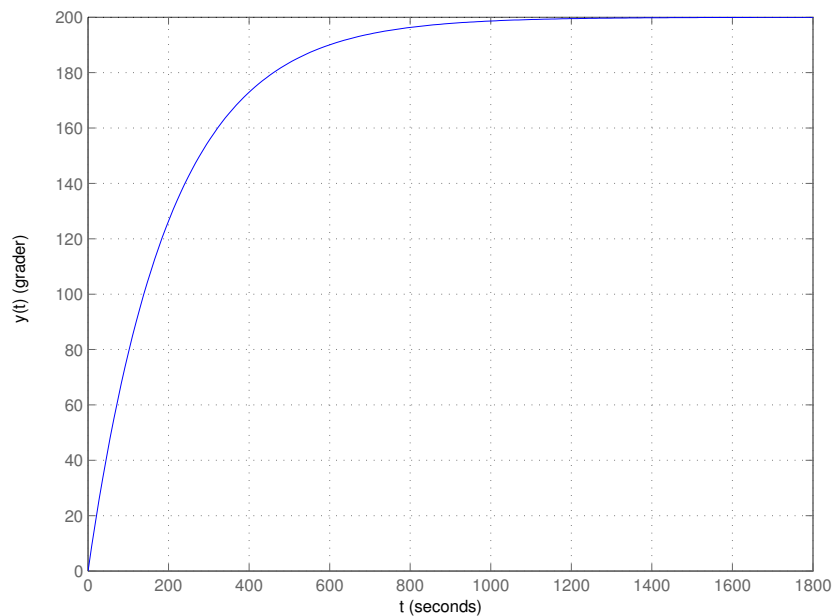
OBS! Lösningar till samtliga uppgifter ska presenteras så att alla steg (utom triviala beräkningar) kan följas. Bristande motiveringar ger poängavdrag.

Lycka till!

1. (a) Ange fördelar och nackdelar med D-delen i en PID-regulator (2p)
- (b) En ugn har placerats i ett nollgradigt rum. Vid tidpunkten $t = 0$ startas ugnen med en konstant strömstyrka på $i(t) = 10$ ampere. Temperaturen $y(t)$ i ugnen visas i figur 1. Vi misstänker att ugnen kan beskrivas som ett linjärt system och gör följande ansats

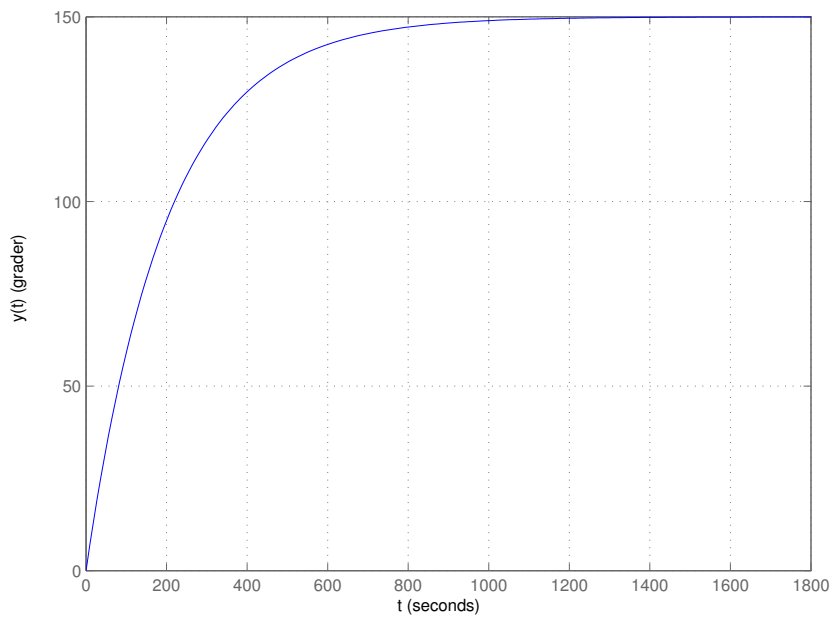
$$Y(s) = \frac{K}{1 + sT} I(s)$$

Tag fram konstanterna K och T . (3p)

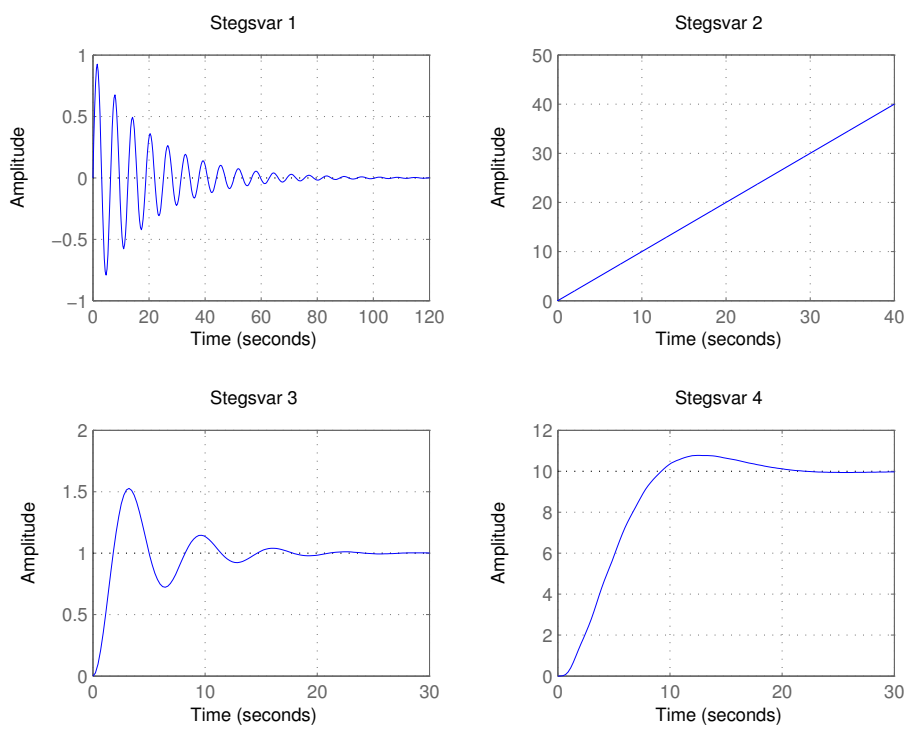


Figur 1: Ugnstemperatur i uppgift 1 (b)

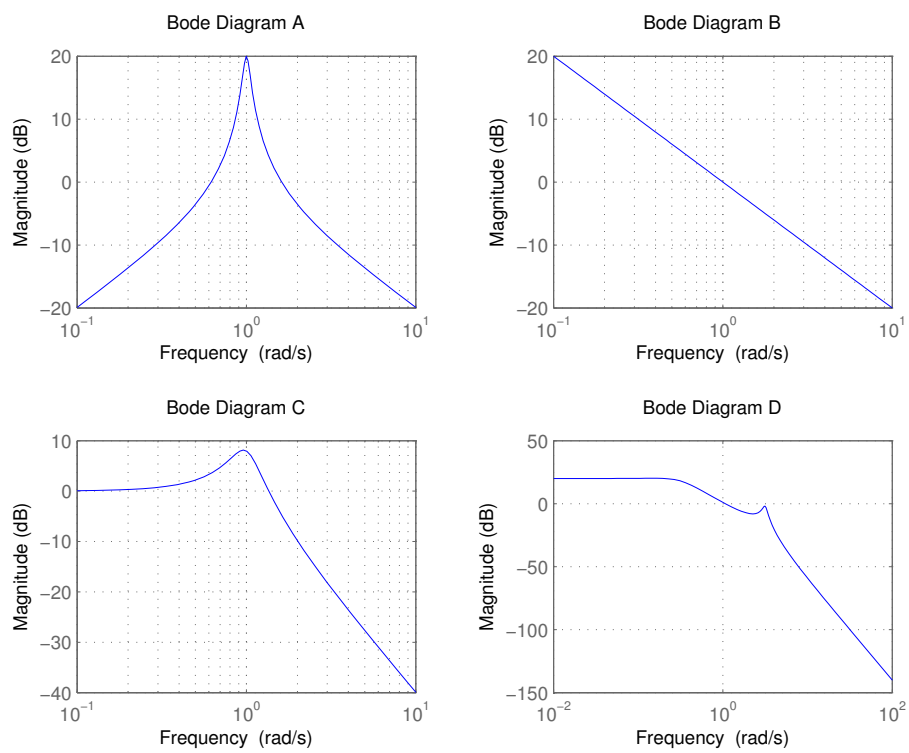
- (c) Ett nytt experiment med ugnen görs, denna gång med $i(t) = 5$ ampere. Temperaturen i ugnen vid detta experiment visas i figur 2. Vad kan sägas om linjäritetsantagandet? (1p)
- (d) Para ihop stegsvar och Bodediagram i figur 3 och figur 4. Dina val skall vara utförligt motiverade. (4p)



Figur 2: Ugnstemperatur i uppgift 1 (c)



Figur 3: Stegsvvar i uppgift 1 (d)



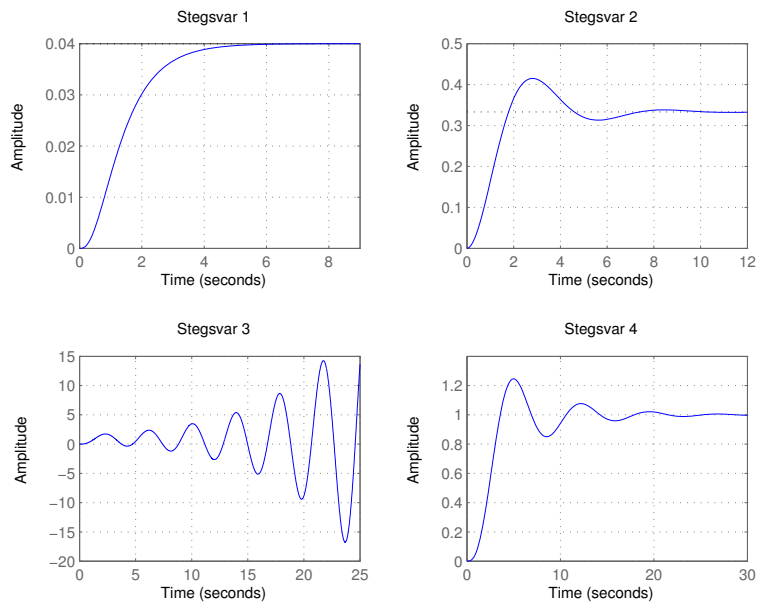
Figur 4: Bodediagram (amplitudförstärkning) i uppgift 1 (d)

2. (a) Fyra olika system $Y(s) = G(s)U(s)$ regleras med en regulator $U(s) = K(R(s) - Y(s))$. I figur 5 visas stegsvar då de fyra systemen återkopplas med ett visst val av K . I figur 6 visas rotorter för de slutna systemen med avseende på förstärkningen K . Par ihop rotorter och stegsvar och motivera fullständigt. (4p)
- (b) Ett system $Y(s) = G(s)U(s)$ regleras med en PD-regulator $U(s) = F(s)(R(s) - Y(s))$. Modell och regulator ges av

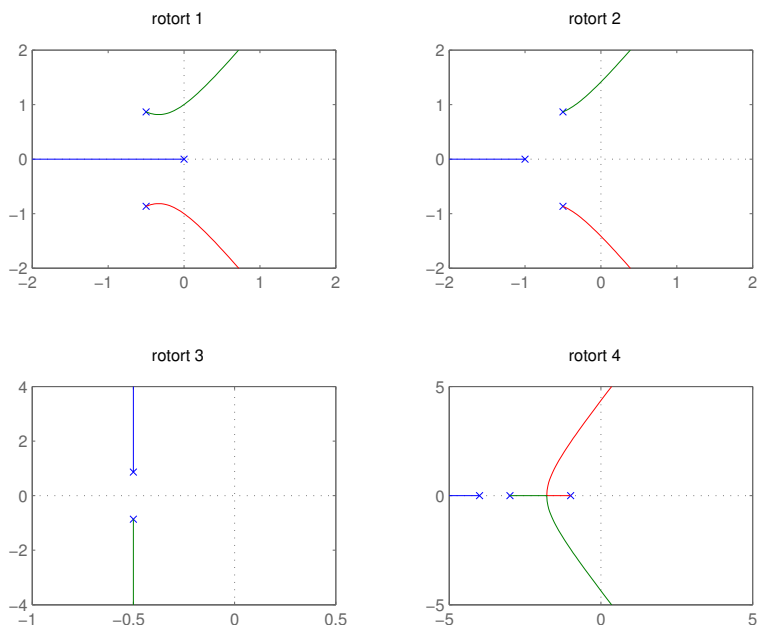
$$G(s) = \frac{1}{s(s+1)}, \quad F(s) = 8 + s$$

P.g.a implementeringsfel appliceras inte enbart den beräknade styrsignalen på systemet, utan även en extra okänd term läggs till, dvs $Y(s) = G(s)(U(s) + V(s))$. Rita ett blockschema över det återkopplade systemet och markera tydligt alla signaler och delsystem av intresse. Tag fram överföringsfunktionerna (med numeriska värden insatta) från referenssignalen $R(s)$ och störningen $V(s)$ till reglerfelet. (3p)

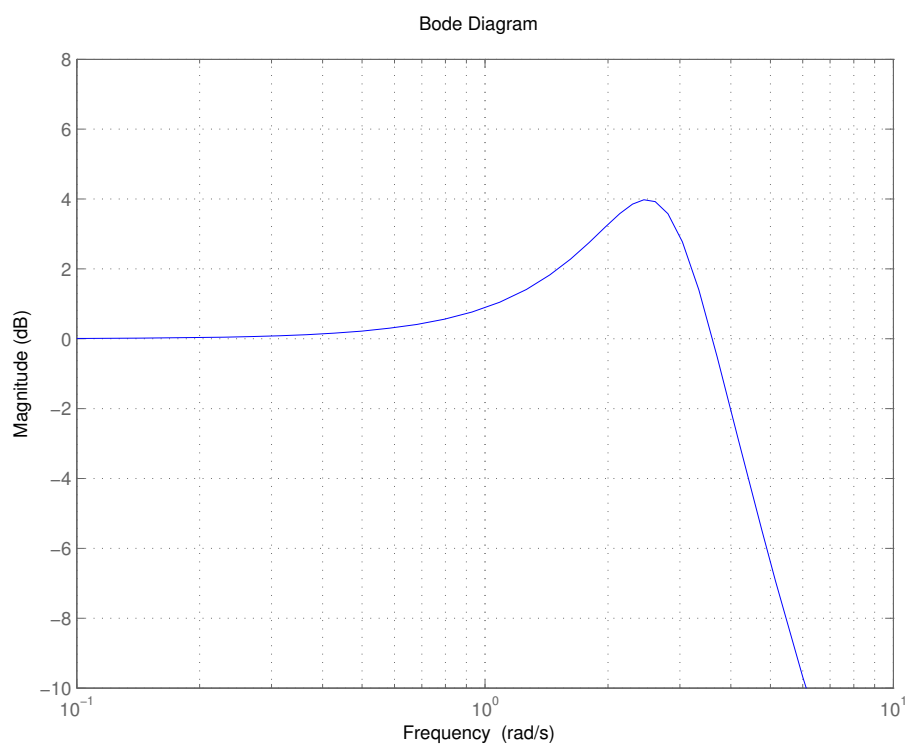
- (c) I figur 7 visas amplitudförstärkningen för det slutna systemet från $r(t)$ till $y(t)$ i uppgift 2 (b). Uppskatta hur stor översläng man får vid ett stegsvar (du får bortse från inverkan av nollställen i slutna systemet, om sådana finnes). *Ledning: Lab 2* (2p)
- (d) Ange bandbredden för systemet i figur 7. (1p)



Figur 5: Stegsvaer i uppgift 2 (a)



Figur 6: Rotorter i uppgift 2 (a)



Figur 7: Amplitudförstärkning i uppgift 2 (c,d)

3. Lëshuvudet på en hårddisk styrs via en mekanisk arm, vars rörelse kan modelleras med överföringsfunktionen

$$Y(s) = \frac{5}{(\tau_1 s + 1)} \cdot \frac{0.05}{s(s\tau_2 + 1)} U(s)$$

där $Y(s)$ och $U(s)$ är laplacetransformerna av armens vinkel respektive inspänningen till den elektriska motor som skapar momentet som vrider armen. Vidare gäller att $\tau_1 = 10^{-3}$ och $\tau_2 = 0.05$. Systemets bodediagram ges på nästa sida.

- (a) Antag inledningsvis att armen styrs med proportionell återkoppling

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

Hur stort kan K väljas utan att det återkopplade systemet blir instabilt? (2p)

- (b) Bestäm en återkoppling

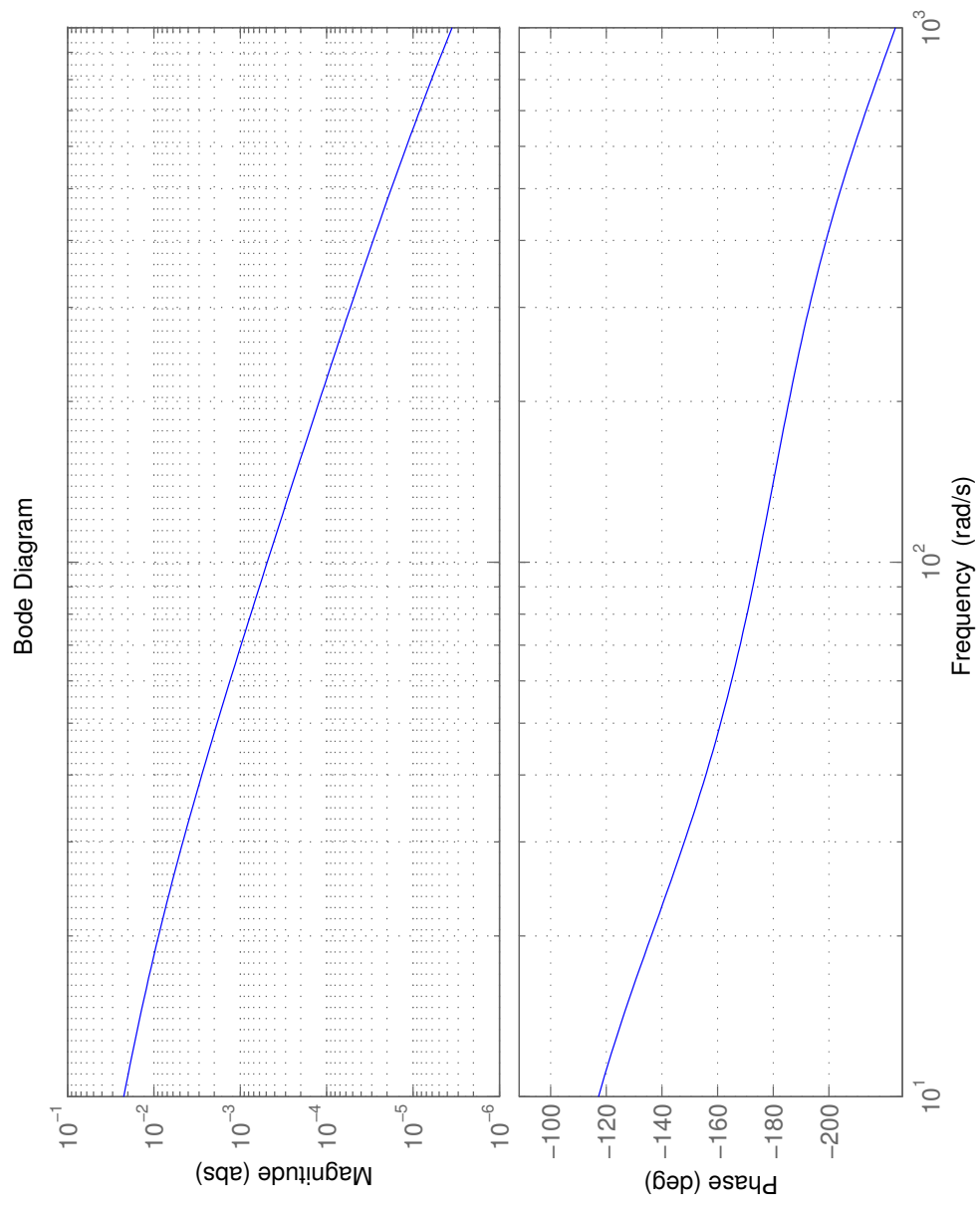
$$U(s) = F(s)(R(s) - Y(s))$$

för systemet ovan, sådan att reglersystemet uppfyller följande krav:

- $e_0 = 0$.
- $e_1 \leq 0.001$
- $\omega_c = 100$ rad/s.
- $\phi_m \geq 50^\circ$

(6p)

- (c) Hur många sekunders tidsfördröjning kan accepteras i beräkningen av styrsignalen innan det återkopplade systemet riskerar att bli instabilt? (2p)



Figur 8: Bodediagram för läsarmsmodellen i uppgift 3.

4. Följande modell är given

$$\begin{aligned}\dot{x}(t) &= \begin{pmatrix} -3 & 1 \\ -2 & 0 \end{pmatrix} x(t) + \begin{pmatrix} \alpha \\ 1 \end{pmatrix} u(t) \\ y(t) &= \begin{pmatrix} 1 & 0 \end{pmatrix} x(t)\end{aligned}$$

- (a) För vilka värden på parametern α går det att skapa en linjär tillståndsåterkoppling som placerar slutna systemets poler på valfri plats. (2p)
- (b) Tag fram överföringsfunktionen från $u(t)$ till $y(t)$. Förkorta så långt som möjligt och ange hur många poler och nollställen du har, som funktion av α . (2p)
- (c) Låt $\alpha = 0$. Konstruera en regulator $u(t) = -Lx(t) + l_0r(t)$ som placerar slutna systemets poler i -5 samt garanterar att en konstant referenssignal kan följas utan statiskt reglerfel. (6p)

5. Efter att ha gjort experimenten under lab 2 har du kommit fram till att tanksystemet beskrivs av

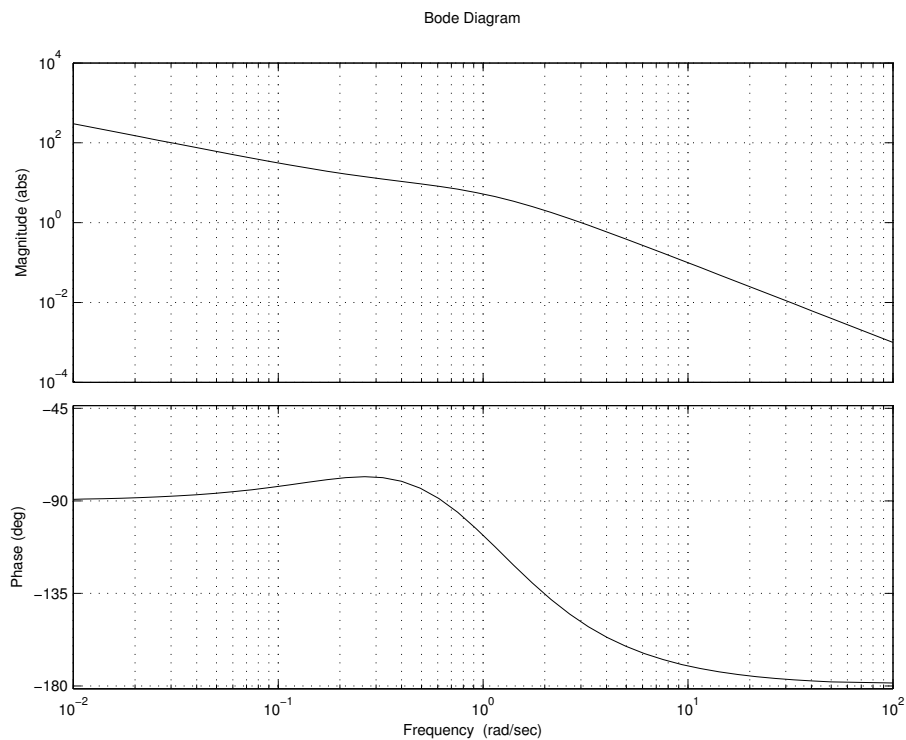
$$G(s) = \frac{K}{(sT + 1)^2}$$

med koefficientvärdena $K = 10$ och $T = 1$. Prestandakraven är så låga att de uppfylls med en PI-regulator $U(s) = F(s)(R(s) - Y(s))$ där

$$F(s) = \frac{s + 0.3}{s}$$

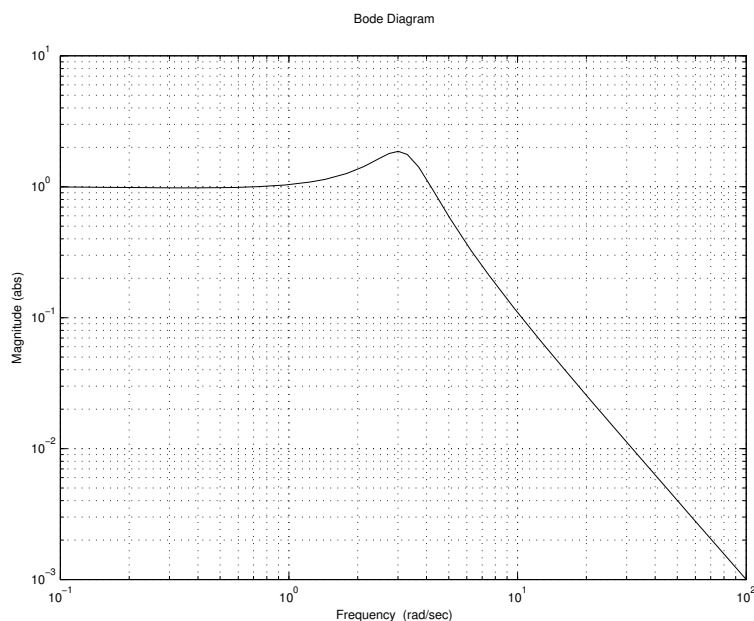
I figur 9 visas Bodediagrammet för $G_O(s) = F(s)G(s)$ med modellen och regulatorn ovan, och i figur 10 visas amplitudförstärkningen för

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



Figur 9: Bodediagram för $F(i\omega)G(i\omega)$

Du är nu orolig att du läst av fel på datorskärmen när experimenten utfördes, och vill därför bedöma robustheten hos det reglersystem som tagits fram.



Figur 10: Amplitudförstärkning $|G_c(i\omega)|$

- (a) Antag att tanksystemet i verkligheten ges av

$$G^0(s) = \frac{\bar{K}}{(s+1)^2}$$

där \bar{K} är okänd. Vilket relativt modellfel motsvarar detta? (3p)

- (b) Använd resultatet i uppgift (a) samt figur 10 för att med bokens robusthetskriterium avgöra om det finns någon övre gräns för hur stor \bar{K} kan vara för att man ska kunna garantera att det återkopplade systemet är stabilt då $F(s)$ används på $G^0(s)$. Ange i så fall denna gräns. (2p)
- (c) Antag att man istället använder figur 9 för att göra samma bedömning som i uppgift (b), dvs finns det någon gräns för hur stort \bar{K} kan vara för att man ska kunna garantera att det återkopplade systemet är stabilt då $F(s)$ används på $G^0(s)$. Kommentera eventuella likheter eller skillnader mellan resultaten i (b) och (c). (3p)
- (d) Antag att vi byter ut regulatorn mot $U(s) = F_r(s)R(s) - F_y(s)Y(s)$ där $F_y(s) = F(s)$ och $F_r(s)$ inte är bestämd ännu. Hur påverkas dina resultat i (b)? (2p)