TENTAMEN I REGLERTEKNIK

TID: 12 januari 2018, klockan 08 - 13

KURS: TSRT03, TSRT19

PROVKOD: TEN1

INSTITUTION: ISY

ANTAL UPPGIFTER: 5

ANSVARIG LÄRARE: Johan Löfberg, 070-3113019

BESÖKER SALEN: 10:00, 12.00

KURSADMINISTRATÖR: Ninna Stensgård, tel 013-284725, ninna.stensgard@liu.se

TILLÅTNA HJÄLPMEDEL: Läroboken Glad-Ljung: "Reglerteknik, grundläggande teori" med inläsningsanteckningar, tabeller, formelsamling, räknedosa utan färdiga program.

LÖSNINGSFÖRSLAG: Anslås efter tentamen på kursens hemsida.

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.

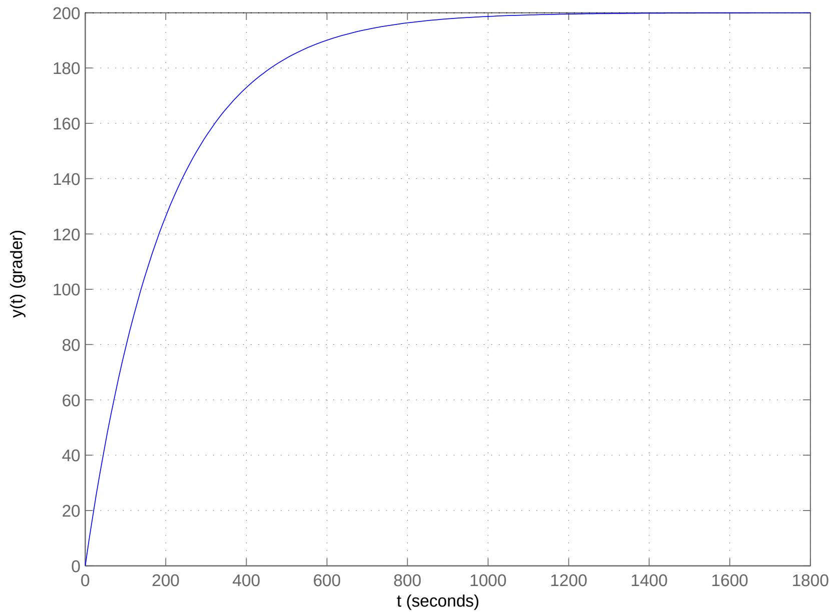
Lycka till!

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

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

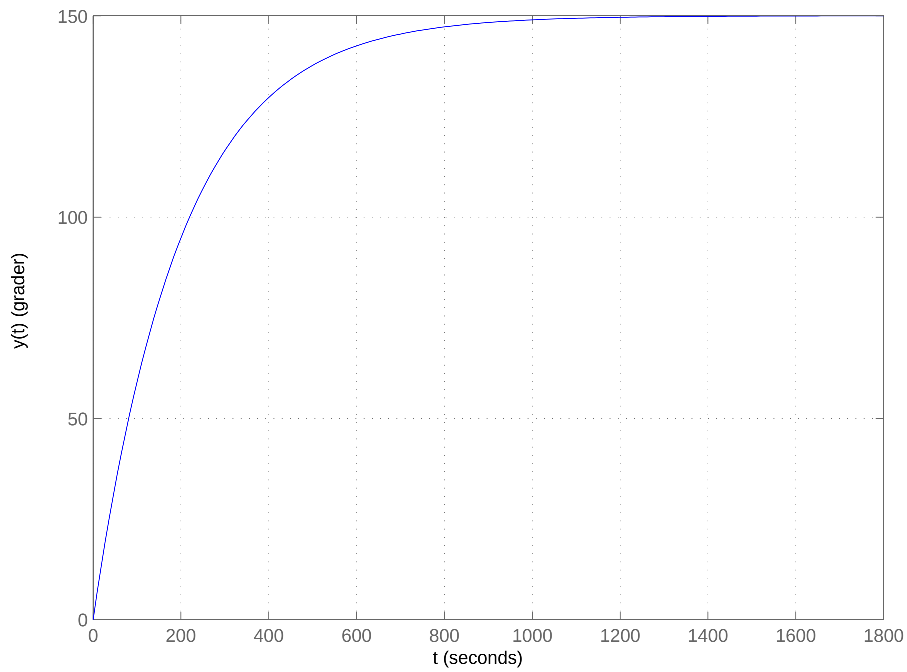
   Tag fram konstanterna K och T. (3p)



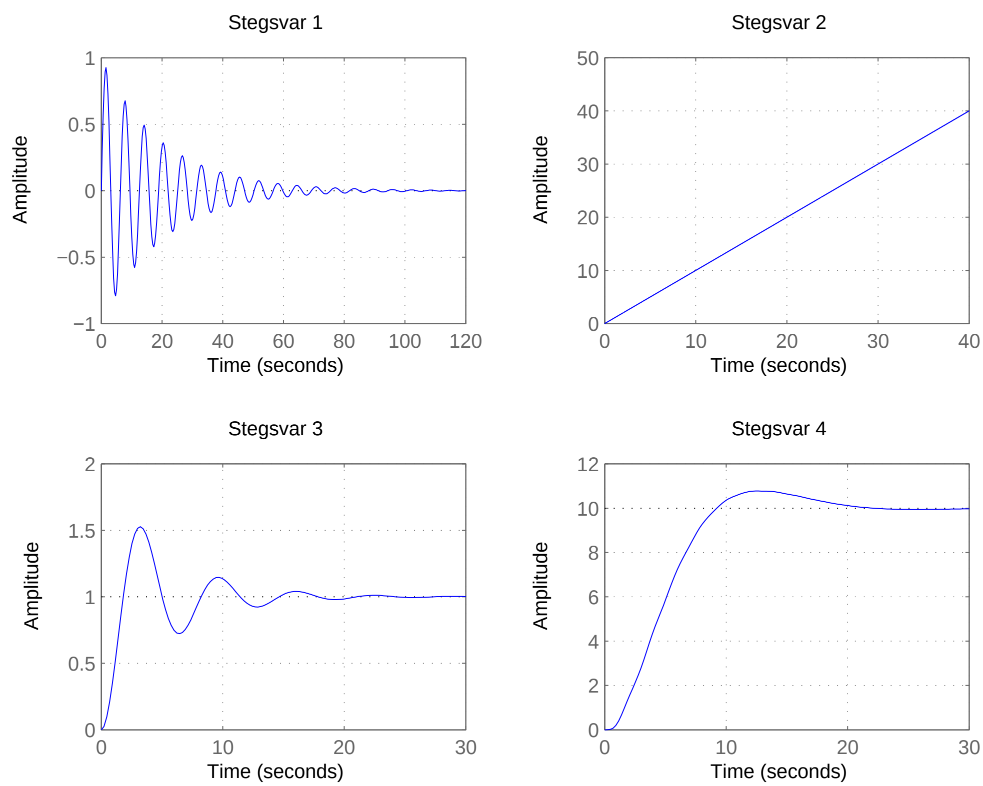
Figur 1: Ugnstemperatur i uppgift 1 (b)

   (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)

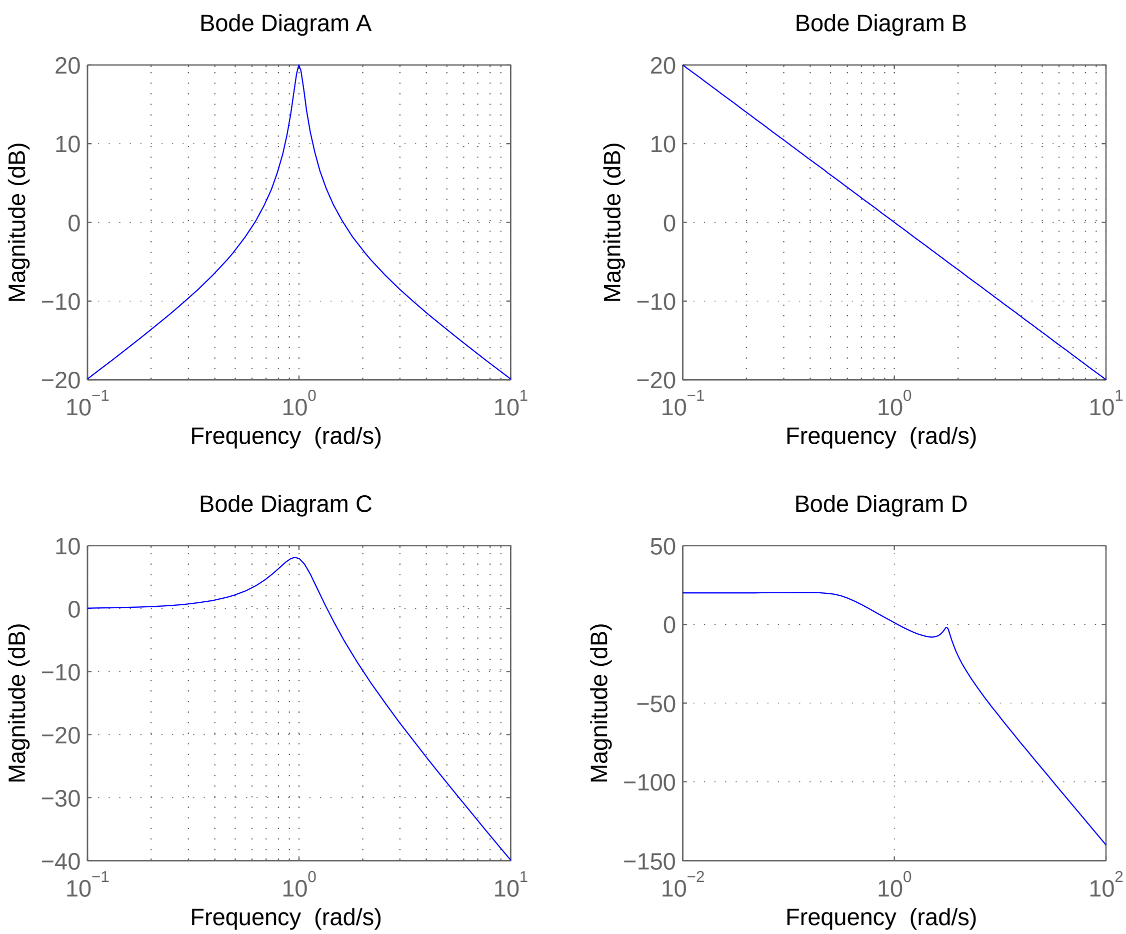
   (d) Förklara hur stegsvaren i figur 3 och Bodediagrammen i figur 4 kan paras ihop. (4p)



Figur 2: Ugnstemperatur i uppgift 1 (c)



Figur 3: Stegsvar 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. Förklara hur dessa kan kopplas ihop. *Ledning: Ansätt* $G(s) = \frac{N(s)}{D(s)}$. *Vad krävs för att slutna systemets statiska förstärkning skall vara 1?* (4p)

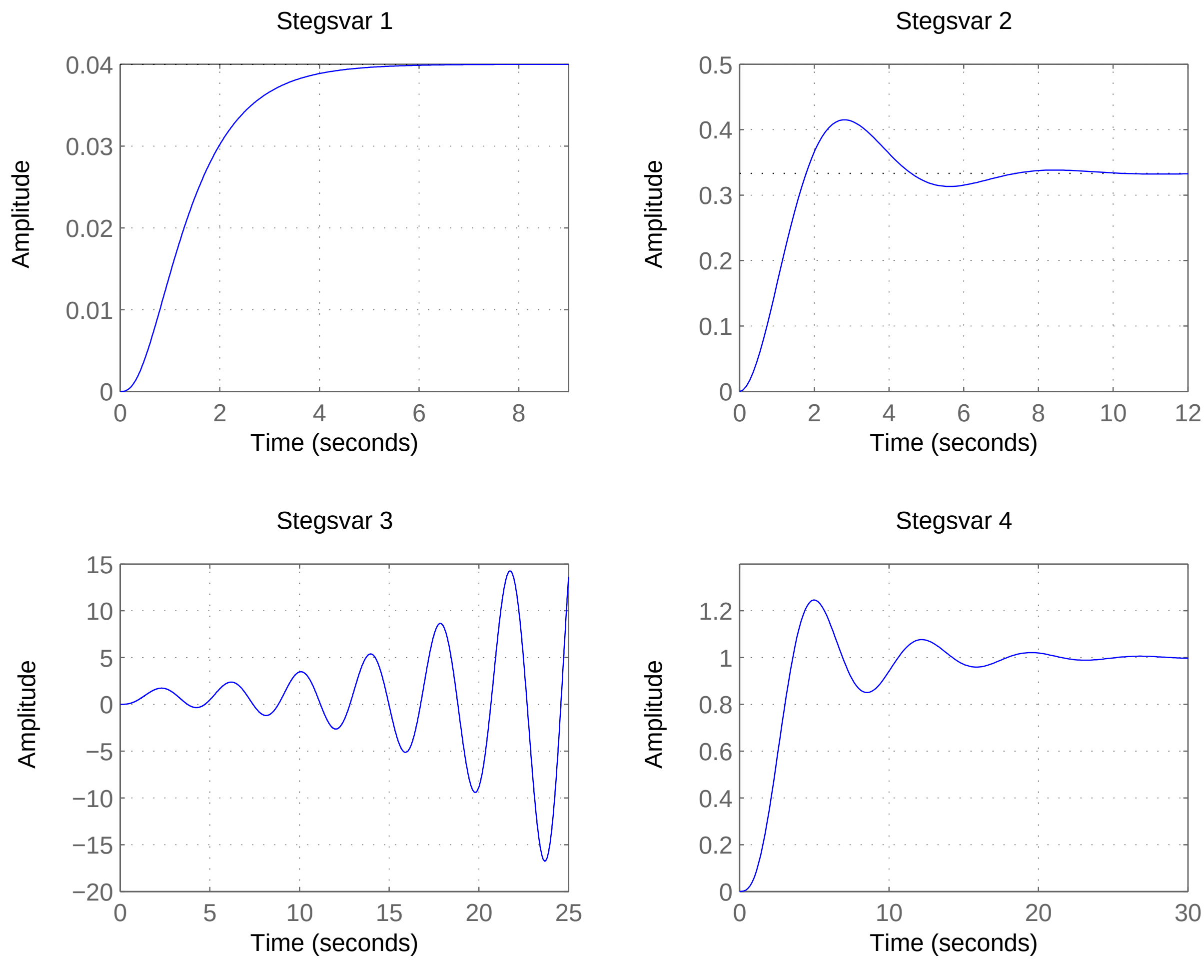
   (b) Ett system $Y(s) = G(s)U(s)$ regleras med en PD-regulator $U(s) = F(s)(R(s) - Y(s))$. Modell och regulator ges av

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

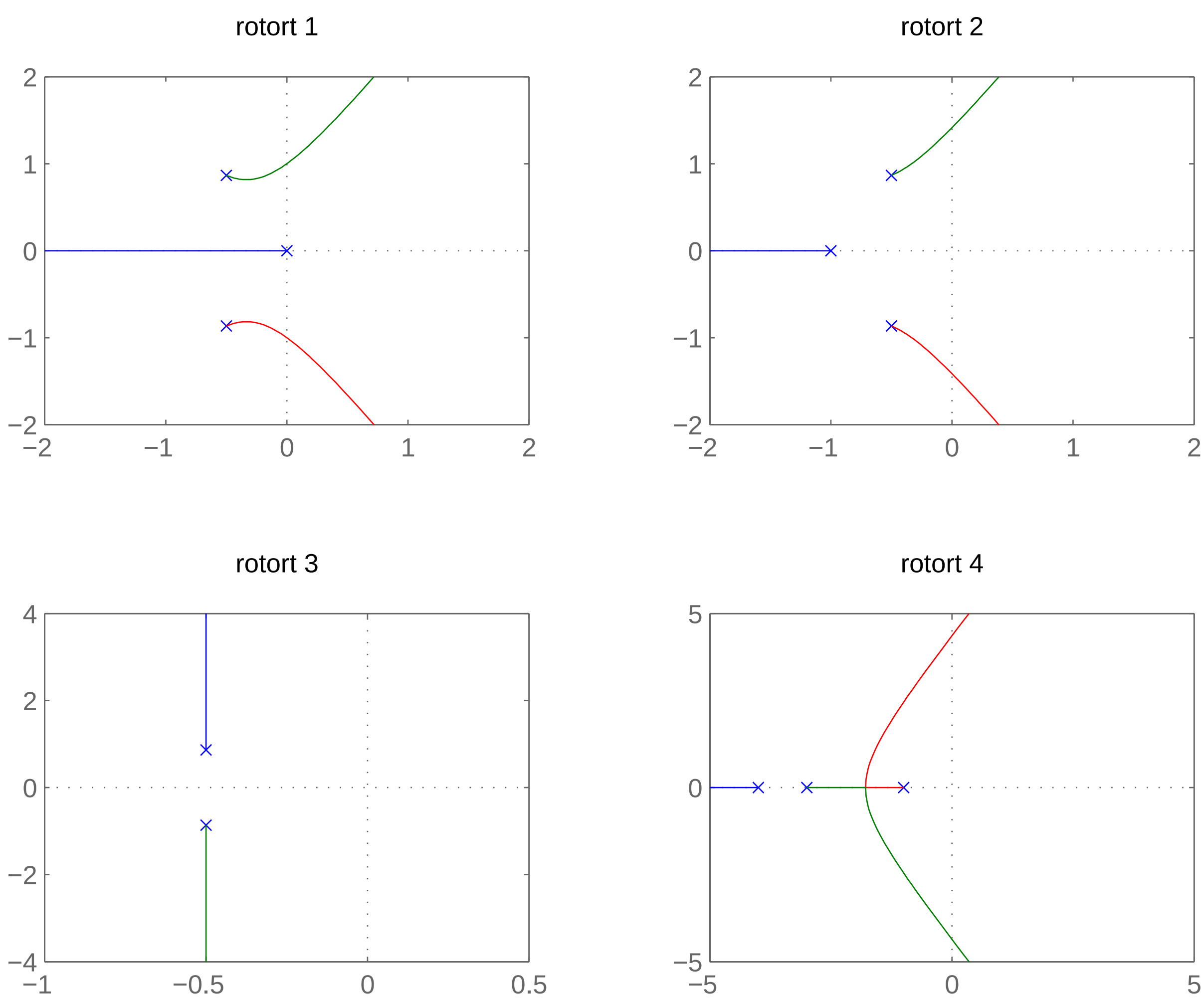
   Tyvärr appliceras inte enbart den beräknade styrsignalen på systemet, utan även en extra okänd störning verkar, dvs $Y(s) = G(s)(U(s) + V(s))$. Rita ett blockschema över det återkopplade systemet och markera tydligt alla externa signaler samt reglerfelet, regulatorns beräknade styrsignal, signal som faktiskt verkar på systemet samt utsignal. Ange överföringsfunktionen (med numeriska värden insatta) från 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 med hjälp av Figur 5.11 i kursboken hur stor översläng (M) man får vid ett stegsvar. (2p)

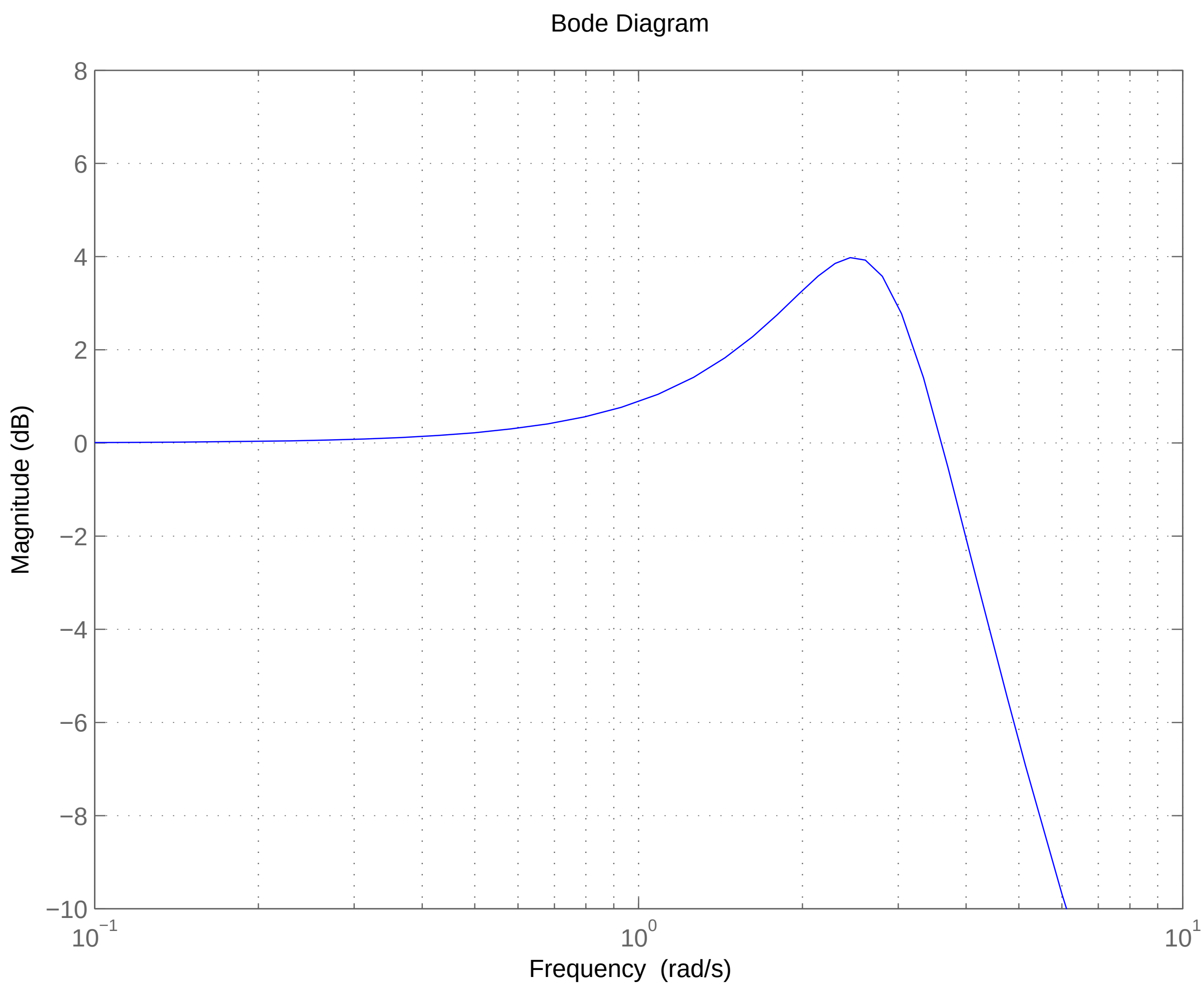
   (d) Ange bandbredden för systemet i figur 7. (1p)



Figur 5: Stegsvar i uppgift 2 (a)



Figur 6: Rotorter i uppgift 2 (a)



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

3. Läshuvudet 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

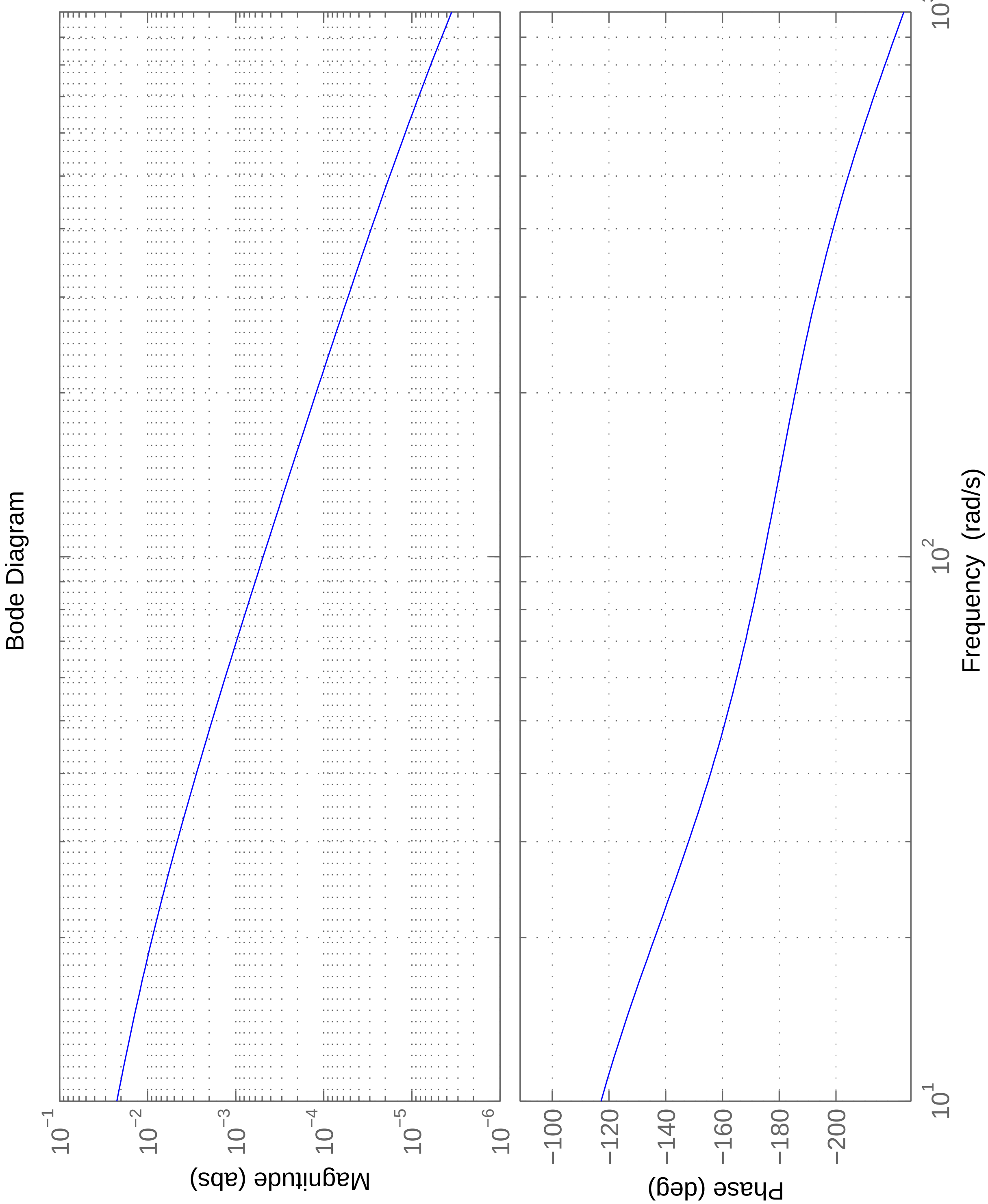
$$U(s) = F(s)(R(s) - Y(s))$$

för systemet ovan, sådan att reglersystemet uppfyller följande krav:

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

(6p)

(c) Hur många sekunders tidsfördröjning kan accepteras i beräkningen av styrsignalen med din regulator utan att 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. *Tips: Resultatet i (a) kan kanske hjälpa till.* (2p)

(c) Låt $\alpha = 0$. Konstruera en regulator $u(t) = -Lx(t) + l_0 r(t)$ som placerar slutna systemets poler i -5 samt garanterar att en konstant referenssignal kan följas utan statiskt reglerfel. (6p)

5. Efter att ha genomfört experiment på en process har du kommit fram till det kan beskrivas med en modell

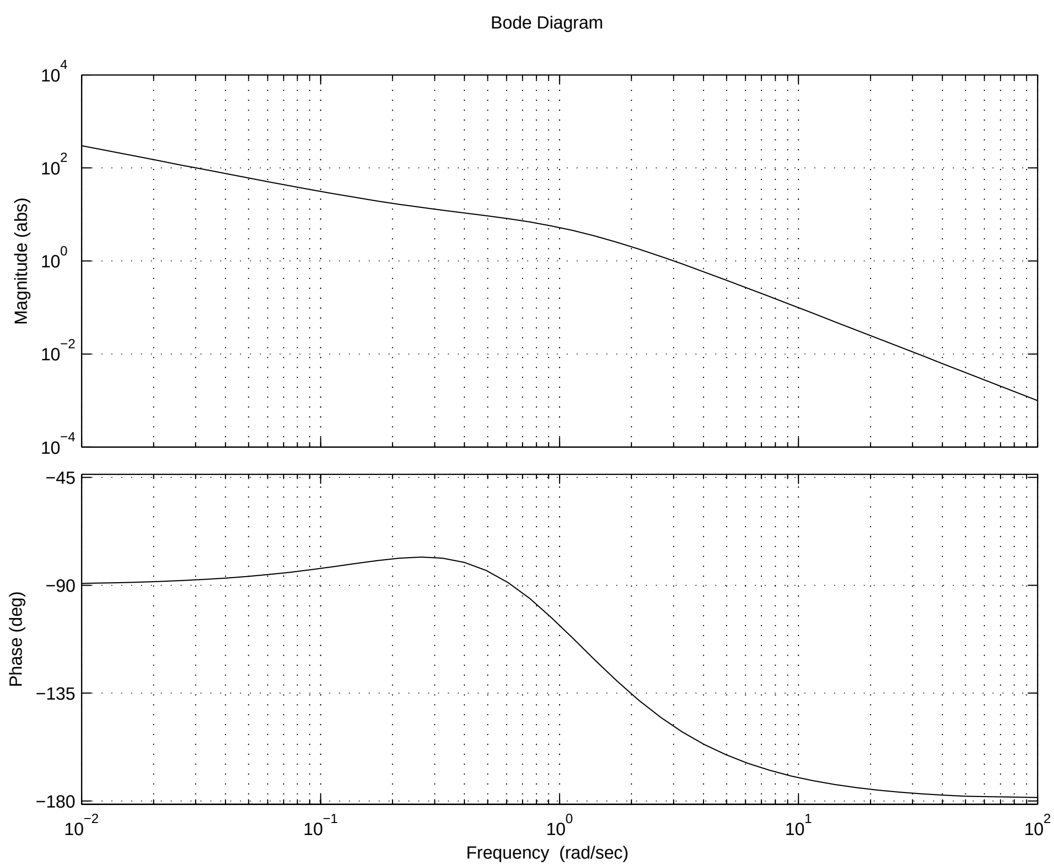
$$G(s) = \frac{K}{(sT+1)^2}$$

med koefficientvärdena $K = 10$ och $T = 1$. Prestandakraven på slutna systemet uppfylls med en PI-regulator $U(s) = F(s)(R(s) - Y(s))$ där

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

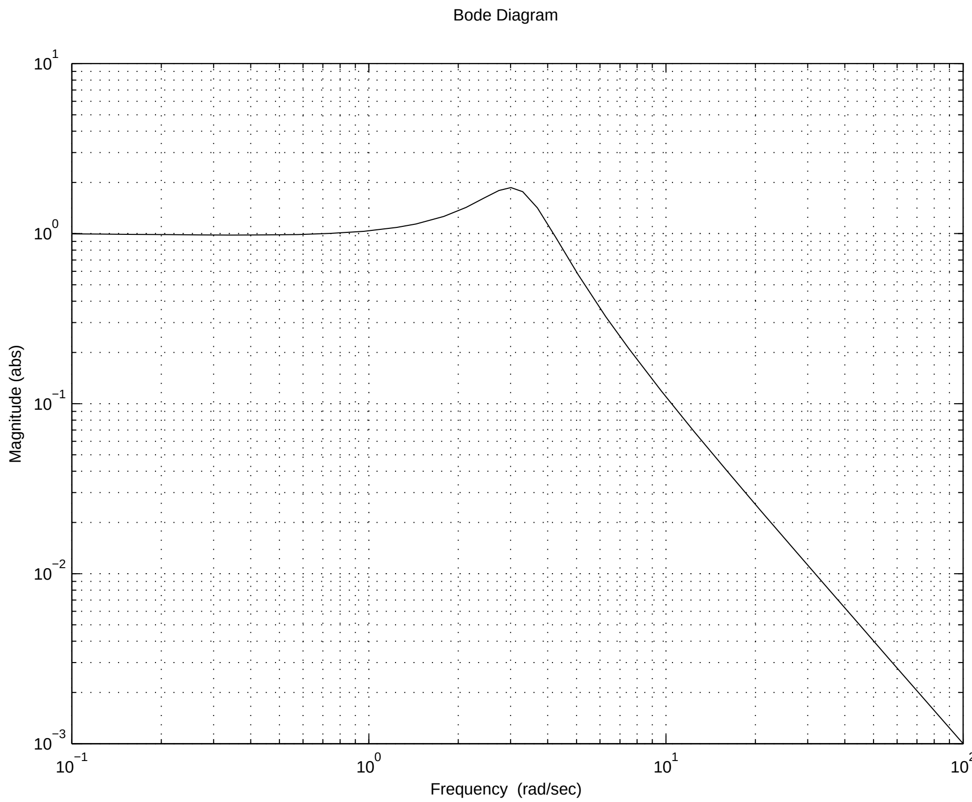
I figur 9 visas Bodediagrammet för kretsförstärkningen $G_O(s) = F(s)G(s)$ med modellen och regulatorn ovan, och i figur 10 visas amplitudförstärkningen för slutna systemet

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



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 systemet i verkligheten ges av

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

där $\bar{K}$ är okänd. Visa att detta motsvarar ett relativt modellfel på $\frac{\bar{K}-10}{10}$. (2p)

(b) Använd resultatet i uppgift (a) samt figur 10 för att med robusthetskriteriet 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. (3p)

(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)