ES,
Elektroniksystem

Reglerteknik

Kurskod: IE1304

Datum: 20/3-2014

Tid: 09.00-13.00

Examinator: Leif Lindbäck (7904425)

Hjälpmedel: Formelsamling, dimensioneringsbilaga, miniräknare.

Omfång:
Tentamen består av 7 sidor (inklusive denna och föregående)

Poängkrav:
Max: 50 poäng
E: 25 poäng, D: 30 poäng, C: 35 poäng, B: 40 poäng, A: 45 poäng

Utförande:
Namn och personnummer skall anges på varje inlämnat skrivpapper
Bladnr. och uppgiftsnr. skall anges på varje inlämnat skrivpapper
Skriv endast på en sida.
Redovisade lösningar skall vara fullständiga och lätta att följa, egna antaganden skall motiveras.

Lycka till

1. Beskriv två olika sätt att avgöra om ett kontinuerligt system är stabilt. (2p)

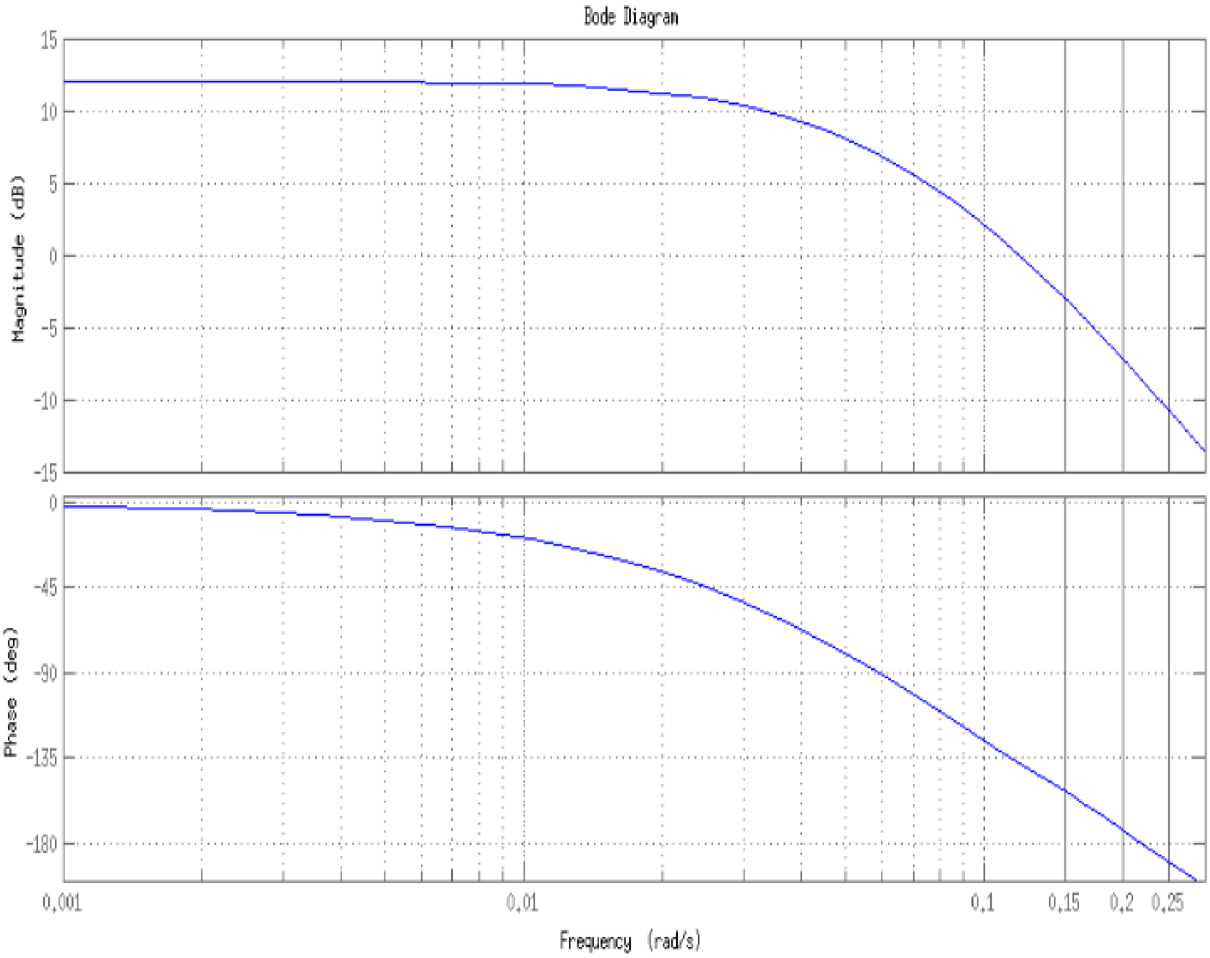
2. Definiera begreppet *stabilt system*. (2p)

3. Vilken fundamental skillnad finns det mellan stegsvaren för ett system med komplexa poler och ett med endast reella poler? (2p)

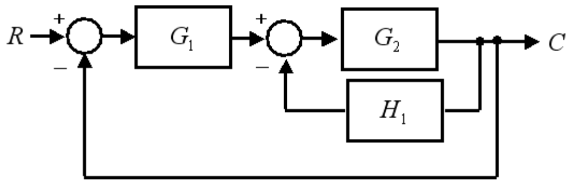
4. Varför är det viktigt att undersöka styrsignalen när vi dimensionerar en regulator? (2p)

5. Hur påverkas stigtid/insvägningstid för ett diskret system om samplingintervallet ändras utan att polerna flyttas? (2p)

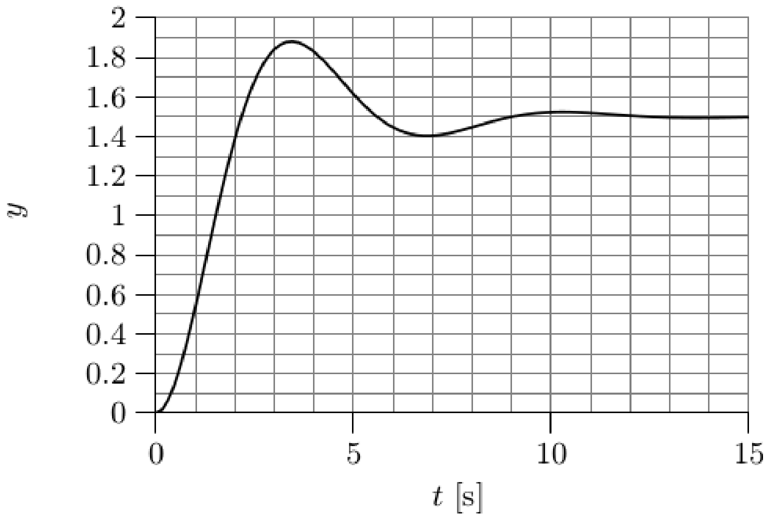
6. Ett systems kretsfunktion (slingförstärkningen) har bodediagrammet nedan. Processen skall regleras med en PID-regulator. Dimensionera denna enligt Ziegler-Nichols metod. Ange regulatorns förstärkning, integrationstid och deriveringstid. *Markera allt du avläser ur diagrammet i bifogat lösningsblad.* (3p)



7. Använd blockschemareduktion för att ta fram överföringsfunktionen $G_{tot} = \frac{C}{R}$ för blockschemat nedan (detta är en vanlig typ av blockschema för elmotorservon). (3p)

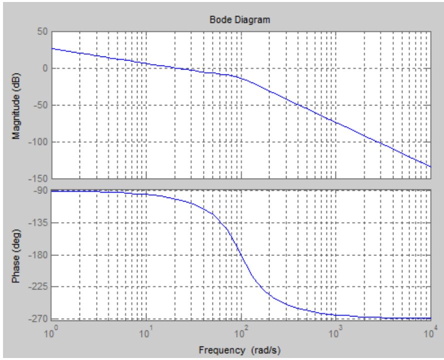


8. Figuren nedan visar stegsvaret för ett system. Steget har höjden 1. Bestäm följande. *Markera allt du avläser ur diagrammet i bifogat lösningsblad.* (2p)
   a) Kvarstående fel
   b) Översväng
   c) Stigtid
   d) Insvägningstid



9. En process beskrivs av differentialekvationen y'' + 3y' = u, där y är utsignalen och u är signalen från regulatorn till processen. Regulatorns överföringsfunktion är u = K(r – y), där r är börvärdet och K är en konstant. (5p)
   a) Ta fram överföringsfunktionen från u till y.
   b) Rita ett blockschema för systemet.
   c) Ta fram överföringsfunktionen från r till y.
   d) Vilken statisk förstärkning har det återkopplade systemet?
   e) För vilka värden på K är det återkopplade systemet stabilt?

10. En process beskrivs med Bodediagrammet till höger. Ett förstorat, tydligare diagram finns på det bifogade figurbladet. (6p)



a) Rita in Amplitudmarginalen A_m på figurbladet.
b) Rita in fasmarginalen Φ_m på figurbladet.
c) Antag att amplitudmarginalen är 5 dB (det är den inte), hur många gångers ytterligare förstärkning skulle man kunna ha i ett slutet system innan systemet blir instabilt?

Rita i diagrammet på figurbladet och beräkna:
d) Hur stort blir det kvarstående felet, e_0, vid en stegformad ändring av börvärdet?
e) Hur stort blir det kvarstående felet, e_1, vid en rampformad ändring av börvärdet?
f) Beräkna systemets stigtid, T_r

11.
a) En process med nedanstående överföringsfunktion ska regleras med en polplaceringsregulator. Alla poler ska ligga i z = 0,50. Dimensionera regulatorn. (3p)

$$H(z)=\frac{0{,}40\,z^{-1}}{1-0{,}80\,z^{-1}}$$

b) Rita blockschema för hela systemet. (1p)
c) Bestäm differensekvationen som ska programmeras när ovanstående regulator implementeras. (1p)
d) Vilken/vilka ändring(ar) kan göras för att det återkopplade systemet ska bli snabbare? Inga beräkningar behövs, det räcker att förklara med text. (1p)

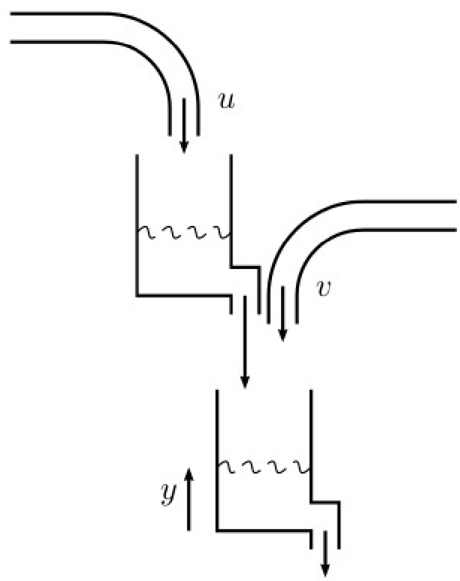
12.
a) En process är beskriven på tillståndsform nedan. Processen ska regleras med en tillståndsåterkopplad polplaceringsregulator med överföringsfunktionen u(t) = -Lx(t)+ K_rr(t). Alla poler ska ligga i s = -2, dimensionera styrlagsvektorn, L. (3p)

$$\begin{bmatrix} x_1' \\ x_2' \end{bmatrix}=\begin{bmatrix} -1 & 2 \\ 0 & -1 \end{bmatrix}\begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \end{bmatrix}+\begin{bmatrix} 1 \\ 1 \end{bmatrix}u,\quad y=\begin{bmatrix} 1 & 0 \end{bmatrix}\begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \end{bmatrix}$$

b) Ställ upp ett uttryck för börvärdesfaktorn, K_r Du behöver inte räkna ut värdet. (1p)
c) Rita blockschema för hela systemet. (1p)

13. Nedanstående figur beskriver en process med två tankar som båda har tvärsnittsarean A. Inflödet till den övre tanken är u och nivån i den undre tanken är y. Utflödet ur båda tankarna är proportionellt mot djupet i respektive tank, $utflöde = k \cdot djup$

    a) Bestäm överföringsfunktionen från inflödet u till y då störningen, v = 0. (2p)
    b) Bestäm överföringsfunktionen från störningen v till y då inflödet, u = 0. (2p)
    c) Rita ett blockschema över processen där varje tank är ett eget block. Rita in signalerna u, v och y. Ange överföringsfunktionen från inflöde till utflöde för övre tanken och från inflöde till djup för undre tanken. (2p)

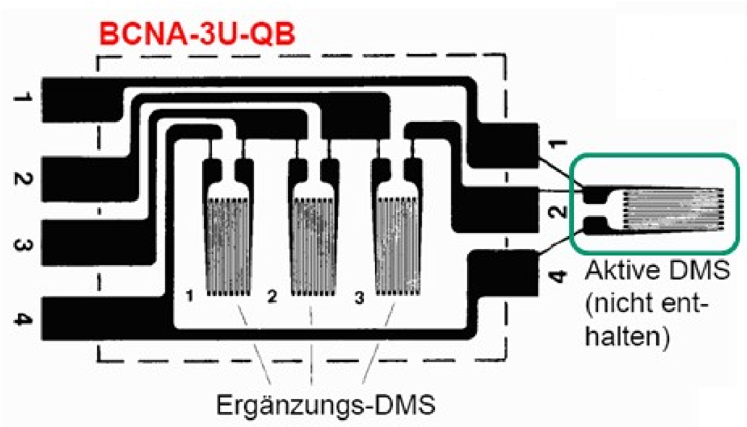


14.

När man vill veta vilka krafter en maskinkonstruktion är utsatt för brukar man mäta dessa indirekt, genom att mäta töjningen. Vid töjningsmätning använder man en aktiv töjningsgivare (*Aktive DMS*, inringad med grönt i figuren nedan).

a) Varför har man ytterligare tre passiva töjningsgivare (*Ergänzungs-DMS*)? Det finns två skäl. (2p)

b) Varför är den aktiva töjningsgivaren ansluten med tre ledningar? (2p)



Tenta IE1304 140320 Lösningar

Leif Lindbäck

27 mars 2014

Uppgift 1

Möjliga alternativ är Bode-diagram, polbestämning och Rouths metod. För full poäng krävs en kort beskrivning av metoderna.

Uppgift 2

En begränsad insignal ger en begränsad utsignal.

Uppgift 3

Stegsvaret för ett system med komplexa poler har en översväng och oscillerar sedan kring slutvärdet. Ett system med reella poler har ett stegsvar som växer monotont mot slutvärdet.

Uppgift 4

Ställdonet kan ta skada av för kraftig eller för snabbt svängande styrsignal. Om ställdonet överstyrs gäller inte den uppställda modellen.

Uppgift 5

Systemets överföringsfunktion definierar insvägningstid i antal samplingsintervall. Om samplingsintervallet ökar, ökar därför även insvägningstiden. Stigtiden minskar däremot med ökat samplingsintervall eftersom regulatorn då kommer att ligga kvar med det ursprungliga, största, värdet längre tid.

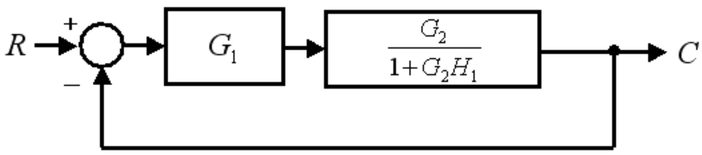
Uppgift 6

Enligt bode-diagrammet är $A_m \approx 8dB$ och $\omega_\pi \approx 0,22rad/s$
$A_m \approx 8dB \Rightarrow K_0 \approx 10^{\frac{8}{20}}, \omega_\pi \approx 0,22 \Rightarrow T_0 \approx \frac{2\pi}{0,22}$

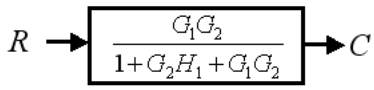
$$\Rightarrow \begin{cases} \mathbf{K_R} = 0,6 \cdot 10^{\frac{8}{20}} \approx \mathbf{1{,}5} \\ \mathbf{T_I} = 0,5 \cdot T_0 = 0,5 \cdot \frac{2\pi}{0,22} \approx \mathbf{14} \\ \mathbf{T_D} = 0,125 \cdot T_0 = 0,125 \cdot \frac{2\pi}{0,22} \approx \mathbf{3{,}6} \end{cases}$$

Uppgift 7

Slå ihop G_2 och H_1 till ett block.



Slå ihop de två återstående blocken.



Uppgift 8

Kalla insignalen u och utsignalen y.

a) Enhetssteg in $\Rightarrow u = 1$. Enligt figuren är $y_{ss} = 1,5$.
kvarstående felet, $\mathbf{e_0} = \frac{u - y_{ss}}{u} * 100\% = \frac{1-1.5}{1} * 100\% =$ **-50%**.

b) Enligt figuren är $y_{max} \approx 1,9 \Rightarrow$ största översväng $= \frac{1,9 - y_{ss}}{y_{ss}} * 100\% = \frac{1,9-1,5}{1,5} * 100\% \approx$ **27%**.

c) $y_{ss} = 1,5 \Rightarrow 0,9 * y_{ss} = 1,35$. Enligt figuren motsvarar det tiden $t_{0,9} \approx 2s$. $y_{ss} = 1,5 \Rightarrow 0,1 * y_{ss} = 0,15$. Enligt figuren motsvarar det tiden $t_{0,1} \approx 0,5s$. Stigtiden, $\mathbf{t_r} = t_{0,9} - t_{0,1} \approx 2 - 0,5 =$ **1,5s**

d) Välj att mäta tiden tills utsignalen ligger inom $\pm 5\%$ av slutvärdet.

$$y_{ss} = 1,5 \Rightarrow \begin{cases} 1,05 * y_{ss} = 1,575 \\ 0,95 * y_{ss} = 1,425 \end{cases}$$

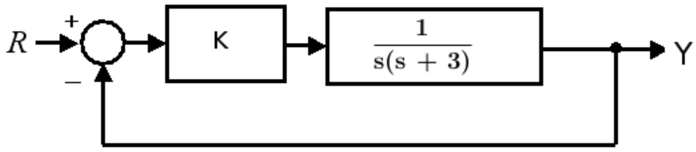
Enligt figuren ligger utsignalen mellan dessa värden då tiden är större än ca 7,5s.
$\Rightarrow$ insvägningstiden, $\mathbf{t_s} \approx$ **7,5s**

Uppgift 9

a) Laplacetransformation av $\ddot{y} + 3\dot{y} = u \Rightarrow$

$$s^2Y + 3sY = U;\ \ s(s+3)Y = U;\ \ Y = \frac{1}{s(s+3)} \Rightarrow \mathbf{G_P} = \frac{\mathbf{1}}{\mathbf{s(s+3)}}$$

b) Blockschema:



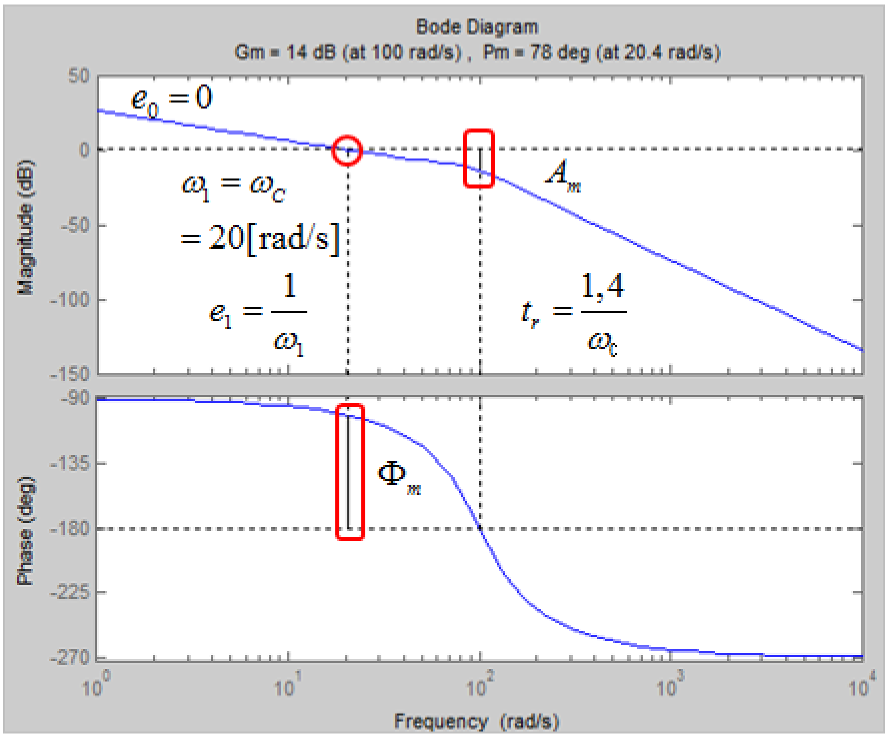
c) $$Y = \frac{KG_P}{1+KG_P} = \frac{\frac{K}{s(s+3)}}{1+\frac{K}{s(s+3)}} = \frac{K}{s(s+3)+K} = \frac{\mathbf{K}}{\mathbf{s^2 + 3s + K}}$$

d) $$G(0) = \frac{K}{0+0+K} = \mathbf{1}$$

e) Alla poler ska ligga i vänster halvplan. Polerna ges av den karakteristiska ekvationen, $s^2 + 3s + K = 0 \Rightarrow s = -\frac{3}{2} \pm \sqrt{\frac{9}{4} - K}$.

För att undvika poler i högra halvplanet måste $\sqrt{\frac{9}{4} - K} < \frac{3}{2} \Rightarrow \frac{9}{4} - K < \frac{9}{4} \Rightarrow$ $\mathbf{K > 0}$

Uppgift 10



a) b) A_m och Φ_m. inritade i bilden. **c)** 5 dB motsvarar 1,8 ggr. **d)** e_0=0 integrerande process.
e) ω_1= 20 e_1=1/20 = 0,05 5% **f)** t_r=1,4/20 = 0,07 sek
Denna gång råkade $\omega_1 = \omega_C$ vara lika.

Uppgift 11

a)

$$H(z) = \frac{B(z)}{A(z)} = \frac{0,40z^{-1}}{1-0,80z^{-1}}$$

$$A = (1-0,80z^{-1}),\ B = 0,40z^{-1}$$

Gradtalet för önskat karakteristiskt polynom, $n_p = n_a + n_b - 1 = 1 + 1 - 1 = 1$

Gradtalet för C(z), $n_c = n_b - 1 = 1 - 1 = 0 \Rightarrow \mathbf{C(z) = 1}$

Gradtalet för D(z), $n_d = n_a - 1 = 1 - 1 = 0 \Rightarrow \mathbf{D(z) = d_0}$

Placera den enda polen i $z = 0,50 \Rightarrow$ önskat karaktristiskt polynom, $P(z) = 1 - 0,50z^{-1}$

Sätt systemets karakteristiska polynom lika med önskat karaktristiskt polynom:

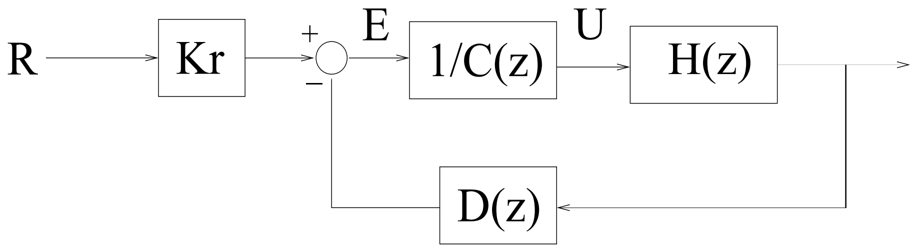
$$AC + BD = P\,;\;\; (1 - 0,80z^{-1}) \cdot 1 + 0,40z^{-1}d_0 = 1 - 0,50z^{-1}$$

$$0,40d_0z^{-1} - 0,80z^{-1} + 1 = 1 - 0,50z^{-1}$$

$$\Rightarrow 0,40d_0 - 0,80 = -0,50\,;\;\; 0,40d_0 = 0,30\,;\;\; d_0 = 0,75 \Rightarrow \mathbf{D(z)\ =\ 0{,}75}$$

Slutligen bestäms $\mathbf{K_r} = \dfrac{P(1)}{B(1)} = \dfrac{1 - 0,50}{0,40} \mathbf{=\ 1{,}25}$

b) Regulatorns blockschema finns nedan.



c)

$$E = 1,25R - 0,75Y \Rightarrow e(k) = 1,25r(k) - 0,75y(k)$$

$$U = E$$

$$\Rightarrow \mathbf{u(k)\ =\ 1{,}25r(k)\ \text{-}\ 0{,}75y(k)}$$

d) Flytta det återkopplade systemets pol närmre origo eller minska samplingstiden.

Uppgift 12

a) Tillståndsåterkoppling innebär att styrsignalen, u, beräknas som en linjärkombination av tillståndsvariablerna, $u = -\mathbf{L} \cdot \mathbf{x} + K_r r$. Sätter vi in detta uttryck i tillståndsekvationen $\mathbf{x}' = \mathbf{Ax} + \mathbf{B}u$ får vi $\mathbf{x}' = \mathbf{Ax} - \mathbf{B}(\mathbf{Lx} + K_r r)$. Det karakteristiska polynomet är alltså:

$$\det(s\mathbf{I} - \mathbf{A} + \mathbf{BL}) = \left| s \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} -1 & 2 \\ 0 & -1 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} l_1 & l_2 \end{bmatrix} \right| =$$

$$\begin{vmatrix} s + 1 + l_1 & -2 + l_2 \\ l_1 & s + 1 + l_2 \end{vmatrix} =$$

$$(s + 1 + l_1)(s + 1 + l_2) - (-2 + l_2)(l_1) = s^2 + (l_1 + l_2 + 2)s + 3l_1 + l_2 + 1$$

Det återkopplade systemet har två poler eftersom den karakteristiska ekvationen är av andra graden. Eftersom båda polerna skulle ligga i $s = -2$ gäller att det

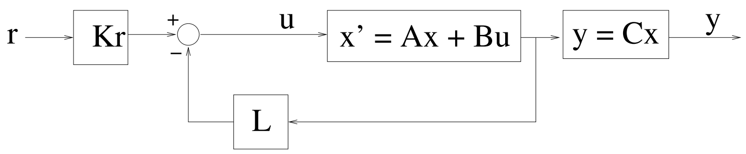
karakteristiska polynomet ska vara $(s+2)^2 = s^2 + 4s + 4$.
Detta ger: $s^2 + (l_1 + l_2 + 2)s + 3l_1 + l_2 + 1 = s^2 + 4s + 4$

$$\Rightarrow \begin{cases} l_1 + l_2 + 2 = 4 \\ 3l_1 + l_2 + 1 = 4 \end{cases} \quad \Rightarrow \begin{cases} l_1 = 0,5 \\ l_2 = 1,5 \end{cases} \quad \Rightarrow \mathbf{L} = \left[\ \mathbf{0{,}5} \quad \mathbf{1{,}5}\ \right]$$

b)

$$K_r = \frac{1}{\mathbf{C}(-\mathbf{A}+\mathbf{BL})^{-1}\mathbf{B}} = \frac{1}{\begin{bmatrix} 1 & 0 \end{bmatrix}\left(-\begin{bmatrix} -1 & 2 \\ 0 & -1 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \end{bmatrix}\begin{bmatrix} 0,5 & 1,5 \end{bmatrix}\right)^{-1}\begin{bmatrix} 1 \\ 1 \end{bmatrix}}$$

c) Blockshema:



Uppgift 13

a) **Övre tanken**, kalla volymen V_1 och djupet h_1: $\dfrac{dV_1}{dt} = A\dfrac{dh_1}{dt} = u - kh_1$

Laplace $\Rightarrow AsH_1 = U - kH_1;\ H_1(As+k) = U;\ H_1 = \dfrac{U}{As+k}$ (1)

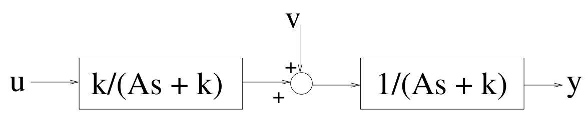
Undre tanken, kalla volymen V_2: $\dfrac{dV_2}{dt} = A\dfrac{dy}{dt} = kh_1 - ky$

Laplace $\Rightarrow AsY = kH_1 - kY;\ Y(As+k) = kH_1$ (2)

(1) & (2) $\Rightarrow Y(As+k) = k\dfrac{U}{As+k};\ G = \dfrac{Y}{U} = \dfrac{\mathbf{k}}{\mathbf{(As + k)^2}}$

b) Övre tanken är tom då u = 0, inflödet till undre tanken är v. Med samma beräkningar som i a) får vi då: $G = \dfrac{Y}{V} = \dfrac{\mathbf{1}}{\mathbf{As + k}}$

c) Blockshema:



Uppgift 14

a) De fyra töjningsgivarna bildar en whetstonebrygga, den omvandlar en liten resistansändring, ökning/minskning, till en spänning som lätt kan mätas. Resistansändringen vid töjning är liten i förhållande till resistansändringen beroende på temperaturvariationer, så de tre ytterligare töjningsgivarna som inte utsätts för någon töjning är avsedda för att balansera bort temperaturberoendet.

b) Om den aktiva töjningsgivaren är ansluten med långa ledningar skulle de temperaturberoende resistanserna i dessa kunna inverka. Med treträdsmätning balanseras även den effekten bort.