CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA
INSTITUTIONEN FÖR SIGNALER OCH SYSTEM
Avd för Reglerteknik

Tentamen i Reglerteknik för F2

(Kurs nr ERE 091)

Torsdagen den 20 augusti 1998.

Tid: Kl 14.15-18.15 Lokal: mg

Lärare: Claës Lindeborg, tel Chalmers 3719.

Poängberäkning: Tentamen består av 8 uppgifter om totalt 30 poäng. För betygen tre, fyra och fem krävs 12, 18 respektive 24 poäng.

Lösningar anslås den 21 augusti på institutionens anslagstavla.

Tentamensresultaten anslås senast den **7 september** på institutionens anslagstavla.

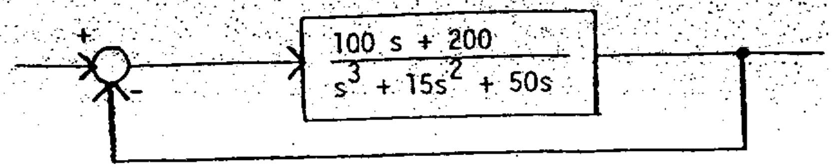
Granskning av rättning sker den **7 och 8 september** kl 12.30 - 13.15 på institutionen.

Tillåtna hjälpmedel:
Valfri kalkylator, dock ej portföljdator
Standardtabeller typ TEFYMA och Beta
Formelsamling i reglerteknik
Bodediagram

OBS!
Iakttag granskningstiderna! Kommer du senare mottages endast skriftliga klagomål mot rättningen. Sådana skriftliga klagomål måste inlämnas **senast två veckor** efter granskningsdagarna.

LYCKA TILL!

1.



Ange överföringsfunktionen för kretsöverföringens lågfrekvensasymptot i Bode-diagrammet. (1 p)

2.

Ett nivåreglersystem (fig a) har en flottör som påverkar en strömbrytare. En elektromagnetisk ventil (fig b) styr inflödet q_i (endast lägena ÖPPEN och STÄNGD). Dess funktion kan beskrivas med fig c.

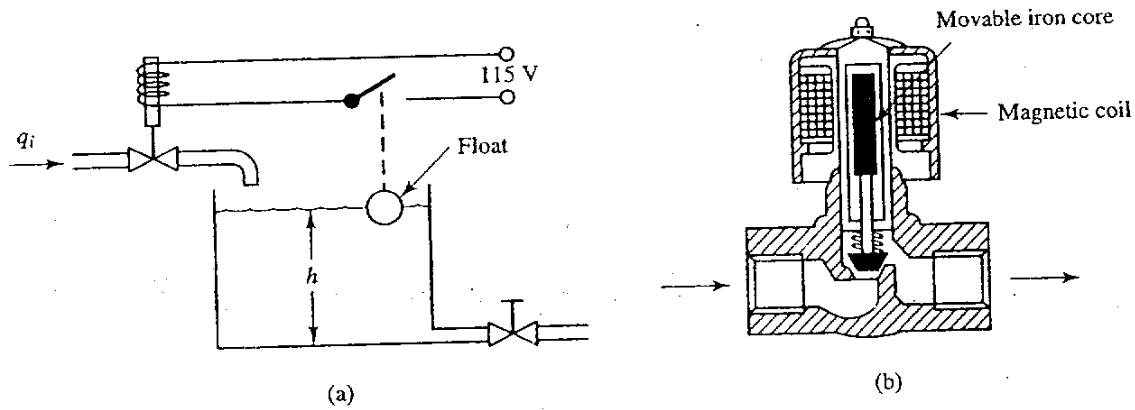
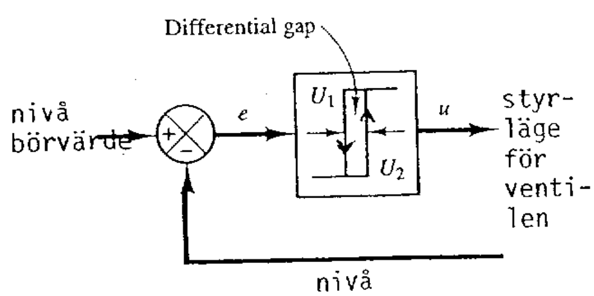


Figure
(a) Liquid-level control system; (b) electromagnetic valve.



U_1 = helt ÖPPEN

U_2 = helt STÄNGD

(c)

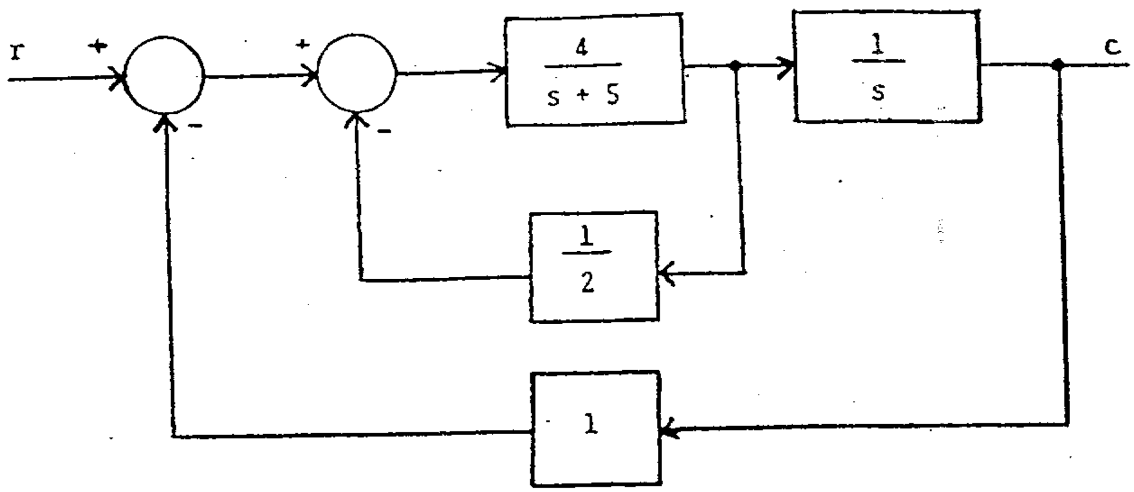
Uppgift:

Skissa nivån som funktion av tiden om vi startar med tom tank (t=0). Vi förutsätter att utloppsventilen är öppen och att q_i (läge ÖPPEN) är så stort att tanken skulle fyllas helt om reglersystemet ej fanns.

(3 p)

3.

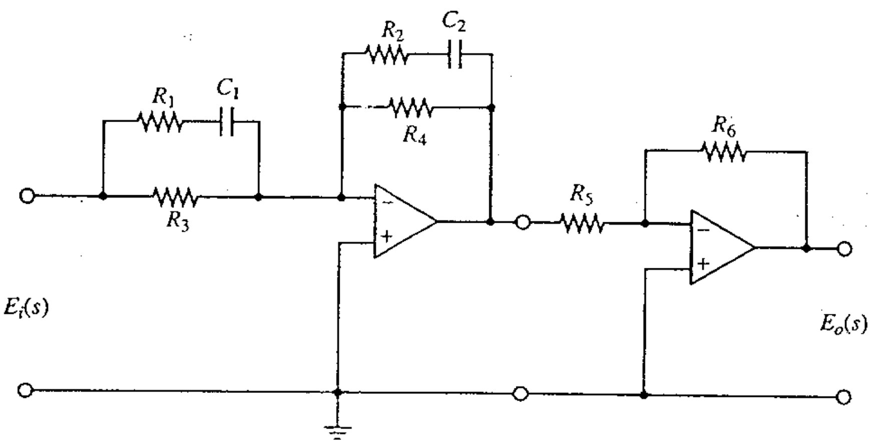
Bestäm systemets relativa dämpning.



(2 p)

4.

Figuren visar en lead/lag-länk baserad på operationsförstärkare.



Uppgift:

Visa att $E_o(s)/E_i(s)$ har formen

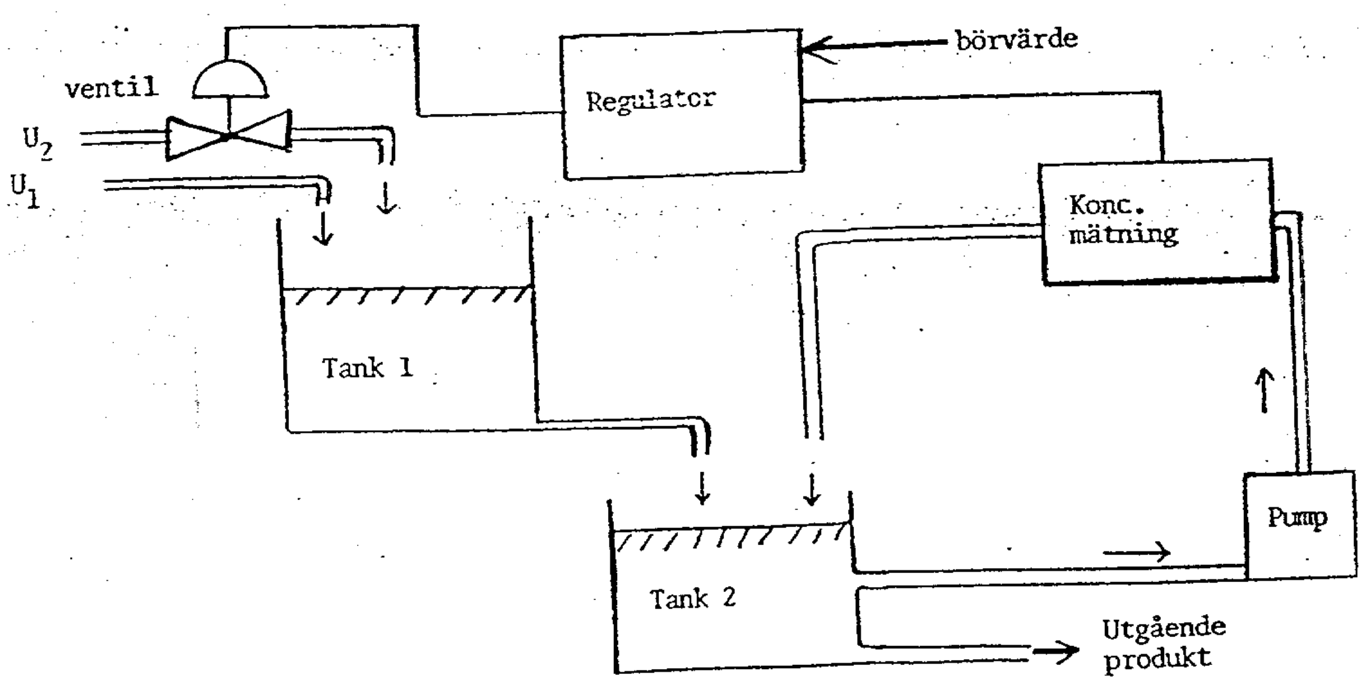
$$K_c \frac{\left(s+\frac{1}{T_1}\right)\left(s+\frac{1}{T_2}\right)}{\left(s+\frac{1}{T_3}\right)\left(s+\frac{1}{T_4}\right)}$$

samt ange parametrarna K_c och $T_1 \rightarrow T_4$ som funktioner av komponentvärdena $R_1 \rightarrow R_6$ och $C_1 \rightarrow C_2$.

(4 p)

5.

Givet: Ett system med två tankar där koncentrationen av den utgående produkten skall hållas konstant genom reglering av den starkt koncentrerade vätskan U_2.
Man kan anse att systemet är i volymmässig balans genom vätskan U_1 (som har en konc. något under börvärdet) och att perfekt omröring råder i de båda tankarna.
I en volymmässigt liten retursslinga mätes koncentrationen och härvid erhålles en tidsfördröjning i mätningen (=0,5 min.) på grund av den låga cirkulationshastigheten i retursslingan.
Man har vid ett tidigare tillfälle beräknat tidskonstanterna för tank 1 till 1 minut och för tank 2 till 2 minuter beräknat var för sig. Här avses den tidskonstant för koncentrationen i tank 1 som erhålles om t.ex. nivån i tank 1 hålles konstant genom lämpligt U_1 och sedan U_2 ökar med ett steg.
Tidskonstanten för tank 2 på motsvarande sätt.

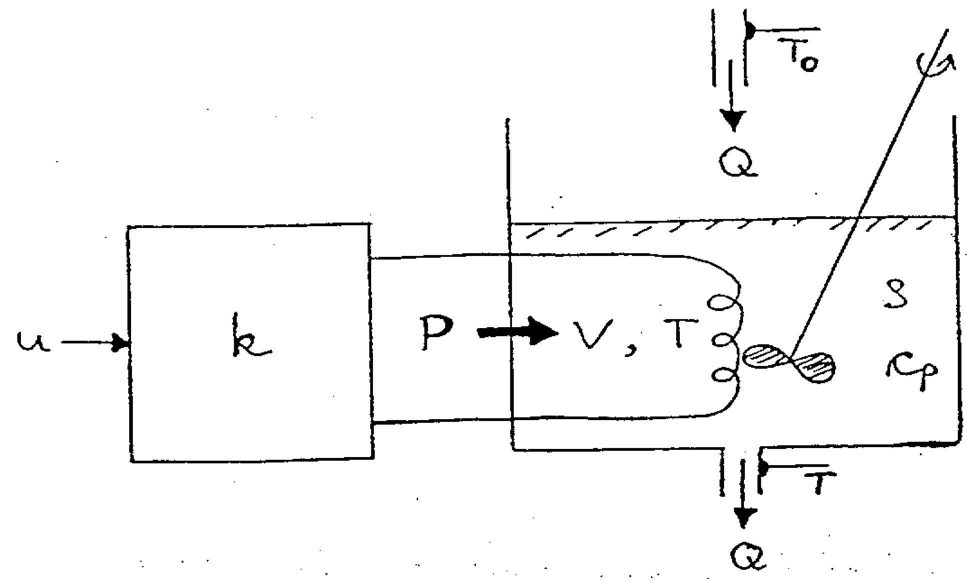


Uppgift: Dimensionera en regulator som ger normala fas- och amplitudmarginaler. (5 p)

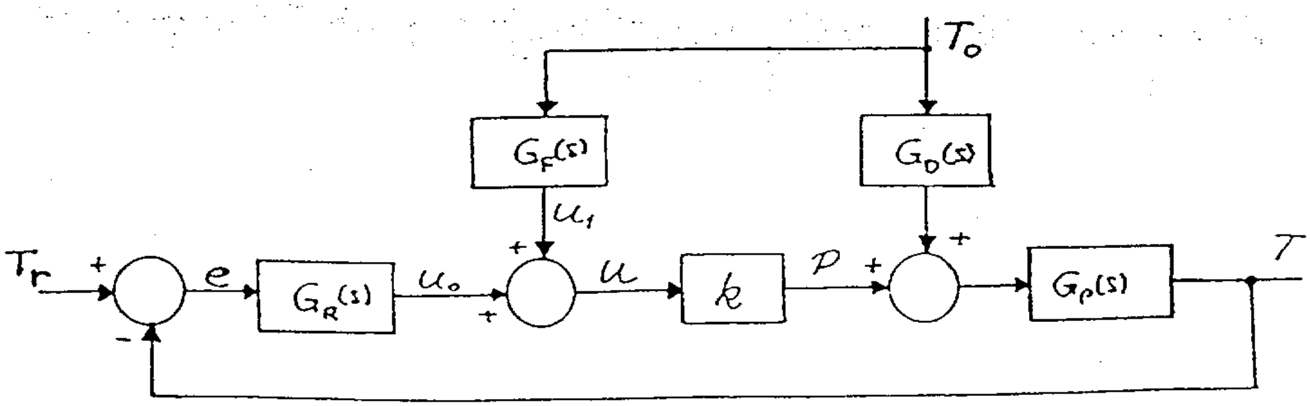
6.

En uppvärmningsprocess med tillflöde, avlopp och elektrisk värmare med god omrörning visas i nedanstående figur. Volymen V och flödet Q betraktas som konstanta parametrar. Den tillförden effekten, P, är via en konstant förstärkning, k, proportionell mot styrningen, u. Vätskans täthet är ρ och dess specifika värme är c_p. Nedanstående energibalans anses gälla:

$$d/dt\{V\rho c_p T\} = P - Q\rho c_p(T - T_0)$$



I nedanstående blockdiagram har de överföringar markerats, som beskriver reglersystemet med framkoppling.



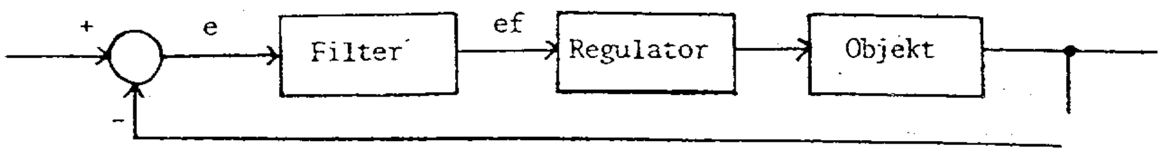
Uppgift Ange processens överföringsfunktioner G_D och G_P. Bestäm även framkopplingen G_F så att ändringar i ingående temperatur ger minimal påverkan på utgående temperatur.

(Beräkning av regulatorn G_R ingår ej i uppgiften!)

(5 p)

7.

Givet: Ett diskret reglersystem



Regulatorn är av P-typ och dess förstärkning $K_R > 0$.

Objektets överföringsfunktion: $G_{OBJ}(z^{-1}) = \frac{z^{-1}}{1 - z^{-1}}$

Filtret beskrives av algoritmen

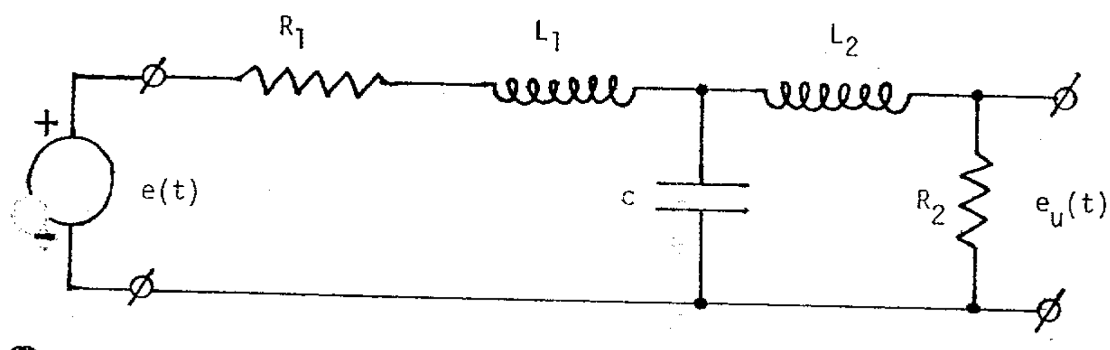
$$ef(n) = \frac{1}{2}\left[ef(n-1) - e(n)\right] + e(n) \quad \text{där} \quad \left.\begin{matrix} e(\ ) \\ ef(\ ) \end{matrix}\right\} \text{ är två variabelnamn}$$

Uppgift: Sök det största värde K_R för vilket kretsen är stabil.

(5 p)

8.

Givet: En elektrisk krets med insignal *e(t)* och utsignal $e_u(t)$.



Uppgift:

Beskriv systemet på tillståndsform ($\dot{x} = Ax + Bu$ och $y = Cx$).

(5 p)

Lösning till tentamen i Reglerteknik för F2

20/8 - 98

1/

$$G(s) = \frac{200(1+\frac{1}{2}s)}{s(s+5)(s+10)} = \frac{4(1+\frac{1}{2}s)}{s(1+\frac{1}{5}s)(1+\frac{1}{10}s)};$$

Låt $s \ll 1$

Svar: $G_{LF}(s) = \dfrac{4}{s}$

Consider the liquid-level control system shown in Figure 5–4(a), where the electromagnetic valve shown in Figure 5–4(b) is used for controlling the inflow rate. This valve is either open or closed. With this two-position control, the water inflow rate is either a positive constant or zero. As shown in Figure 5–5, the output signal continuously moves between the two limits required to cause the actuating element to move from one fixed

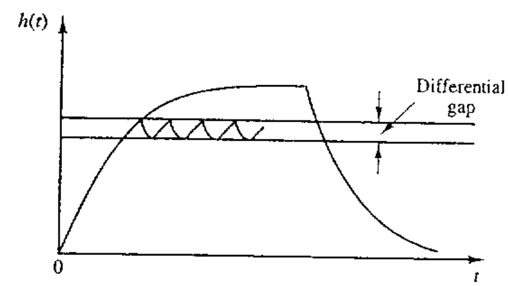


Figure 5–5
Level $h(t)$ versus t curve for the system shown in Figure 5–4(a).

position to the other. Notice that the output curve follows one of two exponential curves, one corresponding to the filling curve and the other to the emptying curve. Such output oscillation between two limits is a typical response characteristic of a system under two-position control.

From Figure 5–5, we notice that the amplitude of the output oscillation can be reduced by decreasing the differential gap. The decrease in the differential gap, however, increases the number of on–off switchings per minute and reduces the useful life of the component. The magnitude of the differential gap must be determined from such considerations as the accuracy required and the life of the component.

En ritad figur ger full poäng.

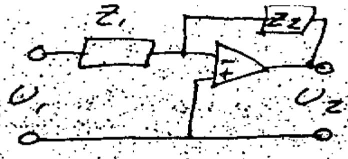
3/

Den inre loopen: $\dfrac{\frac{4}{s+5}}{1+\frac{1}{2}\cdot\frac{4}{s+5}} = \dfrac{4}{s+5+2} = \dfrac{4}{s+7}$

Hela loopen:

$$\frac{\frac{4}{s(s+7)}}{1+\frac{4}{s(s+7)}} = \frac{4}{s^2+7s+4} \Rightarrow \left.\begin{aligned} &\omega_n^2 = 4 \Rightarrow \omega_n = 2 \\ &2\zeta\omega_n = 7 \Rightarrow \zeta = \frac{7}{4} \end{aligned}\right\}$$

4) Kursboken sid 120: Y för förstärkning antages (Kännetecknar en OP-först.)



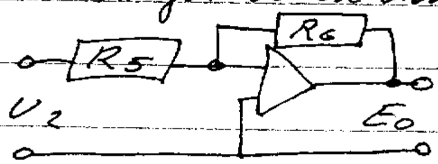
$$\frac{U_2}{U_1} = -\frac{Z_2}{Z_1}$$

$$\frac{1}{Z_1} = \frac{1}{R_1 + \frac{1}{C_1 s}} + \frac{1}{R_3} = \frac{R_3 + R_1 + \frac{1}{C_1 s}}{R_3\left(R_1 + \frac{1}{C_1 s}\right)};$$

Vi skall sträva efter textens form

$$\frac{1}{Z_2} = \frac{1}{R_2 + \frac{1}{C_2 s}} + \frac{1}{R_4} = \frac{R_4 + R_2 + \frac{1}{C_2 s}}{R_4\left(R_2 + \frac{1}{C_2 s}\right)};$$

Sista steget är en inverterare (med viss förstärkningsändring)



$$\Rightarrow \frac{E_0}{U_2} = -\frac{R_6}{R_5};$$

Hela kretsen: $E_0(s)/E_i(s) =$

$$= -\frac{R_4\left(R_2 + \frac{1}{C_2 s}\right)}{R_4 + R_2 + \frac{1}{C_2 s}} \cdot \frac{R_3 + R_1 + \frac{1}{C_1 s}}{R_3\left(R_1 + \frac{1}{C_1 s}\right)} \cdot \frac{-R_6}{R_5} =$$

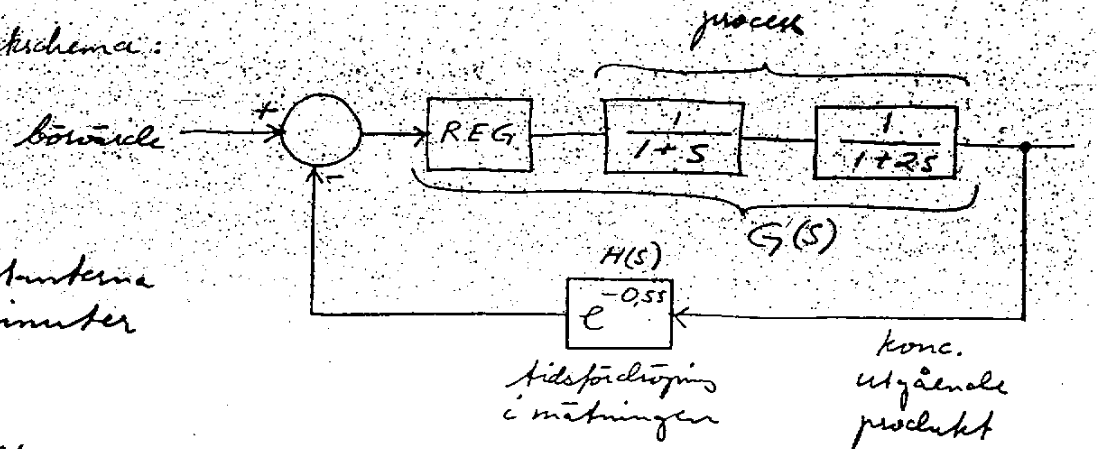
$$\frac{R_2 R_4\left(1 + \frac{1}{R_2 C_2 s}\right)}{(R_2 + R_4)\left(1 + \frac{1}{(R_2 + R_4) C_2 s}\right)} \cdot \frac{(R_1 + R_3)\left(1 + \frac{1}{(R_1 + R_3) C_1 s}\right)}{R_1 R_3\left(1 + \frac{1}{R_1 C_1 s}\right)} \cdot \frac{R_6}{R_5}$$

$$= \underbrace{\frac{R_2 R_4}{R_2 + R_4} \cdot \frac{R_1 + R_3}{R_1 R_3} \cdot \frac{R_6}{R_5}} \cdot \frac{\left(s + \frac{1}{R_2 C_2}\right)\left(s + \frac{1}{(R_1 + R_3) C_1}\right)}{\left(s + \frac{1}{(R_2 + R_4) C_2}\right)\left(s + \frac{1}{R_1 C_1}\right)};$$

SVAR: K_c samt $T_1 = R_2 C_2$; $T_2 = (R_1 + R_3) C_1$

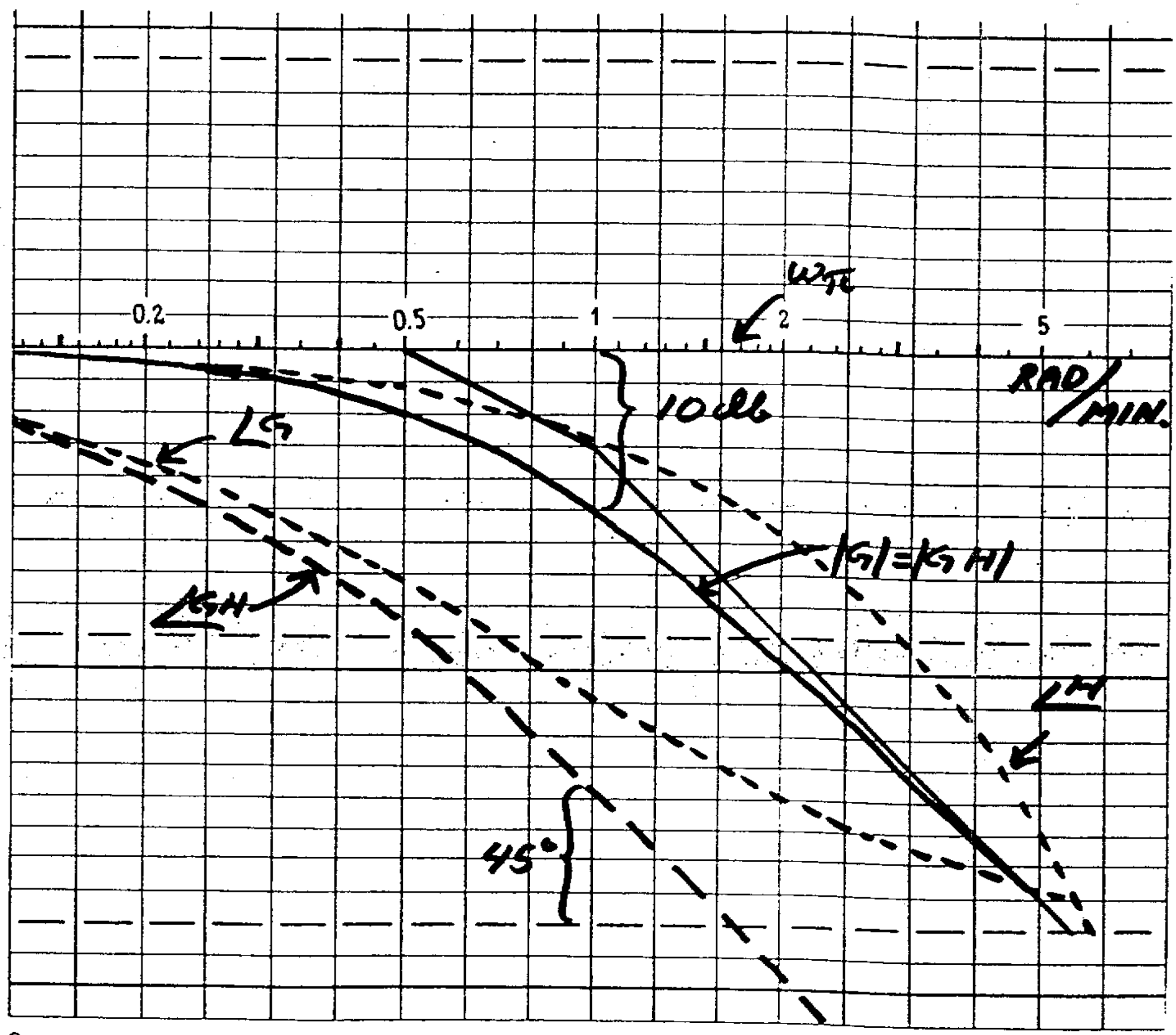
$T_3 = (R_2 + R_4) C_2$; $T_4 = R_1 C_1$

5) Blockschema:



Fördröjningen och tidskonstanterna räknade i minuter

Se Bode-diagram där $G_{REG} = 1$



Ett stabilt system men med för stora marginaler (Ae. $A_m = 17$ db

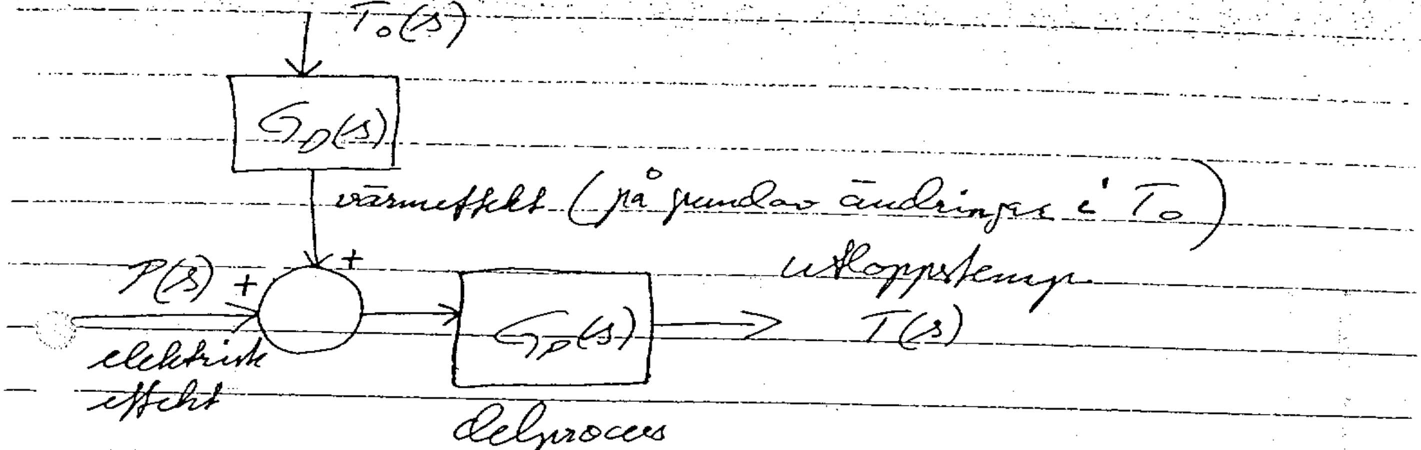
Välj $\varphi_m = 45° \Rightarrow G_R = 10\,db \approx 3$ (en P-reg.)

Då blir $|GH(\omega_\pi)| = 7$ db vilket är OK
(dvs. 17 − 10)

Bättre regulatorer kan göras men detta räcker för uppgiftens krav.

6) Tag fram utsignalen $T(s)$ som funktion av inloppstemp. $T_0(s)$ och tillförd effekt, $P(s)$

Ur detta samband kan $G_P(s)$ och $G_D(s)$ erhållas



Laplace av $\frac{d}{dt} V \rho c_p T = P - Q \rho c_p (T - T_0)$ $\Rightarrow$

$sVT(s) = \frac{1}{\rho c_p} P(s) - Q \cdot T(s) + Q \cdot T_0(s)$ eller

$(sV + Q)\,T(s) = \frac{1}{\rho c_p} P(s) + Q \cdot T_0(s)$ eller

$T(s) = \frac{1}{\rho c_p (sV+Q)} \cdot P(s) + \frac{Q}{sV+Q} \cdot T_0(s)$ = vi önskar samma struktur som schemat ovan

$$= \underbrace{\frac{1}{\rho c_p (sV+Q)}}_{G_P(s)} \left[P(s) + \underbrace{Q \rho c_p}_{G_D(s)} \cdot T_0(s) \right]$$

<u>Framkoppling</u>: Inverkan av störningen T_0 skall elimineras med hjälp av styrningen u. Det skall alltså gälla:

$$T_0 \cdot G_D(s) = - T_0 \cdot G_F(s) \cdot k \quad \text{eller}$$

$$G_F(s) = - \frac{G_D(s)}{k}$$

Svar:
$$\begin{cases} G_P(s) = \dfrac{1}{Q \rho c_p \left(1 + s\frac{V}{Q}\right)} \\ G_D(s) = Q \rho c_p \quad \text{(konstant)} \end{cases}$$

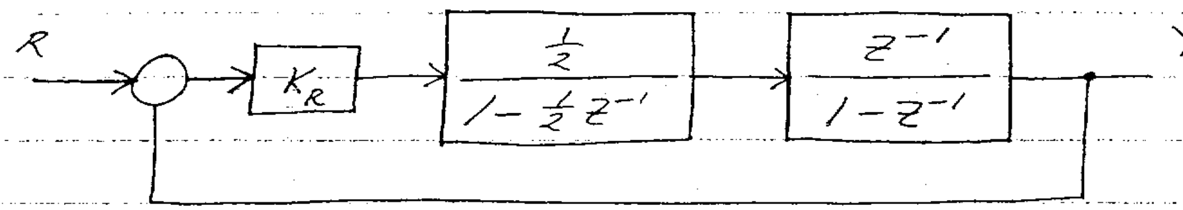
7) Regulatorn $G_R(z^{-1}) = K_R$

Filtrets ö-fkn $G_F(z^{-1})$ sökes

Z-transformera differensekv.:

$$EF(z^{-1}) = \frac{1}{2} EF(z^{-1}) \cdot z^{-1} - \frac{1}{2} E(z^{-1}) + E(z^{-1})$$

$$\therefore G_F(z^{-1}) = \frac{EF(z^{-1})}{E(z^{-1})} = \frac{\frac{1}{2}}{1 - \frac{1}{2} z^{-1}}$$



$$\frac{Y}{R} = \frac{K_R \cdot \frac{1}{2} \cdot z^{-1}}{\left(1 - \frac{1}{2} z^{-1}\right)\left(1 - z^{-1}\right) + \frac{K_R}{2} \cdot z^{-1}};$$

Kar. ekv. $1 - z^{-1} - \frac{1}{2} z^{-1} + \frac{1}{2} z^{-2} + \frac{K_R}{2} \cdot z^{-1} = 0;$

eller

$$z^{-2} + z^{-1}(K_R - 3) + 2 = 0$$

Möbius-transformation $z = \frac{1+w}{1-w} \Rightarrow$

$$\frac{(1-w)^2}{(1+w)^2} + \frac{1-w}{1+w} \cdot (K_R - 3) + 2 = 0;$$

$$1 + w^2 - 2w + (K_R - 3)(1-w)(1+w) + 2(1+w)^2 = 0;$$

$$1 + w^2 - 2w + (K_R - 3)(1 - w^2) + 2(w^2 + 1 + 2w) = 0;$$

$$w^2(1 - K_3 + 3 + 2) + w(-2 + 4) + (1 + K_R - 3 + 2) = 0;$$

$$w^2(6 - K_R) + 2w + K_R = 0;$$

Routh's stab.krit

$$\left.\begin{array}{l|ll} w^2 & 6 - K_R & K_R \\ w^1 & 2 & 0 \\ w^0 & K_R & \end{array}\right\} \Rightarrow$$

$K_R > 0$ enligt texten

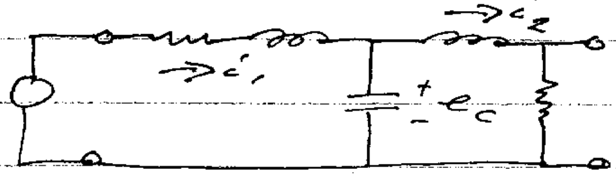
$6 - K_R > 0 \Rightarrow K_R < 6$

Svar: $0 < K_R < 6$

Sök pos. kolonn!

8/

Energi kan lagras på tre ställen i kretsen: som laddning i kondensatorn och som magnetfält i spolarna. Vi behöver alltså tre st. tillstånds-variabler (t.ex. i_1, i_2 och e_c)



$$e = R_1 \cdot i_1 + L_1 \frac{di_1}{dt} + e_c$$

$$e_c = L_2 \frac{di_2}{dt} + i_2 \cdot R_2$$

samt laddningsändring i kondensatorn $C \frac{de_c}{dt} = i_1 - i_2$

Sätt $\begin{bmatrix} X_1 \\ X_2 \\ X_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} i_1 \\ i_2 \\ e_c \end{bmatrix}$ samt $u = e$ och $y = e_u$

$$\therefore \left.\begin{aligned} L_1 \cdot \dot{X}_1 &= -R_1 X_1 - X_3 + u \\ L_2 \dot{X}_2 &= -R_2 X_2 + X_3 \\ C \dot{X}_3 &= X_1 - X_2 \end{aligned}\right\} \quad \text{samt } e_u = i_2 \cdot R_2$$

I matrisform (SVAR):

$$\begin{bmatrix} \dot{X}_1 \\ \dot{X}_2 \\ \dot{X}_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\frac{R_1}{L_1} & 0 & -\frac{1}{L_1} \\ 0 & -\frac{R_2}{L_2} & \frac{1}{L_2} \\ \frac{1}{C} & -\frac{1}{C} & 0 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} X_1 \\ X_2 \\ X_3 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \frac{1}{L_1} \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \cdot u$$

samt $y = \begin{bmatrix} 0 & R_2 & 0 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \end{bmatrix}$