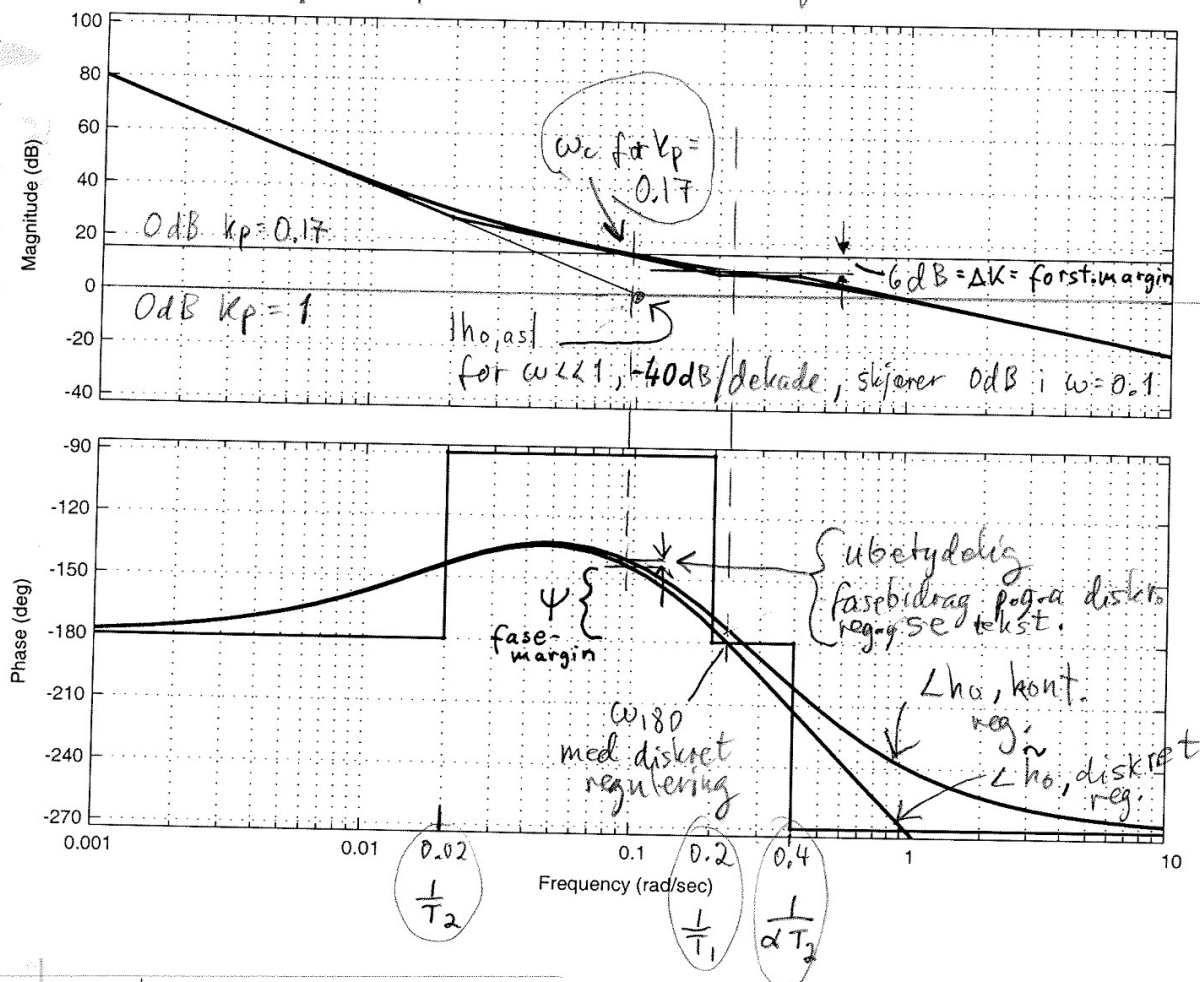


# Løsningsforslag eksamen 3005 regulerings- teknikk 15/5-2003

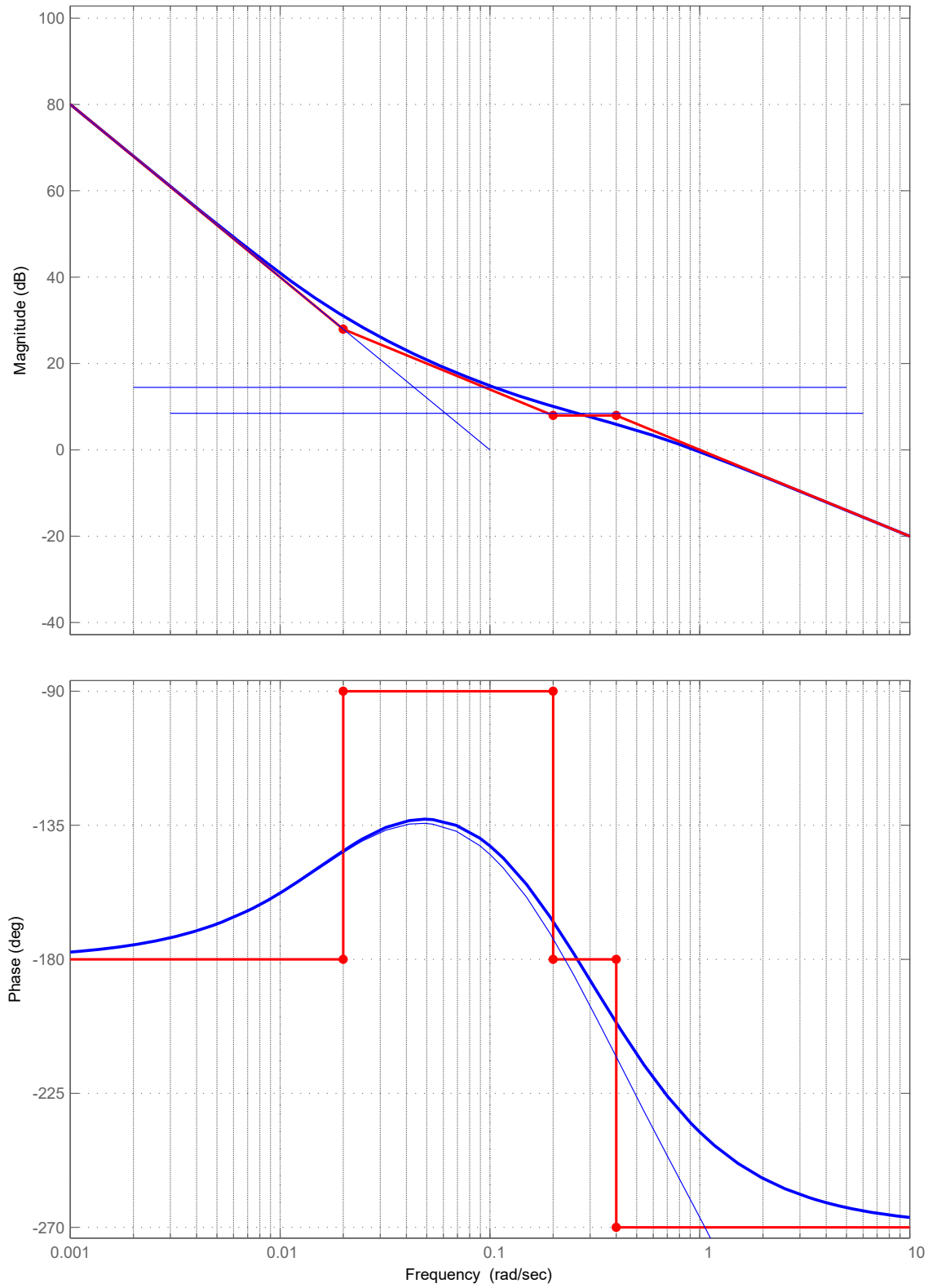
1a) Dette er en begrenset PD-regulator.  
Prosesen har  $\angle h_u < -180^\circ \forall \omega \Rightarrow$   
den kan bare stabiliseres med en regulator  
med derivetvirkning.

1b) Av Bode diagrammet ser vi at systemet er  
ustabilt for  $k_p = 1$ . Se ellers figur:



For  $k_p = 1$  er  $\omega_c \gg \omega_{180} \Rightarrow$  ustabilt system

Bode Diagram





- 2 -

1c) Haldelementet fører til nærmest til at det introduceres en tidsforsinkelise  $= \frac{T}{2}$  i den lukkede sløjfe. Dette gir til nærmest en ny  $\tilde{h}_0 = h_0 e^{-\frac{T}{2}s}$ . Se figur forrige side. Vi må addere  $-\frac{T}{2} \cdot \omega = -0.5\omega$  ved alle frekvenser, dvs.  $-0.5 \cdot \frac{180}{\pi} \cdot \omega$  når vi går om til grader.

1d) Fra diagrammet ser vi at vi må redusere  $k_p$  med ca. 15.5 dB for å få 6 dB fasemargin. Ny  $k_p$  blir da  $1 \cdot 10^{-\frac{15.5}{20}} \approx 0.17$

Kryssfrekvensen er ca. 0.093. Fasebidraget blir da  $-0.5 \frac{180}{\pi} \cdot 0.093 = -2.7^\circ \Rightarrow$  minimal innvirkning fra haldelementet  $\Rightarrow T$  er liten nok!

1e) Nærmere i det lukkede system blir  $n_0(s) + t_0(s)$ , der  $h_0 = \frac{t_0}{n_0} :$

$$s^2(1 + \alpha T_2 s) + k_p k (1 + T_2 s)(1 - T_1 s) \\ = \alpha T_2 s^3 + (1 - T_1 T_2 k_p k) s^2 + k_p k (T_2 - T_1) s + k_p k$$

Tabell:

$$\frac{\alpha T_2}{(1 - k_p k T_1 T_2)} \quad \frac{k_p k (T_2 - T_1)}{k_p k} \\ k_p k (T_2 - T_1 - \frac{\alpha T_2}{1 - k_p k T_1 T_2})$$

1f)  $k_p k$   
For det første må alle koeffisientene i  $n_0(s) + t_0(s)$  ha samme fortegn. Dette innebærer kravet  $T_2 > T_1$

- 3 -

noe som er rimelig, for med  $T_2 < T_1$  ville det ikke bli mulig å få faren til å over  $-180^\circ$ , dvs. vi ville ikke hatt noen derivatutveksling.

1g) Erstattet  $e^{-Ts}$  med en rasjonal approksimasjon, f.eks.  $e^{-Ts} \approx \frac{1 - \frac{Ts}{2}}{1 + \frac{Ts}{2}}$

Oppgave 2 a) Vi har for romtemperaturer:

$$C_L V \frac{dx_1}{dt} = g_{1V}(V - x_1) + g_{21}(x_2 - x_1)$$

$$\Rightarrow \frac{1}{C_L V} = k_1, \quad g_{1V} = k_3$$

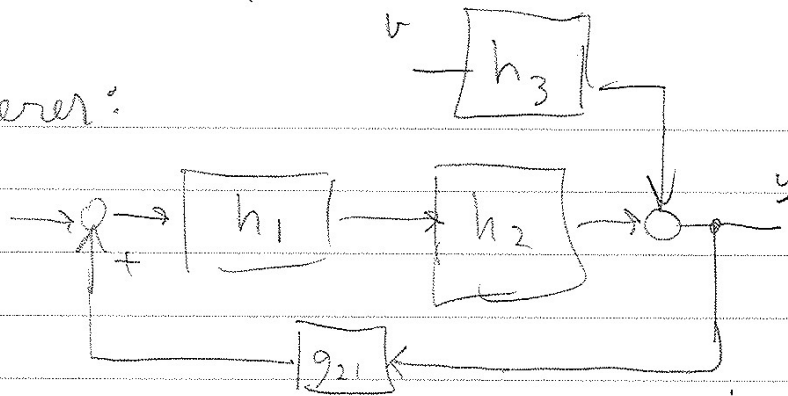
For ovenn:

$$C_E \frac{dx_2}{dt} = u - g_{21}(x_2 - x_1)$$

$$\Rightarrow k_2 = \frac{1}{C_E}$$

-4-

2b) Definerer:



$$V_i \text{ her } h_3 = \frac{k_3 \cdot k_1 \cdot \frac{1}{s}}{1 + (g_{21} + k_3)k_1 \cdot \frac{1}{s}} = \frac{k_1 k_3}{s + (g_{21} + k_3)k_1}$$

$$h_1 = \frac{k_2 \cdot \frac{1}{s} \cdot g_{21}}{1 + k_2 \frac{1}{s} g_{21}} = \frac{k_2 g_{21}}{s + k_2 g_{21}}$$

$$h_2 = \frac{k_1 \cdot \frac{1}{s}}{1 + (g_{21} + k_3)k_1 \frac{1}{s}} = \frac{k_1}{s + (g_{21} + k_3)k_1} \Rightarrow \begin{cases} h_3 = k_3 \cdot h_2 \\ n_3 = n_2 \\ t_3 = k_3 t_2 \end{cases}$$

$$h_{vy} = h_3 \cdot \frac{1}{1 - h_1 h_2 g_{21}} = \frac{t_3}{n_3} \cdot \frac{1}{1 - \frac{t_1}{n_1} \cdot \frac{t_2}{n_2} \cdot g_{21}}$$

$$= \frac{t_3 \cdot n_1 \cdot n_2}{n_3 \cdot n_1 \cdot n_2 - t_1 t_2 n_3 g_{21}} = \frac{k_1 k_3 (s + k_2 g_{21})}{(s + k_2 g_{21})(s + (g_{21} + k_3)k_1) - k_1 k_2 g_{21}^2}$$

$$= \frac{k_1 k_3 (s + k_2 g_{21})}{s^2 + (k_2 g_{21} + k_1 k_3 + k_1 g_{21})s + k_1 k_2 k_3 g_{21} + k_1 k_2 g_{21}^2 - k_1 k_2 g_{21}^2}$$

$$= \frac{k_1 k_3 (s + k_2 g_{21})}{s^2 + (g_{21}(k_1 + k_2) + k_1 k_3)s + k_1 k_2 k_3 g_{21}}$$



- 5 -

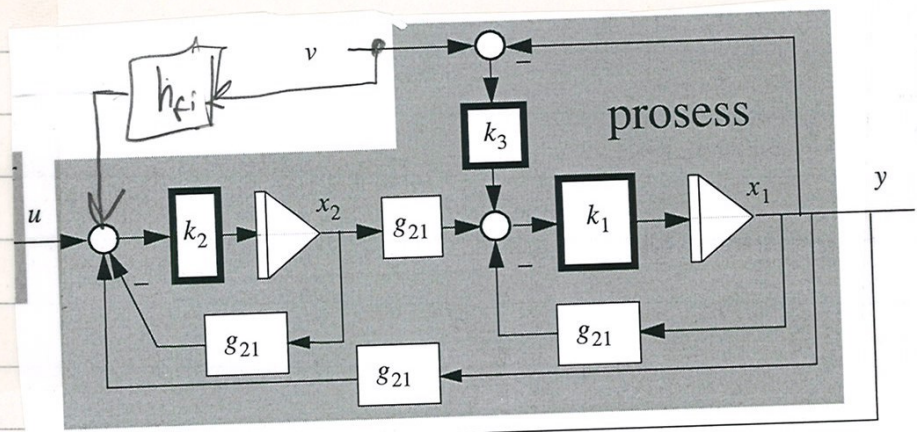
2c)

$$\text{Slutteverdi-teoremet: } y(\infty) = \lim_{s \rightarrow 0} s \left[ h_{vy}(s) \cdot \frac{V_0}{s} \right] = h_{vy}(0)$$

$$= \frac{k_1 k_2 k_3 g_{21}}{k_1 k_2 k_3 g_{21}} \cdot V_0 = V_0 \Rightarrow \text{rimelst, for}$$

mår det ikke er nogen opvarmning vil rumtemp.  $y$   
 $\rightarrow$  utetemp.  $V_0$ .

2d)



figur 2.1

$$V_0 \text{ kan } h_{fi} \cdot \frac{k_2 \cdot \frac{1}{s} \cdot g_{21}}{1 + k_2 \cdot \frac{1}{s} \cdot g_{21}} + k_3 = 0$$

$$\Rightarrow h_{fi} = \frac{-k_3 (s + k_2 g_{21})}{k_2 g_{21}} = -K_f (1 + T_f s)$$

med  $T_f = \frac{1}{k_2 g_{21}}$ ,  $K_f = k_3$

2e) Statisk  $h_f = h_{fi}(0) = -k_3$

Den fjerner avvik når utetemperaturen er konstant.

ikke realiserbar p.g. uendelig derivat-  
 bitrækning ved høje frekvenser

Eksamen i SIE3005 reguleringsteknikk  
(flervalgs-seksjon)  
NTNU, 15. mai 2003

Høyeste oppnåelige samlet poengsum = 50.00

|     | A           | B           | C           | D           | E           | F           |
|-----|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| o 1 | -0.40       | -0.40       | -0.40       | -0.40       | -0.40       | <b>2.00</b> |
| o 2 | <b>2.00</b> | -0.40       | -0.40       | -0.40       | -0.40       | -0.40       |
| o 3 | -0.40       | -0.40       | -0.40       | -0.40       | <b>2.00</b> | -0.40       |
| o 4 | -0.40       | <b>2.00</b> | -0.40       | -0.40       | -0.40       | -0.40       |
| o 5 | -0.40       | -0.40       | -0.40       | <b>2.00</b> | -0.40       | -0.40       |
| o 6 | -0.40       | -0.40       | <b>2.00</b> | -0.40       | -0.40       | -0.40       |
| o 7 | -0.80       | -0.80       | -0.80       | -0.80       | <b>4.00</b> | -0.80       |
| o 8 | -0.60       | -0.60       | -0.60       | <b>3.00</b> | -0.60       | -0.60       |
| o 9 | <b>1.33</b> | <b>1.33</b> | -0.50       | -1.75       | -1.75       | <b>1.33</b> |
| o10 | -0.70       | -0.43       | -0.43       | -0.43       | <b>3.00</b> | -1.00       |
| o11 | -0.97       | <b>4.00</b> | -0.97       | -0.97       | -0.10       | -0.97       |
| o12 | -1.33       | -1.33       | <b>1.33</b> | <b>1.33</b> | -1.33       | <b>1.33</b> |
| o13 | <b>2.00</b> | -1.00       | -1.00       |             |             |             |
| o14 | -1.00       | <b>2.00</b> | -1.00       |             |             |             |
| o15 | <b>2.00</b> | -1.00       | -1.00       |             |             |             |
| o16 | -1.00       | -1.00       | <b>2.00</b> |             |             |             |
| o17 | -1.00       | <b>2.00</b> | -1.00       |             |             |             |
| o18 | <b>2.00</b> | -1.00       | -1.00       |             |             |             |
| o19 | -0.97       | <b>4.00</b> | -0.97       | -0.97       | -0.97       | -0.10       |