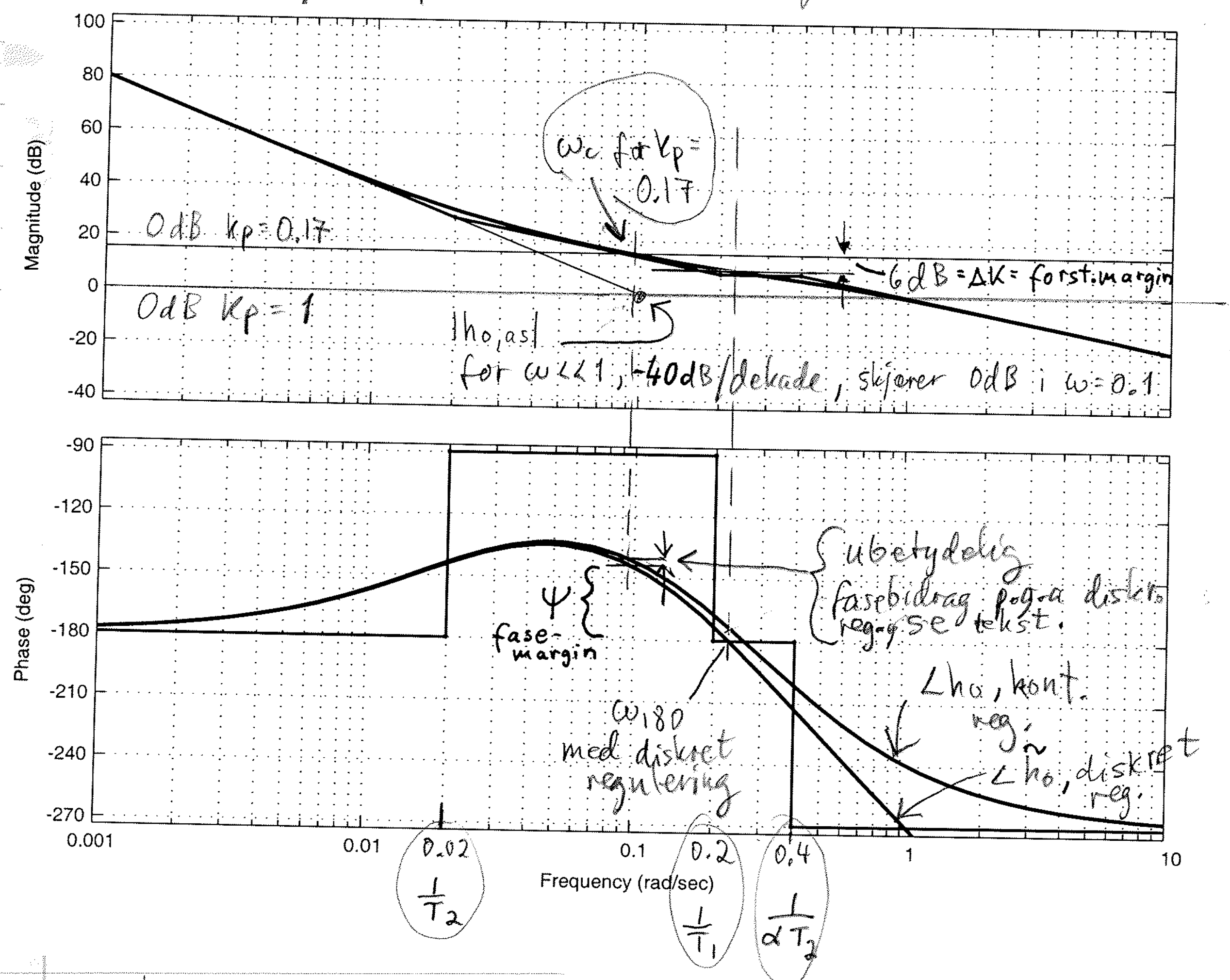
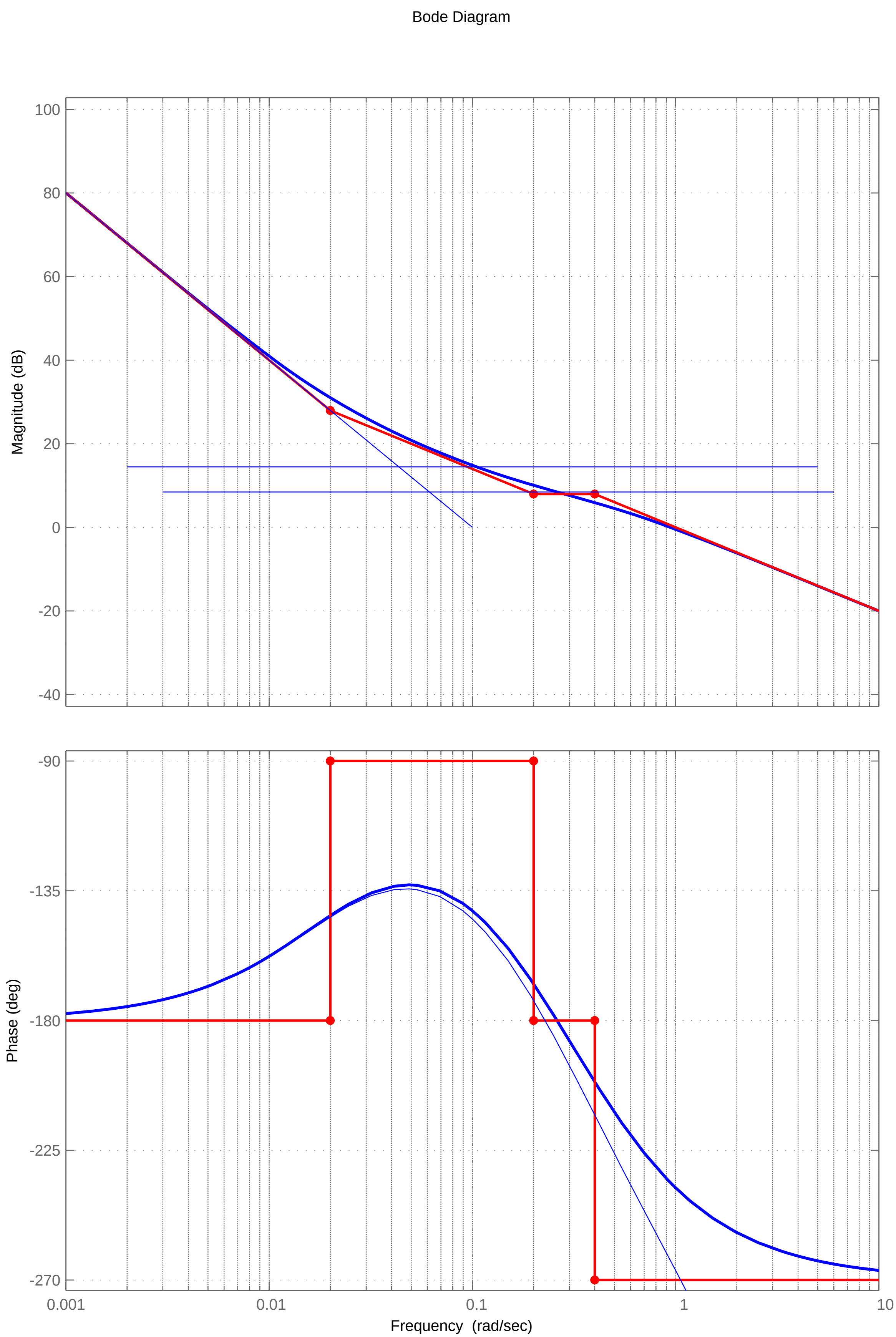
Løsningsforslag eksamen 3005 reguleringsteknikk 15/5 - 2003

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

1b) Av Bodediagrammet 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
Magnitude (dB)
100
80
60
40
20
0
-20
-40
Phase (deg)
-90
-135
-180
-225
-270
0.001
0.01
0.1
1
10
Frequency (rad/sec)

1c) Holdeelementet fører tilnærmet til at det introduseres en tidsforsinkelse $= \frac{T}{2}$ i den lukkede sløyfen. Dette gir tilnærmet 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 gjør 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 $1\cdot 10^{-\frac{15.5}{20}} \approx \underline{0.17}$

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

1e) Nevneren 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:

$$\begin{array}{ll}
\alpha T_2 & K_p K(T_2 - T_1) \\
(1 - K_p K T_1 T_2) & K_p K \\
\hline
K_p K\left(T_2 - T_1 - \dfrac{\alpha T_2}{1 - K_p K T_1 T_2}\right) & \\
K_p K &
\end{array}$$

1f) For det første må alle koeffisientene i $n_0(s)+t_0(s)$ ha samme fortegn. Dette innebærer kravet $T_2 > T_1$, noe som er rimelig, for med $T_2 < T_1$ ville det ikke bli mulig å få fasen til å gå over $-180°$, dvs. vi ville ikke hatt noen derivatvirkning.

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

Oppgave 2 a) Vi har for romtemperaturen:

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

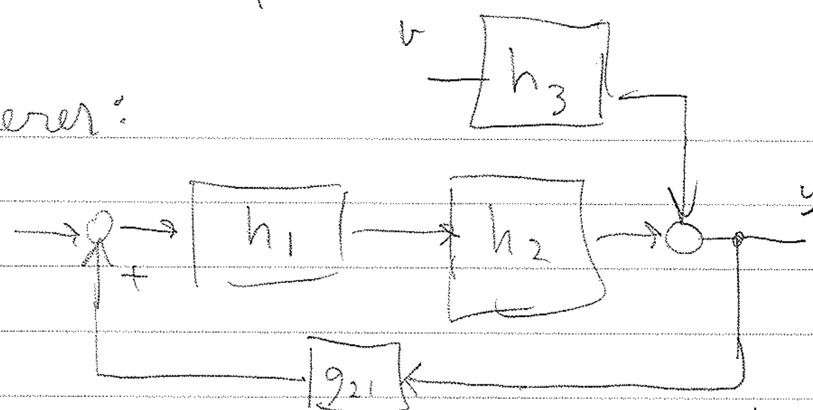
$$\Rightarrow \frac{1}{c_L V} = k_1, \quad g_{1v} = k_3$$

For ovnen:

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

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

2b) Definerer:



Vi har $h_3 = \frac{k_3 \cdot k_1 \frac{1}{s}}{1+(g_{21}+k_3)k_1 \cdot \frac{1}{s}} = \frac{k_1 k_3}{s+(g_{21}+k_3)k_1}$

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

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

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

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

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

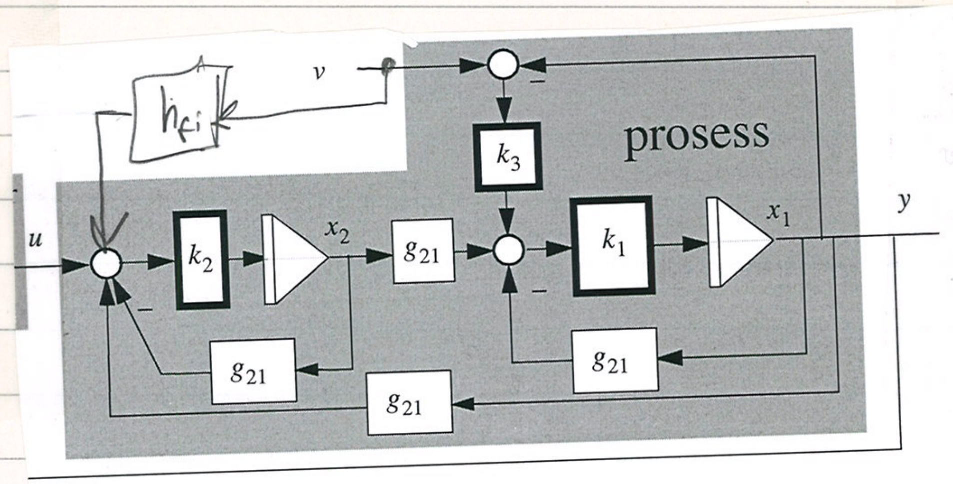
$$= \frac{k_1 k_3 (s+k_2 g_{21})}{s^2 + (g_{21}(k_1+k_2)+k_1 k_3)s + k_1 k_2 k_3 g_{21}}$$

2c) Sluttverditeoremet: $y(\infty) = \lim_{s \to 0} s \cdot \left[h_{vy}(s) \cdot \frac{v_0}{s} \right] = h_{vy}(0)$

$$= \frac{k_1 k_2 k_3 g_{21}}{k_1 k_2 k_3 g_{21}} \cdot v_0 = v_0 \Rightarrow \text{rimelig, for}$$

når det ikke er noen oppvarming vil innetemp. y $\longrightarrow$ utetemp. v_0.

2d)



figur 2.1

Vi har $h_{fi} \cdot \frac{k_2 \cdot \frac{1}{s} \cdot g_{21}}{1 + k_2 \cdot \frac{1}{s} \cdot g_{21}} + k_3 = 0$

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

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

(ikke realiserbar p.g.a uendelig derivat-virkning ved høye frekvenser)

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

Den fjerner avvik når utetemperaturen er konstant.

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	**2.00**
o 2	**2.00**	−0.40	−0.40	−0.40	−0.40	−0.40
o 3	−0.40	−0.40	−0.40	−0.40	**2.00**	−0.40
o 4	−0.40	**2.00**	−0.40	−0.40	−0.40	−0.40
o 5	−0.40	−0.40	−0.40	**2.00**	−0.40	−0.40
o 6	−0.40	−0.40	**2.00**	−0.40	−0.40	−0.40
o 7	−0.80	−0.80	−0.80	−0.80	**4.00**	−0.80
o 8	−0.60	−0.60	−0.60	**3.00**	−0.60	−0.60
o 9	**1.33**	**1.33**	−0.50	−1.75	−1.75	**1.33**
o10	−0.70	−0.43	−0.43	−0.43	**3.00**	−1.00
o11	−0.97	**4.00**	−0.97	−0.97	−0.10	−0.97
o12	−1.33	−1.33	**1.33**	**1.33**	−1.33	**1.33**
o13	**2.00**	−1.00	−1.00			
o14	−1.00	**2.00**	−1.00			
o15	**2.00**	−1.00	−1.00			
o16	−1.00	−1.00	**2.00**			
o17	−1.00	**2.00**	−1.00			
o18	**2.00**	−1.00	−1.00			
o19	−0.97	**4.00**	−0.97	−0.97	−0.97	−0.10