

DATO: 14. februar 2002



HØGSKOLEN
I STAVANGER

Avdeling for teknisk -
naturvitenskapelige fag

EKSAMEN I: TE 179 Reguleringssteknikk 1

VARIGHET: 5 timer

TILLATTE HJELPEMIDLER: Godkjent kalkulator

OPPGAVESETTET BESTÅR AV 4 OPPGAVER PÅ 6 SIDER

MERKNADER: Formelvedlegget er fra side 7 t.o.m side 11.

Side 12 skal leveres inn som en del av oppgaven.

Oppgavene har ulik vekt.

KONTAKTPERSON: Tormod Drengstig, E-423a, tlf. (518)32025/93885533.

Oppgave 1 (30%)

En prosess er beskrevet ved transferfunksjonen

$$\frac{y(s)}{u(s)} = h(s) = \frac{0.5(s-1)}{s^2 + 3s + 3} \quad (1)$$

a) (6%)

Finn et uttrykk for prosessens frekvensrespons, dvs. amplitudeforsterkning $|h(j\omega)|$ og faseforskyvning $\angle h(j\omega)$.

b) (6%)

Bestem polene til systemet og benytt dette til å bestemme stabilitetsegenskapene til systemet (marginalt stabilt, ustabilt, asymptotisk stabilt). Bestem også ω_0 og ζ . Er dette et underdempet, overdempet eller kritisk dempet system? Husk at nevneren i transferfunksjonen $h(s)$ generelt kan skrives som

$$h(s) = \frac{K}{(\frac{s}{\omega_0})^2 + 2s\frac{\zeta}{\omega_0} + 1} \quad (2)$$

c) (6%)

Skisser asymptotiske amplitude-fase-frekvens karakteristikker (asymptotisk Bode-diagram) for $h(s)$.

d) (6%)

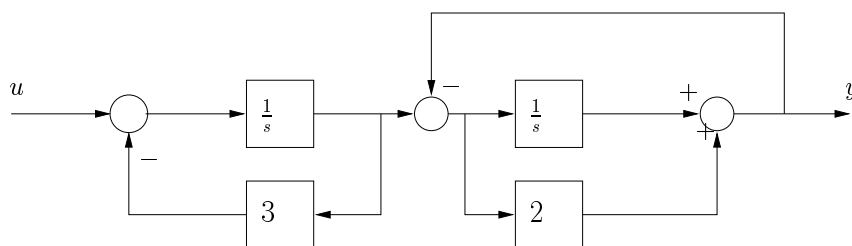
La pådraget være en **rampe** $u(t) = 2t$ for $t > 0$. Finn amplituden til det stasjonære utgangssignalet.

e) (6%)

Ut fra kjennskap til $h(s)$, grovskisser denne ramperesponsen.

Oppgave 2 (10%)

Gitt blokkdiagrammet i figur 1.

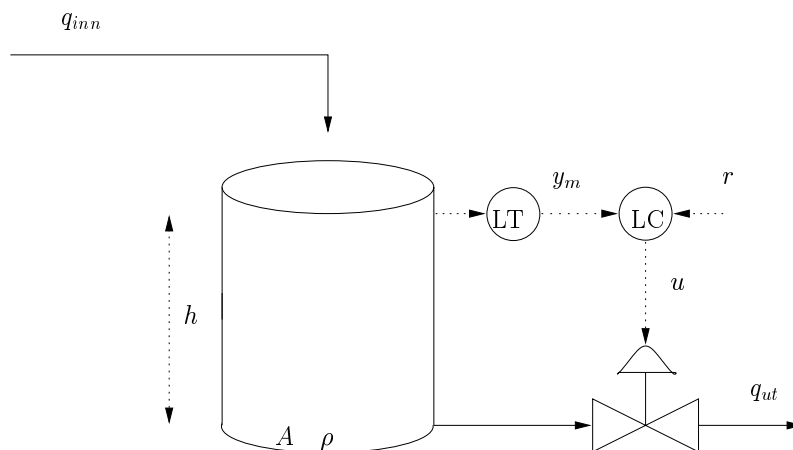


Figur 1: Blokkdiagram som skal reduseres

Benytt blokkskjemareduksjonsregler og finn transferfunksjonen $\frac{y(s)}{u(s)}$. Det gis ikke poeng for å skrive opp transferfunksjonen direkte.

Oppgave 3 (40%)

Figur 2 viser et nivåreguleringssystem for en åpen tank hvor $y = h$.



Figur 2: Skjematisk figur av tankprosess med regulator og måleelement

For enkelhets skyld antar vi at målesignalet y_m har enheten meter, selv om det i virkeligheten vil være et strøm- eller spenningssignal.

Transferfunksjonen til måleinstrumentet (LT) er

$$h_m(s) = \frac{1}{10s + 1} \quad (3)$$

Regulatoren er foreløpig en ren P-regulator

$$u = K_p(r - y) = K_p e \quad (4)$$

Volumstømmen av væske ut av tanken gjennom ventilen kan modelleres som

$$q_{ut} = K_u \cdot u = C_v \sqrt{\Delta p} \cdot u = C_v \sqrt{p_2 - p_1} \cdot u \quad (5)$$

hvor p_2 er trykket i bunn av tanken (dvs. atmosfæretrykk + væsketrykk), og p_1 er trykket nedstrøms ventilen. Anta at p_1 er lik atmosfæretrykket.

En oppsummering av notasjoner som brukes her er gitt under:

q_{inn}	: volumestrøm inn [m ³ /s]
q_{ut}	: volumestrøm ut [m ³ /s]
LT	: Level Transmitter (måletransmitter)
LC	: Level Controller (regulator)
y_m	: målt høyde i tank [m]
r	: referanse høyde [m]
h	: høyde i tank [m]
u	: pådrag til ventil []
ρ	: tetthet av væsken [kg/m ³]
p_2	: trykk i bunn av tank [Pa]
p_1	: trykk nedstrøms ventil [Pa]
C_v	: ventilkapasitet [m ³ /(s√Pa)]
A	: Areal i bunn av tank [m ²]

a) (6%)

Skriv ned hvilke antagelser som må gjøres og vis at differensiallikningen som beskriver høyden i tanken er gitt ved:

$$A \frac{dh}{dt} = q_{inn} - C_v \sqrt{\rho g h} \cdot u \quad (6)$$

b) (6%)

Tegn et matematisk blokkdiagram av (6). Inkluder deretter regulatorblokken samt tilbakekopling med måle-element (tegn dette som $h_m(s)$) slik at vi får et komplett blokkskjema av reguleringssystemet. La utgangen fra blokkskjemaet være $y = h$.

c) (6%)

Lineariser modellen i (6) omkring arbeidspunktet $h_A = 9\text{m}$ og $u_A = 0.6$ (tilsvarer 60% åpning) og sett inn følgende verdier:

- $\rho = 640 \text{ kg/m}^3$
- $A = 4 \text{ m}^2$
- $g = 10 \text{ m/s}^2$
- $C_v = 30 \text{ m}^3 / (\text{s}\sqrt{\text{Pa}})$

Sett deretter $\Delta h = \Delta y$ og $\Delta q_{inn} = \Delta v$ og vis at transferfunksjonen $h_p(s)$ fra Δu til Δy er

$$h_p(s) = \frac{\Delta y}{\Delta u} = \frac{-1800}{s + 60} \quad (7)$$

d) (6%)

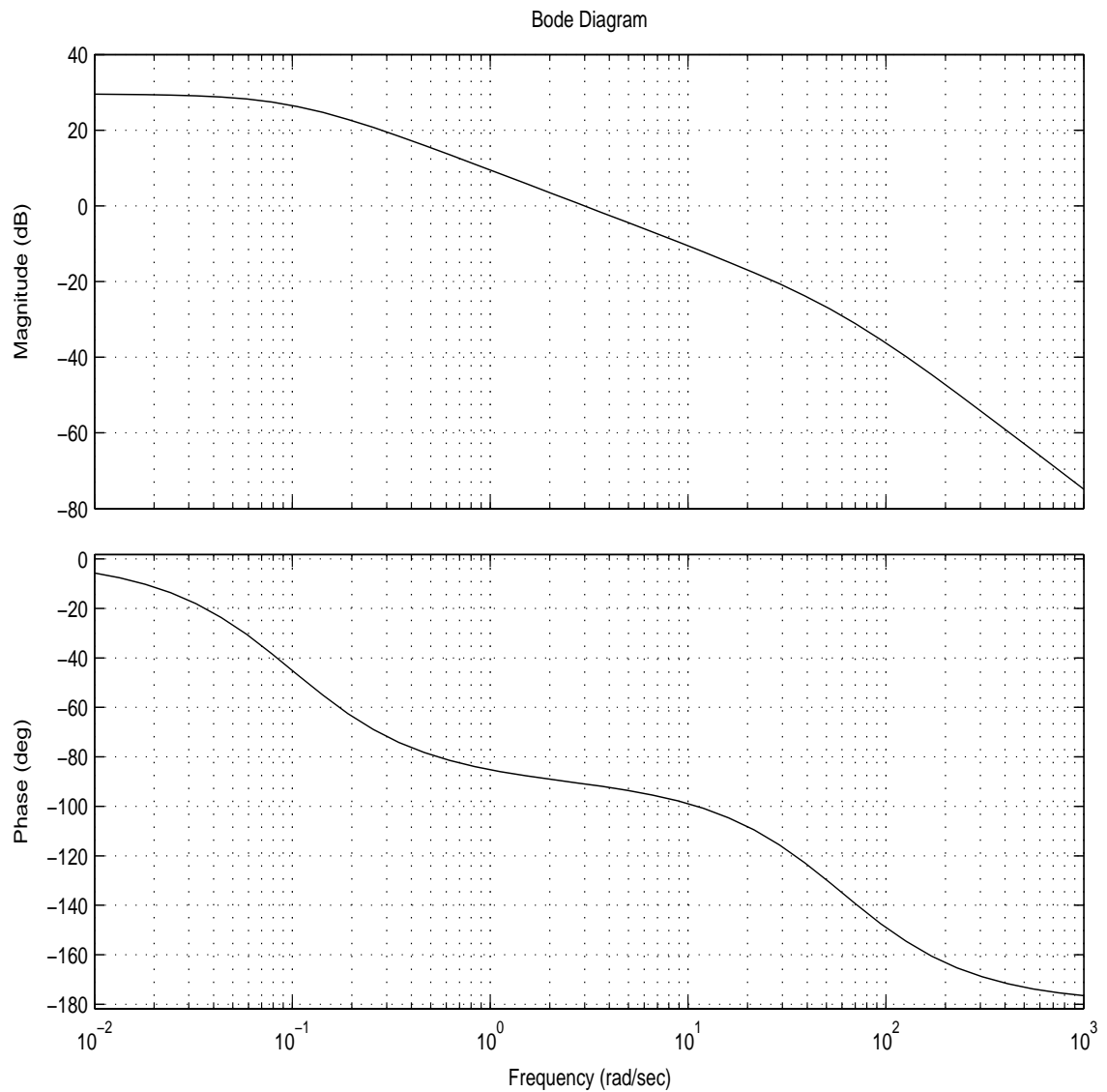
Finn transferfunksjonene $h_0(s)$, $M(s)$ og $N(s)$.

e) (6%)

I figur 4 er Bodeplottet for $h_0(j\omega)$ med $K_p = -1$ vist. Bestem hvor mye denne K_p må forsterkes for at vi skal få en fasemargin på 50° .

Hva er forsterkningsmarginen til systemet?

For hvilke frekvensområder er regulering effektiv (gir god ytelse)?



Figur 3: Bodeplot av sløyfetransferfunksjonen $h_0(j\omega)$. Det finnes en kopi av figuren på side 12.

f) (6%)

Erstatt P-regulatoren med en PI-regulatoren

$$h_r(s) = \frac{K_p(1 + T_i s)}{T_i s} \quad (8)$$

Beregn ny $h_0(s)$ og $N(s)$ og vis at det stasjonære avviket er null ved et enhetssprang i referansen. Tips: $N(s) = \frac{e(s)}{r(s)}$

g) (4%)

Forklar hvorfor regulatoren må ha reversvirkning, dvs. negativ K_p .

Oppgave 4 (20%)

a) (3%)

Hvilken innvirkning har en ren tidsforsinkelse på systemets amplitude- og fasekarakteristikk? Illustrer gjerne en prinsipiell skisse av AFF diagrammet.

b) (2%)

Forklar med ord hva du forstår med et systems impulsrespons.

c) (3%)

Er det en sammenheng mellom sprangrespons og frekvensrespons? Begrunn svaret.

d) (2%)

Forklar med ord hvorfor en ren P-regulator i mange tilfeller gir reguleringsavvik. Hvorfor vil det hjelpe å inkludere integralvirkning?

e) (2%)

Hva er sammenhengen mellom polplassering og stabilitet av et system?

f) (3%)

I hvilke sammenhenger snakker vi om et reguleringsystems ytelse?

g) (2%)

Hvordan er båndbredden til ett første og ett annen ordens system definert?

h) (3%)

Hva er hensikten og hva oppnår man med å benytte en regulator til å regulere en prosess?

Formelsamling

Linearisering:

$$\Delta \dot{x} = \frac{\partial f}{\partial x}|_{x^p, u^p} \Delta x + \frac{\partial f}{\partial u}|_{x^p, u^p} \Delta u \quad (9)$$

$$\frac{\partial f}{\partial x} = \begin{bmatrix} \frac{\partial f_1}{\partial x_1} & \frac{\partial f_1}{\partial x_2} \\ \frac{\partial f_2}{\partial x_1} & \frac{\partial f_2}{\partial x_2} \end{bmatrix} \quad (10)$$

$$\frac{\partial f}{\partial u} = \begin{bmatrix} \frac{\partial f_1}{\partial u} \\ \frac{\partial f_2}{\partial u} \end{bmatrix} \quad (11)$$

Et komplekst tall z kan skrives på kartesisk form slik:

$$z = \operatorname{Re}(z) + j\operatorname{Im}(z) \quad (12)$$

eller på polar form slik:

$$z = |z|e^{j\angle z} \quad (13)$$

Sammenheng mellom kartesisk og polar form:

$$|z| = \sqrt{\operatorname{Re}(z)^2 + \operatorname{Im}(z)^2} \quad (14)$$

$$\angle z = \arctan \frac{\operatorname{Im}(z)}{\operatorname{Re}(z)} \quad (15)$$

Egenskaper ved Laplacetransformasjonen

Tidsforsinkelse:

$$f(s)e^{-\tau s} \Longleftrightarrow f(t - \tau) \quad (16)$$

Derivasjon:

$$s^n f(s) - s^{n-1} f(0) - s^{n-2} \dot{f}(0) - \dots - \overset{(n-1)}{f}(0) \Longleftrightarrow \overset{(n)}{f}(t) \quad (17)$$

Med initialbetingelser lik null fås

$$s^n f(s) \Longleftrightarrow \overset{(n)}{f}(t) \quad (18)$$

Begynnelsesverditeorem:

$$\lim_{t \rightarrow 0} f(t) = \lim_{s \rightarrow \infty} s \cdot f(s) \quad (19)$$

Sluttverditeorem:

$$\lim_{t \rightarrow \infty} f(t) = \lim_{s \rightarrow 0} s \cdot f(s) \quad (20)$$

Transformasjonspar

$$1 \iff \delta(t) \quad (21)$$

$$\frac{1}{s} \iff 1 \quad (22)$$

$$\frac{1}{s^2} \iff t \quad (23)$$

$$\frac{n!}{s^{n+1}} \iff t^n \quad (24)$$

$$\frac{1}{Ts + 1} \iff \frac{e^{-\frac{t}{T}}}{T} \quad (25)$$

$$\frac{1}{(Ts + 1)^n} \iff \frac{1}{T^n (n-1)!} t^{n-1} e^{-\frac{t}{T}} \quad (26)$$

$$\frac{1}{(Ts + 1)s} \iff 1 - e^{-\frac{t}{T}} \quad (27)$$

$$\frac{1}{(T_1 s + 1)(T_2 s + 1)} \iff \frac{1}{T_1 - T_2} (e^{-\frac{t}{T_1}} - e^{-\frac{t}{T_2}}) \quad (28)$$

Transformasjonspar forts.

$$\frac{1}{(Ts + 1)^2 s} \Leftrightarrow 1 - \left(1 + \frac{t}{T}\right) e^{-\frac{t}{T}} \quad (29)$$

$$\frac{1}{(T_1 s + 1)(T_2 s + 1)s} \Leftrightarrow 1 + \frac{1}{T_2 - T_1} (T_1 e^{-\frac{t}{T_1}} - T_2 e^{-\frac{t}{T_2}}) \quad (30)$$

$$\frac{T_1 s + 1}{(T_2 s + 1)s} \Leftrightarrow 1 + \left(\frac{T_1}{T_2} - 1\right) e^{-\frac{t}{T_2}} \quad (31)$$

$$\frac{s + \alpha}{(s + a)(s + b)(s + c)} \Leftrightarrow \frac{(\alpha - a)e^{-at}}{(b - a)(c - a)} + \frac{(\alpha - b)e^{-bt}}{(c - b)(a - b)} + \frac{(\alpha - c)e^{-ct}}{(a - c)(b - c)} \quad (32)$$

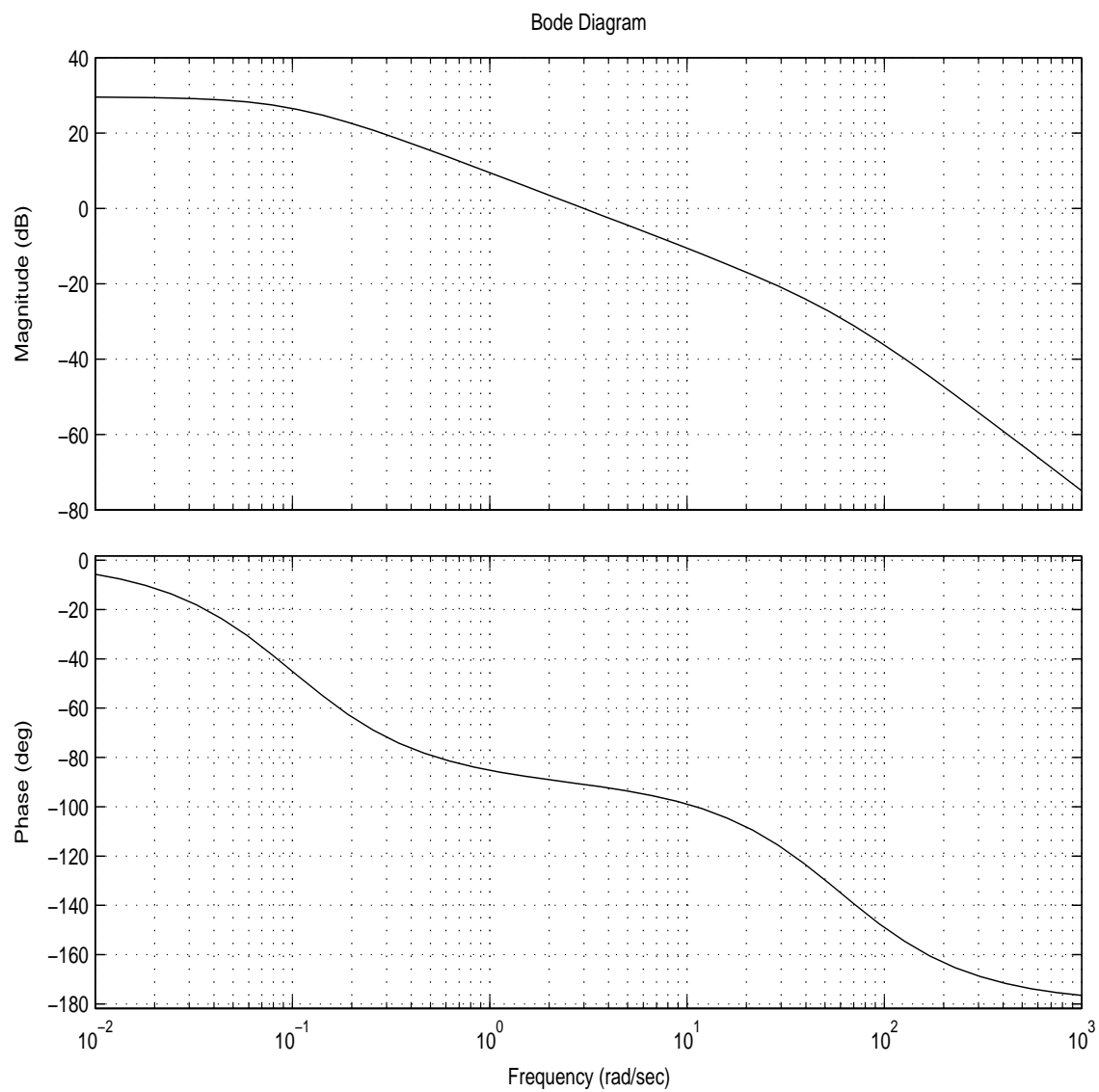
$$\frac{1}{\left(\frac{s}{\omega_0}\right)^2 + 2\zeta \frac{s}{\omega_0} + 1} \Leftrightarrow \frac{\omega_0}{\sqrt{1 - \zeta^2}} e^{-\zeta \omega_0 t} \sin(\sqrt{1 - \zeta^2} \omega_0 t) , \quad 0 \leq \zeta < 1 \quad (33)$$

$$\frac{1}{\left(\frac{s}{\omega_0}\right)^2 + 2\zeta \frac{s}{\omega_0} + 1} \Leftrightarrow 1 - \frac{\omega_0}{\sqrt{1 - \zeta^2}} e^{-\zeta \omega_0 t} \cos(\sqrt{1 - \zeta^2} \omega_0 t - \varphi) , \quad \varphi = \arcsin \zeta , \quad 0 \leq \zeta < 1 \quad (34)$$

$$\frac{\omega}{s^2 + \omega^2} \Leftrightarrow \sin \omega t \quad (35)$$

$$\frac{s}{s^2 + \omega^2} \Leftrightarrow \cos \omega t \quad (36)$$

Fag: TE179, Reguleringsteknikk 1
Dato: 19. desember 2001
Kandidatnr:
Sidenr:



Figur 4: Bodeplot av sløyfetransferfunksjonen $h_0(j\omega)$ i oppgave 3d).