DATO: 13. desember 2013

EKSAMEN I: BIE 240 Reguleringsteknikk

VARIGHET: 4 timer

TILLATTE HJELPEMIDLER: Bestemt enkel kalkulator

OPPGAVESETTET BESTÅR AV 1 OPPGAVE PÅ 4 SIDER

MERKNADER: Formelsamling er på side 4 til 7.
Deloppgavene har ulik vekt. Legg ved side 7 sammen med besvarelsen.

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

Oppgave 1

En prosess er beskrevet ved transferfunksjonen

$$\frac{y(s)}{u(s)} = H_p(s) = \frac{5}{(s+0.1)(s+20)} \tag{1}$$

a) **(4%)** Gi inntil 2 eksempler på prosesser som kan representeres med en slik modell.

b) **(3%)** Bestem polene til systemet og benytt dette til å bestemme stabilitetsegenskapene til systemet (marginalt stabilt, ustabilt, asymptotisk stabilt).

c) **(4%)** Finn ω_0 og ζ. Er dette et underdempet, overdempet eller kritisk dempet system? Begrunn svaret.

d) **(8%)** Skisser asymptotiske amplitude og forsterkningskurver for systemet.

e) **(8%)** Finn et uttrykk for prosessens frekvensrespons, dvs. amplitudeforsterkning $|H_p(j\omega)|$ og faseforskyvning $\angle H_p(j\omega)$.

f) **(8%)** La pådraget være en sinusfunksjon $u(t) = 0.2\sin(t) + 0.6$. Skisser detaljert $u(t)$ og $y(t)$ i samme diagram (beregn og indiker perioden for svingningen).

g) **(4%)** Hva er båndbredden w_b til systemet, og hvilken amplitudeforsterkning og fase har vi da?

h) **(5%)** Anta at $u(t)$ er et enhetssprang. Skisser sprangresponsen til systemet så detaljert som mulig.

i) **(2%)** Anta at måleinstrumentet har forsterkning 1 og at responstiden T_r er 0.1 sekund og at det er av 1 orden. Finn transferfunksjonen $H_m(s)$ til måleinstrumentet.

j) **(5%)** Beskriv med ord hva det vil si at måleinstrumentet har forsterkning på $K_m = 1$. Underbygg gjerne forklaringen med et konkret eksempel/applikasjon.

k) **(4%)** Dersom et annet måleinstrument som du har liggende har en forsterkning på $K_m = 2$, hva kan du si om dette måleinstrumentet mht måleområde i forhold til det som har $K_m = 1$?

l) **(8%)** Basert på sprangresponsen i oppgave h), bestem regulatorparametrene K_p og T_i til en PI-regulator. Der hvor du må gjøre valg, begrunn valgene.

Dersom du ikke fant sprangresponsen i oppgave h), lag en fiktiv sprangrespons og vis hvordan du ville gjort det.

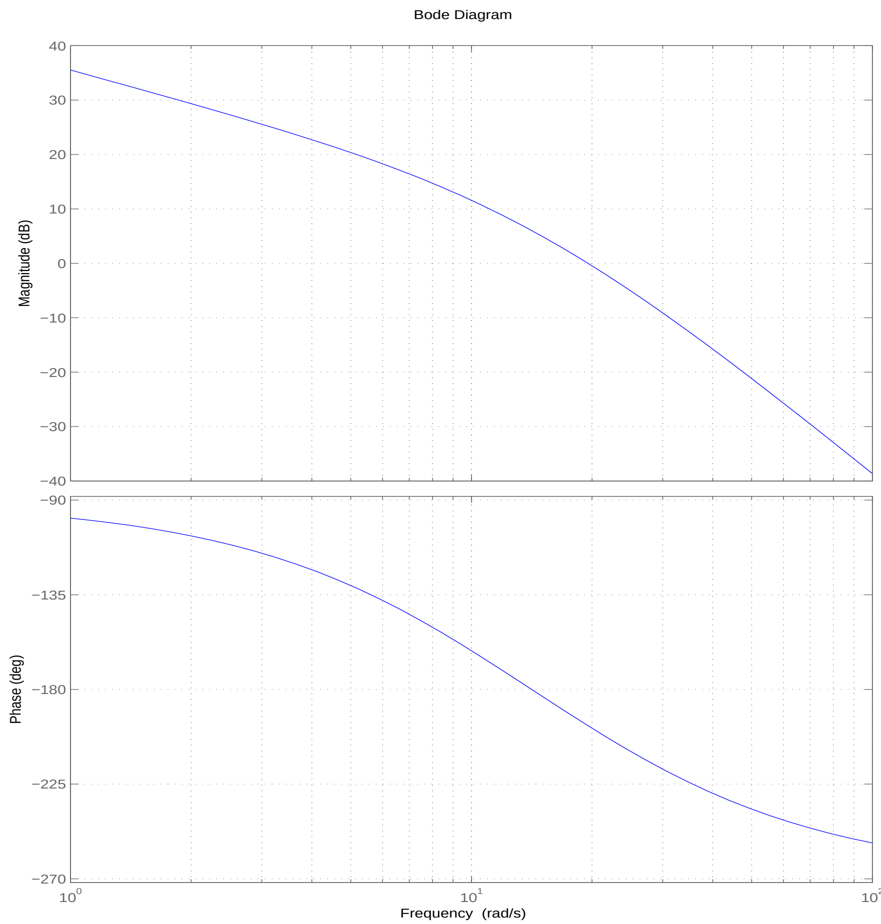
m) **(6%)** $N(s)$ kalles sensitivitetsfunksjonen. Beskriv med ord hvordan informasjonen i $N(s)$ kan tolkes på to måter. Bruk gjerne figur av reguleringssystemet til å få frem poenget.

n) **(6%)** Forklar med ord hvordan informasjonen i $N(s)$ er knyttet til følgeforholdet $M(s)$.

o) **(3%)** Utled transferfunksjonen $H_r(s)$ til en generell PI-regulator.

p) **(8%)** Vis at en PI-regulator gir 0 stasjonært reguleringsavvik ved sprang i referansen for systemet i ligning 1 og måleinstrumentet $H_m(s)$. Tips: Benytt enten $N(s) = \frac{e(s)}{y_r(s)}$ eller $M(s) = \frac{y(s)}{y_r(s)}$.

q) **(6%)** I figur 1 er Bodeplottet for $H_0(j\omega)$ med en en PI-regulator med K_p=240 og $T_i = 10$ vist.



Figur 1: Bodeplot av sløyfetransferfunksjonen $H_0(j\omega)$. Det finnes en kopi av figuren på side 7.

Hva er forsterknings- og fasemarginen til reguleringssystemet? Tegn inn på figuren gitt på side 7 og lever inn sammen med besvarelsen.

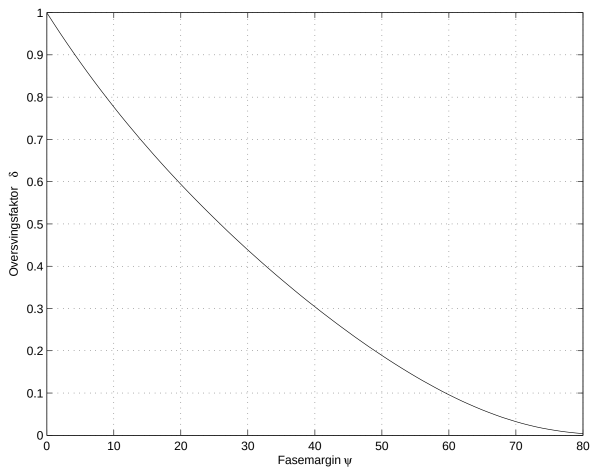
r) **(8%)** I figuren i formelsamlingen er sammenhengen mellom fasemargin ψ og oversvingsfaktor δ vist for systemet vårt.

Anta at vi ønsker at reguleringssystemet skal ha 25% oversving ved sprang i referansen. Hvor mye må K_p forsterkes/forminskes for å få dette til? Hva blir verdien på den nye K_p?

Skisser om ønskelig i samme figur som du leverer inn (figur 2, side 7).

Formelsamling

- Sammenheng mellom fasemargin og oversvingsfaktor for reguleringssystemet.



- Løsning på annengradsligningen $a \cdot x^2 + b \cdot x + c = 0$

$$s = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a} \tag{2}$$

- Et generelt 2-ordens system kan skrives som

$$h(s) = \frac{K}{(\frac{s}{\omega_0})^2 + 2\frac{\zeta}{\omega_0}s + 1} \tag{3}$$

- Et komplekst tall z kan skrives på kartesisk form slik:

$$z = \mathrm{Re}(z) + j\mathrm{Im}(z) \tag{4}$$

eller på polar form slik:

$$z = |z|e^{j\angle z} \tag{5}$$

- Sammenheng mellom kartesisk og polar form:

$$|z| = \sqrt{\mathrm{Re}(z)^2 + \mathrm{Im}(z)^2} \tag{6}$$

$$\angle z = \arctan\frac{\mathrm{Im(z)}}{\mathrm{Re(z)}} \tag{7}$$

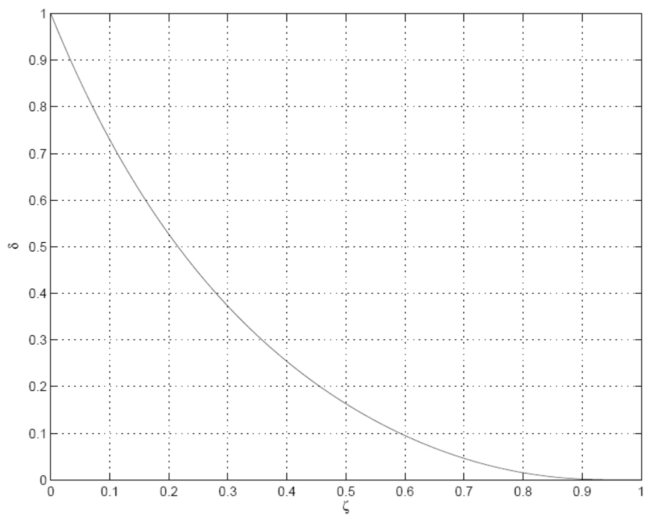
- Sløyfetransferfunksjonen $H_0(s) = H_r(s)H_p(s)H_m(s)$
- Følgeforholdet $M(s) = \frac{H_0(s)}{1+H_0(s)}$

- Sensitivitetsfunksjonen $N(s) = \frac{1}{1+H_0(s)}$
- Polplassering for 1 ordens system (PI-regulator):

$$K_p = \frac{2\zeta w_0 T - 1}{K} \tag{8}$$

$$T_i = \frac{2\zeta w_0 T - 1}{w_0^2 T} \tag{9}$$

Sammenhengen mellom relativ dempingsfaktor ζ og oversvingsfaktor δ.



- Pol-nullpunktkansellering 1 ordens system (PI-regulator):

$$K_p = \frac{T}{T_M \cdot K} \tag{10}$$

$$T_i = T \tag{11}$$

- Ziegler Nichols åpen sløyfe metode:

$$K_p = \frac{0.9 \cdot U}{L \cdot R} \tag{12}$$

$$T_i = 3.3 \cdot L \tag{13}$$

hvor L er tidsforsinkelsen, R er stigningstallet på sprangresponsen og U er sprangets høyde. For en første ordens prosess med dødtid kan det vises at

$$R = \frac{KU}{T} \tag{14}$$

$$L = \tau \tag{15}$$

Egenskaper ved Laplacetransformasjonen

Derivasjon:

$$s^n f(s) - s^{n-1} f(0) - s^{n-2} \dot{f}(0) - ... - \overset{(n-1)}{f}(0) \Longleftrightarrow \overset{(n)}{f}(t) \tag{16}$$

Med initialbetingelser lik null fås

$$s^n f(s) \Longleftrightarrow \overset{(n)}{f}(t) \tag{17}$$

Begynnelsesverditeorem:

$$\lim_{t \to 0} f(t) = \lim_{s \to \infty} s \cdot f(s) \tag{18}$$

Sluttverditeorem:

$$\lim_{t \to \infty} f(t) = \lim_{s \to 0} s \cdot f(s) \tag{19}$$

Transformasjonspar

$$\frac{1}{s} \Longleftrightarrow 1 \tag{20}$$

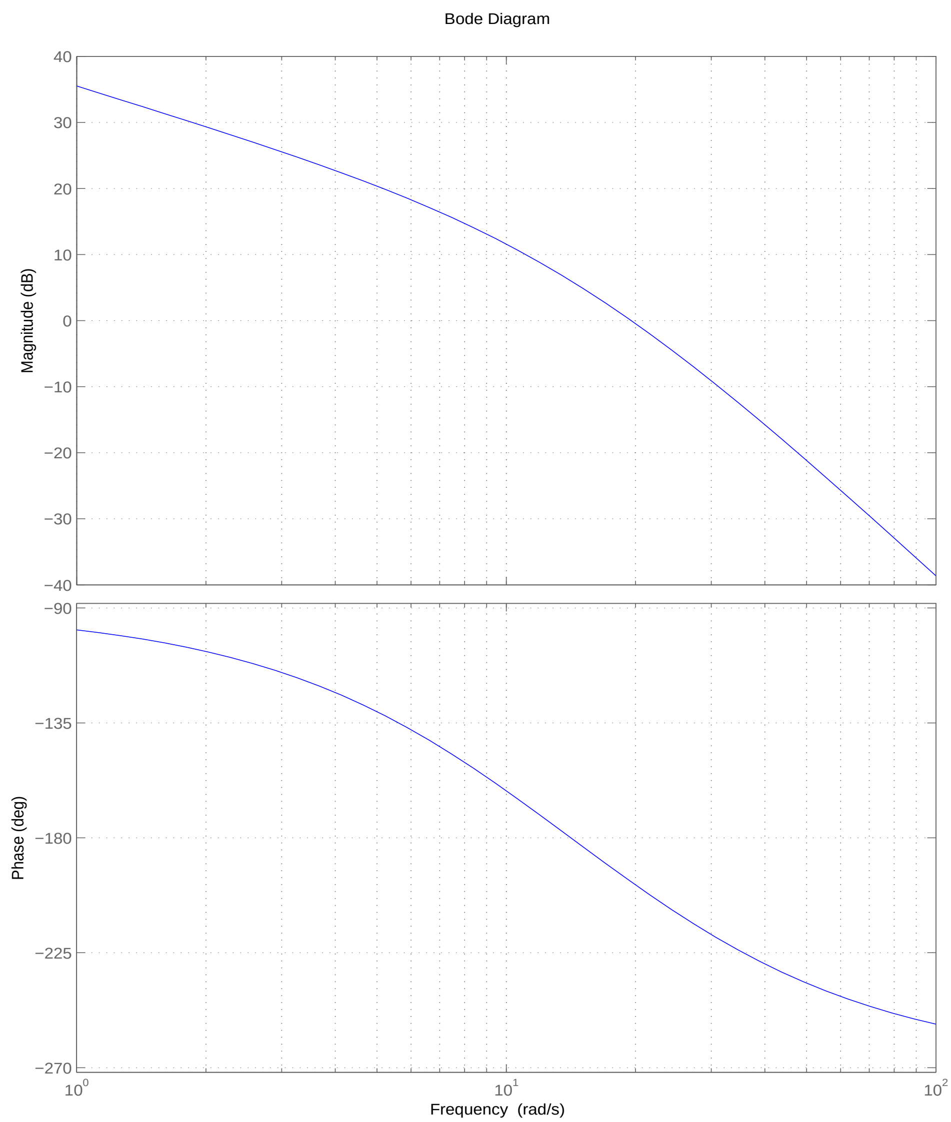
$$\frac{1}{s^2} \Longleftrightarrow t \tag{21}$$

$$\frac{1}{Ts+1} \Longleftrightarrow \frac{e^{-\frac{t}{T}}}{T} \tag{22}$$

$$\frac{1}{(Ts+1)^n} \Longleftrightarrow \frac{1}{T^n(n-1)!} t^{n-1} e^{-\frac{t}{T}} \tag{23}$$

$$\frac{1}{(T_1 s+1)(T_2 s+1)} \Longleftrightarrow \frac{1}{T_1 - T_2}(e^{-\frac{t}{T_1}} - e^{-\frac{t}{T_2}}) \tag{24}$$

Fag: BIE240, Reguleringsteknikk
Dato: 13. desember 2013
Kandidatnr:
Sidenr:



Figur 2: Bodeplot av sløyfetransferfunksjonen $H_0(j\omega)$ i oppgave q).