

DET TEKNISK - NATURVITENSKAPELIGE FAKULTET

EKSAMEN I: ELE 320 Regulerings-teknikk

DATO: 23. februar 2016

VARIGHET: 4 timer

TILLATTE HJELPEMIDLER: Bestemt enkel kalkulator

OPPGAVESETTET BESTÅR AV 2 OPPGAVE PÅ 4 SIDER

MERKNADER: - Formelvedlegget er på side 5 og 6.
 - Deloppgavene har ulik vekt.
 - Legg siste side (side 7) sammen med besvarelsen.
 Ved behov, får du flere kopier av eksamensvaktene.

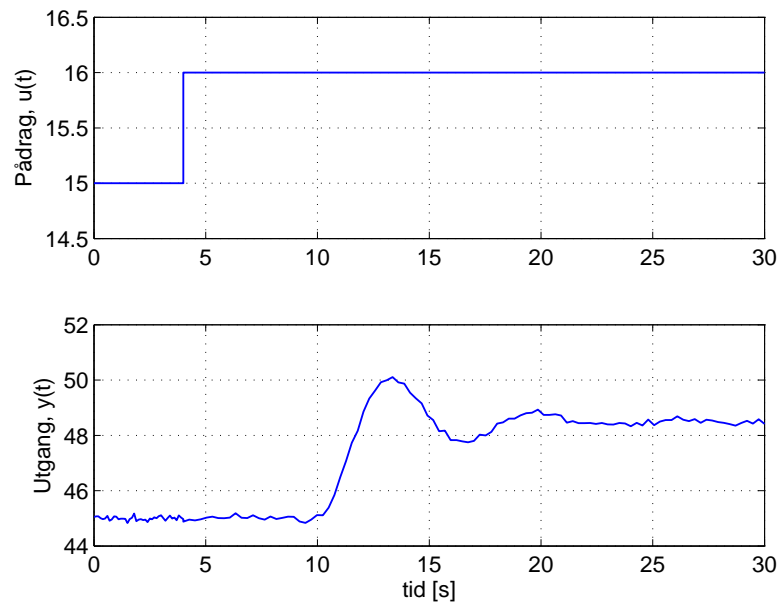
FORELESER: Tormod Drengstig

TELEFON: 93 88 55 33.

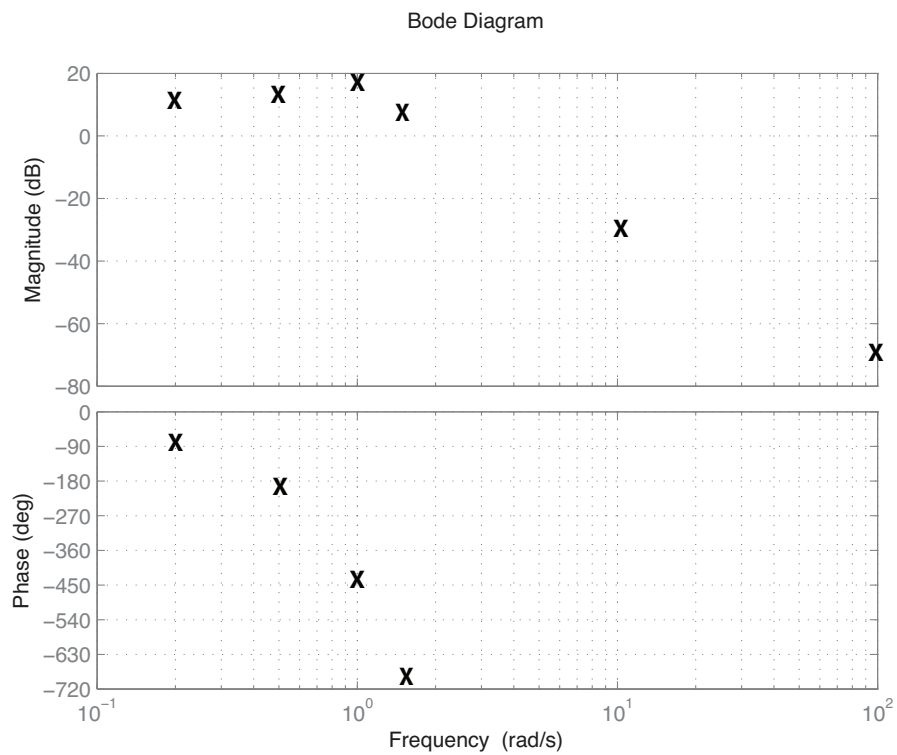
1 Estimering av prosessmodell (45%)

Anta at du er ansatt i en bedrift som produserer deler til prosessindustrien, og for en av disse prosessdelene skal du utvikle en regulator til. Du har dårlig tid, og har derfor ikke anledning å lage en matematisk modell av prosesskomponenten. Du gjør derfor et forsøk på å identifisere prosessmodellen ved å utføre både en sprangrespons og flere frekvensrespons på prosesskomponenten. Dette gjør du omkring et valgt arbeidspunktet u_A og y_A . Husk at prosesskomponenten er antatt å være svært ulineær.

Resultatet av disse testene er vist i figur 1 og figur 2.



Figur 1: Sprangrespons for prosessenheten.



Figur 2: Frekvensresponsen til prosessenheten.

- a) (4%) Forklar, med henvisning til figurene, hvilket arbeidspunkt u_A og y_A du har valgt. Kan valgt arbeidspunkt ses i begge figurene? Begrunn svaret.
- b) (5%) Forklar hva du konkret gjorde for å få tak i sprangresponsen i figur 1. Forklar gjerne med henvisning til hvordan du har gjort tilsvarende på lab'en.
- c) (5%) Forklar deretter hva du gjorde eksperimentelt for å få tak i frekvensresponsen i figur 2. For de 2 laveste frekvensene du benyttet, skriv ned det matematisk uttrykket for pådrag og utgang (ved avlesning fra figuren vil svaret nødvendigvis bli litt omtrentlig). Husk at pådraget kan variere mellom 0 og 20.
- d) (4%) Det at prosessenheten er antatt å være svært ulineær, hva betyr det for valgene dine med hensyn til pådragssignalene i oppgave c)?
- e) (5%) Skisser en relativt nøyaktig tidsrespons av *hele* pådraget og utgangen for *en* av frekvensene du benyttet for å finne frekvensresponsen. Velg selv hvilken frekvens du vil benytte. Husk at periodetiden T_p for en sinusfunksjon er $T_p = \frac{2\pi}{\omega}$
- f) (4%) Ut fra figur 1 og figur 2, hva kan du si om prosessen? Du trenger ikke å benytte konkrete tall, men beskriv heller prosessen med ord, f.eks. med utgangspunkt i hvordan transferfunksjonen typisk vil se ut?
- g) (10%) Bakerst i eksamensoppgave er figur 1 og figur 2 gjengitt. Benytt disse figurene til å estimere transferfunksjonen $H_p(s) = \frac{y(s)}{u(s)}$ til prosessen. For at dere skal få dokumentert hvordan dere bruker figurene, skal disse leveres inn sammen med besvarelsen. Hint: Anta at avlest resonanstopp er i ω_0 .
- h) (8%) Vis hvordan du kan finne et estimat av dødtiden ut fra figur 2. Hint: Anta at avlest resonanstopp er i ω_0 .

2 Regulering (55%)

Gitt en ny prosess med følgende prosessmodell

$$H_p(s) = \frac{y(s)}{u(s)} = \frac{6}{(10s + 1)(s + 10)} \quad (1)$$

Målet er å bestemme PI-regulatorparametre til denne.

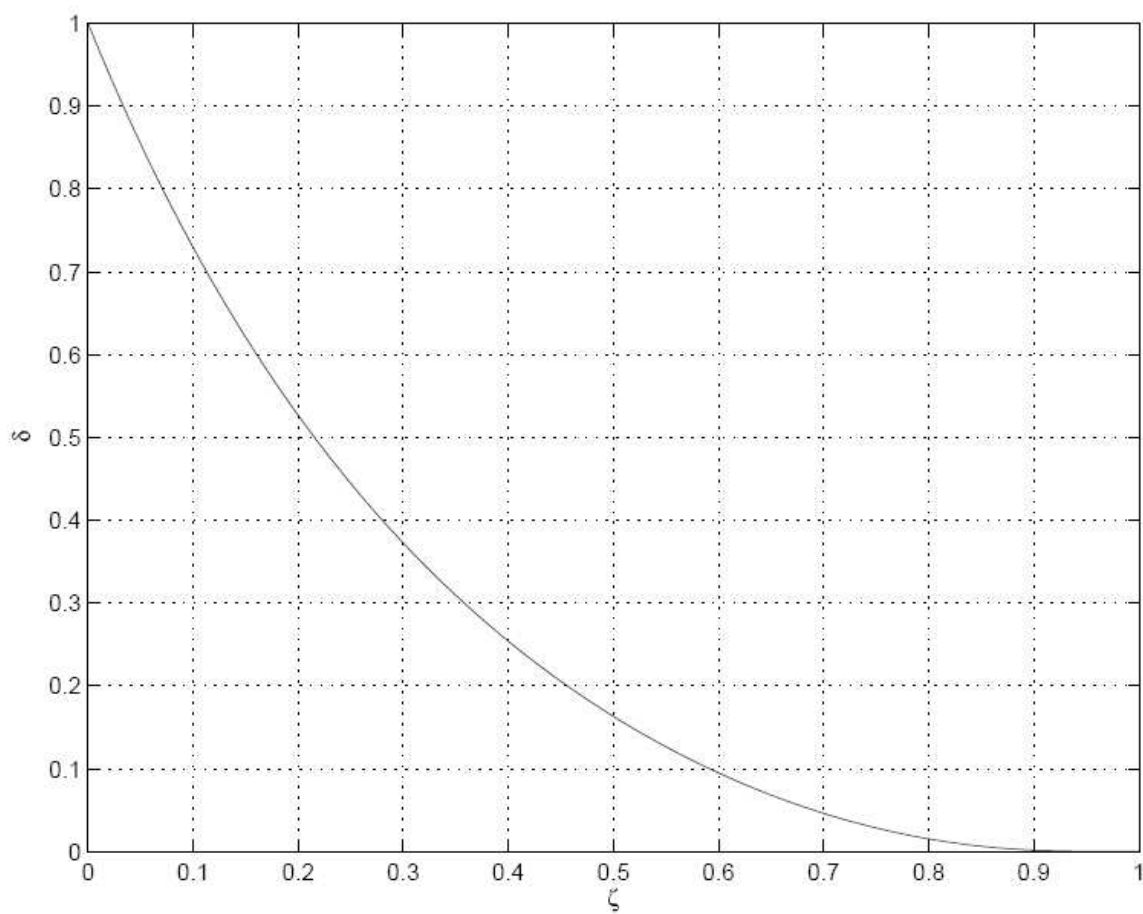
- a) (3%) Bestem polene til prosessen og benytt dette til å bestemme stabilitetsegenskapene til systemet (marginalt stabilt, ustabilt, asymptotisk stabilt).
- Dersom du skulle sjekket stabilitetsegenskapene til en fysisk prosess som du ikke hadde matematisk modell av, hvordan ville du gjort selve testen?
- b) (6%) Finn et uttrykk for prosessens frekvensrespons, dvs. amplitudeforsterkning $|H_p(j\omega)|$ og faseforskyvning $\angle H_p(j\omega)$.
- c) (6%) La pådraget $u(t)$ være en sinusfunksjon $u(t) = 0.2 \cdot \sin(0.5t)$. Benytt resultatet fra forrige deloppgave til å bestemme $y(t)$. Skisser $u(t)$ og $y(t)$ i samme diagram (beregnet og indiker perioden for svingningen).
- d) (5%) Skisser sprangresponsen til $H_p(s)$. Ved å studere sprangresponsen og transferfunksjonsuttrykket, vis hvordan du kan endre/forenkle selve transferfunksjonsuttrykket. Bruk dette forenklete uttrykket i de neste deloppgavene. Dersom du ikke har klart å forenkle, benytt opprinnelig transferfunksjon.
- e) (6%) Skisser asymptotisk Bodeplott (forsterkning og fase) av den forenklete transferfunksjonen $H_p(s)$.
- f) (7%) Benytt pol/nullpunkt kanselleringsmetoden og bestem K_p og T_i i en PI-regulator. Der hvor kvalifiserte valg må gjøres, argumenter for valgene du gjør.
- g) (5%) Finn sløyfetransferfunksjonen $H_0(s)$
- h) (5%) Bestem deretter følgeforholdet $M(s)$
- i) (7%) Basert på følgeforholdet $M(s)$, skisser sprangresponsen til reguleringsystemet.
- Er dette som forventet i forhold til valgene du gjorde ved regulatorparameterinnstillingen over?
- j) (6%) Basert på sløyfetransferfunksjonen $H_0(s)$ som du har funnet, vis hvordan du kan finne forsterkningsmargin ΔK og fasemargin ϕ . Hvor store blir disse?

Formelsamling

- Et generelt 2-ordens system kan skrives som

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

- Sammenheng mellom relativ dempingsfaktor ζ og oversvingsfaktor δ



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

$$z = \text{Re}(z) + j\text{Im}(z) \quad (3)$$

eller på polar form slik:

$$z = |z|e^{j\angle z} \quad (4)$$

- Sammenheng mellom kartesisk og polar form er:

$$|z| = \sqrt{\operatorname{Re}(z)^2 + \operatorname{Im}(z)^2} \quad (5)$$

$$\angle z = \arctan \frac{\operatorname{Im}(z)}{\operatorname{Re}(z)} \quad (6)$$

- Sluttverditeorem

$$\lim_{t \rightarrow \infty} f(t) = \lim_{s \rightarrow 0} s \cdot f(s) \quad (7)$$

- Ziegler Nichols åpen sløyfe metode:

$$K_p = \frac{0.9 \cdot U}{L \cdot R} \quad (8)$$

$$T_i = 3.3 \cdot L \quad (9)$$

hvor L er ekvivalent dødtid, R er stigningstallet på sprangresponsen og U er sprangets høyde.

- Polplassering for 1 ordens system (PI-regulator):

$$K_p = \frac{2\zeta w_0 T - 1}{K} \quad (10)$$

$$T_i = \frac{2\zeta w_0 T - 1}{w_0^2 T} \quad (11)$$

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

$$K_p = \frac{T}{T_M \cdot K} \quad (12)$$

$$T_i = T \quad (13)$$

- Sammenheng mellom $M(s)$, $N(s)$ og $H_0(s)$

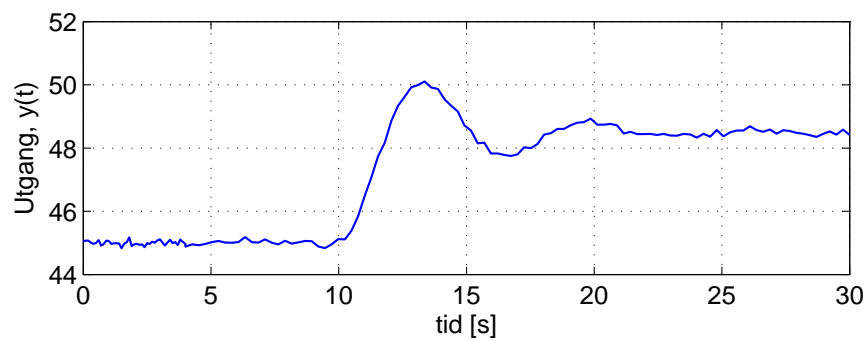
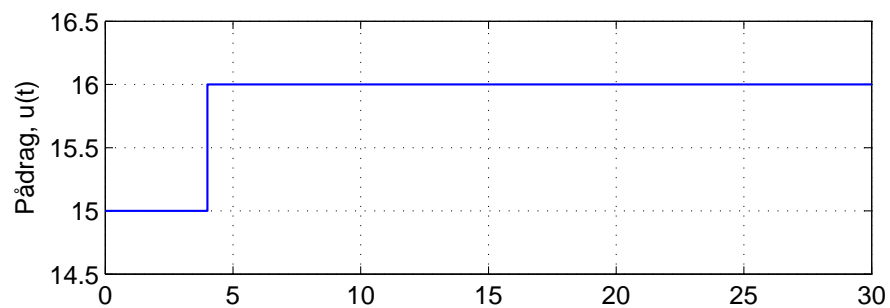
$$M(s) = \frac{H_0(s)}{1 + H_0(s)} = \frac{y(s)}{y_r(s)} \quad (14)$$

$$N(s) = \frac{1}{1 + H_0(s)} = \frac{e(s)}{y_r(s)} \quad (15)$$

Fag: ELE320, Reguleringsteknikk, dato: 23. februar 2016

Kandidatnr:

Sidenr:



Bode Diagram

