

DET TEKNISK - NATURVITENSKAPELIGE FAKULTET

EKSAMEN I: ELE320/BIE240 Reguleringssteknikk

DATO: 19. februar 2015

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 sammen med besvarelsen.
 Ved behov, får du flere kopier av eksamensvaktene.

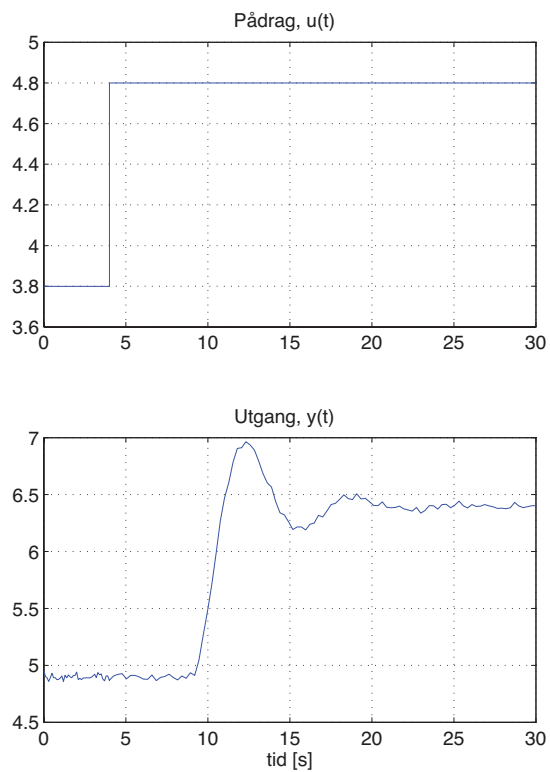
FORELESER: Tormod Drengstig

TELEFON: 93 88 55 33.

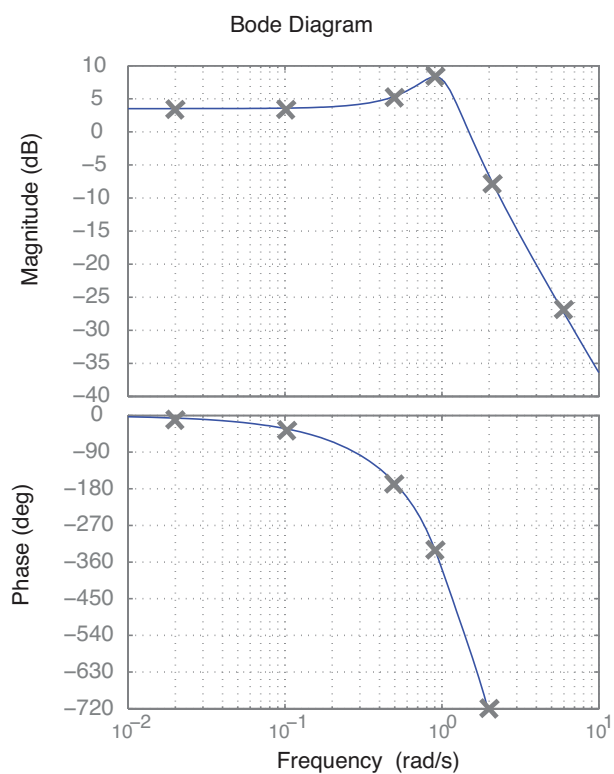
1 Estimering av prosessmodeller (50%)

Anta at du er ansatt i en bedrift som produserer deler til prosessindustrien, og for en av disse prosessdelene skal du finne en dynamisk modell. Du har dårlig tid, og har derfor ikke anledning å lage matematiske modell. Du gjør derfor et forsøk på å identifisere prosessmodellen ved å utføre både sprangresponstest og frekvensresponstest på prosesskomponenten.

Begge disse testene er utført i samme arbeidspunkt og resultatet er vist i figur 1 og figur 2.



Figur 1: Sprangrespons for prosesskomponenten. Øverste figur er pådraget og nederste figure er utgangen fra prosessen.



Figur 2: Skisse av frekvensresponsen til prosessenheten tatt opp i arbeidspunktet. Hvert kryss tilsvarer et eksperiment utført på prosessen.

- a) (2%) Basert på visuell inspeksjon (dvs. uten å gjøre noen utregninger) av figur 1 og figur 2, hvilken overordnet prosessinformasjon klarer du å lese ut om prosessen?
- b) (3%) Ut fra figur 1, avles arbeidspunktetene u_A og y_A til prosessen. Finner du denne informasjonen også i figur 2? Begrunn svaret. Forklar (prinsipielt) hvordan man eksperimentelt utfører slike sprangresponser som vist i figur 1. Ta med detaljer om fremgangsmåte, og henvisning gjerne til hvordan du har gjort tilsvarende på lab'en.
- c) (5%) Forklar deretter hvordan du ut fra sprangresponsen i figur 1 *på forhånd* kan bestemme det frekvensområdet (dvs. $0.01 \rightarrow 10$ rad/s) som du har benyttet til å ta opp frekvensresponsen (dvs. du har benyttet 6 forskjellige frekvenser i dette området, og resultatet er indikert med kryss. Basert på kryssene har du deretter skissert hele frekvensresponsen).
- d) (5%) Velg ut en av frekvensene (representert med et kryss) og skriv ned det matematiske uttrykket for hele pådraget du anvendte på prosessen. Skriv også ned uttrykket for det korresponderende målesignalet. Husk at pådraget varierer mellom 0 og 10.
- e) (5%) Skisser relativt nøyaktig hvordan pådraget med tilhørende utgang fra deloppgave d) ser ut som tidsresponser. Husk at periodetiden T_p for en sinusfunksjon er $T_p = \frac{2\pi}{\omega}$.
- f) (8%) Bakerst i eksamensoppgave er figur 1 og figur 2 gjengitt. Benytt disse figurene (sammen med formelvedlegg) til å estimere transferfunksjonen $H_p(s) = \frac{\Delta y(s)}{\Delta u(s)}$ for prosessen. For at du skal få dokumentert hvordan du bruker figurene, skal disse leveres inn sammen med besvarelsen.
- Dersom du ikke finner $H_p(s)$, velg i det videre arbeidet en vilkårlig transferfunksjon (helst basert på beskrivelsen du gav i oppgave a))**
- g) (5%) Basert på sprangresponsen til prosessen, er det mulig å si noe om hvorvidt denne prosessen er lineær eller ulineær. For å få poeng må du begrunne svaret.
- h) (5%) Beregn polene til $H_p(s)$ og indiker i et pol/nullpunkt-diagram hvor polene ligger. Er $H_p(s)$ marginalt stabil, ustabil eller asymptotisk stabil?
- i) (5%) Er det grunnlag for å si noe om prosessen har nullpunkter? For å få poeng må du begrunne svaret.
- j) (7%) Finn et uttrykk for prosessen sin frekvensrespons, dvs. amplitudeforsterkning $|H_p(j\omega)|$ og faseforskyvning $\angle H_p(j\omega)$.

2 Regulering (50%)

Du skal nå bestemme regulatorparametre for en annen prosesskomponent dere har på lager. Denne komponenten har første ordens dynamikk med forsterkning $K = 0.5$ og tidskonstant $T = 5$ sekund.

- a) (5%) Utled først transferfunksjonen $H_r(s)$ til en generell PI-regulator.
- b) (5%) Benytt den parameterinnstillingsmetoden du mener passer (se vedlegg) på prosessen, og bestem regulatorforsterkning K_p og integraltid T_i til en PI-regulator. Der hvor kvalifiserte valg må gjøres, argumenter for valgene du gjør.
- c) (5%) Basert på kunnskap om parameterinnstillingsmetoden du brukte, skisser sprangresponsen til reguleringssystemet (dvs. responsen i utgangen ved sprang i referansen).
- d) (9%) Anta at du bruker PI-regulatoren du fant (du trenger ikke tallverdiene for K_p og T_i for å svare på dette spørsmålet), skisser prinsipielle skisser av *amplitudedelene* av $H_0(j\omega)$, $N(j\omega)$ og $M(j\omega)$ i et Bode-diagram.

Beskriv med ord hva disse 3 transferfunksjonen sier noe om. Bruk gjerne eksempler i forklaringen.

- e) (7%) Hvordan ser amplitudedelene av $H_0(j\omega)$, $N(j\omega)$ og $M(j\omega)$ ut dersom du hadde brukt en P-regulator istedenfor en PI-regulator? Vis i et nytt Bodeplot og fokuser på de lave frekvensene.

Hvordan er det mulig å se ut fra dette Bodeplottet at vi får stasjonært reguleringsavvik forskjellig fra 0?

- f) (4%) Anta raskt måleinstrument med neglisjerbar dynamikk og forsterkning likt 1. Bruk PI-regulatoren du fant og finn et uttrykk for $M(s)$. Vis at det er en sammenheng mellom uttrykket for $M(s)$ og sprangresponsen du skisserte i oppgave 2c).
- g) (5%) Lag et nytt prinsipielt Bodeplot og vis hvordan du ville funnet forsterkningsmargin ΔK og fasemargin ϕ (anta et stabilt regulerings-system).
- h) (5%) Forklar hva som menes med reversvirkning i en regulator. Forklar gjerne med henvisning til lab-øvelsene du har gjort.
Når er det aktuelt å bruke dette, og hva er konsekvensen av å bruke det feil?
- i) (5%) Forklar hvorfor PI-regulatorer ofte har anti-windup funksjon. Bruk gjerne en skisse/tidsrespons til å forklare hva som kan skje dersom en PI-regulator har/ikke har anti-windup.

Formelsamling

- Et generelt 2-ordens system kan skrives som

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

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

$$z = \operatorname{Re}(z) + j\operatorname{Im}(z) \quad (2)$$

eller på polar form slik:

$$z = |z|e^{j\angle z} \quad (3)$$

- Sammenheng mellom kartesisk og polar form er:

$$|z| = \sqrt{\operatorname{Re}(z)^2 + \operatorname{Im}(z)^2} \quad (4)$$

$$\angle z = \arctan \frac{\operatorname{Im}(z)}{\operatorname{Re}(z)} \quad (5)$$

- Sluttverditeorem

$$\lim_{t \rightarrow \infty} f(t) = \lim_{s \rightarrow 0} s \cdot f(s) \quad (6)$$

- Ziegler Nichols åpen sløyfe metode:

$$K_p = \frac{0.9 \cdot U}{L \cdot R} \quad (7)$$

$$T_i = 3.3 \cdot L \quad (8)$$

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

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

$$K_p = \frac{2\zeta w_0 T - 1}{K} \quad (9)$$

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

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

$$K_p = \frac{T}{T_M \cdot K} \quad (11)$$

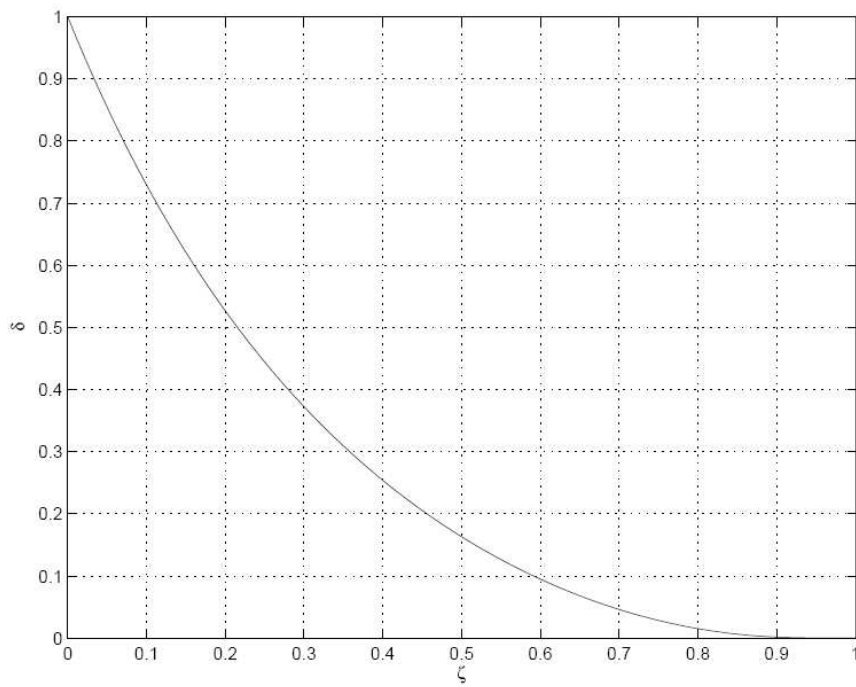
$$T_i = T \quad (12)$$

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

$$M(s) = \frac{H_0(s)}{1 + H_0(s)} = \frac{y(s)}{y_r(s)} \quad (13)$$

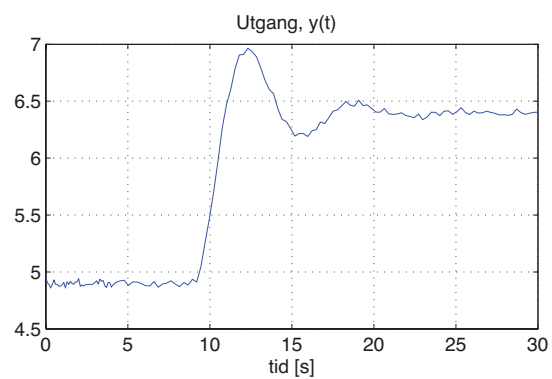
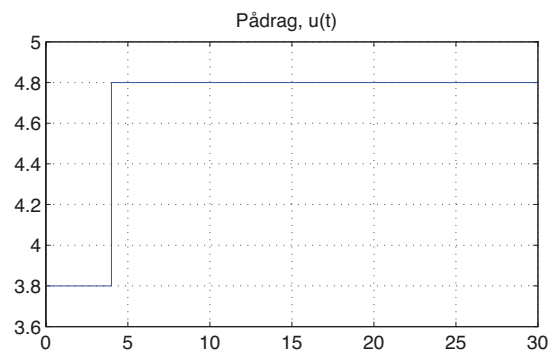
$$N(s) = \frac{1}{1 + H_0(s)} = \frac{e(s)}{y_r(s)} \quad (14)$$

- Sammenhengen mellom relativ dempingsfaktor ζ og oversvingsfaktor δ .



Fag: ELE320/BIE240, Reguleringsteknikk
Kandidatnr:

Dato: 19. februar 2015
Sidenr:



Bode Diagram

