



NORGES TEKNISK- NATURVITENSKAPELIGE UNIVERSITET

INSTITUTT FOR TEKNISK KYBERNETIKK

Avsluttende Eksamen TTK4100

Kybernetikk Introduksjon

Mandag 29. mai 2006

Tid: 09:00 - 13:00

Kontaktperson: Stipendiat Bjørnar Bøhagen
Tlf.: (735)94374 eller 97602659

Hjelpemidler: D-ingen trykte eller håndskrevne hjelpemidler er tillatt.
NTNU typegodkjent kalkulator med tomt minne er tillatt.

Språk: Norsk (Bokmål)

Antall sider: 5

Da tidligere vurdering i faget teller 30% av den endelige karakteren i faget,
teller denne eksamen 70%.

Oppgave 1. (22%)

Kursdynamikken til et skip er gitt av modellen

$$\begin{aligned}\dot{\psi} &= r \\ \dot{r} &= -\frac{1}{T}r + \frac{K}{T}\delta + w \\ y &= \psi,\end{aligned}$$

der ψ er kursvinkelen, r er kursraten, $\delta = u$ er rorvinkelen og w er en forstyrrelse. $T > 0$ og $K > 0$ er henholdsvis tidskonstant og forsterkning.

a) (3%) Er modellen monovariabel eller multivariabel? Forklar!

b) (4%) Skipet skal styres av en autopilot

$$u = \delta = -K_p(\psi - \psi_d) - K_d r,$$

der K_p og K_d er konstante regulatorparametre og $\psi_d = 0$ er ønsket kursvinkel. Vi antar at r kan beregnes på grunnlag av målingen $y = \psi$. Vis at systemet kan skrives som

$$m\ddot{\psi} + d\dot{\psi} + k\psi = f(t),$$

og finn m , d , k og $f(t)$ uttrykt ved de andre størrelsene i systemet.

c) (4%) For at et skip skal være det som kalles retningsstabilt (holde samme kurs etter en tidsbegrenset forstyrrelse) kreves det at egenverdiene til systemet, det vil si røttene $\lambda_{1,2}$ til den karakteristiske ligningen, har negativ realdel:

$$\operatorname{Re}\{\lambda_{1,2}\} < 0.$$

Hva må K_d oppfylle for at skipet skal være retningsstabilt? (Husk at du kan se bort fra $f(t)$ når du setter opp den karakteristiske ligningen).

d) (4%) Anta at K_d er valgt. Hva må K_p oppfylle for at kursen til skipet ikke skal oscillere?

e) (3%) Anta at skipet kjører inn i et havområde med sterk strøm slik at $w = W$, der W er en konstant. Autopiloten vil nå ikke fungere etter hensikten. Hvorfor ikke?

f) (4%) Det viser seg at roret til skipet har en ganske stor dødsone. Hva slags konsekvenser kan dette ha for reguleringsystemet?

Oppgave 2. (15%)

- a) (4%) Resistansen i en metalltråd i en strekkklapp er gitt av

$$R_0 = \rho \frac{l_0}{A_0},$$

der ρ er tetthet, l_0 er nominell (dvs ustrekt) lengde, og A_0 er nominelt tverrsnittsareal. Når tråden strekkes, økes lengden til $l = l_0 + \Delta l$ og tverrsnittsarealet minkes til $A = A_0 - \Delta A$. Vi antar at volumet er konstant under strekkingen, dvs

$$V = l_0 A_0 = l A = (l_0 + \Delta l) (A_0 - \Delta A).$$

Resistansen i tråden etter at den har blitt strukket er gitt av

$$R = \rho \frac{l}{A}.$$

Vis at

$$R \approx \rho \frac{l_0}{A_0} \left(1 + 2 \frac{\Delta l}{l_0} \right)$$

- b) (3%) En metalltråd med $R_0 = 50 \Omega$ utsettes for et strekk på $1000 \frac{\mu m}{m}$. Hvor stor (i%) blir resistansendringen.
- c) (4%) Gitt masse-fjær systemet i figur ???. Forklar hvordan denne innretningen kan brukes til å måle akselerasjon. (FIGUR)
- d) (4%) List opp fire typer akselerometre og gi en *kort* beskrivelse av virkemåten for hver av dem.

Oppgave 3. (9%)

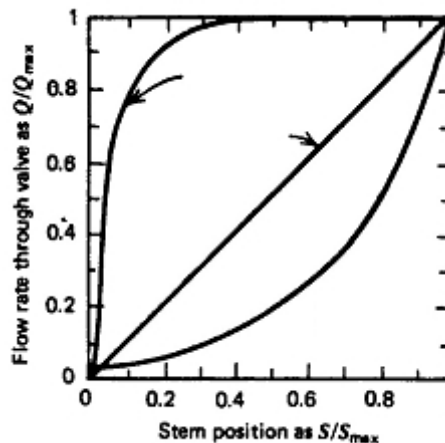
- a) (4%) Fra et måleinstrument får vi signalet

$$y(t) = \frac{1}{2} \sin(t) + \frac{1}{2} \sin(2t) + \frac{1}{2} \cos(3t),$$

som skal brukes som en måling i et reguleringsystem. For å kunne brukes i et reguleringsystem implementert i en datamaskin, må signalet tases (Engelsk: samples). Hvor høy må samplingsfrekvensen være (i henhold til samplingsteoremet) for at signalet skal kunne rekonstrueres fra det samplede signalet?

- b) (5%) Hvis samplingsfrekvensen er for lav, vil vi kunne se et fenomen kjent som nedfolding (Engelsk: aliasing). Forklar dette fenomenet, og illustrer forklaringen din med en figur.

Oppgave 4. (6%)



Figur 1: Ventilkarakteristikker

I figur 1 er det vist karakteristikker for tre forskjellige ventiltyper. Hva heter de tre typene. Gi en *kort* beskrivelse av hver av dem.

Oppgave 5. (18%)

Gitt et system bestående av to førsteordens systemer:

$$\begin{aligned}\dot{x}_1 &= -k_1 x_1 + x_2 \\ \dot{x}_2 &= -k_2 x_2 + u\end{aligned}$$

- a) (2%) Gitt at $k_2 > 0$, hva blir stasjonærverdien til x_2 hvis $u = 1$?
- b) (4%) Sett $y = x_1$ og vis at systemet kan skrives som én andreordens differensialligning gitt av

$$\ddot{y} + k_2 \dot{y} + (k_1 + k_1 k_2) y = u$$

- c) (4%) Gitt at $k_2 > 0$ og $k_1 < 0$ slik at systemet er ustabilt. Hva må den positive konstanten k_3 i P-regulatoren

$$u = -k_3 y$$

oppfylle for at systemet skal være stabilt?

- d) (5%) Forutsatt at at k_3 har blitt valgt slik at systemet er stabilt, finn et uttrykk for systemets relative dempingsfaktor og udempede resonansfrekvens som funksjon av konstantene k_1 , k_2 og k_3 .
- e) (3%) Tegn blokkdiagram for systemet med regulator.