Institutt for teknisk kybernetikk
Fakultet for informasjonsteknologi, matematikk og elektroteknikk

Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet (NTNU)

Faglig kontakt under eksamen: Trond Andresen, mobil **9189 7045**
Han går to veiledningsrunder, ca. kl. 0940 - 1010 og ca. kl. 1115 - 1145.

Eksamen i TTK4105 reguleringsteknikk

torsdag 22. mai 2014

Tid: 0900 - 1300

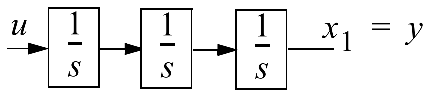
Sensur vil foreligge innen tre uker. Den blir også lagt ut på its learning når den er klar.

Prosenttallene angir den relative vekt oppgavene tillegges ved bedømmelsen. Denne besvarelsen teller 100% på karakteren.

Flere spørsmål kan besvares meget enkelt ved å bruke formelsamlinga bakerst i oppgavesettet. Se kjapt gjennom den før du begynner. Sjekk alltid den før du gir opp! Men du må forklare hvordan du bruker noe, når du henter det fra formelsamlinga. Noen spørsmål skal besvares ved å lese av verdier på grafer i oppgavesettet – i slike tilfeller godtas en viss "måleunøyaktighet". Det inkluderes et ekstra ark her i tilfelle du roter deg bort ved tegning. Tips: bruk blyant!

Oppgave 1 (17 %)

Gitt et enkelt system som består av tre integratorer i serie:



a) (5 %) Uttrykk systemet som som en tilstandsrommodell ved å finne matrisene/vektorene A, $\underline{b}$, $\underline{c}^T$.

b) (5 %) Vis at transisjonsmatrisa blir:

$$e^{At} = \begin{bmatrix} 1 & t & \frac{t^2}{2} \\ 0 & 1 & t \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} .$$

(Tips: Den kan i dette tilfellet finnes ved potensrekke, fordi alle ledd blir null fra og med tredjepotens-leddet i rekka. Men andre framgangsmåter er også tillatt.)

c) (3 %) Finn impulsresponsen $h(t)$ ved residuregning på systemets transferfunksjon $h(s) = \frac{y}{u}(s)$.

d) (2 %) Finn den samme impulsresponsen ved en annen metode, som du kan velge sjøl.

e) (2 %) Er dette systemet stabilt, marginalt stabilt eller ustabilt? Begrunn svaret, både ut fra en inngang/utgangs-betraktning, og ut fra egenverdienes plassering.

Oppgave 2 (4 %)

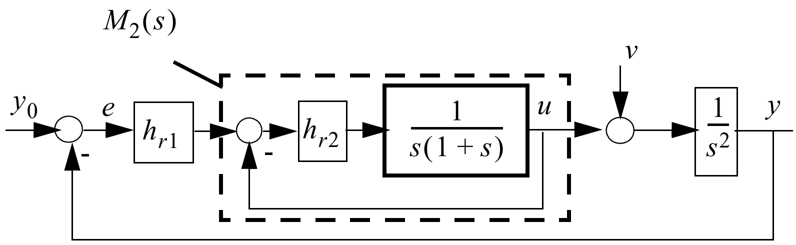
Finn transferfunksjonen $h(s)$ for et 2. ordens Butterworth lavpassfilter med knekkfrekvens $100[\text{rad/s}]$.

Oppgave 3 (3 %)

Med hensyn på sikkerhet ved eksperimentell innstilling av regulator i et industrielt reguleringssystem, er Skogestads SIMC-metode bedre enn Ziegler-Nichols' metode. Forklar kort hvorfor.

Oppgave 4 (53 %) (stor oppgave, men du kan komme videre her sjøl om du ikke greier alle deloppgaver)

Gitt en reguleringsstruktur som vist i figur 4.1.



figur 4.1

Blokken med tjukk strek er en servo for roret til et fartøy, y er kurs og forstyrrelsen v er et konstant uønsket dreiemoment som påvirker kursen. For enkelhets skyld har vi satt fartøyets treghetsmoment = 1, og ignorert dempinga p.g.a. friksjon fra vannet når fartøyet endrer kurs.

a) (3 %) Anta at din intensjon først er å ikke ha intern tilbakekopling, men bare ha én regulator h_{r1}, med derivatvirkning. Går det? Begrunn svaret!

b) (4 %) Du velger fra nå av å ha intern tilbakekopling, slik som vist i figur 4.1. *Vi betrakter nå inntil videre bare den indre sløyfa, indikert med stiplet linje.* Se også inntil videre bort fra forstyrrelsen. Regulatoren $h_{r2} = K_{p2}$. Finn følgeforholdet $M_2(s)$ og bring det

på formen $$M_2(s) = \frac{1}{1 + 2\zeta\frac{s}{\omega_0} + \left(\frac{s}{\omega_0}\right)^2} \tag{4.1}$$

Uttrykk ω_0 som funksjon av K_{p2}.

c) (4 %) Vi ønsker stor K_{p2} i den indre sløyfen. Hvorfor?

Vi velger $K_{p2} = 4$. Finn ζ.

Hva blir faseforskyvningen φ i sprangresponsen til M_2?

d) (3 %) Kommentér hvilke tre prinsipielt forskjellige typer sprangrespons vi får for M_2; med liten, middels eller stor K_{p2}.

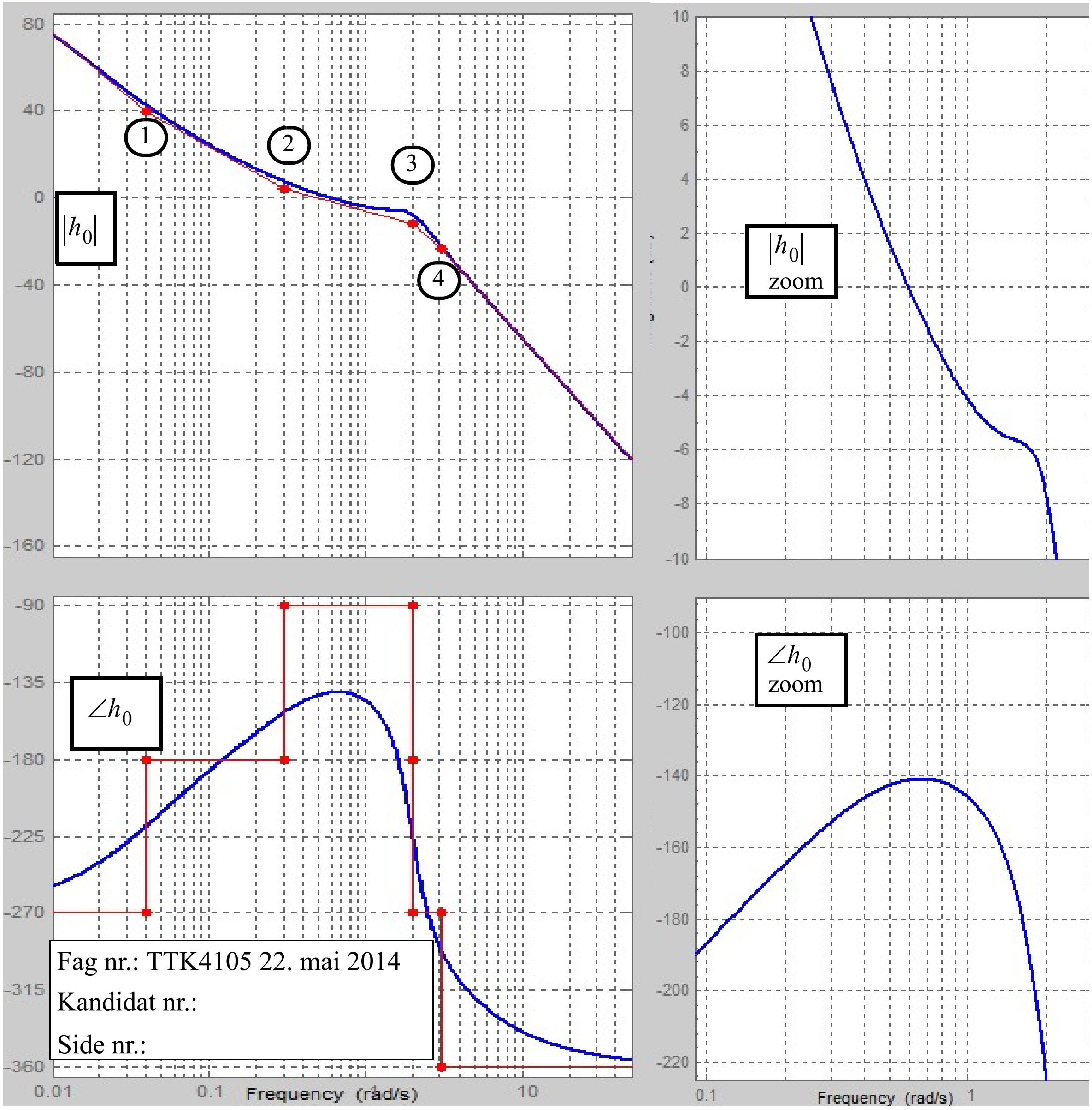
e) (4 %) Den indre sløyfen er nå fastlagt. ***Fra nå av har vi også med den ytre sløyfen.***
Du velger en PID-regulator

$$h_{r1} = K_p\frac{(1 + T_i s)(1 + T_d s)}{T_i s(1 + aT_d s)} \tag{4.2}$$

Finn sløyfetransferfunksjonen h_0 for den ytre sløyfen. Hvor mange poler N_p (jfr. Nyquists stabilitetskriterium) i høyre halvplan har det åpne system?

f) (5 %) Figur 4.2 viser et Bodediagram for h_0 med asymptoter. Regulatorparametre er her fornuftig valgt Hvordan kan du se det av diagrammet? Dette systemet er *betinget* stabilt. Hva menes med det? Les av forsterkningsmargin og fasemargin. Tegn i Bode-diagrammet. Kommentér! Ta arket med figur 4.3 ut av oppgavesettet og levér det som en del av besvarelsen.

g) (6 %) Les av fra diagrammet og finn de valgte parameterne T_i, T_d, a. Vis ved avlesing og v.h.a. den T_i du fant at $K_p \approx 0.15$ (her tillates ganske stort slingringsmonn, bare det framgår at du har tenkt riktig).
Indikér også hvordan de øvrige knekkpunkter i asymptotene framkommer. Dette kan du gjøre i din øvrige tekst ved å referere til de innsirklede nummer, slik at du ikke trenger å skrive om dette i bodediagrammet.



figur 4.2

h) (3 %) Figur 4.3(b) viser et utsnitt av Nyquistkurven for h_0 med de valgte regulatorparametre. Finn forsterkningsmarginen v.h.a. denne grafen. Sammenlign med svaret fra deloppgave f).

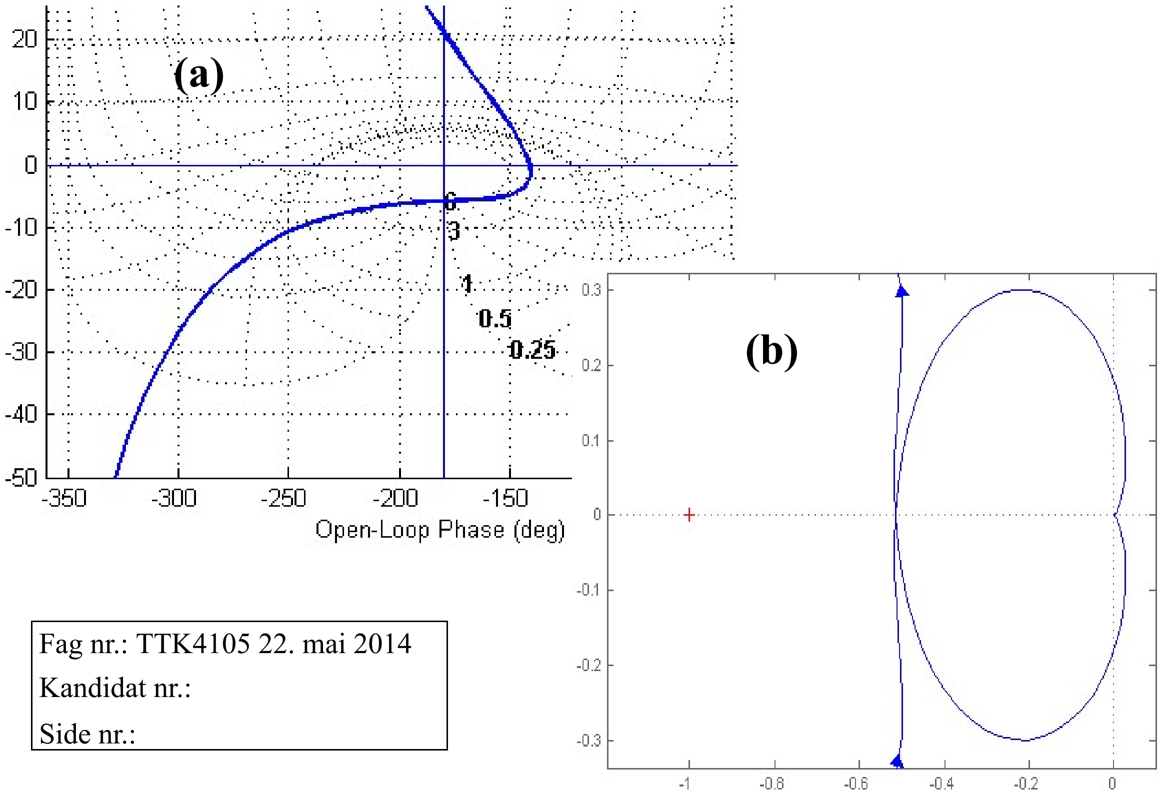
i) (4 %) Finn ved hjelp av Nichols-diagrammet i figur 4.3(a) resonanstoppen i avviksforholdet. Omtrent ved hvilken frekvens inntreffer den? Tegn i diagrammet.

j) (3 %) Nå til forstyrrelsen v i figur 4.1. Hva blir transferfunksjonen h_v for den ytre sløyfa?

k) (6 %) Forstyrrelsen v er konstant. Finn det stasjonære avviket $e(\infty)$ med regulatoren (4.2). Finn også $e(\infty)$ med PD-regulering (arbeidsbesparende tips: det svarer til å sette $T_i = \infty$). Kommentér.

l) (3%) Anta PD-regulator. Sett $v = 0$. *Referansen* y_0 endrer seg nå som et sprang. Blir det stasjonært avvik? Kort begrunnet verbalt svar tilstrekkelig.

m) (5 %) PID-regulatoren (4.2) skal realiseres diskret. Det betyr at holdeelementets virkning må tas med i betraktning. Finn en tastetid (samplingstid) T som er akkurat så liten at den ikke forverrer fasemarginen med mer enn 2 grader (Tips: husk skalering mellom radianer og grader her!)
Hva er det *første* trinn i det du må gjøre med regulatortransferfunksjonen (4.2) for gjennom noen flere trinn å regne deg fram til den diskrete regulatoralgoritmen?



Fag nr.: TTK4105 22. mai 2014
Kandidat nr.:
Side nr.:

figur 4.3

Oppgave 5 (7 %)

Vi skal betrakte en befolkning på N personer, hvor en smittsom sjukdom brer seg, etter hvert til alle. Dette er en sjukdom hvor man ikke blir frisk, men hvor ingen dør. Kall antall sjuke x. En mye brukt modell for slikt er:

$$\dot{x} = cx\left(1 - \frac{x}{N}\right) \quad \text{, der } c \text{ er en positiv konstant.} \tag{5.1}$$

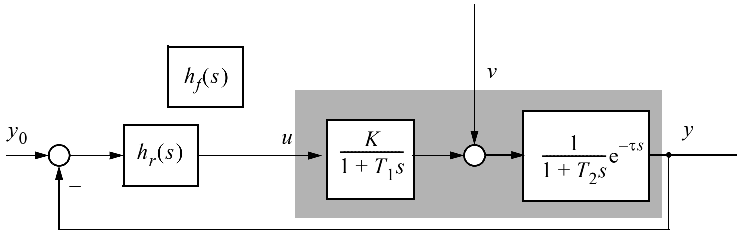
a) (1 %) Hvorfor er denne modellen ulineær?

b) (1 %) Dette er et *autonomt* system. Hva menes med det?

c) (3 %) Finn en lineær modell som gjelder når få personer er smittet. Kall antall personer ved starttidspunktet $t_0 = 0$ for x_0. Hva blir den tilnærmede formelen for $x(t)$ når det fortsatt er få smittede personer?

d) (2 %) Vis at $x(t)$ i modellen (5.1) ikke kan øke ut over et "tak" på N personer (heldigvis, ellers ville vi ha måttet forkaste den ...).

Oppgave 6 (16 %)



figur 6.1

Figur 6.1 viser et tilbakekoplet reguleringssystem hvor man også skal installere en foroverkopling. Prosessen som skal styres er indikert med skravert felt.

a) (1 %) Når er foroverkopling fra forstyrrelse mulig? Kort verbalt svar.

b) (2 %) Tegn tilstrekkelig mye av blokkdiagrammet i figur 6.1 for å vise foroverkoplingsblokka h_f riktig forbundet med den øvrige struktur.

c) (3 %) Finn den ideelle forkopling h_{fi} for systemet. Modifisér den til en mer realistisk foroverkopling.

d) (2.5 %) For $T_2 \gg T_1$ og/eller $\tau \gg T_1$ er foroverkoplinga særskilt nyttig. Forklar hvorfor verbalt!

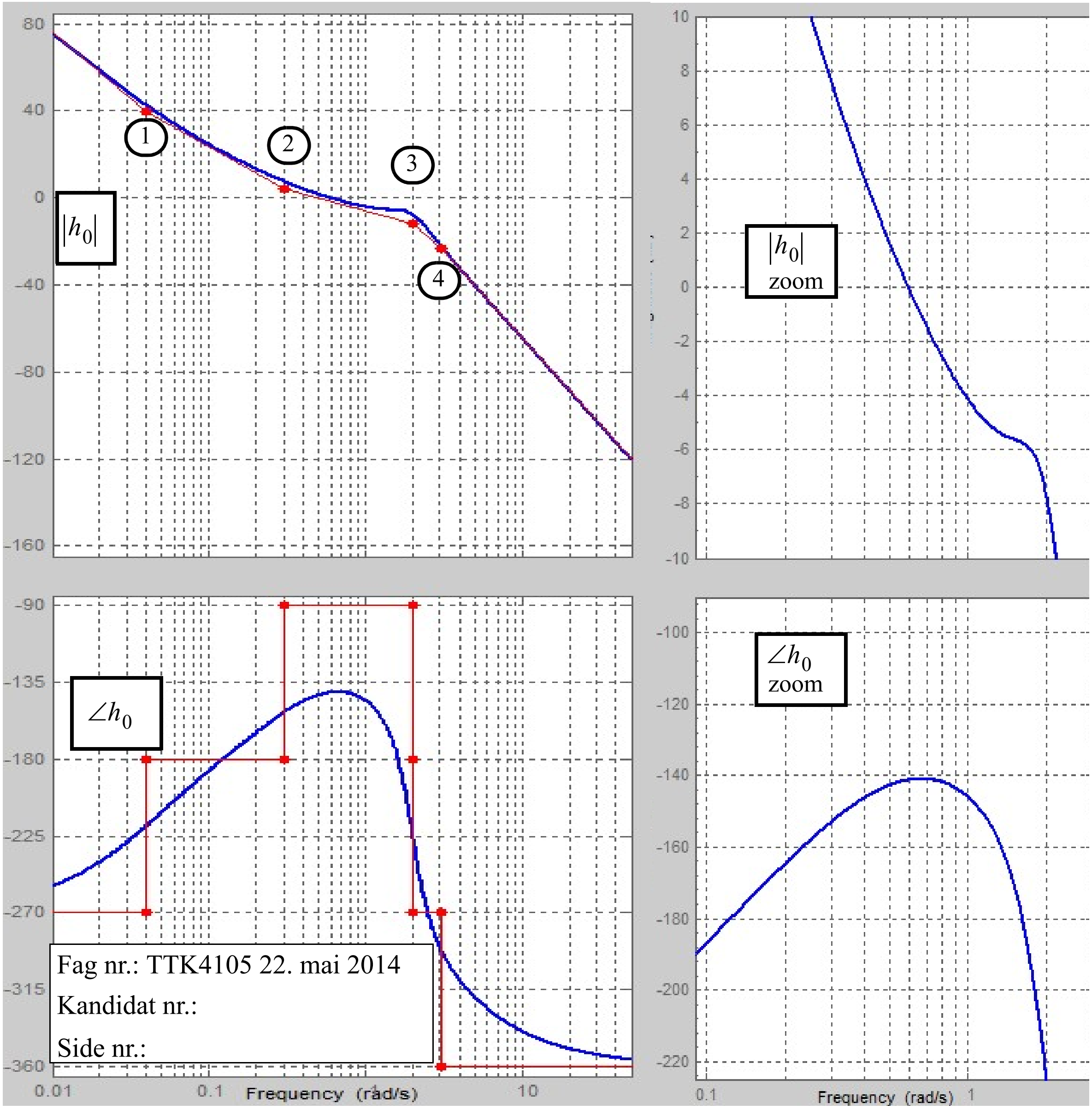
e) (1.5 %) Hva blir den *statiske* foroverkoplinga, og hva slags forstyrrelse v er den i stand til å eliminere virkningen av?

f) (1 %) Du tenker først å la regulatoren være av type PI. Men så slår det deg at kanskje du heller skal lage en Otto Smith-regulator, med PI-regulatoren som komponent i denne. Hvorfor det?

g) (2 %) En kollega innvender at det ikke bare er å skifte til en annen regulator, for det vil påvirke valget av foroverkopling. Hva svarer du?

h) (3 %) Vis at transferfunksjonen h_r, når denne er en Otto-Smith-regulator med PI-regulator som komponent, kan skrives som

$$h_r = K_p \frac{(1+T_i s)(1+T_1 s)(1+T_2 s)}{T_i s(1+T_1 s)(1+T_2 s) + K_p K(1+T_i s)(1-e^{-\tau s})} \tag{6.1}$$



(Ekstra ark, hvis du trenger det.)