



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

lørdag 19. mai 2012

Tid: 0900 - 1300

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

Hjelpemiddelkombinasjon D: Kalkulator med tomt minne tillatt. Ingen trykte eller håndskrevne hjelpemidler tillatt, unntatt Rottmann, som altså er tillatt.

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

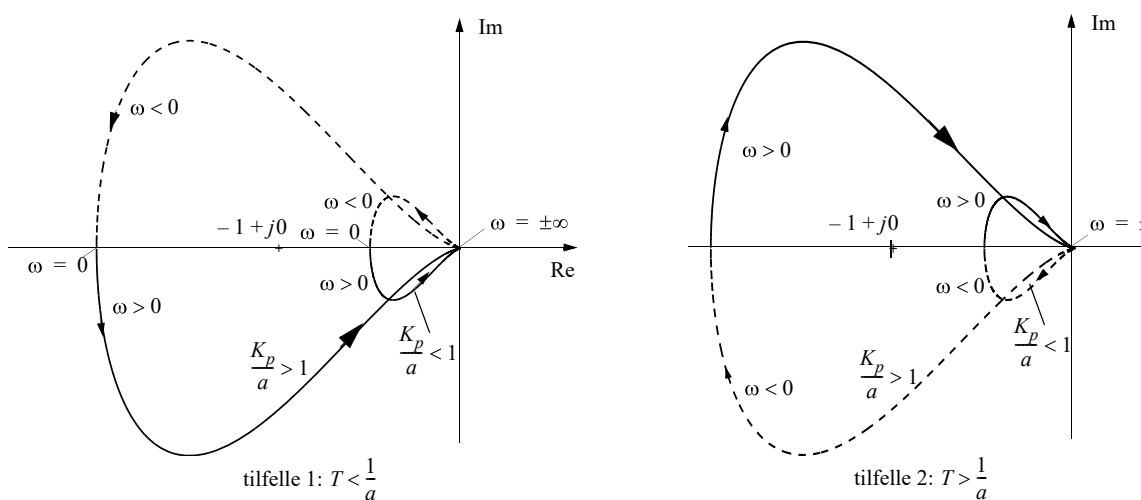
Flere spørsmål kan besvares meget enkelt ved å bruke formelsamlinga bakerst i oppgavesettet. Se kjapt gjennom den før du begynner. Sjekk alltid den før du gir opp! Men du må forklare hvordan du bruker noe, når du henter det fra formelsamlinga. Noen spørsmål skal besvares ved å lese av verdier på grafer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

Oppgave 1 (18 %)

Figur 1.1 viser polardiagrammer (Nyquist-diagrammer) for en prosess med proporsjonalregulator,

$$h_0(s) = h_r(s)h_u(s) = K_p \frac{1}{(1 + Ts)(s - a)}, \quad a > 0 \quad (1.1)$$

Polardiagrammene for $h_0(j\omega)$ er vist i to del-figurer, avhengig av innbyrdes forhold mellom prosessparametrene T og a .



figur 1.1



Norges teknisk-naturvitenskapelege universitet (NTNU)

Fagleg kontakt under eksamen: Trond Andresen, mobil 9189 7045
T.A. går to rettleiingsrundar, ca. kl. 0940 - 1010 og ca. kl. 1115 - 1145.

Eksamen i TTK4105 reguleringsteknikk

lørdag 19. mai 2012

Tid: 0900 - 1300

Sensur vil vere klar innan tre veker. Den blir og lagt ut på its learning når den er klar.

Hjelpemiddelkombinasjon D: Bestemt, enkel kalkulator tillate. Og Rottmanns formelsamling er tillate. Ingen andre skriftlege hjelpemiddel er tillate.

Denne eksamensoppgåva tel 100 % på karakteren.

Fleire spørsmål kan du enkelt svare på med å bruke formelsamlinga bakerst i oppgavesettet. Sjekk alltid den før du gjev opp! Men du må forklare korleis du brukar det, når du tar noko frå formelsamlinga.

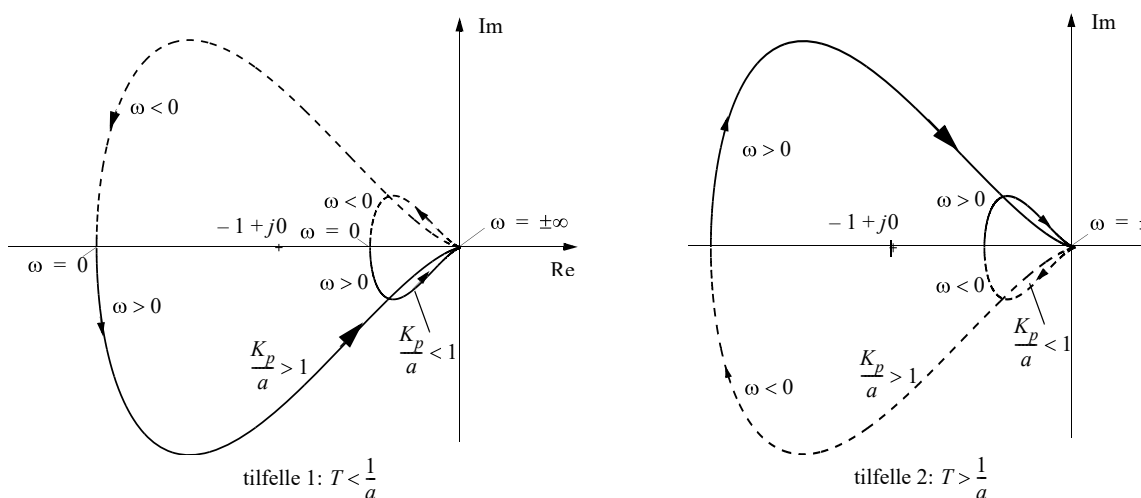
Nokre spørsmål skal svarast på ved å måle ut verdier på figurar i oppgavesettet – i slike tilfelle vil ein godta noko "målefeil"! Det blir inkludert nokre ekstra ark her i høve du rotar deg vekk ved teikning. Tips: bruk blyant!

Oppgave 1 (18 %)

Figur 1.1 viser polardiagrammer (Nyquist-diagrammer) for en prosess med proporsjonalregulator,

$$h_0(s) = h_r(s)h_u(s) = K_p \frac{1}{(1+Ts)(s-a)}, \quad a > 0 \quad (1.1)$$

Polardiagrammene for $h_0(j\omega)$ er vist i to del-figurer, avhengig av innbyrdes forhold mellom prosessparametrene T og a .



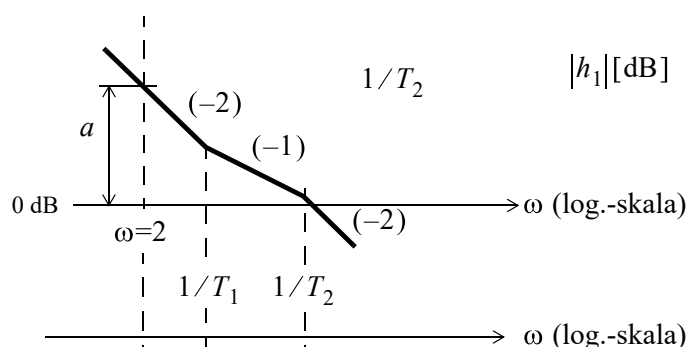
figur 1.1

- a) (2 %) Er denne prosessen åpent stabil (dvs. når man ikke har tilbakekopling), eller er den åpent ustabil? Begrunn svaret!
- b) (4 %) Finn v.h.a. Nyquists stabilitetskriterium hvilket krav som må stilles til K_p for at det lukkede systemet skal bli stabilt i tilfelle 1. Kan det lukkede system bli stabilt i tilfelle 2? Begrunn svaret!
- c) (4 %) Finn antall poler i høyre halvplan for det lukkede system **i tilfelle 2** for $K_p < a$ og $K_p > a$, v.h.a. Nyquists kriterium.
- d) (3 %) Sjekk resultatene fra b) og c) ved hjelp av nevnerpolynomet i det lukkede system.
- e) (5 %) Finn en tilstandsrommodell \mathbf{A} , \mathbf{b} , \mathbf{c}^T av h_0 .

Oppgave 2 (20%)

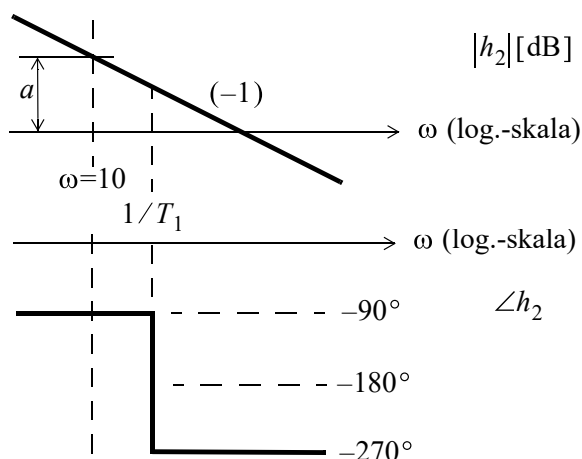
Du skal finne transferfunksjoner $h_i(s)$ for to systemer som er gitt ved sine asymptotiske Bode-diagrammer. Benytt de oppgitte parametre a , T_1 , T_2 . (a er i absoluttverdi, ikke i dB. T_2 trengs bare for $h_1(s)$.)

- a) (6 %) I tillegg til å finne $h_1(s)$, svar på dette:
 $h_1(s)$ er transferfunksjonen for to integratorer i serie med en bestemt type regulator. Hva slags regulator, og hvorfor denne typen regulator i dette tilfellet?



- b) (4 %) Hvor bør 0-dB-linja legges for å få størst mulig fasemargin ψ ? Hva blir da kryssfrekvensen ω_c ?

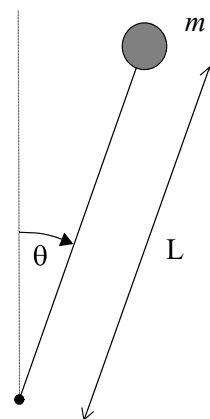
- c) (6 %) I tillegg til å finne $h_2(s)$, svar på dette:
 $h_2(s)$ tilhører en annen klasse transferfunksjoner enn $h_1(s)$. Hva er karakteristisk for denne klassen av transferfunksjoner?



- d) (4 %) Vis at den a som gir forsterkningsmargin $\Delta K = 6$ dB blir $a = 0.05/T_1$.

Oppgave 3 (23 %)

Gitt en invertert pendel bestående av ei stang med lengde L og en masse m . Stangas masse kan ignoreres. Pendelen er festet i et punkt med friksjon, som gir et bremsende dreiemoment som er proporsjonalt med pendelens vinkelhastighet $\dot{\theta}$. Dempekonstanten er D [Nm / (rad/s)].



- a) (7 %) Er dette et autonomt system?

Vis at ei differensialligning for vinkelposisjonen θ er

$$\ddot{\theta} = \frac{g}{L} \sin \theta - \frac{D}{mL^2} \dot{\theta} \quad (3.1)$$

Ligninga (3.1) er ulineær. Hvorfor?

- b) (4 %) Sett $x_1(t) = \theta(t)$, definér en passende $x_2(t)$, og formulér (3.1) som et sett av to første ordens differensialligninger, på formen (= tilstandsrommodell):

$$\dot{\underline{x}} = f(\underline{x}) = \begin{bmatrix} f_1(x_1, x_2) \\ f_2(x_1, x_2) \end{bmatrix} \quad (3.2)$$

Fra nå av betrakter vi bare små vinkelutslag rundt likevektspunktet $\theta = 0$:

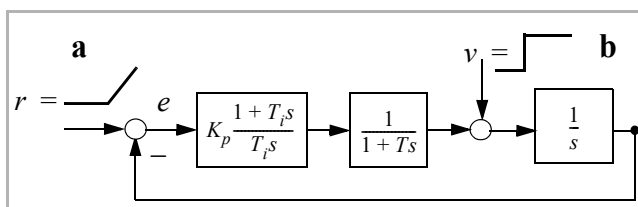
- c) (4 %) Linearisér systemet rundt likevektspunktet, dvs. du skal vise at matrisa A i tilnærminga

$$\Delta \dot{\underline{x}} = A \Delta \underline{x}, \text{ blir } A = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ \frac{g}{L} & -\frac{D}{mL^2} \end{bmatrix} \quad (3.3)$$

- d) (8 %) Det oppgis at vinkelposisjonen ved $t = 0$ er $\theta_0 = 0$, og at pendelen da har vinkelhastigheten ω_0 [m/s]. Man kan da bruke dette, pluss Laplacetransformasjon og (3.3) til å finne $\theta(t)$. Det forlanges ikke her at du finner $\theta(t)$, men at du stopper et trinn før dette resultatet, dvs. du skal finne $\theta(s)$.

Oppgave 4 (6 %)

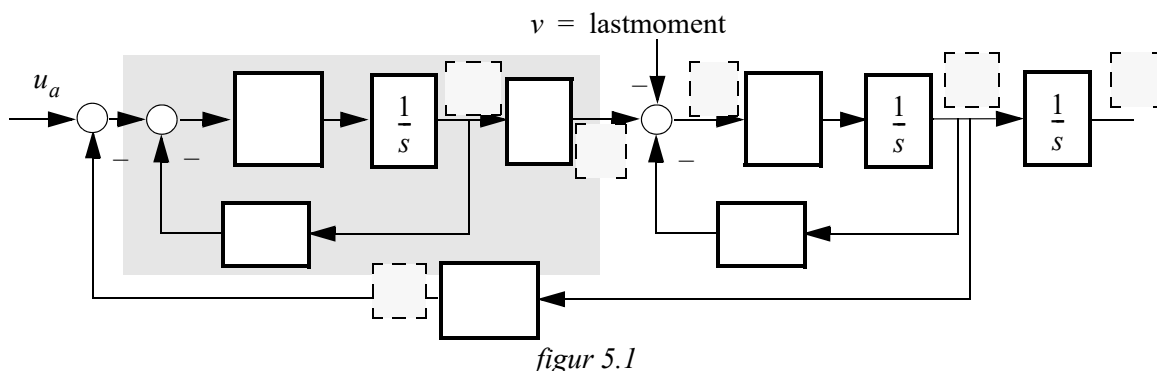
Gitt systemet i figuren til høyre. Det antas at regulatorparametre er valgt slik at det lukkede system er asymptotisk stabilt. Systemet utsettes for en sprang- eller rampefunksjon som vist. Du skal svare på om signal "a" og signal "b" (vurdert hver for seg) gir null stasjonært avvik: $e(\infty) = 0$, eller om avviket blir $0 < e(\infty) = \text{konst.} < \infty$, eller om det blir $e(\infty) = \infty$.



Du kan oppgi de to svarene ut fra begrunnede regler som du husker, eller du kan regne deg fram til dem.

Oppgave 5 (12 %)

Gitt blokkdiagrammet for en likestrømsmotor i figur 5.1:



- a) (7 %) Du skal skrive inn følgende størrelser på korrekt vis i blokkdiagrammet (til hjelp, se antydde posisjoner for noen av størrelsene):

- vinkelposisjon θ og vinkelhastighet ω
- ankerstrøm i_a
- motindusert spenning i rotor, e_a
- avgitt motormoment T_m
- netto moment til akselerasjon av motor, d
- ankermotstand R_a og ankerinduktans L_a
- momentkonstant K_T og spenningskonstant K_v for motindusert spenning
- motorens treghetsmoment J og motorens dempekonstant B

Fag nr.: TTK4105 19. mai 2012
Kandidat nr.:
Side nr.:

Tips: Transferfunksjonen for undersystemet som er indikert med skravert

rektangel til venstre i figur 5.1, er
$$\frac{K_T}{R_a + L_a s} \quad (5.1)$$

Dette tipset er også nyttig for punkt b) nedenfor. Det gjør det mulig å besvare b) sjøl om du ikke greidde noe på punkt a).

For enkelhets skyld kan du, om du foretrekker det, tegne i figuren, og levere dette arket som en del av besvarelsen.

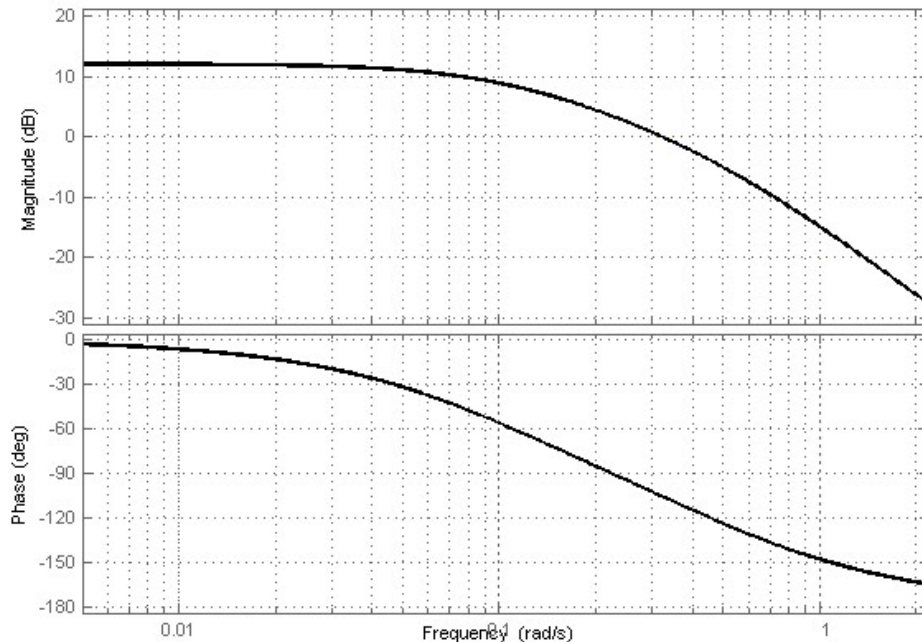
- b) (5 %) Anta at lastmomentet (forstyrrelsen v) kan måles (vi kan f.eks. tenke oss at motoren står i en heisekran med en måleinnretning for lastens vekt). Finn den ideelle foroverkopling fra v til u_a som helt eliminerer virkningen av v . Hva blir den beste *statiske* foroverkopling fra v til u_a ? Hva eliminerer den?

Oppgave 6 (21 %)

- a) (6 %) Gitt en prosess h_u , se bodediagram øverst neste side. Det oppgis at

$$h_u = \frac{4}{1 + 12s + 20s^2}. \quad (6.1)$$

Tegn inn asymptoter for amplitude og fase. Levér dette arket som del av besvarelsen. Det skal framgå hvordan du har fastlagt asymptotene, det er ikke nok å “smyge” dem inntil den oppgitte grafen. Oppgi bl.a. hvilken dB-verdi $|h_u|$ har helt til venstre.

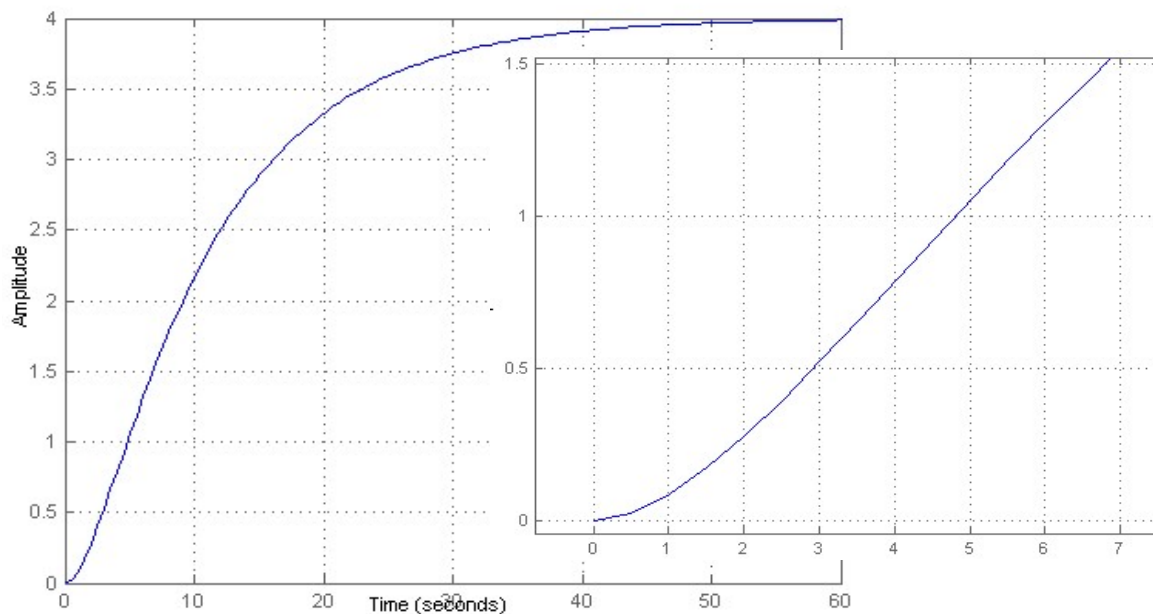


Fag nr.: TTK4105 19. mai 2012

Kandidat nr.:

Side nr.:

- b) (5 %) Prosessen skal reguleres med en PI-regulator. Finn K_p og T_i til denne ved hjelp av Skogestads SIMC-metode. Åpen-sløyfe-sprangrespons er som vist under, i to skalaer:



- c) (4 %) Du skal nå regulere den gitte h_u med diskret regulator. Velg en rimelig tastetid T og begrunn valget. Du må da endre én parameter som er inngangsdata i Skogestads SIMC-metode. Hvilken, og hvor mye?
- d) (6 %) For dette systemet er Ziegler-Nichols' lukket-sløyfe-metode ubrukelig. Hvorfor? Beslektet spørsmål: Hvor stor er forsterkningsmarginen med proporsjonalregulator og $K_p = 1$? Og hvor stor er fasemarginen?