Institutt for teknisk kybernetikk
Fakultet for informasjonsteknologi, matematikk og elektroteknikk

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.

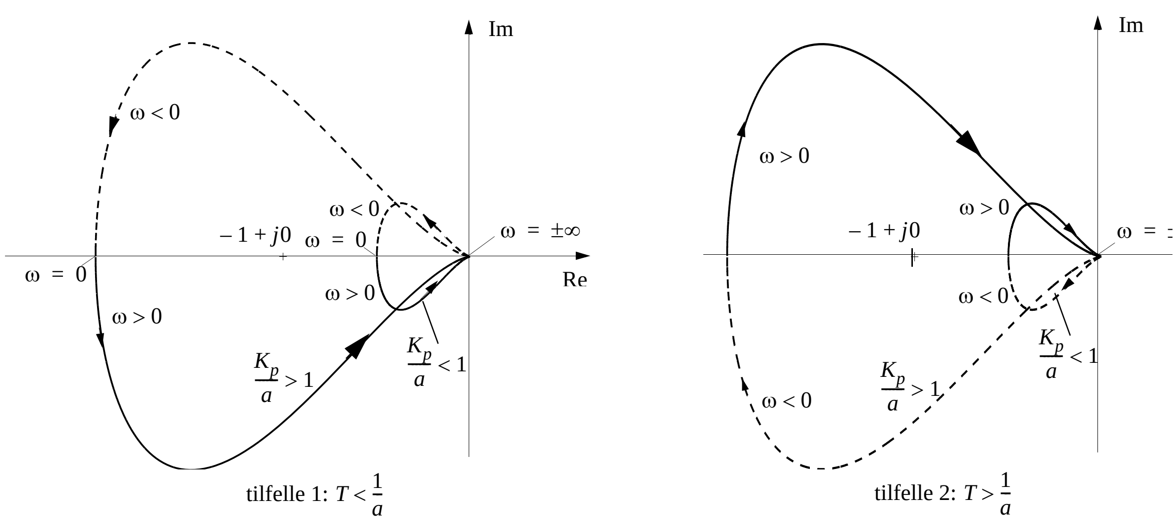
Nokre spørsmål skal svarast på ved å måle ut verdier på figurar i oppgåvesettet – i slike tilfelle vil ein godta noko "målefeil"! Det blir inkludert nokre ekstra ark her i høve du rotar deg vekk ved teikning. Tips: bruk blyant!

Oppgave 1 (18 %)

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

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

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 tibakekopling), 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.

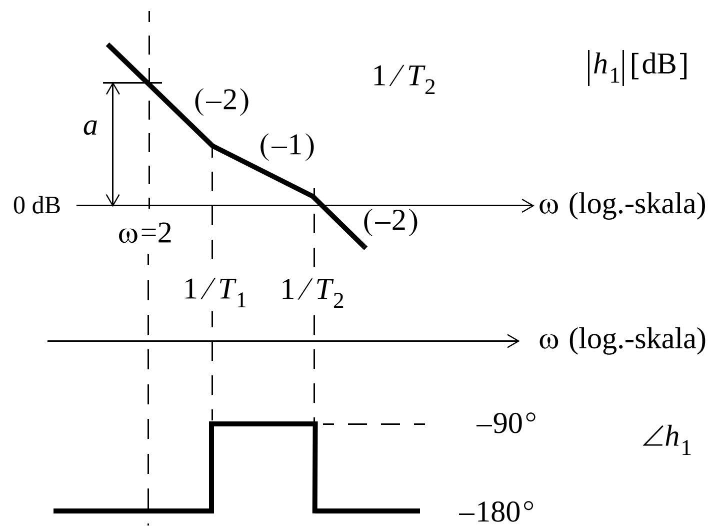
d) (3 %) Sjekk resultatene fra b) og c) ved hjelp av nevnerpolynomet i det lukkede system.

e) (5 %) Finn en tilstandsrommodell **A**, **b**, $\mathbf{c}^T$ av h_0.

Oppgave 2 (20%)

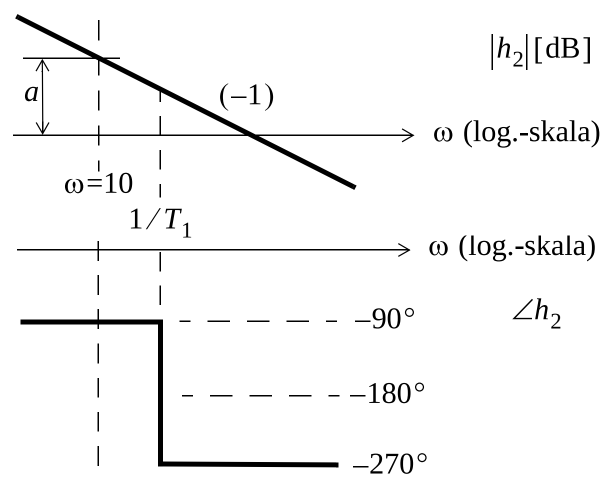
Du skal finne transferfunksjoner $h_i(s)$ for to systemer som er gitt ved sine asymptotiske Bode-diagrammer. Benytt de oppgitte parametre a, T_1, T_2. (a er i absoluttverdi, ikke i dB. T_2 trengs bare for $h_1(s)$.)

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-lnja legges for å få størst mulig fasemargin ψ? Hva blir da kryssfrekvensen ω_c?

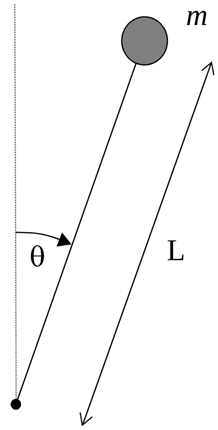
c) (6 %) I tillegg til å finne $h_2(s)$, svar på dette: $h_2(s)$ tilhører en annen klasse transferfunksjoner enn $h_1(s)$. Hva er karakteristisk for denne klassen av transferfunksjoner?



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

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

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):

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

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

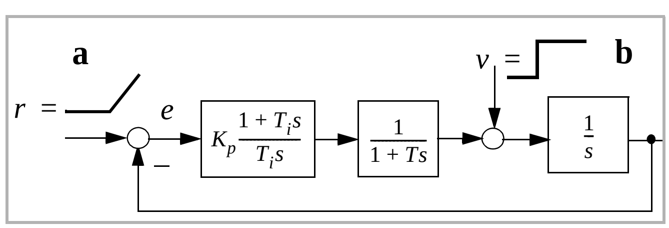
c) (4 %) Linearisér systemet rundt likevektspunktet, dvs. du skal vise at matrisa A i tilnærminga

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

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 %)

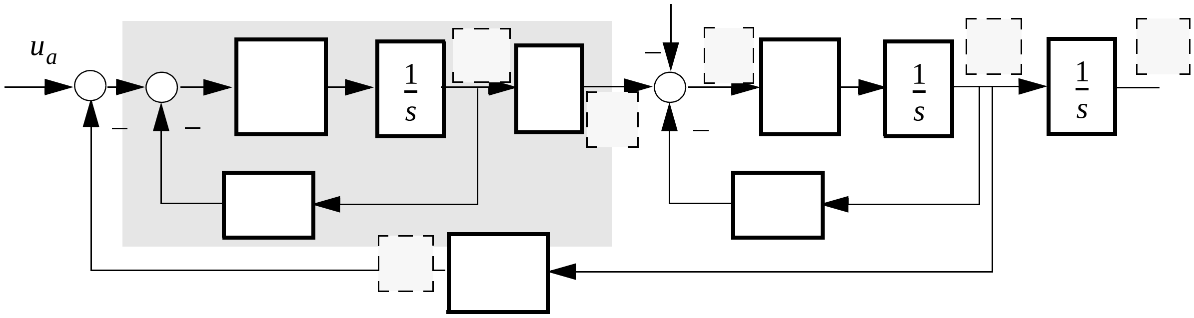
Gitt systemet i figuren til høyre. Det antas at regulatorparametre er valgt slik at det lukkede system er asymptotisk stabilt. Systemet utsettes for en sprang- eller rampefunksjon som vist. Du skal svare på om signal "**a**" og signal "**b**" (vurdert hver for seg) gir null stasjonært avvik: $e(\infty)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



figur 5.1

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

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

- 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

Tips: Transferfunksjonen for undersystemet som er indikert med skravert rektangel til venstre i figur 5.1, er $\dfrac{K_T}{R_a + L_a s}$ (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.

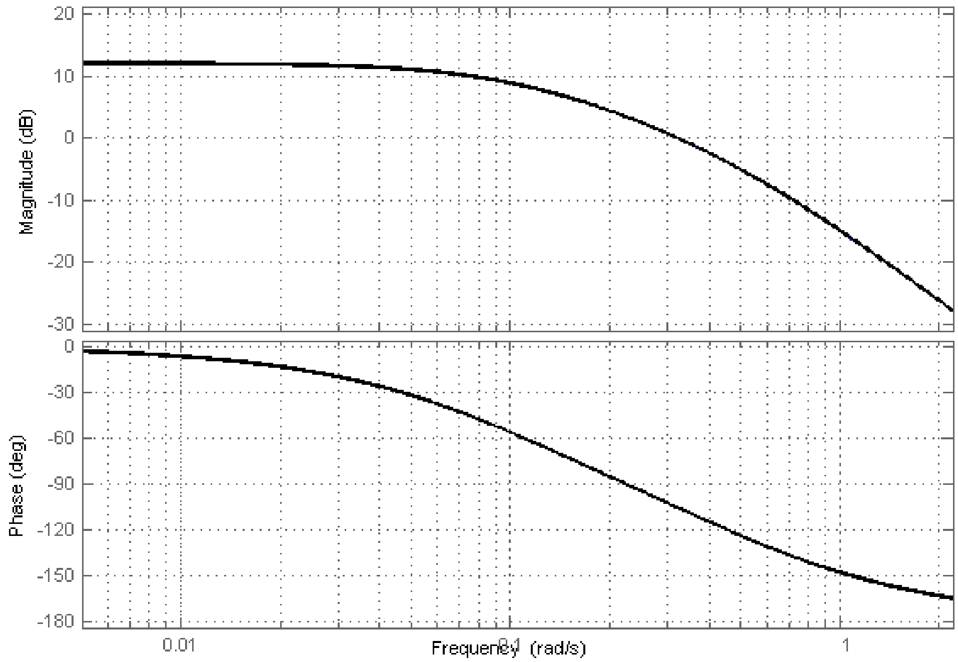
b) (5 %) Anta at lastmomentet (forstyrrelsen v) kan måles (vi kan f.eks. tenke oss at motoren står i en heisekran med en måleinnretning for lastens vekt). Finn den ideelle foroverkopling fra v til u_a som helt eliminerer virkningen av v. Hva blir den beste *statiske* foroverkopling fra v til u_a? Hva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

Oppgave 6 (21 %)

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

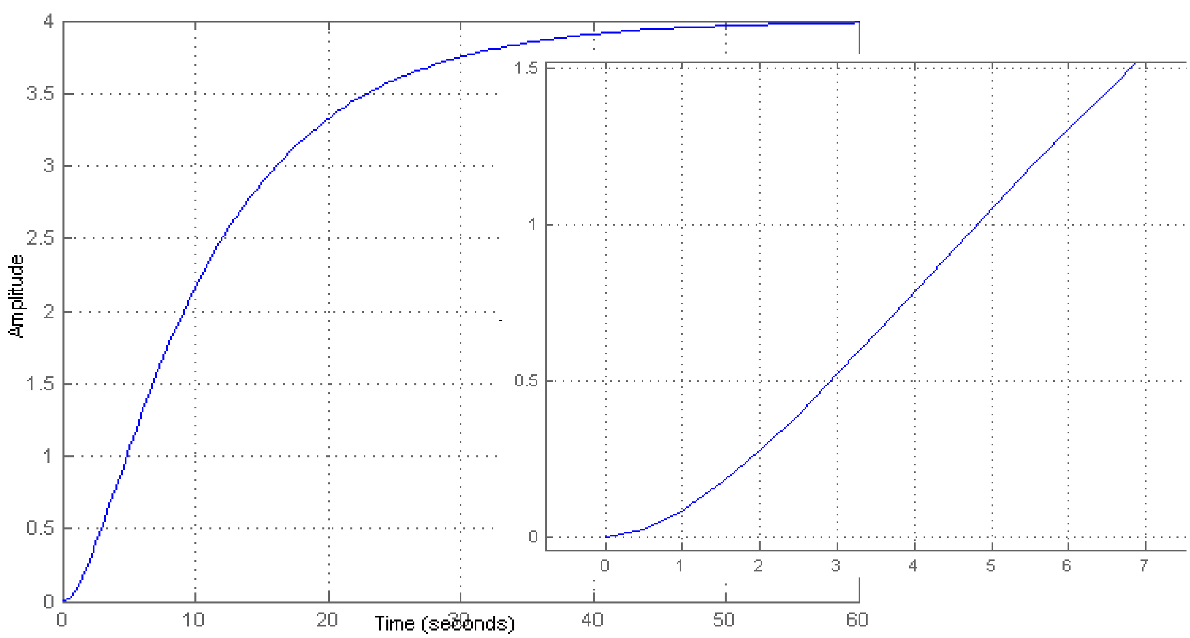
$$h_u = \frac{4}{1 + 12s + 20s^2}. \tag{6.1}$$

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?