

Eksamen i: ELE320 Reguleringssteknikk

Tilgjengelig tid: 4,5 timer (inkludert tid for opplasting)

Hjelpemidler tillatt: Alle tekniske hjelpemidler er lovlig. Det er ikke lov å få hjelp av andre personer under arbeidet med eksamensoppgaven. Vi gjør samtidig oppmerksom på at du, ved semesterregistreringen, har signert digitalt på at du har satt deg inn i regler for plagiering, og regler for fusk som omfattes av eksamensforskriften. Plagiatkontroll vil bli benyttet.

Eksamenssettet består 2 oppgaver på totalt 6 sider

Viktige kontaktpersoner under eksamen: Dersom noe skjer under eksamen, og du trenger hjelp kan du ringe et av telefonnummerne under. Det gjelder både hvis du trenger teknisk støtte, faglig avklaringer eller administrativ støtte.

Faglig ansvarlig: **Tormod Drengstig, 93 88 55 33**

Administrativ støtte: 51 83 17 15 / 51 83 31 33 / 92 81 65 97 / 91 78 67 16

Teknisk støtte: 51 83 20 14/51 83 20 30

Viktig informasjon om eksamen i Inspira

Dersom du har fått innvilget ekstra tid på eksamen så vil dette være lagt til din bruker. Du kan se nedtelling øverst på siden. Her vil du også finne ditt kandidatnummer som du må skrive på alle svararkene. Husk også å nummerer alle sidene og skriv totalt antall sider du leverer på forsiden. **NB! Husk at du ikke må skrive navn eller studentnummer på noen av arkene du skal levere inn. Inspira vil håndtere din identitet og sikre anonym vurdering..**

Du kan velge å skrive besvarelsen på blanke ark, linjerte ark, ruteark, eller du kan skrive ut på forhåndslaget svarark med ruter som du finner på Canvas. Du kan også lage besvarelsen i Latex eller annet program om du ønsker det. Besvarelsen skal leveres som PDF-fil.

Innlevering

Innleveringen lukkes automatisk når eksamenstiden er ute. Husk at tiden du får til rådighet på eksamen også inkluderer tiden det tar å skanne og laste opp besvarelsen din (*se vedlegg for tips ang skanning og opplasting av dokumenter*). Du er derfor tjent med å bruke tid på å sette deg inn i hvordan du gjør dette i god tid før du begynner på oppgaven.

Lykke til!

DET TEKNISK - NATURVITENSKAPELIGE FAKULTET

EKSAMEN I: ELE 320 Reguleringssteknikk

DATO: 5. mai 2020

VARIGHET: 4.5 timer (inkludert tid for opplasting)

TILLATTE HJELPEMIDLER: Alle

OPPGAVESETTET BESTÅR AV 2 OPPGAVE PÅ 6 SIDER

MERKNADER: Deloppgavene har ulik vekt.

FORELESER: Tormod Drengstig, tormod.drengstig@uis.no

Siden årets eksamen er hjemmeeksamen med alle hjelpemidler, skal du selv konkretisere/spesifisere de generelle oppgavene som blir gitt. Du skal altså velge tallverdier selv (helst med desimaler slik at ingen besvarelser kommer til å være like). For å gjøre sensureringen enklere, er det derfor veldig viktig at du skriver hvordan du tenker underveis og viser alle detaljene i utregningene dine.

Dersom du mener at noen oppgaver mangler informasjon, eller at noen oppgaver oppleves som uklare, så bare skriver du ned hva du antar og gjennomfører oppgaven.

Opgavesettet inneholder Matlab- og Simulinkoppgaver. Det betyr at:

- Dersom du ikke får til å lage Matlabfiler, skriv Matlabkoden for hånd i besvarelsen slik du tror den skulle vært.
- Dersom du ikke får til å lage Simulinkmodeller, tegn for hånd blokk-skjemaet/Simulinkmodellen som du ville implementert.

- Du skal ikke levere inn Matlab/Simulinkfiler for andre oppgaver enn de som tydelig indikerer dette.
- Du må velge tidsskritt i Simulinkmodellene som gjør at kurvene er glatte og kontinuerlige.
- Du må selv velge simuleringstid i Simulinkmodellene som gjør at du får et simuleringsresultat som gir tydelig svar på oppgaven.

Ta deg god tid til å lese gjennom hele teksten til hver deloppgave før du begynner. Det står nemlig mye viktig informasjon i teksten. Lykke til.

1 Estimering av 2.ordens prosessmodell (60%)

- a) (4%) Anta at du utfører en sprangresponstest på et ulineært, underdempet 2. ordens system. Anta videre at det totale variasjonsområdet for pådraget $u(t)$ er mellom 0 og 1. Målet er å finne modellen (transferfunksjonen) til prosessen i et valgt arbeidspunkt u_A/y_A .

Velg ditt eget sprang $\Delta u(t)$ i pådraget $u(t)$ omkring ditt eget valgte arbeidspunkt $u_A > 0$. La selve spranget gå på et tidspunkt $t > 0$ som du selv velger. Poenget er altså at spranget ikke skal gå i $t = 0$. Lag en figur med din egen tidsakse og skisser ditt valgte pådragssignal $u(t)$.

Skisser deretter din egen oppdiktete 2. ordens underdempede sprangrespons hvor du velger tallverdier for y_A , y_{max} og stasjonær sluttverdi (helst med en eller to desimalverdier).

Poenget er altså at ingen av dere skal tegne identiske pådrag $u(t)$ eller identiske responser $y(t)$.

- b) (4%) Kan du ut fra sprangresponsen se at systemet ditt er ulineært, eller må du gjøre flere undersøkelser på systemet ditt? I svaret ditt må du gi en begrunnelse hvor du gjerne bruker figurer og skisser av sprangresponser/stasjonære sammenhenger som viser at du har forstått forskjellen på lineære og ulineære system.

- c) (6%) Basert på sprangresponsen din, finn transferfunksjonen $H_p(s)$ til prosessen din. Husk at du skal få vist at du kan prinsippet for å finne $H_p(s)$, noe som betyr at avlesningene fra sprangresponsen din vil være omtrentlig (og det er helt greit). Det som er viktig er du får vist/indikert hvordan du leser av omtrentlige tallverdier.

Dersom du ikke klarer å finne $H_p(s)$, velg tre vilkårlige verdier for K , ω_0 og ζ og sett inn i uttrykket for en generell 2. ordens transferfunksjon

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

og bruk denne videre. Husk i så fall på at systemet skal være underdempet.

- d) (3%) Bestem polene til prosessen og tegn inn i et pol-/nullpunktdiagram.
- e) (5%) Anta at du kun kjente til pol/nullpunktdiagrammet fra forrige deloppgave. Gi en forklaring på, og vis hvordan du kan bruke polenes plassering (dvs. realdel og imaginærdel) til å beregne et estimat for responstiden T_r ?
- f) (6%) Implementer transferfunksjonen $H_p(s)$ i Simulink, og bruk en sprangblokk (Step) som produserer pådraget $u(t)$ som du skisserte i deloppgave a). Legg til nødvendige blokker slik at du får responsen $y(t)$ som du skisserte i deloppgave a). Bruk et Scope som viser pådraget $u(t)$ øverst og utgangen $y(t)$ nederst.

Kall Simulinkmodellen for `oppg1f.slx`, og last denne opp i Inspera.

Last også opp simuleringresultatet fra scopet. Fra scopemenyen, velg **File-> Print to Figure**, og Matlabfiguren lagrer du deretter til pdf. Kall pdf-filen for `oppg1f.pdf`.

- g) (4%) Basert på transferfunksjonen, tegn asymptotisk amplitude-fase-frekvens (AFF) diagram. Få med så mange detaljer som mulig.

Hvor i dette diagrammet finner vi informasjon om arbeidspunktet u_A/y_A ditt?

h) (6%) Forklar hva det i praksis betyr at amplituden faller med 40dB pr dekade. Skisser prinsipielle tidsresponser som viser at du har forstått hva dette innebærer for prosessen vi studerer. Eller sagt på en annen måte: Dersom du skulle verifisert at amplitudeforsterkningen faller med 40dB i et visst frekvensområde for prosessen du studerer, hvordan hadde pådraget $u(t)$ og utgangen $y(t)$ prinsipielt sett ut? Husk at ditt valgte arbeidspunkt er u_A/y_A .

i) (4%) Finn et uttrykk for prosessens frekvensrespons, dvs. amplitudeforsterkning $|H_p(j\omega)|$ og faseforskyvning $\angle H_p(j\omega)$.

j) (6%) Implementer kode i Matlab for å lage Bode-diagrammet av $H_p(s)$. I figuren som kommer opp, velg en vilkårlig frekvens som er ca. 10-20% lavere enn resonansfrekvensen. Kall denne frekvensen for ω_1 . Trykk på selve kurvene i Bodediagrammet ved denne frekvensen og les av amplitudeforsterkningen $|H(j\omega_1)|$ og fasen $\angle(H_p(j\omega_1))$.

Ta med kode og figur i besvarelsen. Kall Matlabfilen for `oppg1j.m` og pdf-versjon av figuren for `oppg1j.pdf`. Last begge opp i Inspira.

k) (6%) Sett den valgte frekvensverdien ω_1 fra forrige deloppgave inn i uttrykket for amplitudeforsterkning og faseforskyvning fra deloppgave i), og beregn $|H_p(j\omega_1)|$ og $\angle H_p(j\omega_1)$.

Vis at disse beregnede verdiene stemmer overens med den avleste verdien i Bodediagrammet i forrige deloppgave.

l) (6%) Ta utgangspunkt i Simulinkmodell fra deloppgave f) og erstatt sprangblokken med en sinusblokk som benytter den avleste frekvensen ω_1 . I sinusblokka, velg en egnet amplitudeverdi omkring arbeidspunktet ditt u_A , og simuler deretter modellen.

Ut fra kurvene/simuleringsresultatet av $u(t)$ og $y(t)$ i scopet, les av nødvendige tallverdier og vis hvordan du kan beregne verdiene for $|H(j\omega_1)|$ og $\angle(H_p(j\omega_1))$.

For å få med de avleste tallverdiene i innleveringen din, gå først inn i scopemenyen, velg **File-> Print to Figure** slik at en Matlabversjonen av figuren åpnes. I denne nye figuren kan du trykke på kurvene for å lese av verdier slik at disse blir med i .pdf'en. Kall pdf-filen for `oppg1l.pdf` og last denne opp i Inspira.

Kall Simulinkmodellen for `oppg1l.slx`, og last denne opp i Inspira.

2 Regulering (40%)

Gitt en annen prosess med følgende prosessmodell

$$H_p(s) = \frac{y(s)}{u(s)} = \frac{K}{Ts + 1} \quad (2)$$

hvor du igjen skal velge helt egne tall for forsterkningen K og tidskonstanten T , gjerne med desimaler. Målet er å bestemme PI-regulatorparametre til denne ved å bruke forskjellige metoder.

a) (6%) Velg først vilkårlige tallverdier for K og T (med desimaler).

Du skal nå bruke 3 metoder til å finne 3 sett med PI-regulatorparametre for systemet. Alle metodene har som hovedspesifikasjon at regulerings-systemet skal være tre ganger så rask som prosessen (i tillegg til noen andre spesifikasjoner), se under

1. Polplasseringsmetoden med $T_r = \frac{T}{3}$, samt 10% oversving.
2. Pol/nullpunktkanselleringsmetoden med $T_M = \frac{T}{3}$.
3. Skogestads metode for system uten dødtid ($\tau=0$) med $T_C = \frac{T}{3}$ og $k_1=1.44$

Dersom du må velge flere tallverdier, velg fornuftige verdier ut fra din egen transferfunksjon gitt i ligning (2). Lag deg en tabell som ligner på denne og sett inn tallene.

Tabell 1: PI-regulatorparametre.

| Nr. | Metode | K_p | T_i |
|-----|---|-------|-------|
| 1 | Polplasseringsmetoden, $\delta=0.1$ og $T_r=\frac{T}{3}$ | | |
| 2 | Pol/nullpunktkansellering $T_M=\frac{T}{3}$ | | |
| 3 | Skogestads metode, $\tau=0$, $k_1=1.44$ og $T_C=\frac{T}{3}$ | | |

b) (7%) Du skal nå undersøke hvordan følgeføreløset $M(s) = \frac{y(s)}{y_r(s)}$ ser ut for hver av metodene i deloppgave a). Sett inn tallverdiene for K , T , K_p og T_i for hver metode, og finn $M(s)$ for hver. Kall dem $M_1(s)$, $M_2(s)$ og $M_3(s)$ hvor subscript-nummereringen er relatert til nummereringen i tabell 1.

- c) (7%) Implementer de 3 følgeforholdene i hver sin transferfunksjonsblokk i en Simulinkmodell. Inkluder en sprangblokk med et enhets-sprang som går inn på alle de 3 følgeforholdene og vis responsene i et Scope (helst i samme figur slik at du kan sammenligne responsene). Kommenter resultatet.
- Kall Simulinkmodellen for `oppg2c.slx`, og last denne opp i Inspira.
- Last også opp simuleringresultatet fra scopet. Fra scopemenyen, velg **File-> Print to Figure**, og Matlabfiguren lagrer du deretter til pdf. Kall pdf-filen for `oppg2c.pdf`.
- d) (7%) Finn polene og eventuelle nullpunkt til $M_1(s)$, $M_2(s)$ og $M_3(s)$. Tegn alle inn i samme pol-/nullpunktdiagram. Marker polene/nullpunktene med $M_1(s)$, $M_2(s)$ og $M_3(s)$. Kommenter resultatet sett i sammenheng med sprangresponsene fra deloppgave c).
- e) (8%) Bruk Matlabkommadoen `margin` og finn forsterkningsmargin ΔK og fasemargin ϕ for hvert av reguleringssystemene. Kommenter resultatet sett i sammenheng med sprangresponsene fra deloppgave c).
- Ta med kode og figur i besvarelsen. Kall Matlabfilen for `oppg2e.m` og pdf-versjon av figuren for `oppg2e.pdf`. Last begge opp i Inspira.
- f) (5%) Velg ett av reguleringssystemene dine, og skisser for hånd amplitudeforsterkningen for $|M(j\omega)|$, $|H_0(j\omega)|$ og $|N(j\omega)|$. Få med så mange detaljer som mulig.