

## 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 - 1150.

# Eksamen i TTK4105 reguleringssteknikk

mandag 23. mai 2016

Tid: 0900 - 1300

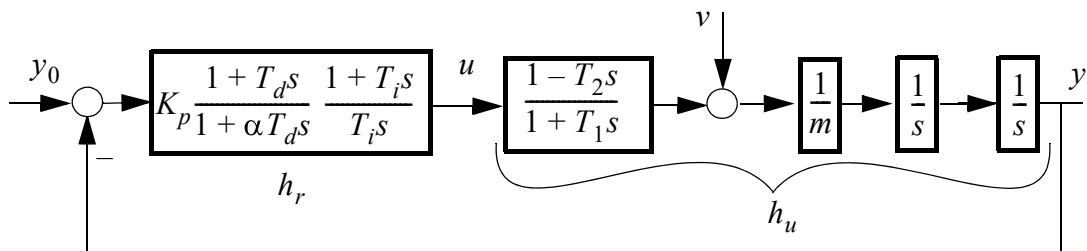
Sensur vil foreligge innen tre uker. Den blir også lagt ut på its learning når den er klar.

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

Flere spørsmål kan besvares meget enkelt og raskt 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". Tips: bruk blyant!

### Oppg 1 ( 59 %)

Gitt blokk-diagrammet for et regulerings-system i figur 1.1:



figur 1.1

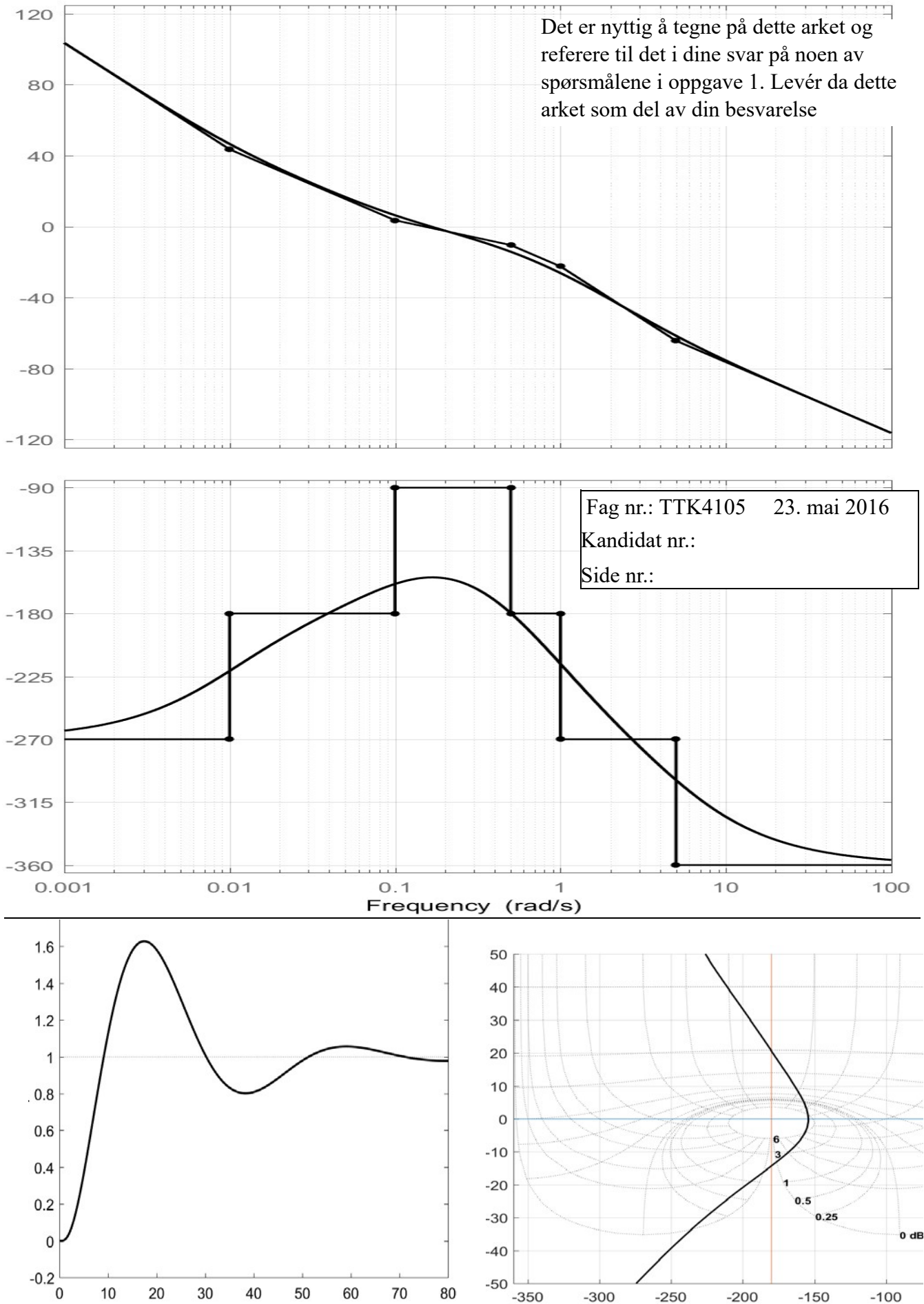
(Dette er en stor oppgave. Men den er laget slik at du kan svare fullt ut på seinere spørsmål sjøl om du ikke greier ett eller flere av de tidlige.)

- a) (5 %) Hva slags regulator er  $h_r$ ? Hva kaller vi de to delene av den? Hvilken hensikt har henholdsvis den venstre delen, og den høyre delen, av  $h_r$ ?

Prosessen som skal følge eller holdes på en referanseposisjon  $y_0$ , er en gjenstand med masse  $m = 1 \text{ [kg]}$  som glir tilnærmet friksjonsløst på et horisontalt underlag. Pådragsorganet med tidskonstanter  $T_1$  og  $T_2$  har en dynamikk vi må ta hensyn til, og som vi derfor inkluderer i prosessmodellen. Tidsenheten i denne oppgaven er sekunder.

- b) (2 %) Hva slags orden har det lukkede system, dvs. transferfunksjonen  $M(s) = \frac{y}{y_0}(s)$ ? (Tips: dette er raskt å svare på, du trenger ikke finne  $M(s)$ .)
- c) (4 %) Du kan ikke bruke Ziegler-Nichols' eller SIMC-metoden for å stille inn regulator her. Hvorfor ikke?
- d) (3 %)  $T_i$  må velges svært stor for dette systemet. Hvorfor? Hva er ulempen med å ha en stor  $T_i$ ?

Vi har nå etter beste evne forsøkt å stille inn regulatorparametre, og resultatet er vist i tre diagrammer nedenfor; bode av  $h_0$ , nichols av  $h_0$ , og sprangrespons lukket system:



- e) (7 %) Det oppgis at  $m = 1$ ,  $\alpha = 0.2$  og  $T_2 = 0.2$ . Ut fra bode-diagrammet for  $h_0$  med asymptoter: Finn  $T_i$ ,  $T_d$ ,  $T_1$  og  $K_p$ . (Tips: alle størrelser er noenlunde runde tall.) Tegn i diagrammet og lever det med besvarelsen.
- f) (4 %) Oppgi stigningstallet på asymptotene for  $|h_0|$  fra venstre mot høyre. Bruk notasjonen  $(-1)$ ,  $(-2)$  osv. Forklar siste knekk for amplitude og fase, til høyre.
- g) (5 %) Betrakt responsen ved sprang i  $y_0$ . Kommentér den, og se den i sammenheng med fase- og forsterkningsmarginer.
- h) (3 %) Dette systemet er *betinget stabilt*. Hvordan ser du det og hva betyr det?
- i) (5 %) Hva slags inngangssignal (sprang, rampe, parabel) vil utgangen kunne følge uten stasjonært avvik? Du kan regne her, men kan også begrunne svaret kort og verbalt.
- j) (5 %) Hva slags forstyrrelse  $v$  (sprang, rampe, parabel) kan elimineres helt på utgangen uten stasjonært avvik? Du kan regne her, men kan også begrunne svaret kort og verbalt.
- k) (4 %) Regulatoren skal realiseres diskret (men du skal ikke finne den her). Vi aksepterer  $1^\circ$  dårligere fasemargin, og skal velge taste(samplings-)tida  $T$  basert på dette. Finn  $T$ .
- l) (4 %) Vi vil nå også ha en foroverkopling fra forstyrrelsen, med en blokk  $h_f$ . Tegn denne inn i et modifisert blokkdiagram basert på figur 1.1. Kall bare regulatoren i figur 1.1 for  $h_r$ . Finn den *statistiske* foroverkopling fra  $v$ , altså en konstant forsterkning  $h_f = K_f$  (tips: den blir ekstremt enkel). Hva slags  $v$  kan denne motvirke?
- m) (6 %) Vi er ikke fornøyd med seriekompensasjon i dette tilfellet, og innfører derfor en intern tilbakopling. Tegn en slik i blokkdiagrammet fra forrige punkt, eller tegn et separat diagram. Nevn to fordeler med denne løsningen.
- n) (2 %) Kan vi beholde den valgte foroverkoblingen sjøl om vi innfører intern tilbakekobling? Kort begrunnelse.

### Oppg 2 (7 %)

Finn transferfunksjonen  $h(s)$  for et 2. ordens Butterworth lavpassfilter, med knekkfrekvens 100 rad/s. Nevn en anvendelse av lavpassfilter i et reguleringsystem.

### Oppg 3 (5 %)

Forklart verbalt når det er aktuelt å anvende en Otto-Smith-regulator, og hva som er den store fordelene med en slik regulator.

Dette er en *modellbasert regulator*. Hva mener vi med det?

### Oppg 4 (19 %)

En sinussvingning  $y = \sin(\omega_0 t)$ ,  $t > 0$ , og 0 for  $t < 0$ , kan oppfattes som utgangen på en transferfunksjon  $h(s)$  som utsettes for en impulsfunksjon  $\delta(t)$ .

- a) (2 %) Finn  $h(s)$ .

- b) (4 %) Finn  $A$ ,  $\underline{b}$ ,  $\underline{c}^T$  i en tilstandsrommodell for  $h(s)$ ,  $\dot{x} = Ax + \underline{b}u$ ,  $y = \underline{c}^T x$ .
- c) (7 %) Den autonome (dvs. uten pådrag) versjonen av denne modellen er gyldig for en friksjonsløs pendel nær likevektspunktet. Du skal lage en linearisert modell med likevektspunktet som arbeidspunkt. Pendelen har lengde  $L$  og masse  $m$ . Du trenger også tyngdens akselerasjon  $g$ . Tilstandene er pendelens utslagsvinkel  $x_1$  fra likevektspunktet, og dennes deriverte  $x_2$ . (Tips: Bruk Newtons 2. lov for rotasjon, ikke rettlinja bevegelse.)
- d) (6 %) Finn  $x_1(t)$  med linearisert modell når pendelen starter i likevektsposisjonen  $x_1 = 0$ , men med en initiell vinkelhastighet  $x_{20}$ .
- (Tips: en måte å løse dette på er å bruke  $(sI - A)^{-1}$ , og det oppgis da at øvre høyre element i denne er  $\frac{1}{s^2 + g/L}$ .
- Men hvis du ikke har greidd oppgave b) og c) over, kan du faktisk, og raskt, finne svaret bare med utgangspunkt i opplysninger gitt i a) og c) og her i d).

### Oppg 5 (10 %)

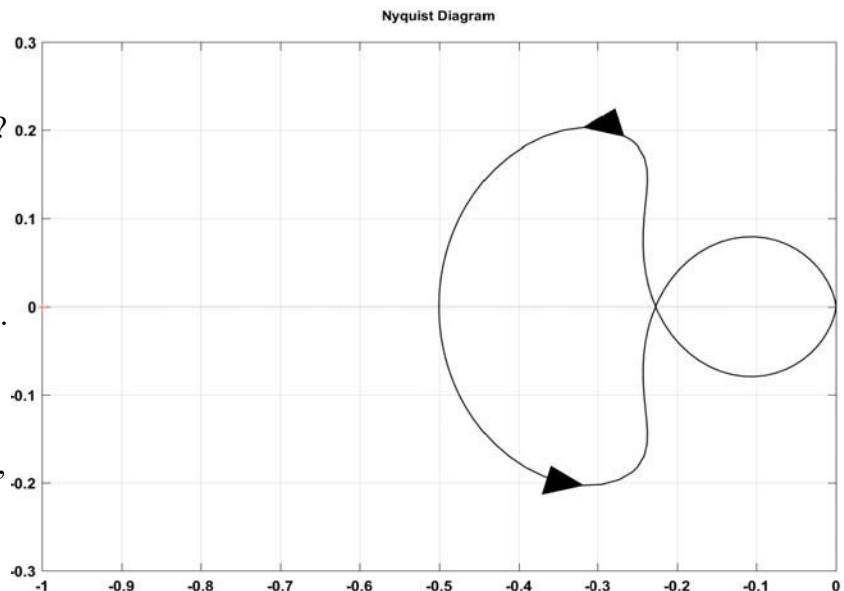
Vi har et åpent system med proporsjonalregulator

$$h_0 = h_r h_u = K_p \frac{1}{(1 + 0.1s + 0.02s^2)(s - 2)} \quad (5.1)$$

- a) (2 %) Hvor mange poler  $N_p$  har  $h_u$  i høyre halvplan? Inkluder begge ledd i nevneren i din forklaring.
- b) (4 %) Figur 5.1 viser Nyquistkurven for  $h_0$  med  $K_p = 1$ . Er det lukkede system stabilt? Begrunn svaret!

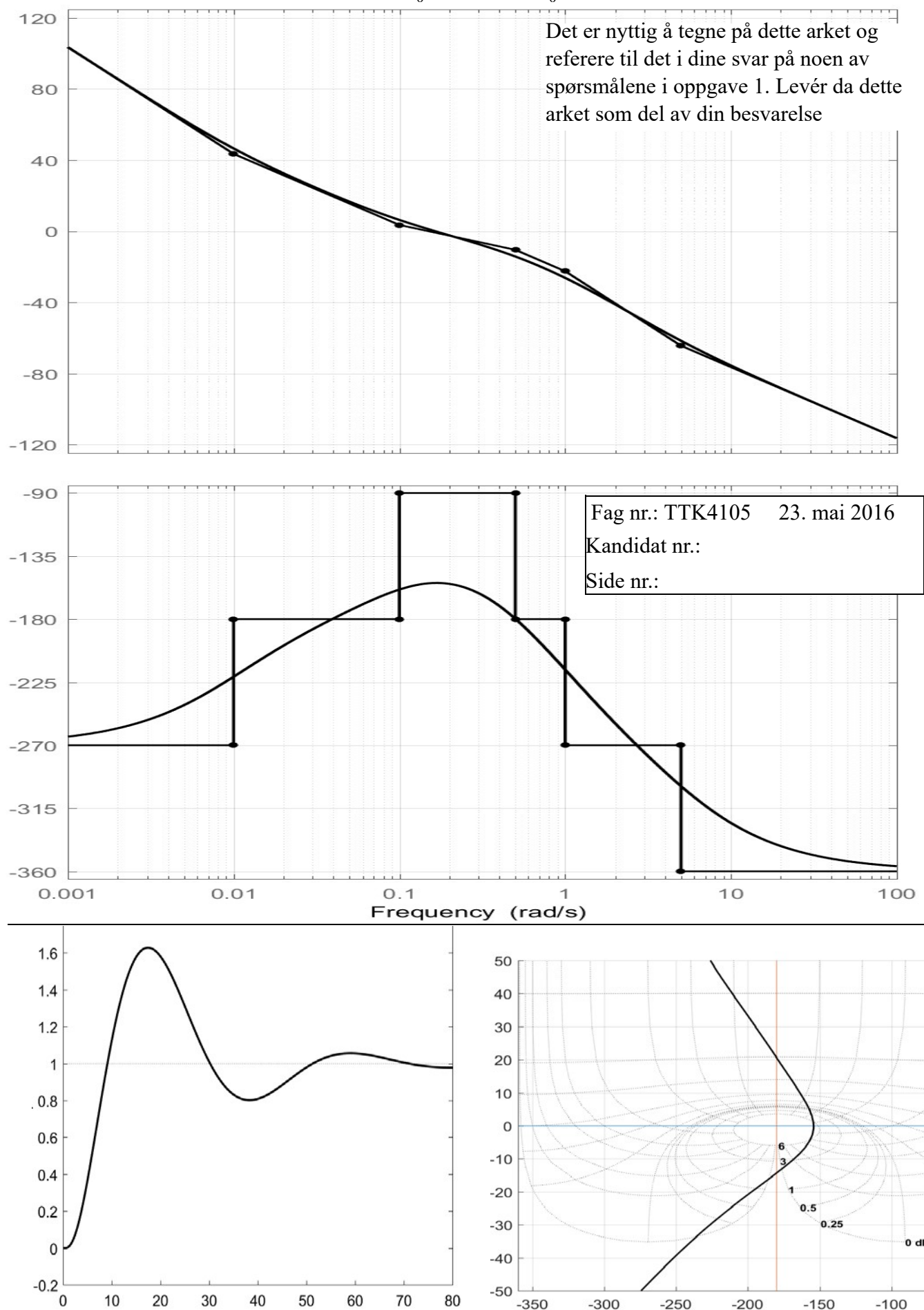
- c) (4 %) Finn det området for  $K_p$  som gjør det lukkede system stabilt.

(Tips til denne oppgaven: Du kan måle ut mm med linjal, du trenger ikke regne om til skalaen langs aksene.)



figur 5.1

Vi har nå etter beste evne forsøkt å stille inn regulatorparametre, og resultatet er vist i tre diagrammer nedenfor; bode av  $h_0$ , nichols av  $h_0$ , og sprangrespons lukket system:



(Ekstra ark oppgave 1)