

EKSAMEN I: ELE320 Reguleringssteknikk

VARIGHET: 4 timer

TILLATTE HJELPEMIDLER: Bestemt enkel kalkulator

OPPGAVESETTET BESTÅR AV 2 OPPGAVE PÅ 9 SIDER

MERKNADER:

- o Formelvedlegget er på side 10 og 11.
- o Deloppgavene har ulik vekt.
- o Legg ved side 12 sammen med besvarelsen.
- o Dersom ønskelig, kan også figurene 1-5 legges ved besvarelsen.

KONTAKTPERSON: Tormod Drengstig, tlf. 93885533.

---

## 1 Lineære system (60%)

I denne oppgaven er det gitt 8 forskjellige transferfunksjoner, se ligning (1)-(8).

$$H_{p,1}(s) = \frac{0.5}{(0.2s + 1)(2s + 1)} \quad (1)$$

$$H_{p,2}(s) = \frac{0.5}{20s + 1} \quad (2)$$

$$H_{p,3}(s) = \frac{0.5(-0.3s + 1)}{3s^2 + 2s + 1} \quad (3)$$

$$H_{p,4}(s) = \frac{0.5}{8s + 1} \quad (4)$$

$$H_{p,5}(s) = \frac{0.3s + 1}{6s^2 + 4s + 2} \quad (5)$$

$$H_{p,6}(s) = \frac{0.5}{5s + 1} e^{-s} \quad (6)$$

$$H_{p,7}(s) = \frac{1}{(s + 0.2)(s + 2)} \quad (7)$$

$$H_{p,8}(s) = \frac{0.5}{0.2s + 1} e^{-s} \quad (8)$$

Kun 4 av disse transferfunksjonene er benyttet til å beregne

- i) amplitudeforsterkning i figur 1
- ii) faseforskyvning i figur 2
- iii) sprangrespons (ved enhetssprang i inngangen) i figur 3
- iv) pol/nullpunktskart i figur 4
- v) frekvensrespons ved en vilkårlig frekvens i figur 5

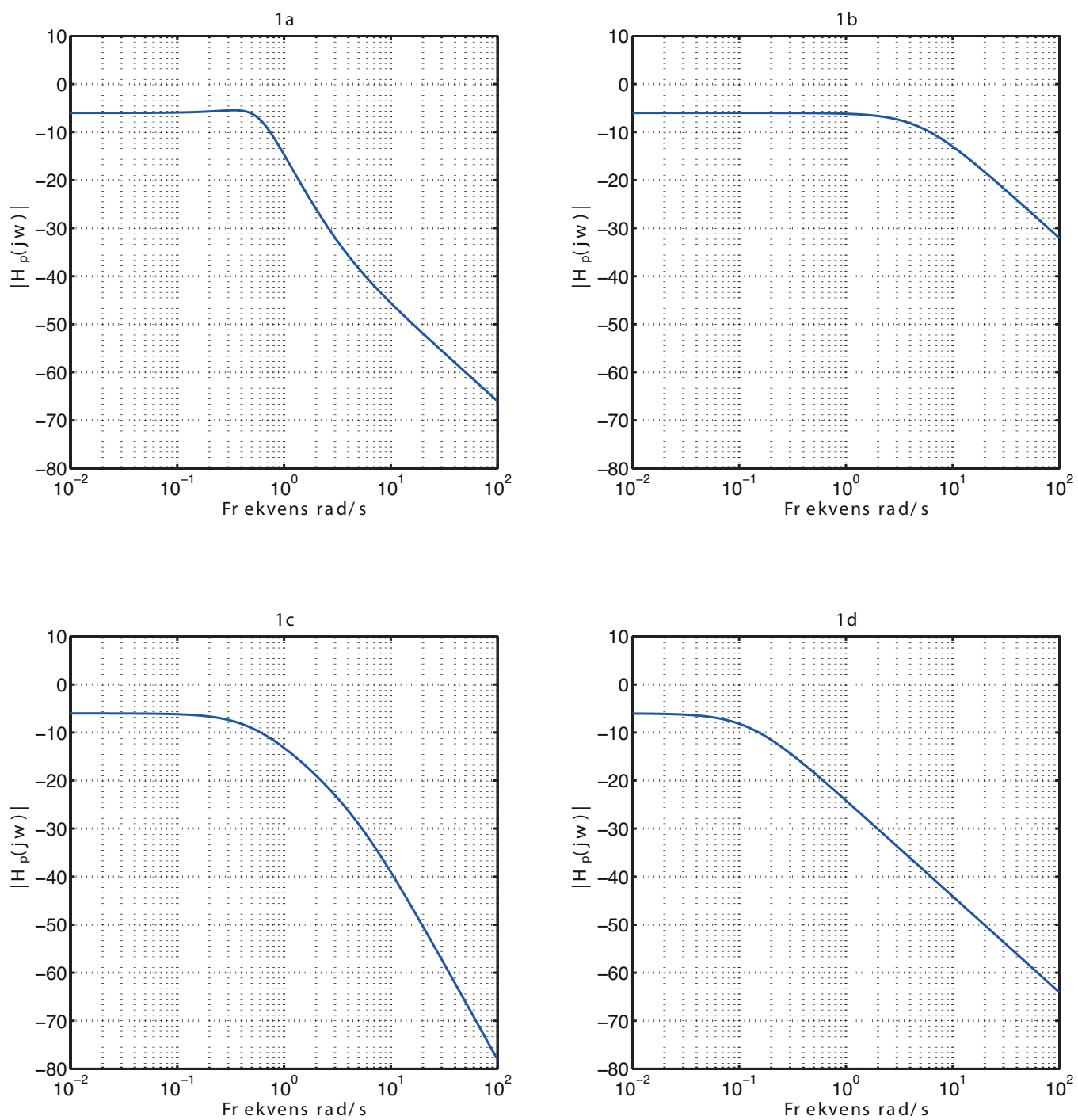
Hver av figurene 1-5 er delt opp i delfigurer med betegnelse a, b, c og d, hvor resultatene fra beregningene i punktene i), ii), iii), iv) og v) i listen ovenfor er plassert vilkårlig i figurene. **NB: Det er altså de samme 4 transferfunksjonen som benyttes i alle figurene, men resultatene er plassert vilkårlig i hver figur.**

Oppgaven går ut på å finne hvilke 4 av de 8 transferfunksjonskandidatene som er benyttet og hvilken delfigur (a, b, c, d) i hver figur som hører sammen.

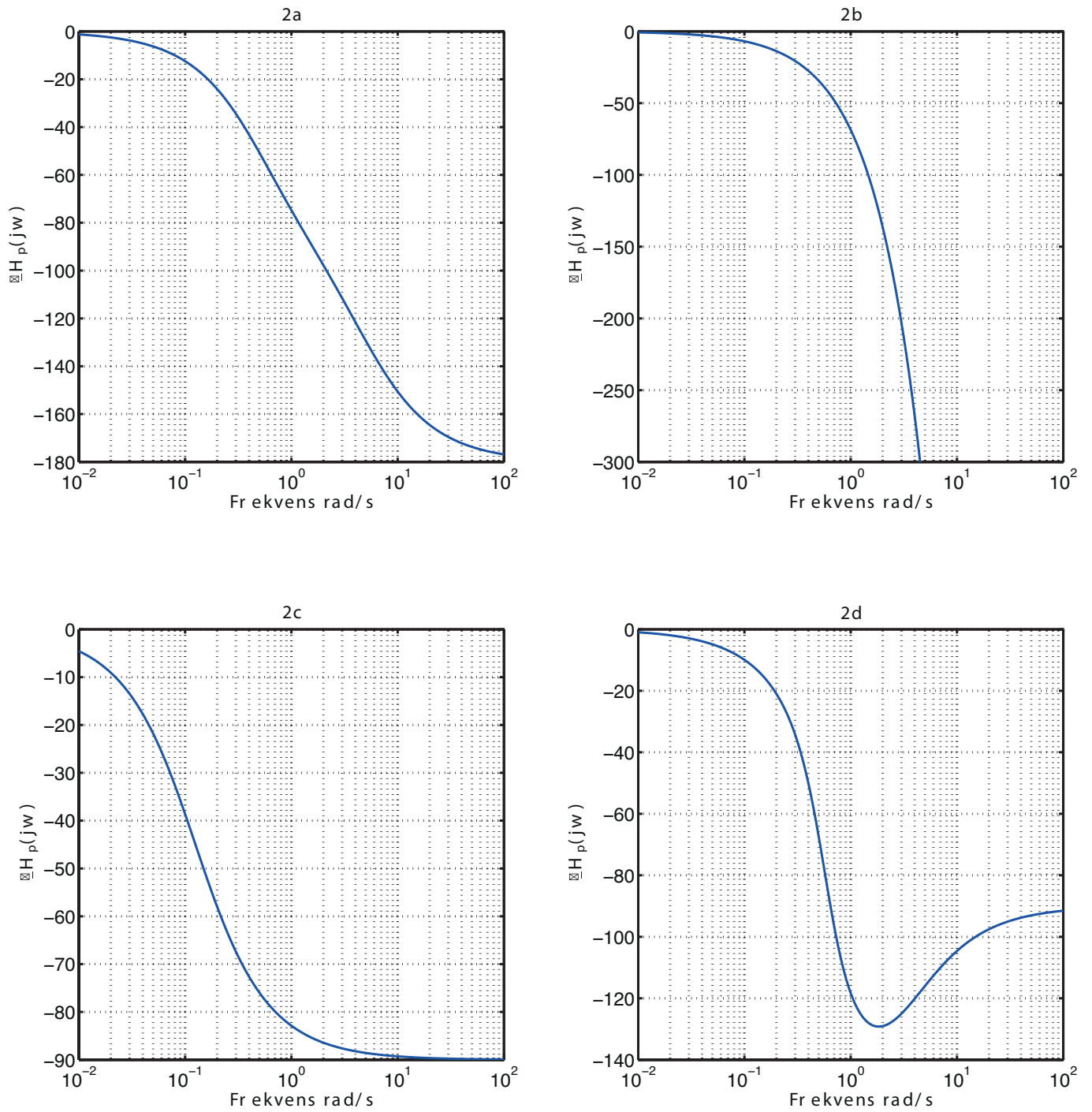
For å svare på dette kan du i besvarelsen lage en tabell lik den under og fylle inn. Du kan (om du ønsker) levere figur 1-5 som en del av besvarelsen hvor du indikerer på hver delfigur den transferfunksjonen du mener er riktig og samtidig benytter figurene til å avlese verdier du benytter i beregningene. Husk, denne oppgaven teller total 60% så det er viktig at du tar deg god tid.

	trans. funk. $H_{p,i}(s)$	amplitude figur 1	fase figur 2	sprang figur 3	pol/nullpunkt figur 4	frekvensresp figur 5
1						
2						
3						
4						

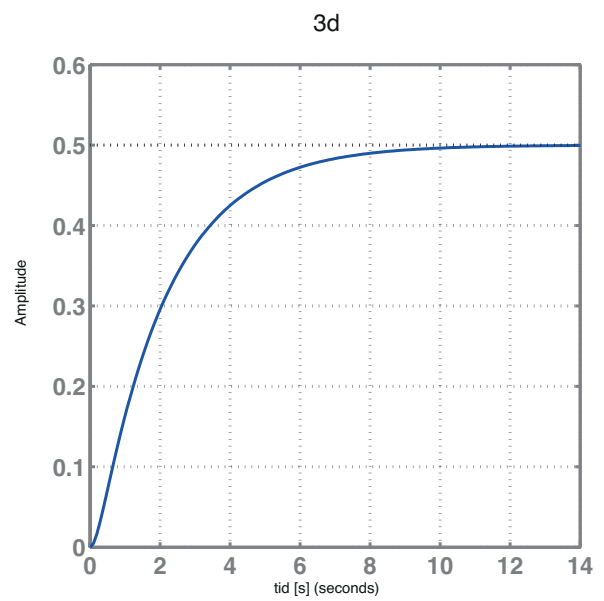
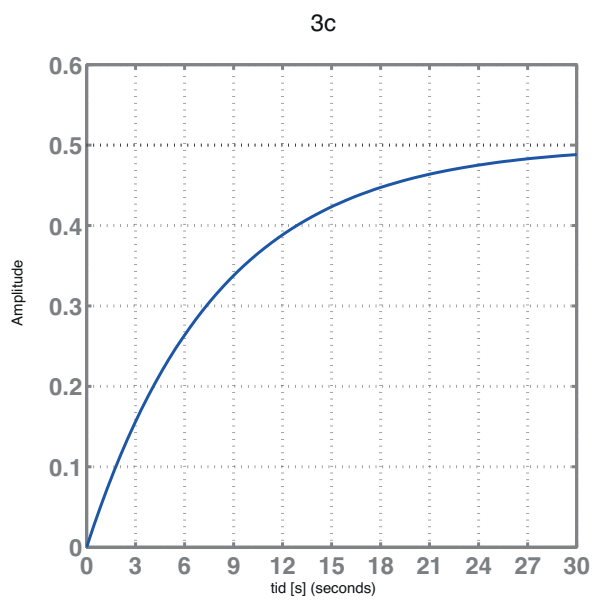
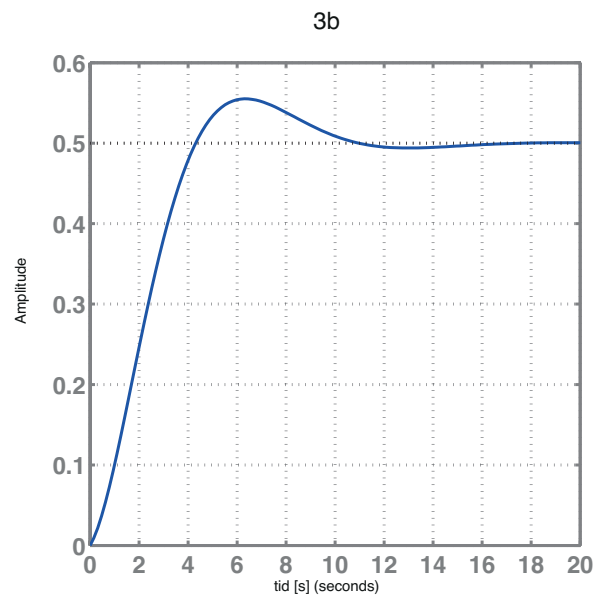
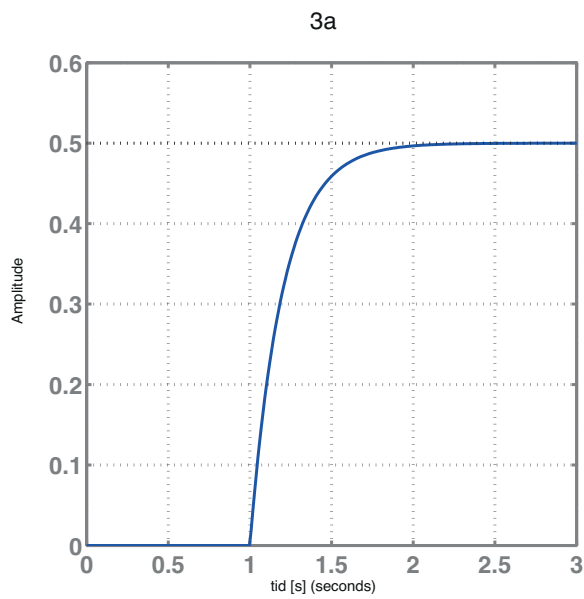
Begrunn **alle** svar med beregninger og/eller forklaringer. Ubegrunnede valg premieres ikke, selv ikke når du kan eliminere deg frem til rett svar. Hvert riktige svar teller 2.5%. For å få full uttelling på hvert svar, må du bruke så mye informasjon som mulig til å underbygge svaret ditt.



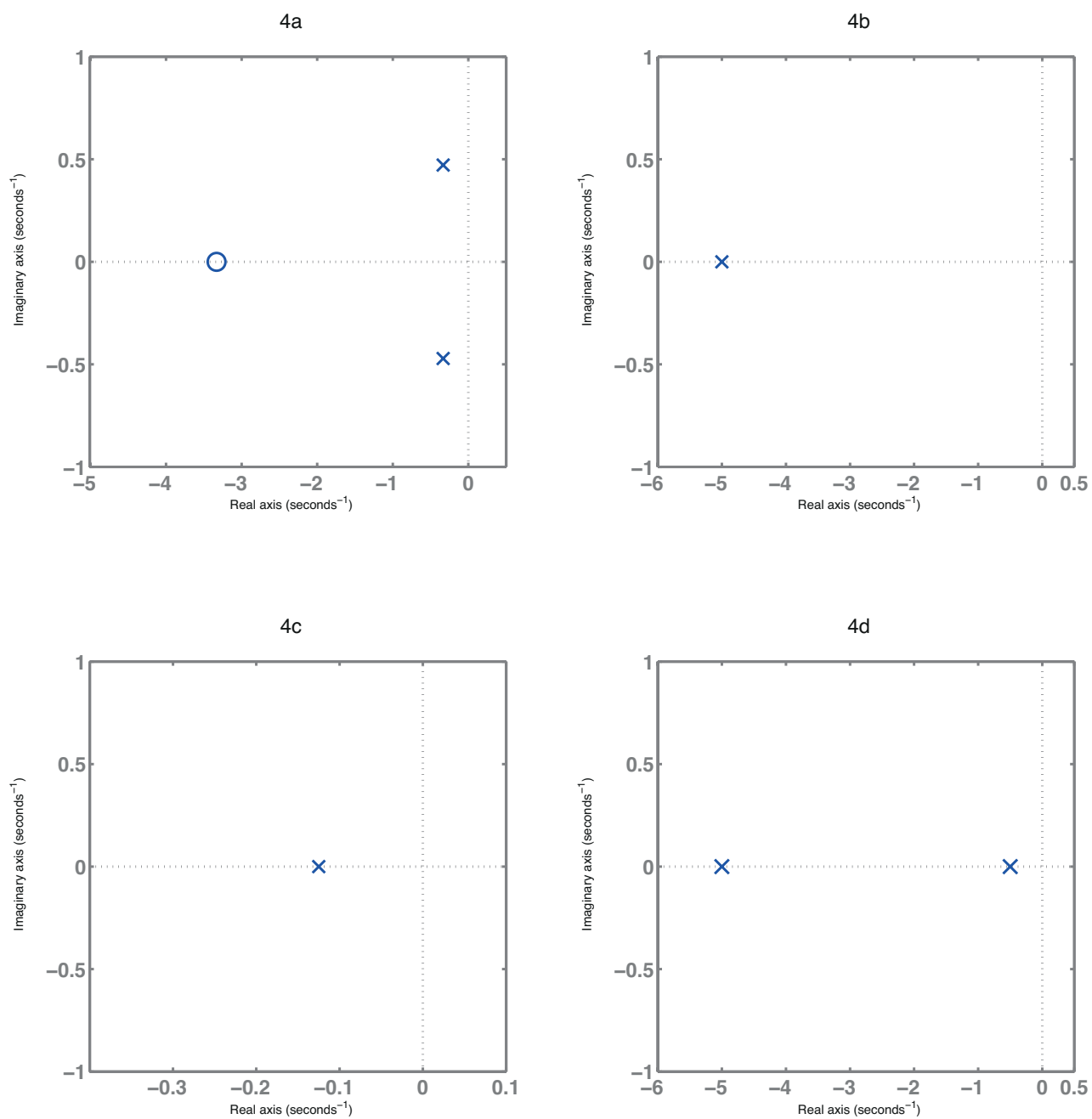
Figur 1: Amplitudeforsterkningen av Bodeplott for de 4 utvalgte prosessene.



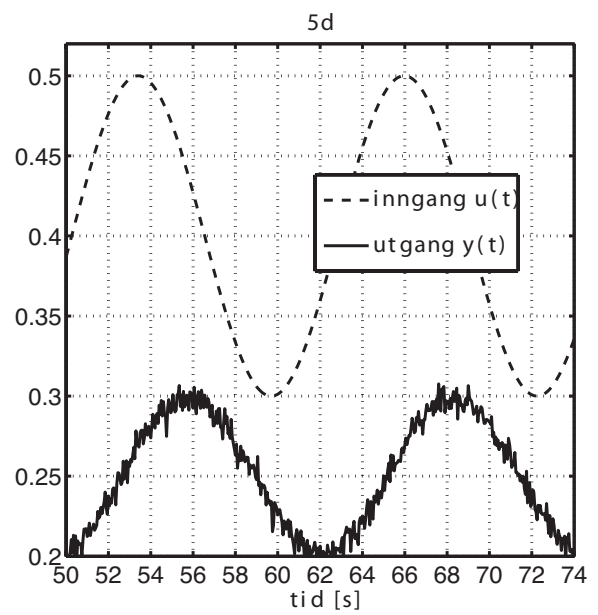
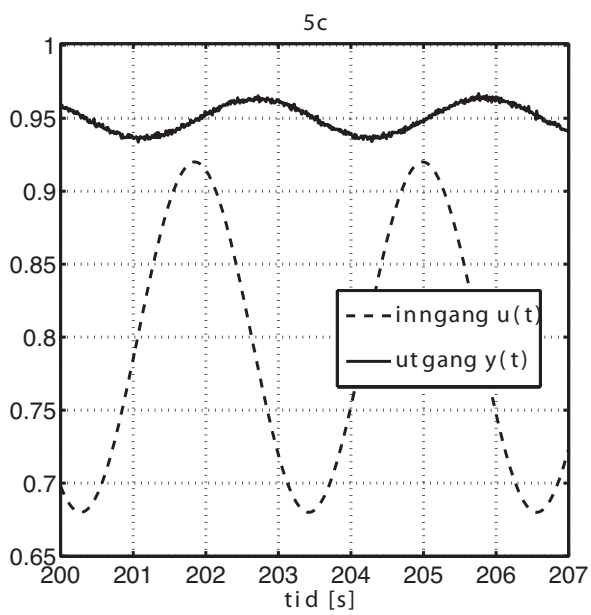
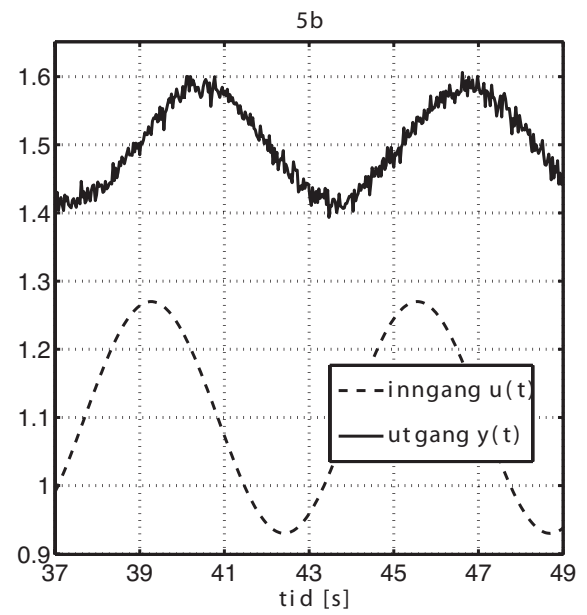
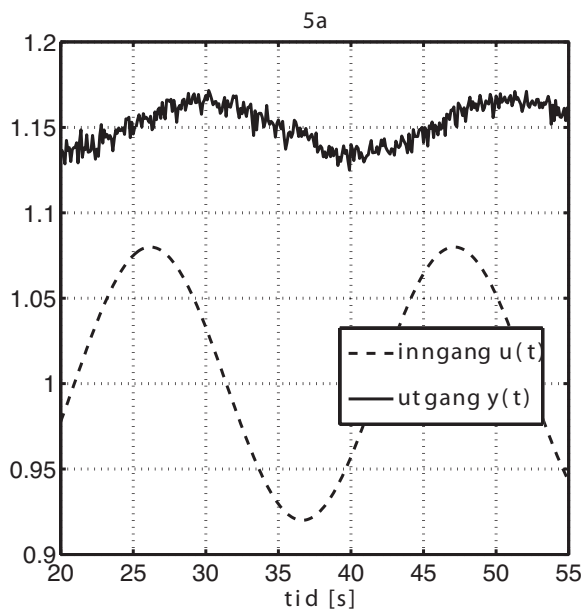
Figur 2: Fasenforskyvning av Bodeplott for de 4 utvalgte prosessene.



Figur 3: Sprangresponsen for de 4 utvalgte prosessene.



Figur 4: Pol-/nullpunktskart for de 4 utvalgte prosessene.



Figur 5: Eksempel på frekvensrespons for de 4 utvalgte prosessene.

## 2 Regulering (40%)

- a) (13%) Du skal nå bestemme regulatorparametere for 2 helt nye prosesstransferfunksjoner, dvs

$$H_{p,9}(s) = \frac{0.1}{2s + 1} e^{-3s} \quad (9)$$

$$H_{p,10}(s) = \frac{0.4}{(5s + 2)(0.1s + 1)} \quad (10)$$

Ut fra kunnskap om selve prosessene, gjør følgende (gi fornuftige argument for valgene du gjør):

- i) Skisser først opp asymptotiske forsterknings- og fasekurver for  $H_{p,10}(s)$ .
  - ii) Hvilken innstillingsmetode vil du benytte for prosessene (noen alternativer ligger i vedlegg)?
  - iii) Bestem regulatorparametre for prosessene. Begrunn valg du eventuelt gjør.
- b) (5%) Finn transferfunksjonen  $H_r(s)$  for regulatoren du har valgt for prosess  $H_{p,10}(s)$ . Dersom du ikke har funnet regulator og/eller regulatorparametre, sett  $H_r(s) = K_p = 0.5$  i resten av oppgaven.

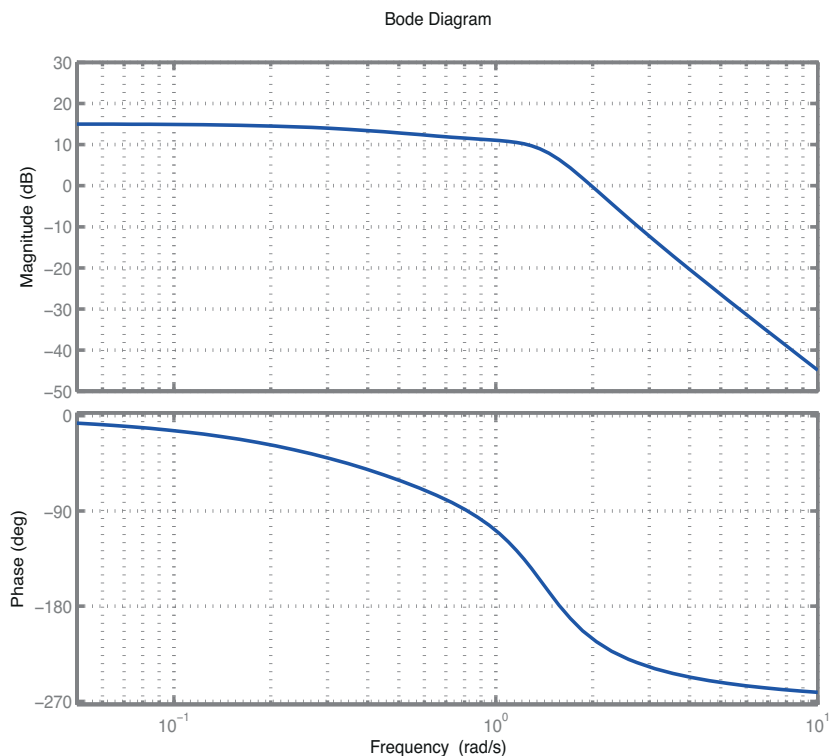
Anta at  $H_m(s)$  er av første orden, har forsterkning  $K_m = 0.2$  og båndbredde  $w_b = 5$  rad/s.

Finn  $H_0(s)$ ,  $N(s)$  og  $M(s)$ .

- c) (7%) La oss anta at du har et enhetssprang i referansen  $y_r(s)$ . Bestem det stasjonære reguleringsavviket både ved å bruke  $N(s) = \frac{e(s)}{y_r(s)}$  og  $M(s) = \frac{y(s)}{y_r(s)}$ . Du skal altså finne reguleringsavviket på to måter i denne oppgaven.



- d) (5%) La oss anta figur 6 viser Bodeplottet for  $H_0(j\omega)$  for en helt annen prosess hvor regulatorforsterkningen er  $K_p = 2$ .



Figur 6: Bodeplot av sløyfetransferfunksjonen  $H_0(j\omega)$ . Det finnes en kopi av figuren på side 12.

Benytt denne figuren til å finne forsterknings- og fasemarginen ( $\Delta K$  og  $\phi$ ) til reguleringssystemet. Tegn inn på figuren gitt på side 12 og lever inn sammen med besvarelsen.

- e) (5%) Du ønsker en fasemarginen på 60 grader. Beregn den nye regulatorforsterkning  $K_{p,ny}$  som gir dette. Hva blir den tilhørende forsterkningsmarginen  $\Delta K$ ?

Har du ikke funnet fasemarginen i d), anta en verdi for fasemarginen og vis prinsipielt hvordan du vil gå frem for å gjøre oppgaven.

- f) (5%) Etter denne justeringen, hva er nå stasjonær forsterkning og stasjonær fase for  $H_0(j\omega)$ ? Hva sier det deg om reguleringssystemet? Begrunn svaret. Hvor stort er det stasjonære reguleringssavviket ved enhetssprang i referansen?

## Formelsamling

- Løsning på annengradsligningen  $a \cdot x^2 + b \cdot x + c = 0$

$$x = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a} \quad (11)$$

- Et generelt 2-ordens system kan skrives som

$$H(s) = \frac{K}{(\frac{s}{\omega_0})^2 + 2\frac{\zeta}{\omega_0}s + 1} \quad (12)$$

- Et komplekst tall  $z$  kan skrives på kartesisk form slik:

$$z = \operatorname{Re}(z) + j\operatorname{Im}(z) \quad (13)$$

eller på polar form slik:

$$z = |z|e^{j\angle z} \quad (14)$$

- Sammenheng mellom kartesisk og polar form er:

$$|z| = \sqrt{\operatorname{Re}(z)^2 + \operatorname{Im}(z)^2} \quad (15)$$

$$\angle z = \arctan \frac{\operatorname{Im}(z)}{\operatorname{Re}(z)} \quad (16)$$

- Sluttverditeorem

$$\lim_{t \rightarrow \infty} f(t) = \lim_{s \rightarrow 0} s \cdot f(s) \quad (17)$$

- Sammenheng mellom  $M(s)$ ,  $N(s)$  og  $H_0(s)$

$$M(s) = \frac{H_0(s)}{1 + H_0(s)} = \frac{y(s)}{y_r(s)} \quad (18)$$

$$N(s) = \frac{1}{1 + H_0(s)} = \frac{e(s)}{y_r(s)} \quad (19)$$

- Polplassering for 1 ordens system (PI-regulator):

$$K_p = \frac{2\zeta w_0 T - 1}{K} \quad (20)$$

$$T_i = \frac{2\zeta w_0 T - 1}{w_0^2 T} \quad (21)$$

- Pol-nullpunktkansellering 1 ordens system (PI-regulator):

$$K_p = \frac{T}{T_M \cdot K} \quad (22)$$

$$T_i = T \quad (23)$$

- Polplassering for 1 ordens system med integrator (P-regulator) (benytt samme sammenheng mellom  $T_r$  og  $w_0$ , samt mellom  $\zeta$  og  $\delta$  som i de andre polplasseringsmetodene):

$$K_p = \frac{2\zeta w_0}{K} \quad (24)$$

$$(25)$$

- Polplassering for 1 ordens system med integrator (PI-regulator) (benytt samme sammenheng mellom  $T_r$  og  $w_0$ , samt mellom  $\zeta$  og  $\delta$  som i de andre polplasseringsmetodene):

$$K_p = \frac{2\zeta w_0}{K} \quad (26)$$

$$T_i = \frac{2\zeta}{w_0} \quad (27)$$

- Ziegler Nichols åpen sløyfe metode:

$$K_p = \frac{0.9 \cdot U}{L \cdot R} \quad (28)$$

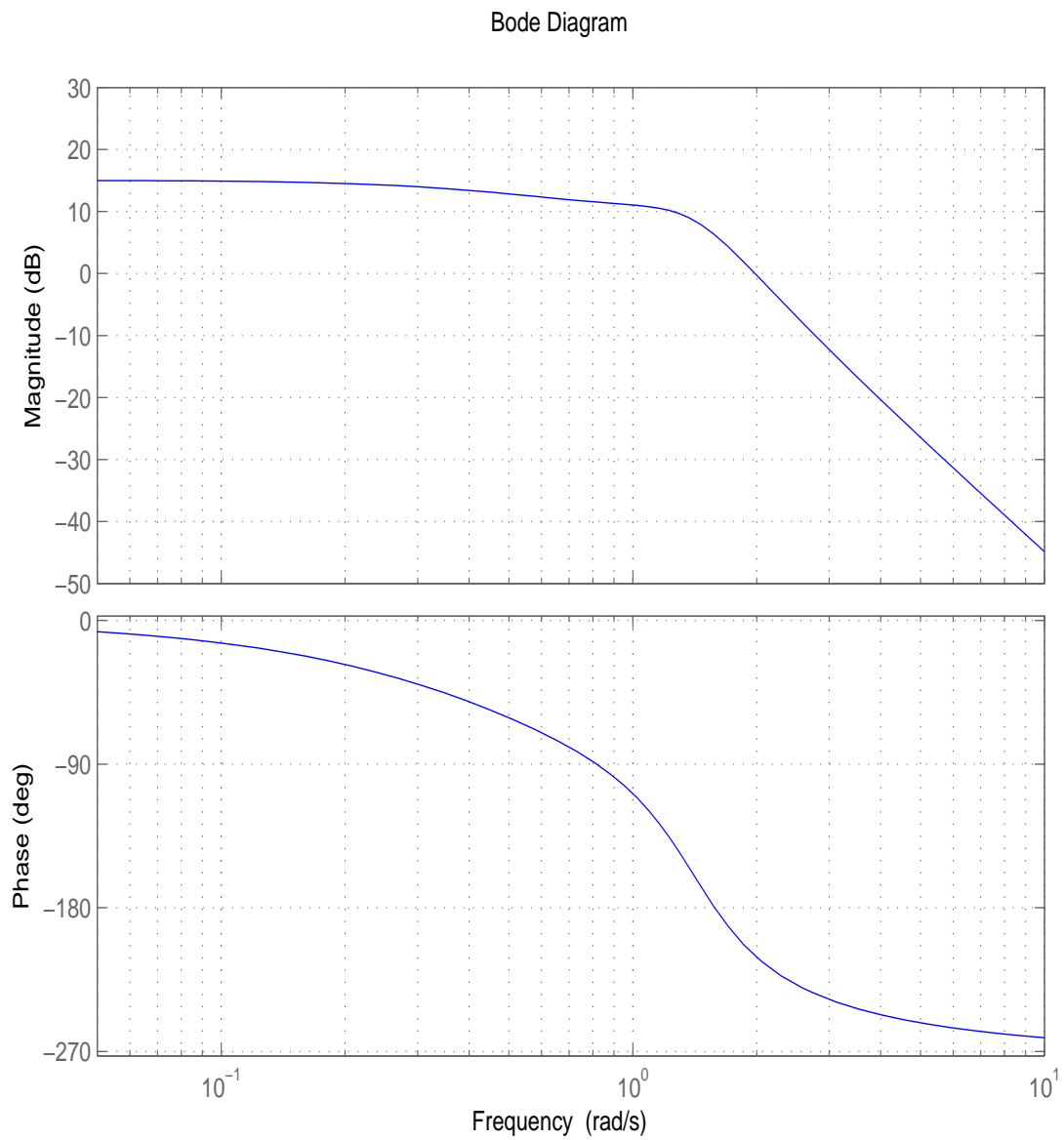
$$T_i = 3.3 \cdot L \quad (29)$$

hvor  $L$  er tidsforsinkelsen,  $R$  er stigningstallet på sprangresponsen og  $U$  er sprangets høyde. For en første ordens prosess med dødtid kan det vises at

$$R = \frac{KU}{T} \quad (30)$$

$$L = \tau \quad (31)$$

Fag: ELE320, Reguleringsteknikk  
Dato: 21. februar 2017  
Kandidatnr:  
Sidenr:



Figur 7: Bodeplot av sløyfetransferfunksjonen  $H_0(j\omega)$  i oppgave 2 d).