Løsning til eksamen i EK3114 Automatisering og vannkraftregulering ved Høgskolen i Sørøst-Norge

Eksamensdato: 30.11 2016. Varighet 5 timer. Vekt i sluttkarakteren: 100%.

Emneansvarlig: Finn Aakre Haugen (finn.haugen@hit.no).

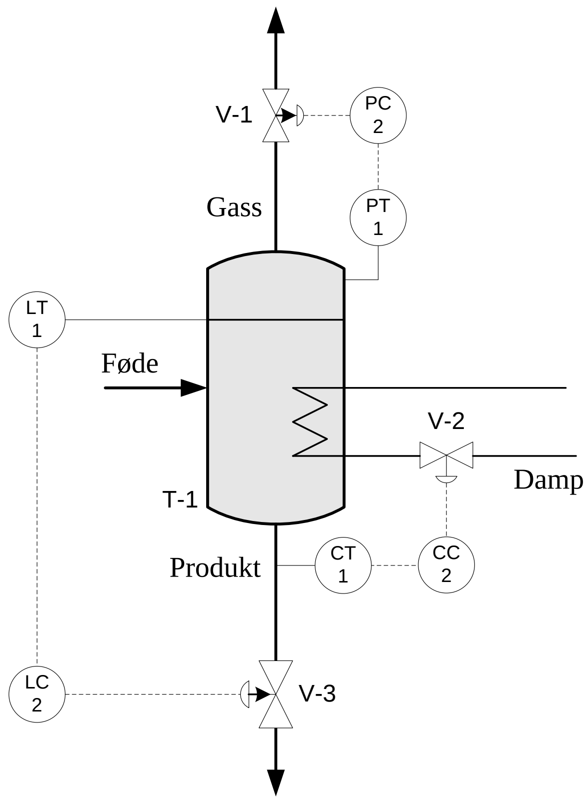
Løsning til oppgave 1 (5%)

GM = 9/3 = 3.

PM = (5/40)·360 grader = 45 grader.

Løsning til oppgave 2 (10%)

Se figur 1. (Bruker bokstavkode C for konsentrasjon.)



Figur 1

Løsning til oppgave 3 (5%)

Laplace-transformasjon av den gitte differensiallikningen (setter initialverdien for y og for $\dot{y}$ lik null):

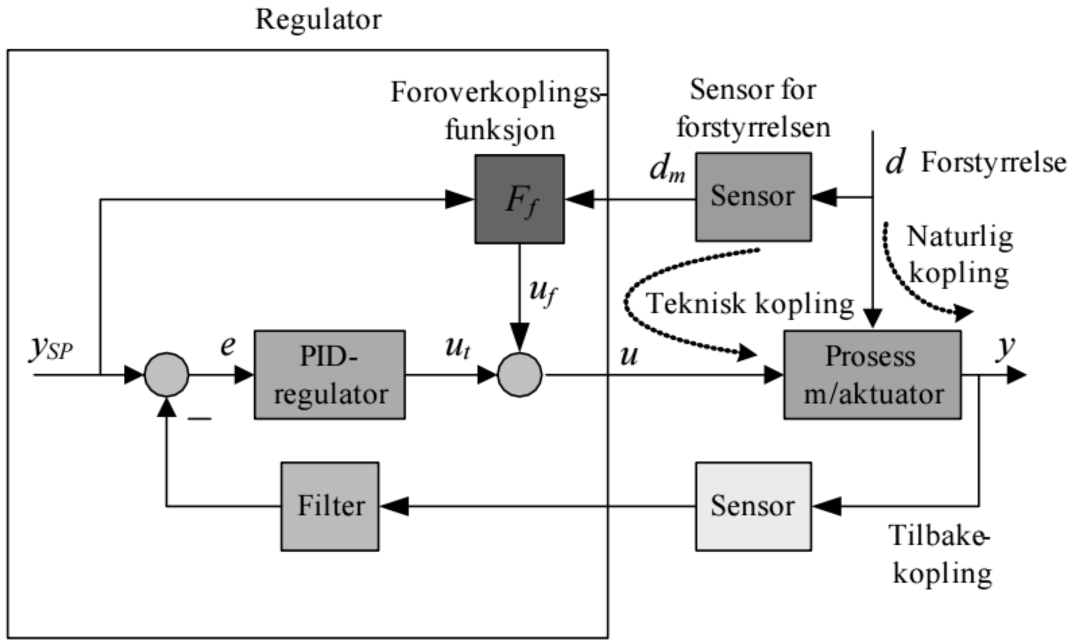
$$ms^2y(s) = F(s) - Dsy(s) - Ky(s)$$

som gir

$$\frac{y(s)}{F(s)} = H(s) = \frac{1}{ms^2 + Ds + K}$$

som er transferfunksjonen fra F til y.

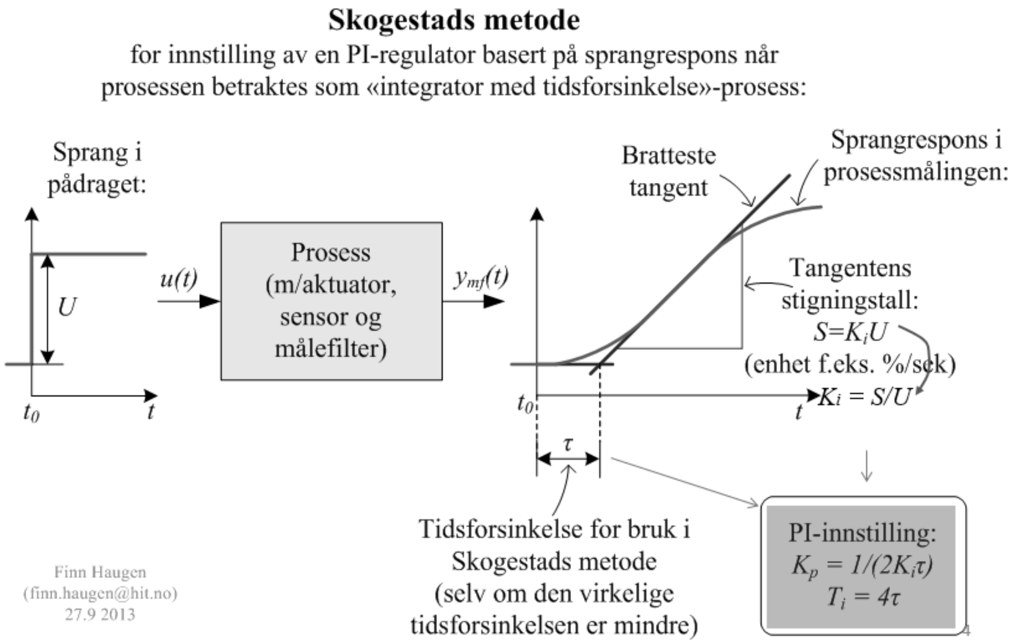
Løsning til oppgave 4 (10%)
Se figur 2. Foroverkoplingen utgjør en (teknisk) kopling fra en måling av forstyrrelsen som motvirker den naturlige koplingen fra forstyrrelsen til prosessutgangen slik at nettovirkningen som forstyrrelsen har på prosessutgangen, blir null (ideelt sett). Foroverkoplingen implementerer også en direkte kopling fra settpunktet til pådraget, hvilket gir presis settpunktsfølging. Pga. uunngåelig modellunøyaktighet (eller modellfeil) kan foroverkoplingen i praksis ikke beregne det perfekte pådraget, hvilket medfører at det oppstår et reguleringsavvik. Tilbakekoplingen vil justere pådraget på basis av dette avviket og dermed kunne redusere avviket, og gi null avvik under statiske forhold.



Figur 2

Løsning til oppgave 5 (10%)

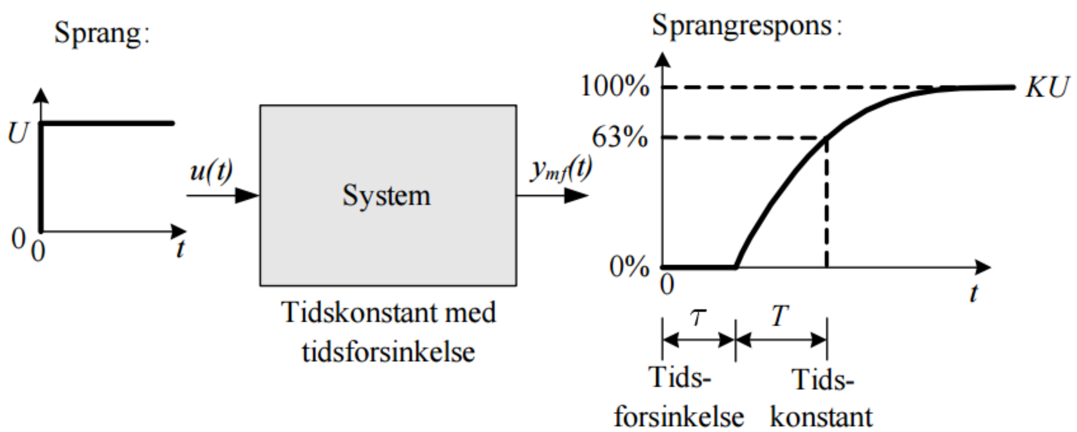
Figur 3 beskriver (og illustrerer) Skogestads metode.



Figur 3

Løsning til oppgave 6 (5%)

Figur 4 viser hvordan K, T og τ framkommer i sprangresponsen.



Figur 4

Løsning til oppgave 7 (5%)

Vi kan bruke repetert Ziegler-Nichols' metode: Fra responsen vist i figuren oppgaveteksten leser vi av at periodetiden i de dempede svingningene er P_u = 7 min med regulatorforsterkning K_{p0} = 1. Vi bruker K_{p0} og P_u i Ziegler-Nichols' formler for PI-regulator:

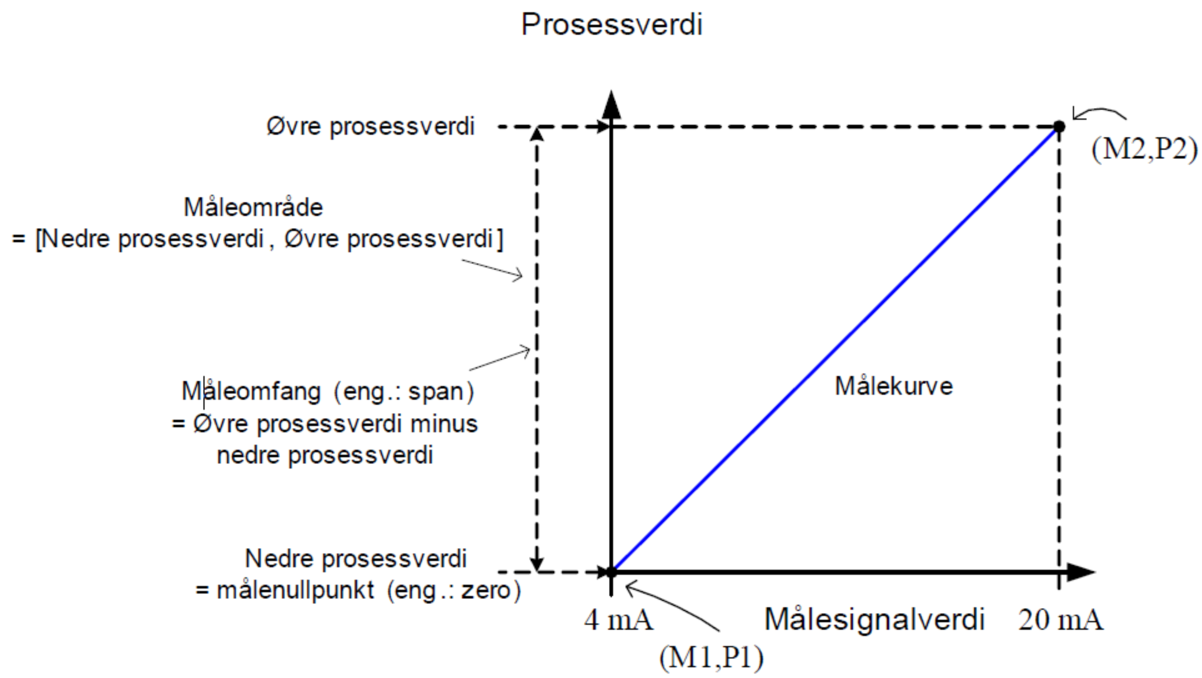
$$K_p = 0{,}45 * K_{p0} = 0{,}45*1 = 0{,}45$$

$$Ti = Pu/1{,}2 = 7/1{,}2 \text{ min} = 5{,}8 \text{ min}$$

(Kommentar: Opplysningen $T_i = 3{,}33$ min i oppgaven benyttes ikke.)

Løsning til oppgave 8 (5%)

Se figur 5.



Figur 5

P som funksjon av M:

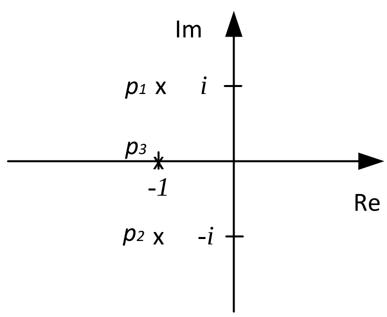
$$P = \frac{P_2 - P_1}{M_2 - M_1}(M - M_1) + P_1$$

Løsning til oppgave 9 (5%)

Polene er røttene i transferfunksjonens karakteristiske polynom, som er transferfunksjonens nevnerpolynom. Polene er

$$p_1 = -1 + i, p_2 = -1 - i, p_3 = -1$$

Figur 6 viser polene i det komplekse plan.



Figur 6

Transferfunksjonen er asymptotisk stabil fordi alle polene har (strengt) negativ realdel.

Løsning til oppgave 10 (5%)

Frekvensresponsen er

$$\begin{aligned} H(j\omega) &= \frac{1}{\frac{j\omega}{\omega_b}+1} \\ &= \frac{1}{\sqrt{\left(\frac{\omega}{\omega_b}\right)^2+1}\, e^{j\arctan\frac{\omega}{\omega_b}}} \\ &= \frac{1}{\sqrt{\left(\frac{\omega}{\omega_b}\right)^2+1}}\, e^{j\left(-\arctan\frac{\omega}{\omega_b}\right)} \end{aligned}$$

Forsterkningsfunksjonen er

$$|H(j\omega)| = \frac{1}{\sqrt{\left(\frac{\omega}{\omega_b}\right)^2+1}}$$

Faseforskyvningsfunksjonen er

$$\arg H(j\omega) = -\arctan\frac{\omega}{\omega_b}$$

Forsterkningen er

$$K = 1$$

Tidskonstanten er

$$T = 1/\omega_b$$

Båndbredden i Hz er

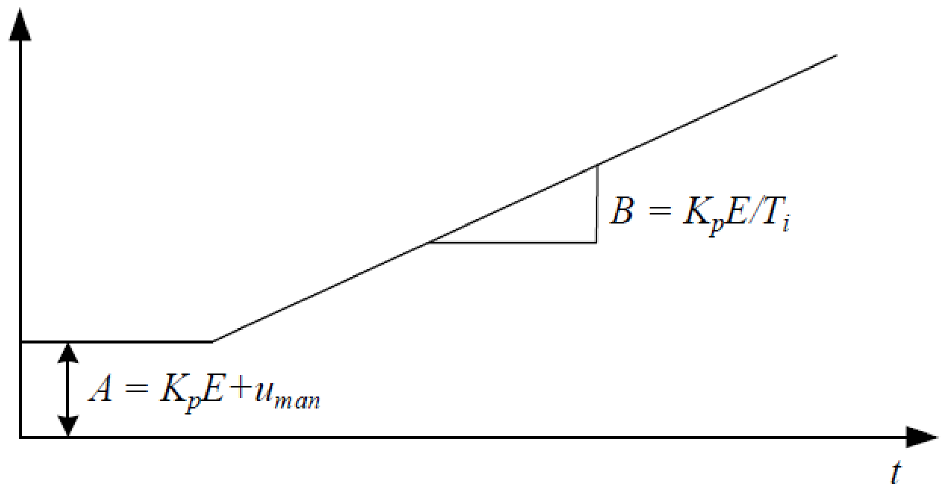
$$f_b = \omega_b/2\pi$$

Løsning til oppgave 11 (5%)

E antas konstant fra t = 0, dvs. et sprang fra t = 0. Responsen i pådraget (regulatorutgangen) blir da:

u(t) = Kp*E + (Kp/Ti)*$\int_0^t e\,d\tau$ = Kp*E + (Kp/Ti)* $\int_0^t E\,d\tau$ = Kp*E + (Kp/Ti)*t = A + B*t

u(t) er skissert i figur 7.



Figur 7

Løsning til oppgave 12 (10%)

a (5%) Effekt, P, i W. Tetthet, ρ, i kg/m^3 (Vann – 1000 kg/m^3). Virkningsgrad, η, dimensjonsløs (totalvirkningsgrad for kraftverket i området 80 – 90 %). Tyngdens akselerasjon, g, m/s^2 (9,81 m/s^2). Fallhøyde, H, i m. Vannføring ved fullast, Q, i m^3/s.

Eksempel: P = 1000 * 0,88 * 9,81 * 20 * 144000/3600 W = 6.906.000 W = 6,9 MW.

Q = 36.000 m3/h / 3.600 s/h = 10 m3/s

b (5%) P = 1000 * 8 * 200 * 10 = 16.000.000 W = 16 MW.

Løsning til oppgave 13 (20%)

a (5%) Ved merketurtall: $E_r = 0,5\ J\ \omega^2 = 0,5 * 10^6 * 50^2 = 0,5 * 10^6 * 2500 = 1,25 * 10^9$ J

b (5%) Energiforbruk i 10 s: W = P t = 45 MW * 10 s = 450 MJ = 0,45 * 10^9 J

Resulterende energi etter 10 s: Er = (1,25 – 0,45) 10^9 J = 800 * 10^6 J = 0,5 J ω^2

Resulterende vinkelhastighet: $\omega = \sqrt{1600} = 40\ s^{-1}$

c (5%) Frekvensavvik etter 25 MW lastavslag:

$R = -(\Delta f/f_n) / (\Delta P/P_n) \Rightarrow \Delta f = -R\ f_n\ \Delta P/P_n = -0,1 * 50 * (75 – 100) / 250 = 0,5$ Hz

d (5%) Effektendring ved frekvensheving:

$\lambda = -\Delta P / \Delta f$ = Pn / (R * fn) = 250 / (0,1 * 50) = 50 MW/Hz

$\Delta P = -\Delta f$ Pn / (R fn) = -(50 – 49,9) * 250 / (0,1 * 50) = -5 MW = $-\lambda\ \Delta f$ = -50 (50 – 49,9) MW = -5 MW.