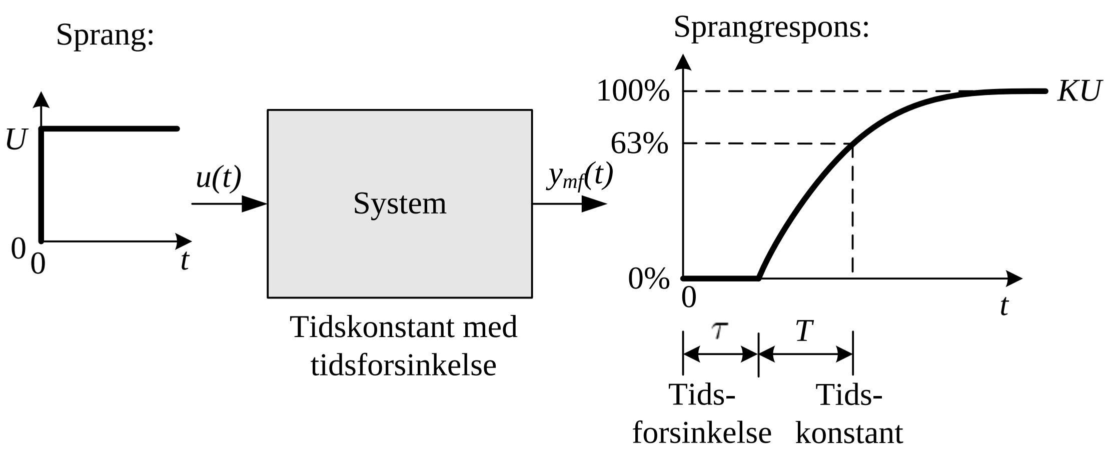
Løsning til eksamen i EK3114 Automatisering og vannkraftregulering ved Høgskolen i Sørøst-Norge

Eksamensdato: 24.11 2017. Varighet 5 timer.

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

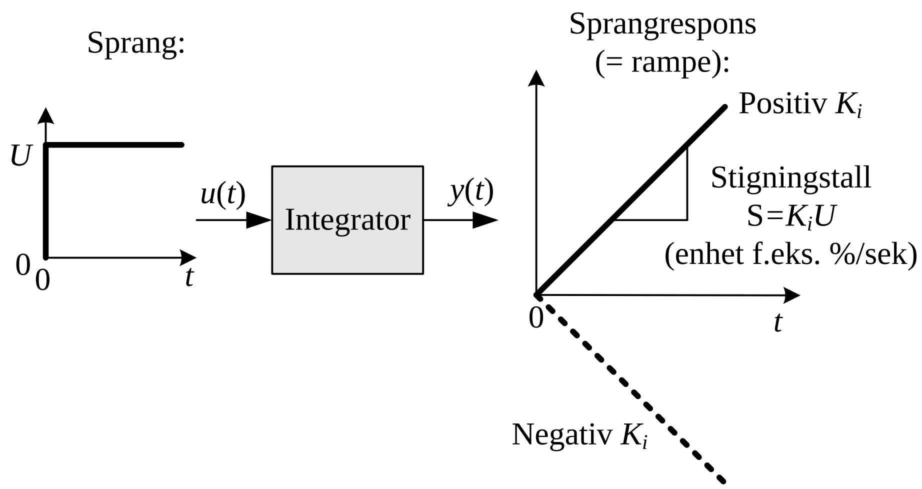
Løsning til oppgave 1

a (5%). Se figur 1.



Figur 1

b (5%). Se figur 2.



Figur 2

Løsning til oppgave 2 (5%)

Aktivt D-ledd gir relativt støyfylt pådrag. Målefilter demper målestøy og reduserer dermed pådragsstøy. Derfor:

- Tidsintervall 1: PID-regulator uten målefilter
- Tidsintervall 2: PID-regulator med målefilter
- Tidsintervall 3: PI-regulator med målefilter

Løsning til oppgave 3

a (3%) Massebalanse for væsken i tanken:

$$\rho A \frac{dh}{dt} = \rho F_{in} - \rho F_{out}$$

der ρ [kg/m^3] er væskens tetthet. Forkorting av ρ gir den gitte modellen (en differensiallikning).

b (5%) Under statiske forhold er de tidsderiverte null. Her: dh/dt = 0, hvilket gir følgende statiske modell:

$$0 = F_{in} - K_p(h_{sp} - h)$$

som gir

$$h_s = h_{sp} - \frac{F_{in}}{K_p}$$

c (5%) Laplacetransformasjon av reguleringssystemets differensiallikningsmodell gir

$$A[sh(s) - h_0] = F_{in}(s) - K_p\left[h_{sp}(s) - h(s)\right]$$

Her kan vi sette initialverdien h0 lik null og dessuten anta at F_{in} er null, siden disse to størrelsene ikke influerer på transferfunksjonen fra h_{sp} til *h*. Likningen blir da

$$Ash(s) = -K_p\left[h_{sp}(s) - h(s)\right]$$

som, ganske riktig, gir

$$\frac{h(s)}{h_{sp}(s)} = \frac{-K_p}{As - K_p} = M(s)$$

d (5%) Vi starter med å skrive *M*(*s*) på standardformen for transferfunksjonen for tidskonstantsystemer:

$$M(s) = \frac{K}{Ts + 1} = \frac{-K_p}{As - K_p} = \frac{1}{(-A/K_p)s + 1}$$

Reguleringssystemets tidskonstant er

$$T_c = -\frac{A}{K_p}$$

e (3%) Polen er *s*-løsningen av transferfunksjonens karakteristiske likning:

$$As - K_p = 0$$

som har løsning (pol):

$$s = p = \frac{K_p}{A}$$

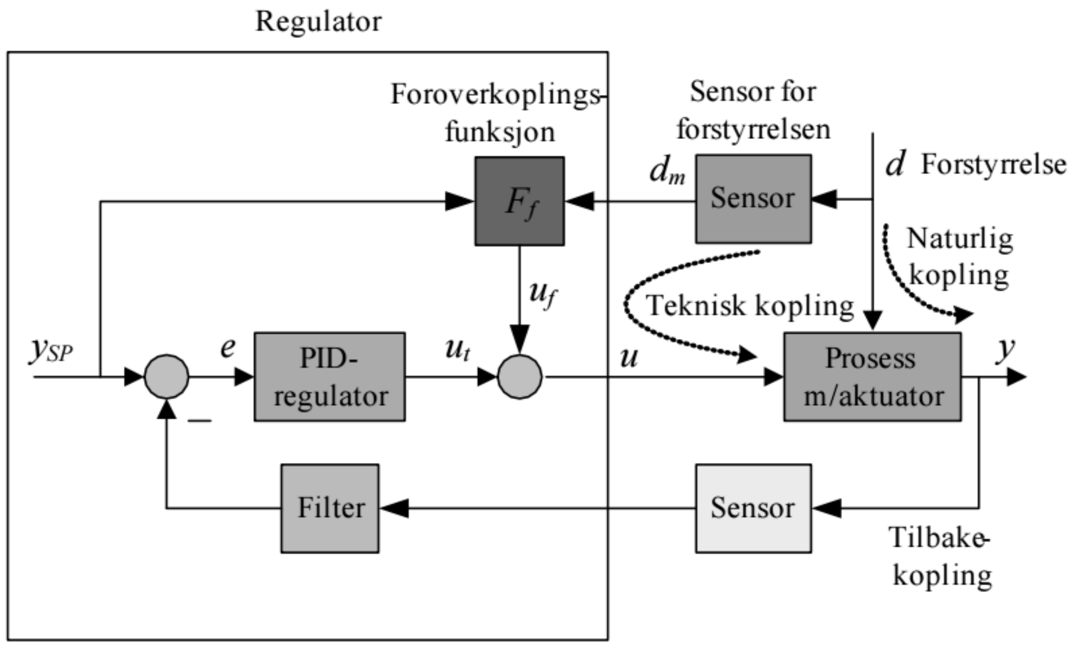
f (4%)

Svaralternativ 1: Reguleringssystemet er stabilt dersom alle polene i følgeforholdet ligger i venstre halplan, dvs. har strengt negativ realverdi. Dette er oppfylt med strengt negativ K_p siden p (systemets eneste pol) da blir strengt negativ.

Svaralternativ 2: Det er nødvendig at reguleringssystemet er satt i riktig modus (reversmodus eller direktemodus) for at systemet skal være stabilt. For nivåreguleringssystemet: Anta at nivået øker noe i forhold til settpunktet. For å bringe nivået ned igjen til settpunktet, må pumpepådraget øker. Situasjonen er med andre ord «måling opp - pådrag opp», hvilket tilsier direktevirkning, altså negativ regulatorforsterkning.

Løsning til oppgave 4 (10%)

a (7%) Se figur 3. 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 3

b (3%) Eksempler på prosessforstyrrelser:

- Utetemperatur (eks. på prosess: bioreaktor).
- Innløpstemperatur (f.eks. bioreaktor).
- Luftstrømning (f.eks. varmluftrør).
- Vind (skip).
- Vannstrøm (skip).

Løsning til oppgave 5

(5%) PI-regulatoren stilles inn under antakelse av at prosessdynamikken er "integrator med tidsforsinkelse". Tidsforsinkelsen er $\tau = 1$ min. Integralforsterkningen blir

$$K_i = \frac{10\ \%/\text{min}}{20\ \%} = 0,5\ \text{min}^{-1}$$

Skogestads formler gir

$$\underline{\underline{K_p}} = \frac{1}{2K_i\tau} = \frac{1}{2 \cdot 0,5\ \text{min}^{-1} \cdot 1\ \text{min}} = \underline{\underline{1}}$$

$$\underline{\underline{T_i}} = 4\tau = 4 \cdot 1\ \text{min} = \underline{\underline{4\ \text{min}}}$$

Løsning til oppgave 6 (5%)

Ziegler-Nichols' metode: Kpu = 1,0 og Pu = 12 min, som gir <u>Kp</u> = 0,45*Kpu = 0,45*1,0 = <u>0,45</u> og <u>Ti</u> = Pu/1,2 = 12 min/1,2 = <u>10 min</u>.

Relaxed Ziegler-Nichols' metode: <u>Kp</u> = 0,32*Kpu = 0,32*1,0 = <u>0,32</u> og <u>Ti</u> = Pu = <u>12 min</u>.

Hvis reguleringssystemet får for dårlig stabilitet, kan du prøve med redusert Kp-verdi, f.eks. halv verdi.

Løsning til oppgave 7 (5%)

- *Temperatur*: Termoelement. Motstandstermometer.
- *Væskestrøm (-flow)*: Termisk. Coriolis. Ultralyd (doppler). Måleblende. (Her er det angitt fire sensortyper, men det er tilstrekkelig å angi to.)
- *Nivå*: Ultralyd. dP-celle (for måling av nivåavhengig hydrostatisk trykk).

Løsning til oppgave 8 (5%)

Duty cycle er

$$\underline{\underline{D}} = \frac{u_{mean}}{U_{on}} = \frac{400\ \text{W}}{1000\ \text{W}} = 0,4 = \underline{\underline{40\%}}$$

Pulsbreddemodulatorens tid (tidslengde) i på-tilstand er

$$\underline{\underline{T_{on}}} = DT_p = 0,4 \cdot 0,5\ \text{s} = \underline{\underline{0,2\ \text{s}}}$$

Løsning til oppgave 9 (20%)

a) (2%) Benytter Mannings formel; hastighet i røret er 2,4/0,8 = 3 m/s. dH = $(3/90)^2$ 900 * 6 m = 6 m.
b) (2%) P – aktiv effekt i W. | ρ er vannets tetthet i kg/m3 | η er turbinvirkningsgrad; dimensjonsløst <=1 | g er tyngdens akselerasjon m/s2 | Q – er vannføring gjennom turbinen i m3/s | H – er netto fallhøyde fra vannoverflate i kraftverkets inntak til turbinens undervann som måles m.
c) (3%) P = 1000 kg/m3 * 9 m/s2 * 2,4 m3/s * 100 m = 21,6 * 10^5 W = 2,16 MW.
d) (3%) Midlere årlig vannforbruk i kraftverket er produksjon i GWh / Energiekvivalent =
   12*10^6 kWh / 0,25 kWh/m3 = 48 mill. m3.
   Tilsvarende midlere flomtap vil da være resten; 60 – 48 mill. m3 = 12 mill. m3 (pr. år).

Løsning til oppgave 10 (20%)

a) (2%) Fra formel for akselerasjonstid får vi: J = 10s * 50*10^6 W / 50^2 s^{-2} = 0,2 * 10^6 kg m2.
b) (2%) Moment = P / ω = 50 MW / 50 (1/s) = 50 MN.
c) (2%) Kinetisk energi Eko = ½ J ω^2 = 0,5 * 0,2 * 10^6 kg m^2 * 50^2 $(1/s)^2$ = 250 MJ.
d) (2%) Betrakter systemet tapsfritt. Lastpåslaget utgjør 2,5 MW * 20 s = 50 MWs = 50 MJ.
   Resultatet for rotasjonen blir da: Ek1 = (250 – 50) MJ = 200 MJ.
e) (3%) f1/fo = ω1 / ωo = $\sqrt{}$ (Ek1 / Eko) = $\sqrt{}$ (200/250) = 2 / $\sqrt{5}$ = 0,89.
f) (3%) Frekvensfall skyldes enten lastpåslag eller bortfall av produksjon, f.eks. en generator.
g) (3%) Beregnes fra formel for statikk: dP = -df * Pn / (R * fn) =-(-0,1 Hz) * 50 MW / 10% * 50 Hz = = 1 MW.
h) (3%) Regulerstyrke beregnes som sum regulerstyrke i alle sammenkoblede delsystemer; her har vi to – samkjørende nett + 'vårt aggregat'.
   Regulerstyrke for aggregatet regnes fra formel for statikk:
   λi = -dP/df = Pn / (R fn) = 50 MW/(10 % * 50 Hz) = 10 MW/Hz.
   Samlet regulerstyrke blir da λ = (100 + 10) MW/Hz = 110 MW/Hz.