Høgskolen i Sørøst-Norge

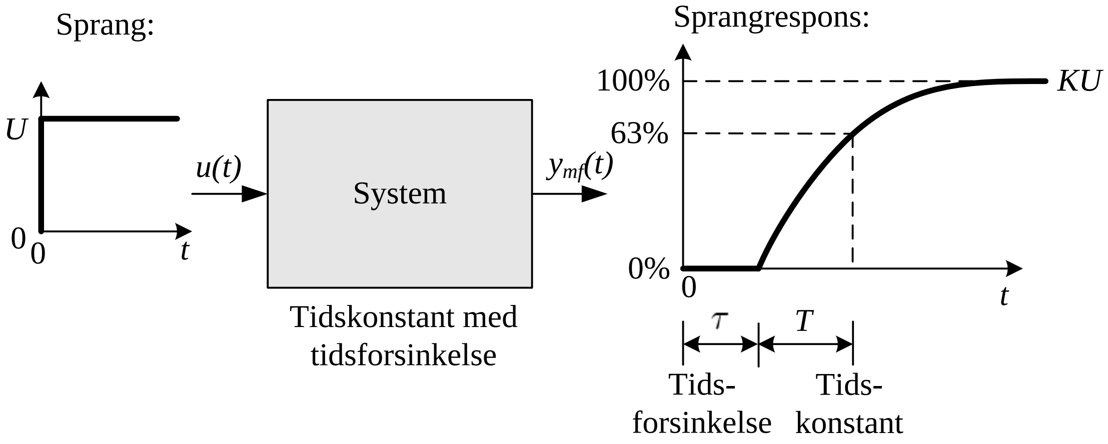
Løsning til eksamen i IA3112 Automatiseringsteknikk ved Høgskolen i Sørøst-Norge

Eksamensdato: 24.11 2017. Varighet 5 timer.

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

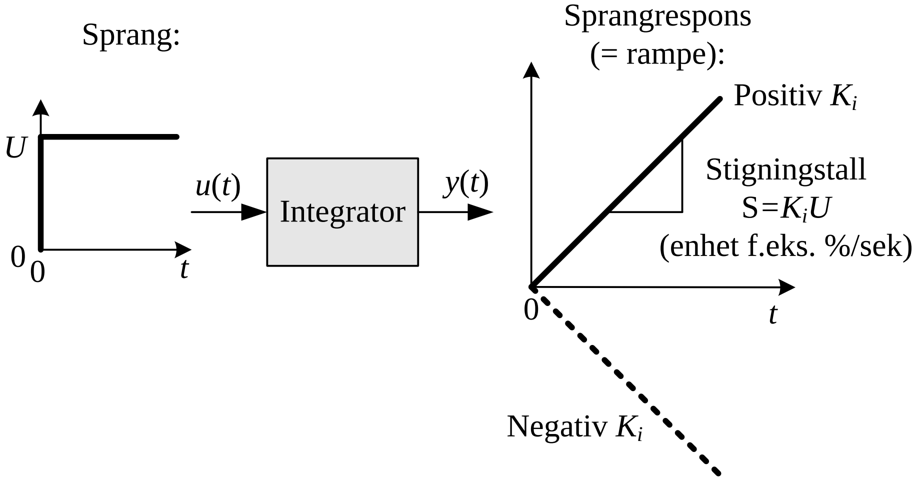
Løsning til oppgave 1

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):

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

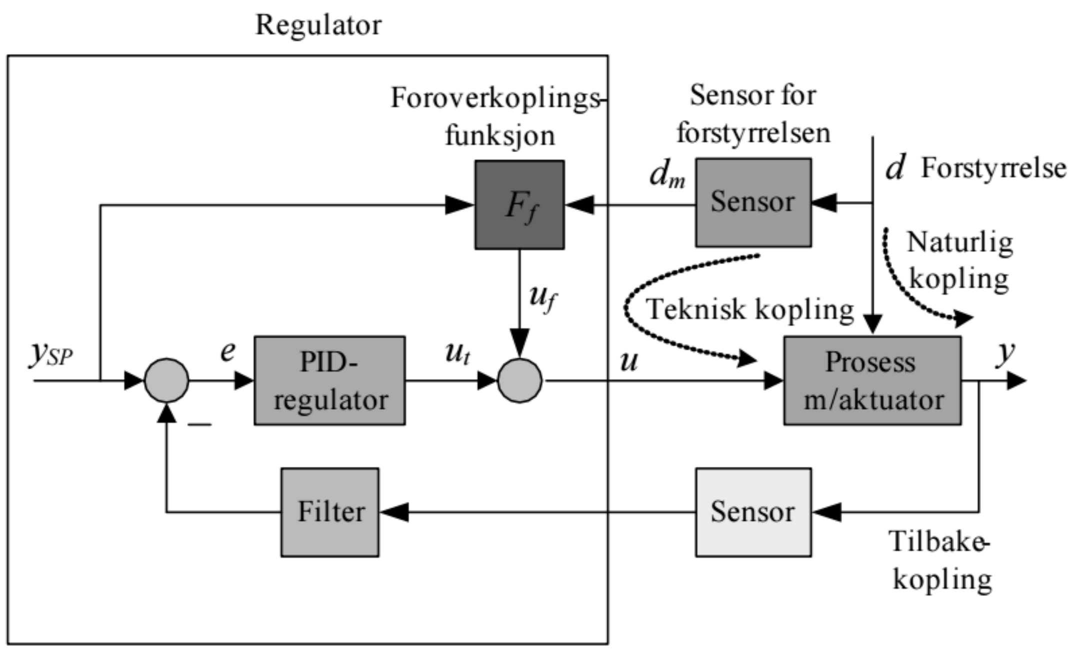
f (4%)

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

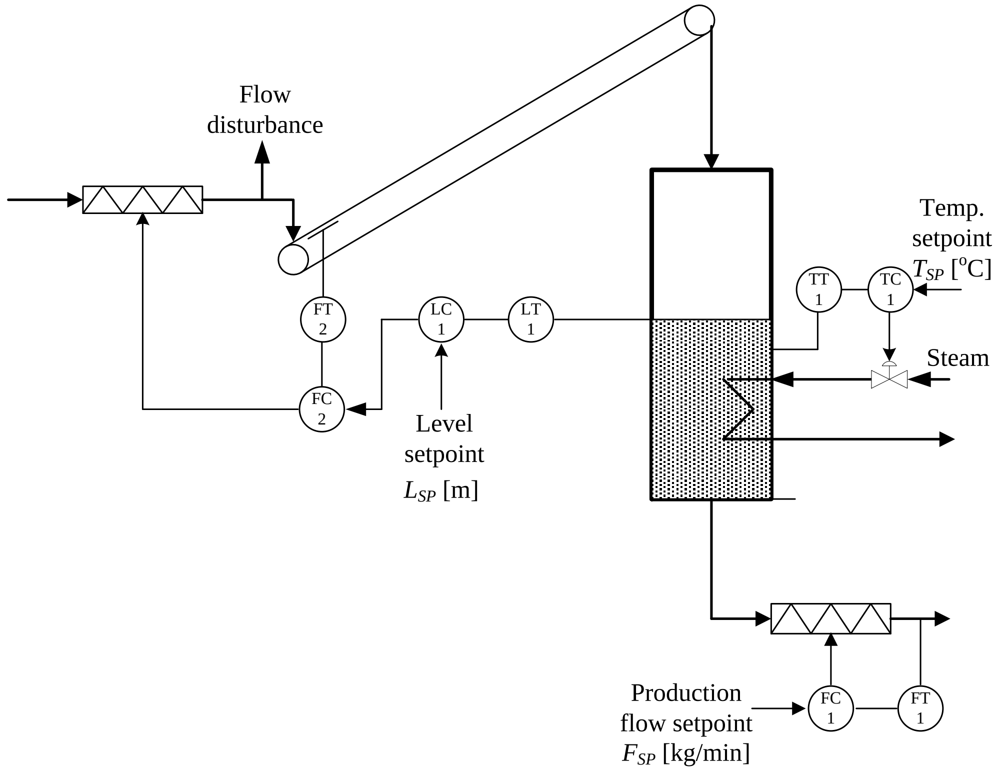
$$\underline{\underline{D}} = \frac{u_{mean}}{U_{on}} = \frac{400\ \text{W}}{1000\ \text{W}} = 0,4 = \underline{\underline{40\%}}$$

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 (10%)

Se figur 4.



Figur 4

Løsning til oppgave 10 (10%)

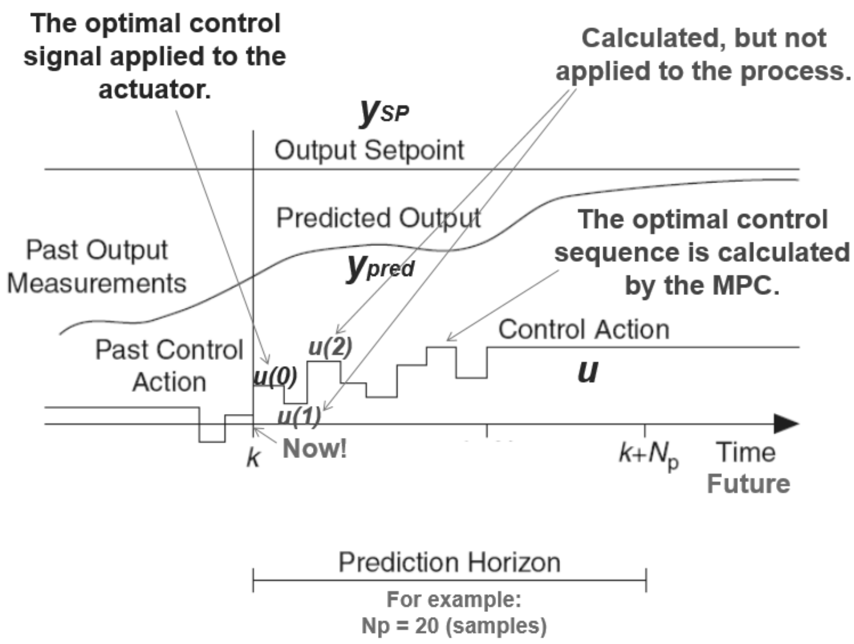
MPC er en modellbasert regulator som ved hvert tidsskritt etter hvert som tiden går, altså kontinuerlig, predikerer optimal pådragssekvens ut fra følgende informasjon:

- Et optimaliseringskriterium som typisk består av en sum av framtidige (predikerte) kvadratiske reguleringsavvik og kvadratiske endringer i pådraget.
- Prosessmodell
- Nåværende prosesstilstand som fås fra målinger og/eller tilstandsestimater fra en estimator som oftest er i form av et Kalman-filter.
- Nåværende, og helst framtidige, settpunktsverdier og forstyrrelsesverdier.
- Begrensninger i pådragssignalet (maks og min) og i prosessvariabelen.

Fra den optimale pådragssekvensen plukkes det første elementet ut og anvendes som pådrag på prosessen.

Noen versjon er av MPC forutsetter lineære prosessmodeller, mens andre er basert på ulineære prosessmodeller. Modellene kan være multivariable og inneholde tidsforsinkelser.

Figur 5 illusterer MPC-regulatorens oppførsel.

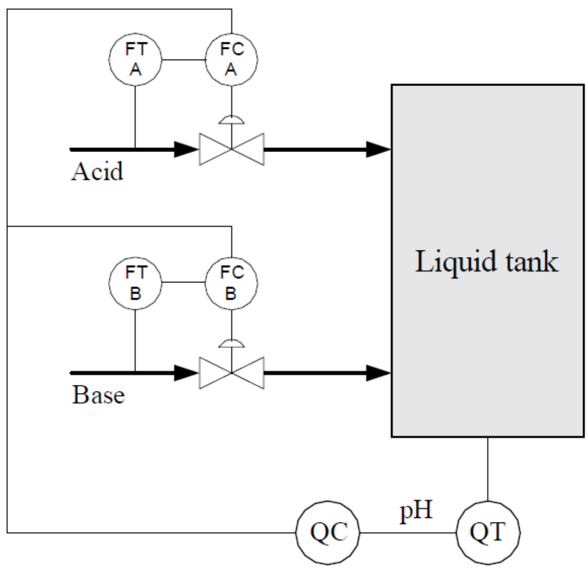


Figur 5

Tilstandsestimatoren er viktig fordi den beregner (estimerer) nåværende prosesstilstand, og denne tilstanden benyttes som initialtilstand (starttilstand) i prediksjonen eller simuleringen av framtidige tilstander.

Løsning til oppgave 11 (5%)

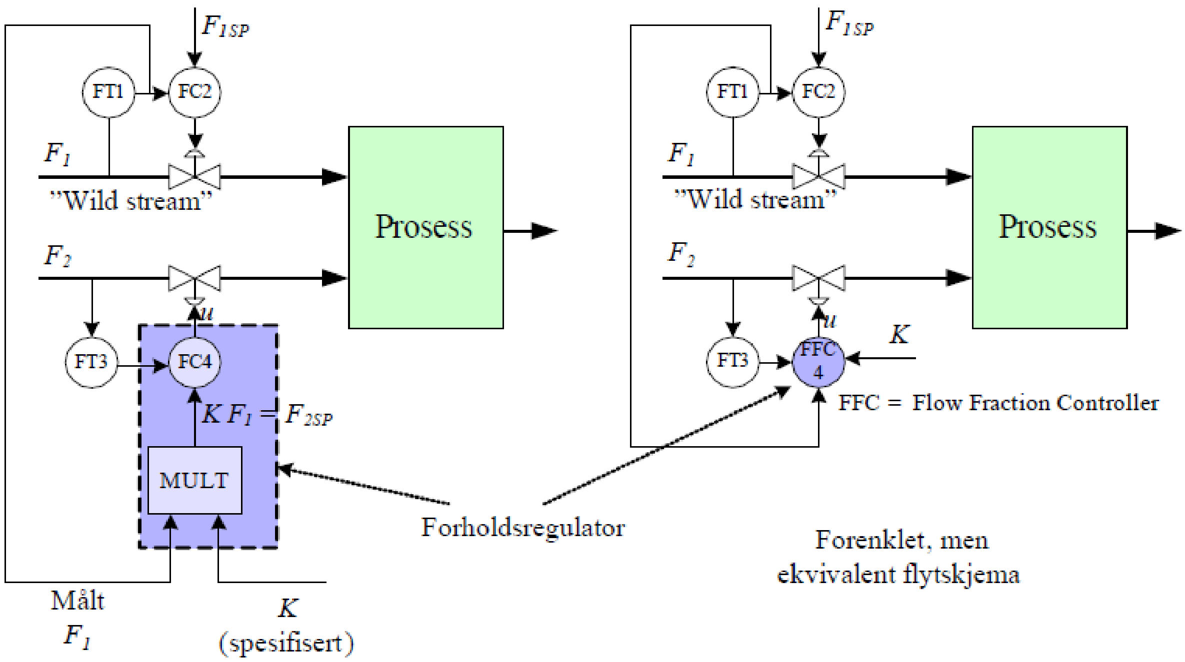
Figur 6 viser et eksempel (hentet fra øvingene) som dreier seg om pH-regulering. pH-regulatoren QC (Quality Controller) justerer syre (acid) eller base. Et annet eksempel (viser ingen figur her) er temperaturregulering av en eksoterm reaktor der det kan være behov for både kjøling og oppvarming. Temperaturregulatoren justerer kaldtvannstilførsel eller varmtvannstilførsel (til kappa rundt reaktoren).



Figur 6

Løsning til oppgave 12 (5%)

Figur 7 viser et teknisk flytskjema for et forholdsreguleringssystem i to versjoner. Begge versjonene aksepteres som korrekt svar. Reguleringssystemet får strømmen F_2 til å følge settpunktet $F_{2sp} = K{\cdot}F_1$ der F_1 er måleverdien av strømmen F_1 og K er et spesifisert forholdstall.



Figur 7