

Løsning til eksamen i

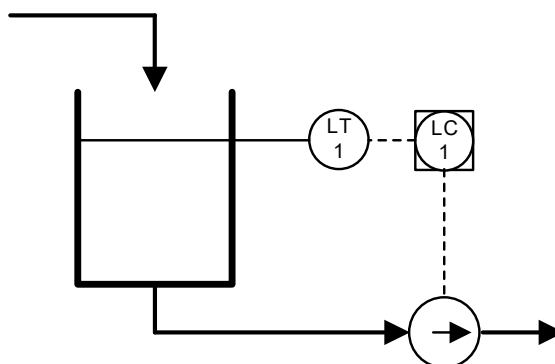
TEL240 Reguleringssteknikk og automasjon

holdt kl 0900-1230 mandag 10. mai 2021

Av emneansvarlig Finn Aakre Haugen, NMBU (finn.haugen@nmbu.no)

Oppgave 1 (10 %) Teknisk flytskjema

Se figur 1.



Figur 1

Oppgave 2 (10 %) Simulatoralgoritme

Før simuleringsløkken:

Initialisering: $T_k = T_{init}$

Inne i simuleringsløkken:

Begrensning av T_k mellom T_{min} og T_{maks} (f.eks. med clip-funksjonen i numpy)

Beregning av den tidsderivate:

$$dT_{dt_k} = [P_k + c \cdot F_k \cdot (T_{in_k} - T_k) + G \cdot (T_{env_k} - T_k)] / (c \cdot r \cdot V)$$

Euler-integrering:

$$T_{kp1} = T_k + dt \cdot dT_{dt_k}$$

Bruk av T_k , f.eks. lagring av T_k i en array for plotting

Tidsindeksskift:

$$T_k = T_{kp1}$$

Etter simuleringsløkken:

Evt. plotting, lagring av simuleringsdata til fil, etc.

Oppgave 3 (10%) Transferfunksjon

Vi kan betrakte P , T_{in} og T_{env} som inngangsvariabler. Initialverdien av T antas å være T_0 . Siden oppgaven spør etter transferfunksjonen fra P til T , kan vi sette $T_0 = 0$, $T_{in} = 0$ og $T_{env} = 0$. Laplacetransformasjon av differensiallikningen gir da:

$$c \cdot \rho \cdot V \cdot s \cdot T(s) = P(s) + c \cdot F \cdot [0 - T(s)] + G \cdot [0 - T(s)]$$

som løst mhp. $T(s)$ gir:

$$T(s) = H(s) \cdot P(s)$$

der $H(s)$ er transferfunksjonen:

$$H(s) = 1 / (c \cdot \rho \cdot V \cdot s + c \cdot F + G)$$

$H(s)$ skrevet på standardform:

$$H(s) = K / (\theta \cdot s + 1)$$

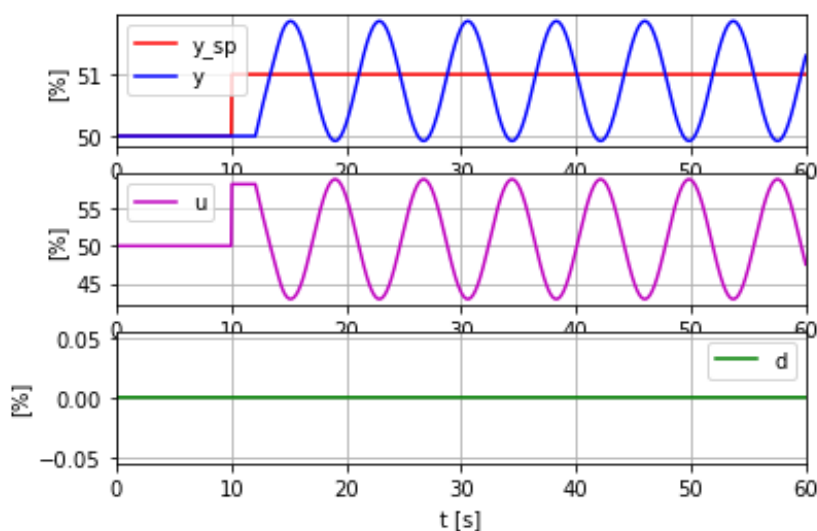
der

$$K = 1 / (c \cdot F + G)$$

$$\theta = (c \cdot \rho \cdot V) / (c \cdot F + G)$$

Oppgave 4 (20%) Regulatorinnstilling

Figur 3 viser simuleringer med $K_p = 8.2 = K_{pu}$ = kritisk forsterkning. Perioden leses av til ca $P_u = 8,0$ s.

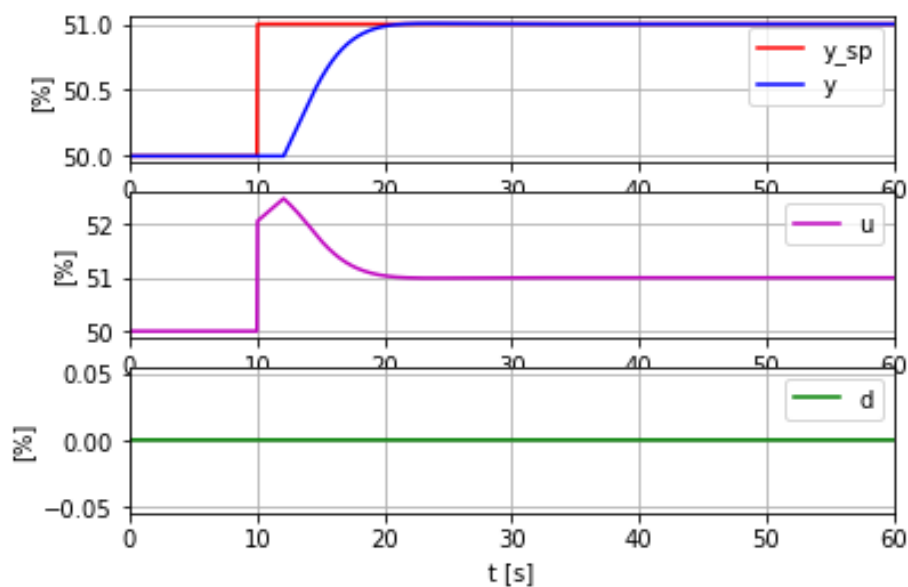


Figur 3

Relaxed Ziegler-Nichols:

$$K_p = 0,25 \cdot K_{pu} = 0,25 \cdot 8,2 = 2,05 \text{ og } T_i = 1,25 \cdot P_u = 1,25 \cdot 8 = 10,0 \text{ s}$$

Figur 4 viser et plott fra en simulering med den innstilte PI-regulatoren. Det er grunnlag for å si at reguleringssystemet har brukbar stabilitet.



Figur 4

Oppgave 5 (10%) Matematisk modellering

Antar følgende enheter: h [m]. D [m]. F_i [m³/s]. F_u [m³/s]. ρ [kg/m³].

Tverrsnittsarealet:

$$A = \pi \cdot (D/2)^2 \text{ [m}^2\text{]}$$

Massebalanse:

$$(\rho \cdot A \cdot h)' = \rho \cdot F_i - \rho \cdot F_u$$

som, etter forkorting med ρ og divisjon med A , gir:

$$h' = (F_i - F_u)/A$$

som er en modell for h .

Oppgave 6 (10%)

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

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

Skogstad's formel gir

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

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



Oppgave 7 (10%) LQ-regulering

Regulatorfunksjonen:

$$u(t) = -G^*x(t) = -[G11, G12]^*[x1, x2]' = -(G11*x1 + G12*x2)$$

der G er regulatorforsterkningsmatrisen.

Forsiktigere pådragbruk kan oppnås ved å øke pådragets kostfaktor R i optimeringskriteriet.

Oppgave 8 (10%) P, PI, PID

PI-regulatorer brukes oftere enn PID-regulatorer i praktiske styringssystemer fordi derivatleddet «forsterker» målestøy gjennom regulatoren, hvilket gir støyfylt pådrag, hvilket kan gi unødige slitasje på pådragsorganet (aktuatoren).

PI-regulatorer brukes oftere enn P-regulatorer i praktiske styringssystemer fordi integralleddet sikrer null stasjonært reguleringsavvik, mens avviket for de fleste prosesser blir forskjellig fra null uten integralleddet, som i en P-regulator.

Oppgave 9 (10%) Foroverkopling

Tre mulige eksempler (det er tilstrekkelig å beskrive ett eksempel):

- Posisjonsregulering av skip der foroverkoplingen gir en justering av propellpådraget på basis av måling av vindhastighet og vindvinkel slik at propellkraften motvirker vindkraften. Hensikten med foroverkoplingen er at skipets posisjon skal være upåvirket av vinden.
- Nivåregulering av vanntank der foroverkoplingen gir en justering av innstrøm (pådraget) på basis av måling av utstrømmen (forbruket). Hensikten er at nivået skal være upåvirket av utstrømmen.
- Temperaturregulering av termisk prosess der foroverkoplingen gir en justering av varmegått pådraget på basis av måling av omgivelsestemperaturen. Hensikten er at temperaturen i prosessen skal være upåvirket av omgivelsestemperaturen.