

Høgskolen i Telemark/Finn Haugen (finn.haugen@hit.no).

Løsning til eksamen i IA3112 Automatiseringsteknikk

Eksamensdato: 18. desember 2013. Varighet 5 timer. Vekt i sluttkarakteren: 100%.

Hjelpemidler: Ingen trykte eller håndskrevne hjelpemidler. Kalkulator ikke tillatt.

Formler og instrumenteringssymboler var oppgitt i vedlegg til oppgavesettet.

1. (5%) Den matematiske modellen baseres på massebalanse for flismengden i tanken. Massen av flis er

$$m = \rho Ah \quad (1)$$

Massetilførselen er

$$w_{inn}(t) = w_s(t - \tau) = K_s u(t - \tau) \quad (2)$$

Masseutførselen er w_{ut} .

Massebalansen blir da

$$\rho A \dot{h}(t) = w_{inn}(t) - w_{ut}(t) \quad (3)$$

$$= K_s u(t - \tau) - w_{ut}(t) \quad (4)$$

som gir

$$\underline{\underline{\dot{h}(t) = \frac{1}{\rho A} [K_s u(t - \tau) - w_{ut}(t)]}} \quad (5)$$

Endringsraten, dvs. \dot{h} , har enhet [m/min].

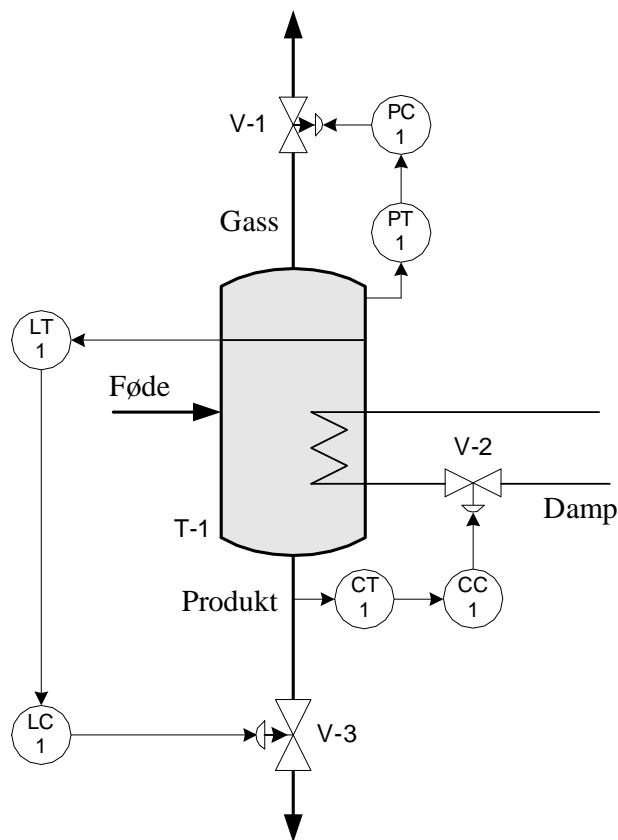
2. (5%) $GM = 9/3 = \underline{\underline{3}}$, som er en akseptabel verdi. $PM = (5/40) \cdot 360$ grader = $\underline{\underline{45}}$ grader, som er en akseptabel verdi.
3. (10%) Se figur 1.
4. (5%) Laplace-transformasjon av den gitte differensiallikningen (setter initialverdien for y og for \dot{y} lik null):

$$ms^2 y(s) = F(s) - Ds y(s) - K y(s) \quad (6)$$

som gir

$$y(s) = \frac{1}{\underbrace{ms^2 + Ds + K}_{\underline{\underline{H(s)}}}} F(s) \quad (7)$$

$H(s)$ er transferfunksjonen fra F til y .



Figur 1:

5. (5%) Vi antar at nivået (egentlig: nivåmålingen) i utgangspunktet er lik settpunktet, og at nivået så øker noe. For å få nivået ned til settpunktet igjen, må innstrømningen reduseres, hvilket oppnås med økt ventilstyresignal. Situasjonen er da “opp-opp”, og regulatoren skal derfor ha direktevirkning.
6. (5%) Vi setter y_{SP} inn for y og løser så mht. pådraget:

$$u_f(t) = \frac{\dot{y}_{SP}(t) - a\sqrt{y_{SP}(t)} - cv(t)}{b} \quad (8)$$

som er foroverkopplingsfunksjonen.

Alle størrelsene på høyre side av likn. (8) må ha kjente verdier for at foroverkopplingsfunksjonen skal være implementerbar. y_{SP} vil selvsagt være kjent. Fra y_{SP} kan \dot{y}_{SP} beregnes. Forstyrrelsen v må være kjent fra måling eller på annen måte. Parametrene a , b og c må ha kjente verdier.

7. (5%) Bruker Ziegler-Nichols' metode: Kritisk regulatorforsterkning er $K_{p_u} = 1$ og periodetiden er $P_u = 12$ min, hvilket gir

$$\underline{\underline{K_p}} = 0,45K_{p_u} = 0,45 \cdot 1 = \underline{\underline{0,45}} \quad (9)$$

$$\underline{\underline{T_i}} = \frac{P_u}{1,2} = \frac{12 \text{ min}}{1,2} = \underline{\underline{10 \text{ min}}} \quad (10)$$

8. (5%) Målefeilen er $\underline{\underline{0,1\% \cdot \text{URL} = 0,1\% \cdot 2,2 \text{ tonn/h} = 2,2 \text{ kg/h.}}}$

Nøyaktigheten til en sensor bestemmes med kalibrering (men den kan også påvirkes av justering av sensorens måleomfang).

9.

- (a) (5%) Flytting av temperatursensoren fra posisjon 1 til 2 medfører at tidsforsinkelsen i prosessen og dermed i reguleringsløyfa øker, hvilket gjør at reguleringssystemets stabilitet blir dårligere.

- (b) (5%) Redusert væskestrøm medfører at tidsforsinkelsen i prosessen og dermed i reguleringsløyfa øker, samt at forsterkningen i prosessen og dermed i reguleringsløyfa øker. Både økning av tidsforsinkelse og økning av forsterkning bidrar til at reguleringssystemets stabilitet blir dårligere.

10. (5%) PI-regulatoren stilles inn under antakelse av at prosessdynamikken er "integrator med tidsforsinkelse". Tidsforsinkelsen er $\tau = 5$ s. Integralforsterkningen er

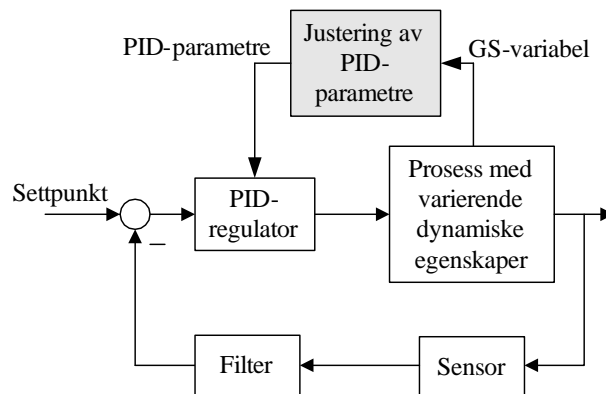
$$K_i = \frac{20 \text{ \%}/\text{s}}{10 \text{ \%}} = 2 \text{ s}^{-1} \quad (11)$$

Skogestads formler gir, med de vanlige antakelsene $T_C = \tau$ og $c = 2$,

$$\underline{\underline{K_p}} = \frac{1}{K_i(T_C + \tau)} = \frac{1}{2K_i\tau} = \frac{1}{2 \cdot 2 \text{ s}^{-1} \cdot 5 \text{ s}} = \underline{\underline{0.05}} \quad (12)$$

$$\underline{\underline{T_i}} = c(T_C + \tau) = 4\tau = 4 \cdot 5 \text{ s} = \underline{\underline{20 \text{ s}}} \quad (13)$$

11. (10%) Prinsippet for PID-regulering med gain scheduling er at PID-innstillingen justeres (automatisk) som en funksjon av en prosessmåling, kalt GS-variabelen, som antas å representere prosessens dynamiske egenskaper til enhver tid, se figur 2. Blokken "Justering av PID-parametre" i figuren kan utføre interpolering i en tabell som inneholder et sett av brukbare PID-parameterverdier for forskjellige verdier av GS-variabelen. Disse PID-parametrene vil være



Figur 2:

funnet med en eller annen egnet PID-innstillingsmetode, f.eks. Skogestads metode, eller med en auto-tuner.

Et eksempel på en anvendelse er temperaturregulering av en væsketank der væskestrømmen gjennom tanken varierer, se figur 3. Det kan vises at når væskestrømmen varierer, endres prosessens dynamiske egenskaper, f.eks. prosessforsterkningen. Målt væskestrøm kan derfor brukes som GS-variabel for justering av temperaturregulatorens innstilling.

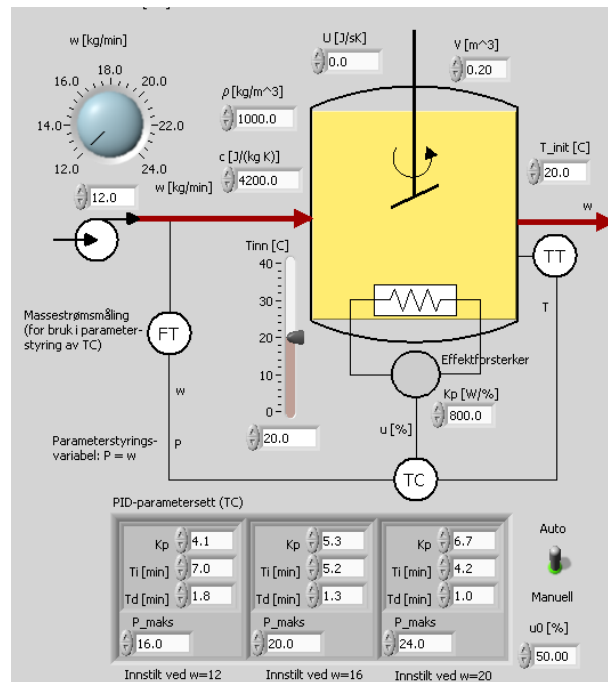
12. (5%) Skriver den gitte prosessmodellen, $\dot{y}(t) = -2y(t) + 5u(t)$, på standardformen $T\dot{y}(t) = Ku(t) - y(t)$ slik at forsterkningen K og tidskonstanten T kan leses av direkte:

$$\underbrace{0,5}_{\underline{T}} \dot{y}(t) = \underbrace{2,5}_{\underline{K}} u(t) - y(t) \quad (14)$$

13. (5%) Figur 4 viser strukturen av et kaskadereguleringssystem. Sekundærsøyfa kompenserer raskt for forstyrrelsen før forstyrrelsen slår ut på prosessens primærvariabel (y_1). Dermed oppnås en mer effektiv forstyrrelseskompensering sammenliknet med enkeltsøyferegulering.

14. (5%)

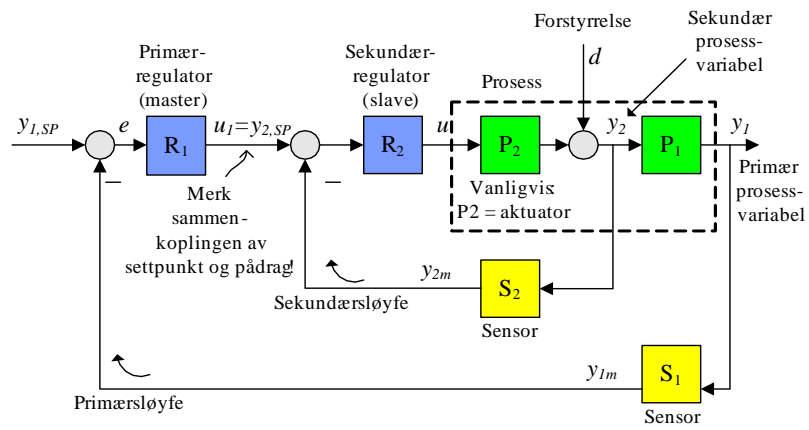
- *Temperatur*: Termoelement. Motstandstermometer.
- *Væskestrøm (-flow)*: Elektromagnetisk. Termisk. Coriolis. Ultralyd (doppler). Måleblende. Vortex. (Her er det angitt seks sensortyper, men det er tilstrekkelig å angi to.)



Figur 3:

- *Nivå*: Ultralyd. dP-celle (for måling av nivåavhengig hydrostatisk trykk).

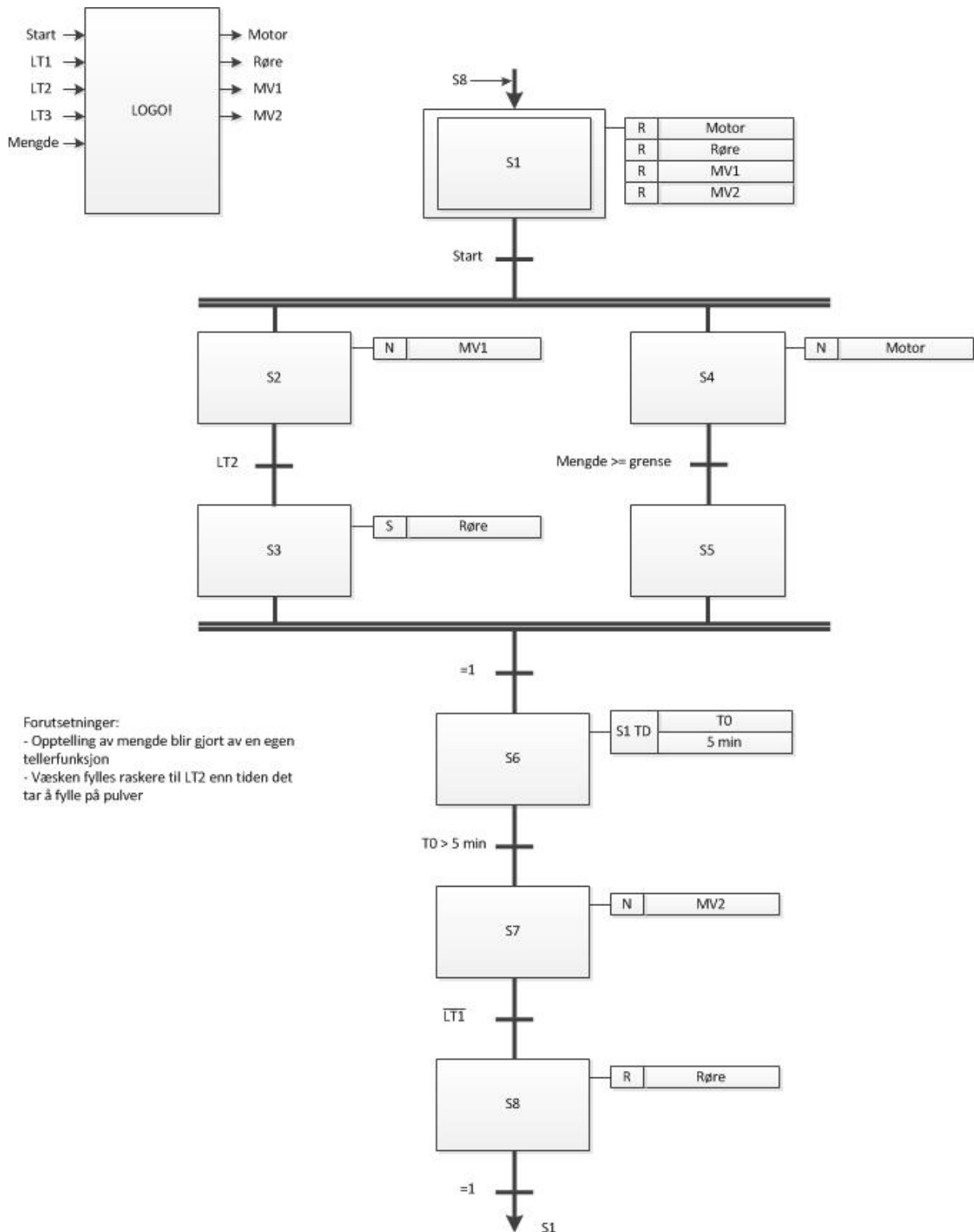
15. (15%) Løsningen er vist bakerst i dette dokumentet.



Figur 4:

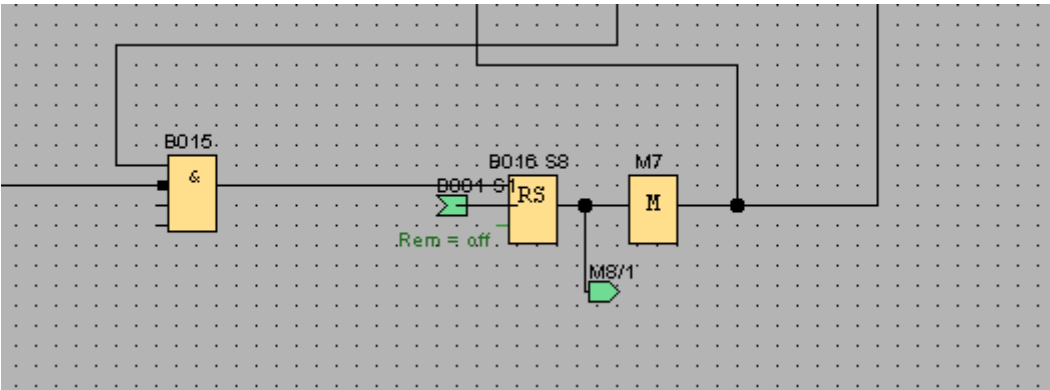
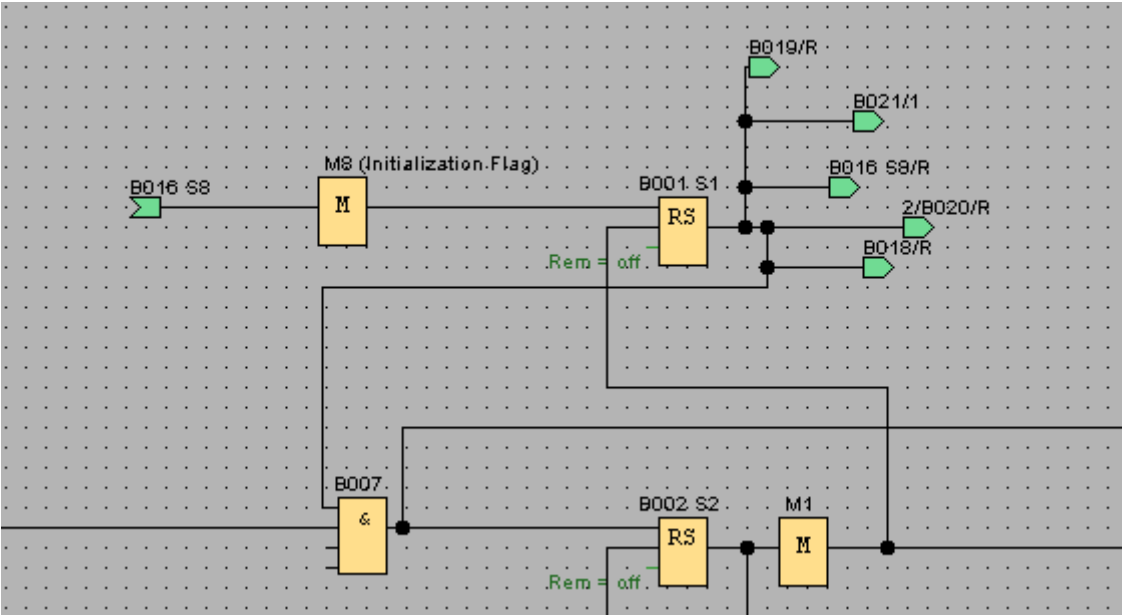
Løsningsforslag til oppgave 15 (sekvensiell styring)

SFC-diagram:



- Forutsetninger:
- Opptelling av mengde blir gjort av en egen tellerfunksjon
 - Væsken fylles raskere til LT2 enn tiden det tar å fylle på pulver

Starttrinn med FBD:



Starttrinn med LAD:

