

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

Løsning til eksamen i EK3112 Automatiseringsteknikk for elkraft

Eksamensdato: 18. desember 2013. Varighet 5 timer. Vekt i slutt karakteren: 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

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

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

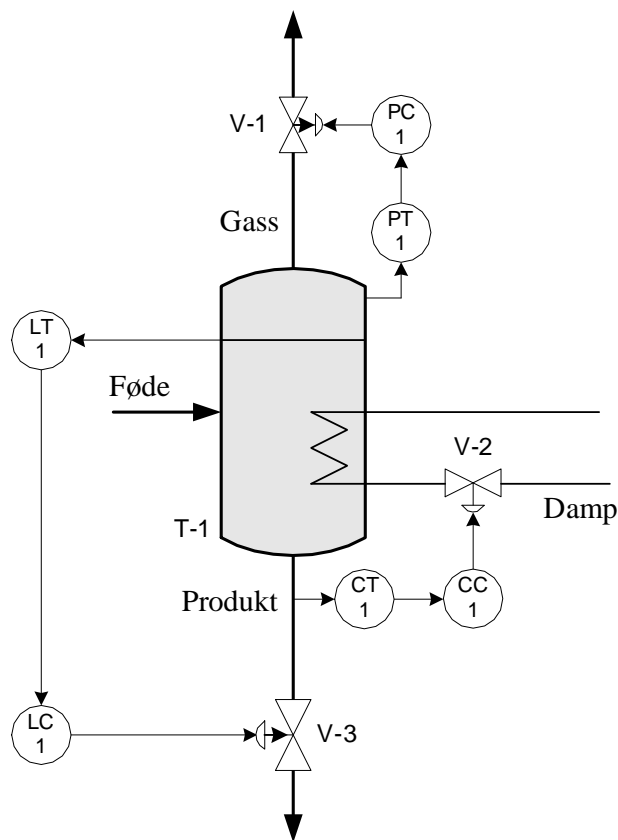
2. (5%) $GM = 9/3 = \underline{\underline{3}}$, som er en akseptabel verdi. $PM = (5/40) \cdot 360$ grader = 45 grader, som er en akseptabel verdi.
3. (10%) Se figur 1.
4. (5%) Laplace-transformasjon av den gitte differensiallikningen (setter initialverdien for y og for \dot{y} lik null):

$$ms^2 y(s) = F(s) - Dsy(s) - Ky(s) \quad (6)$$

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%) Målefeilen er $0,1\% \cdot URL = 0,1\% \cdot 2,2 \text{ tonn/h} = 2,2 \text{ kg/h}$.
Nøyaktigheten til en sensor bestemmes med kalibrering (men den kan også påvirkes av justering av sensorens måleomfang).
7. (5%) PI-regulatoren stilles inn under antakelse av at prosessdynamikken er “integrator med tidsforsinkelse”. Tidsforsinkelsen er $\tau = 5 \text{ s}$. Integralforsterkningen er

$$K_i = \frac{20 \text{ \%}/\text{s}}{10 \text{ \%}} = 2 \text{ s}^{-1} \quad (8)$$

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

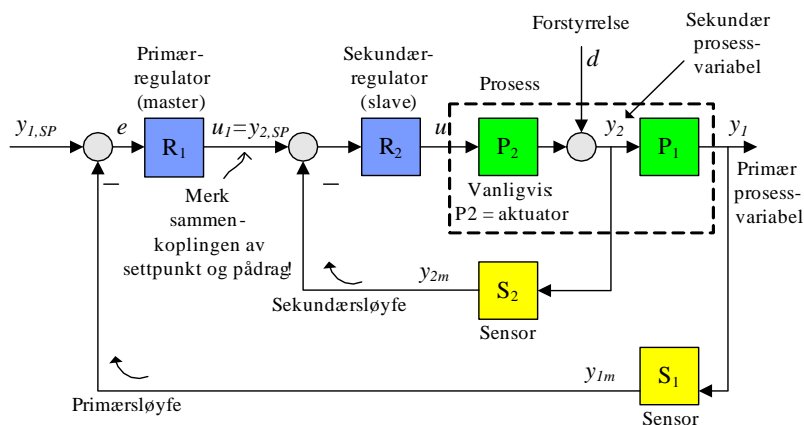
$$\underline{\underline{K_p}} = \frac{1}{K_i(T_C + \tau)} = \frac{1}{2K_i\tau} = \frac{1}{2 \cdot 2 \text{ s}^{-1} \cdot 5 \text{ s}} = \underline{\underline{0.05}} \quad (9)$$

$$\underline{\underline{T_i}} = c(T_C + \tau) = 4\tau = 4 \cdot 5 \text{ s} = \underline{\underline{20 \text{ s}}} \quad (10)$$

8. (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:

$$\underbrace{0,5}_{\underline{\underline{T}}}\dot{y}(t) = \underbrace{2,5}_{\underline{\underline{K}}}u(t) - y(t) \quad (11)$$

9. (5%) Figur 2 viser strukturen av et kaskadereguleringssystem.



Figur 2:

Sekundærsløyfa kompenserer raskt for forstyrrelsen før forstyrrelsen slår ut på prosessens primærvariabel (y_1). Dermed oppnås en mer effektiv forstyrrelseskompensering sammenliknet med enkeltsløyferegulering.

10. (5%)

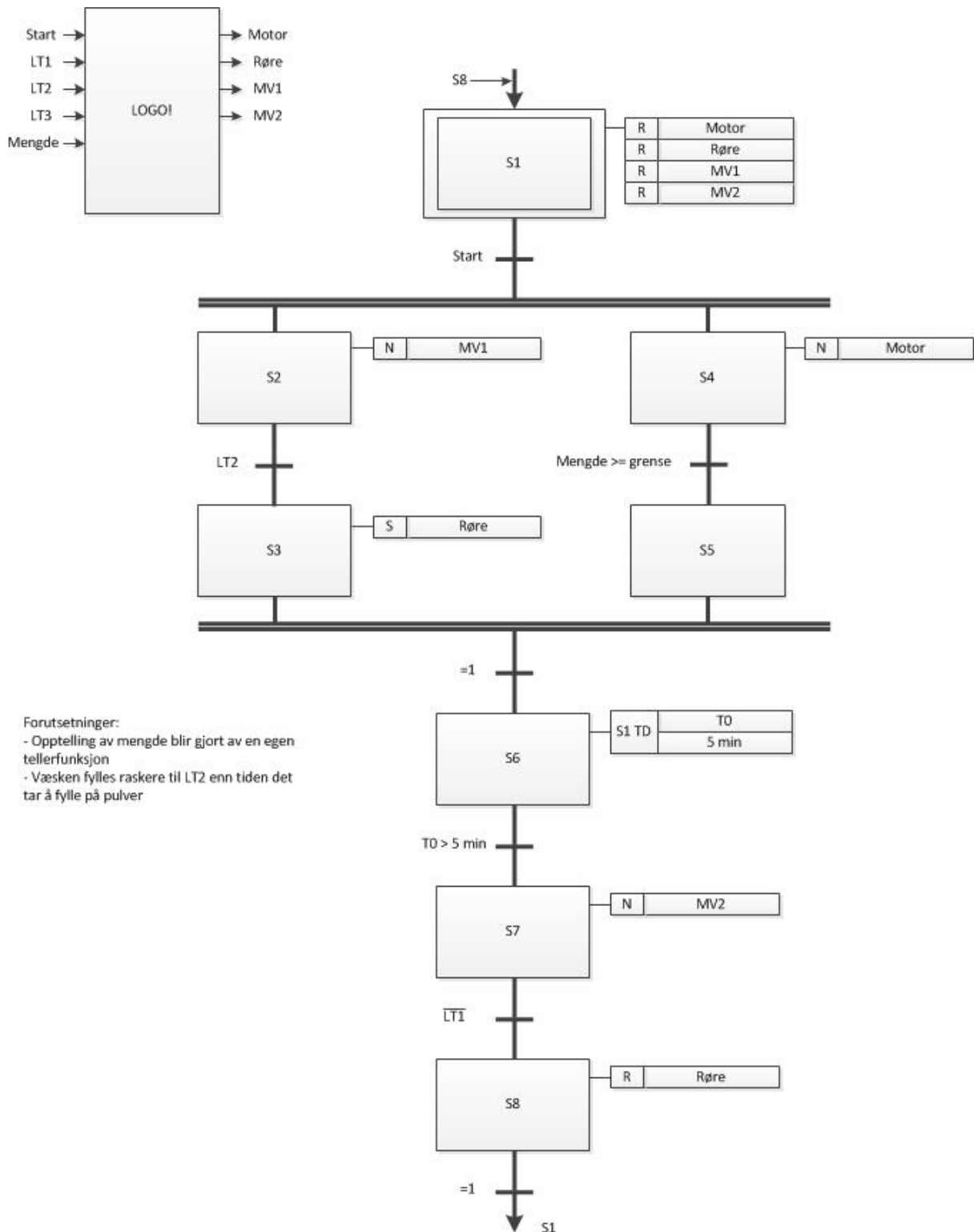
- *Temperatur*: Termoelement. Motstandstermometer.
- *Væskestrøm (-flow)*: Elektromagnetisk. Termisk. Coriolis. Ultralyd (doppler). Måleblende. Vortex. (Her er det angitt seks sensortyper, men det er tilstrekkelig å angi to.)
- *Nivå*: Ultralyd. dP-celle (for måling av nivåavhengig hydrostatisk trykk).

11. (15%) Løsningen er vist bakerst i dette dokumentet.
12. (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 ($9,81 \text{ m/s}^2$).
Fallhøyde, H , i m. Vannføring ved fullast, Q , i m^3/s .
13. (5%) En vannkjølt kraftverksgenerator har en lukket kjølekrets hvor luft med vifter blir blåst forbi rotorvikling, statorvikling og blikkpakke hvor lufta tar opp tapsvarmen – ofte med en dimensjonerende temperaturstigning på inntil 20 grader. I denne luftkretsen er det så plassert luft til vannkjølere (statorkjølere) hvor kjølevann blir varmet opp av varm kjøleluft. Temperaturfallet for kjølelufta blir de samme 20 grader og dimensjonerende temperaturstigning for kjølevannet er ofte inntil 5 grader. (Det kreves vel ikke at folket kan disse grensene.)
- Generatorens lagre går i oljebad hvor det ofte er plassert vannkjølte spiraler direkte i oljebadet eller at oljen blir pumpet ut i eksterne olje til vannkjølere. Det blir ofte plassert temperaturfølere direkte i lagermetallet som ved overtemperatur gir stopp-signal. Videre overvåkes oljetemperatur og vannsirkulasjon i lagerne.
- For statorkjølere er det i tillegg til temperaturfølere innplassert mellom viklingsstavene for direkte måling av viklingstemperatur også temperaturfølere for kjølelufta og for kjølevann. Videre overvåkes også vannsirkulasjon for kjølesystemet.
14. (5%) Med utgangspunkt i figuren oppgitt i eksamensoppgaven: De første sekundene etter utfallet reduseres frekvensen tilnærmet lineært gitt direkte av størrelsen på utfallet og det totale massetregghetsmomentet i systemet – en forsyner lasta fra den roterende energien i systemet – $W = \frac{1}{2}J\omega^2$. I andre fase vil regulatorene øke pådraget slik at en når frekvensfallet snur har balanse mellom produksjon og last og videre vil en få et oversving i produksjonen slik at frekvensavviket fra opprinnelig verdi blir lavere enn max. frekvensfall – ny balanse skjer igjen v/ ca. 25 s. Ut over 25 s er det regulatorenes stasjonære funksjon ved at effektunderskuddet fordeles 'etter evne' – fordeles mellom de ulike aggregater etter innstilt statikk.
15. (5%) Med utgangspunkt i figuren oppgitt i eksamensoppgaven: Frekvensendring synes å være ca. 0,04 Hz. Effektbortfall er 1050 MW. Regulerstyrke vil da bli: $R = \Delta P / \Delta f = 1050 / 0,04 \text{ MW/Hz} = 26.200 \text{ MW/Hz}$.

16. (5%) Primærreguler- og sekundærregulerreserve må generelt være minimum like stor som det største enkeltutfall i systemet. Pr. nå er det største aggregatet i det Nordiske systemet ca. 1400 MW – atomkraftaggregat i Forsmark og Oskarshamn i Sverige. Den praksis som følges i dag er at sekundærregulerreserven overtar for primærreguleringen etter 2 – 3 min. etter en forstyrrelse som bringer frekvensen vekk fra den nominelle 50,00 Hz.
17. (5%) Akselerasjonstid for vannveg tilsvarer den tid fra tilstand det tar før vannet når hastighet tilsvarende fullast for aggregatet / kraftstasjonen når en gir full åpning mot det fri. Akselerasjonstid for aggregatet tilsvarer den tid det tar fra stillstand til 100 % turtall når akselerasjon skjer med merkemoment – eller ideelt med fullastvannføring. Dersom vannvegstidskonstanten blir for stor, f.eks. ved at vannhastigheten i tilløpet blir stor vil dette kreve at tilsvarende akselerasjonstid for aggregatet økes. Dette fordi Statnett i sin FIKS – Funksjonskrav i kraftsystemet – krever et forhold $T_a/T_w \geq 4$.

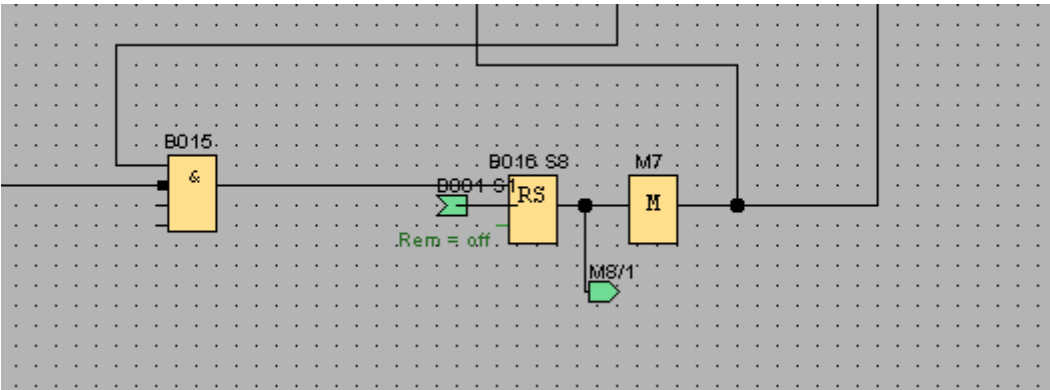
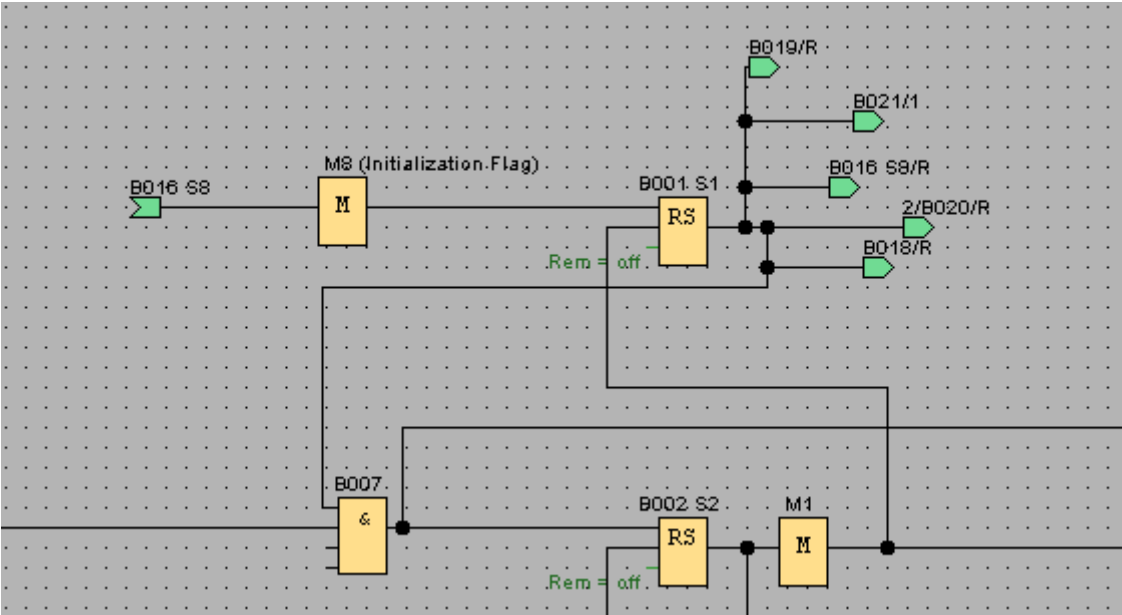
Løsningsforslag til oppgave 11 (sekvensiell styring)

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:

