

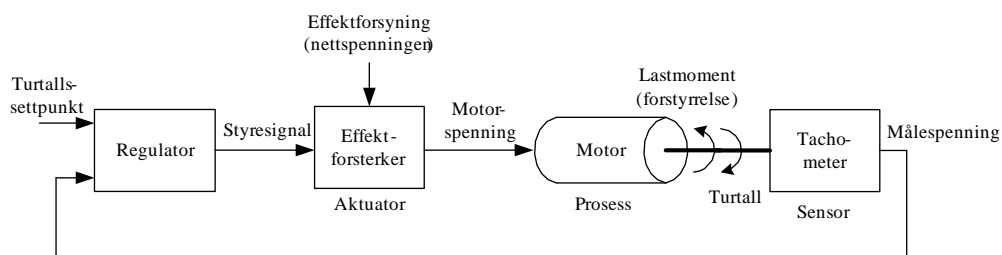
Høgskolen i Telemark. Emneansvarlig: Finn Aakre Haugen (finn.haugen@hit.no).

## Løsningsforslag til sluttprøven i emne EK3114 Automatisering og vannkraftregulering

Sluttprøvens dato: 15. desember 2014. Varighet 5 timer. Vekt i sluttkarakteren: 100%. Hjelpemidler: Ingen.

---

1. (5%) Figur 1 viser turtallsreguleringssystemet.



Figur 1: Turtallsreguleringssystem for motor

2. (10%) Se figur 2. Bokstaven C er benyttet for konsentrasjon.
3. (5%)<sup>1</sup>

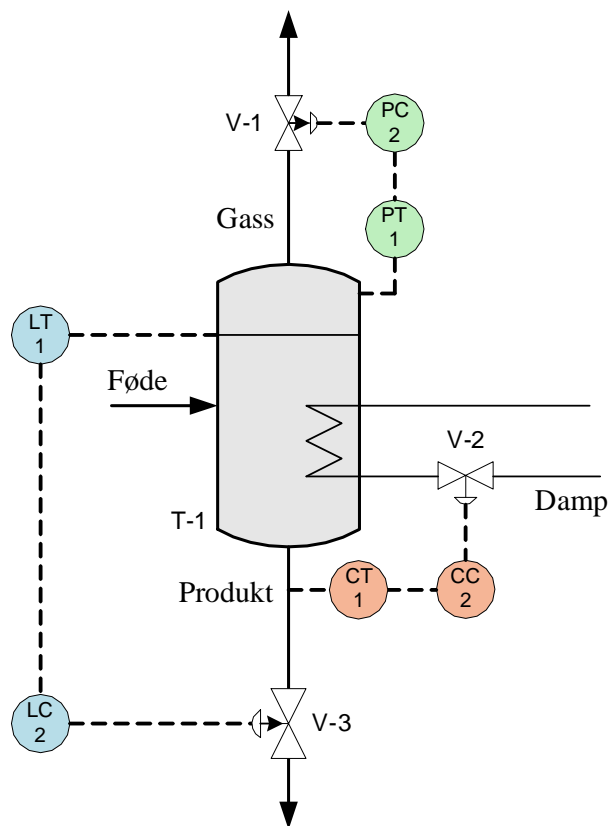
- Nullpunkt: 15 °C.
- Måleomfang: 45 °C – 15 °C = 30 K.
- Nedre prosessverdi: 15 °C, men svaret –200 °C aksepteres også, jf. fotnote 1.
- Øvre prosessverdi: 45 °C, men svaret 500 °C aksepteres også, jf. fotnote 1.

4. (5%) Ventilen skal kunne levere  $Q = 15 \text{ L/min} + 50\%$  av  $15 \text{ L/min} = 22,5 \text{ L/min}$ . Olje har relativ tetthet ca. 0,85. Vi tar utgangspunkt i ventillikningen oppgitt i oppgavens vedlegg:

$$Q = K_v \sqrt{\frac{p_v}{G}} \quad (1)$$

---

<sup>1</sup>Oppgaven er identisk med oppgave 4.20 i læreboka. Men dessverre er det en feil i løsningen på oppgaven i læreboka.  $-200 \text{ °C}$  er der angitt som nedre prosessverdi, og  $500 \text{ °C}$  er angitt som øvre prosessverdi. Riktige svar er hhv.  $15 \text{ °C}$  og  $45 \text{ °C}$ . Pga. feilene i læreboka godtas både  $-200 \text{ °C}$  og  $15 \text{ °C}$  som nedre prosessverdi og både  $500 \text{ °C}$  og  $45 \text{ °C}$  som øvre prosessverdi som svar på sluttprøven.



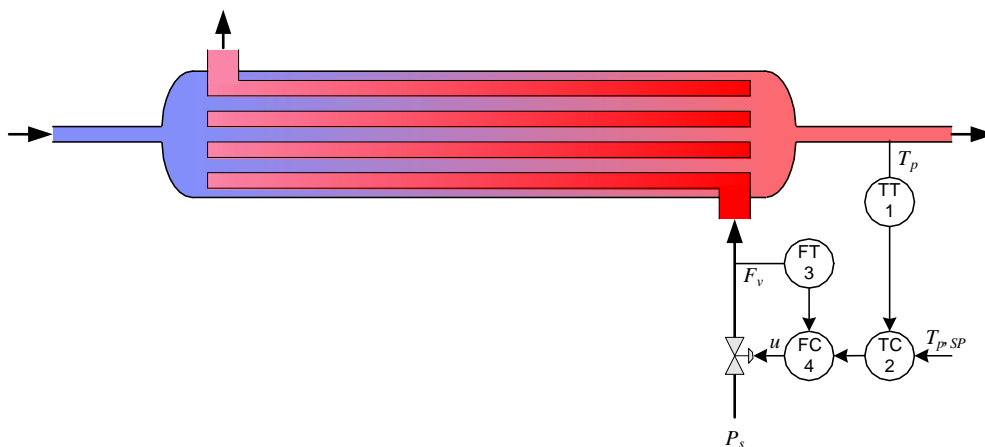
Figur 2: Teknisk flytskjema for fordamperen

Løsning mht. ventilkonstanten gir

$$\underline{\underline{K_v}} = \frac{Q}{\sqrt{\frac{p_v}{G}}} = \frac{22,5 \text{ [L/min]}}{\sqrt{\frac{0,5 \text{ bar}}{0,85}}} \quad (2)$$

$$= \frac{22,5 \text{ [0,001 m}^3\text{/(h/60)]}}{\sqrt{\frac{0,5 \text{ bar}}{0,85}}} = \underline{\underline{1,76 \text{ m}^3\text{/h}}} \quad (3)$$

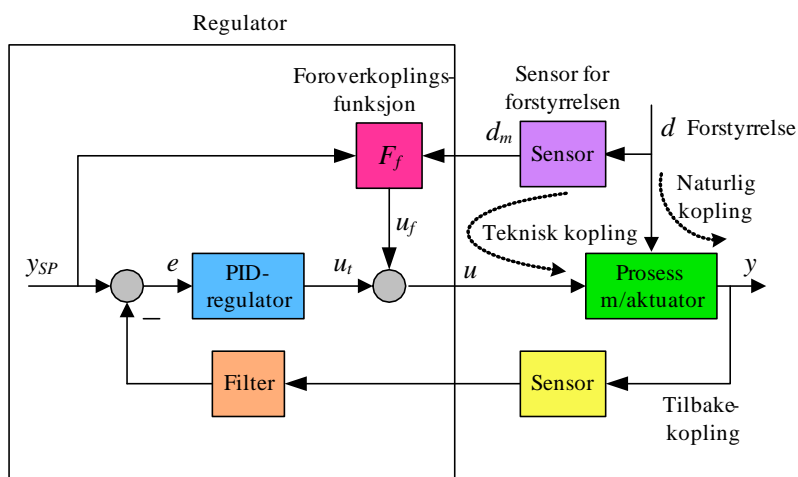
5. (5%) Figur 3 viser et teknisk flytskjema av en temperaturregulert varmeveksler der en kald prosesstrøm varmes opp vha. varmtvann. Reguleringsstrukturen er kaskaderegulering der primærsøyfen er en temperaturreguleringssøyfe for temperaturen av prosesstrømmen ut av varmeveksleren. Sekundærsøyfen er en strømningsreguleringssøyfe for for varmtvannsstrømmen som kompenserer for variasjoner i trykket som driver varmtvannsstrømmen, slik at denne strømmen varierer lite, hvilket



Figur 3: Kaskadereguleringssystem for varmeveksler

bidrar til at temperaturen ut av varmeveksleren varierer lite (fra sitt settpunkt).

6. (5%) Figur 4 viser strukturen av et reguleringssystem med foroverkopling og tilbakekopling. Foroverkoplingen utgjør en



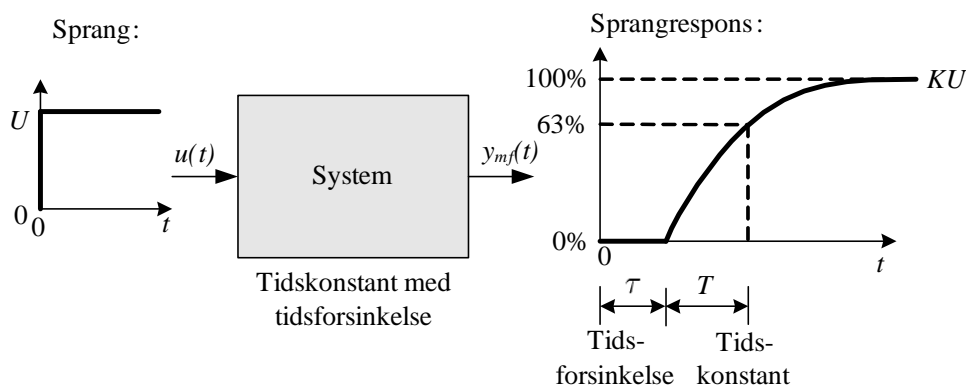
Figur 4: Reguleringssystem med foroverkopling og tilbakekopling.

(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.

7. (5%) Se figur 5.



Figur 5: Prinsipiell sprangrespons for prosess med “tidskonstant med tidsforsinkelse”-dynamikk med angivelse av  $K$ ,  $T$  og  $\tau$ .

8. (5%) Fra vedlegg A i eksamensoppgaven: Tidsdiskret PI-regulatorfunksjon:

$$u(t_k) = u_{\text{man}} + u_p(t_k) + u_i(t_k) \quad (4)$$

der P-leddet er

$$u_p(t_k) = K_p e(t_k) \quad (5)$$

og I-leddet er

$$u_i(t_k) = u_i(t_{k-1}) + \frac{K_p T_s}{T_i} e(t_k) \quad (6)$$

$u_i$  gitt ved (6) inngår som et additivt ledd i det totale pådraget  $u$  som er gitt ved (4). Anta at  $K_p$ ,  $T_i$  og  $T_s$  er positive. Anta at reguleringsavviket  $e$  til å begynne med er forskjellig fra null, la oss si positiv. Fra (6) ser vi at dette medfører at  $u_i$  øker fra ett tidsskritt til det neste. Når  $u_i$  øker, vil også det totale pådraget  $u$  øke.

Pådragsøkningen medfører at prosessmålingen øker og dermed avtar reguleringsavviket. Pådragsøkningen vil foregå helt til avviket er blitt null, mao. helt til  $e$  er null i (6).

Kort sagt: Integralleddet endrer pådraget helt til avviket er blitt null (stasjonært).

9. (5%) PI-regulatoren stilles inn under antakelse av at prosessdynamikken er “integrator med tidsforsinkelse”. Tidsforsinkelsen er  $\tau = 1$  min. Integralforsterkningen blir

$$K_i = \frac{10 \text{ \%/min}}{20 \text{ \%}} = 0,5 \text{ min}^{-1} \quad (7)$$

Skogestads formler gir

$$\underline{\underline{K_p}} = \frac{1}{2K_i\tau} = \frac{1}{2 \cdot 0,5 \text{ min}^{-1} \cdot 1 \text{ min}} = \underline{\underline{1}} \quad (8)$$

$$\underline{\underline{T_i}} = 4\tau = 4 \cdot 1 \text{ min} = \underline{\underline{4 \text{ min}}} \quad (9)$$

10. (5%) I Ziegler-Nichols’ svingemetode stilles en P-regulator inn slik:

$$K_p = 0,5K_{p_u} \quad (10)$$

der  $K_{p_u}$  er kritisk forsterkning, som er den verdien av  $K_p$  som gjør at reguleringssystemet blir marginalt stabilt. Forsterkningmarginen er den faktoren,  $\Delta K_u$ , som  $K_p$  multipliseres med for å gi marginal stabilitet. Dette gir

$$\underline{\underline{GM}} = \Delta K_u = \frac{K_{p_u}}{K_p} = \frac{K_{p_u}}{0,5K_{p_u}} = \underline{\underline{2}} \quad (11)$$

11. (15%) Se figur 6.

12.

- (a) (5%) Et synkront system er de deler av kraftsystemet som normalt blir driftet sammenhengende vekselspenningsmessig; dvs. de deler hvor frekvensen er den samme, og hvor alle generatorer går synkront.

I det nordiske systemet er tillatt frekvensavvik i normal drift  $\pm 0,1$  Hz – dvs. området fra 49,9 Hz til 50,1 Hz. I feilsituasjoner hvor for eksempel større produksjonsenheter kobles fra det synkrone systemet tillates det transient (forbigående) frekvensavvik opp mot  $\pm 0,5$  Hz.

- (b) (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. Dersom primærreserven ikke er tilstrekkelig vil en ikke kunne gjenopprette normal frekvens i systemet etter utfallet og en kan oppleve at hele det synkrone systemet bryter sammen eller at belastninger blir koblet fra automatisk (dette siste elementet har vi ikke gått særlig inn på i forelesningene.)

13. (5%) Sentralnett (132, 220, 300 og 420 kV). Regionalnett (33, 48, 66, 110 og 132 kV). Høy- og lavspent fordelingsnett (6.6, 11 og 22 kV / 230 V og 400 V).

Spenningsregulering i Sentralnett skjer i hovedsak med spenningsregulatorerne i kraftverkene og reaktorer / kondensatorbatterier. Spenningsregulering i regionalnettene skjer vha. transformatorene mot Sentralnett, kraftverkene tilknyttet i dette nettnivået. I høy- og lavspent fordelingsnett skjer spenningsregulering i hovedsak vha. transformatorene mot overliggende nett (hovedsakelig regionalnett) og evt. med kondensatorbatterier fordelt i nettet.

14.

- (a) (5%) Effekt,  $P$ , i W. Tetthet,  $\rho$ , i kg/m<sup>3</sup> (Vann – 1000 kg/m<sup>3</sup>). Virkningsgrad,  $\eta$ , dimensjonsløs (totalvirkningsgrad for kraftverket i området 80 – 90 %). Tyngdens akselerasjon,  $g$ , m/s<sup>2</sup> (9,81 m/s<sup>2</sup>). Fallhøyde,  $H$ , i m. Vannføring ved fullast,  $Q$ , i m<sup>3</sup>/s.

Beregning:

$$P = 1000 * 0,88 * 9,81 * 20 * 144000/3600 \text{ W} = 6.906.000 \text{ W} = 6,9 \text{ MW.}$$

$$W = 6,9 \text{ MW} * 24 \text{ h} = 165,6 \text{ MWh} = 165.600 \text{ kWh.}$$

- (b) (5%) De tre viktigste turbintypene er Pelton-, Francis- og Kaplan-turbin. Det er Francis-turbinen som kan brukes innenfor størst variasjon av fallhøyde og vannføring. F.eks. fra ca. 10 – 600 m fallhøyde og vannføringer i området 1 – 800 m<sup>3</sup>/s.

15. (5%) Svar:

$$\begin{aligned} \Delta f &= -\Delta P / (Ra + Rb) & (12) \\ &= -(-150\text{MW}) / (3000 + 2000)\text{MW/Hz} \\ &= 0,03\text{Hz} \end{aligned}$$

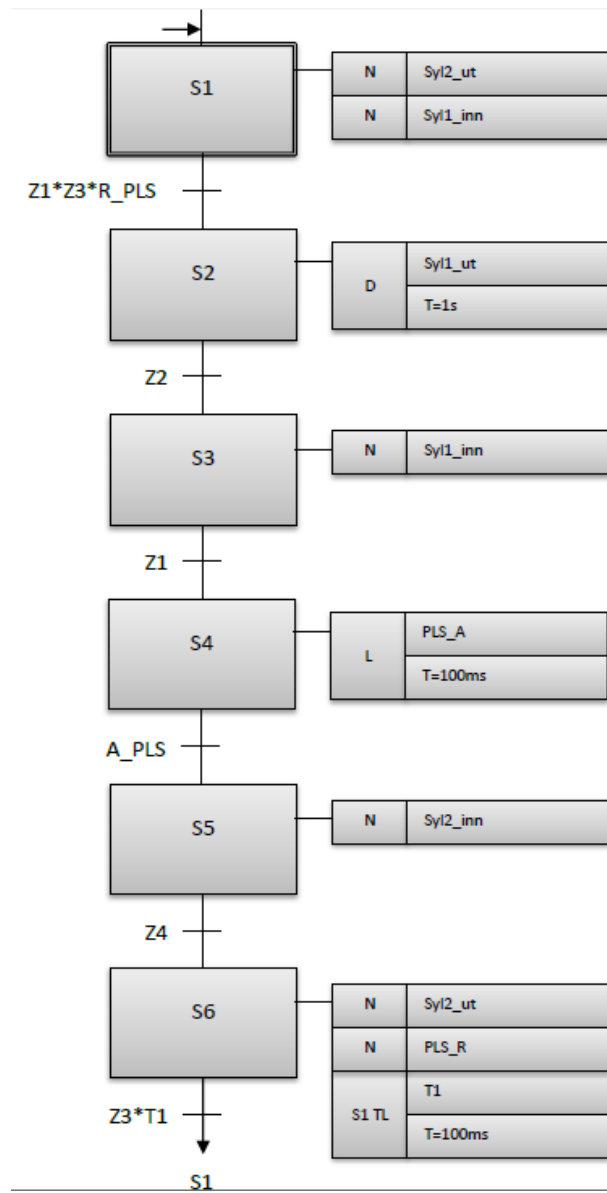
$$\Delta Pa = -3000\text{MW/Hz} \cdot 0,03\text{Hz} = -90\text{MW} \quad (13)$$

$$\Delta Pb = -2000\text{MW/Hz} \cdot 0,03\text{Hz} - 150\text{MW} \quad (14)$$

$$= -60\text{MW} + 150\text{MW} = 90\text{MW} \quad (15)$$

Regulerstyrken reduserer produksjonen i A med 90 MW og 60 MW i B. Overskuddet i B blir altså 150 – 60 MW = 90 MW. Overføringen fra B til A øker altså med 90 MW pga. utfallet av 150 MW last i B. Når en får utfall av belastninger bare pga. en enkeltfeil er ikke N-1 –

kriteriet oppfylt. Det skulle da være f.eks. være 2 x 100 % enheter hvor den andre overtar når en svikter. Første pri etter et slikt utfall vil være å gjenopprette drift i det regionalnettet som hadde feil. Dette bør kunne skje ved å foreta omkoblinger hvor den nettdelen som hadde feil blir sammenkoblet med et nabornett som har tilstrekkelig kapasitet eller at en parallell enhet blir innkoblet dersom den feilede trafo synes å ha en feil som vil ta lang tid å reparere. Ut over dette vil et lastavslag normalt kunne utreguleres med de aggregater som er i drift i nettene.



Figur 6: SFC