

Løsning til eksamen i fag TEL230 Reguleringsteknikk

Eksamensdato: 2.12.02.

1. PID-regulator:

$$u = u_0 + u_p + u_i + u_d$$

der

- u_0 er nominelt pådrag.
- Proporsjonalleddet er

$$u_p = K_p e$$

der K_p er forsterkningen.

- Integralleddet er

$$u_i = \frac{K_p}{T_i} \int_0^t e \, dt$$

der T_i er integraltiden.

- Derivatleddet er

$$u_d = K_p T_d \frac{de}{dt}$$

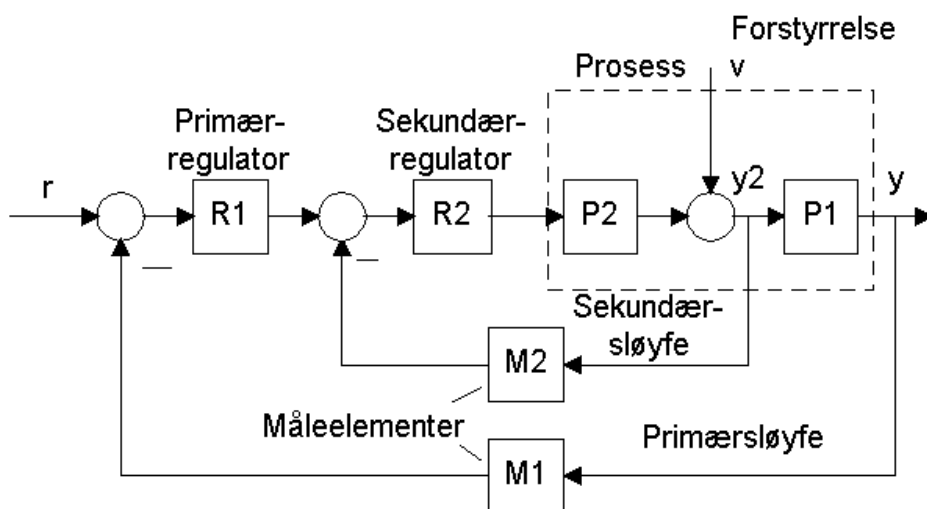
der T_d er derivattiden.

2. Integralleddet u_i vil få endret (øket eller minket) sin verdi så lenge reguleringsavviket e er forskjellig fra null. Dersom reguleringsystemet er asymptotisk stabilt, vil u_i stasjonært få en slik verdi at e er null stasjonært.

3. Strukturen er vist i figur 1. Hensikten med kaskaderegulering: Hurtig kompensering for forstyrrelsen (sammenliknet med enkeltsløyferegulering). Kan dessuten virke lineariserende på ulineære prosessdeler.

Regulatorinnstilling: Først R2 med R1 i manuell. Så R1 med R2 i auto.

Figur 2 viser et instrumenteringsskjema for et temperaturreguleringssystem for en varmeveksler basert på



Figur 1:

kaskaderegulering. Trykkreguleringssløyfen vil kompensere for trykkvariasjoner i damptilførselen. Dette vil medføre at effektilførselen blir jevnere, dvs. mindre påvirket av trykkvariasjonene, og dette vil igjen medføre at temperaturen får et jevnere forløp.

4. Frekvensresponsen er

$$H(j\omega) = \frac{K(T_3 j\omega + 1)}{(T_1 j\omega + 1)(T_2 j\omega + 1)} e^{-\tau j\omega} \quad (1)$$

Amplitudedefunksjonen er

$$|H(j\omega)| = \frac{K \sqrt{(T_3 \omega)^2 + 1}}{\sqrt{(T_1 \omega)^2 + 1} \sqrt{(T_2 \omega)^2 + 1}}$$

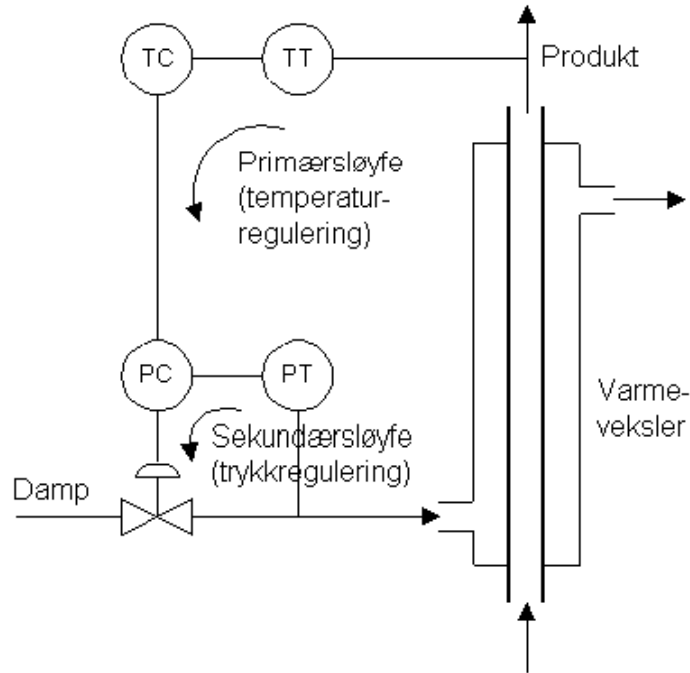
5. Se figur 3.

6. Fra

$$a_1 \dot{x}(t) + a_0 x(t) = bu(t - \tau) \quad (2)$$

får vi

$$\dot{x}(t) = \frac{1}{a_1} [-a_0 x(t) + bu(t - \tau)] \quad (3)$$



Figur 2:

som vi så integrerer (på begge sider) fra tid 0 til t (θ er innført som integrasjonsvariabel):

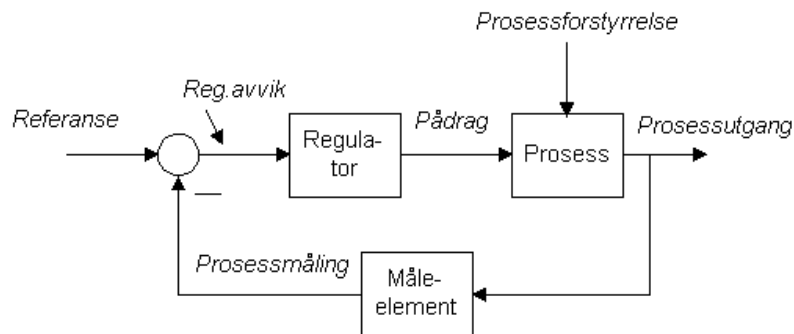
$$\int_0^t \{\dot{x}(\theta)\} d\theta = x(t) - x(0) = \int_0^t \left\{ \frac{1}{a_1} [-a_0 x(\theta) + bu(\theta - \tau)] \right\} d\theta \quad (4)$$

som gir

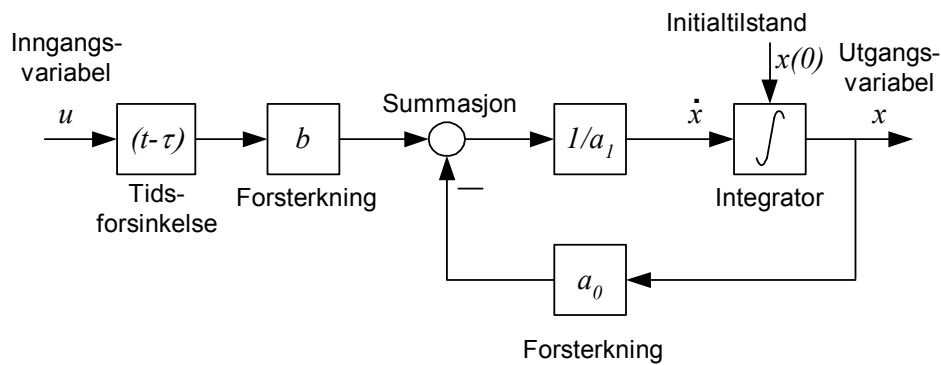
$$x(t) = x(0) + \underbrace{\int_0^t \frac{1}{a_1} [-a_0 x(\theta) + bu(\theta - \tau)] d\theta}_{\dot{x}(\theta)} \quad (5)$$

som er utgangspunktet for blokkdiagrammet, som er vist i figur 4.

7. Ett eksempel: Gitt en rettvegget væsketank. Innstrømningen til tanken styres av en pumpe. Volumstrømmen i innstrømningen er proporsjonal med pumpestyresignalet. Utstrømningen fra tanken foregår gjennom et utløpsrør i bunnen av tanken. I røret står en ventil med fast åpning. Volumstrømmen gjennom ventilen (og røret) er proporsjonal med kvadratroten av trykkfallet over ventilen. Dette trykkfallet antas å være proporsjonalt med det hydrostatiske trykket i bunnen av tanken. Det hydrostatiske trykket er proporsjonalt med



Figur 3:



Figur 4:

væskens tetthet og med gravitasjonskonstanten og med væskenivået. Figur 5 viser prosessen.

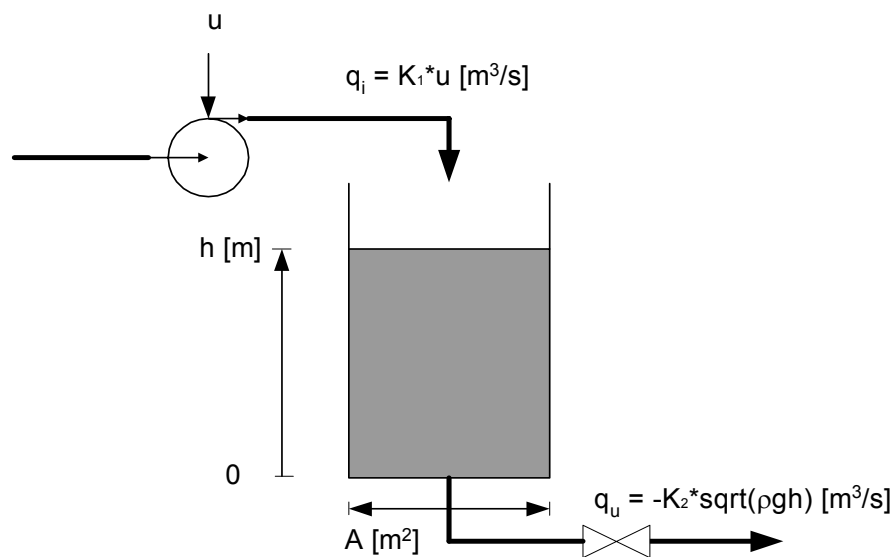
Massebalanse gir

$$\frac{d}{dt}(\rho Ah) = q_i - q_u$$

eller

$$\rho A \frac{dh}{dt} = K_1 u - K_2 \sqrt{\rho g h}$$

8. Se figur 6 som viser både transferfunksjonen og sprangresponen med angivelse av K og T (polplottet vist nederst til høyre i figuren er irrelevant for besvarelsen).
9. Prosessen skal først bringes til eller nær det nominelle arbeidspunktet ved å justere det nominelle pådraget. I tuningsfasen skal prosessen være regulert av en av/på-regulator med utgangsamplitude M , dvs.



Figur 5:

at pådragsbidraget fra av/på-regulatoren er $+M$ eller $-M$. Det oppstår da stående svingninger i reguleringsløyfen. Amplituden i reguleringsavviket skal avleses og betegnes E . Periodetiden i svingningene avleses og betegnes T_k . Den kritiske forsterkningen K_{pk} beregnes som $K_{pk} = 4M/(\pi E)$. PID-parametrene beregnes så ihht. Ziegler-Nichols' lukket-sløyfe-metode: $K_p = 0,6K_{pk}$, $T_i = T_k/2$, $T_d = T_k/8$.

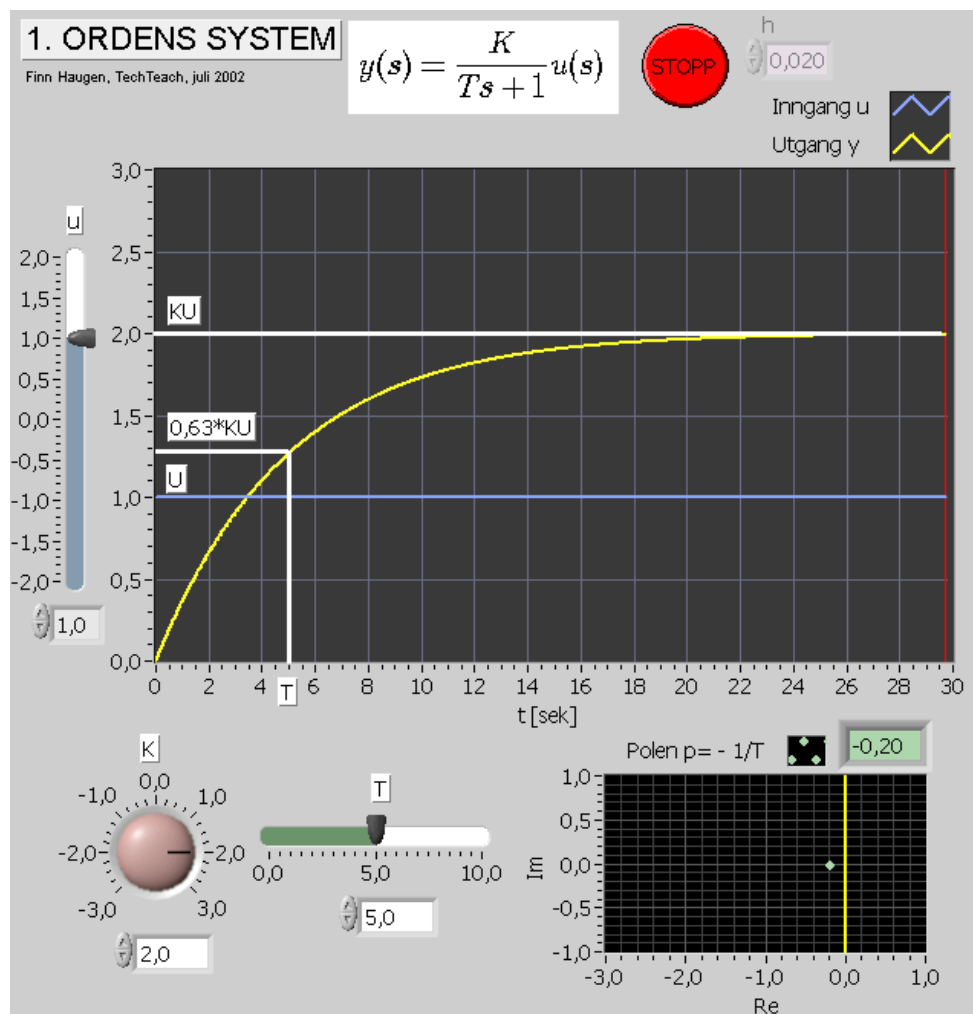
10. Se figur 7.

11. Se figur 8.

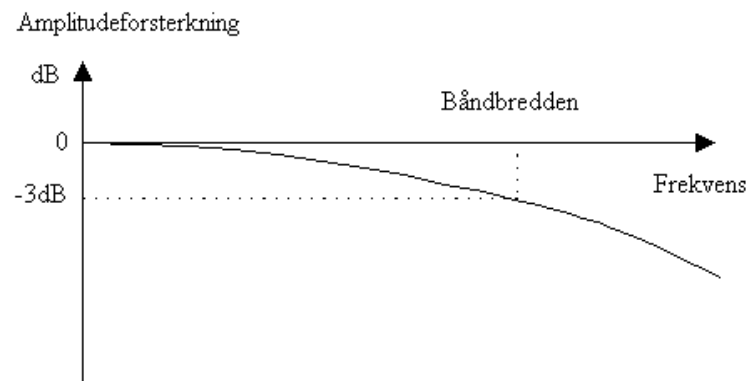
12.

- Endringer av signaler (f.eks. i referansen) i den ene sløyfa gir en respons i den andre sløyfa (bl.a. i prosessutgangen i den andre sløyfa).
- Parameterendringer i den ene sløyfa kan gi endringer av dynamiske egenskaper, som stabilitetsegenskaper, i den andre sløyfa.

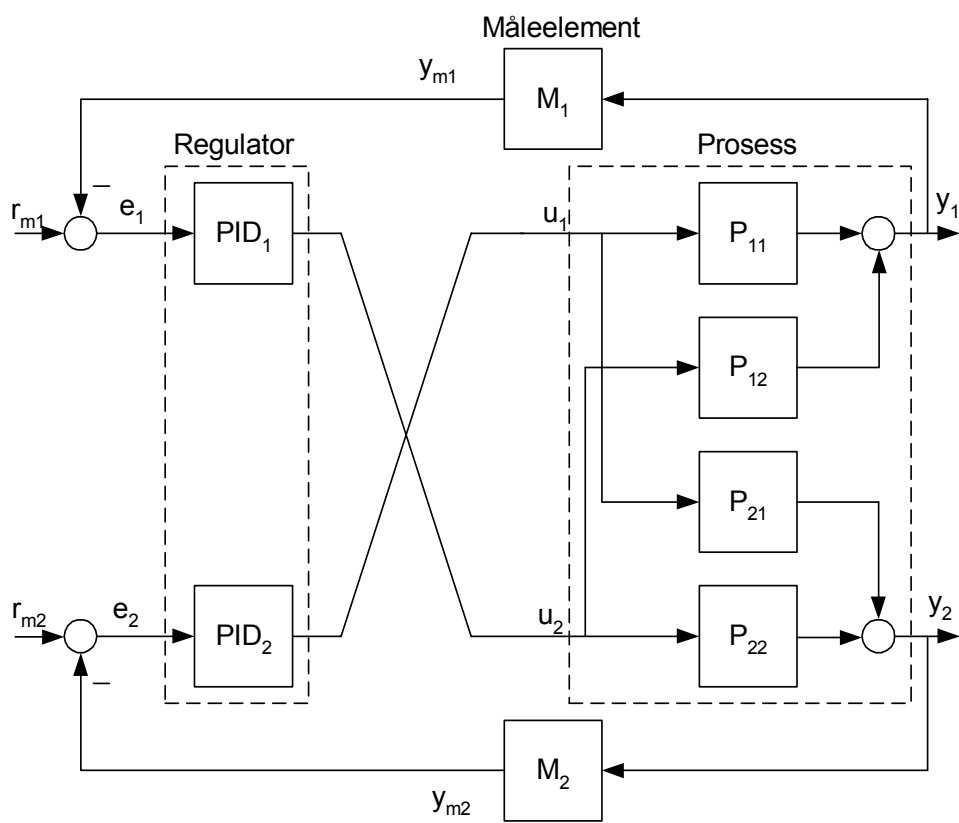
13. Se figur 9.



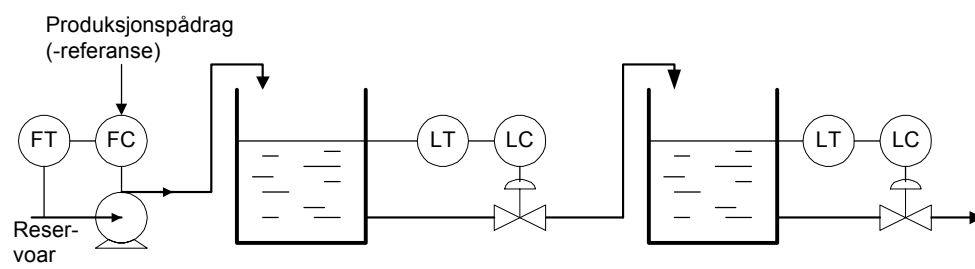
Figur 6:



Figur 7:



Figur 8:



Figur 9: