

Figur 69: Løsning 9.4: Asymptotiske og (omtrentlige) eksakte amplitude- og fasefunksjoner i for PI-regulator og PID-regulator

Løsning 10.1

Nybegynner: Tilbakekopling (utøveren kjenner prosessen heller dårlig). Profesjonell

utøver: Foroverkopling (utøveren kjenner prosessen godt).

Løsning 10.2

- Referanse: *Behov*
- Forstyrrelse: *Materiell/data*
- Prosessutgang: *Resultat*
- Målesignal: *Data*
- Prosess: *Utføre arbeidsoppgavene*
- Måleelement: *Føre tilsyn med utførelse*
- Regulator: *Foreslå forbedringstiltak*

- Foroverkopler: *Planlegge utførelse og tilsyn*

Løsning 10.3

- a. Vi løser prosessmodellen (10.84) med hensyn på u i det nivåreferansen h_r settes inn for nivået h :

$$u(t - \tau) = \frac{\rho A}{K_s} \dot{h}_r(t) + \frac{\rho A}{K_s} w_{ut}(t) \quad (11.403)$$

Vi trenger imidlertid et uttrykk for det nåværende pådraget, $u(t)$, ikke for det fortidige pådraget, $u(t + \tau)$. Vi adderer derfor τ til alle tidsargumentene:

$$u(t) = \underbrace{\frac{\rho A}{K_s} \dot{h}_r(t + \tau)}_{u_{fr}} + \underbrace{\frac{\rho A}{K_s} w_{ut}(t + \tau)}_{u_{ff}} \quad (11.404)$$

- b. Uttrykket $\dot{h}_r(t + \tau)$ representerer framtidig nivåreferanse (tiden τ i framtiden), og uttrykket $w_{ut}(t + \tau)$ representerer framtidig utstrømning. Foroverkoplingen kan derfor realiseres fullt ut bare dersom disse framtidige verdiene er kjente. Det avhenger av lokale forhold om disse verdiene er kjente.¹³

Løsning 10.4

- a. Foroverkopplingsfunksjonene finnes ved først å sette referansen $y_r(s)$ inn for prosessutgangen $y(s)$ i prosessmodellen:

$$y_r(s) = \frac{K_u}{\left(\frac{s}{\omega_0}\right)^2 + 2\zeta\frac{s}{\omega_0} + 1} u(s) + \frac{K_v}{\left(\frac{s}{\omega_0}\right)^2 + 2\zeta\frac{s}{\omega_0} + 1} v(s) \quad (11.405)$$

og så løse den resulterende prosessmodellen mhp. $u(s)$:

$$u(s) = \frac{\left(\frac{s}{\omega_0}\right)^2 + 2\zeta\frac{s}{\omega_0} + 1}{K_u} y_r(s) + \left(-\frac{K_v}{K_u}\right) \frac{\left(\frac{s}{\omega_0}\right)^2 + 2\zeta\frac{s}{\omega_0} + 1}{\left(\frac{s}{\omega_0}\right)^2 + 2\zeta\frac{s}{\omega_0} + 1} v(s) \quad (11.406)$$

$$= \underbrace{\frac{\left(\frac{s}{\omega_0}\right)^2 + 2\zeta\frac{s}{\omega_0} + 1}{K_u}}_{H_{fr}(s)} y_r(s) + \underbrace{\left(-\frac{K_v}{K_u}\right)}_{H_{ff}(s)} v(s) \quad (11.407)$$

¹³I den eksisterende papirmassefabrikken på Tofte vil sannsynligvis begge disse framtidige verdiene være kjente. Utstrømningen er kjent fordi den utgjør den styrte produksjonsraten for fabrikken, og produksjonsraten settes jo ikke vilkårlig, men ihht. en plan.

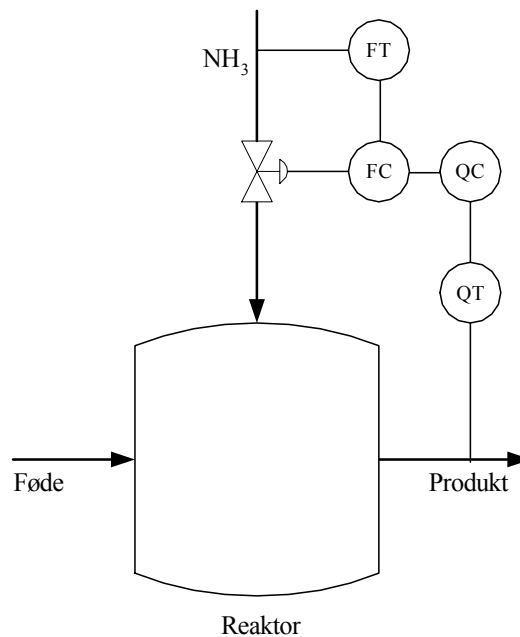
- b. Foroverkopleren $H_{fr}(s)$ inneholder et 2. ordens s -ledd i telleren, hvilket svarer til 2. ordens tidsderivasjon (av referansen). Denne dobbelderivasjonen bør begrenses i det høyfrekvente signalområdet. Det kan gjøres ved å kople et 2. ordens lavpassfilter i serie med foroverkopleren. Den resulterende foroverkopleren blir da

$$H_{fr\text{mod}}(s) = \frac{\left(\frac{s}{\omega_0}\right)^2 + 2\zeta\frac{s}{\omega_0} + 1}{K_u} \cdot \frac{1}{\left(\frac{s}{\omega_f}\right)^2 + 2\zeta\frac{s}{\omega_f} + 1} \quad (11.408)$$

der ω_f er filterets båndbredde. ζ kan velges lik $1/\sqrt{2}$ (Butterworthfilter).

Løsning 11.1

Se figur 70.



Figur 70: Løsning 11.1: pH-reguleringsystem basert på kaskaderegulering

Løsning 11.2

Figur 71 viser kaskadereguleringsystemet.

Løsning 11.3

- a. Blokkdiagrammanipulering (begynn for eksempel med å redusere den indre tilbakekoplingen til én blokk ved hjelp av regelen om negativ tilbakekopling) gir følgeforholdet

$$M(s) = \frac{x_1(s)}{y_{r_1}(s)} = \frac{K_1 K_2 K K_{m_1}}{s^2 + (1 + K_2 K K_{m_2})s + K_1 K_2 K K_{m_1}} \quad (11.409)$$

Vi ser at vi gjennom K_1 og K_2 kan oppnå de verdiene for koeffisientene i det karakteristiske polynom som vi måtte ønske. (Vi kan oppnå vilkårlige verdier for de to koeffisientene i det 2. ordens karakteristiske polynom.) Det betyr igjen at vi kan legge det lukkede systems poler der vi måtte ønske (komplekse poler må imidlertid opptre i kompleks konjugerte par).

- b. Vi skriver

$$s^2 + (1 + K_2 K K_{m_2})s + K_1 K_2 K K_{m_1} = s^2 + 2\zeta\omega_0 s + \omega_0^2 \quad (11.410)$$

Sammenlikning av koeffisienter gir

$$1 + K_2 K K_{m_2} \equiv 2\zeta\omega_0 \quad (11.411)$$

og

$$K_1 K_2 K K_{m_1} \equiv \omega_0^2 \quad (11.412)$$

som løst med hensyn på K_2 og K_1 , gir

$$K_2 = \frac{2\zeta\omega_0 - 1}{K K_{m_2}} \quad (11.413)$$

og

$$K_1 = \frac{\omega_0^2}{K_2 K K_{m_1}} = \frac{\omega_0^2}{2\zeta\omega_0 - 1} \cdot \frac{K_{m_2}}{K_{m_1}} \quad (11.414)$$

Løsning 11.4

Figur 72 viser reguleringsystemet.

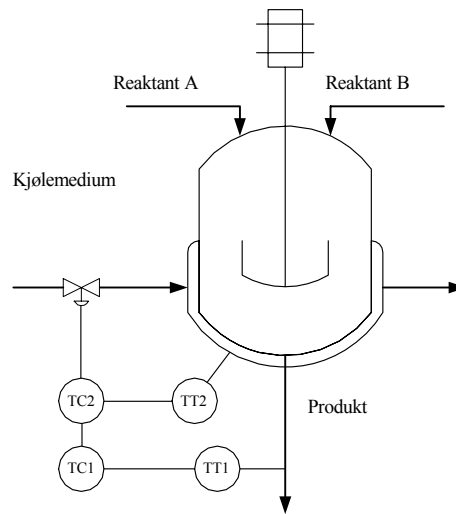
Løsning 11.5

Figur 73 viser reguleringsystemet.

Løsning 11.6

Figur 74 viser pH-reguleringsystemet.

Løsning 11.7



Figur 71: Løsning 11.2: Temperaturreguleringsystemet basert på kaskaderegulering

	Produktkonsentrasjon	Gasstrykk	Væsknivå
Gasstrømning	Svak	Sterk	Svak
Dampstrømning	Sterk	Svak	Svak
Produktstrømning	Svak	Svak	Sterk

Tabell 2: Pådragsvariable og prosessutganger

Figur 75 viser teknisk flytskjema av den regulerte prosessstrengen.

Løsning 11.8

Et annet eksempel enn i læreboken:

- Prosess: Drivhus
- Prosessutganger: Lufttemperatur, luftfuktighet og lysstyrke
- Pådrag: Varmtvannstilførsel, vannspraymengde, luftelukeåpning og gardintildekning

Løsning 11.9

- a. Se tabell 2.