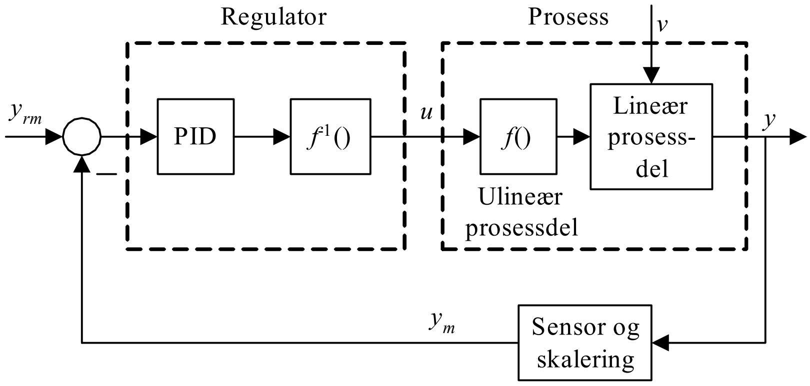

Figur 65: Løsning 5.5: Reguleringssystem der regulatoren inneholder en ulineær funksjon som kompenserer for den ulineære prosessfunksjonen

konstante prosessforstyrrelser har på modellen. Hensikten med det høyfrekvente stoppbåndet er å dempe (ideelt: fjerne) høyfrekvent støy fra loggedataene slik at støyen ikke påvirker den estimerte modellen.

b. De to dataseriene, u og y_m, som prosessmodellen estimeres ut fra, må være behandlet av identiske (filtrerings)funksjoner, ellers vil den estimerte modellen bli feilaktig, og de beregnede regulatorparametrene vil bli tilpasset en feilaktig modell.

Løsning 6.1

- Relativt enkelt å realisere avanserte funksjoner
- Relativt enkelt å endre reguleringsfunksjonen
- Relativt enkelt å teste regulatorfunksjoner før endelig implementering

Løsning 6.2

Pådraget kan glattes vha. et $\underline{\underline{\text{tidskontinuerlig, gjerne kalt analogt, lavpassfilter}}}$.

Løsning 6.3

a. Tidsskritt $k = 1$:

$$e_p(t_1) = w_p y_r(t_1) - y(t_1) = 1 \cdot 60 - 50 = 10 \tag{11.190}$$

$$\underline{u_p(t_1)} = K_p e_p(t_1) = 0,4 \cdot 10 = \underline{4} \tag{11.191}$$

$$e(t_1) = y_r(t_1) - y(t_1) = 60 - 50 = 10 \tag{11.192}$$

$$\underline{u_i(t_1)} = u_i(t_0) + \frac{T_s K_p}{T_i} e(t_1) = 0 + \frac{0,1 \cdot 0,4}{4,0} \cdot 10 = \underline{0,1} \tag{11.193}$$

$$e_d(t_1) = w_d y_r(t_1) - y(t_1) = 1 \cdot 60 - 50 = 10 \tag{11.194}$$

$$e_{d_f}(t_1) = \frac{1}{(T_s/T_f)+1} e_{d_f}(t_0) + \frac{T_s/T_f}{(T_s/T_f)+1} e_d(t_1) \tag{11.195}$$

$$= \frac{1}{(0,1/0,1)+1} \cdot 0 + \frac{0,1/0,1}{(0,1/0,1)+1} \cdot 10 = 5 \tag{11.196}$$

$$\underline{u_d(t_1)} = K_p T_d \frac{e_{d_f}(t_1) - e_{d_f}(t_0)}{T_s} = 0,4 \cdot 1,0 \cdot \frac{5-0}{0,1} = \underline{20} \tag{11.197}$$

$$\underline{\underline{u(t_1)}} = u_0 + u_p(t_1) + u_i(t_1) + u_d(t_1) = 50 + 4 + 0,1 + 20 = \underline{\underline{74,1}} \tag{11.198}$$

Tidsskritt $k = 2$:

$$e_p(t_2) = w_p y_r(t_2) - y(t_2) = 1 \cdot 60 - 51 = 9 \tag{11.199}$$

$$\underline{u_p(t_2)} = K_p e_p(t_2) = 0,4 \cdot 9 = \underline{3,6} \tag{11.200}$$

$$e(t_2) = y_r(t_2) - y(t_2) = 60 - 51 = 9 \tag{11.201}$$

$$\underline{u_i(t_2)} = u_i(t_1) + \frac{T_s K_p}{T_i} e(t_2) = 0,1 + \frac{0,1 \cdot 0,4}{4,0} \cdot 9 = \underline{0,19} \tag{11.202}$$

$$e_d(t_2) = w_d y_r(t_2) - y(t_2) = 1 \cdot 60 - 51 = 9 \tag{11.203}$$

$$e_{d_f}(t_2) = \frac{1}{(T_s/T_f)+1} e_{d_f}(t_1) + \frac{T_s/T_f}{(T_s/T_f)+1} e_d(t_2) \tag{11.204}$$

$$= \frac{1}{(0,1/0,1)+1} \cdot 5 + \frac{0,1/0,1}{(0,1/0,1)+1} \cdot 9 = 7 \tag{11.205}$$

$$\underline{u_d(t_2)} = K_p T_d \frac{e_{d_f}(t_2) - e_{d_f}(t_1)}{T_s} = 0,4 \cdot 1,0 \cdot \frac{7-5}{0,1} = \underline{8} \tag{11.206}$$

$$\underline{\underline{u(t_2)}} = u_0 + u_p(t_2) + u_i(t_2) + u_d(t_2) = 50 + 3,6 + 0,19 + 8 = \underline{\underline{61,79}} \tag{11.207}$$

b. Derivatleddet reagerer raskest, med to første sampelverdier 20 og 8.
Integralleddet reagerer tregest, med to første sampelverdier 0,1 og 0,19.

Løsning 6.4

a. Den tidskontinuerlige PI-regulatorfunksjonen er

$$u(t) = u_0 + K_p e(t) + \frac{K_p}{T_i} \int_0^t e(\tau)\, d\tau \tag{11.208}$$

Derivasjon gir

$$\dot{u}(t) = \dot{u}_0(t) + K_p \dot{e}(t) + \frac{K_p}{T_i} e(t) \tag{11.209}$$

Bruk av Eulers bakoverapproksimasjon på de deriverte, jf. (6.30), gir

$$\frac{u(t_k) - u(t_{k-1})}{T_s} = \frac{u_0(t_k) - u_0(t_{k-1})}{T_s} + K_p \frac{e(t_k) - e(t_{k-1})}{T_s} + \frac{K_p}{T_i} e(t_k)$$

som løst mhp. $u(t_k)$ gir

$$\underline{\underline{u(t_k) = u(t_{k-1}) + [u_0(t_k) - u_0(t_{k-1})] + K_p [e(t_k) - e(t_{k-1})] + \frac{T_s K_p}{T_i} e(t_k)}} \tag{11.210}$$

b. Fra (6.19) – (6.27) i læreboken har vi følgende tidsdiskrete PI-regulatorfunksjon:

$$u_p(t_k) = K_p e(t_k) \tag{11.211}$$

$$u_i(t_k) = u_i(t_{k-1}) + \frac{T_s K_p}{T_i} e(t_k) \tag{11.212}$$

$$u(t_k) = u_0(t_k) + u_p(t_k) + u_i(t_k) \tag{11.213}$$

(11.213) uttrykt ved forrige tidsskritt, dvs. med reduksjon av k med 1, blir

$$u(t_{k-1}) = u_0(t_{k-1}) + u_p(t_{k-1}) + u_i(t_{k-1}) \tag{11.214}$$

Differansen (11.214) minus (11.213) blir

$$u(t_k) - u(t_{k-1}) = u_0(t_k) - u_0(t_{k-1}) + u_p(t_k) - u_p(t_{k-1}) + u_i(t_k) - u_i(t_{k-1}) \tag{11.215}$$

Fra (11.211) har vi

$$u_p(t_{k-1}) = K_p e(t_{k-1}) \tag{11.216}$$

slik at

$$u_p(t_k) - u_p(t_{k-1}) = K_p [e(t_k) - e(t_{k-1})] \tag{11.217}$$

Fra (11.212) har vi

$$u_i(t_k) - u_i(t_{k-1}) = \frac{T_s K_p}{T_i} e(t_k) \tag{11.218}$$

(11.215) kan nå, ved å flytte $u(t_{k-1})$ over til høyre og å bruke (11.217) og (11.218), skrives som

$$u(t_k) = u(t_{k-1}) + [u_0(t_k) - u_0(t_{k-1})] + K_p\,[e(t_k) - e(t_{k-1})] + \frac{T_s K_p}{T_i} e(t_k) \tag{11.219}$$

som er identisk med (11.210), hvilket skulle vises.

Løsning 6.5

Grensen for samplingsintervallet T_s er i henhold til (6.40) i læreboken

$$T_s \leq \frac{T_r}{5} = \frac{60}{5} = 12\text{s} \tag{11.220}$$

Den oppgitte $T_s = 0,2$ sek. er godt nedenfor denne grensen.

Løsning 6.6

a. Tilfelle B: $\underline{\underline{T_s = 0,5 \text{ sek.}}}$ Tilfelle C: $\underline{\underline{T_s = 1 \text{ sek.}}}$

b. Økt T_s gir økt tidsforsinkelse og dermed dårligere stabilitet i sløyfen.

Løsning 6.7

Transferfunksjonen for en tidsforsinkelse på halve samplingsintervallet inkluderes i prosesstransferfunksjonen, som da blir

$$\underline{\underline{H_{\text{modifisert}}(s) = e^{-\frac{T_s}{2}s} \cdot H(s)}} \tag{11.221}$$

Løsning 7.1

Figur viser blokkdiagrammet.

Løsning 7.2

a. u fra regulatorfunksjonen settes inn for u i prosessmodellen, hvilket gir

$$\begin{aligned} c\rho V\dot{T} &= K_u u + cw\,(T_{inn} - T) + U\,(T_o - T) & (11.222)\\ &= K_u\,[u_0 + K_p K_m (T_r - T)] + cw\,(T_{inn} - T) + U\,(T_o - T) & (11.223) \end{aligned}$$

som er reguleringssystemets modell.

Vi antar statiske forhold, hvilket betyr at $\dot{T} = 0$. Reguleringssystemets statiske modell blir da

$$0 = K_u\,[u_0 + K_p K_m (T_{r_s} - T_s)] + cw\,(T_{inn_s} - T_s) + U\,(T_{o_s} - T_s) \tag{11.224}$$

Fra (11.224) kan vi finne et uttrykk for T_s. Det statiske reguleringsavviket kan så beregnes som $e_s = T_{r_s} - T_s$. Detaljene i denne regningen vises ikke her,