

Systemteknik/Processreglering Föreläsning 10

Regulatorstrukturer

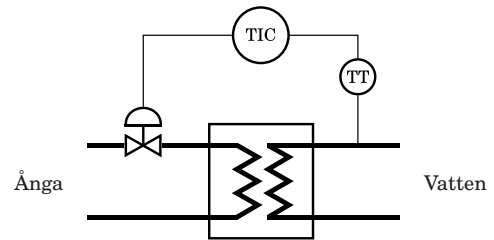
- Kaskadreglering (*cascade control*)
- Framkoppling (*feedforward*)
- Mitthållning (*mid-range control*)
- Kvotreglering (*ratio control*)
- Dödtidskompensering (*deadtime compensation*)
- Buffertreglering

Läsansivning: *Process Control*: 8.1–8.6

1

Kaskadreglering

Exempel: reglering av värmeväxlare

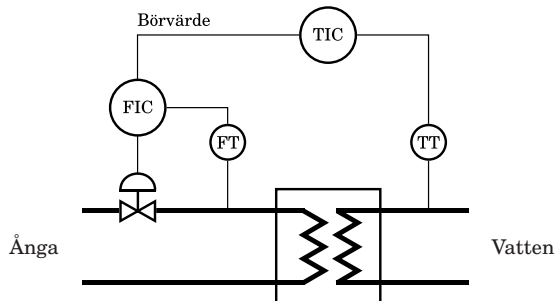


Regleringen kan fungera dåligt om t.ex.

- ventilen är olinjär
- ångtrycket på primärsidan varierar

2

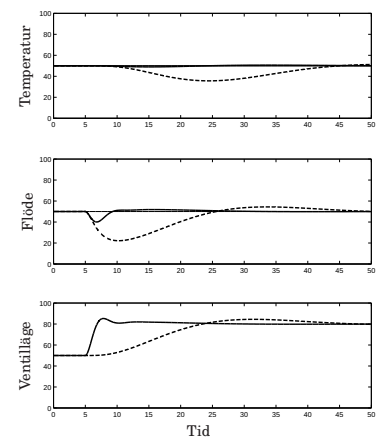
Med kaskadreglering:



- Den inre reglerkretsen ser till att ångflödet regleras
- Börvärdet till flödesregulatorn ges av styrsignalen från temperaturregulatorn

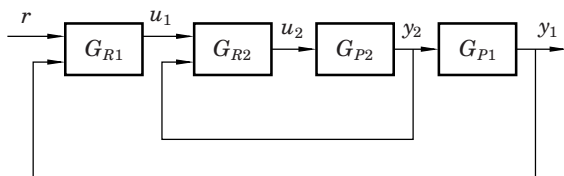
3

Simulering med kaskadreglering (heldragen) och utan (streckad); störning i ångtrycket vid $t = 5$:



4

Kaskadreglering – blockschema

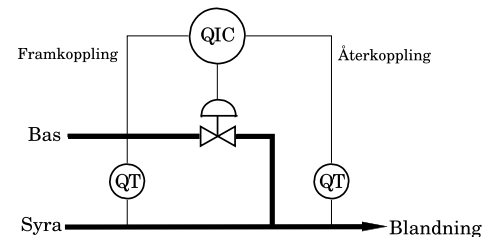


- Primärregulatorn G_{R1} reglerar y_1
- Sekundärregulatorn G_{R2} reglerar y_2
 - Inre loopen görs typiskt snabb i förhållande till yttre loopen
 - Räcker ofta med P-regulator i inre loopen
 - Stationära fel elimineras med I-del i yttre loopen

5

Framkoppling

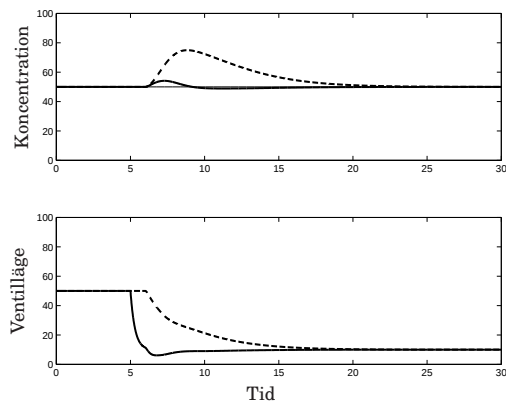
Exempel: koncentrationsreglering



- Framkopplingen kan kompensera för plötsliga ändringar i syrakoncentrationen

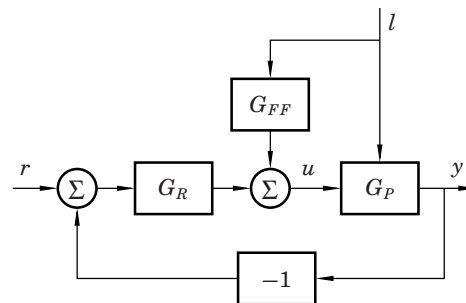
6

Simulering med framkoppling (heldragen) och utan (streckad); störning i syrakoncentrationen vid $t = 5$:



7

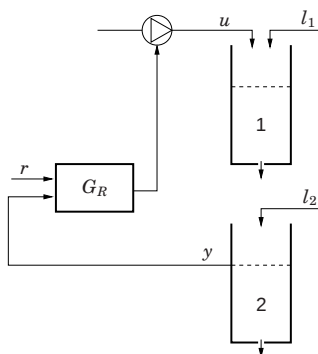
Framkoppling – blockschema



Hur välja G_{FF} ? Beror på var i processen störningen kommer in.

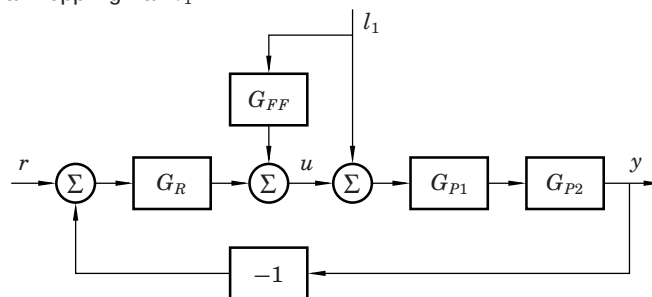
8

Exempel: reglering av undre tanken



9

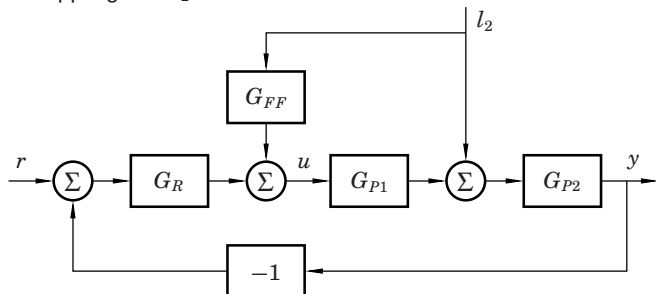
Framkoppling från l_1 :



Välj $G_{FF} = -1$ för att eliminera inverkan av störningen

10

Framkoppling från l_2 :



Välj $G_{FF} = -\frac{1}{G_{P1}}$ för att eliminera inverkan av störningen

11

Implementering av framkoppling

Inversen $\frac{1}{G_{P1}}$ kan vara problematisk att implementera

Exempel:

$$G_{P1} = \frac{1}{1 + sT}$$

$$\frac{1}{G_{P1}} = 1 + sT \quad (\text{innehåller en derivering})$$

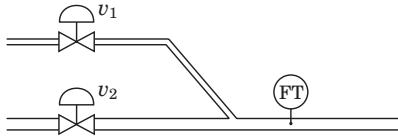
Vanliga lösningar:

- Inför ett lågpasfilter (jmf D-delen i PID-regulatorn)
- Implementera bara den statiska förstärkningen

12

Mitthållning

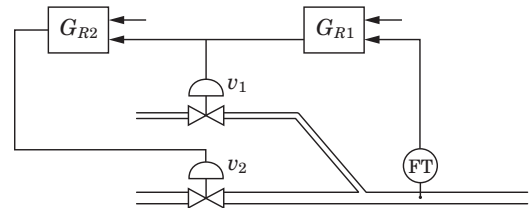
Exempel: flödesreglering med två styrventiler



- Ventilen v_1 är liten och har stor noggrannhet
 - stor risk för mättning
- Ventilen v_2 är stor men har sämre noggrannhet
- Hur låta dem samarbeta på bästa sätt?

13

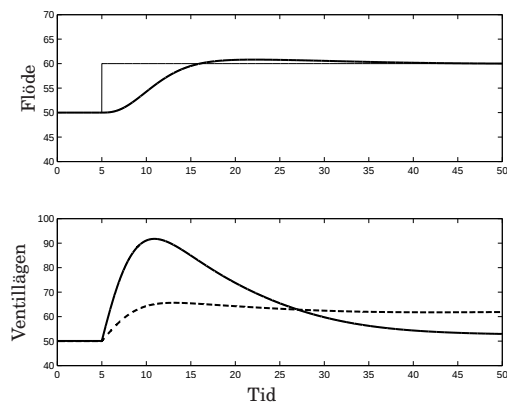
Mitthållning:



- Snabb regulator G_{R1} reglerar flödet med lilla ventilen v_1
- Långsam regulator G_{R2} justerar stora ventilen v_2 så att v_1 hålls i mitten av sitt arbetsområde

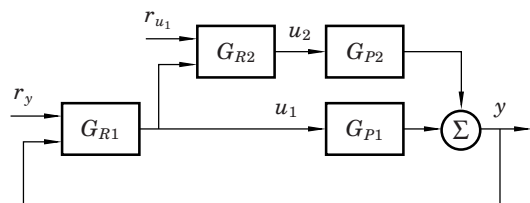
14

Simulering av mitthållning: stora ventilen (streckad) hjälper till att hålla lilla ventilen (heldragen) vid 50% och undvika mättning



15

Mitthållning – blockschema



- G_{R1} och G_{P1} bildar snabb och noggrann reglerkrets
- Styrsignalen från G_{R1} fungerar som mätsignal till G_{R2}
 - r_{u1} väljs till mitten av u_1 's arbetsområde
- G_{R2} har låg förstärkning, ev. enbart I-del

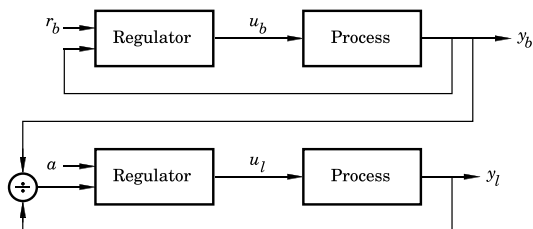
16

Kvotreglering

Exempel: hålla konstant luft/bränsle-förhållande

Antag att vi vill ha $y_l/y_b = a$

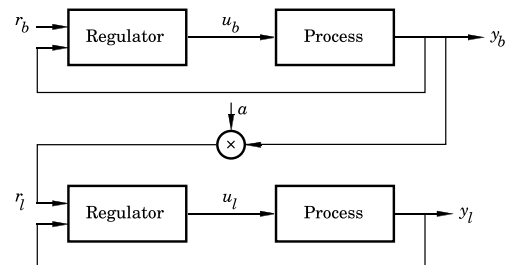
Naiv lösning:



Olinjärt, förstärkningen i andra kretsen varierar med y_b

17

Bättre lösning (kvotstation):



- Börvärdet på flödet går till första kretsen som antas långsam
- Andra kretsen görs snabb och upprätthåller den önskade kvoten

18

Dödtidsprocesser

- Dödtider uppkommer ofta i samband med materialtransporter, i rör eller på band
 - Ställdon eller mätton på avstånd från själva processen
- Kraftig försämring av prestandan om dödtiden L större än processens dominerande tidskonstant T
- Frekvensanalys:

$$G_p(s) = G_1(s)e^{-sL}$$

$$|G_p(i\omega_c)| = |G_1(i\omega_c)|$$

$$\arg G_p(i\omega_c) = \arg G_1(i\omega_c) - \omega_c L$$

Fasmarginalen minskar!

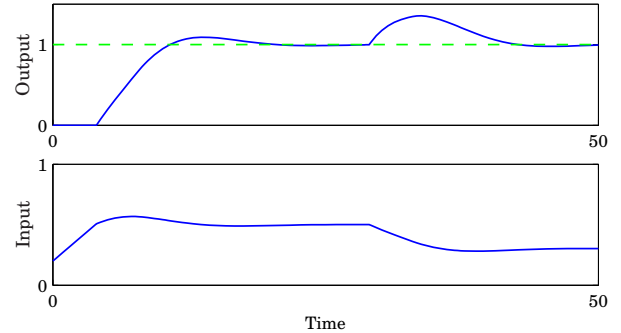
- Lösningar:
 - Använd mycket försiktig regulator (PI med låg förstärkning)
 - Använd vanlig regulator + Smith-prediktor

19

Exempel: Reglering av en pappersmaskin (fördröjd mätning):

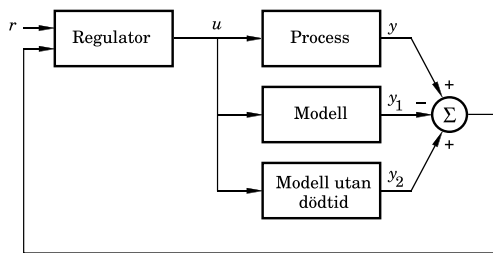
$$G_p(s) = \frac{2}{s+2}e^{-4s}$$

Simulering med försiktig PI-regulator ($K = 0.2$, $T_i = 2.6$); laststörning vid $t = 25$:



20

Dödtidskompensering med Smith-prediktor

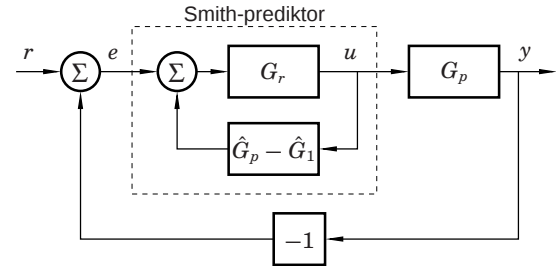


Regulatorn utformas efter modellen utan dödtid. Modellen måste vara

- asymptotiskt stabil
- tillräckligt noggrann

21

Analys av Smith-prediktorn



- G_r – regulator utformad för process utan dödtid
- G_p – verklig process (inkl. dödtid L)
- $\hat{G}_p$ – modell av processen (inkl. uppskattad dödtid $\hat{L}$)
- $\hat{G}_1$ – modell av processen utan dödtid

22

Styrsignal:

$$U = \frac{G_r}{1 - G_r(\hat{G}_p - \hat{G}_1)} E$$

Slutet system:

$$Y = \frac{G_p G_r}{1 - G_r(\hat{G}_p - \hat{G}_1) + G_p G_r} R$$

Antag $G_p = \hat{G}_p = \hat{G}_1 e^{-sL}$ (perfekt modell):

$$Y = \frac{\hat{G}_1 e^{-sL} G_r}{1 - G_r(\hat{G}_1 e^{-sL} - \hat{G}_1) + \hat{G}_1 e^{-sL} G_r} R$$

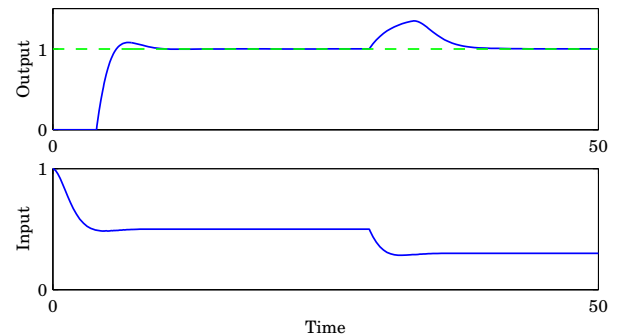
$$= \frac{\hat{G}_1 G_r}{1 + \hat{G}_1 G_r} e^{-sL} R$$

Som reglering av process utan dödtid, fast fördröjt

23

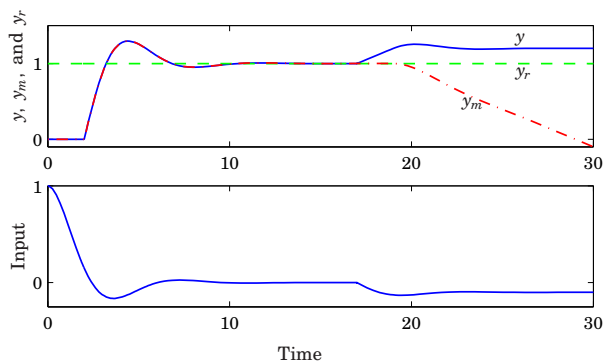
Pappersmaskinexemplet: Modell utan dödtid: $G_1(s) = \frac{2}{1+2s}$

Simulering med aggressiv PI-regulator ($K = 1$, $T_i = 1$) och Smith-prediktor med perfekt processmodell:



24

Exempel: Reglering av icke asymptotiskt stabil process, $G_p(s) = \frac{1}{s}e^{-2s}$, med PI-regulator och Smith-prediktor med perfekt processmodell; last-störning vid $t = 15$:



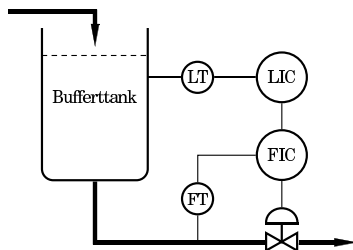
25

Buffertreglering

- Används ofta för att separera olika processteg i en tillverkningsprocess
- Hantera t.ex. driftstopp, produktionsomläggningar, varierande efterfrågan

26

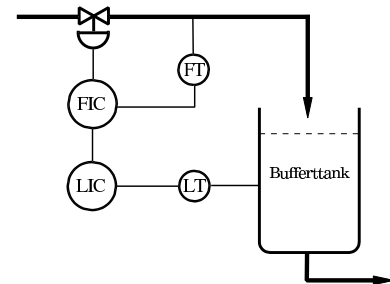
Buffertreglering som skyddar mot störningar uppströms



- Målet är ett jämnt utflöde trots variationer i inflödet
- Nivåregulatorn ska utföra en försiktig reglering och tillåta variationer i buffertanken

27

Buffertreglering som skyddar mot störningar nedströms



- Målet är ett jämnt inflöde trots variationer i utflödet
- Nivåregulatorn ska utföra en försiktig reglering och tillåta variationer i buffertanken

28