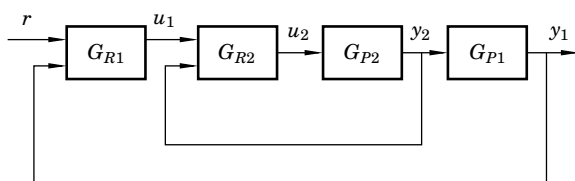


Regulatorstrukturer

- Kaskadreglering (*cascade control*)
- Öppen och sluten styrning (*open and closed loop control*)
- Framkoppling (*feedforward*)
- Mitthållning (*mid-range control*)
- Buffertreglering

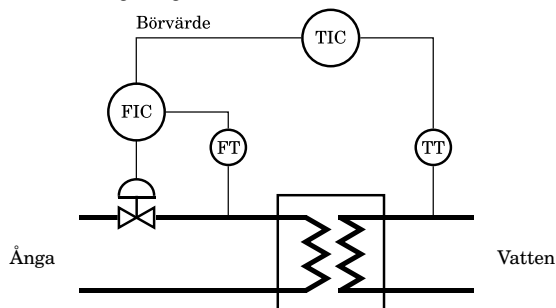
Läsansivning: *Process Control*: 8.1–8.6

Kaskadreglering – blockschema



- Sekundärregulatorn G_{R2} reglerar y_2
 - Inre loopen är snabb i förhållande till yttre loopen
 - Målet är att för den långsammare yttre loopen ska $y_2 \approx u_1$ (alltså u_1 är referens till inre loopen)
- Primärregulatorn G_{R1} reglerar y_1

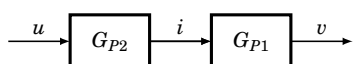
Med kaskadreglering:



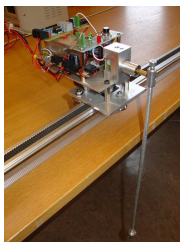
- Den inre reglerkretsen ser till att ångflödet regleras
- Börvärdet till flödesregulatorn ges av styrsignalen från temperaturregulatorn

Exempel: Reglering av vagn

Systemrepresentation:

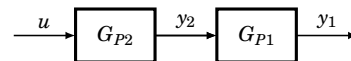


- Elektrisk dynamik G_{P2} från spänning u till motorström i
 - Tidskonstant: $T_c = 0.17 \cdot 10^{-3} \text{ s}$
- Mekanisk dynamik G_{P1} från motorström i till vagnhastighet v
 - Ungefär integratordynamik
- Ström- och vagnhastighetsmätningar (uppskattningar) kan erhållas

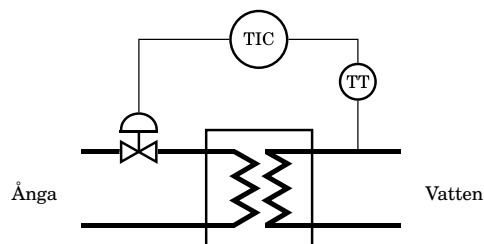


Kaskadreglering

Kaskadreglering kan användas för system som kan delas upp:

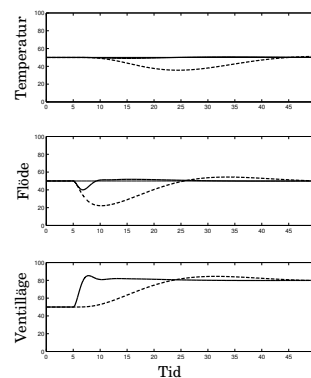
där både y_2 och y_1 kan mätas och G_{P2} minst 10 gånger snabbare än G_{P1} Exempel: $G_{P1} = \frac{K_1}{1 + T_1 s}$ och $G_{P2} = \frac{K_2}{1 + T_2 s}$ där $T_2 < 0.1 T_1$

Exempel: värmeväxlare

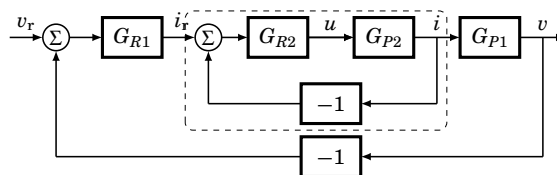
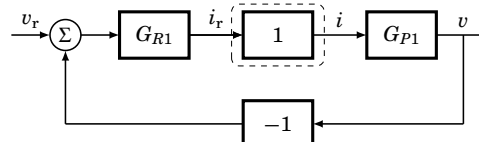


Regleringen kan fungera dåligt om t.ex.

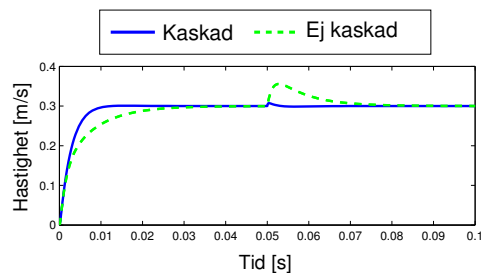
- ventilen är olinjär
- ångtrycket på primärsidan varierar

Simulering med kaskadreglering (heldragen) och utan (streckad); störning i ångtrycket vid $t = 5$:Kaskadreglering med PI-regulatorer (G_{R1} och G_{R2})

- Inre (ström)loopens poler placeras i $s = -1/T_c \approx 5850$
- Yttre (mekaniska) loopens poler placeras i $s = -300$

Inre loopen gör att $i_r \approx i$ för yttre loopen, alltså

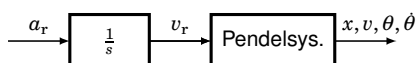
Simulering: Stegsvart till 0.3m/s och laststörning på strömmen vid $t = 0.05s$



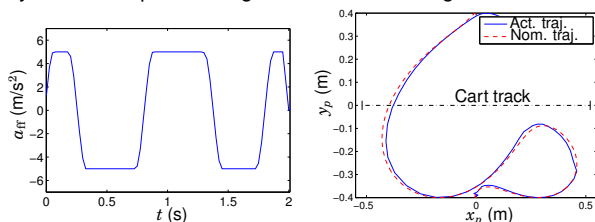
- Den inre loopen reglerar snabbt bort störningar på strömmen vid kaskadreglering
- Referenshastigheten nås på mindre än 10ms vid kaskadreglering ($v = v_r$ på mindre än 10 ms)
- Ännu en yttre loop kan designas för att förflytta vagnen så att pendeln på vagnen beter sig som önskat

Öppen och sluten styrning

Exempel: Pendelsystem, öppen styrning:

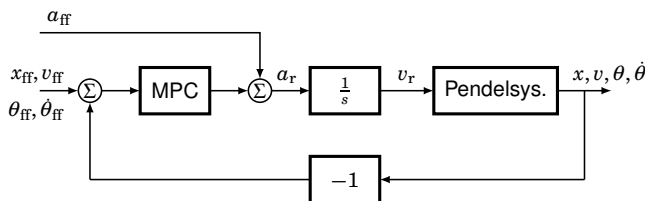


Byte av arbetspunkt: hängande till inverterat läge:

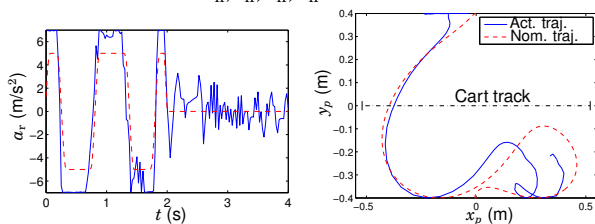


Noggrann modell ger bra överensstämmelse
Styrsignal a_{ff} ger nominella tillstånd $x_{ff}, v_{ff}, \theta_{ff}, \dot{\theta}_{ff}$

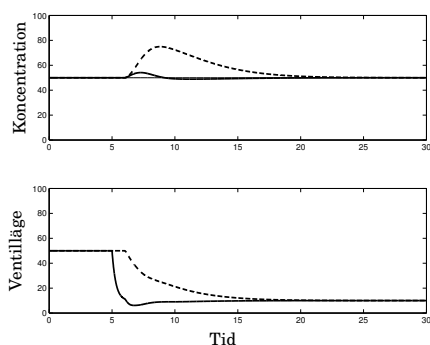
Regulatorstruktur öppen och sluten styrning:



Målet med återkopplingen är att få systemet att närma sig nominella tillstånden $x_{ff}, v_{ff}, \theta_{ff}, \dot{\theta}_{ff}$



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



Kaskadreglering – fler exempel

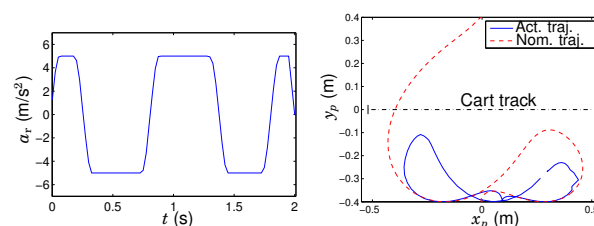
ABB-robot



Quadcopter



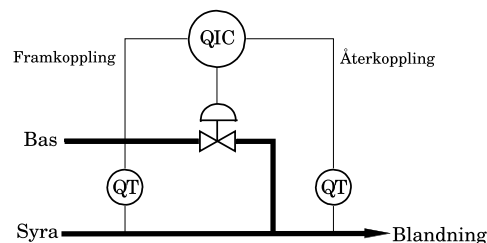
Fel initialvinkel innan öppen styrning appliceras:



Mycket dålig överensstämmelse, öppen styrning måste kompletteras med återkoppling!

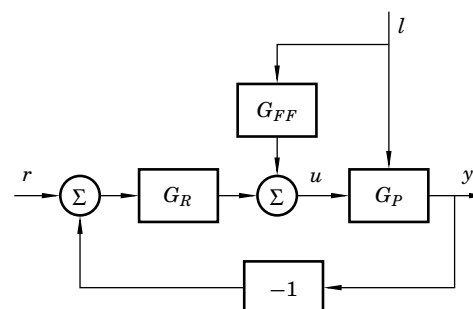
Framkoppling

Exempel: koncentrationsreglering



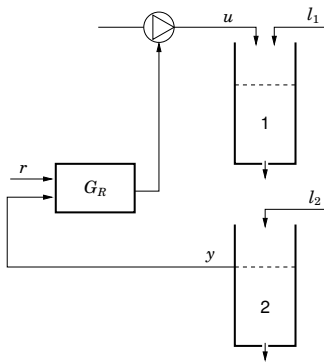
- Framkopplingen kan kompensera för plötsliga ändringar i syrakoncentrationen

Framkoppling – blockschema

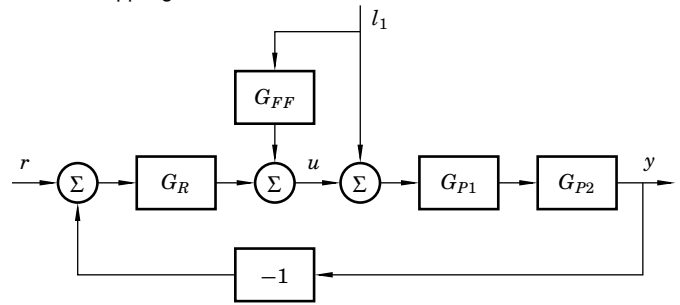


Hur välja G_{FF} ? Beror på var i processen störningen kommer in.

Exempel: reglering av undre tanken

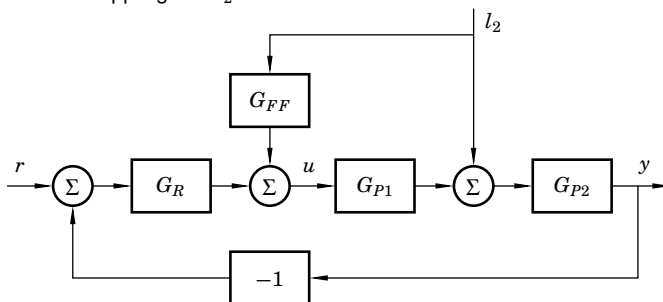


Framkoppling från l_1 :



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

Framkoppling från l_2 :



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

Implementering av framkoppling

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

Exempel:

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

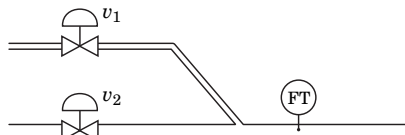
$$\frac{1}{G_{P1}} = 1 + sT \quad (\text{innehåller en derivering})$$

Vanliga lösningar:

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

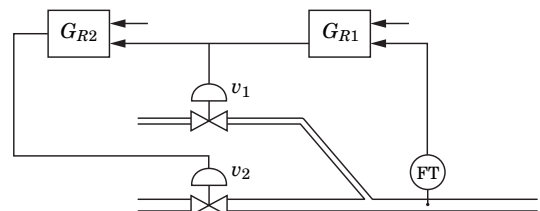
Mitthållning

Exempel: flödesreglering med två styrventiler



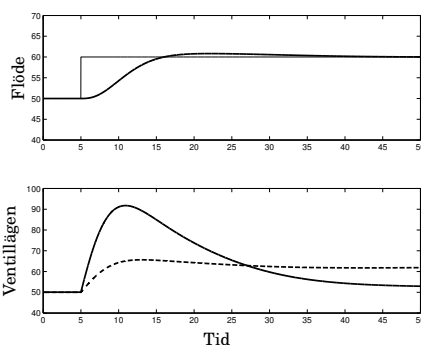
- Ventilen v_1 är liten och har stor noggrannhet
 - stor risk för mättning
- Ventilen v_2 är stor men har sämre noggrannhet
- Hur låta dem samarbeta på bästa sätt?

Mitthållning:

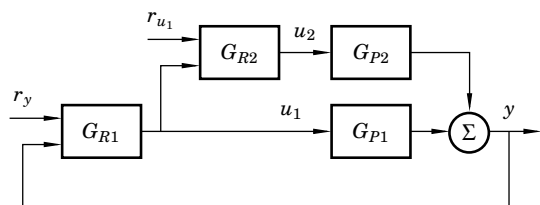


- Snabb regulator G_{R1} reglerar flödet med lilla ventilen v_1
- Långsam regulator G_{R2} justerar stora ventilen v_2 så att v_1 hålls i mitten av sitt arbetsområde

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



Mitthållning – blockschema



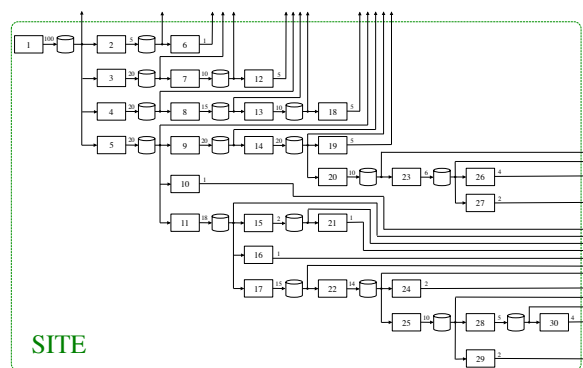
- G_{R1} och G_{P1} bildar snabb och noggrann reglerkrets
- Styrsignalen från G_{R1} fungerar som mätsignal till G_{R2}
 - r_{u1} väljs till mitten av u_1 's arbetsområde
- G_{R2} har låg förstärkning, ev. enbart I-del

Buffertreglering

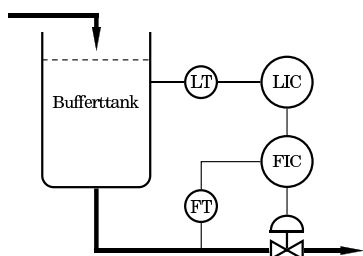
- ▶ Används ofta för att separera olika processteg i en tillverkningsprocess
- ▶ Hantera t.ex. driftstopp, produktionsomläggningar, varierande efterfrågan



Sitestruktur

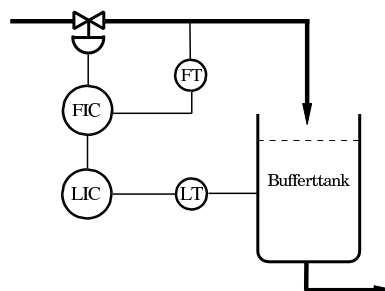


Buffertreglering mot störningar uppströms



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

Buffertreglering mot störningar nedströms



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