

Systemteknik/Processreglering Föreläsning 1

- Vad är systemteknik och reglerteknik?
- Blockdiagram
- Styrstrategier
 - Öppen styrning, framkoppling
 - Sluten styrning, återkoppling
- PID-reglering

Läsanvisning: *Process Control*: 1.1–1.3

1

Vad är systemteknik?

Systemteknik handlar om **dynamiska system**

- Hur kan man modellera dynamiska system?
- Hur kan man förstå hur ett komplext system bestående av många delsystem beter sig?
- Hur kan man få ett system att bete sig som man vill?

Systemteknik behandlar **fundamentala systemprinciper**, såsom

- framkoppling
- återkoppling
- stabilitet

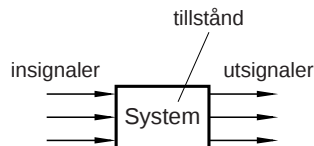
Den generella teorin måste alltid kompletteras med specifik ämneskunskap

2

Vad är ett system?

Nästan vad som helst!

- Mekaniska system
- Elektriska system
- Kommunikationssystem
- Biologiska system
- Ekologiska system
- Finansiella system
- ...

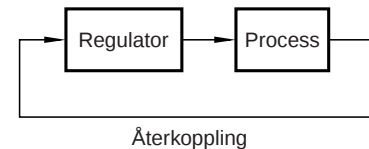


3

Vad är reglerteknik?

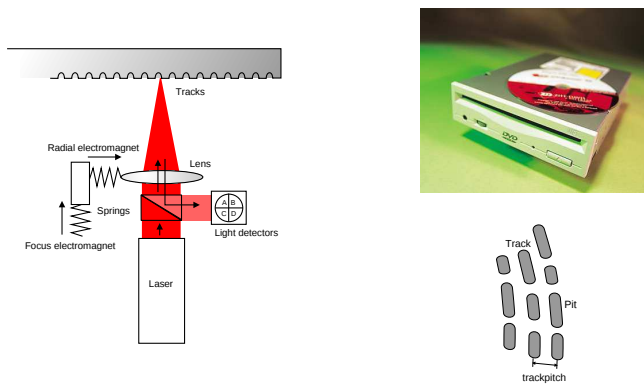
Reglerteknik är en delmängd av systemtekniken som behandlar **återkopplade** dynamiska system.

Reglerteknik (och processreglering) handlar om att styra system (processer) så att de beter sig på önskat sätt.



4

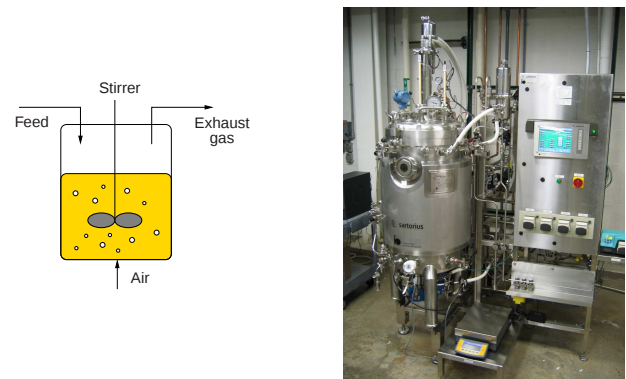
Exempel: spårföljning i en DVD-spelare



[Bo Lincoln, Reglerteknik LTH, 2003]

5

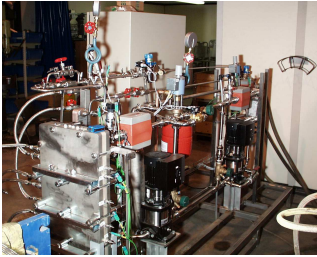
Exempel: optimal odling av bakterier



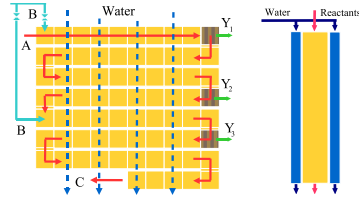
[Lena de Maré, Automatic Control LTH, 2006]

6

Exempel: reglering av en plattreaktor



[Staffan Haugwitz, Reglerteknik LTH, 2007]



7

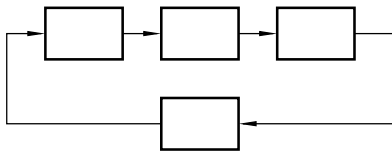
Varför systemteknik/processreglering?

Vad kan ni ha för nytta av det ni lär er i kurserna?

- Processindustri: dimensionera och koppla samman olika delsystem, kommunicera med driftstekniker
- Laboratorieautomation: använda mätinstrument och apparater, använda temperatur-, pH- och koncentrationsreglering
- Pappers- och massaindusti: reglering av papperskvalitet
- Livsmedels-/läkemedelsindustri: satsvis tillverkning
- Miljövard: beräkna effekter av utsläpp
- Ekologi: analysera populationsdynamik för djurarter
- ...

8

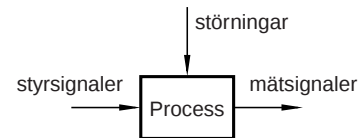
Blockdiagram



- Ett blockdiagram återspeglar informationsflödet mellan olika delsystem, och inte nödvändigtvis systemets fysikaliska flöden
- Pilarna överför **information**
- Kan finnas många olika sätt att rita blockdiagram för samma fysiska system
 - Detaljnivå
 - Syfte med regleringen

9

Blockdiagram för en (del)process

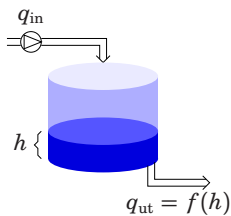


- Processens påverkbara insignaler kallas styrsignaler (*control signals/manipulated variables*)
- Processens icke påverkbara insignaler kallas störningar (*disturbances*)
- Processens mätbara utsignaler kallas mätsignaler (*measurement signals/measured variables*)

10

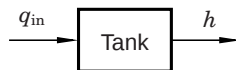
Exempel: tankprocess

Verklighet:



- Vi styr inflödet q_{in}
- Vi mäter höjden h

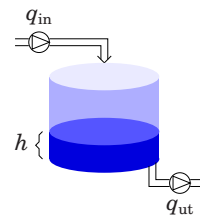
Blockdiagram:



11

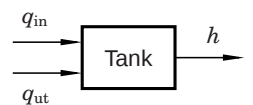
Exempel: tankprocess

Verklighet:



- Vi styr både inflödet q_{in} och utflödet q_{ut}
- Vi mäter höjden h

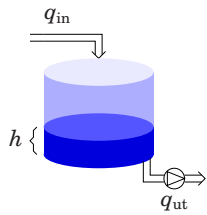
Blockdiagram:



12

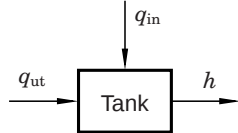
Exempel: tankprocess

Verklighet:



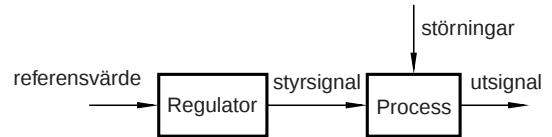
- Vi styr utflödet q_{ut}
- Vi mäter höjden h
- Inflödet q_{in} är en yttre störning som vi inte kan påverka

Blockdiagram:



13

Öppen styrning



- Regulatorn är utformad så att utsignalen (ärvärdet) ska bli lika med referensvärdet (börvärdet, *setpoint*)
- Ingen återkoppling (*feedback*) från utsignalen, bara framkoppling (*feedforward*) från referensvärdet
- Öppet system (*open-loop system*)

14

För- och nackdelar med öppen styrning

Fördel:

- Kräver inga mätton

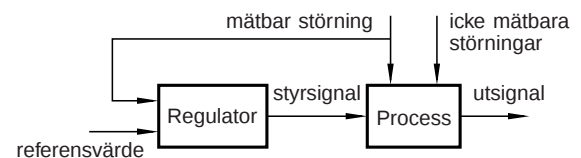
Nackdelar:

- Kräver en modell av det system man vill styra
- Fungerar bara för stabila processer
- Kan inte kompensera för okända störningar och modellfel

15

Öppen styrning med framkoppling från mätbar störning

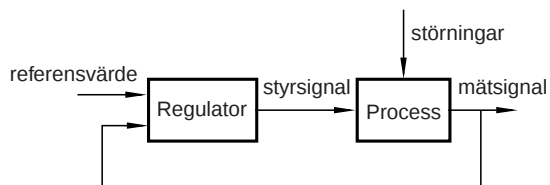
Om någon störning är mätbar kan man framkoppla från den:



- Kräver mätton
- Kräver modell av hur störningen påverkar processen
- Icke mätbara störningar och modellfel kan fortfarande att ge fel i utsignalen

16

Sluten styrning



- Återkoppling från mätsignalen
- Regulatorn bestämmer styrsignalen så att mätsignalen närmar sig referensvärdet
- Slutet system (*closed-loop system*)

17

För- och nackdelar med sluten styrning

Fördelar:

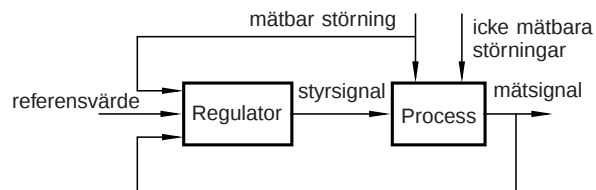
- Kan minska inverkan av störningar, öka snabbheten, förbättra noggrannheten
- Kan stabilisera ett instabilt system
- Räcker ofta med en enkel modell av systemet
- Kan möjliggöra helt nya produkter och systemlösningar

Nackdelar:

- Kräver mätton
- Kan leda till självsvängningar och instabilitet
- Mätstörningar förs tillbaka till processen

18

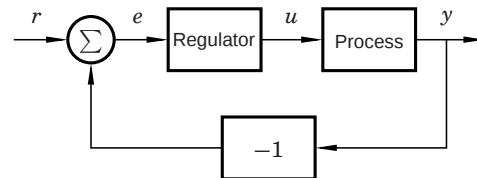
Sluten styrning med framkoppling från mätbar störning



- Mätbara störningar kompenseras genom framkoppling
- Icke mätbara störningar och modellfel kompenseras genom återkoppling

19

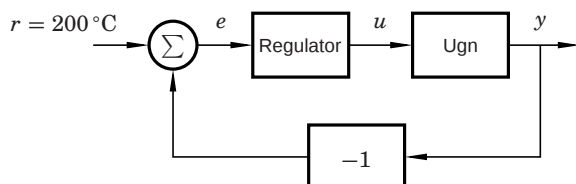
Den enkla standardkretsen



- Negativ återkoppling från mätsignalen
- Regulatorn bestämmer styrsignalen utifrån reglerfelet (*control error*) $e = r - y$

20

Exempel: ugn

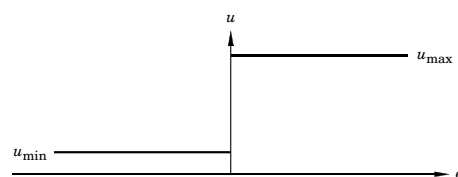


- y = uppmätt temperatur
- r = önskad temperatur
- u = värmeelementets effekt ($0 \leq u \leq 1$)

21

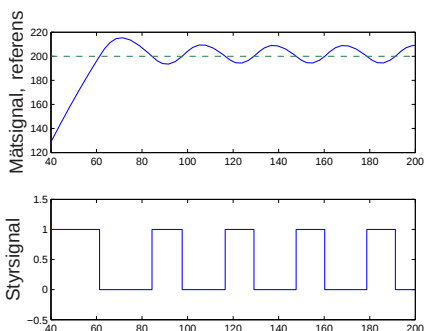
Av/på-reglering

$$u(t) = \begin{cases} u_{\max}, & e(t) > 0 \\ u_{\min}, & e(t) < 0 \end{cases}$$



22

Simulering av ugnen med av/på-reglering



23

Nackdelar med av/på-reglering

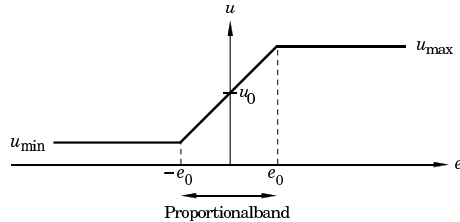
- Svängningar
- Ev. slitage på styrdon
- Fungerar bara för processer med "enkel" dynamik

24

P-reglering

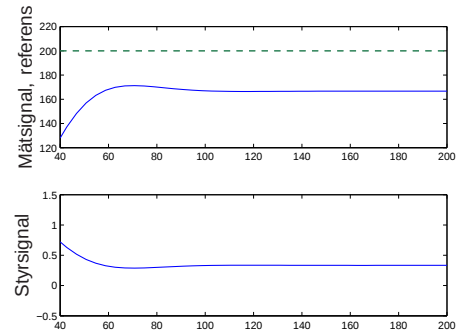
Inför ett proportionalband för små reglerfel:

$$u(t) = \begin{cases} u_{\max}, & e(t) > e_0 \\ u_0 + K e(t), & -e_0 \leq e(t) \leq e_0 \\ u_{\min}, & e(t) < -e_0 \end{cases}$$



25

Simulering av ugnen med P-reglering ($u_0 = 0$)



- Stationärt fel (steady-state/stationary error)

26

Stationärt fel vid P-reglering

Antag att P-regulatorn jobbar i proportionalbandet ($-e_0 < e < e_0$). Då

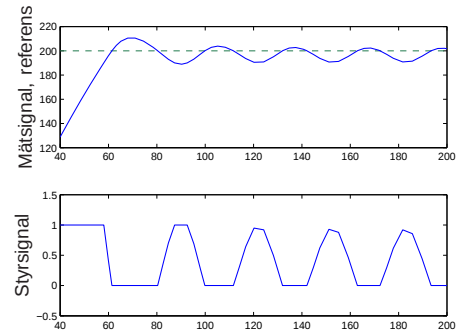
$$e = \frac{u - u_0}{K}$$

Två sätt att eliminera det stationära felet:

- Låt $K \rightarrow \infty$
- Ställ in u_0 så att $e = 0$ i jämvikt

27

Simulering av P-reglering med ökat K



- Snabbare reglering, men mer svängningar

28

PI-reglering

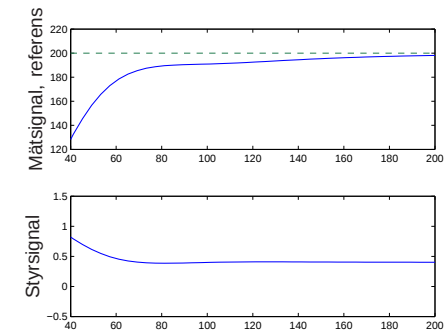
Ersätt den konstanta termen u_0 med en integraldel:

$$u(t) = K \left(e(t) + \frac{1}{T_i} \int_0^t e(\tau) d\tau \right)$$

T_i = integraltid

29

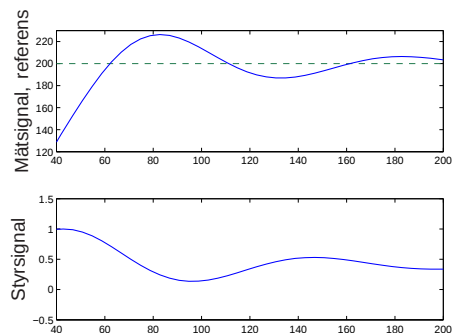
Simulering av ugnen med PI-reglering



- Reglerfelet går asymptotiskt mot noll
 - Man kan bevisa att det stationära felet alltid blir noll vid PI-reglering (om det existerar)

30

Simulering av ugnen med minskat T_i



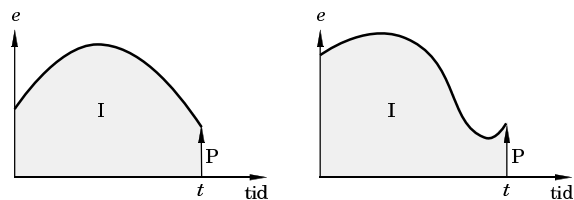
- Snabbare reglering, men mer svängningar

31

Prediktion

En PI-regulator innehåller ingen prediktion av framtida fel

Samma styrsignal fås i bägge dessa fall:



32

PID-reglering

Svängningar kan ibland dämpas genom att införa en derivatadel:

$$u(t) = K \left(e(t) + \frac{1}{T_i} \int_0^t e(\tau) d\tau + T_d \frac{de(t)}{dt} \right)$$

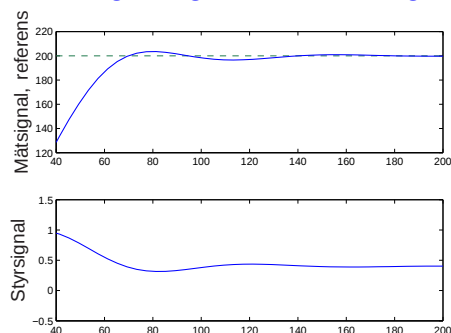
T_d = derivatetid

Derivatadeln försöker prediktera vad felet är om T_d sekunder:

$$e(t + T_d) \approx e(t) + T_d \frac{de(t)}{dt}$$

33

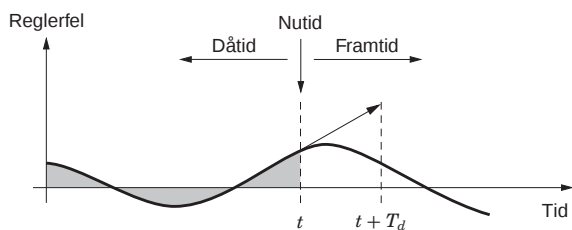
Simulering av ugnen med PID-reglering



- Snabbt och väldämpat svar, inget stationärt fel

34

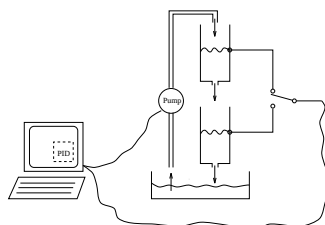
Sammanfattning av PID



Mer om PID-regulatorn i föreläsning 9

35

Laboration 1 – Empirisk PID-reglering



Reglering av vattennivån i övre eller undre tanken

- Öppen och sluten reglering
- Manuell och automatisk reglering
- Empirisk inställning av P-, PI- och PID-regulatorer

36