

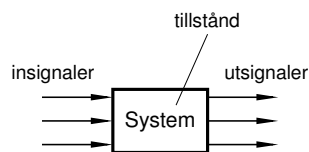
- Vad är systemteknik och reglerteknik?
- Blockdiagram
- Styrstrategier
 - Öppen styrning
 - Framkoppling
 - Sluten styrning (återkoppling)
- PID-reglering

Läsanvisning: *Process Control*: 1.1–1.3

Vad är ett system?

Nästan vad som helst!

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



Tidigt reglertekniskt exempel

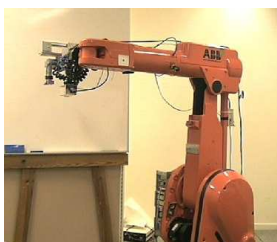
Watts ångmaskin (första från 1775)



- Förhöjd effektivitet jämfört med tidigare varianter
- Kunde köra med konstant fart trots störningar

Nutida reglertekniska exempel

ABB IRB 2000



- Axlar: 6
- Maxvikt: 10 kg
- Räckvidd: 1542 mm
- Repetitionsnoggrannhet: ± 0.1 mm
- Robot massa: 350 kg

Design kompromiss: Kraft, fart, styvhet, repeterbarhet **mot** kostnad, vikt, elkonsumtion

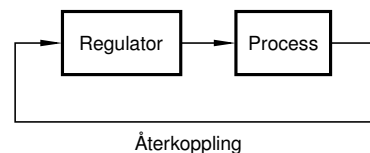
Systemteknik handlar om **dynamiska system**

- 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?

Vad är reglerteknik?

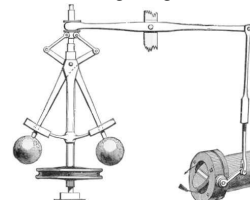
Reglerteknik är en delmängd av systemtekniken som behandlar **återkopplade** dynamiska system.

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

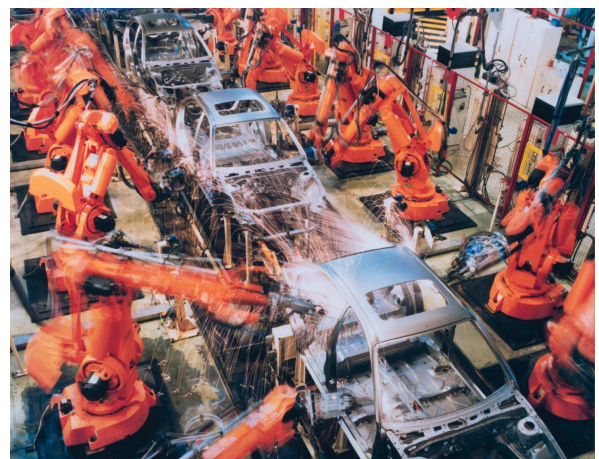


Ångmaskinen, forts

Centrifugalregulator



- Mätning av varvtalet
- Korrigerar inflödet av ånga baserat på maskinens varvtal
- Beroende på konfiguration: Störningar kunde minska eller öka i amplitud (dvs stabilitet eller instabilitet)
- Beteendet analyserades i [J.C. Maxwell, *On Governors*, 1868]



Stabilisering

Många system använder stabilisering m.h.a. reglering för att fungera

- Flygplan
- Cyklar
- Segway
- Raketer
- Exoterma reaktioner
- Kärnkraftverk
- ...



Segway

Reglersystemet håller balansen på segwayen



Segway variant:



Grundläggande reglerproblem: Balancera en inverterad pendel

Bilar

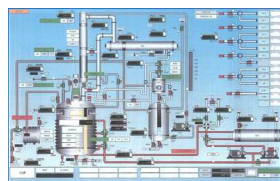
- Motorreglering
- Kraftöverföring
- Farthållare
- Adaptiv farthållare
- Antisladdsystem
- Antispinnssystem
- Filassistans



Processreglering



Perstorp ABs kemikalieproduktionsanläggning i Stenungsunds



Schematisk bild av processanläggning

Första flygningen

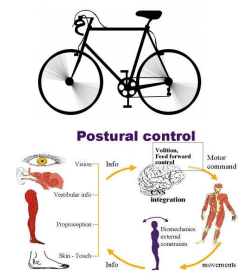
Från föreläsning av Wilbur Wright 1901:

We know how to construct airplanes. We also know how to build engines. Inability to balance and steer still confronts students of the flying problem. When this one feature has been worked out, the age of flying will have arrived, for all other difficulties are of minor importance.

Vanligaste idén var att bygga stabila flygplan. Bröderna Wright byggde ett **instabilt** flygplan som var **manövrerbart**.



Fler exempel på reglering av inverterad pendel



Samma matematiska och reglertekniska teorier som ligger bakom

Autonoma flygfarkoster

Obemannade stealth-flygplan



Quadrokopter



Biologi

Feedback is a central feature of life. The process of feedback governs how we grow, respond to stress and challenge, and regulate factors such as body temperature, blood pressure, and cholesterol level. The mechanisms operate at every level, from the interaction of proteins in cells to the interaction of organisms in complex ecologies.

[Mahon B. Hoagland and B. Dodson. The Way Life Works, 1995]

Optimal odling av bakterier

- Produktion av protein från bakterier
- Celler matas med glukos
- Undvik svält och övermatning
- Avsaknad av viktiga mätningar försvårar optimal tillförsel av glukos



[Lena de Maré, Automatic Control LTH, 2006]

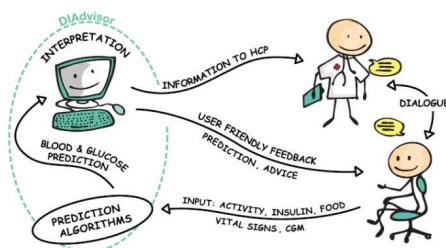
Reglering av en plattreaktor



- Plattreaktorn kombinerar värmeledningsförmåga i plattvärmväxlare med effektiv reaktionsreglering i mikroreaktorer
- Bättre temperaturreglering gör att starkt exoterma reaktioner med högre koncentration av reaktanter kan åstadkommas

[Staffan Haugwitz, Reglerteknik LTH, 2007]

Reglering av blodsocker



[From www.diadvisor.eu]

När uppmärksammas reglerteknik?

- oftast bara om något går fel.

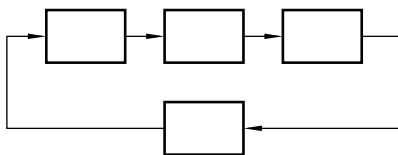


A-klass värlter i älgtest



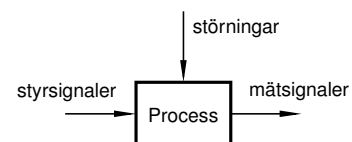
JAS kraschar

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

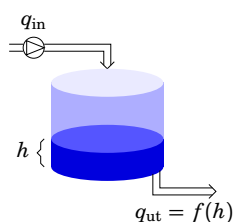
Blockdiagram för en (del)process



- 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*)

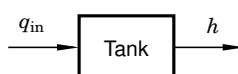
Exempel: tankprocess

Verklighet:



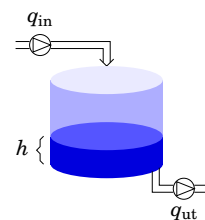
- Vi styr inflödet q_{in}
- Vi mäter höjden h

Blockdiagram:



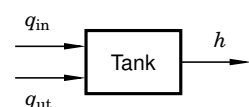
Exempel: tankprocess

Verklighet:



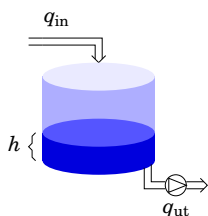
- Vi styr både inflödet q_{in} och utflödet q_{ut}
- Vi mäter höjden h

Blockdiagram:



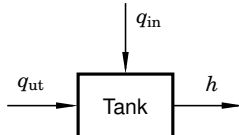
Exempel: tankprocess

Verklighet:



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

Blockdiagram:



För- och nackdelar med öppen styrning

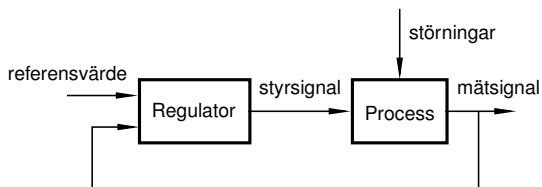
Fördel:

- ▶ Kräver inga mätton

Nackdelar:

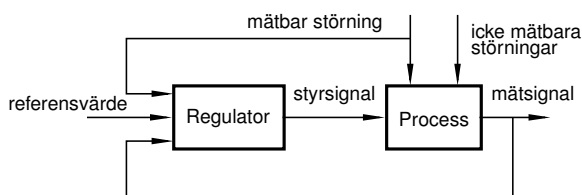
- ▶ Kräver en modell av det system man vill styra
- ▶ Fungerar bara för stabila processer
- ▶ Kan inte kompensera för okända störningar och modellfel

Sluten styrning



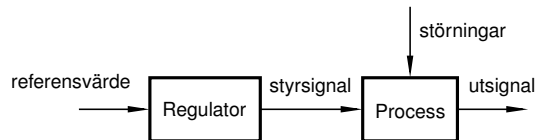
- ▶ Återkoppling från mätsignalen
- ▶ Regulatorn bestämmer styrsignalen så att mätsignalen närmar sig referensvärdet
- ▶ Slutet system (*closed-loop system*)

Sluten styrning med framkoppling



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

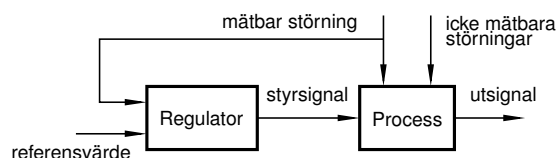
Öppen styrning



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

Öppen styrning med framkoppling

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 ge fel i utsignalen

För- och nackdelar med sluten styrning

Fördelar:

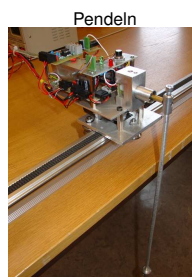
- ▶ Kan minska inverkan av störningar, öka snabbheten, förbättra noggrannheten
- ▶ Kan stabilisera ett instabilt system
- ▶ Räcker ofta med en enkel modell av systemet
- ▶ Kan möjliggöra helt nya produkter och systemlösningar

Nackdelar:

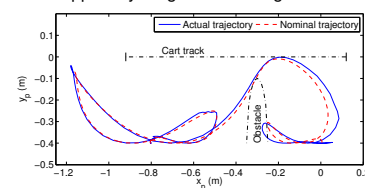
- ▶ Kräver mätton
- ▶ Kan leda till självsvängningar och instabilitet
- ▶ Mätstörningar förs tillbaka till processen

Öppen vs sluten styrning, ett pendlexempel

Pendeln ska starta i vila i hängande läge vid -0.8m och stanna i vila vid 0m



Öppen styrning utan störningar

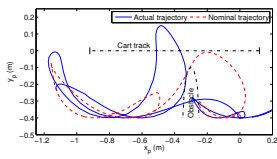


Bra modell då faktisk pendelrörelse överensstämmer bra med önskad (nominell)

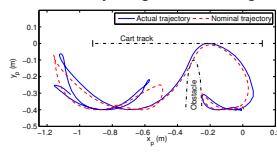
Öppen vs sluten styrning, ett pendlexempel

Vad händer då vi har störningar, t.ex. att pendeln startar med svängningsrörelse

Öppen styrning med störningar

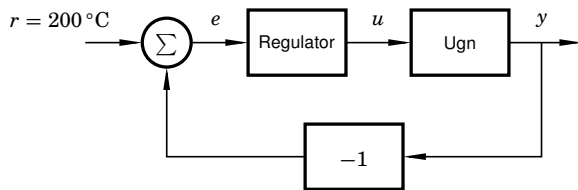


Sluten styrning med störningar



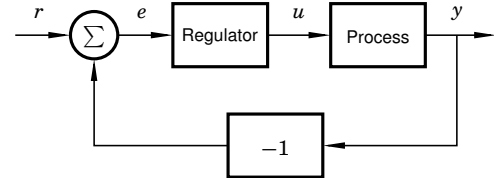
Med sluten styrning kan vi styra systemet trots obekanta störningar

Exempel: ugn



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

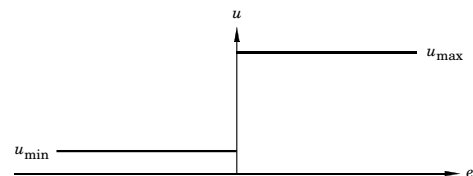
Den enkla standardkretsen



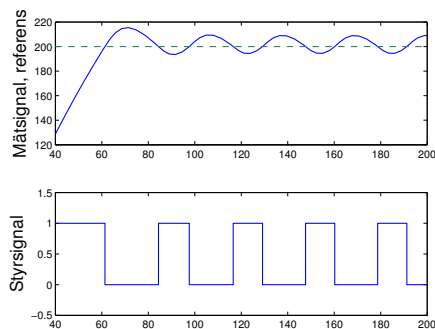
- Negativ återkoppling från mätsignalen
- Regulatorn bestämmer styrsignalen utifrån reglerfelet (control error) $e = r - y$

Av/på-reglering

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



Simulering av ugnen med av/på-reglering



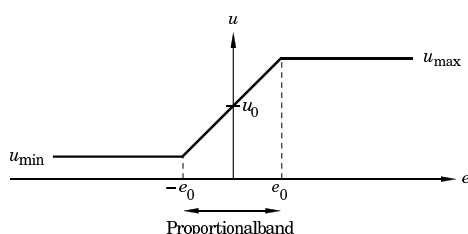
Nackdelar med av/på-reglering

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

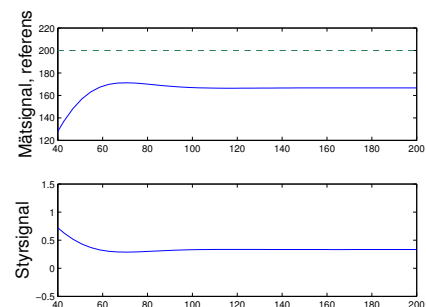
P-reglering

Inför ett proportionalband för små reglerfel:

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



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



- Stationärt fel (steady-state/stationary error)

Stationärt fel vid P-reglering

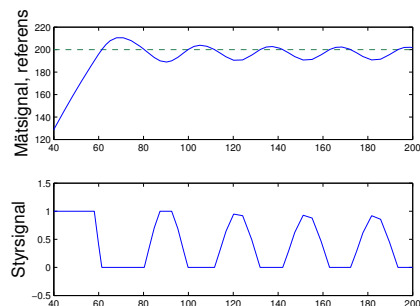
Antag att P-regulatorn jobbar i proportionalbandet ($-e_0 < e < e_0$). Då

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

Två sätt att eliminera det stationära felet:

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

Simulering av P-reglering med ökat K



- Snabbare reglering, men mer svängningar

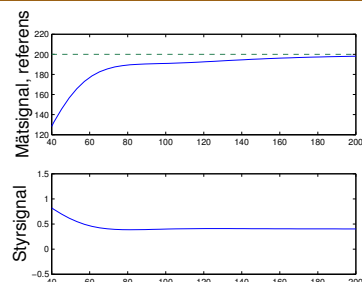
PI-reglering

Ersätt den konstanta termen u_0 med en integraldel:

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

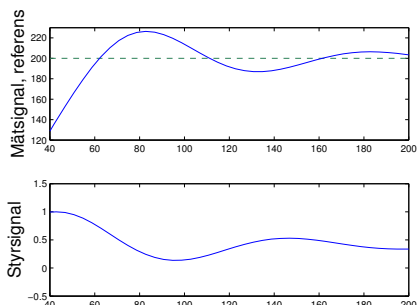
T_i = integraltid

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)

Simulering av ugnen med minskat T_i

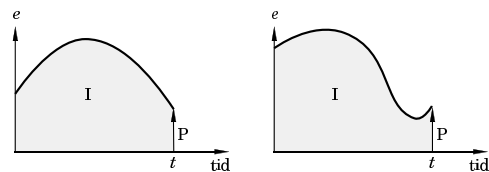


- Snabbare reglering, men mer svängningar

Prediktion

En PI-regulator innehåller ingen prediktion av framtida fel

Samma styrsignal fås i bägge dessa fall:



PID-reglering

Svängningar kan ibland dämpas genom att införa en derivatadel:

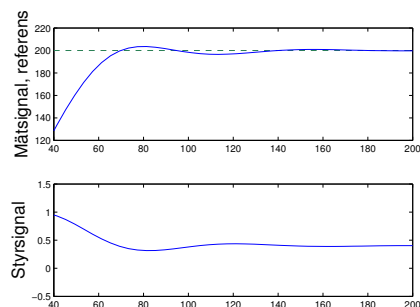
$$u(t) = K \left(e(t) + \frac{1}{T_i} \int_0^t e(\tau) d\tau + T_d \frac{de(t)}{dt} \right)$$

T_d = derivatid

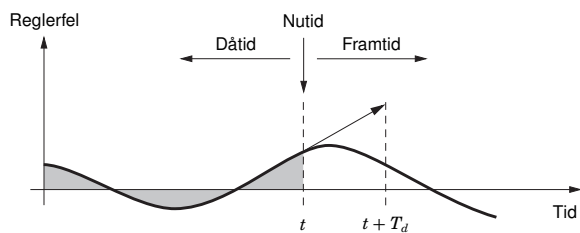
Derivatadeln försöker prediktera vad felet är om T_d sekunder:

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

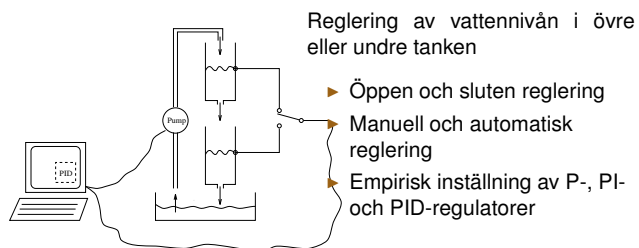
Simulering av ugnen med PID-reglering



- Snabbt och väldämpat svar, inget stationärt fel



Mer om PID-regulatorn i föreläsning 9



Miniproblem

Vilken typ av reglering åstadkommer centrifugalregulatorn, on/off, P, PI, PID?

