

Reglerteknik AK – F1

- ▶ Vad är reglerteknik?
- ▶ PID-regulatorn

1/40

Vad är reglerteknik?

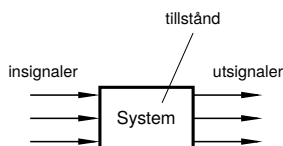
Reglerteknik handlar om reglering av **dynamiska system**

- ▶ Att få dynamiska system att uppföra sig som önskat

2/40

Vad är ett dynamiskt system?

- ▶ **Dynamiska** system har ett "minne" — en **tröghet**
- ▶ Utsignalen beror inte bara på nuvarande insignal, utan även tidigare
- ▶ Beskrivs ofta abstrakt med hjälp av blockdiagram



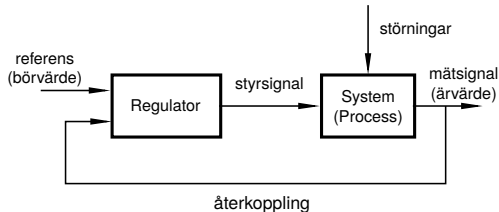
3/40

Principer för reglering

- ▶ Fundamentala reglertekniska principer:
 - ▶ Återkoppling / reglering i slutna loop
 - ▶ Framkoppling / reglering i öppna loop

4/40

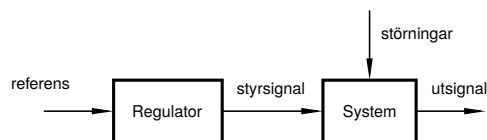
Vad är återkoppling?



- ▶ System (process) är det vi vill styra
- ▶ Jämför faktiskt resultat (mätning) med önskat resultat (referens)
- ▶ Gör förändringar – beräknade av regulator – baserat på dessa
- ▶ Regulator *designas* för att uppnå önskat beteende
- ▶ Kontinuerlig process!
- ▶ Behövs: sensor (mäter vad som händer) aktuator (kan påverka system)

5/40

Alternativ: Framkoppling

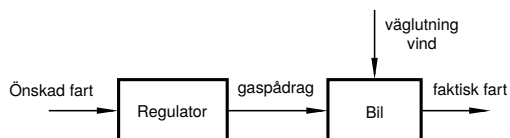


- ▶ Gör en plan i förväg och exekvera den
- ▶ Ingen information om vad som händer i systemet skickas till regulator

6/40

Exempel: Farthållare

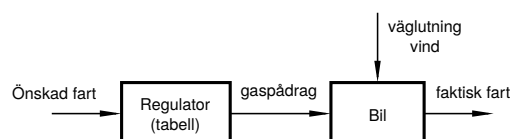
Typiskt reglerproblem: Designa regulator för att hålla konstant fart



- ▶ Styrsignal (processinsignal): Gaspådrag
- ▶ Processutsignal (mätning): Bilens fart
- ▶ Önskad utsignal (referenssignal): Önskad fart
- ▶ Huvudsakliga störningar: Väglutning, vind

7/40

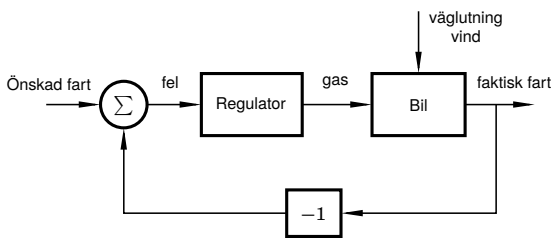
Exempel: Farthållare i öppen loop (framkoppling)



- ▶ Styrning i öppen loop
- ▶ Problem?

8/40

Exempel: Farthållare med återkoppling

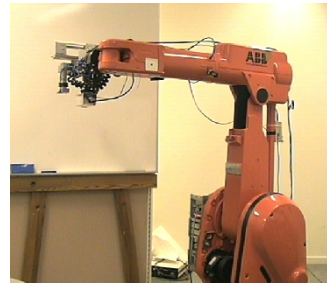


- ▶ Styrning i sluten loop
- ▶ Regulator:
 - ▶ Fel > 0: öka gaspådrag
 - ▶ Fel < 0: minska gaspådrag
 - ▶ (Men hur mycket?)

9/40

Reglertekniska applikationer - Industriella robotar

ABB IRB 2000



- ▶ Antal axlar: 6
- ▶ Max last: 10 kg
- ▶ Arbetsområde: 1542 mm
- ▶ Noggrannhet: ±0.1mm
- ▶ Massa: 350 kg

Designkompromiss: Kraft, fart, styvhet, precision, repeterbarhet **mot** kostnad, vikt, elkonsumtion

10/40

Robotegenskaper

Precision:

Video – [<https://www.youtube.com/watch?v=XP7yWhN6V-k>]

Fart:

Video – [<https://www.youtube.com/watch?v=v9oe0YMRvuQ>]

Kraft:

Video – [<https://www.youtube.com/watch?v=bxbjZiKAZP4>]

Reglerteknik (återkoppling) nödvändigt för att kunna åstadkomma detta!

11/40

Stabilisering

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

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



12/40

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

13/40

Inverterade pendelproblem

- ▶ Segway/swagway/monowheel
- ▶ Space-X raketlandning:
Video – [<https://www.youtube.com/watch?v=4Ca6x4QbpoM>, 2009]
Video – [<https://www.youtube.com/watch?v=hu1MgWJV3e8>, 2017]

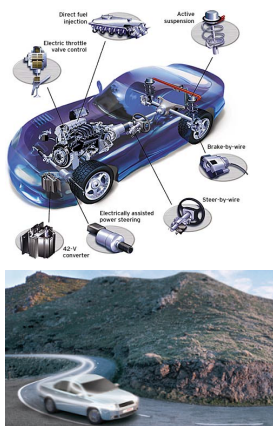


- ▶ Fundamentalt reglertekniskt problem: Balansera inverterad pendel

14/40

Bilar

- ▶ Motorreglering
- ▶ Kraftöverföring
- ▶ (Adaptiv) Farthållning
- ▶ Antisladdsystem
- ▶ Filassistans
- ▶ Antikrocksystem
- ▶ Parkeringsassistans
- ▶ ...



15/40

Quadrocopters etc



Video

[Raffaello D'Andrea, Institute for Dynamic Systems and Control, ETH, Switzerland]

16/40

Dynamic works

Video – [<https://vimeo.com/110346531>]

[Raffaello D'Andrea, Institute for Dynamic Systems and Control, ETH, Switzerland]

17/40

Kiva systems



- ▶ Mobilt varuhus
- ▶ Grundades 2003 av Mick Mountz, Peter Wurman och Raffaello D'Andrea
- ▶ Såldes till Amazon 2012 för \$775 million
- ▶ Numera helt inhouse hos Amazon

18/40

Atlas – Boston Dynamics



Video – [<https://www.youtube.com/watch?v=LikxFZZ02sk>]

19/40

Reglerteknik

Video – [<https://www.youtube.com/watch?v=XJLMW61303g>]

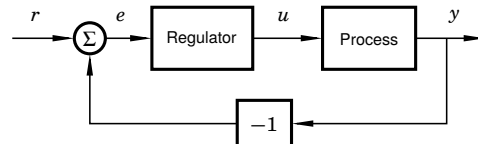
20/40

Svårt att åka segway?

Video – [<https://www.youtube.com/watch?v=NPGUIpv-JxI>]

21/40

Den enkla standardkretsen



- ▶ Mål: mätsignalen y ska följa referensen r
- ▶ Regulatorn beräknar styrsignalen u utifrån reglerfelet $e = r - y$
- ▶ Regulatorn *designas* för att uppnå $y \approx r$ trots störningar

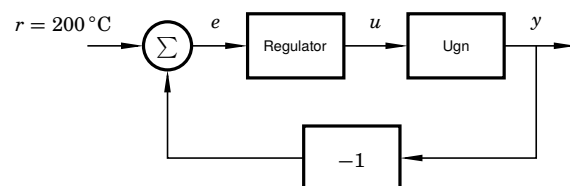
22/40

Enkla regulatorer

- ▶ Av/på-regulatorn
 - ▶ Den enklast tänkbara regulatorn
- ▶ PID-regulatorn
 - ▶ Den absolut vanligaste regulatorn i industrin
 - ▶ P = proportionell
 - ▶ I = integrerande
 - ▶ D = deriverande

23/40

Exempel: ugn

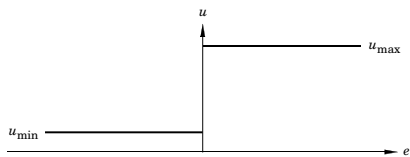


- ▶ y = uppmätt temperatur
- ▶ r = önskad temperatur
- ▶ u = värmeelementets effekt ($0 \leq u \leq 1$)

24/40

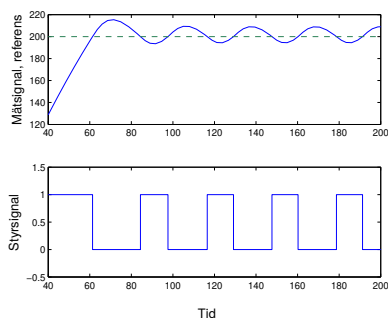
Av/på-reglering

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



25/40

Simulering av ugnen med av/på-reglering



26/40

Nackdelar med av/på-reglering

- ▶ Svängningar
- ▶ Slitage på aktuatorer
- ▶ Fungerar bara för processer med enkel dynamik och låga prestandakrav

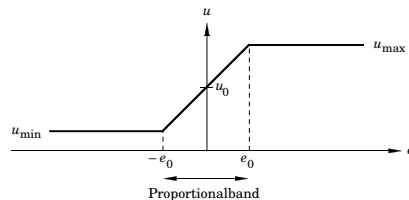
27/40

P-reglering

Inför ett proportionalband för små reglerfel:

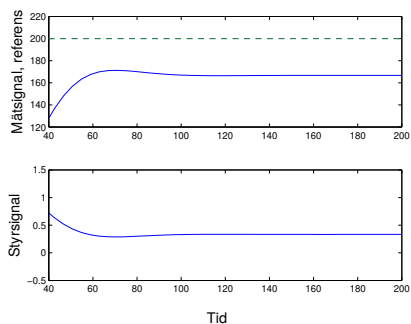
$$u(t) = \begin{cases} u_{\max}, & e(t) > e_0 \\ u_0 + Ke(t), & -e_0 \leq e(t) \leq e_0 \\ u_{\min}, & e(t) < -e_0 \end{cases}$$

- ▶ K = proportionalförstärkning



28/40

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



- ▶ Stationärt reglerfel

29/40

Miniproblem

Ungefär vilket K -värde användes vid simuleringen på förra bilden?

30/40

Stationärt fel vid P-reglering

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

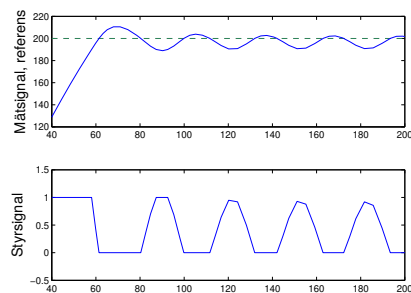
$$e = \frac{u - u_0}{K}$$

Två sätt att eliminera det stationära felet:

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

31/40

Simulering av P-reglering med ökat K



- ▶ Snabbare reglering, men mer svängningar

32/40

PI-reglering

Ersätt den konstanta termen u_0 med en integraldel:

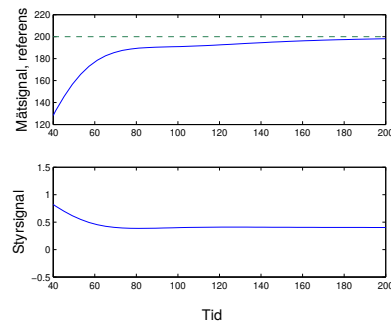
$$u(t) = K \left(e(t) + \frac{1}{T_i} \int_0^t e(\tau) d\tau \right)$$

- ▶ T_i = integraltid

(Notera att PI-regulatorn i sig är ett dynamiskt system!)

33/40

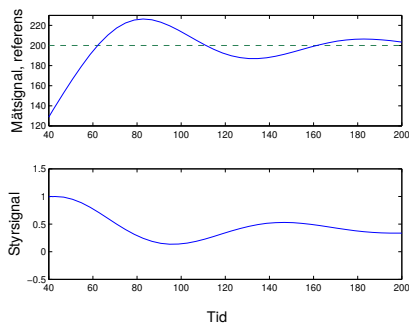
Simulering av ugnen med PI-reglering



- ▶ Reglerfelet går asymptotiskt mot noll
- ▶ Man kan bevisa att det stationära felet alltid blir noll vid PI-reglering

34/40

Simulering av ugnen med minskat T_i



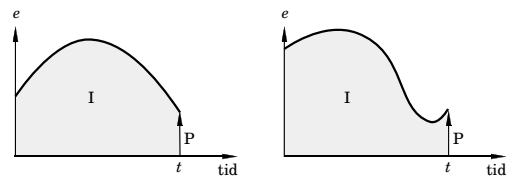
- ▶ Större integralverkan
- ▶ Snabbare reglering, men mer svängningar

35/40

Prediktion

En PI-regulator innehåller ingen prediktion av framtida fel

Samma styrsignal fås i bägge dessa fall:



36/40

PID-reglering

Hastigheten kan dämpas genom att införa en derivatadel:

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

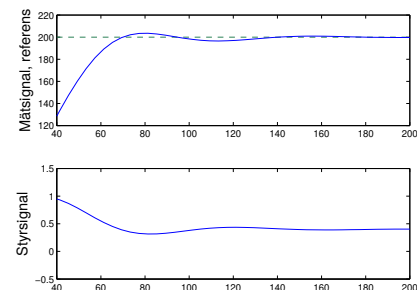
- ▶ T_d = derivatetid

Derivatdelen försöker uppskatta hur mycket felet kommer att ha ändrats om T_d tidsenheter:

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

37/40

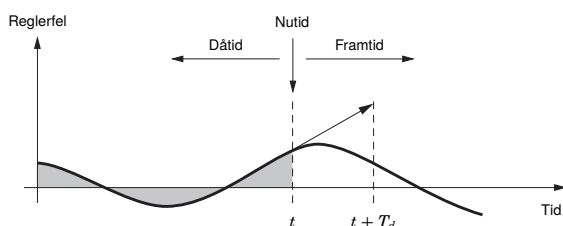
Simulering av ugnen med PID-reglering



- ▶ Snabbt och väldämpat svar, inget stationärt fel

38/40

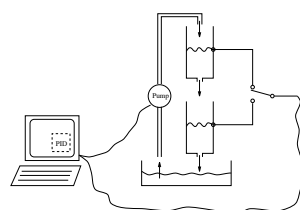
Sammanfattning av PID



Tre parametrar att ställa in: K , T_i , T_d

39/40

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

40/40