

Reglerteknik 1

Kapitel 1, 2, 3, 4

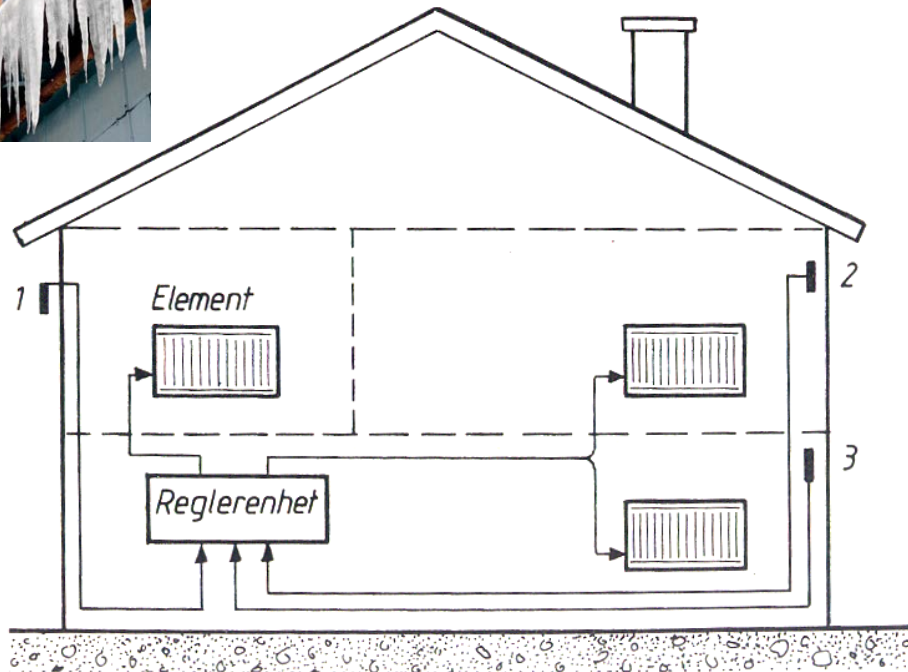


Köp bok och övningshäfte på kårbokhandeln

William Sandqvist william@kth.se



Reglerteknik

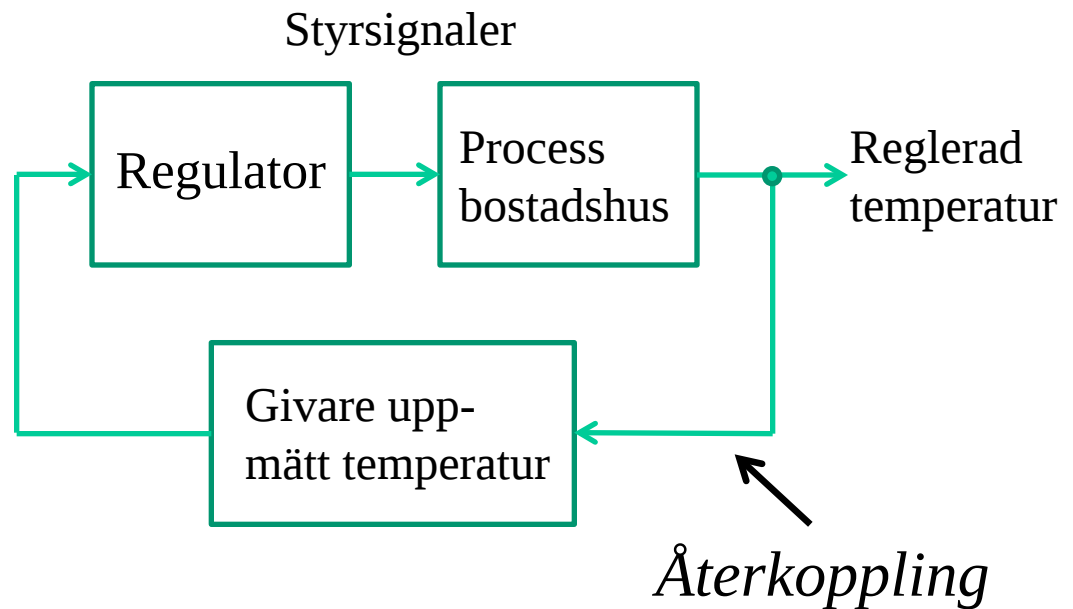


1. Givare för
yttertemperatur

2, 3. Givare för
inomhustemperaturer

***Behaglig inne-
temperatur med hjälp
av reglerteknik!***

Reglerteknik = automatiskt, återkopplat system



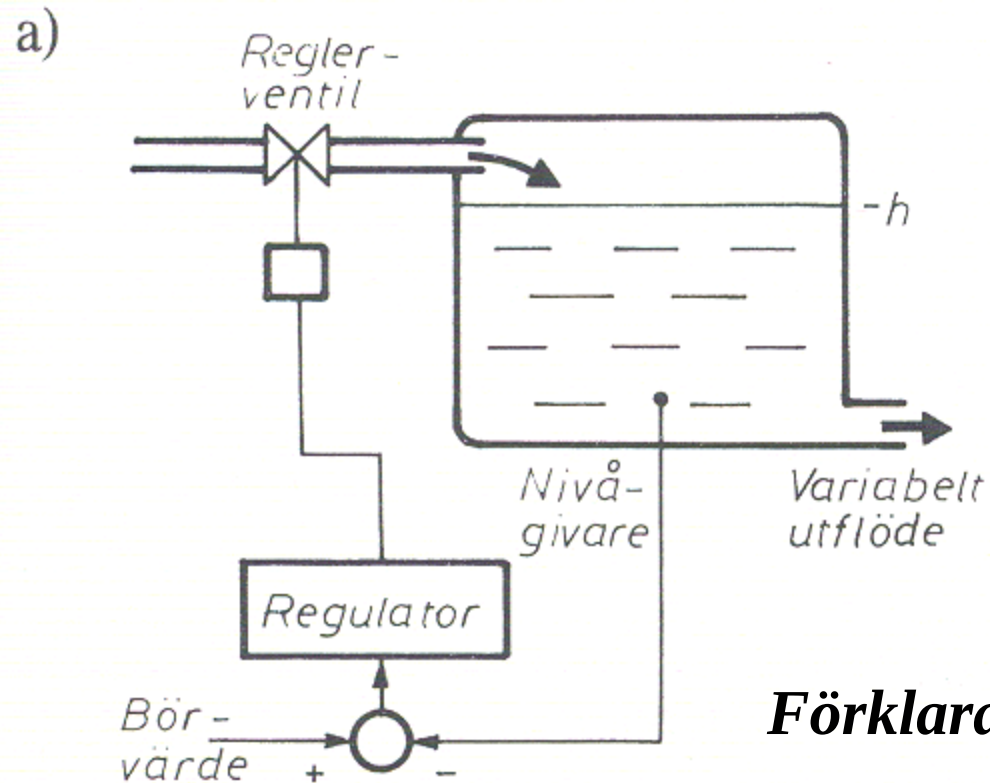
Fördelar med återkoppling

- Självkorrigering
- Störningsdämpning
- Stabilisering

Reglersystem kan ha två huvuduppgifter

- **Konstantreglering** – kompensera för *störningar*
Regulatorn justerar styrsignalen så att felet försvinner
- **Följereglering**, servosystem – följa *börvärdet*
Regulatorn svänger in styrsignalen mot det nya värdet

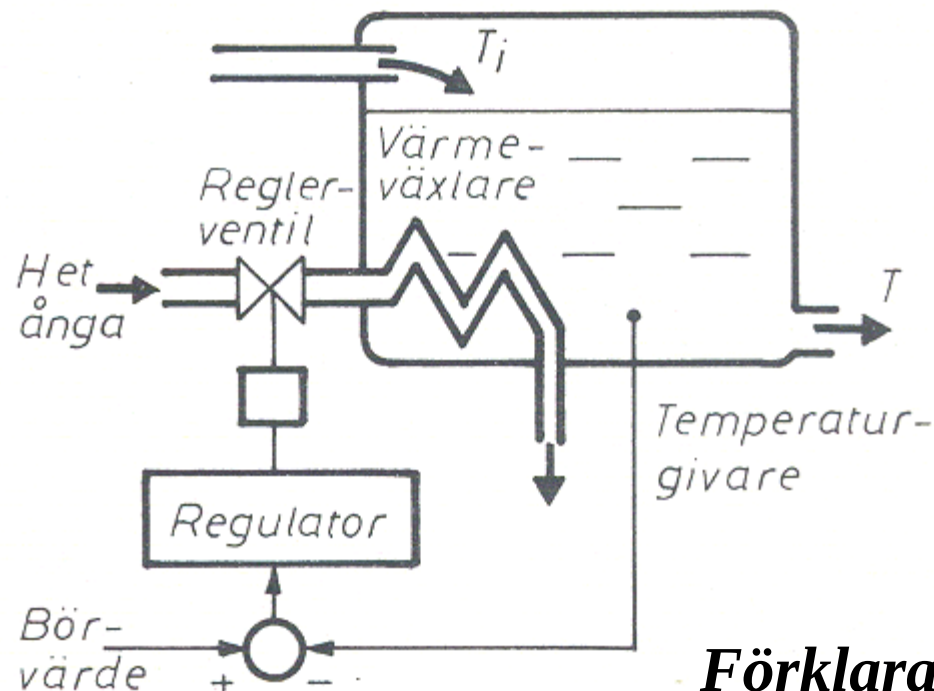
Exempel på reglersystem



Förklara med ord ...

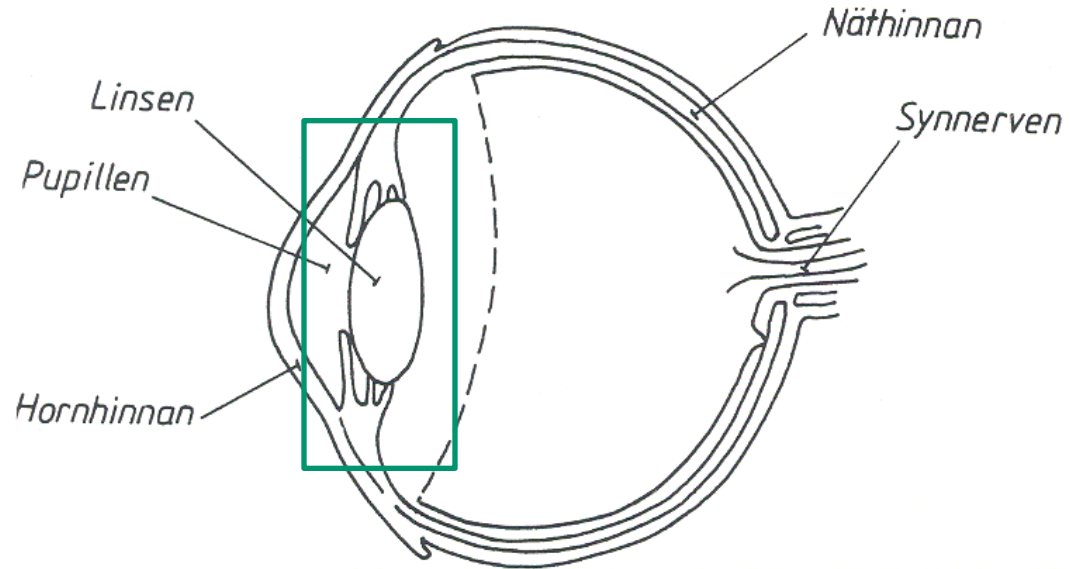
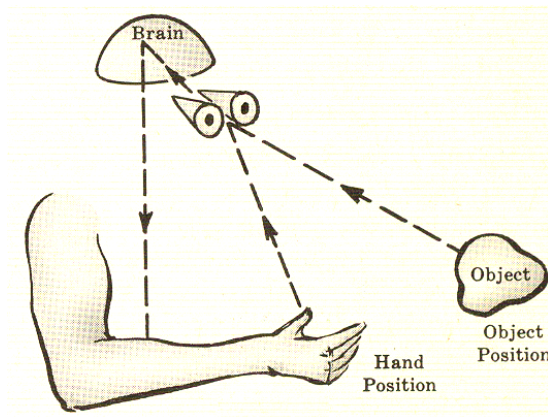
Exempel på reglersystem

b)

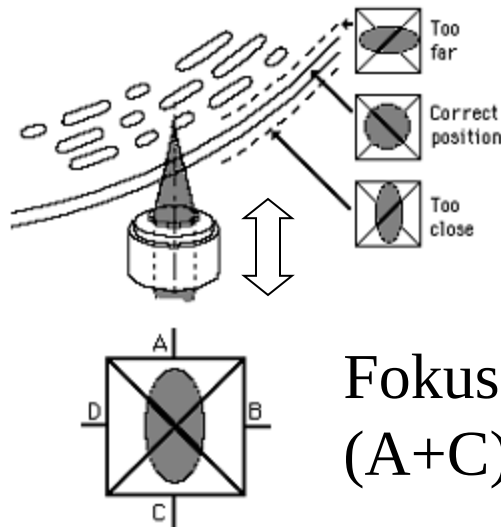
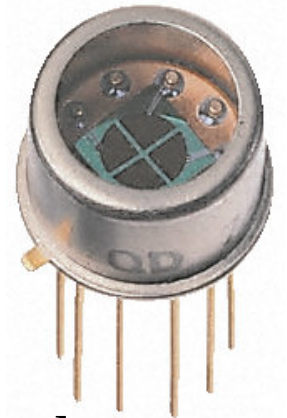


Förklara med ord ...

Ex. Fokusering med ögat



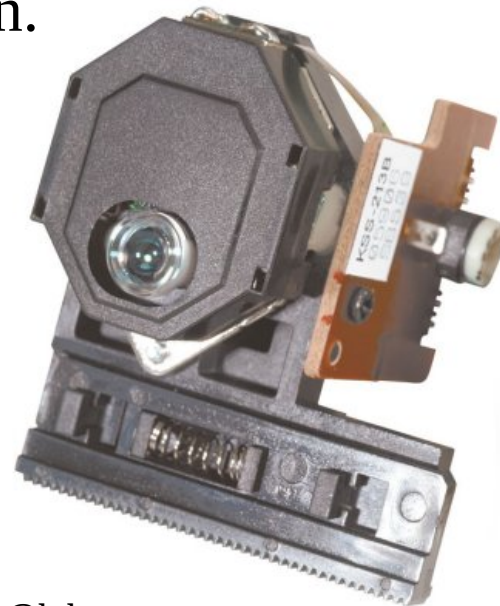
Ex. Fokusering i CD-spelaren



Det är en fyrkvadrant fotodiod som håller laserstrålen fokuserad i CD-spelaren. Den fångar också upp datasignalen.

Fokus-signal:
 $(A+C) - (B+D)$

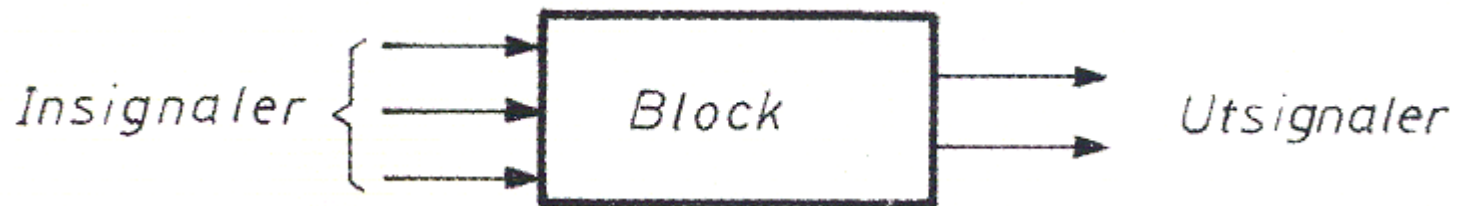
Datasignal:
 $A+B+C+D$



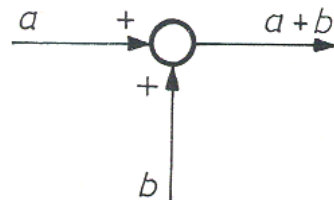
Blockschema

Blockschemat är ett schematiskt och tydligt sätt att beskriva ett reglersystems funktion. Man använder tre symboler:

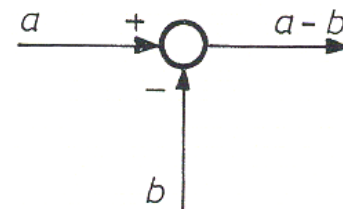
- Signaler
- Block
- Signaler



- Summerings/Differens punkter



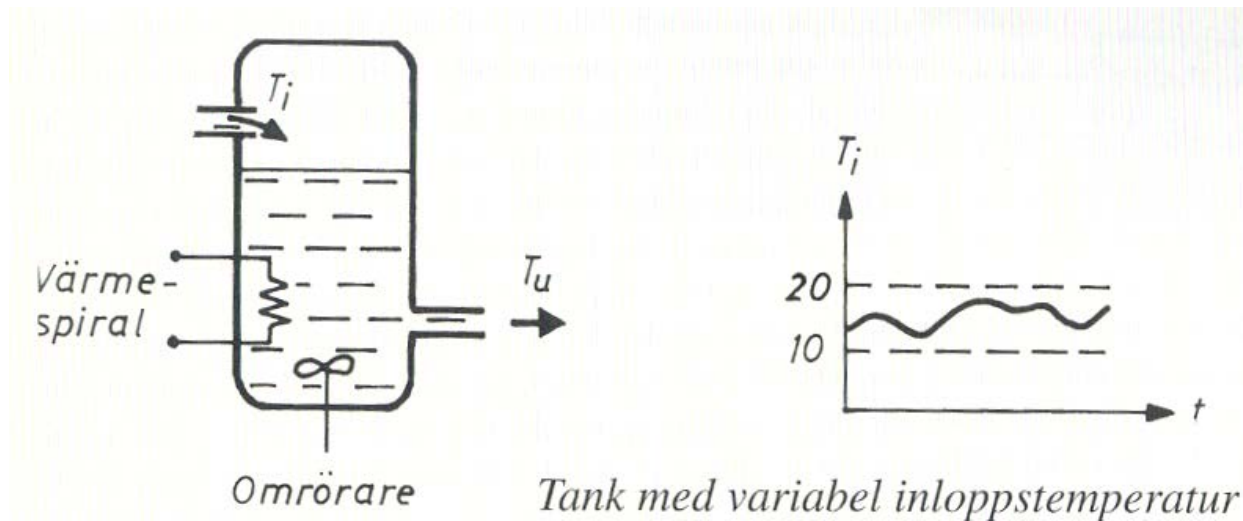
Summeringspunkt



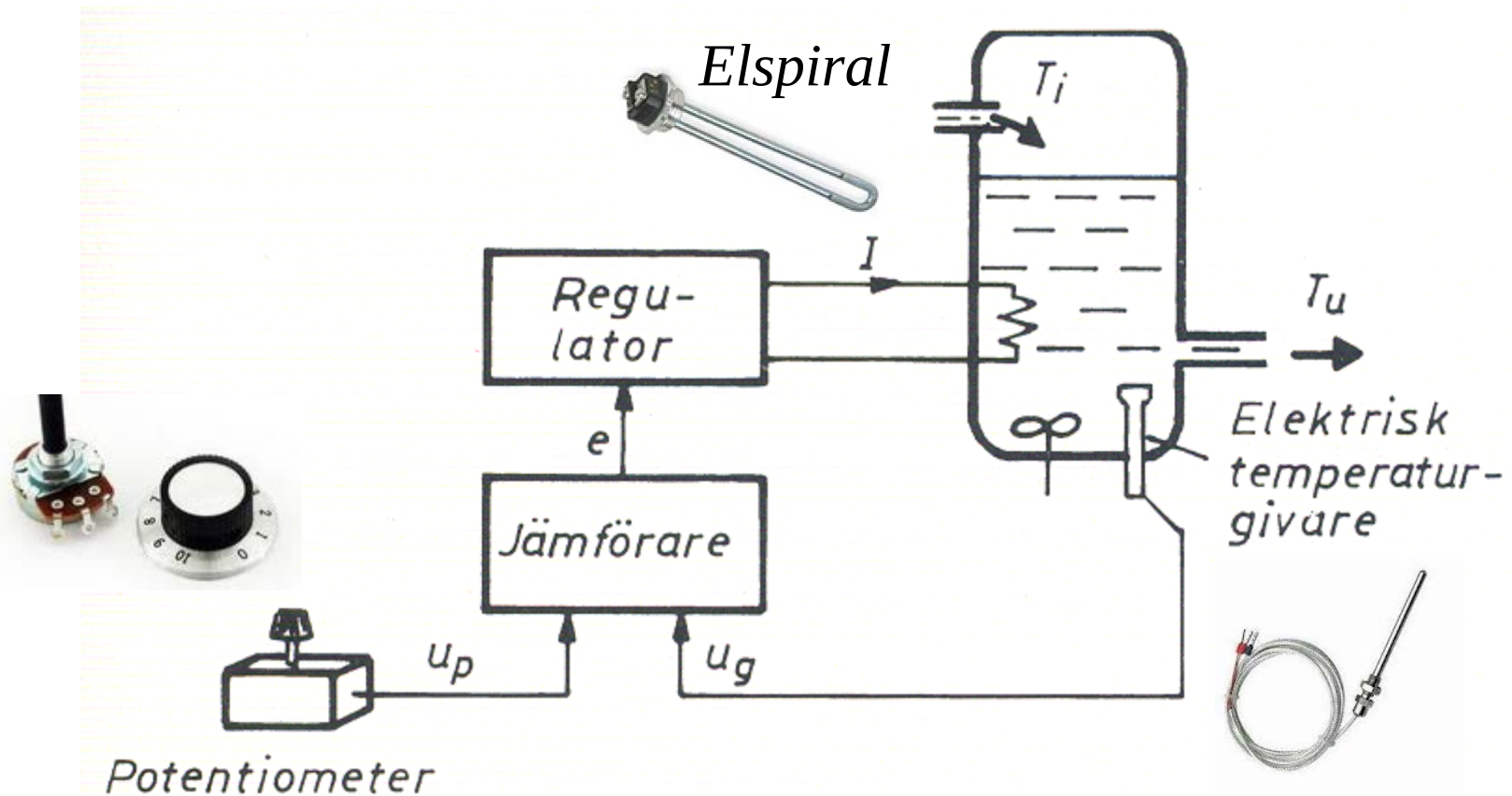
Differenspunkt

Blockdiagram, exempel

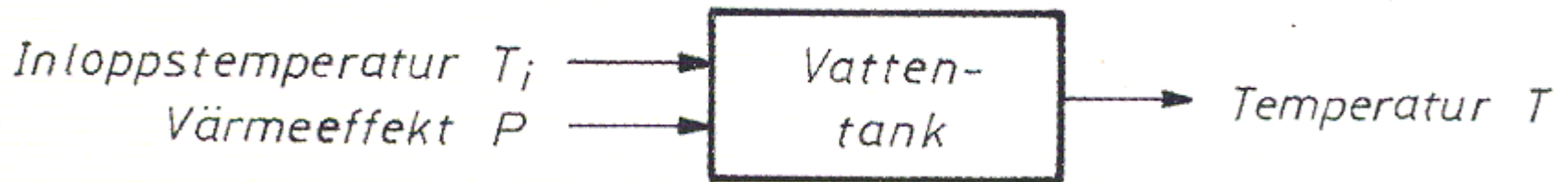
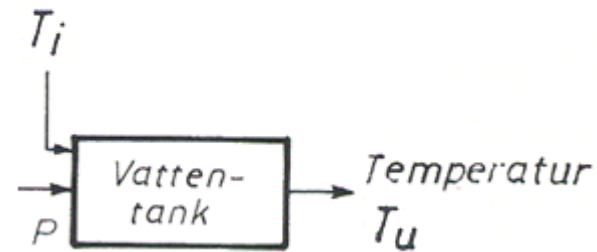
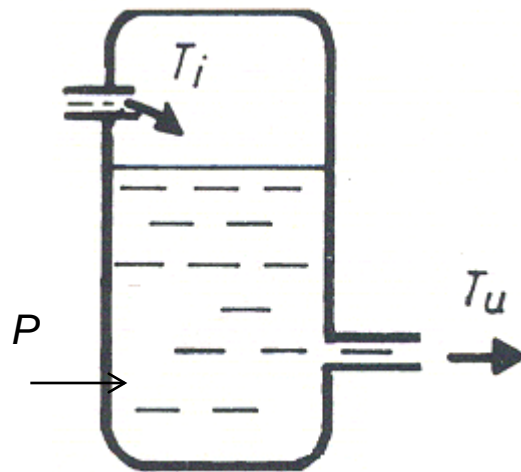
En tank har en variabel inloppstemperatur men man önskar att utloppstemperaturen hålls konstant.



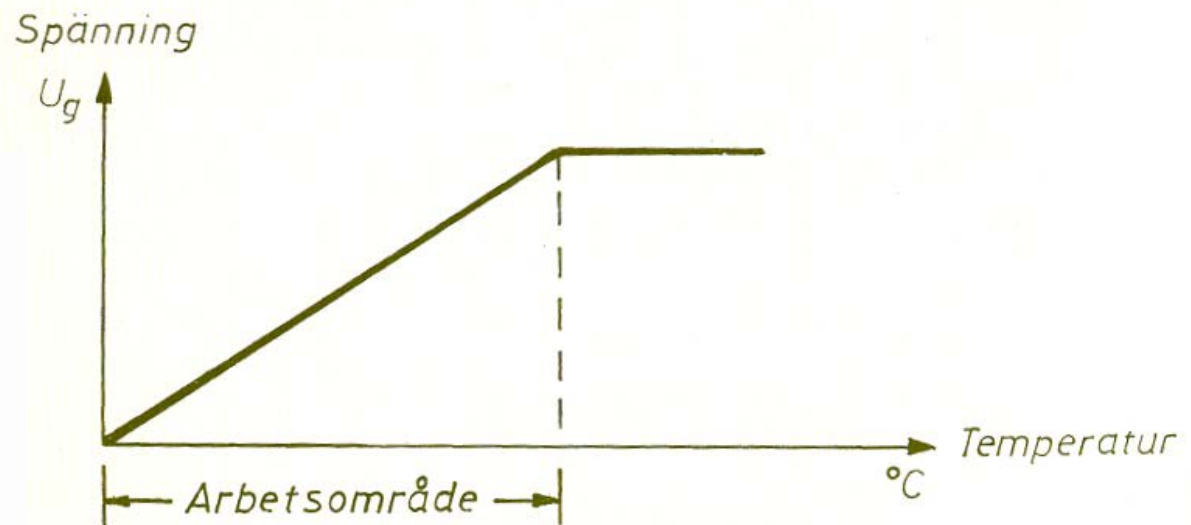
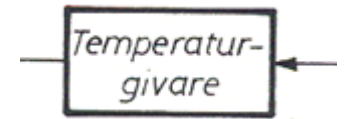
Exempel



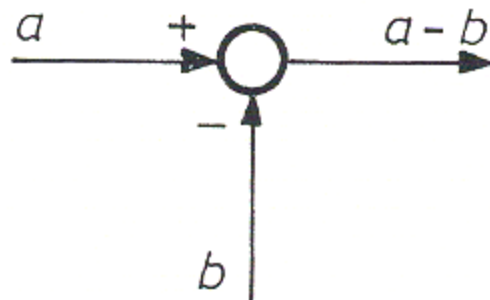
Vattentanken (process)



Temperaturgivaren



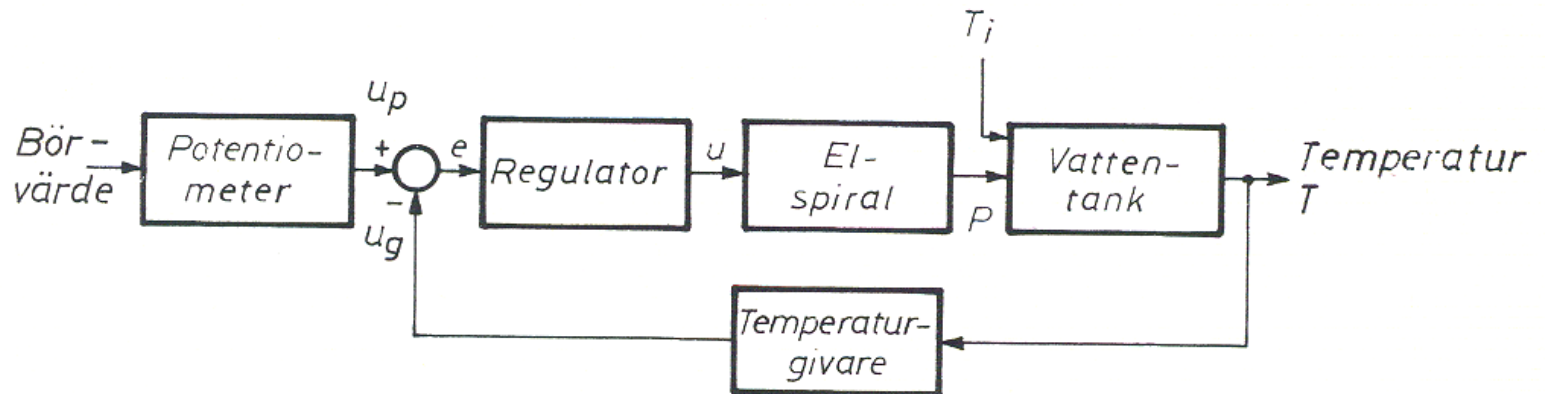
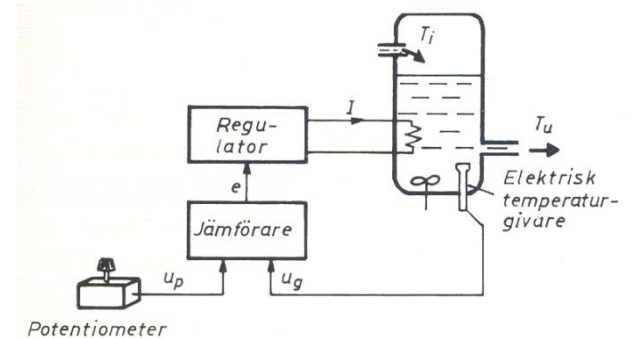
Jämförare



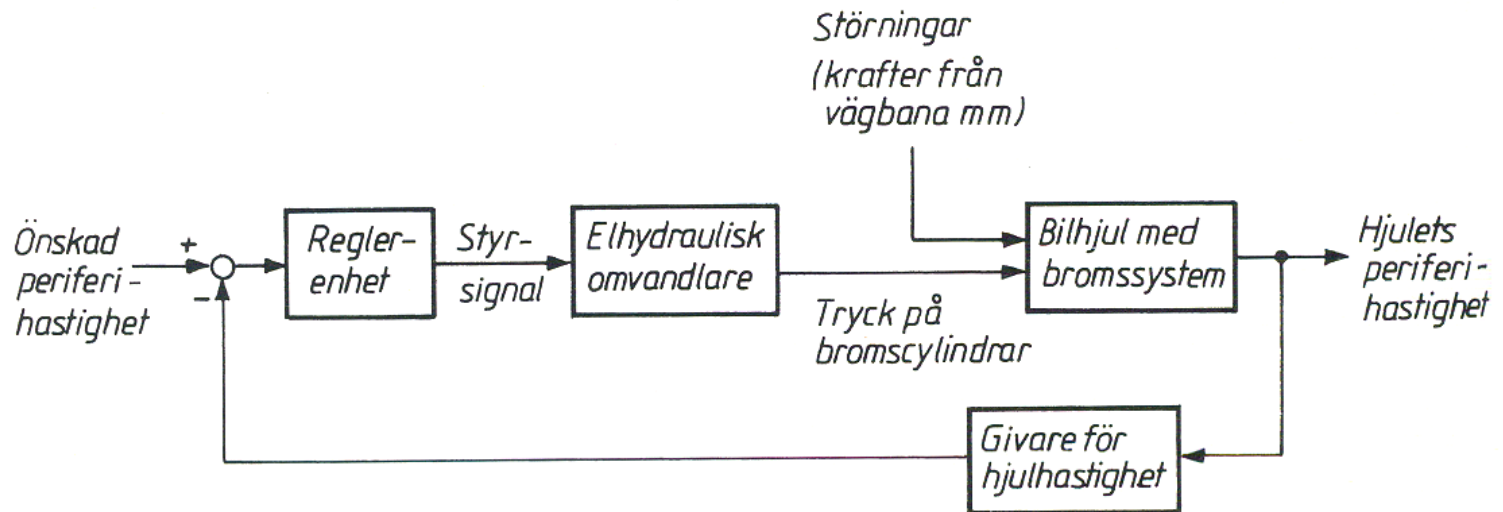
Differenspunkt

Blocket **jämförare**
brukar ritas som
differenspunkt

Blockschemat



Ex. ABS anti lock braking



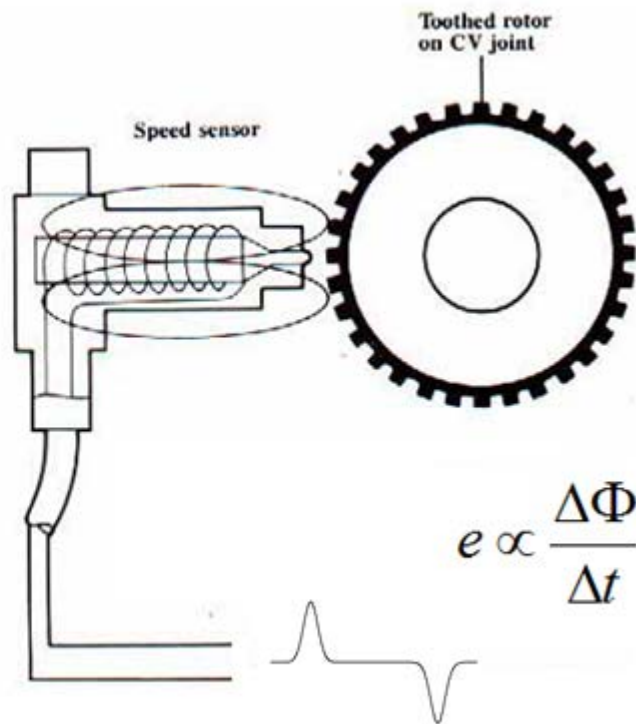
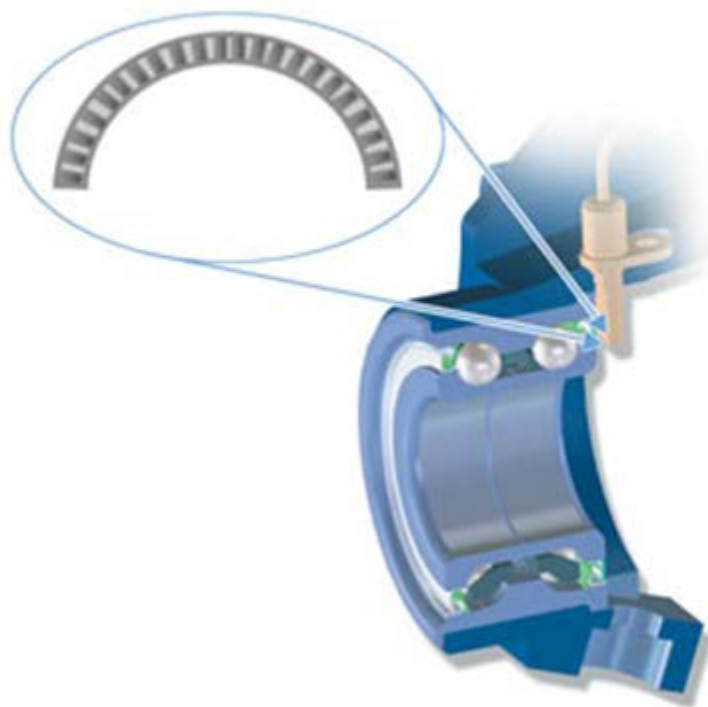
Givare **integreras** numera ofta i *rena* verkstadsprodukter



Hjullagerenhet med integrerad ABS-sensor. SKF.

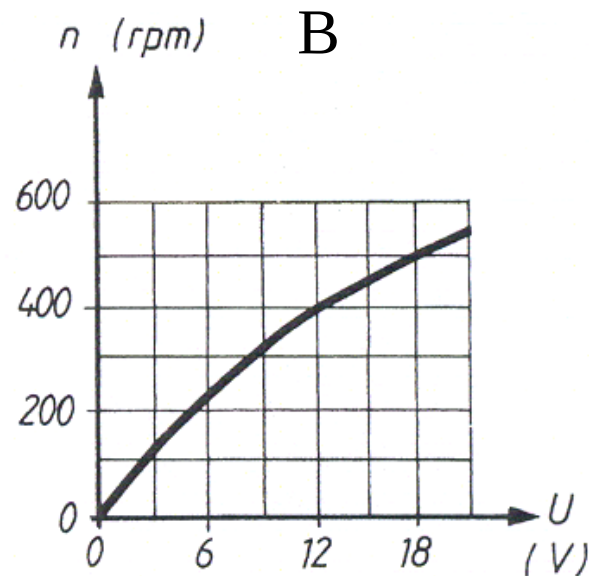
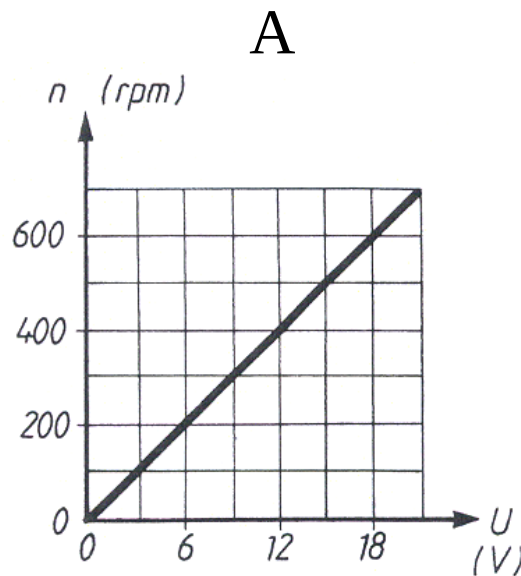
Induktiv ABS-givare (spole)

Det tandade metallhjulet är **inbakat** i kullagrets plast-tätning!
(ex. SKF)



Ö 3.1 Linjärt/Olinjärt

- a) Vilken motor är olinjär?
- b) Hur stor är den statiska förstärkningen för motor A?
- c) Hur stor är statiska förstärkningen för motor B?
 $0 < U < 6$ respektive $12 < U < 18$ V.

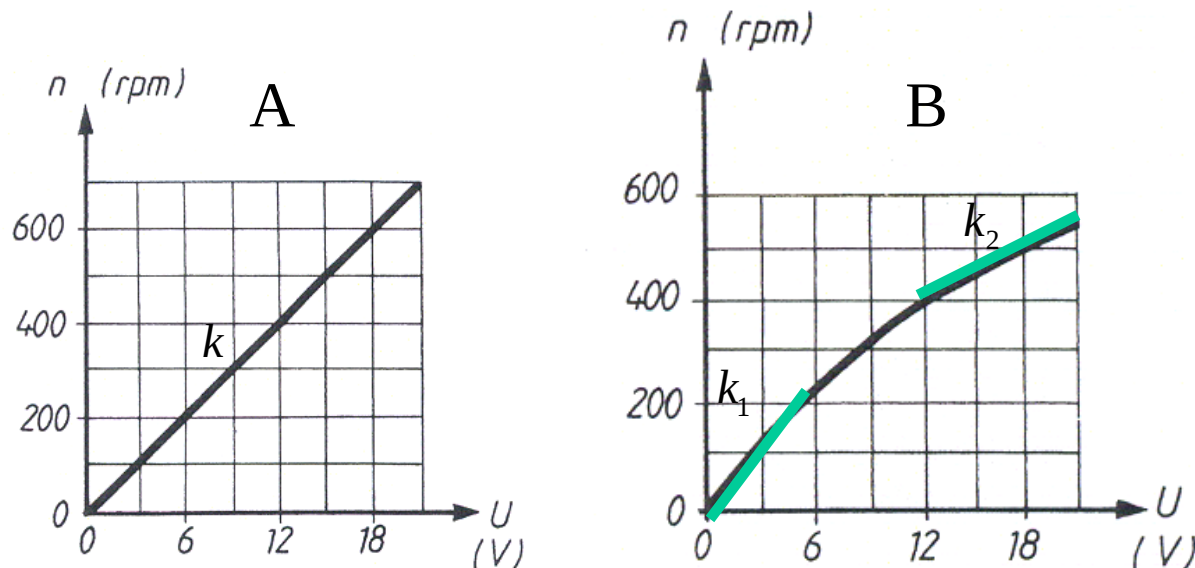


3.1 Facit: Linjärt/Olinjärt

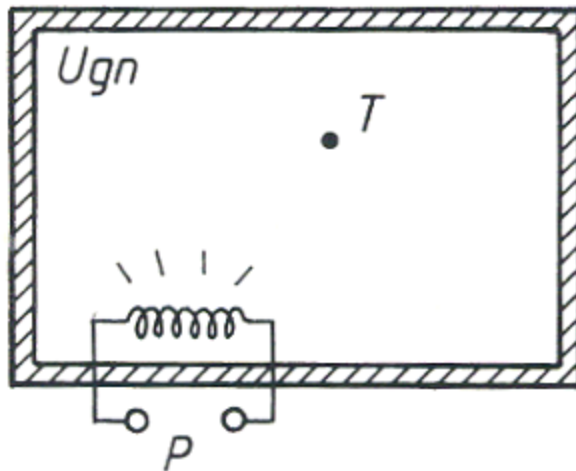
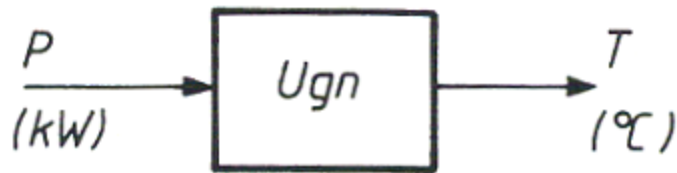
$$k = \frac{\Delta n}{\Delta U} = \frac{600 - 0}{18 - 0} = 33 \text{ [rpm/V]}$$

$$k_1 = \frac{\Delta n}{\Delta U} = \frac{250 - 0}{6 - 0} = 42 \text{ [rpm/V]}$$

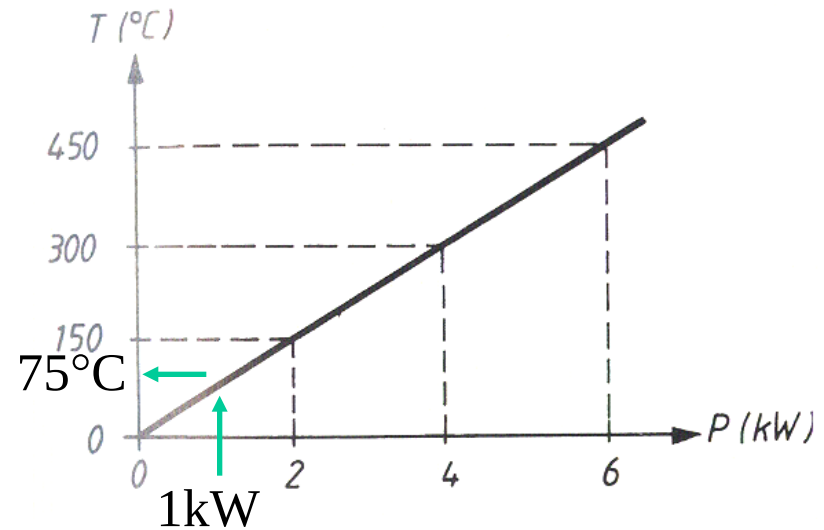
$$k_2 = \frac{\Delta n}{\Delta U} = \frac{700 - 400}{18 - 12} = 17 \text{ [rpm/V]}$$



Statiska och dynamiska egenskaper



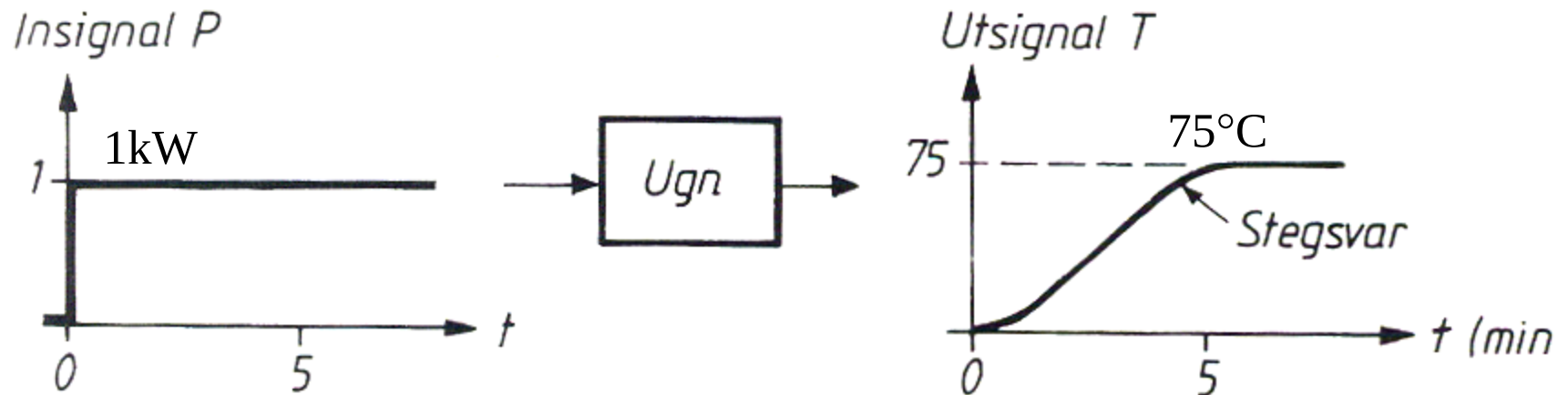
- **Statiskt**



1kW $\rightarrow$ 75°C

Statiska och dynamiska egenskaper

- **Dynamiskt**



1kW $\rightarrow$ 75°C efter ett tag ...

Processer och stegsvar

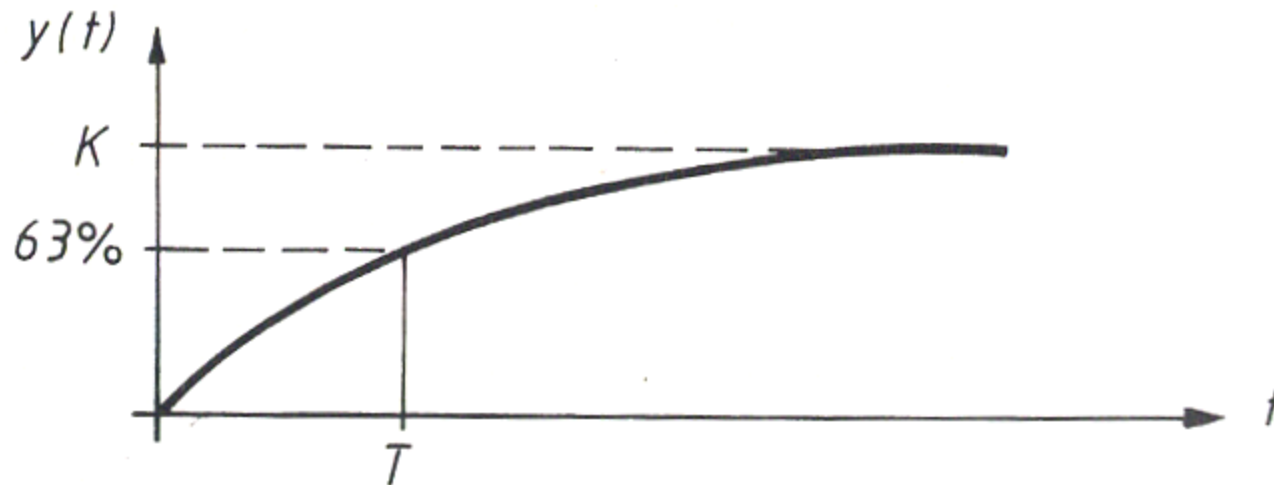
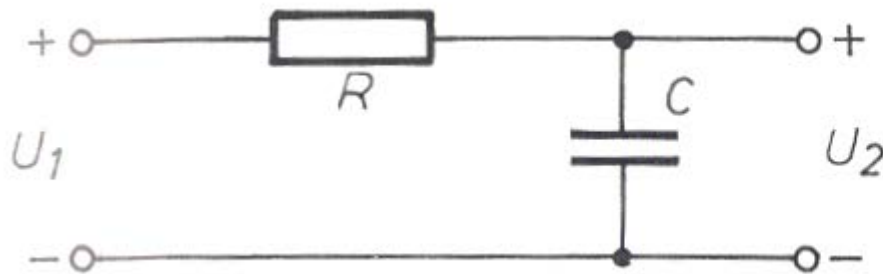
- Om börvärdet r är en **stegändring** får man processtorheten y i form av ett stegsvar. Processen kan ha:
- En tidskonstant
- Två tidskonstanter
- Dödtid
- Integration
- Översväng
- Omvänt stegsvar
- Instabilitet

Testsignal: **stegändring**



Stegsvar – en tidkonstant

Varför inte lite ellära ...



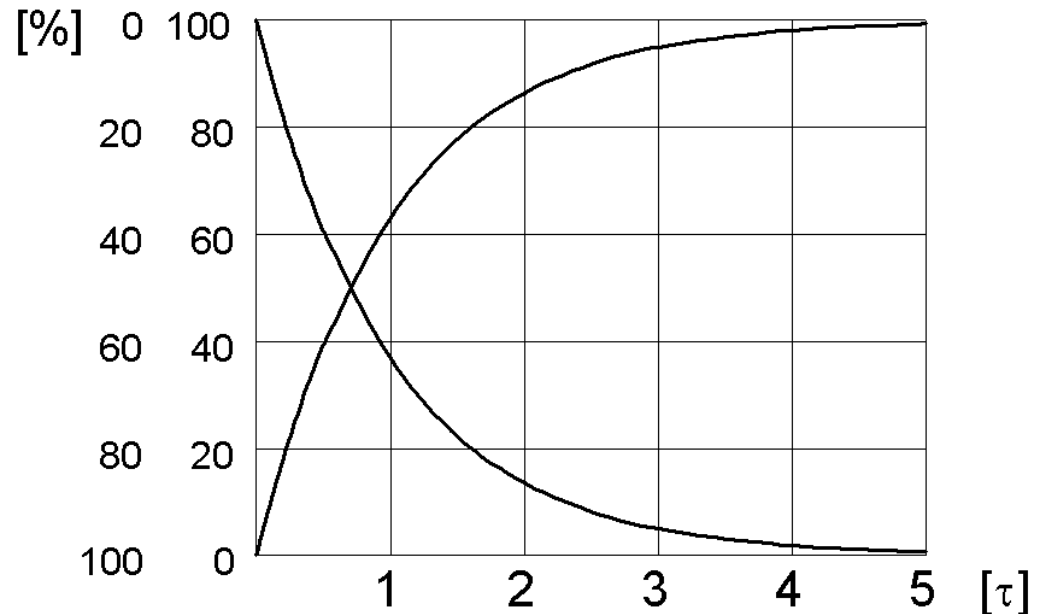
Kommer Du ihåg? Snabbformel för exponentialfunktioner

Typ. Stigande kurva

$$x(t) = 1 - e^{-\frac{t}{\tau}}$$

Typ. Fallande kurva

$$x(t) = e^{-\frac{t}{\tau}}$$



Snabbformel (ger direkt funktionen för en stigande/fallande kurva):

x_0 = storhetens startvärde

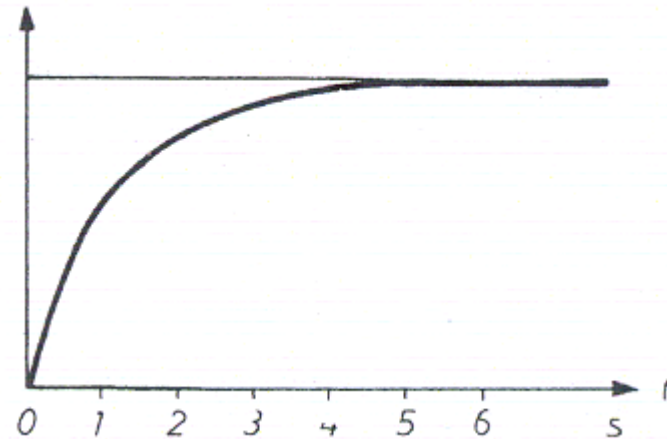
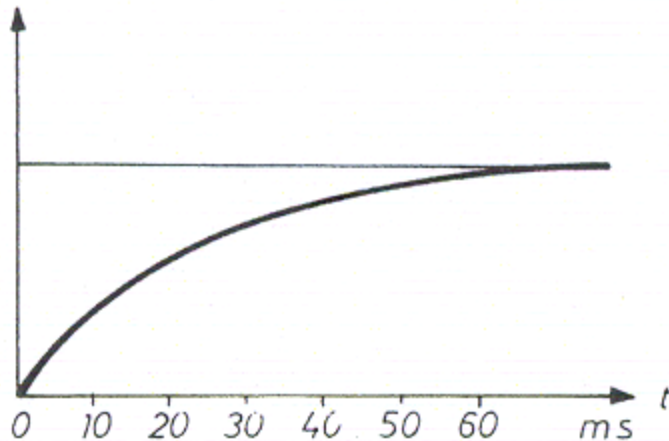
x_∞ = storhetens slutvärde

τ = förloppets tidkonstant

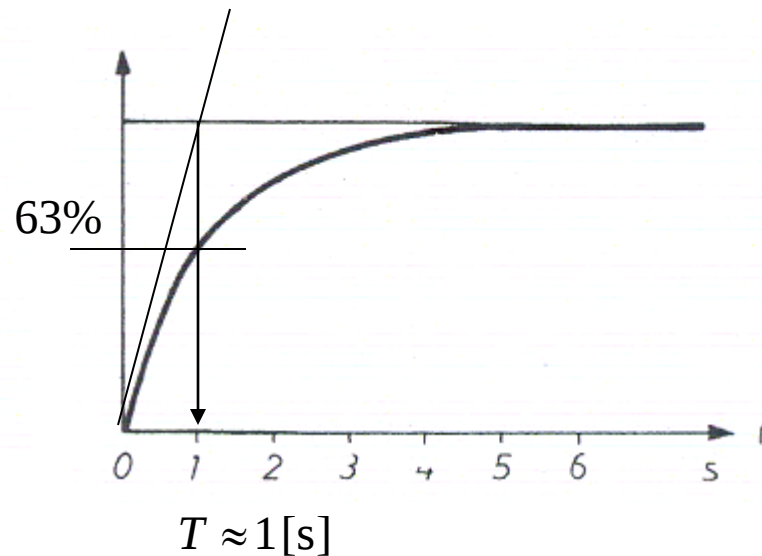
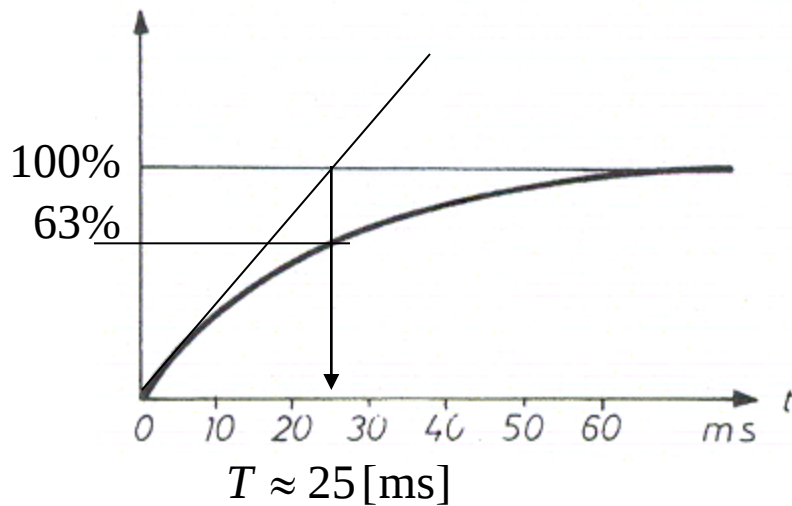
$$x(t) = x_\infty - (x_\infty - x_0)e^{-\frac{t}{\tau}}$$

Ö 3.2 Tidkonstant

Figuren visar stegsvaret för två processer med "en tidkonstant". Hur stor är tidkonstanten T för de båda processerna?



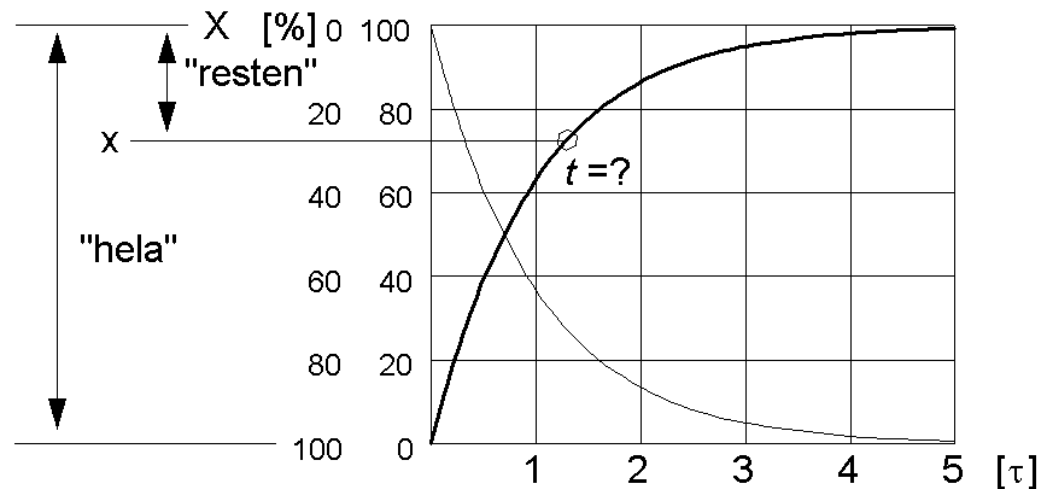
3.2 Facit: Tidkonstant



Tidkonstanten där tangenten skär asymptoten, eller vid 63% av slutvärdet.

”Hela swinget genom resten”

Kommer Du ihåg?



$$x = X(1 - e^{-\frac{t}{\tau}}) \Rightarrow \frac{x}{X} = 1 - e^{-\frac{t}{\tau}} \Rightarrow \ln\left(1 - \frac{x}{X}\right) = -\frac{t}{\tau} \Rightarrow t = -\tau \cdot \ln \frac{X - x}{X}$$

$$t = \tau \cdot \ln \frac{X}{X - x} = \tau \cdot \ln \frac{\text{"hela"}}{\text{"resten"}}$$

Ö 3.6 Tidkonstant

- a) För en viss process med ”en tidkonstant” mätte man att det tog 12 sekunder för utsignalen att nå 50% av sitt slutvärde vid en stegformad signaländring. Hur stor är processens tidkonstant?
- b) För en annan process tog det 10 minuter att nå 90% av slutvärdet. Hur stor var processens tidkonstant?

3.6 Facit: Tidkonstant

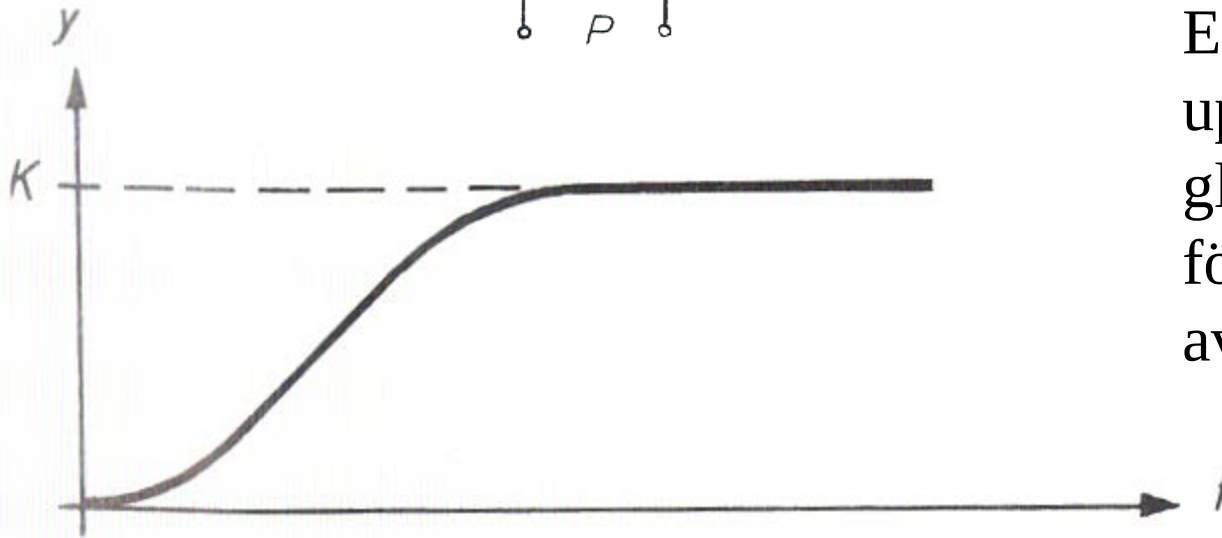
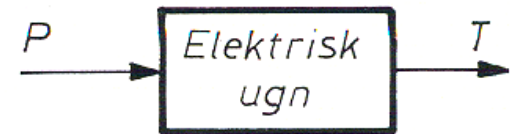
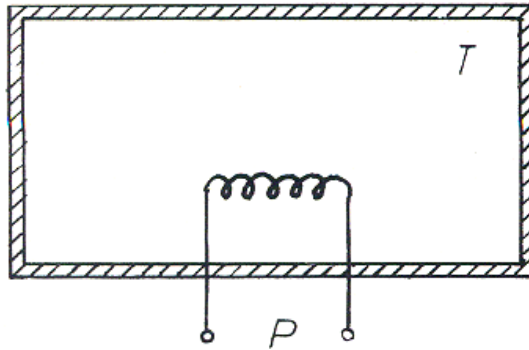
a) 12 sekunder för 50% $T = ?$

$$t = T \cdot \ln \frac{\text{"hela"}}{\text{"resten"}} \Rightarrow 12 = T \cdot \ln \frac{100-0}{100-50} \Rightarrow T = \frac{12}{\ln 2} = 17,3 [\text{s}]$$

b) 10 minuter för 90% $T = ?$

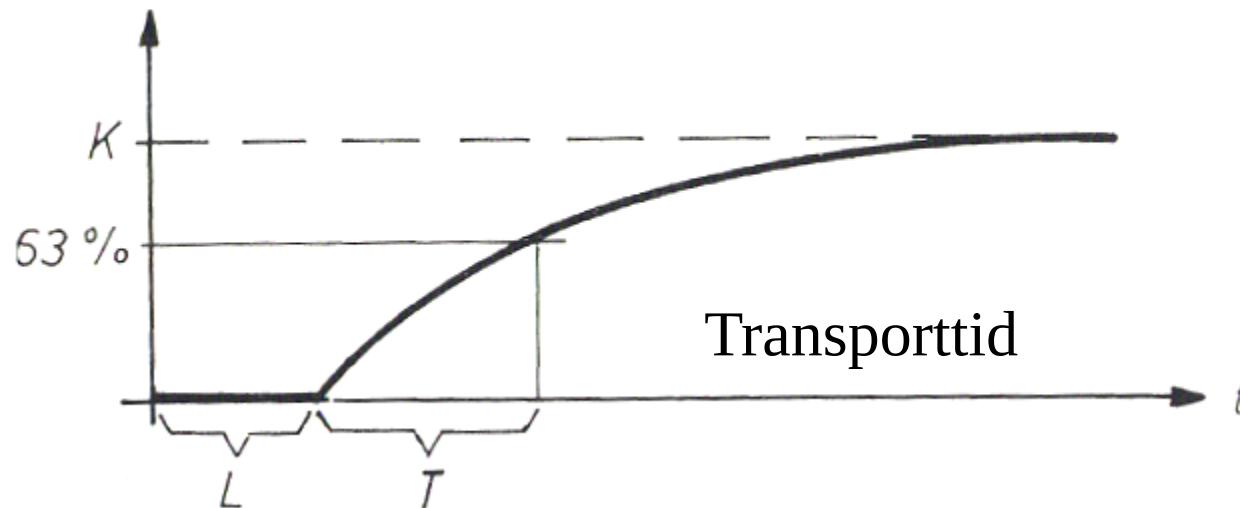
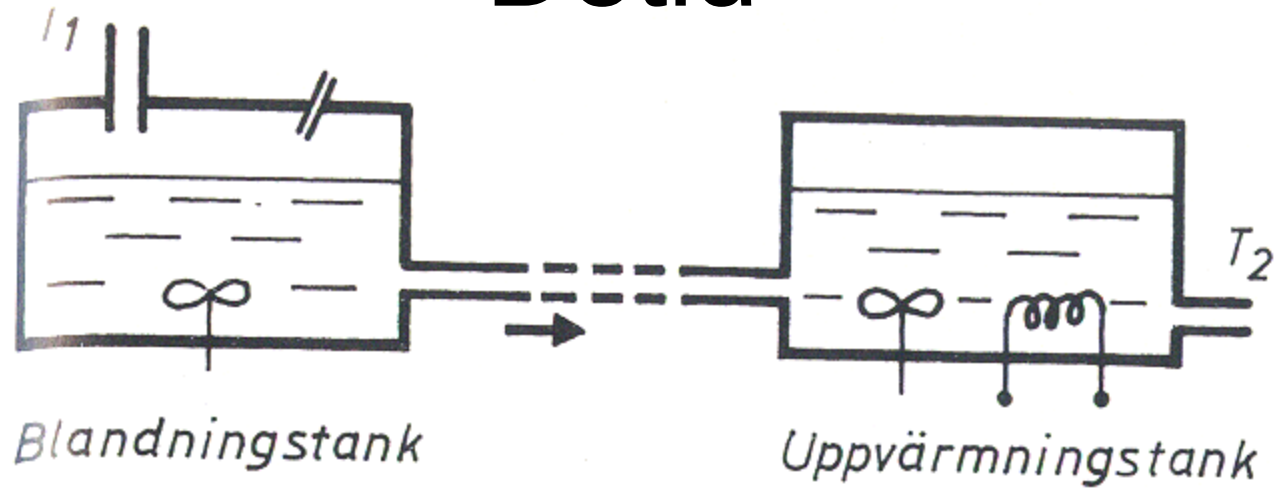
$$t = T \cdot \ln \frac{\text{"hela"}}{\text{"resten"}} \Rightarrow 10 = T \cdot \ln \frac{100-0}{100-90} \Rightarrow T = \frac{10}{\ln 10} = 4,34 [\text{min}]$$

Två tidkonstanter



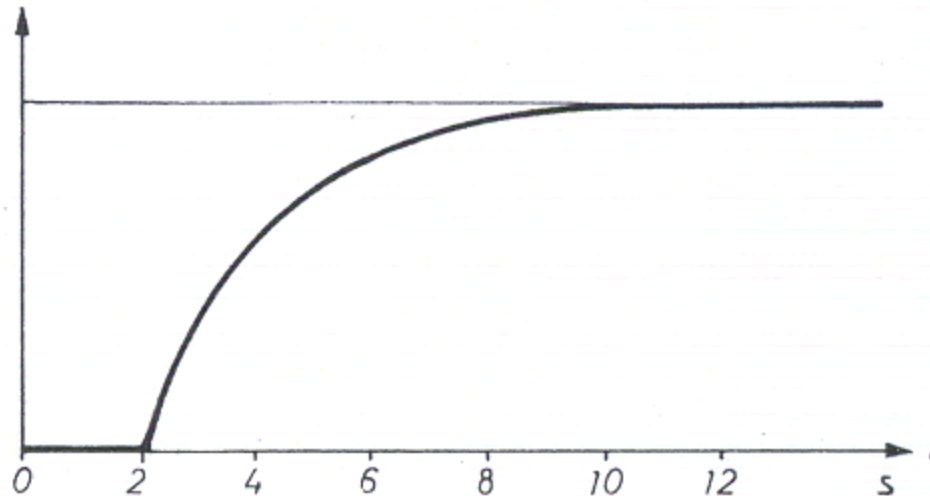
En tidkonstant för uppvärmningen av glödtråden den andra för uppvärmningen av ungsluften.

Dötid

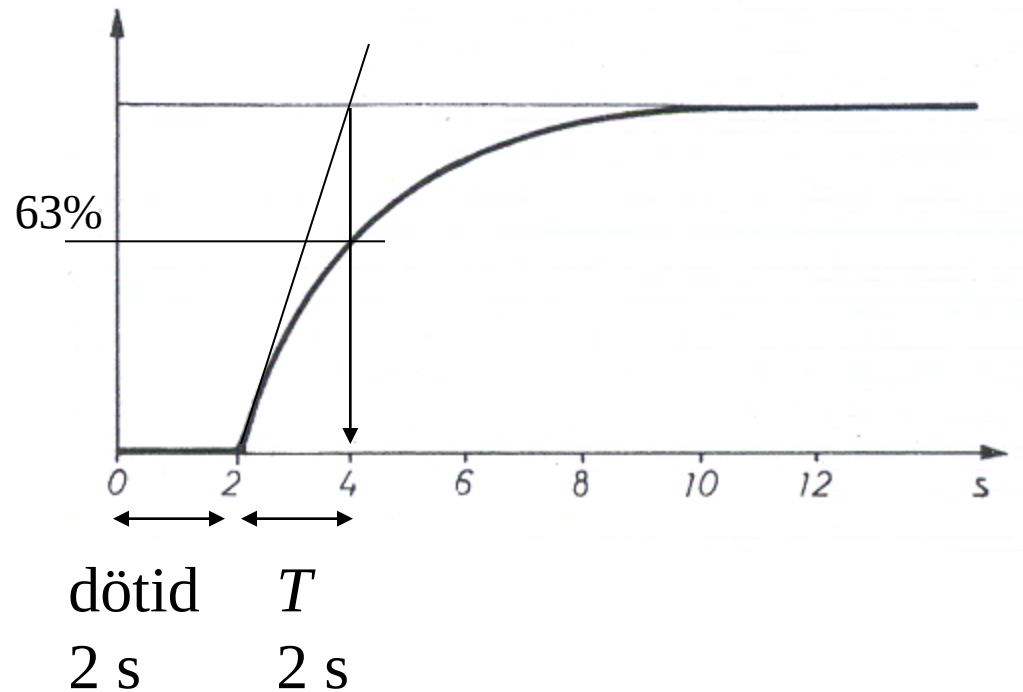


3.3 Tidkonstant och döttid

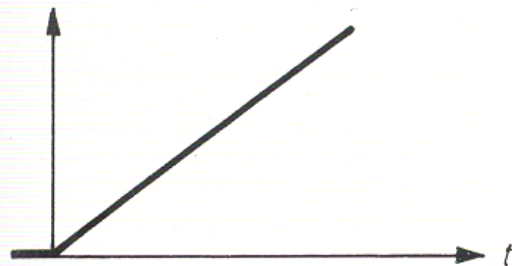
Figuren visar stegsvaret för en process med ”döttid och en tidkonstant”. Hur lång är döttiden och stor är tidkonstanten T ?



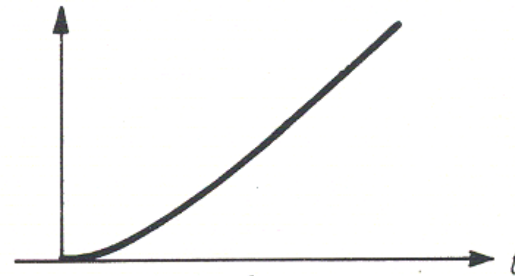
3.3 Facit: Tidkonstant och dötid



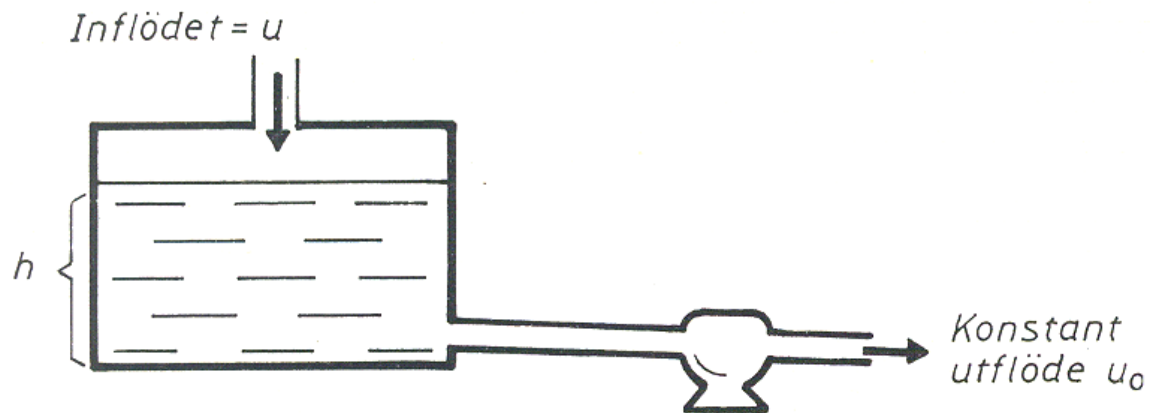
Integrering



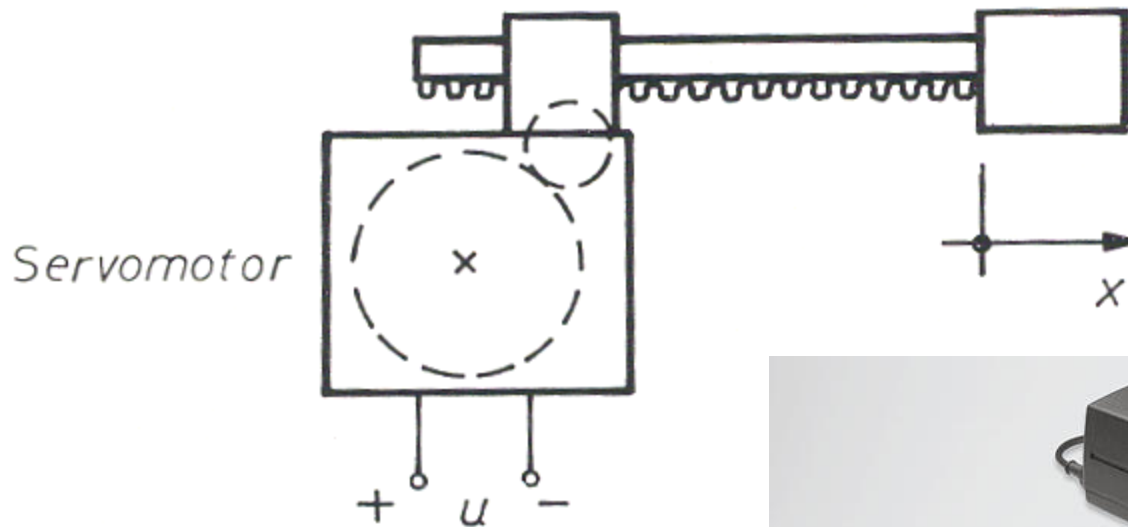
Process med ren integration



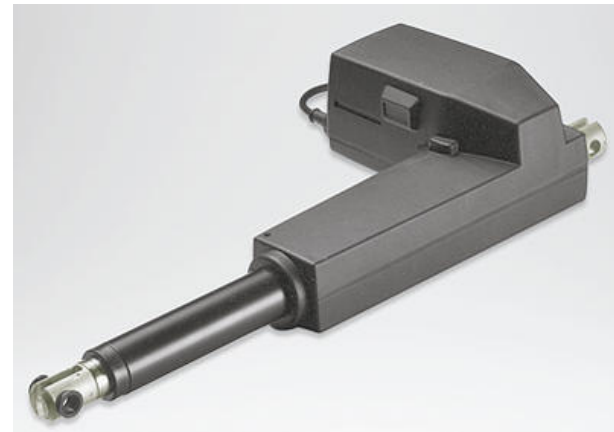
*Process med integration
+ tidskonstant*



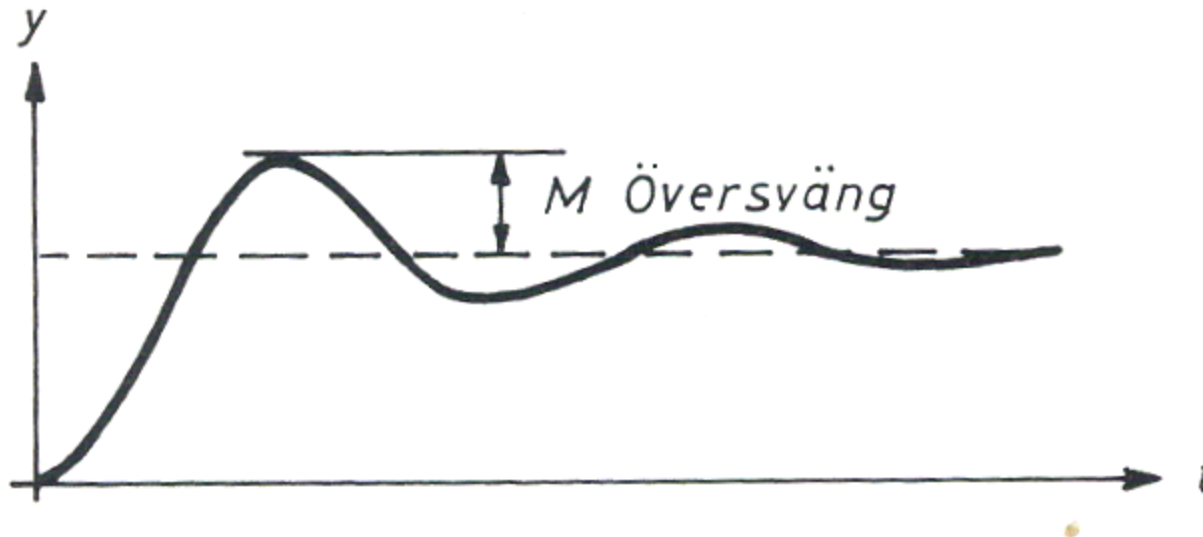
Integrerande



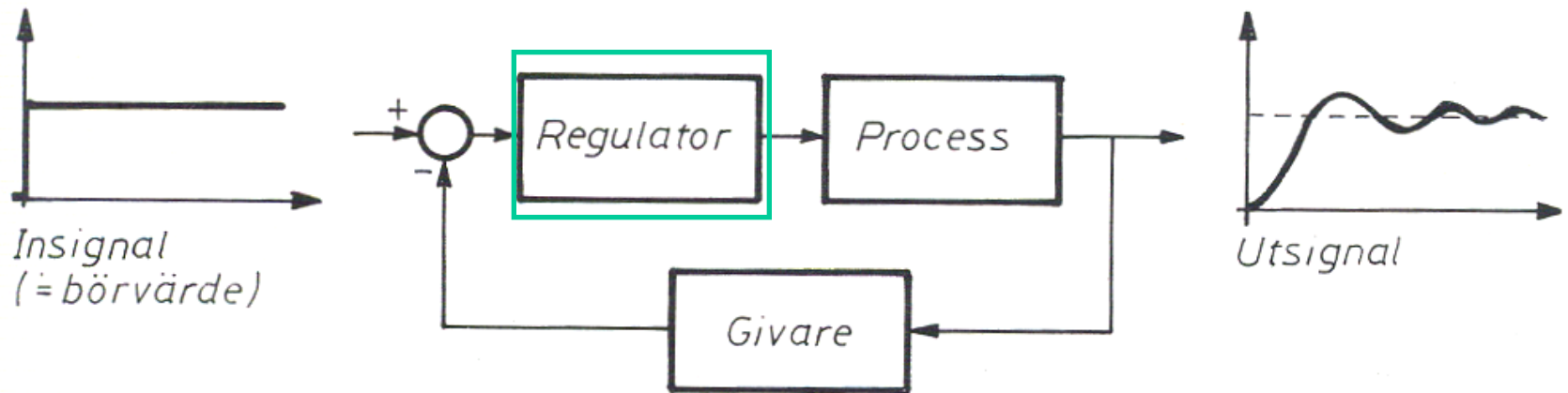
Servomotorns position x är styrspänningen u tidsintegrerad.



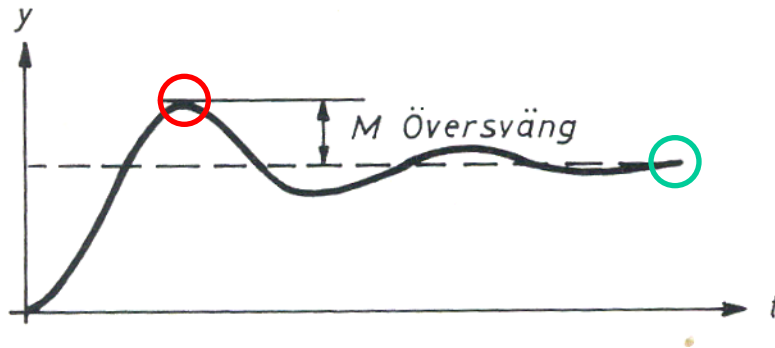
Översväng



Med "regulatorn" kan man *minimera* översväng!



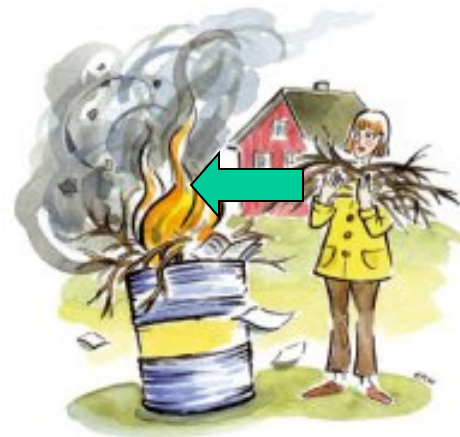
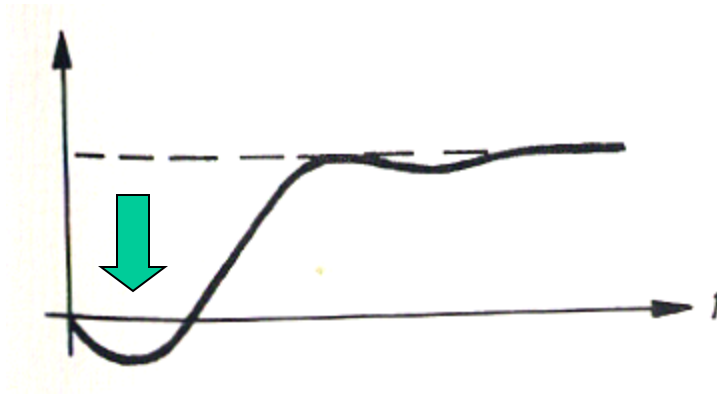
Översväng?



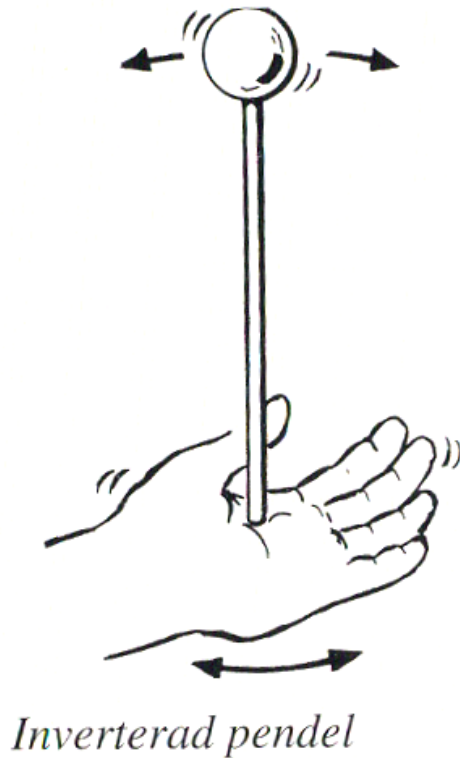
En styrd fräsmaskin får *inte* ha någon översväng! När den till sist når rätt värde är skadan redan skedd!



Omvänt stegsvar?



Inverterad pendel – instabilt stegsvar



Egenskaper som återkoppling och regulator kan förbättra

Störningsdämpning

- Störningarnas frekvens har betydelse

Stabilitet

- BIBO = **B**egränsad **I**nsignal → **B**egränsad **O**utsignal

Snabbhet

- Stigtid t_r eller Insvängningstid $t_{s5\%}$

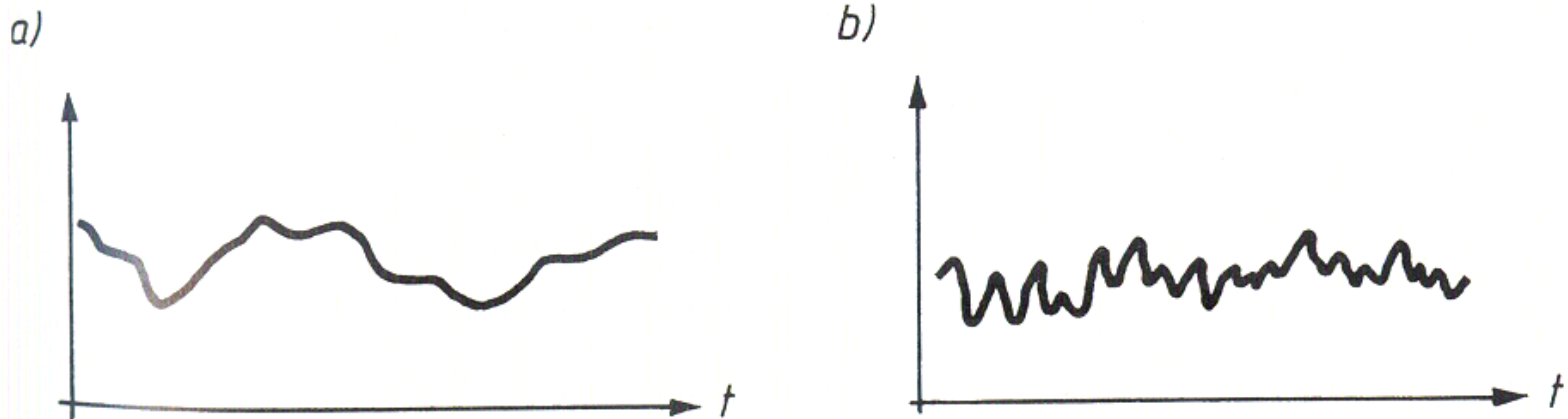
Statisk noggrannhet

- Kvarvarande fel e efter lång tid är motsatsen till **Robusthet**
- Okänslighet för systemets dynamiska variationer, eller slitage

Styrsignalsaktivitet

- Tillgänglig styrsignal är oftast begränsad

• Störningsundertryckning

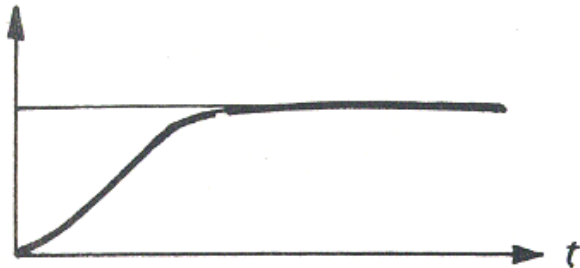


a) *Långsamt varierande störningar.*

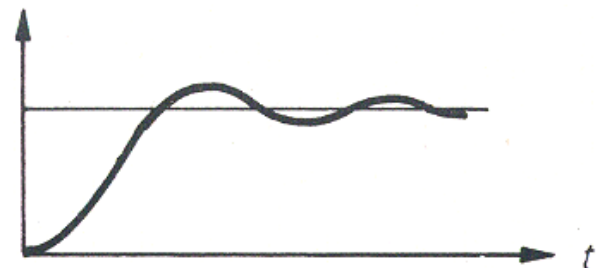
b) *Snabbt varierande störningar (hög frekvens).*

- **Lågfrekventa** eller **högfrekventa** störningar kan undertryckas

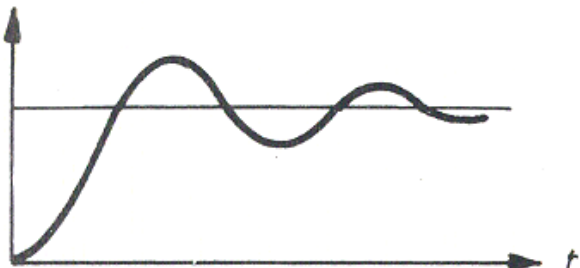
• Stabilitet



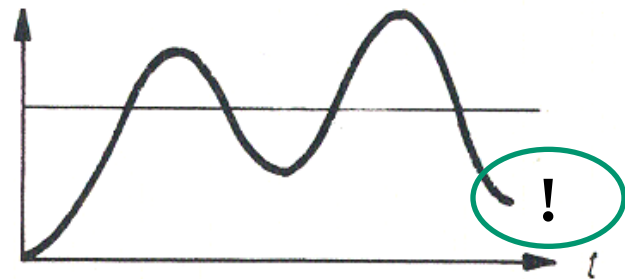
*System med god stabilitet
(stora stabilitetsmarginaler)*



*System med något sämre
stabilitet*



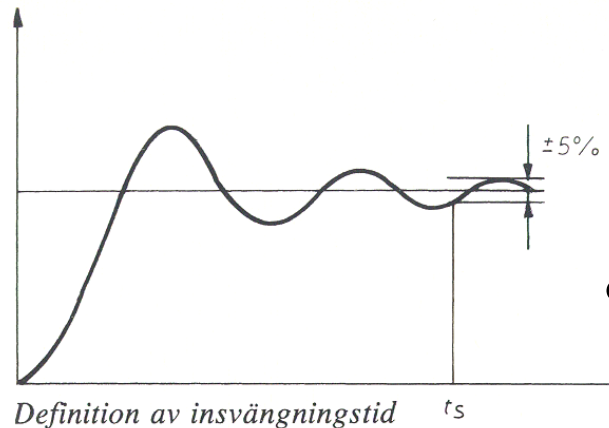
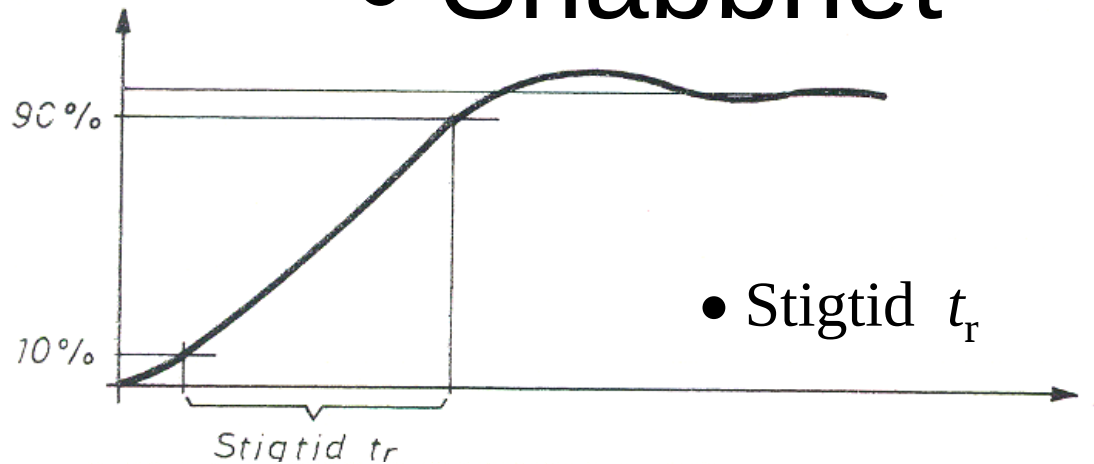
*System med dålig stabilitet
(små stabilitetsmarginaler)*



Instabilt system

- Systemets **stabilitet** kan förbättras

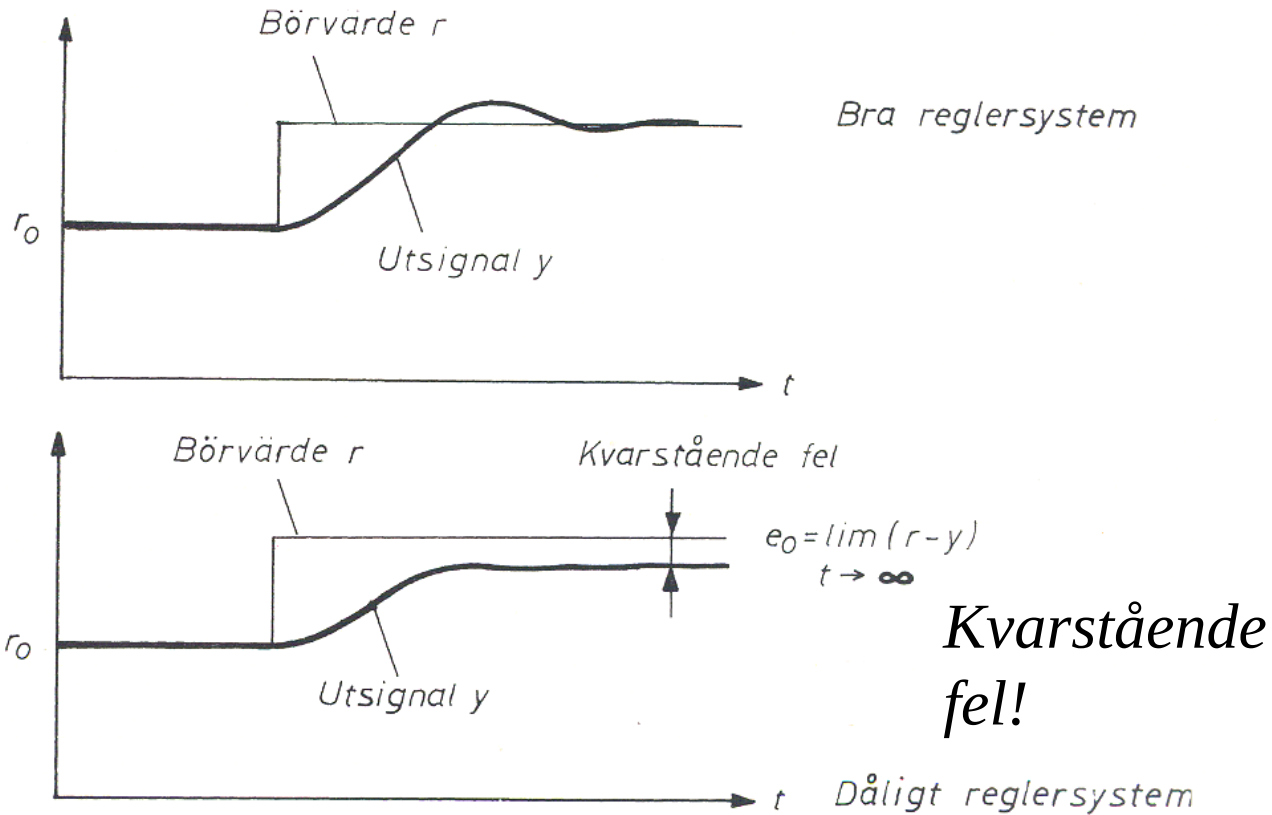
• Snabbhet



• Insvängningstid $t_{s5\%}$

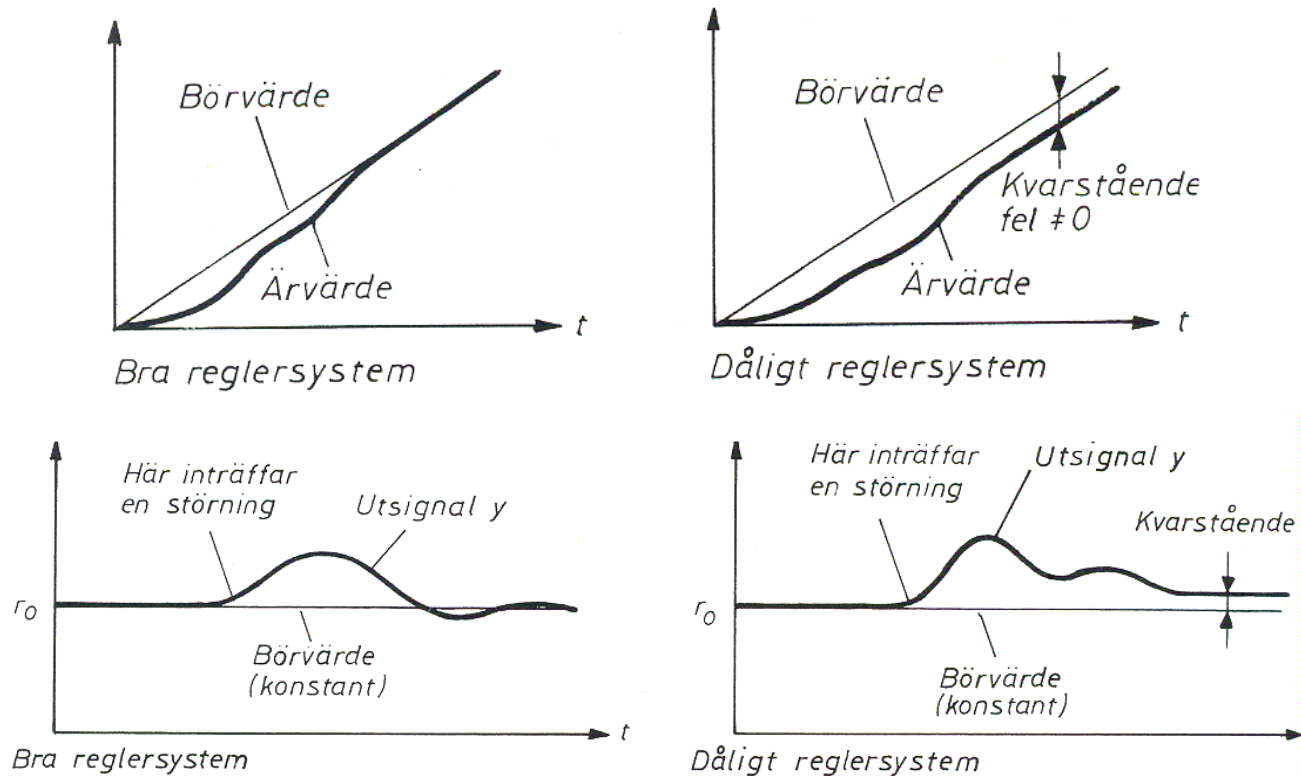
- Systemets **stigtid** eller **insvängningstid** kan förbättras

- Statisk noggrannhet



- Statiska **noggrannheten** efter stegändring kan förbättras

- Statisk noggrannhet



- Statiska noggrannheten efter **börvärdesändring** eller **störning** kan förbättras

Begreppet **typsiffra**

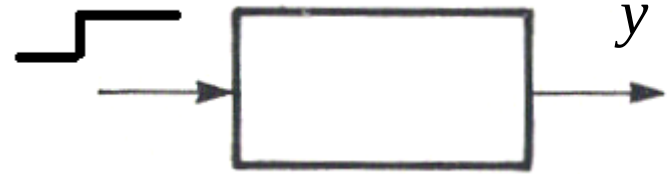
- **Typ noll** hos systemet : Processens signal går mot ett ändligt värde vid en stegformad insignal
- **Typ ett** hos systemet : Processens signal ***växer*** oupphörligt vid en stegformad insignal

(Senare i kursen)

- Typsiffran = antalet integratorer ($1/s$) i systemets slingförstärkning

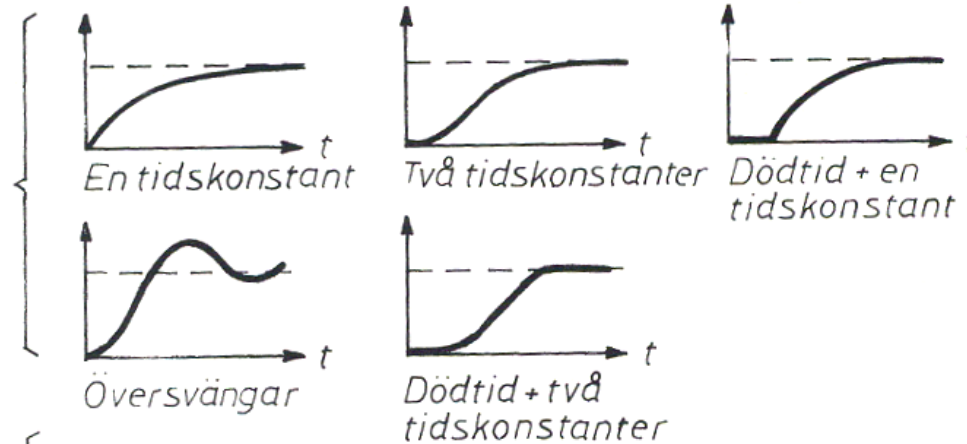
Typsiffra (öppen krets)

Testsignal: stegändring



#0

System av
typ noll



#1

System av
typ ett

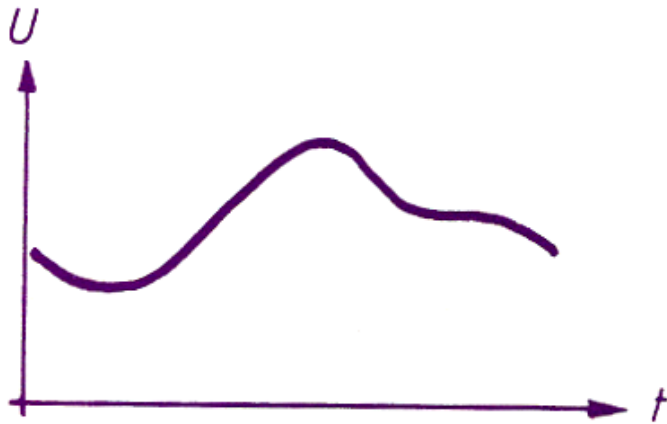


Stegsvar hos en öppen reglerkrets (regulator + process) för några olika system av typ noll respektive ett

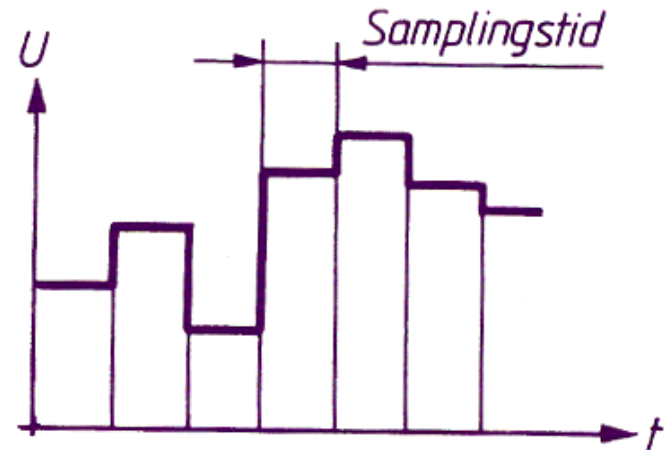
Några klassiska reglerprinciper

- Tvålägesreglering (on/off)
- Flerlägesreglering
- Proportionell reglering
- Integrerande reglering
- PI -reglering
- Deriverande verkan och PID-reglering
- PD-reglering

Analog eller digital reglering?



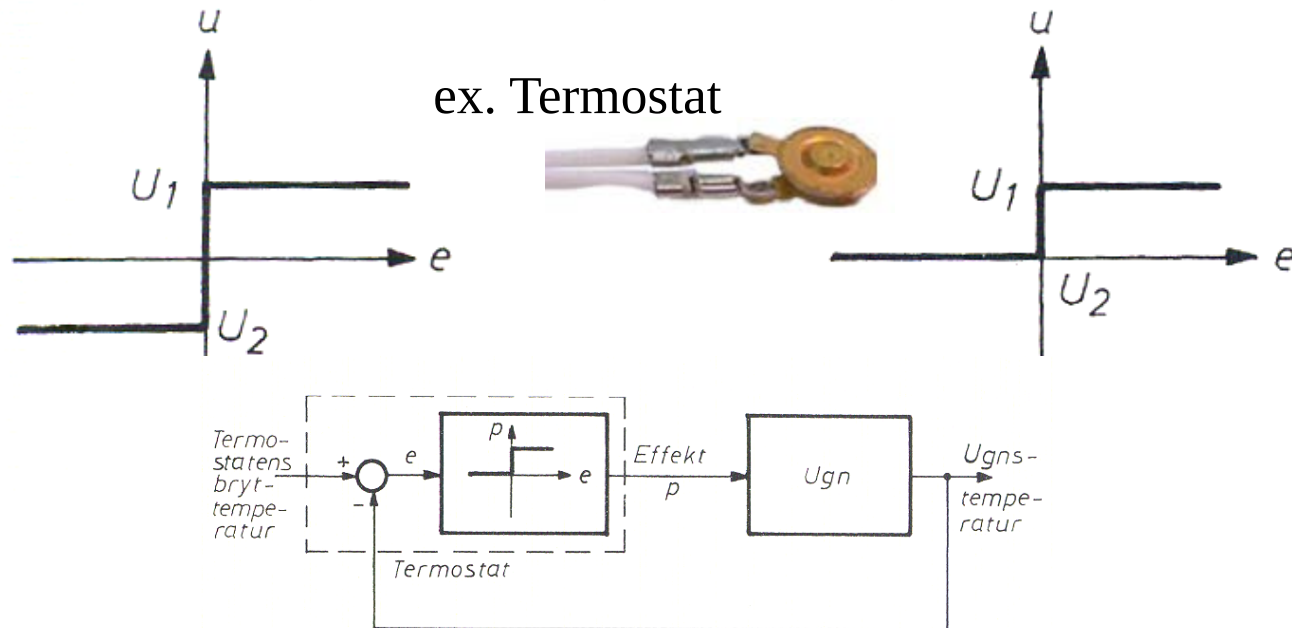
a) Vid analog reglering är styr-signalen en kontinuerlig signal



b) Vid digital reglering är styr-signalen normalt en styckvis konstant signal

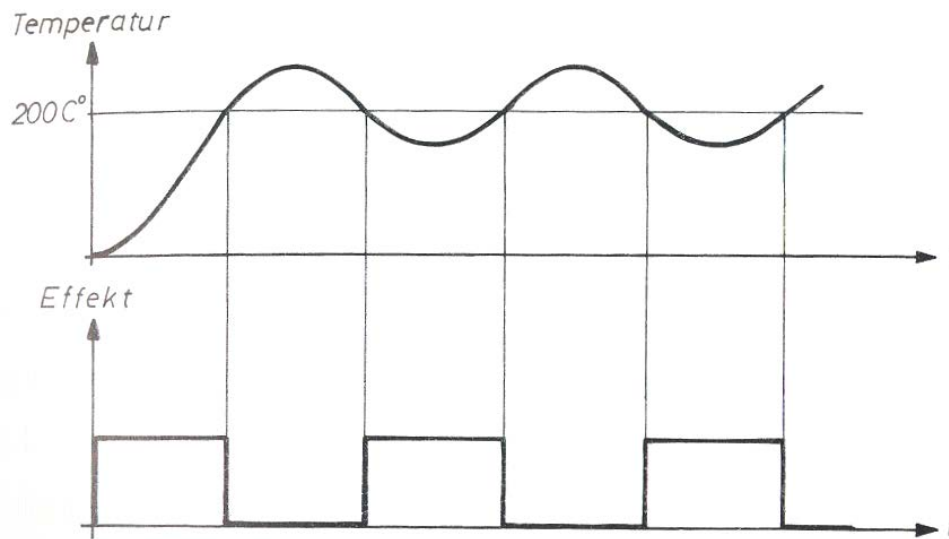
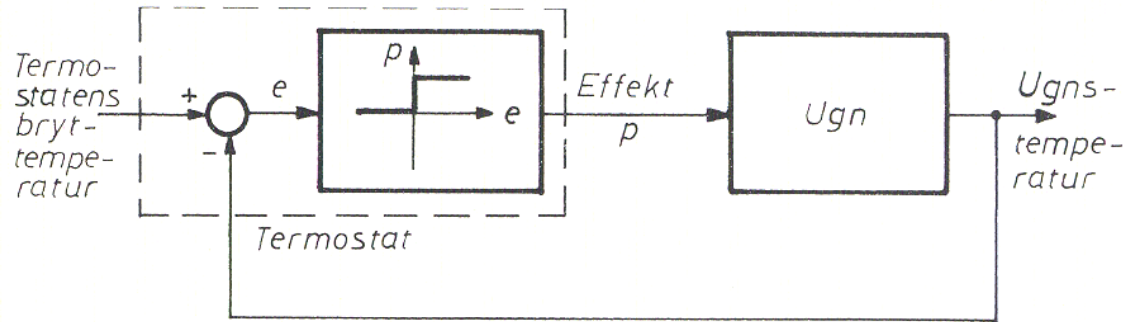
Moderna regulatorer använder alltid digital teknik.
Reglerteorin kan vara analog eller digital. Kursen innehåller bådadera!

Tvålägesreglering on/off



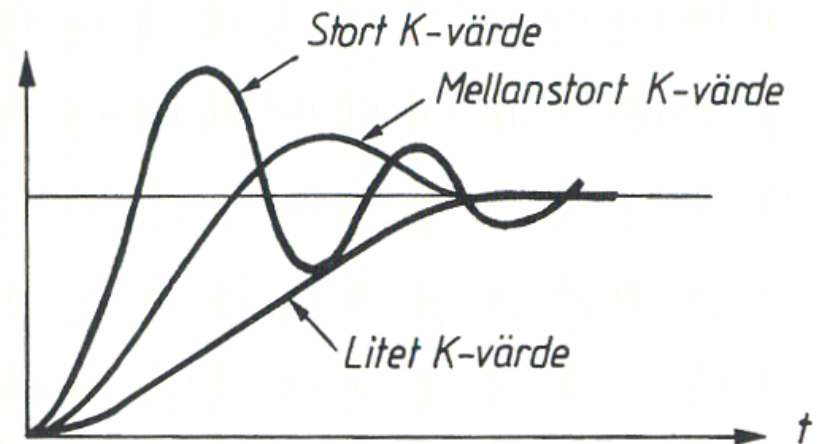
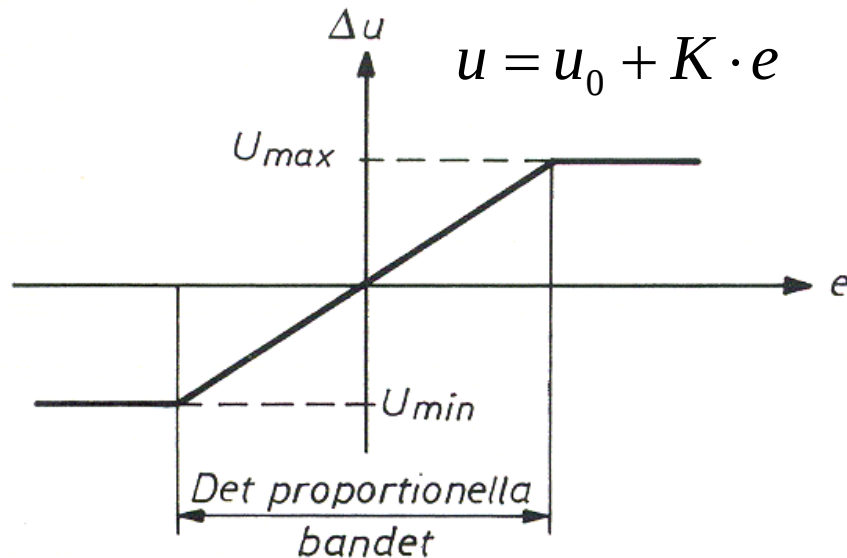
En enkel form av reglering. Ger alltid upphov till svängningar. Ständiga växlingar av styrsignalvärdena kan ge stort mekaniskt slitage av styrutrustningen.

Termostatregering



Stegsvar vid termostatregering

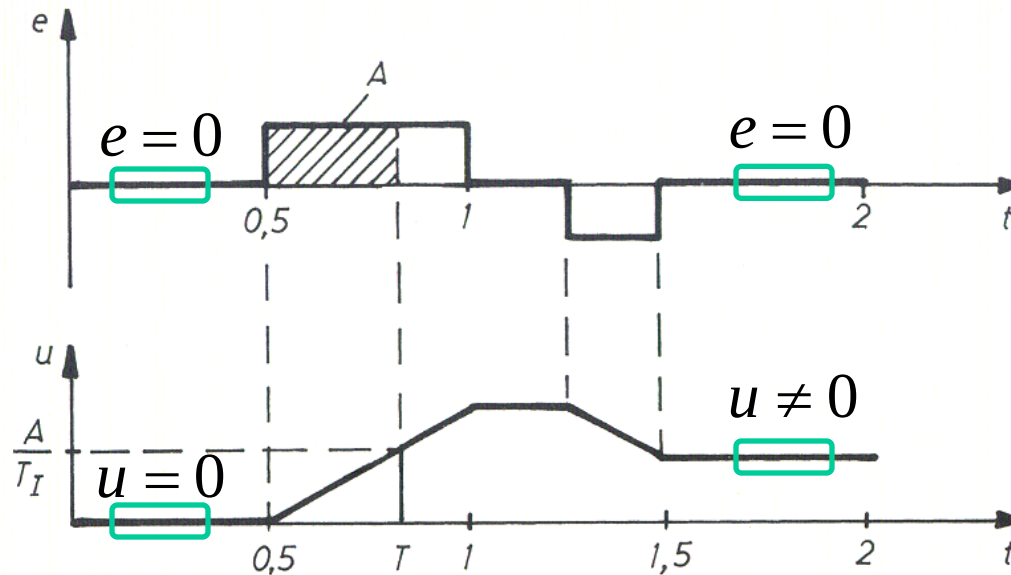
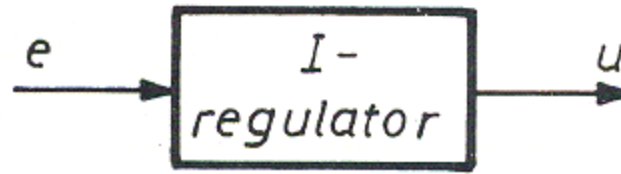
Proportionell reglering



$u = u_0$ normalvärde då felet $e = 0$. K är förstärkningen, kurvans lutning $\Delta u / \Delta e$. U_{max} och U_{min} är regleringens **begränsning**.

Integrerande reglering

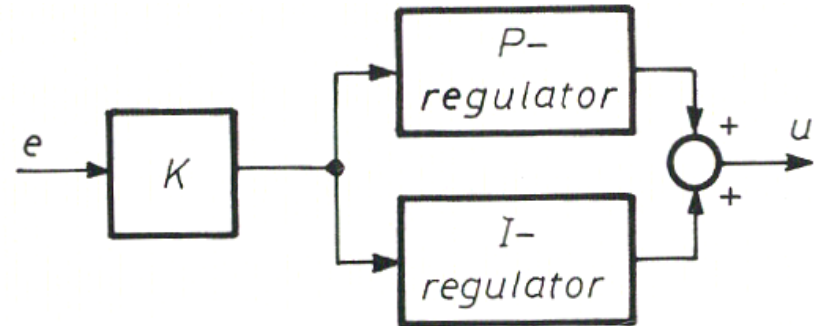
$$u(t) = \frac{1}{T_I} \int_0^t e(t) dt$$



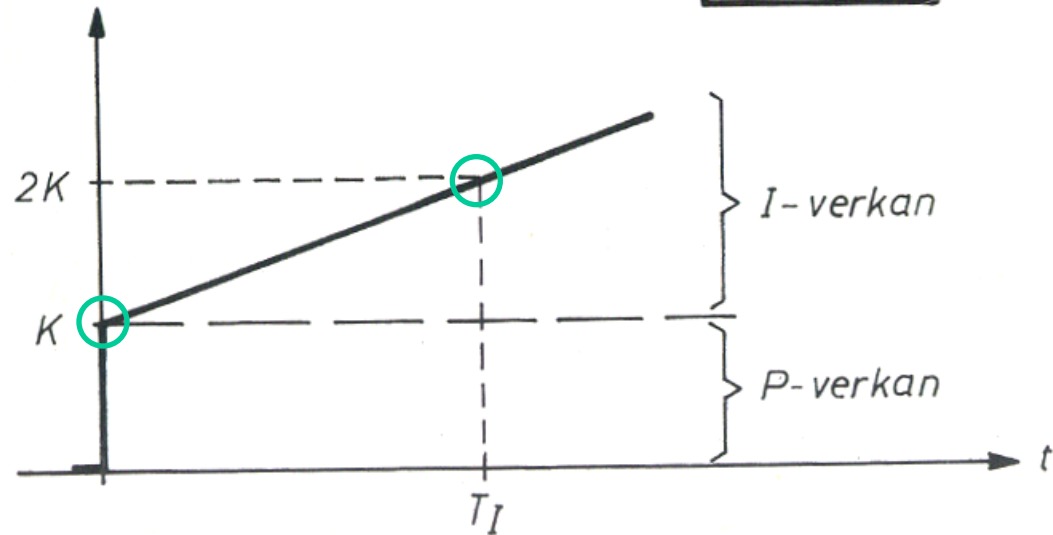
ex. på
integrerad
felsignal

PI-reglering

$$u(t) = K \left(e(t) + \frac{1}{T_I} \int_0^t e(t) dt \right)$$

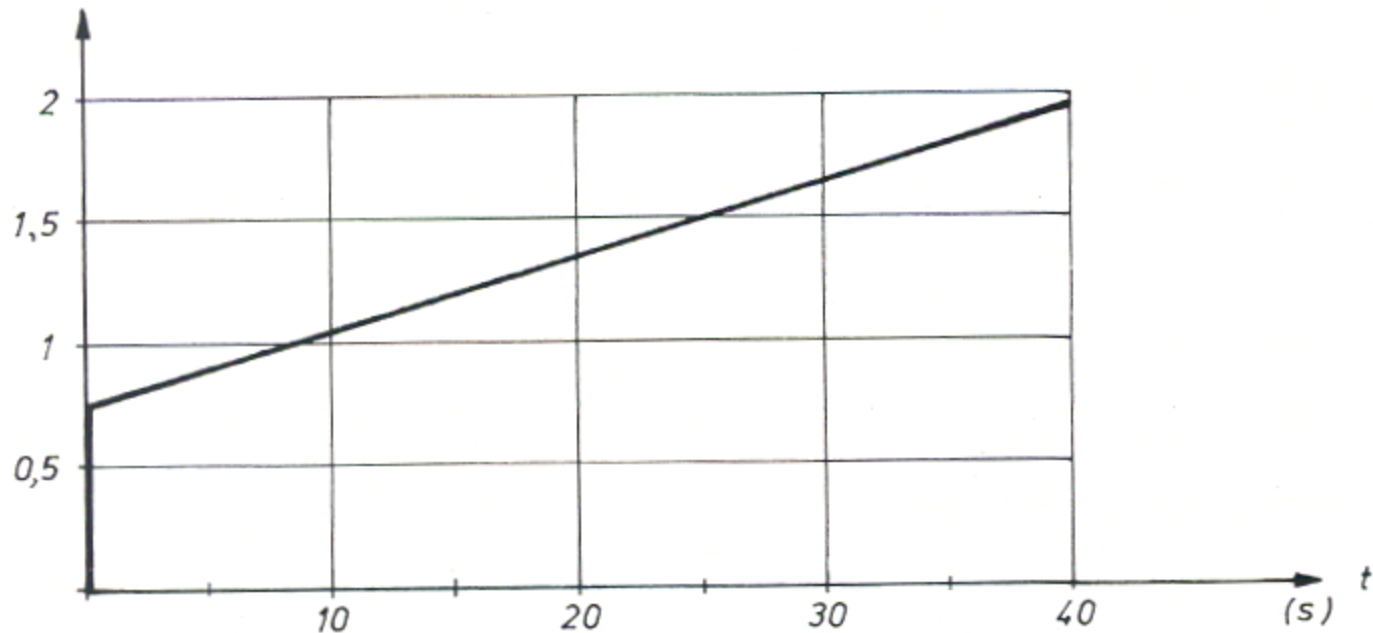


PI-regulatorns
stegsvar på ett
enhetssteg.



4.7 PI-regulator

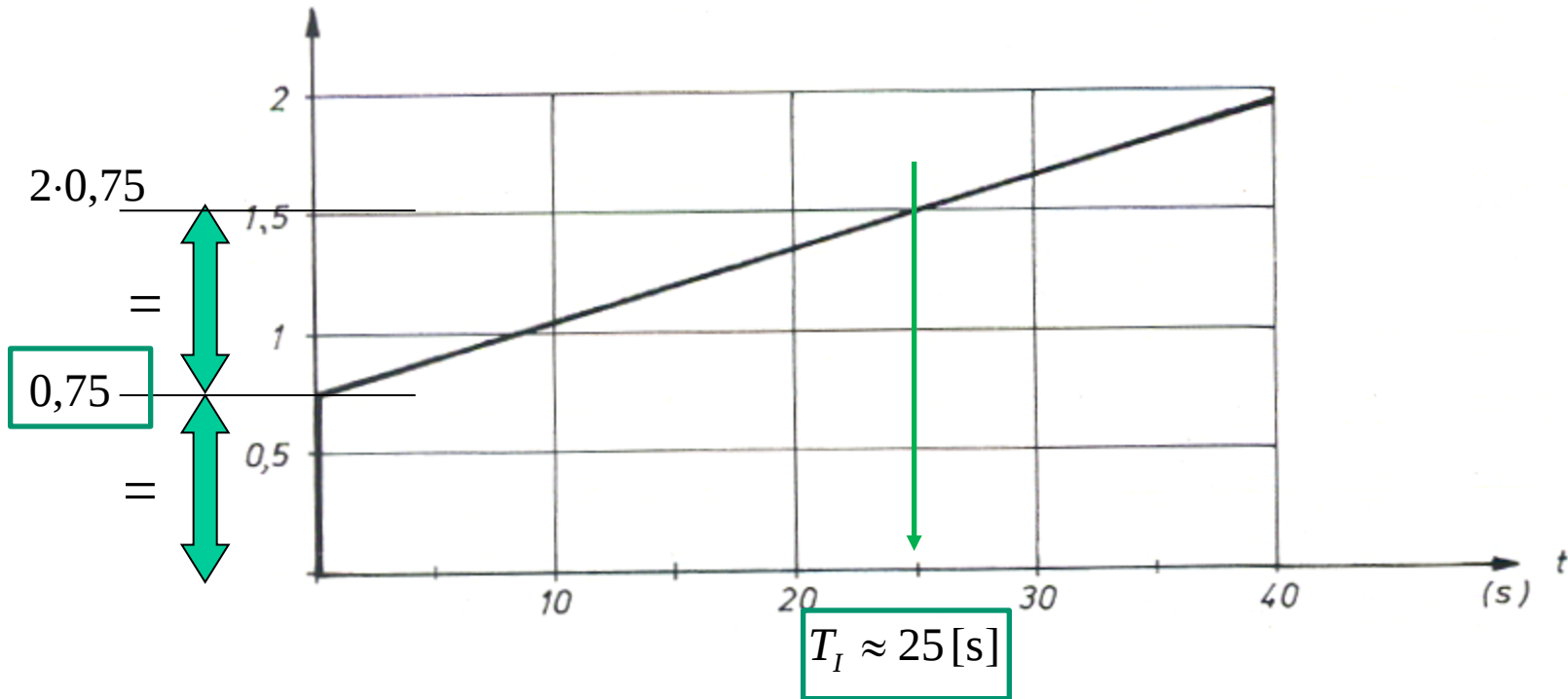
Figuren visar stegsvaret för en PI-regulator. Bestäm förstärkningen K och integrationstiden T_I .



4.7 Facit: PI-regulator

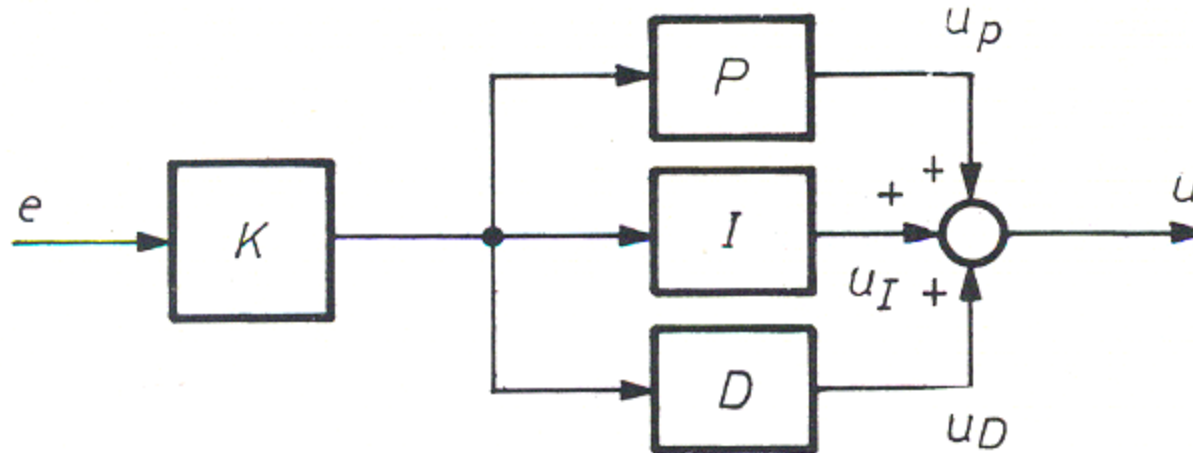
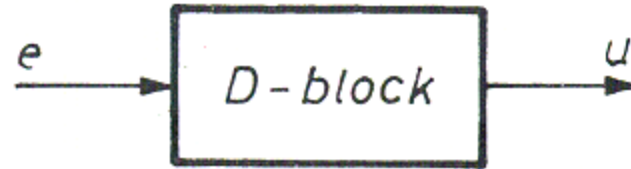
$$K = 0,75$$

$$u(t) = K \left(e(t) + \frac{1}{T_I} \int_0^t e(t) dt \right)$$



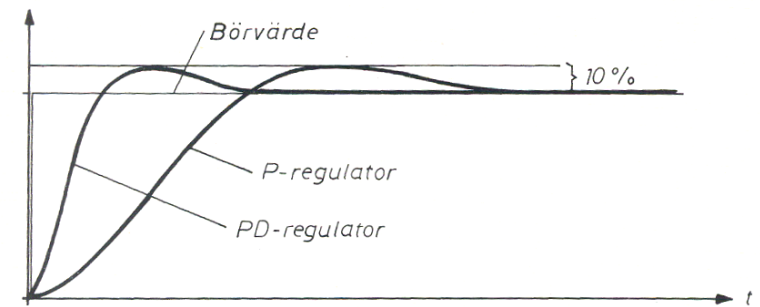
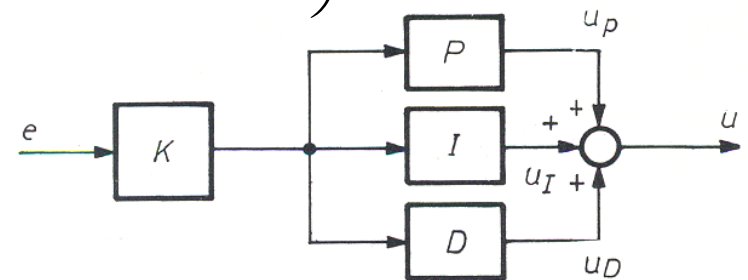
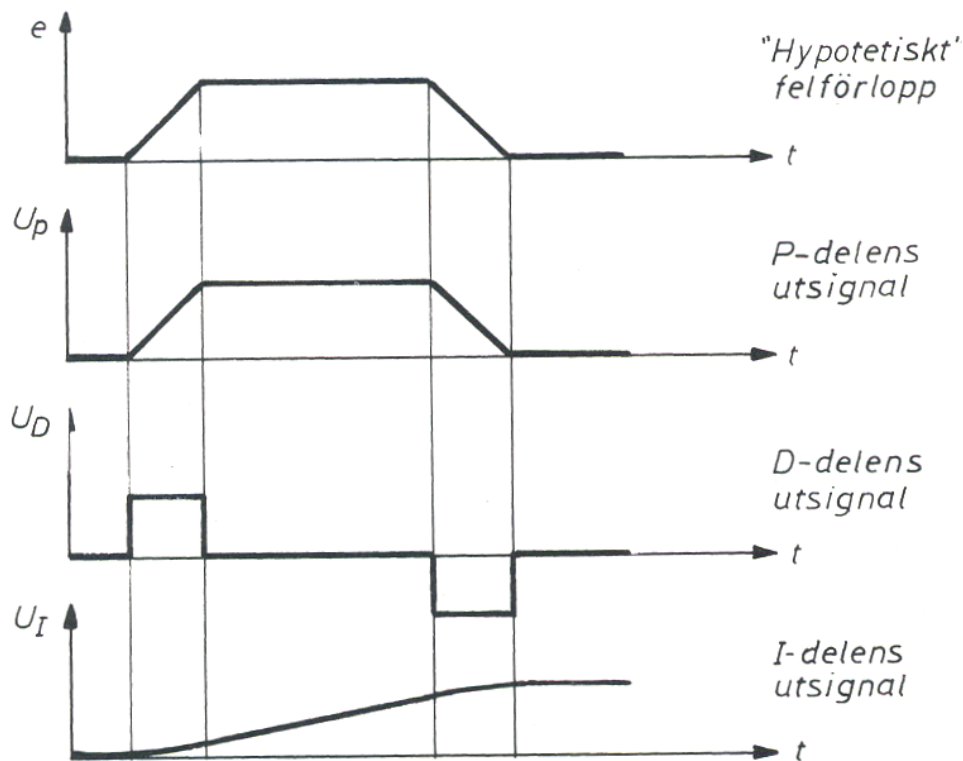
Deriverande verkan och PID-reglering

$$u(t) = T_D \frac{d}{dt} e(t)$$



PID-reglering

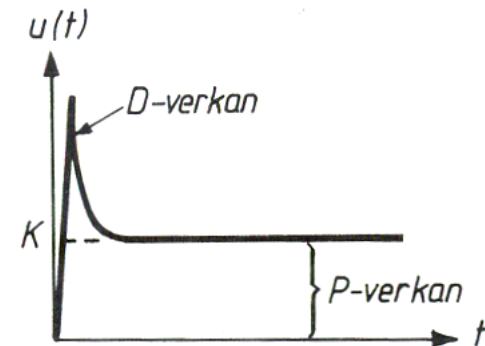
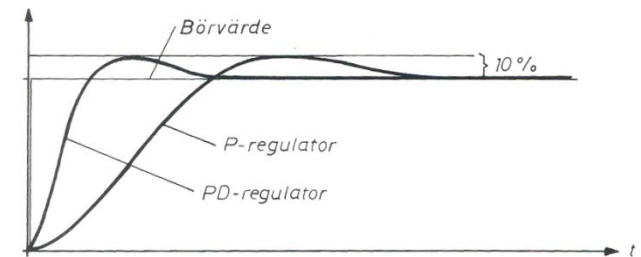
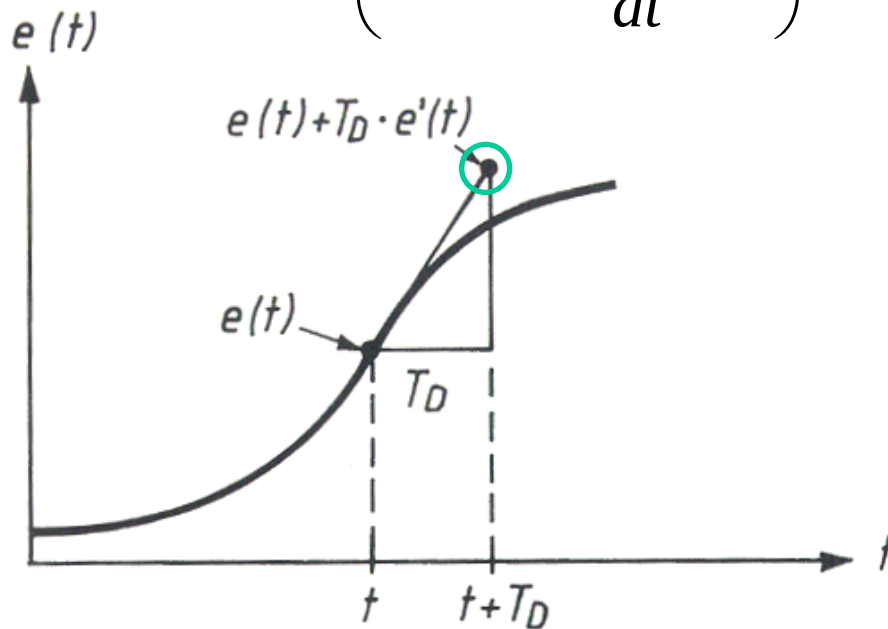
$$u(t) = K \left(e(t) + \frac{1}{T_I} \int_0^t e(t) dt + T_D \frac{d}{dt} e(t) \right)$$



D-signalen kan snabba på insvängningsförloppet.

Tolkning av PD-reglering

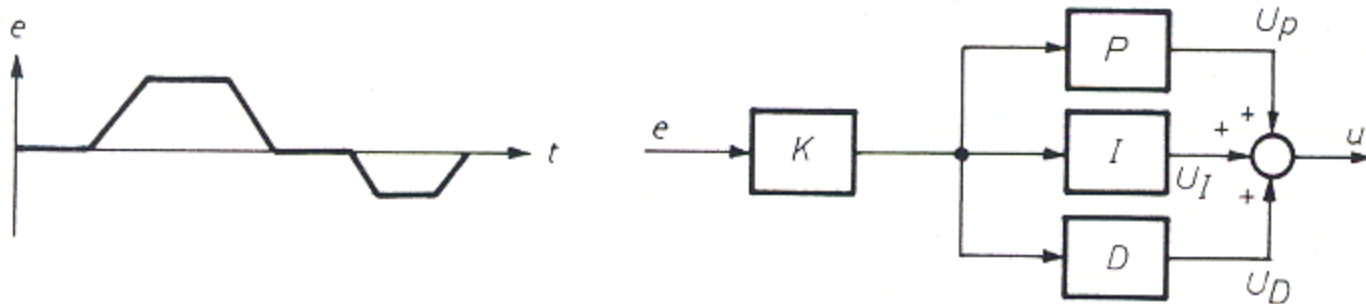
$$u(t) = K \left(e(t) + T_D \frac{d}{dt} e(t) \right)$$



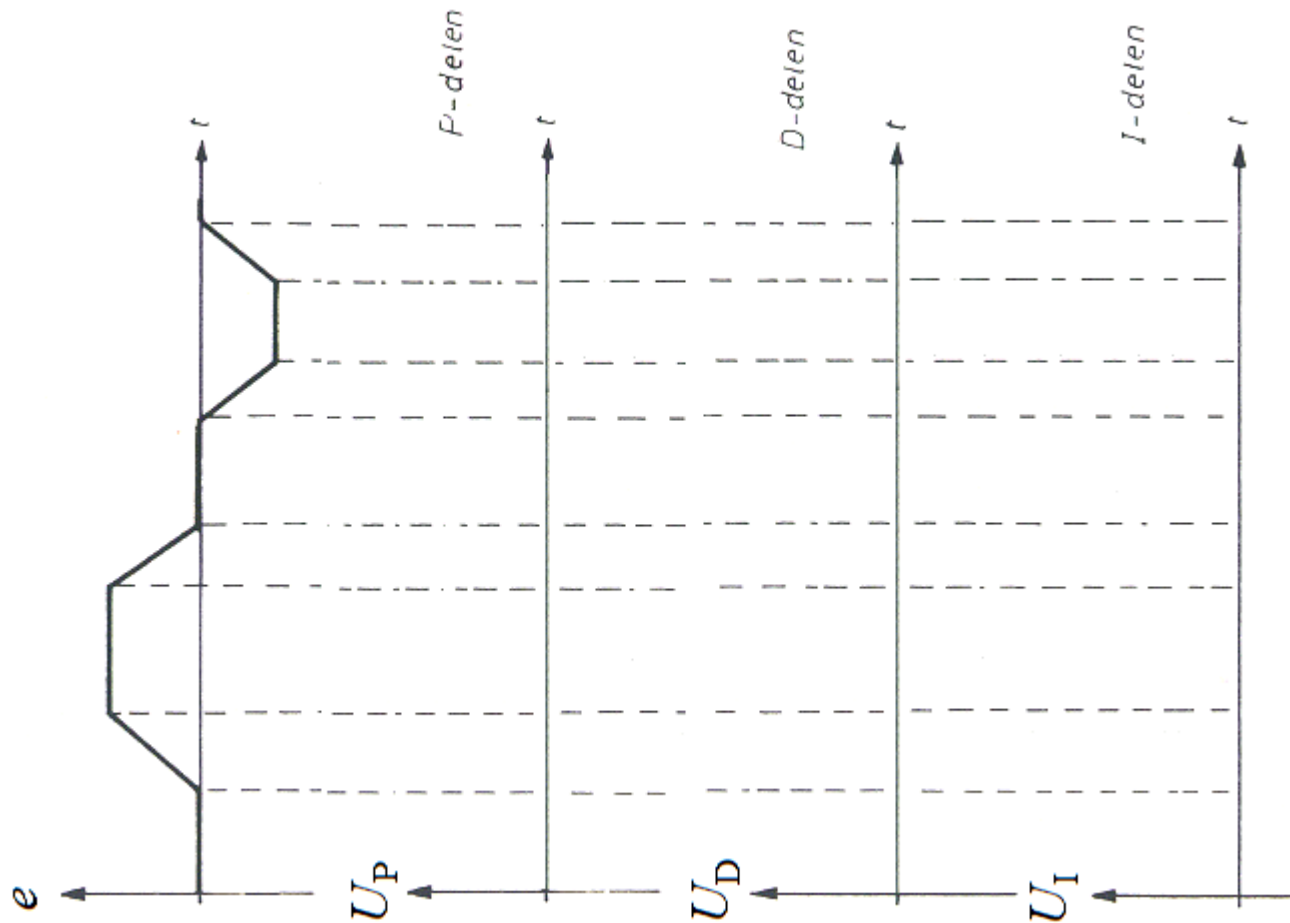
PD-reglering är som P-reglering men med felsignalen extrapolerad fram med tiden T_D .

4.8 PID-regulator

Figuren visar felsignalen e in till en PID-regulator. Rita utsignalerna från de tre delarna P, I, och D.



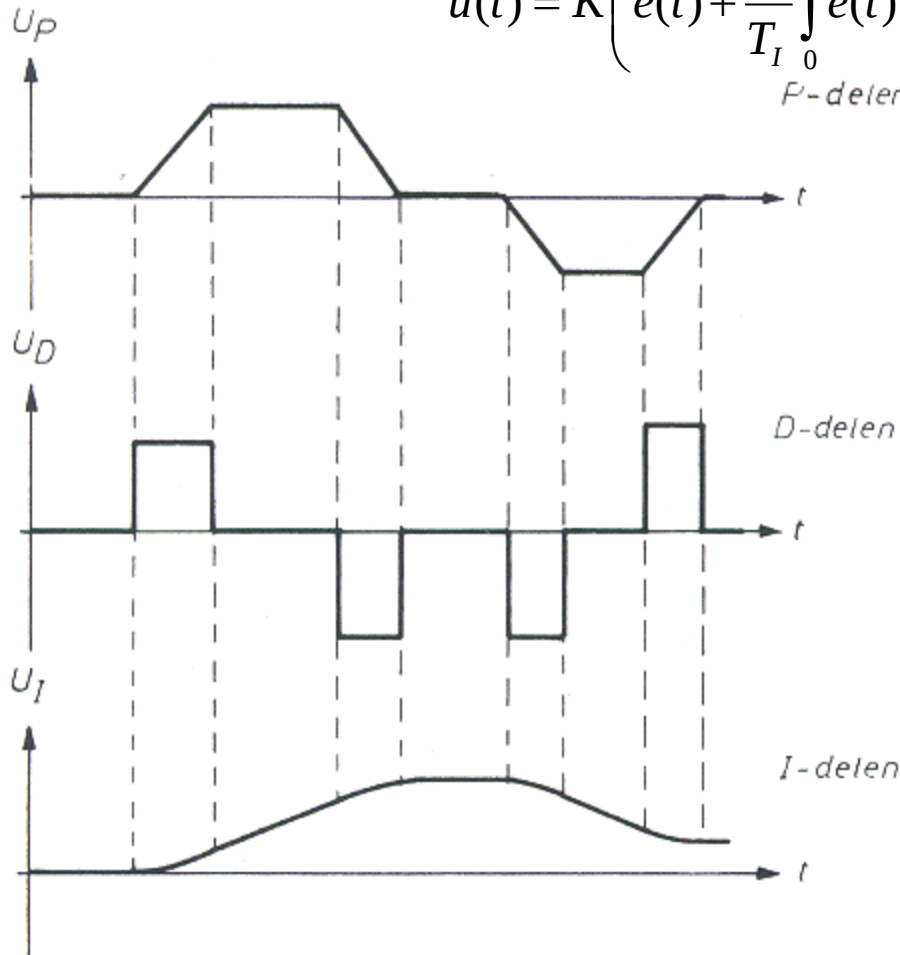
4.8 PID-regulator



4.8 Facit: PID-regulator

$$u(t) = K \left(e(t) + \frac{1}{T_I} \int_0^t e(t) dt + T_D \frac{d}{dt} e(t) \right)$$

P-delen



P-delen ger en direkt
”avbild” av felsignalen.

D-delen ger ”lutningen”
(=differens) av e -signalen
(här samma som P-signalen).

I-delen integrerar
(=ackumulerad summa)
 e -signalen (här P-signalen).

4.11 Diskussionsfrågor

a) Höga värden på förstärkningen K leder ofta till dålig stabilitet hos ett reglersystem med P-reglering.

☐

Rätt

☐

Fel

b) Processer med lång dötid är vanligen svårare att reglera än processer med kort dötid.

☐

Rätt

☐

Fel

c) Tvålägesreglering används främst i samband med enklare temperaturreglering.

☐

Rätt

☐

Fel

d) Med hjälp av deriverande verkan kan man ofta eliminera kvarstående fel hos ett reglersystem.

☐

Rätt

☐

Fel

e) Med hjälp av deriverande verkan kan man ofta förbättra stabiliteten hos ett reglersystem.

☐

Rätt

☐

Fel

4.11 Diskussionsfrågor

f) Integrerande verkan kan aldrig användas ensam, den måste kombineras med andra reglerformer.

☐

Rätt

☐

Fel

g) En fördel med integrerande verkan är att kvarstående fel vid stegstörning normalt elimineras.

☐

Rätt

☐

Fel

h) Ju större förstärkning en P-regulator har, desto större blir också det proportionella bandet.

☐

Rätt

☐

Fel

i) Deriverande verkan bör användas med försiktighet om man har processer med kraftiga mätstörningar.

☐

Rätt

☐

Fel

4.11 Facit: Diskussionsfrågor

a) Rätt b) Rätt c) Rätt d) Fel
e) Rätt f) Fel g) Rätt h) Fel i) Rätt

