

Systemteknik/Processreglering F2

- ▶ Processmodeller
- ▶ Stegsvarsmodeller
- ▶ PID-regulatorn

Läsanvisning: *Process Control*: 1.4, 2.1–2.5

Processmodeller

I den här kursen kommer vi att huvudsakligen att jobba med processer som beskrivs av

kontinuerliga (till skillnad från diskreta – FX),

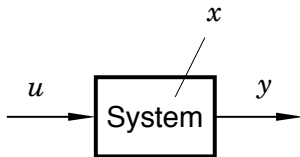
linjära (till skillnad från olinjära – F3, F5),

tidsinvarianta (till skillnad från tidsvarierande),

dynamiska (till skillnad från statiska)

system

Statiska kontra dynamiska system



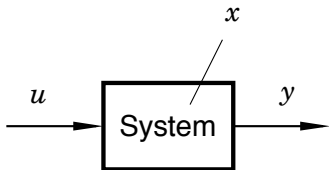
Statiskt system: $y(t) = f(u(t))$

- ▶ Utsignalen just nu beror bara på insignalen just nu
- ▶ Nytt jämviktsläge uppnås momentant efter förändringar i insignal

Dynamiskt system: $y(t) = f(u_{[0,t]}, x(0))$

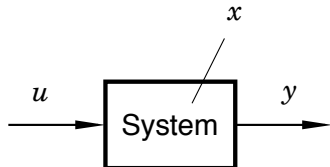
- ▶ Utsignalen beror på alla gamla insignaler och på systemets initialtillstånd
- ▶ För (stabila) dynamiska system tar det tid innan nytt jämviktsläge uppnås efter förändringar i insignal

Statiskt eller dynamiskt system?



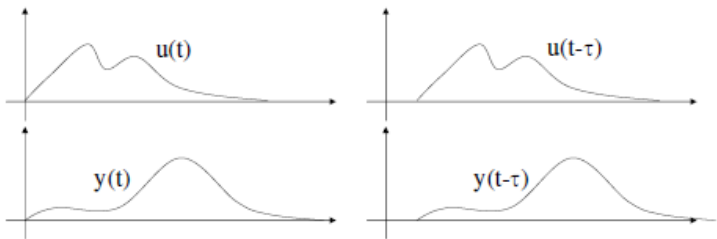
<i>System</i>	<i>Insignal (u)</i>	<i>Utsignal (y)</i>	<i>S/D</i>
Dusch	Flödesreglage	Vattenflöde	S
Dusch	Temperaturreglage	Vattentemperatur	D
Glödlampa	Strömbrytare	Ljus	S
Glödlampa	Dimmer	Ljus	S
Vattentank	Inflöde och utflöde	Vattennivå	D
Farthållning	Gaspådrag	Fart	D

Tidsinvarianta kontra tidsvarierande system



Tidsinvariant system: Systemets dynamik ändras ej över tid

Om insignalen försenas τ tidsenheter, försenas även utsignalen τ tidsenheter:



Exempel på tidsinvarianta/-varierande system

Tidsvarierande system:

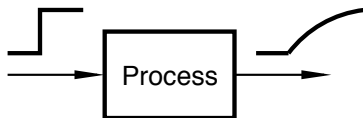
- ▶ Glödlampa med strömbrytare och kopplingsur: Olika respons på strömbrytartryck beroende på vad klockan är
- ▶ Styrning av raket: Då mängden bränsle minskar, ändras systemets dynamik

Tidsinvarianta system

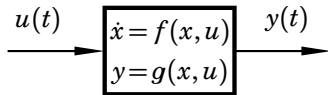
- ▶ Glödlampa med strömbrytare utan timer
- ▶ Vattentank med in- och utflöden
- ▶ Farthållning i bilen

Processmodeller i kursen

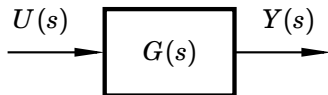
Stegsvarsmodell (F2)



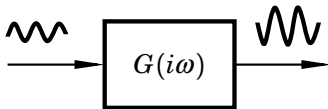
Tillståndsmodell (F3)



Överföringsfunktion (F4)

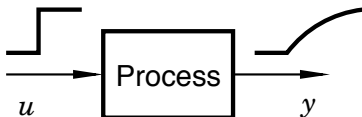


Frekvensfunktion (F7)



Stegsvarsexperiment

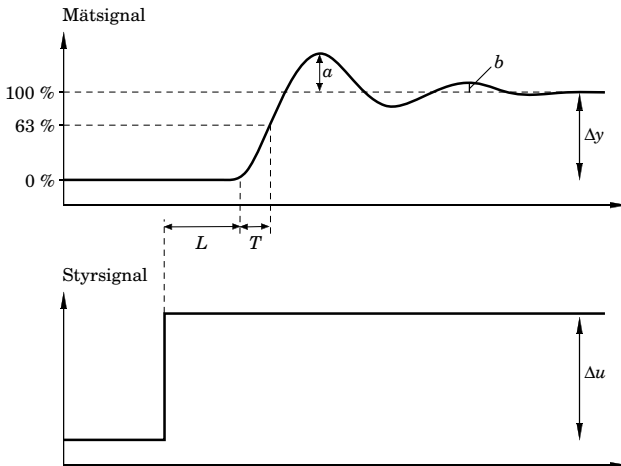
En enkel metod för att lära känna processens dynamik



- ▶ Vänta tills processen befinner sig i jämvikt
- ▶ Ändra styrsignalen u som ett steg med storleken Δu
- ▶ Spela in och analysera mätsignalen y

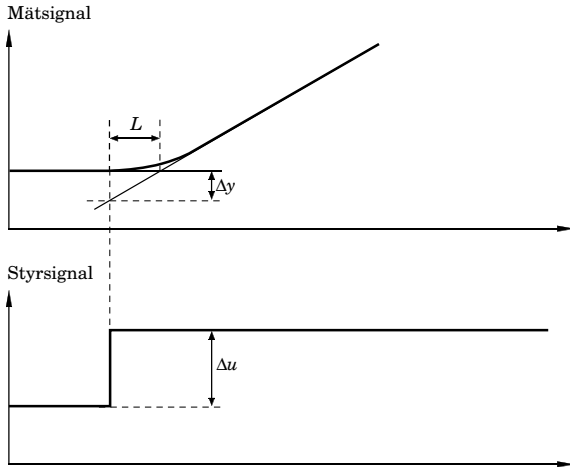
(Vi antar här **en** styrsignal och **en** mätsignal)

Exempel på stegsvar



- Dödtid = L
- Tidskonstant = T
- Översläng = $a/\Delta y$
- Dämpning = $1 - b/a$
- Statisk förstärkning = $K_p = \Delta y/\Delta u$

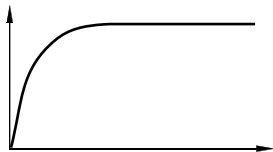
Stegsvar för integrerande processer



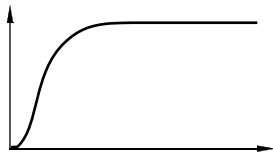
- Dödtid = L
- Hastighetsförstärkning = $K_v = \Delta y / (\Delta u \cdot L)$

Stegsvar för några olika processtyper

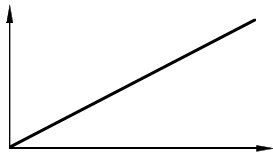
Enkapacitiv



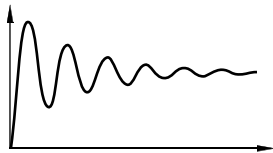
Flerkapacitiv



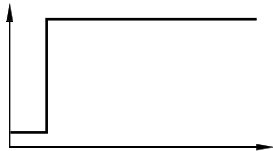
Integrerande



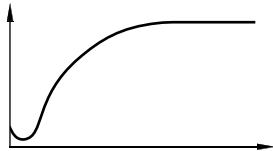
Oscillativ



Dödtid

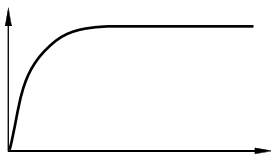


Omvänt svar

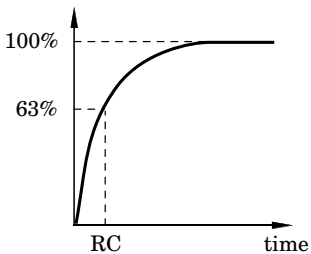
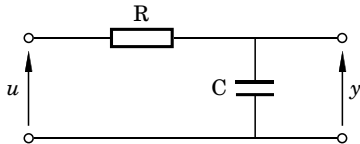


Enkapacitiva processor

Enkapacitiv

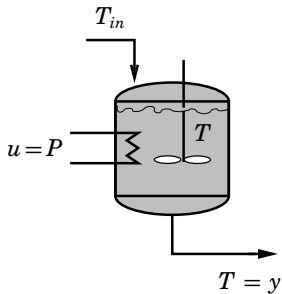
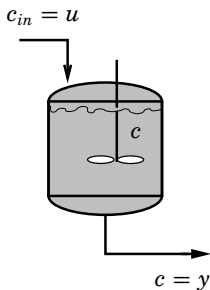
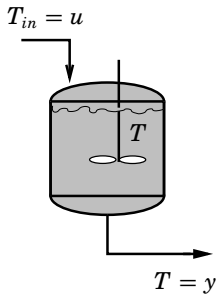


Exempel: RC-krets



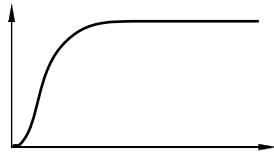
Enkapacitiva processer

Exempel: Kontinuerlig omrörd tank (CST) med konstant flöde

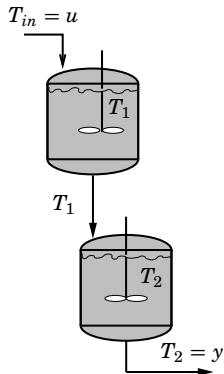


Flerkapacitiva processor

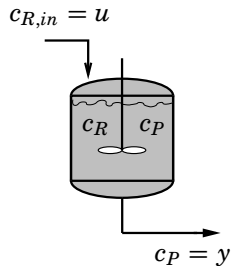
Flerkapacitiv



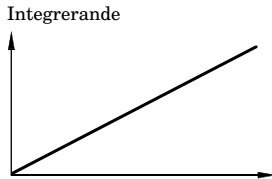
Exempel:



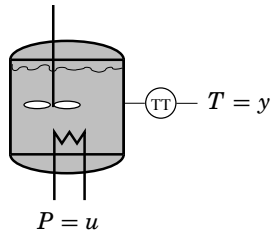
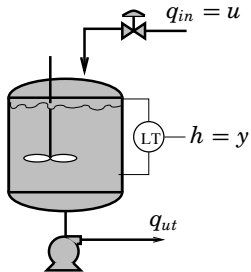
CSTR, $R \rightarrow P$



Integrerande processer

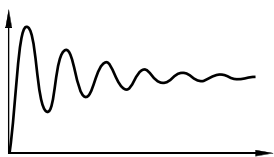


Exempel:

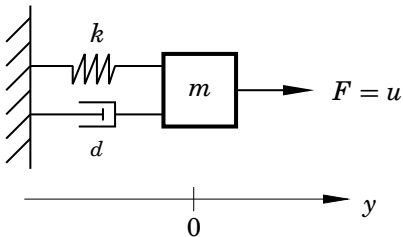


Oscillativa processer

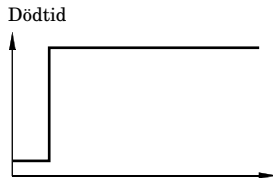
Oscillativ



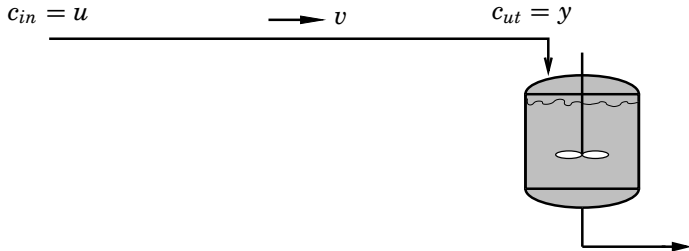
Exempel: Mekaniskt system med liten dämpning



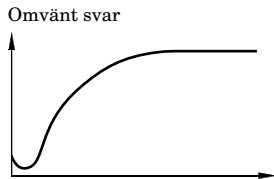
Dödtidsprocesser



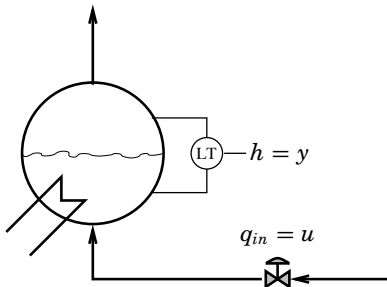
Exempel:



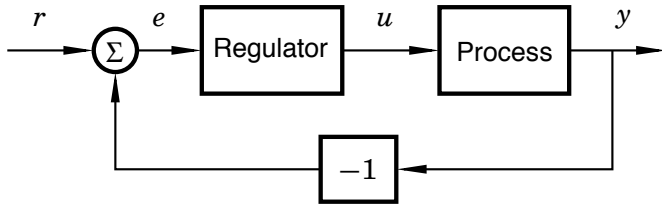
Processer med omvänt svar



Exempel: Ångpanna



Den enkla standardkretsen

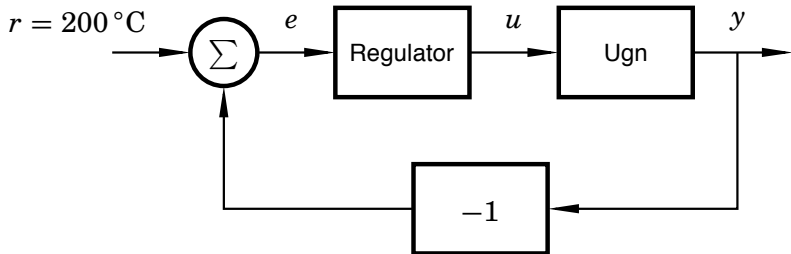


- ▶ Mål: mätsignalen y ska följa börvärdet r
- ▶ Regulatorn beräknar styrsignalen u utifrån reglerfelet $e = r - y$

Enkla regulatorer

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

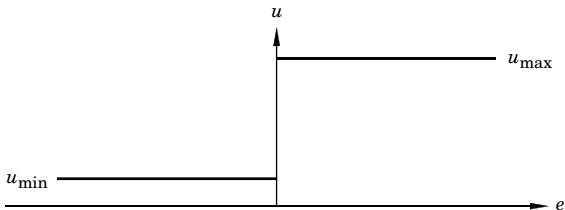
Exempel: ugn



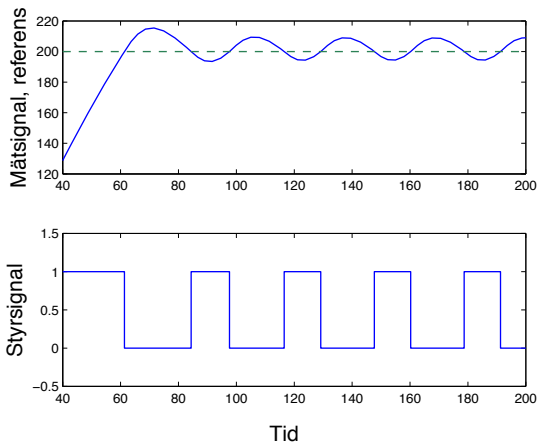
- ▶ y = uppmätt temperatur
- ▶ r = önskad temperatur
- ▶ u = värmeelementets effekt ($0 \leq u \leq 1$)

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

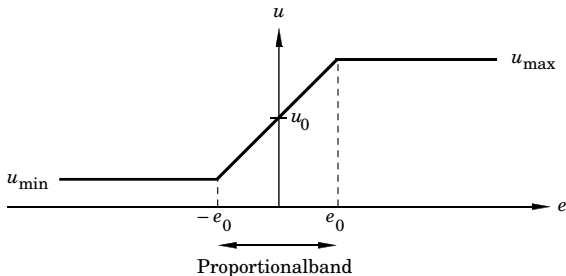
- ▶ Svängningar
- ▶ Slitage på styrdon
- ▶ Fungerar bara för processer med enkel dynamik och låga prestandakrav

P-reglering

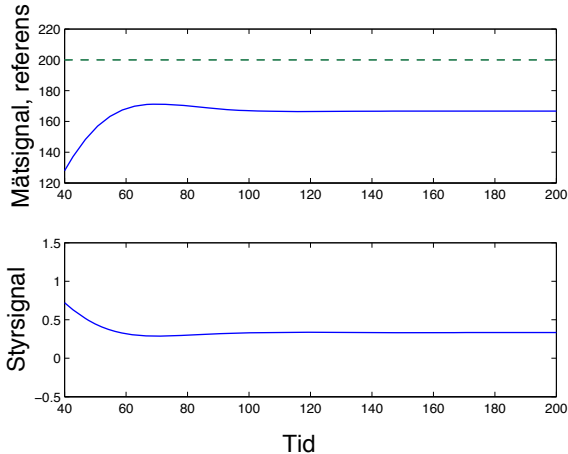
Inför ett proportionalband för små reglerfel:

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

- K = proportionalförstärkning



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



- Stationärt reglerfel

Miniproblem

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

Stationärt fel vid P-reglering

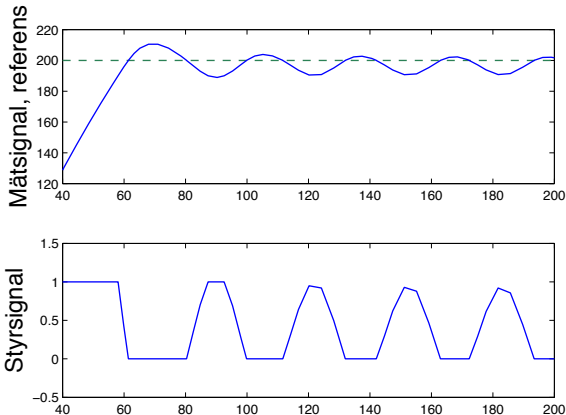
Antag att P-regulatorn jobbar i proportionalbandet $(-e_0 < e < e_0)$.
Då:

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

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

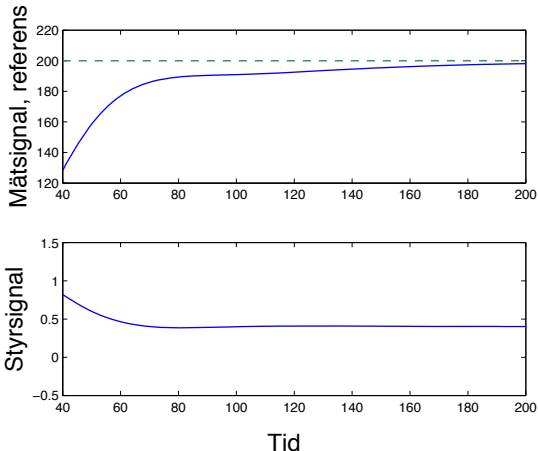
Ersätt den konstanta termen u_0 med en integraldel:

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

- T_i = integraltid

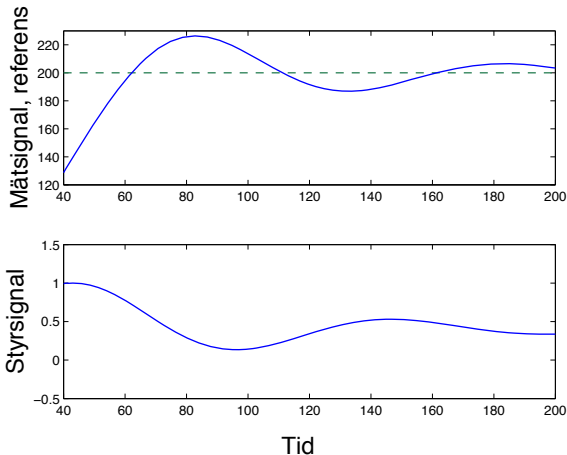
(Notera att PI-regulatorn i sig är ett dynamiskt system!)

Simulering av ugnen med PI-reglering



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

Simulering av ugnen med minskat T_i

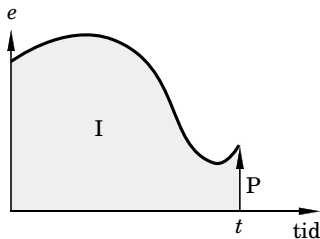
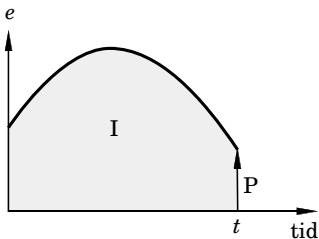


- ▶ Större integralverkan
- ▶ Snabbare reglering, men mer svängningar

Prediktion

En PI-regulator innehåller ingen prediktion av framtida fel

Samma styrsignal fås i bägge dessa fall:



PID-reglering

Hastigheten kan dämpas genom att införa en derivatadel:

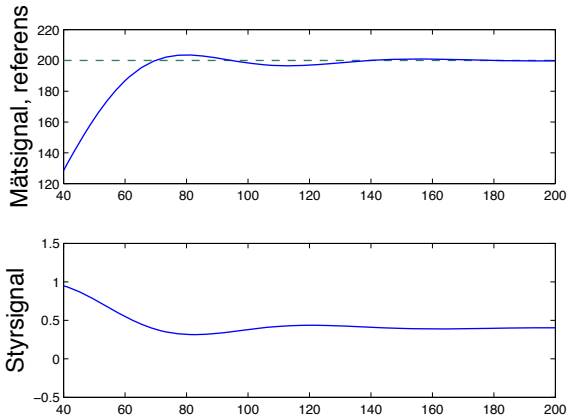
$$u(t) = K \left(e(t) + \frac{1}{T_i} \int_0^t e(\tau) d\tau + T_d \frac{de(t)}{dt} \right)$$

► T_d = derivatetid

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

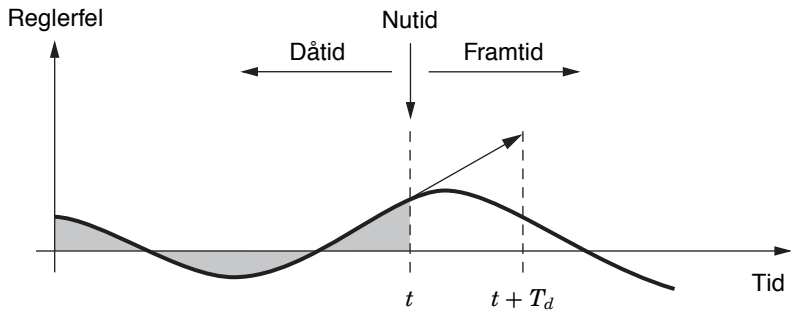
$$e(t + T_d) \approx e(t) + T_d \frac{de(t)}{dt}$$

Simulering av ugnen med PID-reglering



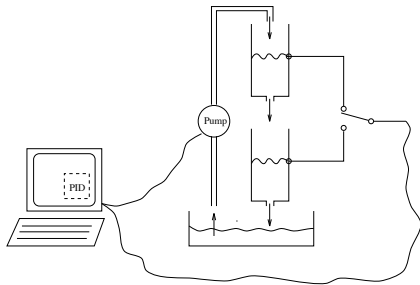
- Snabbt och väldämpat svar, inget stationärt fel

Sammanfattning av PID



Tre parametrar att ställa in: K , T_i , T_d

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

Val av regulatortyp

- ▶ (Av/på-regulator)
- ▶ P-regulator
- ▶ PD-regulator
- ▶ PI-regulator
- ▶ PID-regulator
- ▶ I-regulator

P-regulator

Duger gott i vissa fall:

- ▶ Reglering av enkapacitiva och integrerande processer
 - ▶ stort K ger litet stationärt fel; inga problem med stabilitet
- ▶ Nivåreglering i bufferttankar
 - ▶ litet K så länge tanken inte är nästan tom eller nästan full
- ▶ Som inre regulator i en kaskadstruktur (F9)

PD-regulator

Lämplig i vissa fall:

- ▶ Reglering av vissa flerkapacitiva processer, t.ex. tröga temperaturprocesser
- ▶ Stort K och T_d kräver mätsignaler med lite brus

PI-regulator

Det absolut vanligaste valet av regulator

- ▶ Elimineras stationära fel
- ▶ Med en försiktig inställning (litet K , stort T_i) fungerar den på alla stabila processer, inkl dödtidsprocesser och processer med omvänt svar

PID-regulator

- ▶ Kan ge prestandaförbättring jämfört med PI-regulatorn, speciellt för flerkapacitiva och integrerande–kapacitiva processer
 - ▶ K kan ökas och T_i kan minskas jämfört med PI-reglering
- ▶ Derivatadelen känslig för brus

I-regulator

En ren I-regulator ges av

$$u(t) = k_i \int_0^t e(\tau) d\tau$$

- k_i = integralförstärkning

Kan användas på statiska processer eller enkapacitiva processer för att eliminera stationära fel