

Industriell reglerteknik

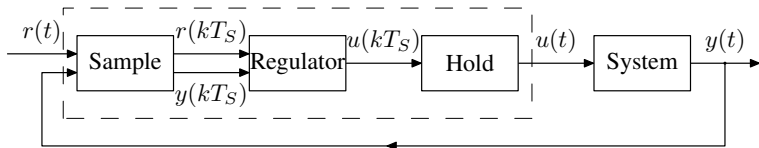
Föreläsning 5b: Implementering av regulatorer

Martin Enqvist

Reglerteknik
Institutionen för systemteknik
Linköpings universitet

Repetition: Samplad reglering

Reglering baserad på (ekvidistant) sampling av mätsignalerna:



Fördelar med samplad reglering: enkelt att implementera godtyckliga funktioner (t.ex. tidsfördröjningar, olinjäriteter, logiska uttryck), billigare hårdvara, bättre flexibilitet

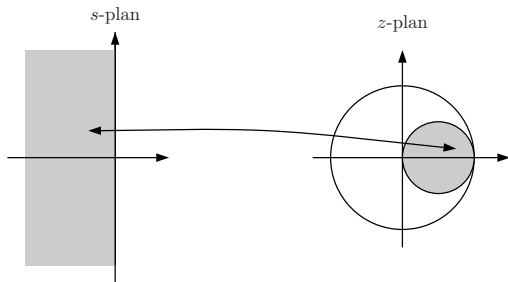
Nackdelar: fler parametrar att välja, kan försämra regleringen

Eulers metod

Eulers metod

$$\dot{u}(t) \approx \frac{1}{T_S}(u(t) - u(t - T_S)) \quad \text{eller} \quad s = \frac{1}{T_S}(1 - z^{-1})$$

avbildar VHP på en del av det inre av enhetscirkeln:

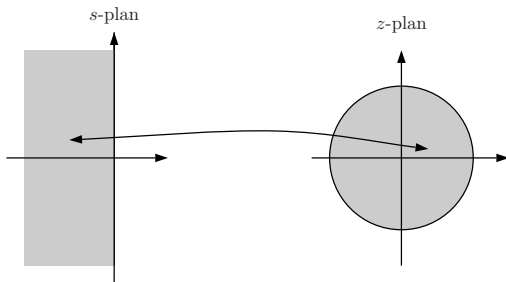


Tustins formel

Tustins formel (bilinjär transformation)

$$s = \frac{2(1 - z^{-1})}{T_S(1 + z^{-1})}$$

avbildar VHP på hela det inre av enhetscirkeln:



PID-implementering

En rättfram implementering av en PID-regulator:

$$I_k = I_{k-1} + K \frac{T_S}{T_i} e_k$$
$$v_k = K e_k + I_k + K \frac{T_d}{T_S} (e_k - e_{k-1})$$
$$u_k = \begin{cases} u_{max}, & \text{om } v_k > u_{max} \\ v_k, & \text{om } u_{min} \leq v_k \leq u_{max} \\ u_{min}, & \text{om } v_k < u_{min} \end{cases}$$

Spara I_k och e_k till nästa beräkning.

Denna version ger dock problem med *integratoruppvridning* och en *bruskänslig D-del*. Mer om det strax!

PI-regulatorkod från lektion 4 och lab 2

```
function [un,xn]=computeux(umann,amn,rn,yn,xn_1,ctrlparam,ubounds,Ts)
K=ctrlparam(1); % PID parameters
Ti=ctrlparam(2);
Td=ctrlparam(3);
mu=ctrlparam(4);
theta=ctrlparam(5:end);
In_1=xn_1(1); % States
umin=ubounds(1); % Control signal limits
umax=ubounds(2);
en=rn-yn;
In=In_1+ K*Ts*en/Ti;
vn=K*en+In;
if vn<umin
    un=umin;
elseif vn>umax
    un=umax;
else
    un=vn; end
xn=In;
```

Exempel: Implementering av generell modell

Antag att vi vill implementera en tidsdiskret approximation (som tagits fram med Tustins formel) av en dynamisk modell

$$G_{sys}(s) = \frac{s + 2}{s^2 + 8s + 2}$$

i vår regulator, som har sampeltiden $T_S = 0.2$ s.

- Med hjälp av kommandona `tf`, `c2d` och `ss` kan vi ta fram en tidsdiskret tillståndsmodell som approximerar G_{sys} .
- Denna modell kan sedan inkluderas i regulatorkoden och användas för att simulera fram en filtrerad signal.
- Observera att modellen innehåller två tillståndsvariabler som vi måste uppdatera och spara vid varje exekvering av regulatorkoden.

Matlabdemo. . .

Exempel...

Beräkning av tidsdiskret tillståndsmodell:

```
Gsys=tf([1 2],[1 8 2])
```

```
Gsysd=c2d(Gsys,0.2,'tustin')
```

```
Gsysdss=ss(Gsysd);
```

```
format long
```

```
Gsysdss.A, Gsysdss.B, Gsysdss.C, Gsysdss.D
```

Tillägg till computeux (ändra även antal regulatorstillstånd i Simulink):

```
xrn=xn_1(2:3);
```

```
F=[1.076923076923077 -0.483516483516484; 0.250000000000000 0];
```

```
G=[0.500000000000000; 0];
```

```
H=[0.185967878275571 -0.415408767057119];
```

```
I=0.065934065934066;
```

```
xrnp1=F*xrn+G*rn;
```

```
y rn=H*xrn+I*rn;
```

```
xn=[In;xrnp1];
```


Integratoruppvridding

Integratoruppvridding: Integraldelen har ökat till ett alldeles för stort värde pga. att styrsignalen har varit mättad.

Intuitiv förklaring:

Mättning av u

$\Rightarrow |e|$ stort onormalt länge

$\Rightarrow |I_k|$ alldeles för stort då e blir noll

Resultat: Dålig reglerprestanda!

Exempel: Integratoruppvridding

Samplad PID-reglering av systemet

$$G(s) = \frac{10}{10s + 1}$$

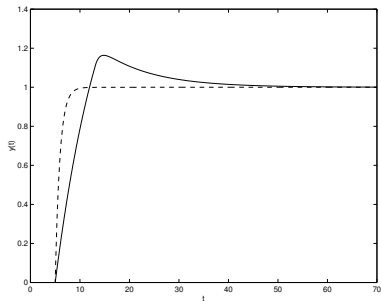
med $T_S = 0.1$.

Regulatorparametrar: $K = 1, T_i = 10, T_d = 0$.

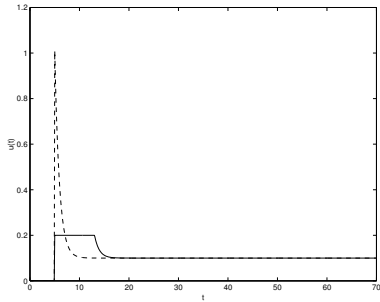
Begränsad styrsignal: $|u(t)| \leq 0.2$

Exempel...

Stegsvar (ett steg vid $t = 5$):



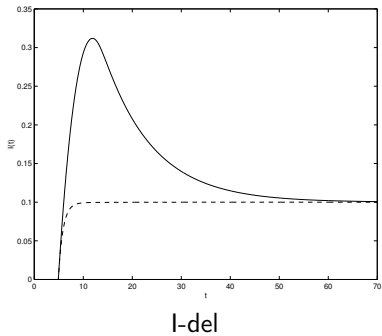
Utsignal



Styrsignal

Streckade kurvor är resultat utan styrsignalbegränsning.

Exempel...



Metoder mot integratoruppridning

Villkorlig integration

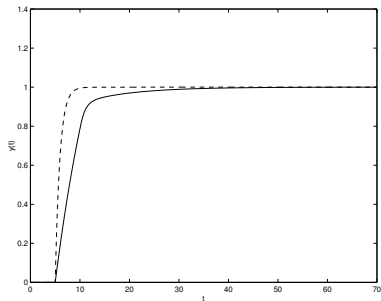
- Uppdatera bara I-delen om styrsignalen inte är mättad
($u_{min} \leq v_k \leq u_{max}$)
- Annars $I_k := I_{k-1}$

Justering av I-delen

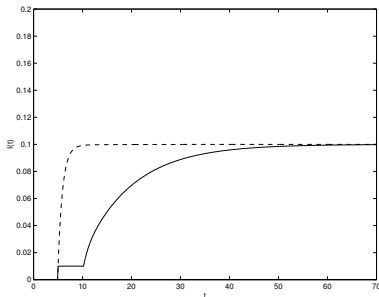
- Lägg till $I_k := I_k + \frac{T_S}{T_i}(u_k - v_k)$ sist i regulatorkoden
- Tumregel: $T_t \approx T_i$

Exempel: Villkorlig integration

Uppdatera bara I-delen när u inte är mättad.



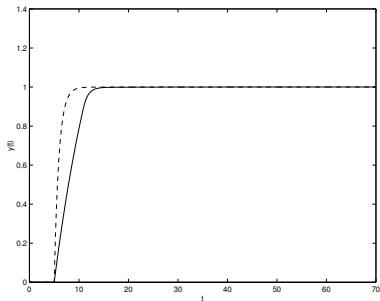
Utsignal



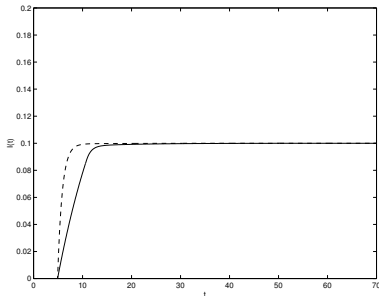
I-del

Exempel: Justering av I-del

$$T_t = T_i = 10 \Rightarrow T_S/T_t = 0.01$$



Utsignal



I-del

Stötfria övergångar vid modbyten

- I många tillämpningar vill man ibland koppla ur regulatorn och köra systemet manuellt.
- I manuell mod har operatören direkt kontroll över styrsignalen \Rightarrow Regulatorns tillstånd (t.ex. I-delen) uppdateras inte

Problem: Vid återgång till automatisk mod får man hopp i styrsignalen.

Lösning: Justera I-delen så att man tvingar regulatorn att generera samma styrsignal som operatören.

Stötfria övergångar vid parameterbyten

Problem: Hopp i styrsignalen vid parameterbyten under drift.

Lösningar:

- Parametrisera regulatoren så att

$$P_k = K e_k$$

$$I_k = I_{k-1} + K \frac{T_S}{T_i} e_k$$

$$D_k = K \frac{T_d}{T_S} (e_k - e_{k-1})$$

$$v_k = P_k + I_k + D_k$$

(Redan gjort!)

Sammanfattning

- Diskretisering mha Eulers metod eller Tustins formel
- Hantering av integratoruppvridding
- Stötfria övergångar

www.liu.se