TSRT09 – Reglerteori

Föreläsning 1: Inledning, reglerproblemet

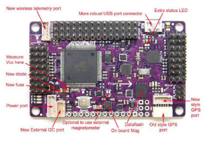
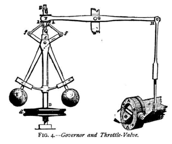
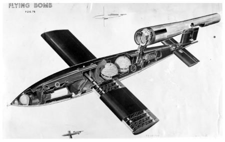
Daniel Axehill

Reglerteknik, ISY, Linköpings Universitet

Reglerteknik

"Konsten att styra ett system så att syftet uppnås trots störningar och osäkerhet."

- Ett mycket brett område med applikationer överallt.
- En nyckelkomponent i autonoma system.
- De fundamentala koncepten är inte implementationsspecifika: elektronisk, mekanisk, pneumatisk, mjukvara, nervsystemet,...
- Kursen "Reglerteknik": Linjära system med en in- och en utsignal.


Vilka är systemen som man styr?

De finns i nästan all teknik omkring oss

Bilar:

- antispinn, antisladd
- farthållare
- nödbroms
- motorstyrning för avgaskrav och bränsleekonomi
- växellådor
- hybrid drivlina
- osv

Visa film!

Vilka är systemen som man styr?

Autonoma system:

Mobiltelefoni

- effektstyrning
- trafikstyrning
- DC/DC-omvandlare
- positionering (sensor fusion)
- ...

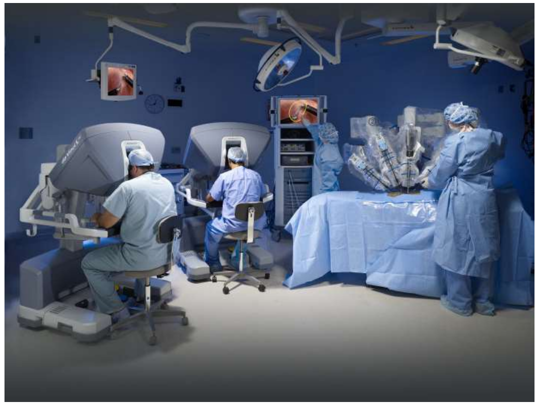
Flygplan

- stabilisering
- farthållning, höjdhållning
- navigering
- vapensystem
- quadrotors
- ......

Visa film!

Medicinsk teknik

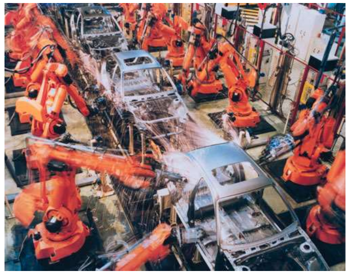
- dialysapparatur
- insulinpumpar
- pacemakers
- anestesi (narkos)
- avancerade proteser
- operationsrobotar
- ......



Visa film!

Industriell produktion

- pappersindustri
- stålverk
- raffinaderier
- industrirobotar
  - svetsning
  - montering
  - lackering
  - ...
- ......



Vad styr man?

Exemplet antisladd:
Selektiv bromsning för att få rätt rotationshastighet

Speciella frågor i kursen

1. Flera in- och utsignaler. Flervariabla system.
2. Systematiska designmetoder.
3. Olinjäriteter.
4. Principiella gränser för reglerprestanda.

Kursupplägg

1. Fö 1: Inledning
2. Fö 2 – 4: Del I: Linjära system
   - Flervariabla system
   - Störningsbeskrivning
   - Kalmanfilter
3. Fö 4 – 7: Del II: Linjär reglerteori
   - Designmetoder
   - LQG-design
   - $\mathcal{H}_\infty$-metoder
4. Fö 8 – 11: Del III: Olinjär reglerteori
   - Olinjäriteter
   - Självsvängningar
   - Exakt linjärisering
5. Fö 11 – 12: Del II återigen: Specifikationer och begränsningar

Speciellt i kursen

- Datortenta
  - konventionella "handräkningstal"
  - ren datoruppgift, typiskt syntes av reglersystem med givna specifikationer
  - använd datorn som avancerad kalkylator där det passar
- Datorlektioner och datorlaborationer
  - bli bekant med verktygen
  - bli bekant med metodiken
  - få möjlighet att arbeta med större probleminstanser

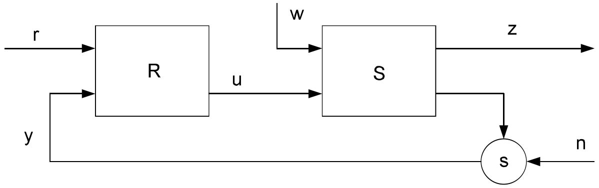
Föreläsning 1

1. Inledning
2. Signalstorlek, förstärkning
3. Singulära värden
4. Lågförstärkningssatsen

Reglerproblemet

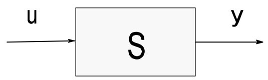
S: System att reglera
R: Regulator

z: Reglerstorhet
r: Referenssignal
y: Mätsignal
u: Styrsignal
w: Störsignal
n: Mätfel



Se till att z följer r på ett bra sätt, trots inverkan av w, n, och trots osäkerhet om systemet, samtidigt som rimligt stora värden på u används.

Exempel på "system"



1. Reglerobjektet
2. Regulatorn
3. Det slutna systemet

Stabilitet

Instabilitet i dynamiska system kan få dramatiska konsekvenser.
Ex: tvärsrörelsen hos järnvägsaxlar ("sinusgång") blir instabil ovanför en kritisk hastighet.

Detta inträffade när man satte hastighetsrekord på 1950-talet (331 km/h)

(källa: La vie du rail)

Visa film!

Stabilitet, forts.

Bemästrande av stabilitetsproblemen var ett viktigt steg för att utveckla höghastighetståg.

Nuvarande rekord: 575 km/h (2007). I princip ett standard TGV-tåg från Alstom. (större hjul, ballast, förbättrad spänningsmatning)

I Sverige ligger rekordet på 303 km/h (2008) och sattes med ett Reginatåg.

Stabilitetsteori

- Linjära system enkla: polerna i vänster halvplan
- System med olinjäriteter:
  - Signalstorlek
  - Förstärkning
  - Lågförstärkningssatsen

Signalstorlek och förstärkning

Signalstorlek:

$$||z||_2^2 = \int_{-\infty}^{\infty} z^T(t)z(t)\ dt$$

Förstärkning hos systemet $\mathcal{S}$:

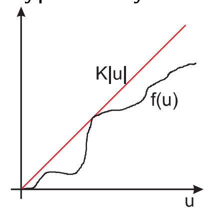
$$||\mathcal{S}|| = \sup_u \frac{||y||_2}{||u||_2}$$

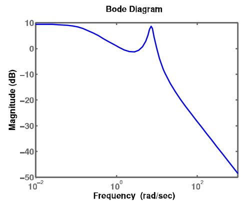
"Välj ett u sådant att kvoten mellan storleken på ut- och insignal maximeras".

Beräkning av förstärkning

Förstärkningen kan ganska enkelt beräknas för två typer av system:

- Statiska olinjäriteter
  - Förstärkningen varierar med amplituden.
  - Förstärkningen varierar inte med frekvensen.
- Linjära dynamiska system av en variabel
  - Förstärkningen varierar inte med amplituden.
  - Förstärkningen varierar med frekvensen.





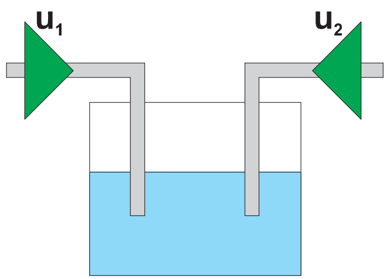
Hur stor är $G(i\omega)$ om $G(i\omega)$ är en matris?

När vi har flera in- och utsignaler blir det mer komplicerat.

$$G(i\omega) = \begin{bmatrix} G_{11}(i\omega) & G_{12}(i\omega) & \dots & G_{1m}(i\omega) \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ G_{p1}(i\omega) & G_{p2}(i\omega) & \dots & G_{pm}(i\omega) \end{bmatrix}$$

Vilken eller vilka Bodediagram är intressanta?

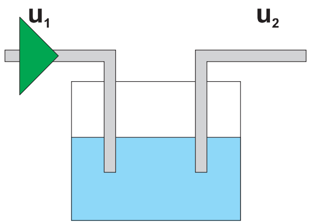
Ett exempel med två insignaler

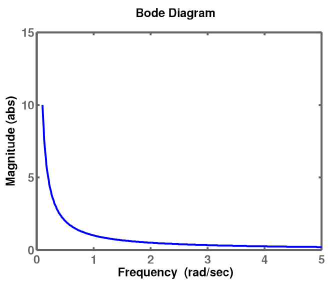


$$\dot{x} = u_1 + u_2$$
$$G(s) = \begin{bmatrix} \frac{1}{s} & \frac{1}{s} \end{bmatrix}$$

Reglering av nivån x i en tank. Flödet till tanken styrs av de två flödena u_1 och u_2 som kan vara både positiva och negativa.

Ett exempel med två insignaler



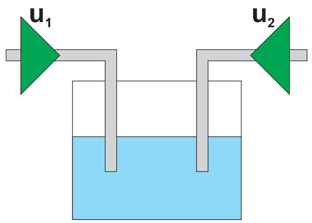


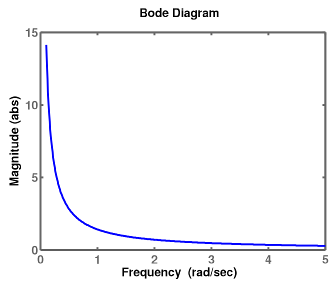
$$\dot{x} = u_1 + u_2$$
$$G(s) = \begin{bmatrix} \frac{1}{s} & \frac{1}{s} \end{bmatrix}$$

Betrakta först en reglering där vi bortser från u_2 ($u_2 = 0$).

Vad blir förstärkningen om vi kombinerar användningen av u_1 och u_2?

Ett exempel med två insignaler

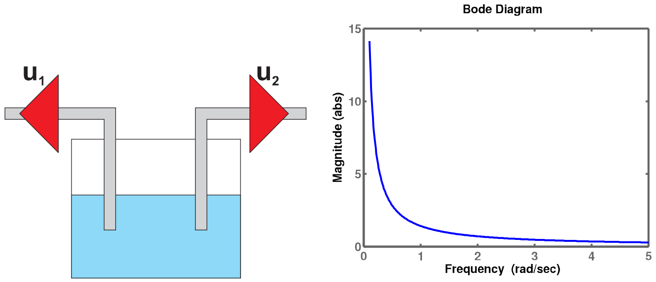




$$\dot{x} = u_1 + u_2$$
$$G(s) = \begin{bmatrix} \frac{1}{s} & \frac{1}{s} \end{bmatrix}$$

Låt pumparna samverka ($u_2 = u_1$): nivån ändrar sig snabbt.

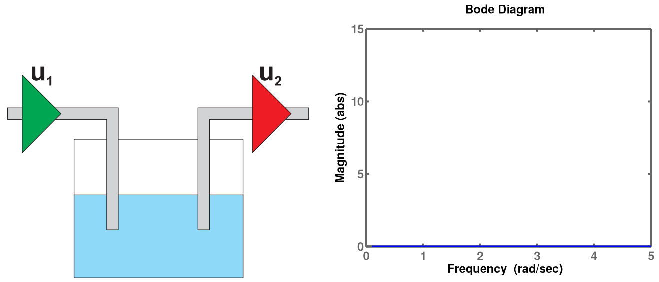
Ett exempel med två insignaler



$$\dot{x} = u_1 + u_2$$
$$G(s) = \begin{bmatrix} \frac{1}{s} & \frac{1}{s} \end{bmatrix}$$

Låt pumparna samverka ($u_2 = u_1$): nivån ändrar sig snabbt.

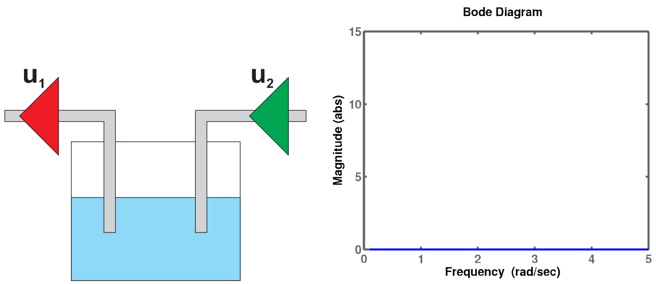
Ett exempel med två insignaler



$$\dot{x} = u_1 + u_2$$
$$G(s) = \begin{bmatrix} \frac{1}{s} & \frac{1}{s} \end{bmatrix}$$

Låt pumparna motverka varandra ($u_2 = -u_1$): nivån ändrar sig inte alls.

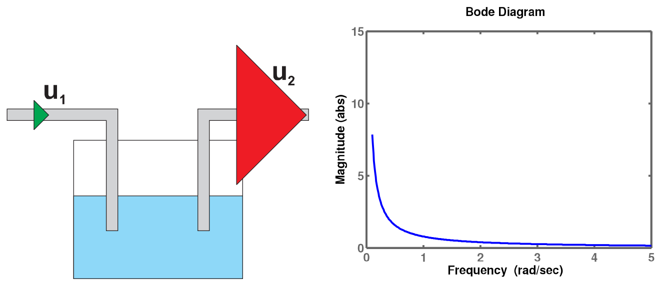
Ett exempel med två insignaler



$$\dot{x} = u_1 + u_2$$
$$G(s) = \begin{bmatrix} \frac{1}{s} & \frac{1}{s} \end{bmatrix}$$

Låt pumparna motverka varandra ($u_2 = -u_1$): nivån ändrar sig inte alls.

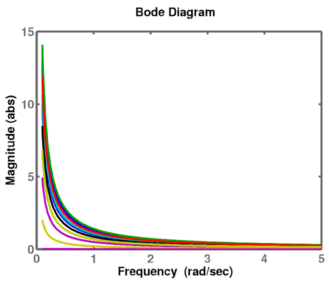
Ett exempel med två insignaler



$$\dot{x} = u_1 + u_2$$
$$G(s) = \begin{bmatrix} \frac{1}{s} & \frac{1}{s} \end{bmatrix}$$

Betrakta godtyckliga kombinationer (t.ex. $u_2 = -5.03 \cdot u_1$) mellan användningen av pumparna.

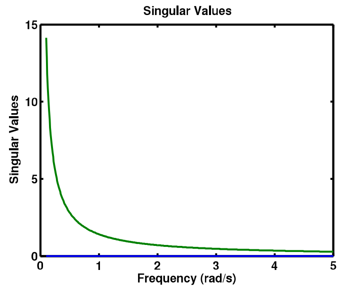
Ett exempel med två insignaler



$$\dot{x} = u_1 + u_2$$
$$G(s) = \begin{bmatrix} \frac{1}{s} & \frac{1}{s} \end{bmatrix}$$

"Alla" kombinationer leder till "en himla många Bodediagram"... Kan man inte bara beräkna de mest relevanta?

Ett exempel med två insignaler



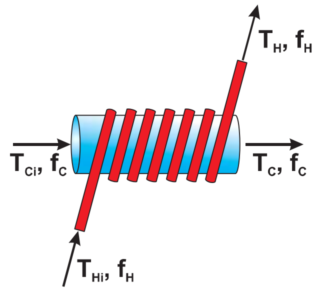
$$\dot{x} = u_1 + u_2$$
$$G(s) = \begin{bmatrix} \frac{1}{s} & \frac{1}{s} \end{bmatrix}$$

Jo, det kan man! De mest relevanta ges av de singulära värdena till överföringsmatrisen.

Hur stor är $G(i\omega)$ om $G(i\omega)$ är en matris? forts.

- $|G(i\omega)|$= största singulära värdet till $G(i\omega)$
- $|Y(i\omega)| \leq |G(i\omega)||U(i\omega)|$
- $\|G\|_\infty$= största singulära värdet till $G(i\omega)$ för något ω
- $\|y\|_2 \leq \|G\|_\infty \|u\|_2$

Ett exempel: Värmeväxlare



$$\dot{x} = \begin{bmatrix} -(f_C + \beta)/V_C & \beta/V_C \\ \beta/V_H & -(f_H + \beta)/V_H \end{bmatrix} x + \begin{bmatrix} f_C/V_C & 0 \\ 0 & f_H/V_H \end{bmatrix} u$$
$$y = x$$

med $x = \begin{bmatrix} T_C & T_H \end{bmatrix}^T$ och $u = \begin{bmatrix} T_{C_i} & T_{H_i} \end{bmatrix}^T$.

Värmeväxlare, forts.

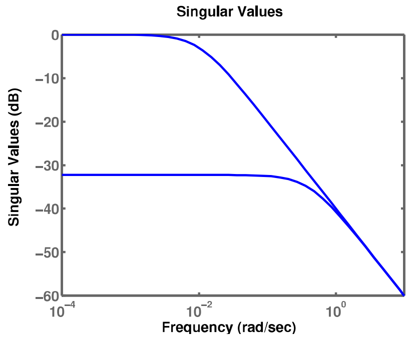
Vi skall använda de numeriska värdena $f_C = f_H = 0.01$ (m^3/min), $\beta = 0.2$ och $V_H = V_C = 1$ (m^3), vilket ger

$$\dot{x} = \begin{bmatrix} -0.21 & 0.2 \\ 0.2 & -0.21 \end{bmatrix} x + \begin{bmatrix} 0.01 & 0 \\ 0 & 0.01 \end{bmatrix} u$$
$$y = x$$

Överföringsmatrisen

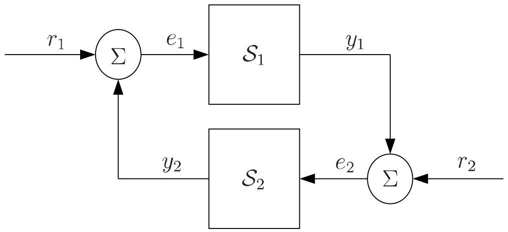
$$G(s) = \frac{0.01}{(s+0.01)(s+0.41)} \begin{bmatrix} s+0.21 & 0.2 \\ 0.2 & s+0.21 \end{bmatrix}$$

De singulära värdena:



Lågförstärkningssatsen

Insignal-utsignal-stabilitet: Ändlig förstärkning

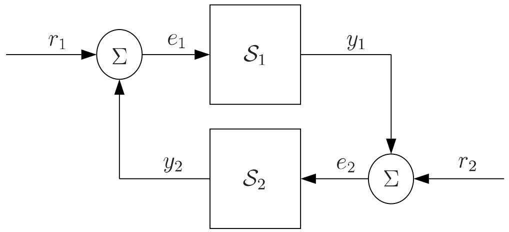


Två stabila system $\mathcal{S}_1$ och $\mathcal{S}_2$ som återkopplas enligt figuren ger ett slutet system som är insignal-utsignal-stabilt om

$$||\mathcal{S}_2|| \cdot ||\mathcal{S}_1|| < 1$$

Lågförstärkningssatsen

Insignal-utsignal-stabilitet: Ändlig förstärkning

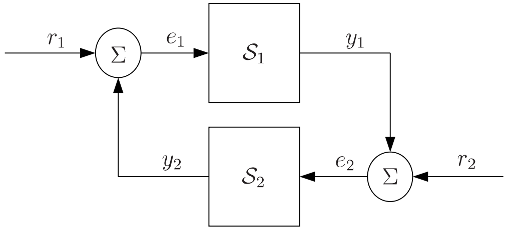


Kriteriet kan för linjära system förenklas till

$$||\mathcal{S}_2\mathcal{S}_1|| < 1$$

Lågförstärkningssatsen

Insignal-utsignal-stabilitet: Ändlig förstärkning



Kriteriet kan för linjära system förenklas till

$$||\mathcal{S}_2\mathcal{S}_1|| < 1$$

Verkar kriteriet vara konservativt?

Daniel Axehill

Reglerteori 2019, Föreläsning 1

www.liu.se

LINKÖPING UNIVERSITY