

Simulering og eksperimentel modelbestemmelse

Klaus Trangbæk

`ktr@es.aau.dk`

Automation & Control

Aalborg University

Denmark

Dagens program

- Modeller og modellering: koncepter
 - Definitioner
 - Simulering
 - Matematiske modeller

Dagens program

- Modeller og modellering: koncepter
 - Definitioner
 - Simulering
 - Matematiske modeller
- Modelbeskrivelse
 - Overføringsfunktioner
 - Tilstandsbeskrivelse
 - Blok-diagrammer

Dagens program

- Modeller og modellering: koncepter
 - Definitioner
 - Simulering
 - Matematiske modeller
- Modelbeskrivelse
 - Overføringsfunktioner
 - Tilstandsbeskrivelse
 - Blok-diagrammer
- Diskretiseringsmetoder

Dagens program

- Modeller og modellering: koncepter
 - Definitioner
 - Simulering
 - Matematiske modeller
- Modelbeskrivelse
 - Overføringsfunktioner
 - Tilstandsbeskrivelse
 - Blok-diagrammer
- Diskretiseringsmetoder
- Simulering af lineære og ulineære dynamiske systemer i Matlab

Modeller og modellering: koncepter

Definition:

Model: en *repræsentation* – i en brugbar form – af de *essentielle dele* af et system.

Modeller og modellering: koncepter

Definition:

Model: en *repræsentation* – i en brugbar form – af de *essentielle dele* af et system.

Definition:

Systemidentifikation: *Udvikle matematisk model af dynamisk system baseret på observerede data fra systemet:*

- *Mange måledata er indsamlet som samplede værdier af input og output*
- *En computer anvendes til behandling af data*
- *Modelparametre estimeres ved minimering af et fejlkriterie*

Karakterisering af modeller/modellering

Modeller:

matematiske – andre
parametriske – ikke-parametriske
kontinuert tid – diskret tid
input/output – **tilstands**
lineære – **ulineære**
dynamisk – statisk
tidsinvariant – tidsvarierende
SISO – **MIMO**

Modellering/systemidentifikation:

teoretisk (fysisk) – **eksperimentel**
white-box – **gray-box** – black-box
strukturbestemmelse – **parameter-estimation**
tidsdomæne – **frekvensdomæne**
direkte – indirekte

Fysiske parametre

Fysiske parametre er **modelparametre** med en indlysende **fysisk mening** eller betydning.

Fysiske parametre

Fysiske parametre er **modelparametre** med en **indlysende fysisk mening** eller betydning.

Typisk er de **koefficienter i basale fysiske love**, fx. Newtons, Hooks, Ohms, eller Kirchoffs love.

Fysiske parametre

Fysiske parametre er **modelparametre** med en indlysende **fysisk mening** eller betydning.

Typisk er de **koefficienter** i **basale fysiske love**, fx. Newtons, Hooks, Ohms, eller Kirchoffs love.

Eksempler på fysiske parametre er

- Mekanik parametre: Masse, friktions koeffic., stivhed
- Elektro parametre: Modstand, induktans, kapacitet
- Termiske parametre: Termisk modstand, specifik varme
- Desuden: Statisk forstærkning, tidskonstant, egen-frekvens og dæmpningsfaktor

Fysiske parametre

Fysiske parametre er **modelparametre** med en indlysende **fysisk mening** eller betydning.

Typisk er de **koefficienter i basale fysiske love**, fx. Newtons, Hooks, Ohms, eller Kirchoffs love.

Eksempler på fysiske parametre er

- Mekanik parametre: Masse, friktions koeffic., stivhed
- Elektro parametre: Modstand, induktans, kapacitet
- Termiske parametre: Termisk modstand, specifik varme
- Desuden: Statisk forstærkning, tidskonstant, egen-frekvens og dæmpningsfaktor

Ikke-fysiske parametre: **koefficienter i z -transformen** af en tilstandsbeskrivelse.

Simulering

Formål:

- At opnå forståelse af systemet

Simulering

Formål:

- At opnå forståelse af systemet
- Forudsigelse af fremtidigt system output

Simulering

Formål:

- At opnå forståelse af systemet
- Forudsigelse af fremtidigt system output
- Design og test af kontrolsystem

Simulering

Formål:

- At opnå forståelse af systemet
- Forudsigelse af fremtidigt system output
- Design og test af kontrolsystem
- Optimering af konstruktion

Simulering

Formål:

- At opnå forståelse af systemet
- Forudsigelse af fremtidigt system output
- Design og test af kontrolsystem
- Optimering af konstruktion
- Træning af operatører på real-tids simulatorer

Simulering

Formål:

- At opnå forståelse af systemet
- Forudsigelse af fremtidigt system output
- Design og test af kontrolsystem
- Optimering af konstruktion
- Træning af operatører på real-tids simulatorer
- Model parameter estimation fra eksperimenter

Simulering

Formål:

- At opnå forståelse af systemet
- Forudsigelse af fremtidigt system output
- Design og test af kontrolsystem
- Optimering af konstruktion
- Træning af operatører på real-tids simulatorer
- Model-parameter-estimation fra eksperimenter

En computer simulation forudsætter:

- En diskrettid-model

Simulering

Formål:

- At opnå forståelse af systemet
- Forudsigelse af fremtidigt system output
- Design og test af kontrolsystem
- Optimering af konstruktion
- Træning af operatører på real-tids simulatorer
- Model-parameter-estimation fra eksperimenter

En computer simulation forudsætter:

- En diskrettidts-model
- Mulighed for at udføre eksperimenter på modellen, fx. specificere inputsignal og parametre

Simulering

Formål:

- At opnå forståelse af systemet
- Forudsigelse af fremtidigt system output
- Design og test af kontrolsystem
- Optimering af konstruktion
- Træning af operatører på real-tids simulatorer
- Model-parameter-estimation fra eksperimenter

En computer simulation forudsætter:

- En diskrettids-model
- Mulighed for at udføre eksperimenter på modellen, fx. specificere inputsignal og parametre
- Grafiske værktøjer til at præsentere resultatet

Matematiske Modeller

Modelbeskrivelser:

- Overføringsfunktion
- Tilstandsbeskrivelse

Matematiske Modeller

Modelbeskrivelser:

- Overføringsfunktion
- Tilstandsbeskrivelse

Matematiske Modeller

Modelbeskrivelser:

- Overføringsfunktion
- Tilstandsbeskrivelse
- Blok-diagram



Notation for modeller i kontinuert- og diskrettid:

Kompleks Laplace variabel s

Differentialoperator p :

$$x(t) = \frac{\partial x(t)}{\partial t} = px(t)$$

Kompleks Z-transform variabel z

Shift operator q :

$$x(k + 1) = qx(t)$$

Diskretiseringsmetoder

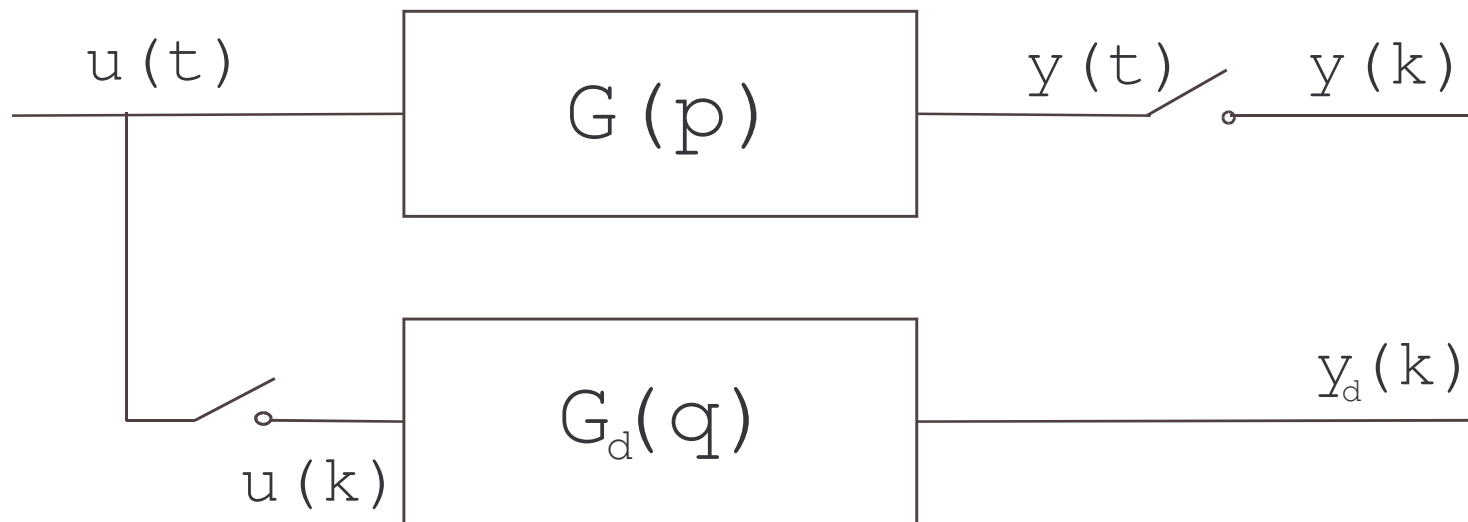
Navn	Algoritme	Karakteristik
Forward Euler	$s \rightarrow \frac{z - 1}{T}$	$x'(t)$ konstant over perioden
Tustin (Bilineær transformation)	$s \rightarrow \frac{2}{T} \frac{z - 1}{z + 1}$	$x'(t)$ variere lin. over perioden
Step invariant (ZOH ækvivalent)	$G_d(z) = (1 - z^{-1}) Z\left\{\frac{1}{s} G(s)\right\}$	$u(t)$ konstant over perioden
Ramp invariant (Tr H ækvivalent)	$G_d(z) = \frac{(1 - z^{-1})^2}{z^{-1} T} Z\left\{\frac{1}{s^2} G(s)\right\}$	$u(t)$ variere lin. over perioden
Pole-Zero mapping	$z_0 = e^{s_0 T}$	

Invariante transformationer

Givet et analogt system $G(p)$.

Bestem overføringsfunktionen $G_d(q)$ for et diskret system (modellen), så outputtene er ens til samplingstidspunkterne:

$$t = kT \Rightarrow y_d(k) = y(kT)$$



Simulering af lineært system i Matlab

Senstools behøver en Matlab funktion: $y = \text{simprocess}(u,t,\text{par})$

Eksempel: Lineært system $\frac{Y(s)}{U(s)} = \frac{K}{1 + s\tau}$

a) Tistandsmodel og for-løkke

Kontinuert tilstandsmodel:

$$\dot{x}(t) = -\frac{1}{\tau}x(t) + \frac{K}{\tau}u(t)$$
$$y(t) = x(t)$$

```
function y=simktauloop(u,t,par)
h=t(2)-t(1);
nn=length(u);
x=0;
K=par(1); tau=par(2);
sysc=ss(-1/tau,K/tau,1,0);
sysd=c2d(sysc,h);
[ad,bd,cd,dd] = ssdata(sysd);
for jj=1:nn
x1=ad*x + bd*u(jj);
y(jj)=cd*x1;
x=x1;
end
```

Simulering af lineært system i Matlab

Senstools behøver en Matlab funktion: $y = \text{simprocess}(u,t,\text{par})$

Eksempel: Lineært system $\frac{Y(s)}{U(s)} = \frac{K}{1 + s\tau}$

a) Tistandsmodel og for-løkke

b) 'filter'/'dlsim' funktion

Kont. overføringsfunktion:

$$\frac{Y(s)}{U(s)} = \frac{K}{s\tau + 1}$$

$y = \text{filter}(nz,dz,u)$

beregner output baseret
på diskret overføringsfkt.

```
function y=simktaufilt(u,t,par)
:
sysctf=tf(par(1),[par(2) 1]);
sysdtf=c2d(sysctf,h);
[nz,dz]=tfdata(sysdtf,'v');
    % NB: 'v' for vector format
    % - not cell
y=filter(nz,dz,u);
end
```

Simulering af lineært system i Matlab

Senstools behøver en Matlab funktion: $y = \text{simprocess}(u,t,\text{par})$

Eksempel: Lineært system $\frac{Y(s)}{U(s)} = \frac{K}{1 + s\tau}$

- a) Tistandsmodel og for-løkke
- b) 'filter'/'dlsim' funktion
- c) 'lsim' fkt.

$y = \text{lsim}(\text{sysc}, u, t)$

beregner output baseret
på kontinuert system-
beskrivelse.

```
function y=simktau(u,t,par)
:
nc=K; dc=[tau 1];
t=[0 t(1:length(t)-1)];
    % lsim requires that t
    % starts with 0
y=lsim(nc,dc,u,t);
end
```

Simulering af lineært system i Matlab

Senstools behøver en Matlab funktion: $y = \text{simprocess}(u,t,par)$

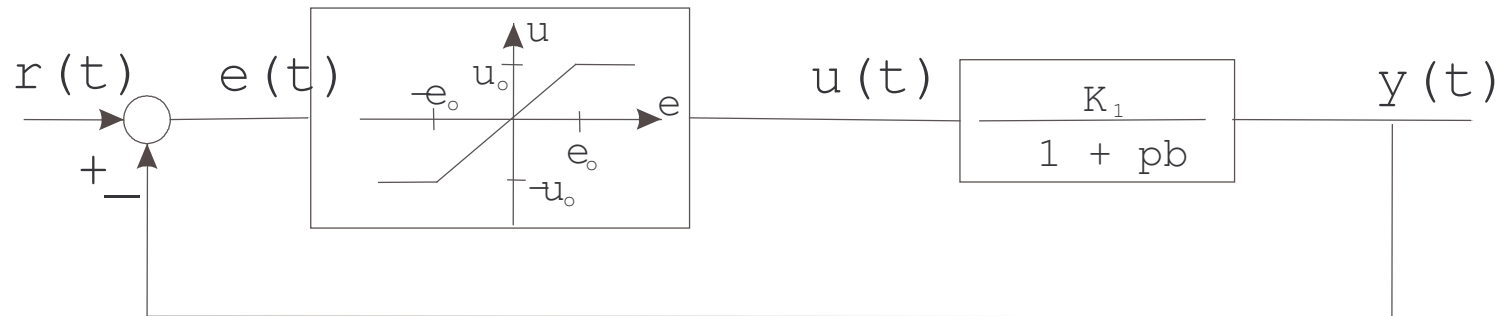
Eksempel: Lineært system $\frac{Y(s)}{U(s)} = \frac{K}{1 + s\tau}$

- a) Tistandsmodel og for-løkke
- b) 'filter'/'dlsim' funktion
- c) 'lsim' fkt.

Evaluering af de tre metoder:

- a) er langsom, **undgå løkker i Matlab**, hvor det er muligt. Ofte nødvendige ved ulineære systemer.
- b) og c) er sammenlignelige i hastighed.

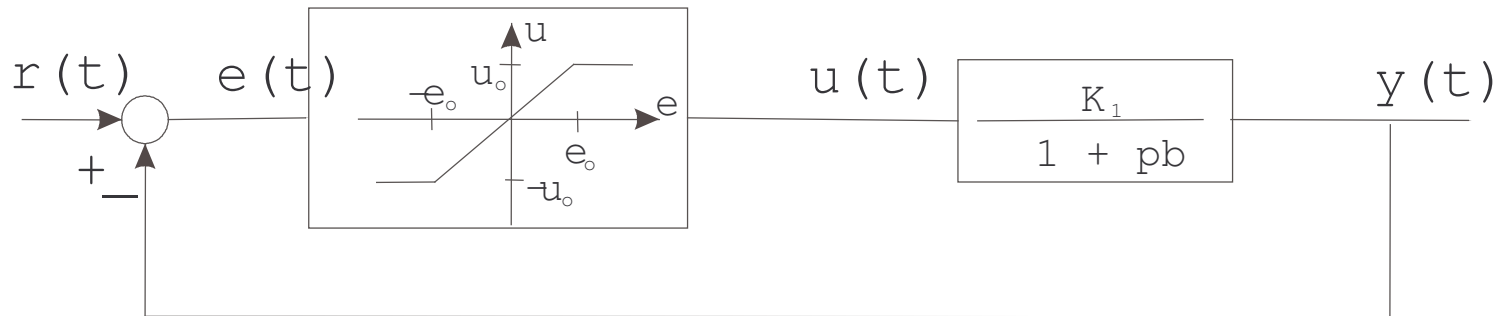
Simulering af ulineært system i Matlab



Mætning:

$e < -e_0:$	$u = -u_0$
$-e_0 \leq e \leq e_0:$	$u = ke$
$e_0 < e:$	$u = u_0$

Simulering af ulineært system i Matlab



Mætning:

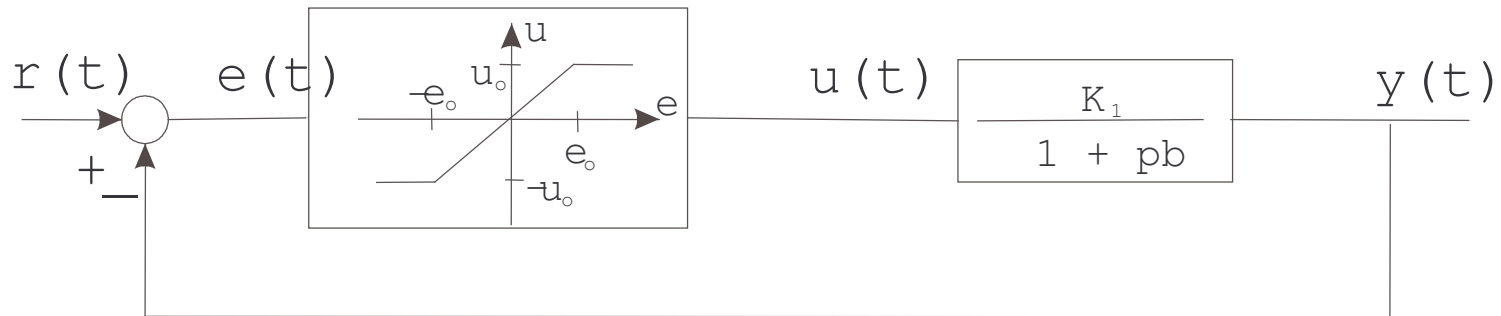
$$\begin{aligned} e < -e_0: & \quad u = -u_0 \\ -e_0 \leq e \leq e_0: & \quad u = ke \\ e_0 < e: & \quad u = u_0 \end{aligned}$$

Implementation i Matlab:

```

u = ke
if e > e0, u = u0; end
if e < -e0, u = -u0; end
    
```


Simulering af ulineært system i Matlab



Mætning:

$$\begin{aligned} e < -e_0: & \quad u = -u_0 \\ -e_0 \leq e \leq e_0: & \quad u = ke \\ e_0 < e: & \quad u = u_0 \end{aligned}$$

Implementation i Matlab:

```

u = ke
if e > e0, u = u0; end
if e < -e0, u = -u0; end
    
```

Brug af logiske operatorer (falsk udtryk har værdi 0) er mere effektivt:

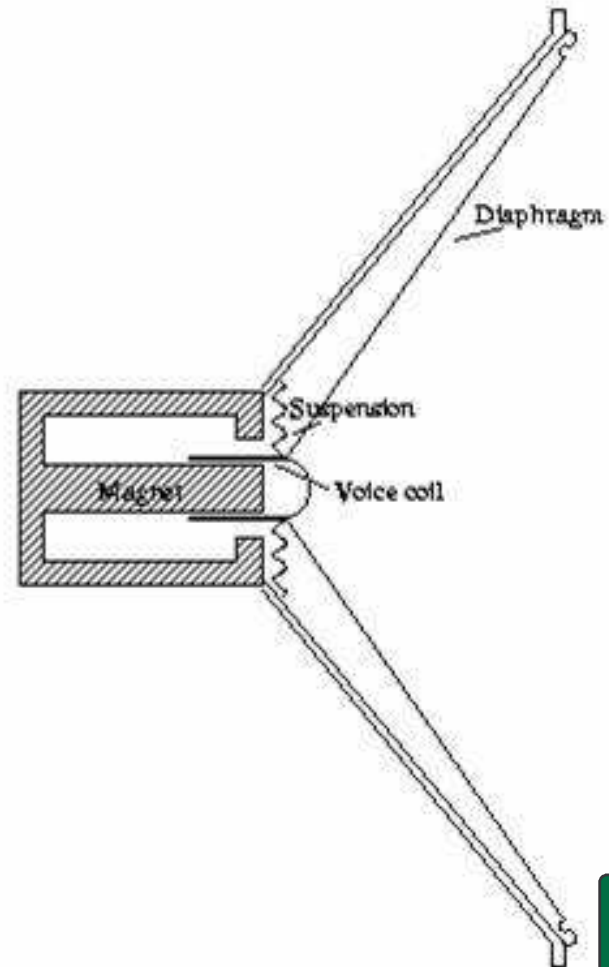
$$u = k * e - (abs(e) > e_0) * k * (e - sign(e) * e_0);$$

idet $u_0 = ke_0$ kan skrives som $u_0 = ke - k(e - e_0)$ og $-u_0 = ke - k(e + e_0)$.

Modellering og simulering af højttaler

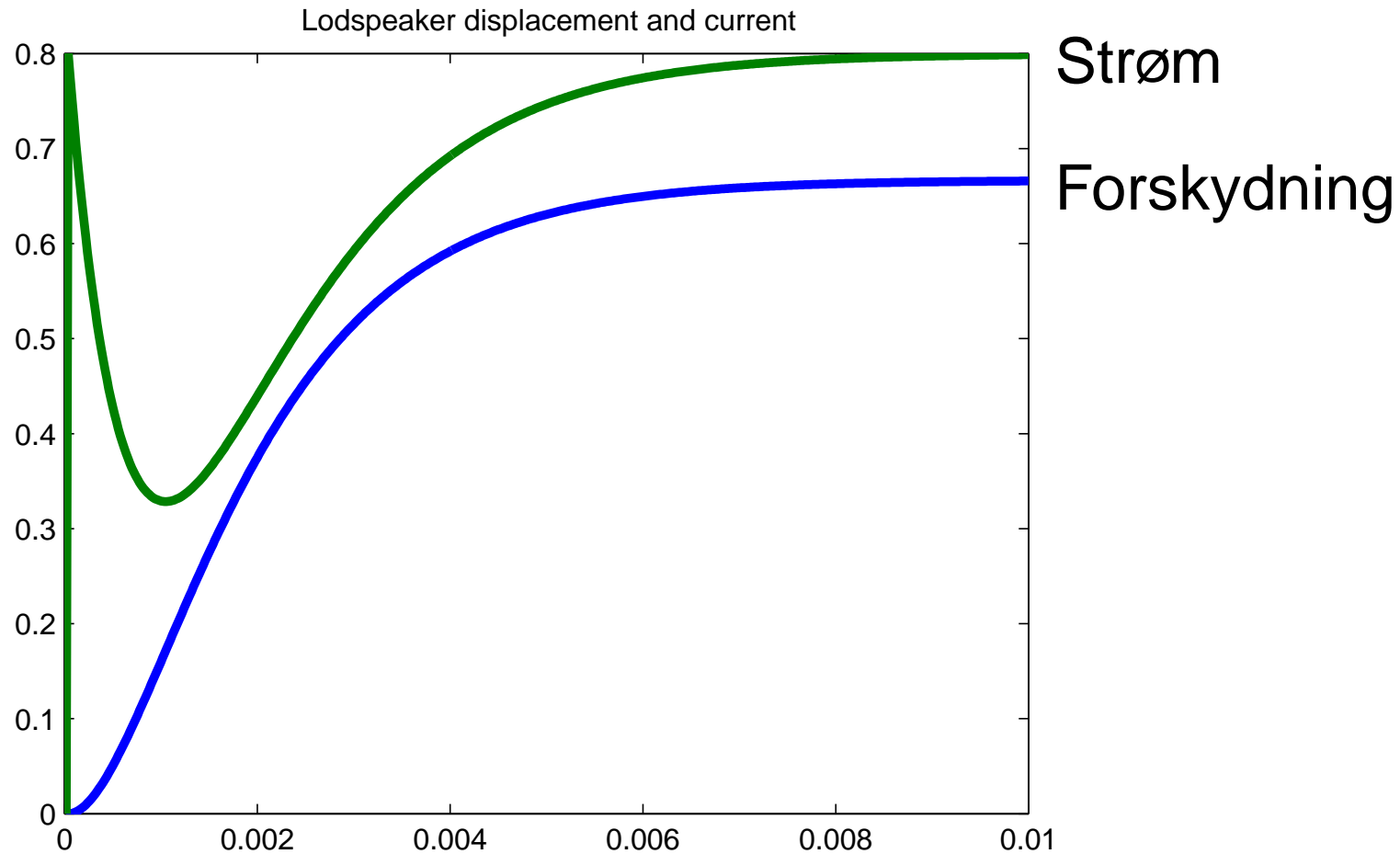
Betydning af symboler:

u	påtrykt spænding [V]
i	strøm i spolen [A]
x	forskydning af spole [m]
R	modstand i spole [Ω]
Bl	kraftfaktor [N/A]
m	bevægelige sys. masse [kg]
r	friktions koefficient [Ns/m]
k	ophængets stivhed [N/m]



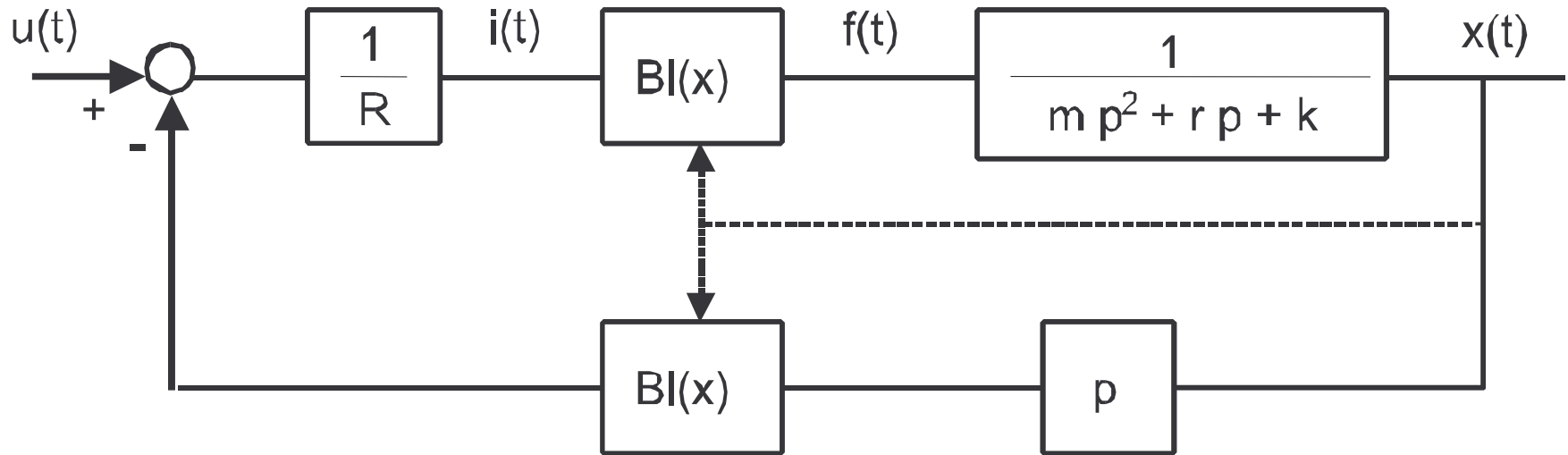
Modellering og simulering af højttaler

Steprespons:

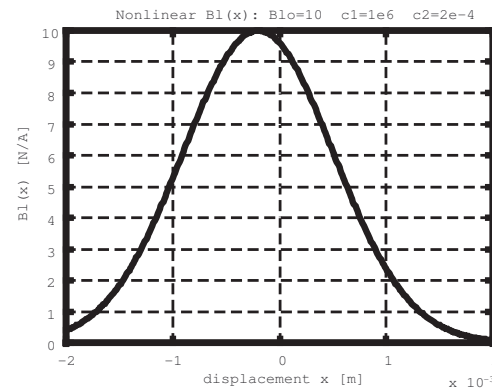


Ulineær højttalermodel

Positionsafhængig kraftfaktor:

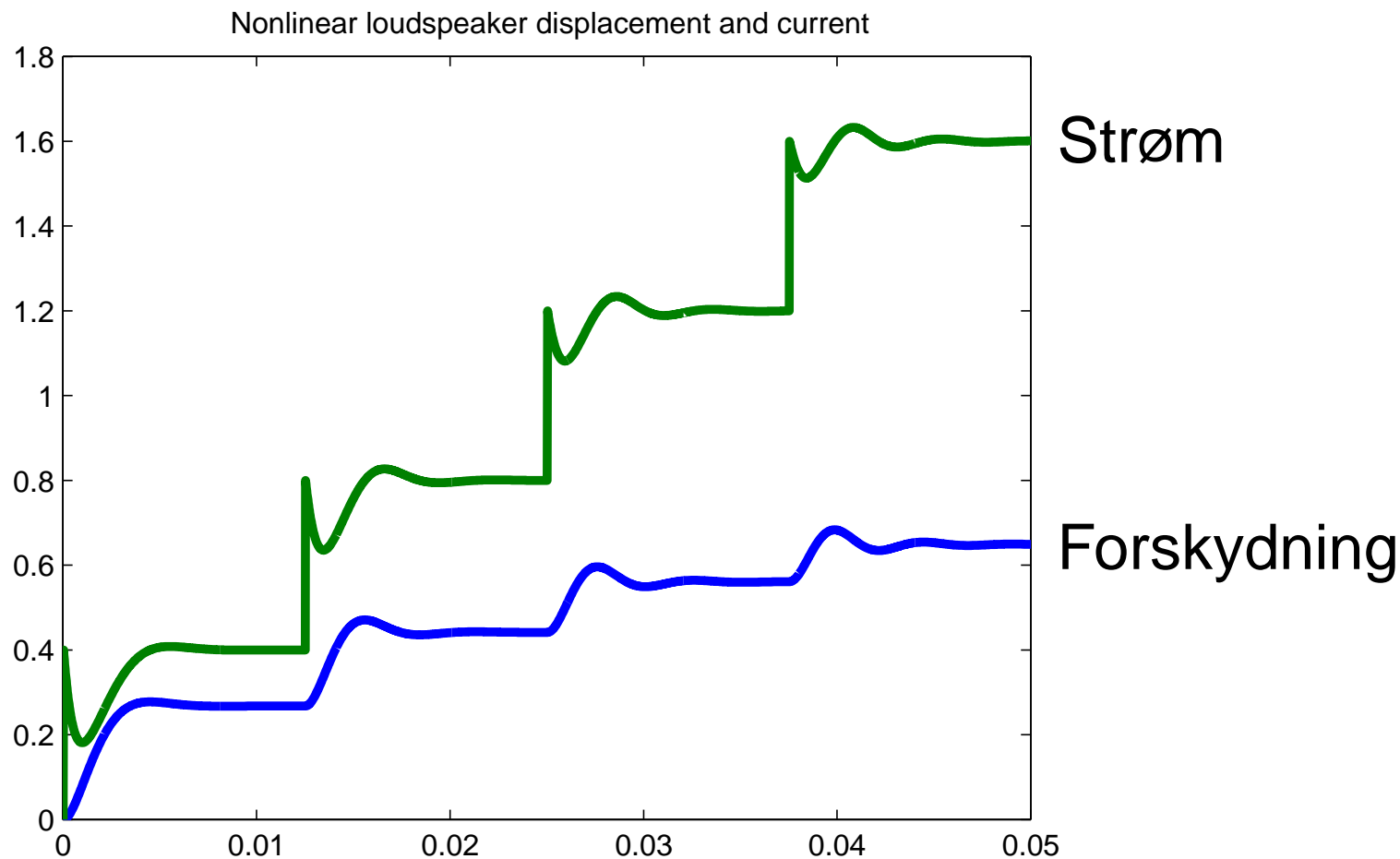


$$Bl(x) = Bl e^{-c_1(x+c_2)^2}$$



Ulineær højttalermodel

Steprespons:



Simulering af ulineært system i Matlab

Senstools behøver en Matlab funktion: `y = simprocess(u,t,par)`

a) Tistandsmodel og for-løkke

Simulering af ulineært system i Matlab

Senstools behøver en Matlab funktion: `y = simprocess(u,t,par)`

a) Tistandsmodel og for-løkke

b) 'odexxx' funktion

(ikke i note)

Integrerer ulineære ordinære differentiaalligninger

```
x = ode45('odefkt',t,x0,options,u)
```

```
function dxdt=odefkt(t,x,udok,par)
```

Simulering af ulineært system i Matlab

Senstools behøver en Matlab funktion: `y = simprocess(u,t,par)`

a) Tistandsmodel og for-løkke

b) 'odexxx' funktion

c) 'simulink'
(ikke i note)

En Simulink-model kan kaldes fra en m-fil

```
sim('mdl-fil')
```

Inputs og outputs overføres vha. workspace.

Simulering af ulineært system i Matlab

Senstools behøver en Matlab funktion: $y = \text{simprocess}(u,t,par)$

- a) Tistandsmodel og for-løkke
- b) 'odexxx' funktion
- c) 'simulink'

Evaluering af de tre metoder:

- a) er hurtigst, fordi systemindsigt kan indbygges ved håndkraft.
- b) og c) er sammenlignelige i hastighed, da de bruger samme solver.

Næste Forelæsning

Næste gang ser vi på:

- Senstools
- Parameter-estimation med Senstools