



# LUND UNIVERSITY

## Analysis of a Pump Servo System Using Sampled Data Identification and Continuous Time Interpretation

Nielsen, Lars

1981

*Document Version:*

Publisher's PDF, also known as Version of record

[Link to publication](#)

*Citation for published version (APA):*

Nielsen, L. (1981). *Analysis of a Pump Servo System Using Sampled Data Identification and Continuous Time Interpretation*. (Technical Reports TFRT-7215). Department of Automatic Control, Lund Institute of Technology (LTH).

*Total number of authors:*

1

### General rights

Unless other specific re-use rights are stated the following general rights apply:

Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.

- Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
- You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain
- You may freely distribute the URL identifying the publication in the public portal

Read more about Creative commons licenses: <https://creativecommons.org/licenses/>

### Take down policy

If you believe that this document breaches copyright please contact us providing details, and we will remove access to the work immediately and investigate your claim.

LUND UNIVERSITY

PO Box 117  
221 00 Lund  
+46 46-222 00 00

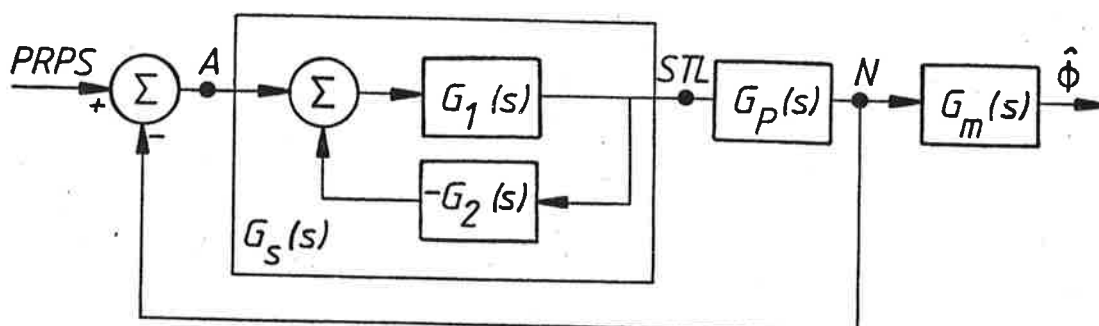
ANALYSIS OF A PUMP SERVO SYSTEM USING SAMPLED DATA  
IDENTIFICATION AND CONTINUOUS TIME INTERPRETATION

LARS NIELSEN

DEPARTMENT OF AUTOMATIC CONTROL  
LUND INSTITUTE OF TECHNOLOGY  
FEBRUARY 1981

## 1. PROBLEMFÖRMULERING

Två identifieringsproblem härrörande från experimentella data från ett pumpservosystem i en kokarvattenreaktor, har studerats. En modell för systemet beskrivs i detalj i Bergman-Gustavsson(1980). Dynamiken i kontinuerlig tid sammanfattas i figur 1 där även insignalen (PRBS) och mätsignalerna anges.



figur 1

STL=ställningsläge	$G_s$ : servodynamik
N=varvtal	$G_p$ : hydraulkoppling
$\hat{\phi}$ =flödesmätning	$G_m$ : mätgivare
A=hjälpvariabel	

Följande undersöks:

Problem\_1: Kan man ur uppmätta data bestämma servodynamiken  $G_s(s)$  från A (ej uppmätt) till ställningsläget STL.

Problem\_2: Kan man bestämma mätgivardynamiken  $G_m(s)$  från

egentligen  $\phi$  till  $\hat{\phi}$ , om man antar att flödet  $\phi$  är direkt kopplat till varvtalet N.

## 2. IDENTIFIERINGSMETOD

Data består av 512 observationer av PRBS, STL, N respektive  $\hat{\phi}$  gjorda med ett intervall på 0.25 sekunder. Plottningar i figur 2.

Vid analysen kan hänsyn till återkopplingen tas på olika sätt. I Gustavsson-Ljung-Söderström (1974) visas dock att ingen metod är bättre än att identifiera direkt (här mellan A och STL).

För denna direkta ansats har för båda problemen det interaktiva programpaketet IDPAC använts för att med maximum-likelihood-metoden (ML) anpassa en diskret modell av typen

$$(1+a_1 q^{-1}+\dots+a_n q^{-n})y(t)=(b_1 q^{-1}+\dots+b_n q^{-n})u(t)+\lambda(1+c_1 q^{-1}+\dots+c_n q^{-n})e(t)$$

För val av ordningstal  $n$  används förlustfunktionen  $V=\sum \epsilon(t)^2$ , där  $\epsilon(t)$  tolkas som prediktionsfel, och AIC (Akaike's test). Dessutom görs statistiska residualtest och simulering av erhållna modeller. För detaljer se kommandona ML, RESID och DETER i IDPAC.

Metoden bygger på två väsentliga förutsättningar som inte är uppfyllda här, nämligen att signalen är exakt känd och konstant över samplingsintervallet. Varierar signalen över samplingsintervallet förändras b-parametrarna drastiskt medan a-parametrarna är oförändrade.

Ett brus på mätningen av signalen påverkar å andra sidan även a-parametrar och statisk förstärkning i förhållande till brusets storlek (Söderström (1980)).

### 3. RESULTAT

Vid anpassningen till data ansattes modeller av olika ordningstal. Värdet på förlusterna  $V$  och AIC finns redovisade i tabell 1 för båda problemen  $G(s)$  och  $G_m(s)$ .

System	$G_s$		$G_m$	
	$V$	AIC	$V/100$	AIC/100
1	-	-	124	34.4
2	25.2	277	20	25.1
3	22.8	234	17	24.5
4	22.5	233	17	24.4

tabell 1

#### Problem 1

för att beskriva  $G(s)$  sluter man sig till ur tabell 1 till en tredje ordningens modell. Det fullständiga resultatet av ML i detta fall är

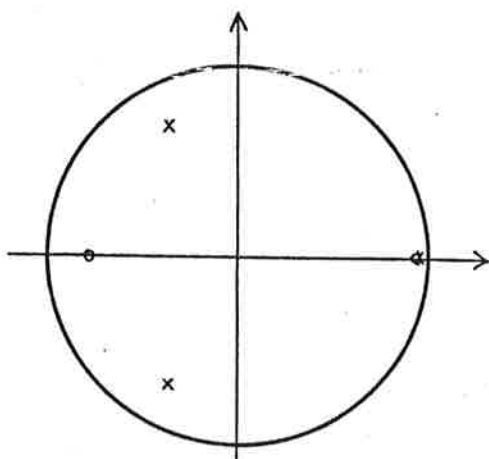
$$\begin{aligned}
 & (1+0.2546q^{-1}-0.1110q^{-2}-0.5500q^{-3})y(t)= \\
 & =0.01q^{-1}(7.459-1.472q^{-1}-5.286q^{-2})u(t)+ \\
 & +0.2987(1+0.4335q^{-1}-0.6063q^{-2}-0.4534q^{-3})e(t) \quad (3.1)
 \end{aligned}$$

Studium av residualernas egenskaper (figur 3) och simulering av systemet (figur 4) styrker att (3.1) räcker för att reproducera data.

Omskrivning av deterministiska delen av (3.1) ger

$$y(t) = \frac{0.0746(1-0.9463q^{-1})(1+0.7493q^{-1})}{(1-0.9630q^{-1})(1+0.7084q^{-1}+0.5712q^{-2})} u(t)$$

med pol-nollställe-konfiguration



De komplexa polerna ges av  
 $z = -0.3542 \pm i \cdot 0.6676$

Förkortning av gemensamma faktorn med bibehållande av statistiska förstärkningen ger

$$y(t) = \frac{0.0537}{0.0370} \frac{0.0746(1 + 0.7493q^{-1})}{1 + 0.7084q^{-1} + 0.5712q^{-2}} u(t) \quad (3.2)$$

Simulering av (3.2) i figur 4 visar att detta system är tillräckligt för att beskriva dynamiken, och följaktligen att anledningen till att ett tredje ordningens system (3.1) erhöles var bättre brusanpassning.

### Problem 2

Värdena i tabell 1 motiverar ordningstalet 2 för  $G(s)$ .

Detta styrks av residualtester (figur 5) och simulering (figur 6) av identifieringsresultatet ges av

$$\begin{aligned} (1 - 1.7476q^{-1} + 0.9199q^{-2})y(t) = \\ = q^{-1}(-0.5936 + 0.8004q^{-1})u(t) + \\ + 2.7800(1 + 0.4436q^{-1} + 0.3873q^{-2})e(t) \end{aligned} \quad (3.3)$$

Dock diskuteras en tredje ordningens modell närmre i Appendix A.

Deterministiska delen av (3.3) är

$$y(t) = \frac{-0.5936q^{-1} + 0.8004q^{-2}}{1 - 1.7476q^{-1} + 0.9199q^{-2}} u(t) \quad (3.4)$$

### Diskussion

Av intresse är nu i vilken utsträckning de tidsdiskreta systemen (3.2) och (3.4) kan tolkas för att kunna karakterisera  $G(s)$  respektive  $G_m(s)$ .

För osäkerheten i parametrarna gav IDPAC-rutinen ML skattade standardavvikelser som motsvarar någon enhet i andra siffran i värsta fall. Det faktum att insignalen inte är konstant över samplingsintervallet gör dock att B-polynomet saknar tolkning.

För problem 2 gäller, i den mån  $G_m$  ska representera mätgivardynamiken, att insignalen  $\phi$  inte är exakt känd. Eventuella avvikelser  $N-\phi$  kommer, som påpekats tidigare, att påverka statistisk förstärkning och karakteristiska polynomet (A-parametrarna).

Så länge man inte kan bryta återkopplingarna eller modellera mätbruset ( $N-\phi$ ) ger (3.2) respektive (3.4) bästa skattningarna av statistisk förstärkning och karakteristiskt polynom.

#### 4. SAMMANFATTNING

De parametrar som i det föregående bedömts som säkrast transformeras enligt Appendix B till kontinuerlig tid, vilket ger följande

Servodynamiken  $G_s(s)$  är väsentligen ett andra ordningens system med

Statisk förstärkning	0.08
Relativ dämpning	0.13
Brytfrekvens	8.3 rad/s

Mätgivardynamiken  $G_m(s)$  ges av ett andra ordningens system med

Statisk förstärkning	1.2
Relativ dämpning	0.1
Brytfrekvens	1.7 rad/s

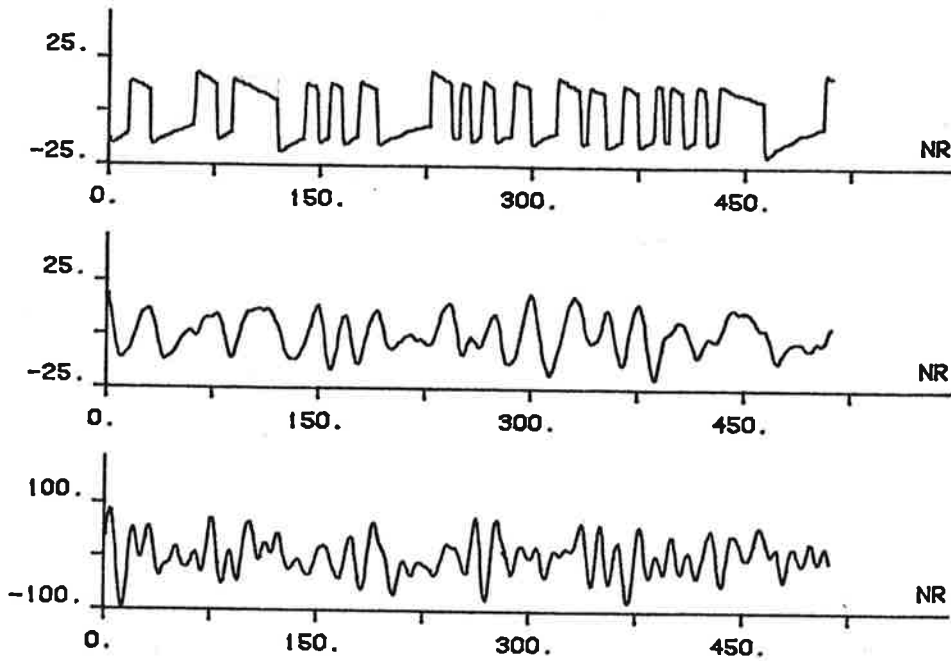
Tyvärr har det inte funnits tillfälle att validera modellerna på okända data.



## 5. REFERENSER

- S. Bergman, I. Gustavsson : Analysis of pump servo systems in boiling water reactors using recursive identification. Proceedings, 5:th IFAC symposium on system and process parameter identification. Darmstadt 1979.
- I. Gustavsson, T. Söderström, L. Ljung : Identification of linear, multivariable systems operating under linear feedback control. IEEE Trans. AC-19 836-840 (1974)
- T. Söderström : Identification of stochastic linear systems in presence of input noise. UPTEC 8073 R (1980)

PLOT (512) DATA(4)/DATA(1)/DATA(3)  
80.10.09 - 12:24:38

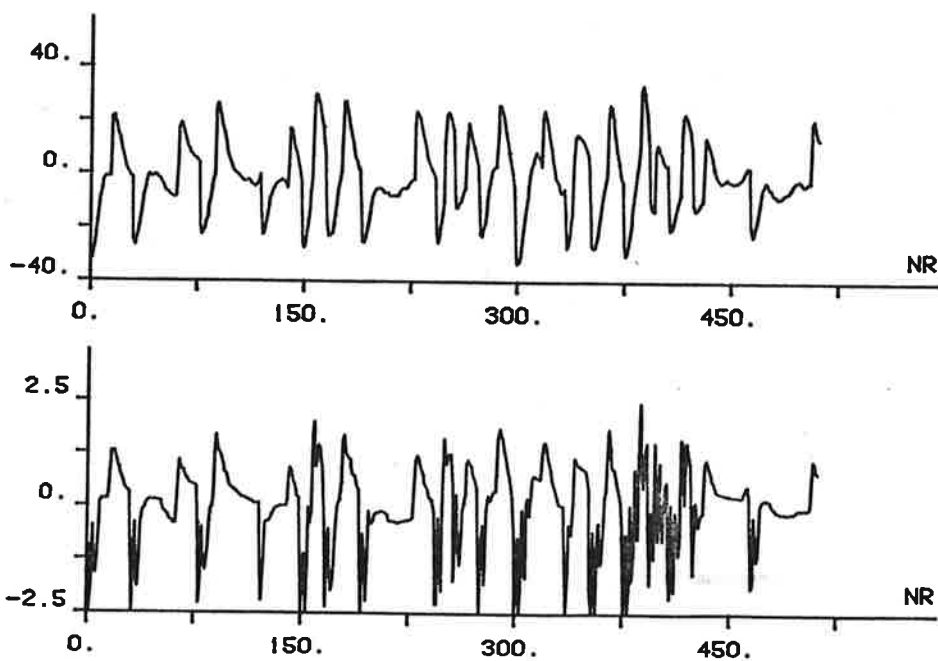


PRBS

VARVTAL

FLOEDESMAETNING

PLOT DATA(5)/DATA(2)  
80.09.03 - 09:10:59



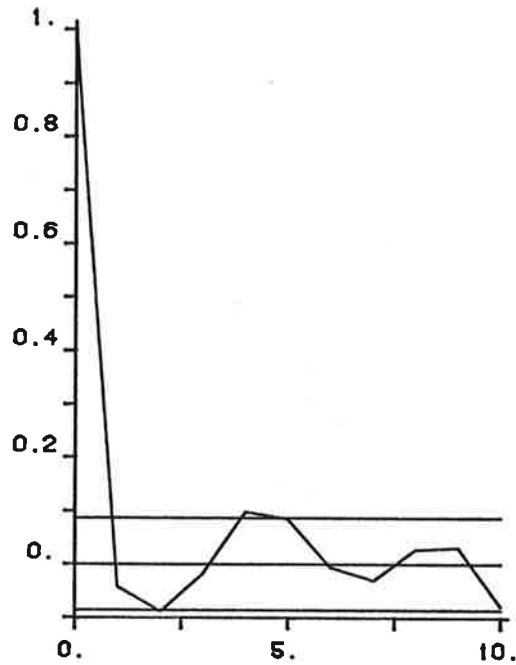
FIKTIV INSIGNAL (A)

STAELLDONSLAEGE

Figur 2

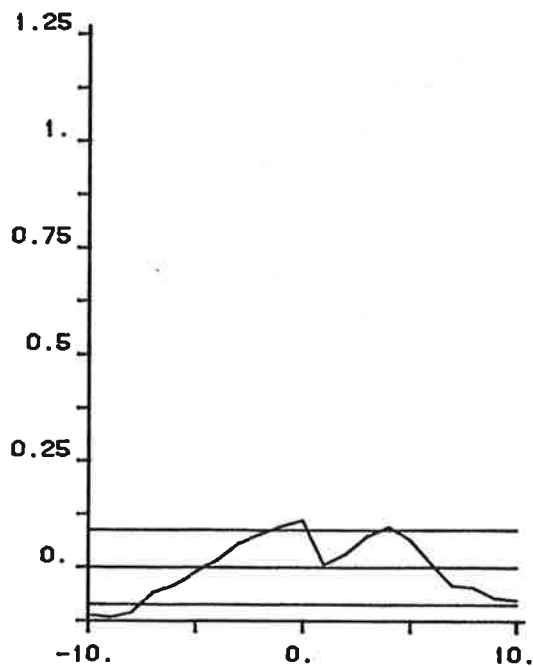
TEST OF INDEPENDENCE OF THE RESIDUALS

RESID RES3 < SYST3 DATA(5 2)  
80.09.03 - 11:08:28



TEST BETWEEN RESIDUALS AND INPUT

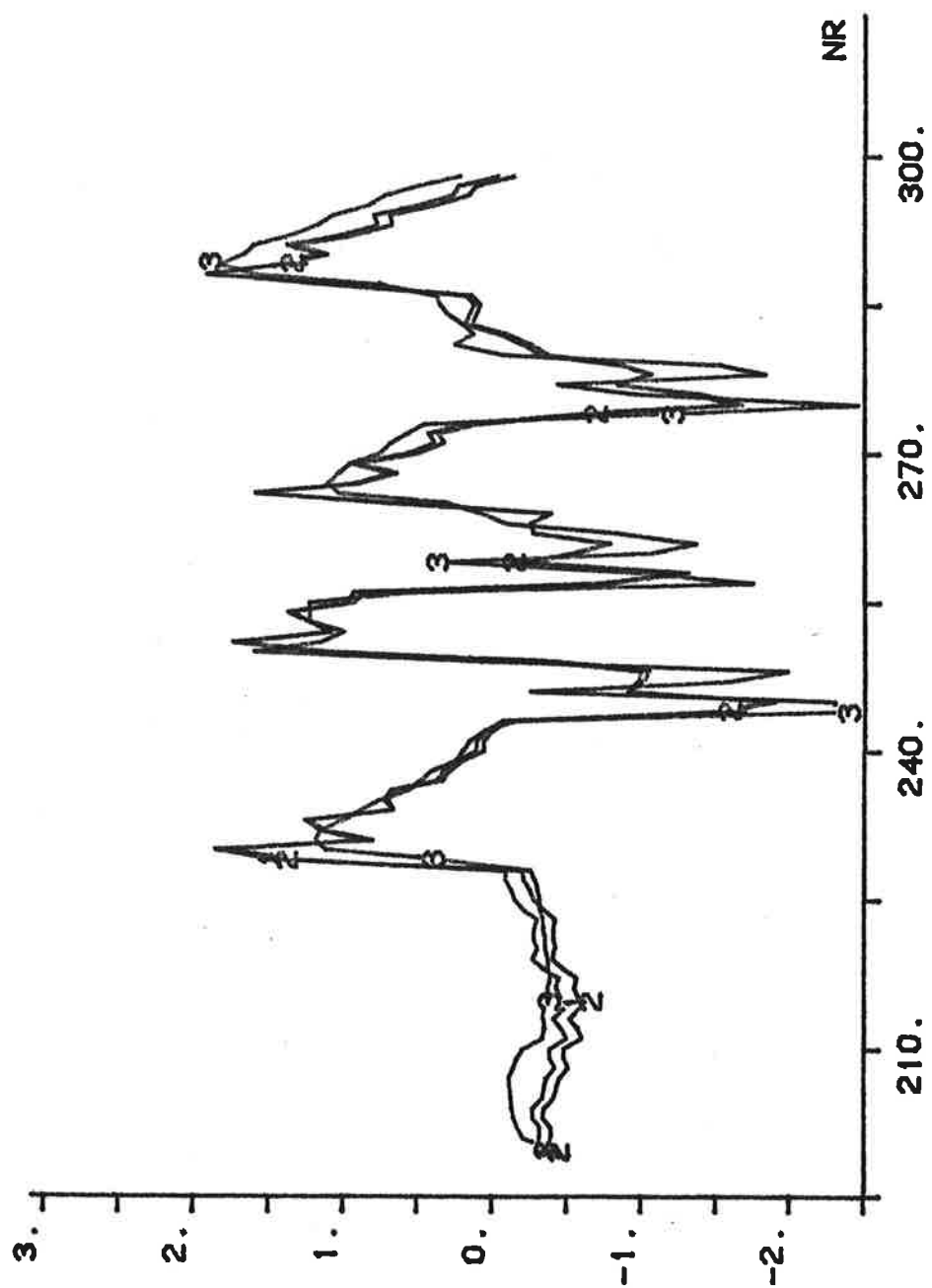
RESID RES3 < SYST3 DATA(5 2)  
80.09.03 - 11:11:54



Figur 3

JAEMFOERELSE MELLAN VERKLIG UTSIGNAL (3) OCH  
SIMULERING AV ANDRA ORDNINGENS MODELL (1)  
RESPEKTIVE TREDJE ORDNINGENS MODELL (2)

PLOT SIM2 SIM3 DATA(2)  
80.10.09 - 12:16:23

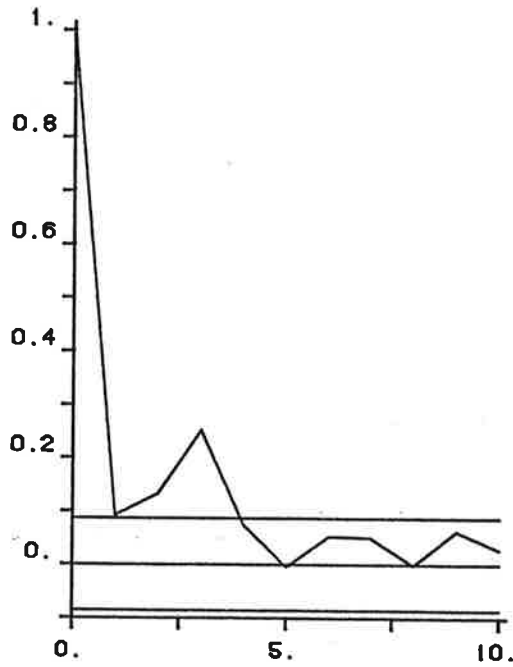


Figur 4

GIVARDYNAMIK

TEST OF INDEPENDENCE OF THE RESIDUALS

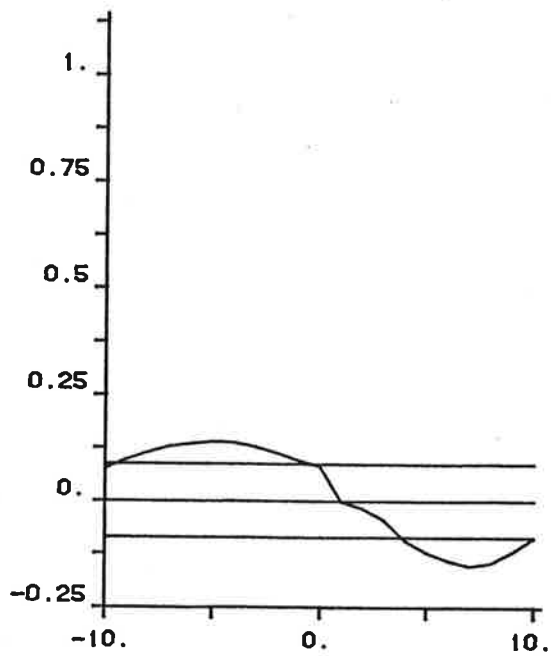
RESID RESM2 < M2 DATA1 3>  
80.09.09 - 14:26:10



GIVARDYNAMIK

TEST BETWEEN RESIDUALS AND INPUT

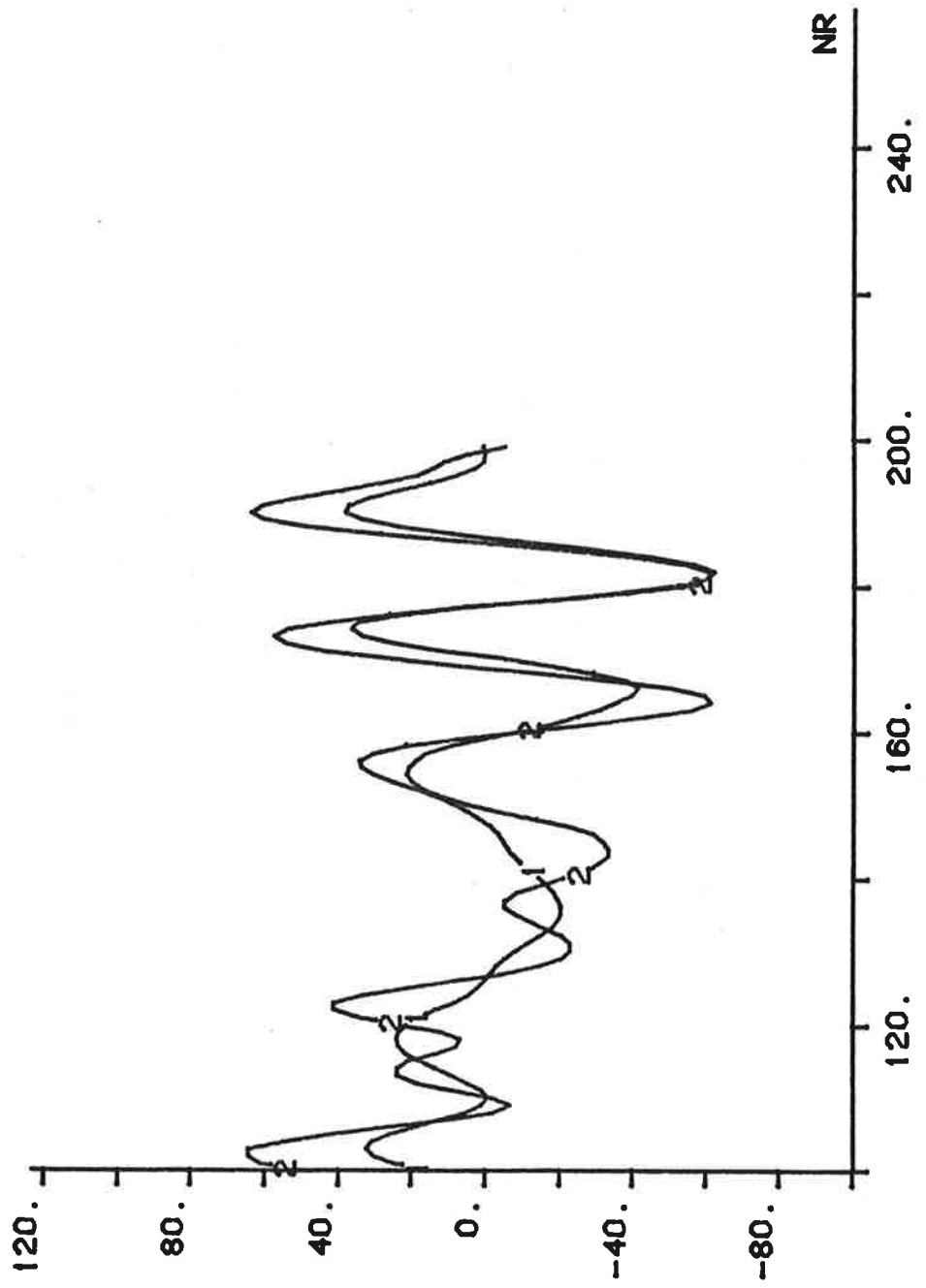
RESID RESM2 < M2 DATA1 3>  
80.09.09 - 14:29:59



Figur 5

JÄMFÖRELSE MELLAN SIMULERAD OCH VERKLIG UTSIGNAL  
(1)  
(2)

PLOT GIV2 DATA(3)  
80.09.09 - 14:50:07



Figur 6

## APPENDIX A

Vid identifiering av  $G(s)$  ger ett tredje ordningens system en relativt liten minskning av förlustfunktionen. Man antar därför att systemet egentligen är av ordning 2, och att förkortning av någon gemensam faktor kan ske.

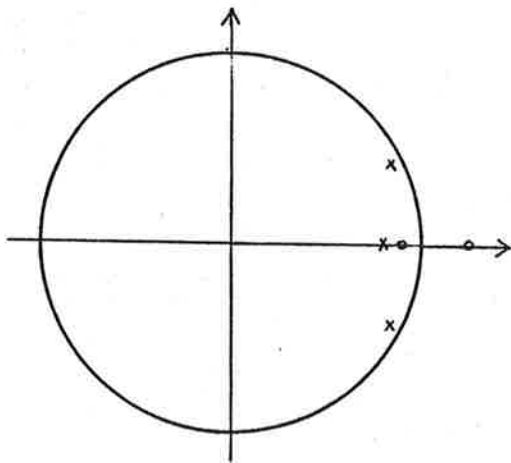
Resultatet av ML blir

$$\begin{aligned} & (1-2.5229q^{-1}+2.3079q^{-2}-0.7476q^{-3})y(t)= \\ & =q^{-1}(-0.8359+1.8052q^{-1}-0.9475q^{-2})+ \\ & +2.6004(1-0.2783q^{-1}+0.1103q^{-2}-0.00392q^{-3})e(t) \end{aligned}$$

Deterministiska delen blir

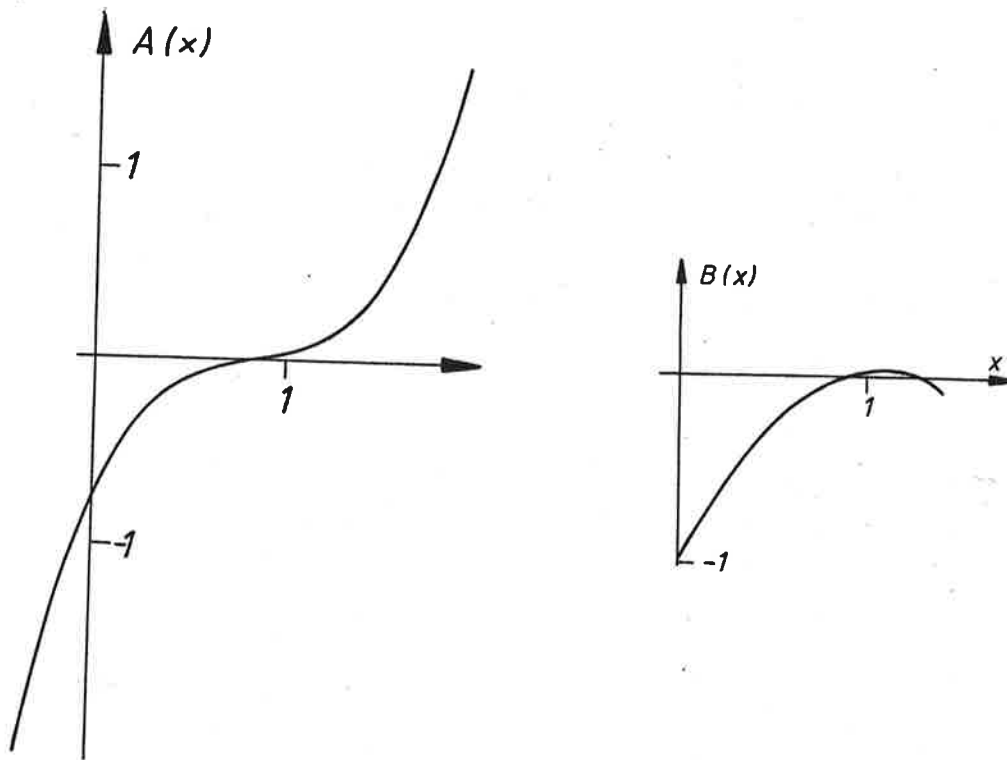
$$y(t) = \frac{-0.8359(1-0.8999q^{-1})(1-1.2596q^{-1})}{(1-0.821q^{-1})(1-1.7019q^{-1}+0.9107q^{-2})} u(t)$$

med pol-nollställe-diagram enligt



Polen och nollstället ligger nu så långt ifrån varandra att förkortning kan synas svår motiverad.

Förklaringen ges om man plottar  $A(x)$  respektive  $B(x)$  enligt figur



Ur figuren ser man att polen respektive nollstället är mycket känsligt för små parametervariationer i A-polynom respektive B-polynom.

Man bör alltså kunna dividera bort en faktor  $z-a$  med  $a$  mellan  $0.8$  och  $0.9$ . Det är emellertid då mycket möjligt att den förbättring i förlusten som erhöles mellan ordningstal  $2$  och  $3$  försvinner.

Det finns därför ingen anledning att föredra denna modell för deterministiska delen framför den man erhåller vid direkt identifiering av ett andra ordningens system.



## APPENDIX B

### Statisk förstärkning

Antag att  $G(s)$  har z-transformen  $\hat{G}(z)$ .

Då är  $G(0) = \hat{G}(1)$ .

Transformation av  $s^2 + 2\xi\omega_0 s + \omega_0^2$

Antag att polerna i kontinuerlig tid ges av

$$s = \xi\omega_0 \pm i\omega_0\sqrt{1-\xi^2}$$

Motsvarande samplade poler ges då av

$$z = \exp(-Ts) = \exp(-\xi\omega_0 T \pm i\omega_0 T\sqrt{1-\xi^2})$$

Karakteristiskt polynom i diskret tid blir alltså

$$\begin{aligned} (z - \exp(-\xi\omega_0 T + i\omega_0 T\sqrt{1-\xi^2})) (z - \exp(-\xi\omega_0 T - i\omega_0 T\sqrt{1-\xi^2})) &= \\ = z^2 - z \cdot \exp(-\xi\omega_0 T) 2\cos\omega_0 T\sqrt{1-\xi^2} + \exp(-2\xi\omega_0 T) & \quad (1) \end{aligned}$$

### Problem 1:

Ekvation (3.2) ger  $\hat{G}_s(1) = 0.0831$ . Jämförelse av koefficienter

i nämnaren av (3.2) och i (1) ger

$$\begin{cases} \exp(-\xi\omega_0 T) 2\cos(\omega_0 T\sqrt{1-\xi^2}) = -0.7084 \\ \exp(-2\xi\omega_0 T) = 0.5712 \end{cases}$$

Ekvationssystemet har för  $T=0.25$  s lösningen

$$\omega_0 = 8.3101$$

$$\xi = 0.1348$$

Problem 2:

Statisk förstärkning ur (3.4) ger  $\hat{G}_m = 1.2002$

Koefficienterna i karakteristiska polynomet ger

$$\begin{cases} \exp(-\xi\omega_0 T) 2\cos(\omega_0 T\sqrt{1-\xi^2}) = 1.7476 \\ \exp(-2\xi\omega_0 T) = 0.9199 \end{cases}$$

Vilket med  $T=0.25$  s ger

$$\omega_0 = 1.7078$$

$$\xi = 0.0979$$