

CODEN: LUTFD2/(TFRT-5376)/1-76/(1987)

# Reglering av kontinuerlig fettspaltningsprocess

Magnus Hansson  
Magnus Andersson

Institutionen för Reglerteknik  
Lunds Tekniska Högskola  
December 1987

<b>Department of Automatic Control</b> <b>Lund Institute of Technology</b> P.O. Box 118 S-221 00 Lund Sweden		<i>Document name</i> Master Thesis	
		<i>Date of issue</i> December 1987	
		<i>Document Number</i> CODEN: LUTFD2/(TFRT-5376)/1-76/(1987)	
<i>Author(s)</i> Magnus Hansson and Magnus Andersson		<i>Supervisor</i> Rolf Johansson and (Lars Petersson)	
		<i>Sponsoring organisation</i>	
<i>Title and subtitle</i> Control of a continuous fat splitting process. (Reglering av kontinuerlig fettspaltningprocess.)			
<i>Abstract</i> <p>This report is a master thesis in automatic control made at Karlshamn AB.</p> <p>The purpose of this thesis work has been to improve the control of a continuous high-pressure fat splitting process, and thereby eliminate temperature and pressure oscillations.</p> <p>The procedure of work was collection of data, identification, simulation and control design and verification thereof.</p> <p>The improvements consist of tuning of present controllers and suggestions for new control-structures.</p>			
<i>Key words</i>			
<i>Classification system and/or index terms (if any)</i>			
<i>Supplementary bibliographical information</i>			
<i>ISSN and key title</i>			<i>ISBN</i>
<i>Language</i> Swedish	<i>Number of pages</i> 76	<i>Recipient's notes</i>	
<i>Security classification</i>			

The report may be ordered from the Department of Automatic Control or borrowed through the University Library 2, Box 1010, S-221 03 Lund, Sweden, Telex: 33248 lubbis lund.

Vi vill här rikta ett stort tack till våra handledare Lars Petersson och Rolf Johansson.

Vidare vill vi tacka Roy Wahlström, Anders Kohlén och operatörer på TEFAC för bistånd i form av erfarenheter av anläggningen.

På reglerinstitutionen vill vi tacka alla de som på ett eller annat sätt hjälpt oss under arbetets gång.

# Innehållsförteckning

<i>kapitel</i>		<i>sidan</i>
1	Inledning	1
2	Kartläggning av anläggningen	2
3	Mätningar	6
4	Identifiering	7
5	Inställning av regulatorer	16
6	Modifieringar av regleringen	23
	Sammanfattning	29
	Rekommendationer	31
	Referenser	32
	Appendix A	33
	Appendix B	34
	Appendix C	35
	Appendix D	59
	Appendix E	60
	Appendix F	67

# 1. Inledning

## Karlshamns AB

Detta examensarbete har utförts på Karlshamns AB (KAB). Företaget framställer och förädlar olje- och fettprodukter (fettsyra, glass och margarin). Tefac, en division inom KAB, är en fettsyrafabrik där råfetter förädlas till fettsyra och råglycerin. Ett första led i processen är spaltning av råfett vilken är den del vi har studerat närmare.

## Problem

Spaltningen som sker i en högtrycksautoklav (spalttorn) kräver att bl.a. temperatur och tryck hålls på en jämn föreskriven nivå. Sedan idrifttagningen (oktober 86) har dock dessa storheter inte kunnat hållas inom föreskrivna gränser. Detta har medfört åtskilliga avbrott i den annars kontinuerliga spaltningprocessen.

## Uppgift

Vår uppgift var att kartlägga anläggningen och finna orsaken till dessa pendlingar. Med hjälp av denna kartläggning skulle vi sedan optimera nuvarande reglering. Vi försökte också hitta alternativa sätt att styra ventiler, motorer och andra styrparametrar. Metoden vi arbetat efter är att först kartlägga anläggningen teoretiskt och matematiskt genom mätningar och identifiering för att sedan kunna göra simuleringar av anläggningen.

## 2. Kartläggning av anläggningen

Den här delen av rapporten handlar om att kartlägga anläggningen. Detta innebär att man ska göra en detaljerad beskrivning av anläggningen och dess olika delar. Detta ska göras i form av en teknisk teckning som visar anläggningens layout och de olika delarna som ingår i den. Detta ska göras i form av en teknisk teckning som visar anläggningens layout och de olika delarna som ingår i den.

### Spaltningen och dess reglering

Kortfattat kan spaltningen beskrivas enligt följande (se fig 2.1). Till det 30 m höga spalttornet tillförs råfett, processvatten och vattenånga. Ångans uppgift är att värma upp tornets innehåll till de: 250-260°C som krävs för spaltningen.

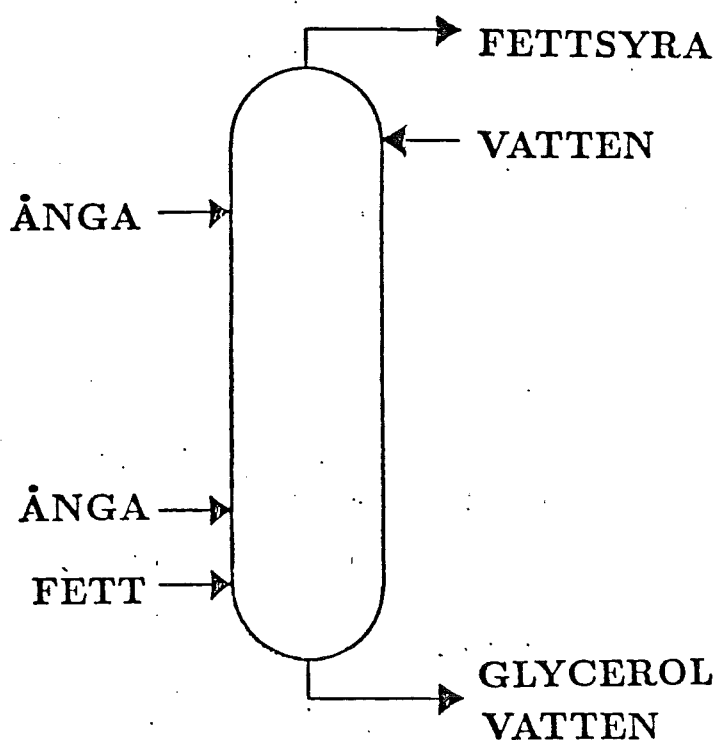


fig. 2.1. Spalttorn

Råfettet som stiger upp genom tornet möter processvattnet. På grund av det höga trycket och den höga temperaturen spaltas fettets upp i fettsyra och glycerin. Fettsyran fortsätter uppåt medan glycerinet följer det nerregnande processvattnet. I botten av tornet är glycerinet och vattnet i två separata vätskefaser.

Råfett och processvatten pumpas kontinuerligt in i spalttornet. Flödet ställs manuellt och är på cirka 3300 kg/h resp 2400 kg/h. Temperaturen på fett och

vatten ligger på cirka 80-90°C. Spaltningen kräver betydligt högre temperatur: 250-260°C, varför vattenånga tillförs via två ventiler.

Temperaturen i spalttornet mäts med två givare placerade i topp resp. botten. Dessa temperaturer styr varsin ångventil. Trycket i tornet bör ligga på ca. 53 bar och regleras genom utsläppet av fettsyra via en ventil i toppen.

Den tredje storheten som regleras i tornet är vattennivån i botten. Denna påverkas med en ventil i botten av tornet och styrs av en nivågivare.

Vattenångan till tornet genereras i en ånggenerator där vatten upphettas av hetolja. Trycket i ånggeneratoren regleras av en trevägsventil som styr mängden hetolja in till ånggeneratoren. Hetoljan värms upp i en elpanna och cirkulerar mellan denna och ångpannan. Oljans temperatur regleras av elpannans effekt. En materialflödesbild av hela systemet presenteras i appendix A.

Alla regulatorer i systemet utom elpannans finns implementerade i en ASEA Master Piece 200.

## De olika delprocesserna

För att förenkla bilden av det samlade systemet gör vi en uppdelning i tre delprocesser.

- Hetoljepanna
- Ånggenerator
- Spalttorn

I dessa införs de olika storheterna som in- och utsignaler. Insignalerna består till största delen av styrsignaler från regulatorer, oftast ventillägen, men i vissa fall förekommer även fysikaliska storheter som insignaler.

En kort beskrivning av de tre delprocesserna och de in- och utsignaler som kan ha någon inverkan följer. Förkortade beteckningar för dessa införs också. Fullständig förteckning på dessa beteckningar finns i appendix B.

Valet av signaler baserades på trendkurvor, observationer på plats och samtal med personalen.

## Hetoljepanna

Hos hetoljepannan finns en utsignal, temperaturen på den uppvärmda hetoljan ( $t_{HU}$ ). Som första insignal tas effekten som bestäms av regulatören ( $U_E$ ). Även temperaturen på hetoljan som kommer i retur till elpannan ( $t_{HR}$ ) inverkar på den utgående temperaturen och tas därför med som en andra insignal. Ett

blockschema där också regulator ingår visas i fig 2.2.

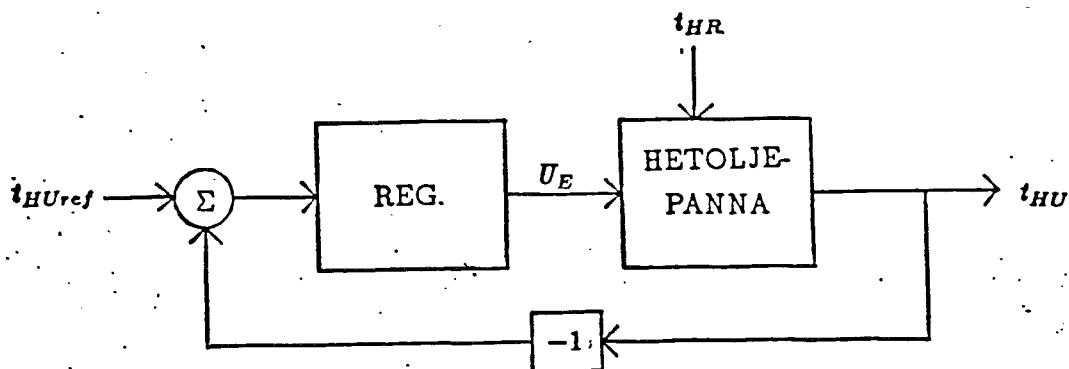


fig. 2.2. Blockschema för hetoljepannan.

## Ånggenerator

I detta system har vi tagit med två utsignaler ångtrycket ( $p_A$ ) och temperaturen på returlöjan  $t_{HR}$ , vilket alltså är samma signal som ingår i modellen för elpannan. Här är insignalerna fem till antalet.

- Styrsignal från regulatorn till trevägsventilen ( $U_H$ )
- Temperatur på uppvärmd hetolja ( $t_{HU}$ )
- De två strypventilerna som reglerar flödet av ånga till spalttornet, övre ventilen ( $U_{AÖ}$ ) och undre ventilen ( $U_{AU}$ )
- Vattennivån i ånggeneratorn ( $L_A$ )

Blockschema med regulatorer visas i figur 2.3.

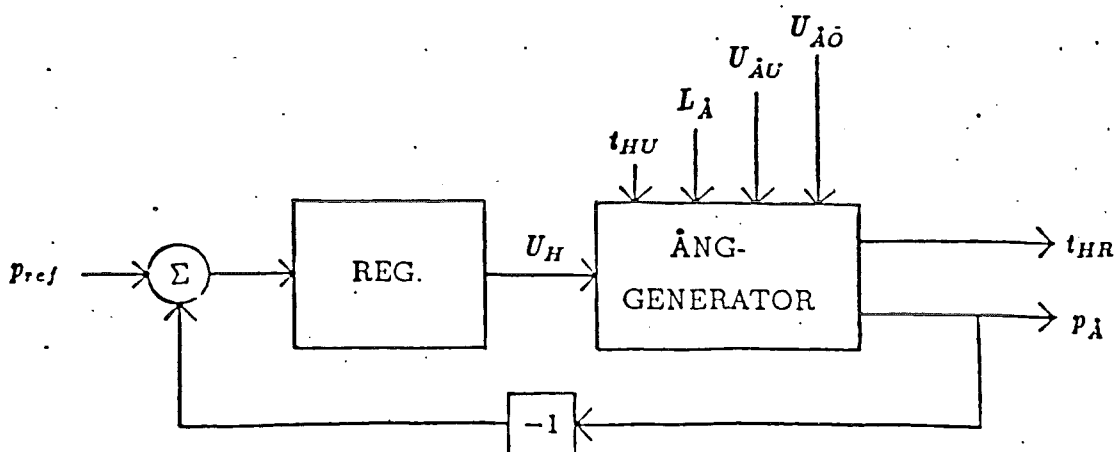


fig 2.3. Blockschema för ångpannan.

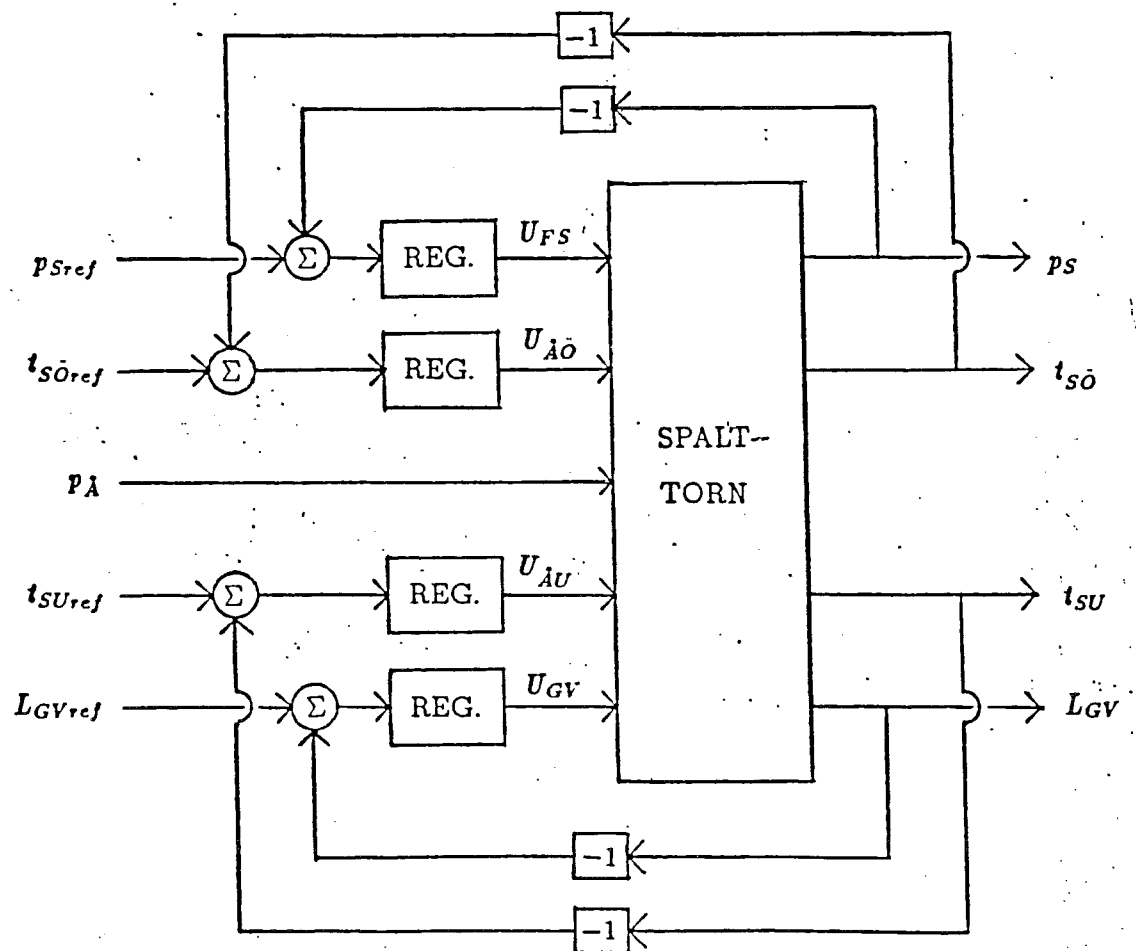


## Spalttornet

Utsignalerna i spalttornet är dels de två temperaturerna övre ( $t_{SÖ}$ ) och den undre ( $t_{SU}$ ). Vidare är även trycket i tornet ( $p_S$ ) och glycerinvattennivån i botten av tornet ( $L_{GV}$ ) ut signaler. Insignaler är

- De båda strypventilerna  $U_{AÖ}$  och  $U_{AU}$
- Styrsignal från nivåregulatorn  $U_{GV}$ .
- Styrsignal från tryckregulatorn  $U_{FS}$ .
- Trycket på ångan som släpps in. Eftersom trycksänkningen i rören från ånggeneratoren kan betraktas som linjär används trycket i ånggeneratoren  $p_A$ .

Blockschema med regulatorer visas i figur 2.4. nedan.



### 3. Mätningar

Syftet med mätningarna av processerna är att få underlag för att med identifiering ställa upp matematiska modeller.

Mätningarna har utförts med en Tandon persondator försedd med en 8-kanals A/D-omvandlare. Signalerna hämtades från ett utgångskort på ASEA Mastern. Den enda signal som inte kunde tas upp på detta vis var elpannans effekt ( $U_E$ ). Denna loggades manuellt.

Då antalet lediga utgångar var sex stycken delades mätningarna upp i ett antal signalgrupper med sex i varje.

Sampeltiden anpassades till signalernas olika pendlingstider och varierade mellan 1-60 sekunder. Mättiden varierade mellan 10 och 15 timmar också den beroende på pendlingstiderna.

För att mätningarna skall kunna ge någon information om systemet, så måste processerna störas. I de fall där inte naturliga störningar funnits har sådana introducerats genom börvärdesändringar och manuell styrning.

En uppställning över de mätningar som används finns i appendix B.

## 4. Identifiering

Nästa steg på väg mot matematiska modeller är att undersöka eventuella samband mellan in- och utsignaler genom frekvensanalys. Detta för att sortera ut de signaler där man kan förvänta sig, att modeller kan tas fram.

Efter själva identifieringen följer en validering som vi baserat på studier av residualer och jämförandet av modellens utsignal och den verkliga utsignalen. Under identifieringen har programpaket IDPAC använts, som utvecklats på institutionen för reglerteknik.

För att enklare åskådliggöra gången i identifiering förklaras de olika momenten genom att en av processerna tas som exempel. De övriga fyra intressanta:  $p_{\dot{A}}$ ,  $t_{HU}$ ,  $t_{HR}$  och  $t_{SU}$  presenteras i appendix C.

Vi har valt övre temperaturen i spalttornet ( $t_{S\ddot{O}}$ ).

### Frekvensanalys

För att prova sambandet mellan in- och utsignal användes den kvadrerade koherensfunktionen,  $|\kappa^2|$ , som ger ett normerat spektrum där sambandet mellan signalerna för olika frekvenser ges på y-axeln.

Värdet av  $|\kappa^2|$  bör vara större än 0.4 under delar av spektrat, för att en matematisk modell ska förväntas ge ett bra resultat. För den övre temperaturen har vi provat sambandet med följande insignaler:  $p_{\dot{A}}$ ,  $p_S$ ,  $U_{\dot{A}\ddot{O}}$  och  $U_{\dot{A}U}$ .

Dessa visas i fig 4.1.

Med utgångspunkt av dessa spektra valdes  $p_{\dot{A}}$  och  $U_{\dot{A}\ddot{O}}$  som insignal. En modell gjordes. Det visade sig, att modellen ej gav önskat beteende d. v. s. temperaturen höjdes då trycket sänktes. Insignal blir därför endast  $U_{\dot{A}\ddot{O}}$ . Dessa signaler visas i fig. 4.2.

# Koherensfunktioner

$$1 = p_A \Rightarrow t_{s\bar{0}}$$

$$2 = p_s \Rightarrow t_{s\bar{0}}$$

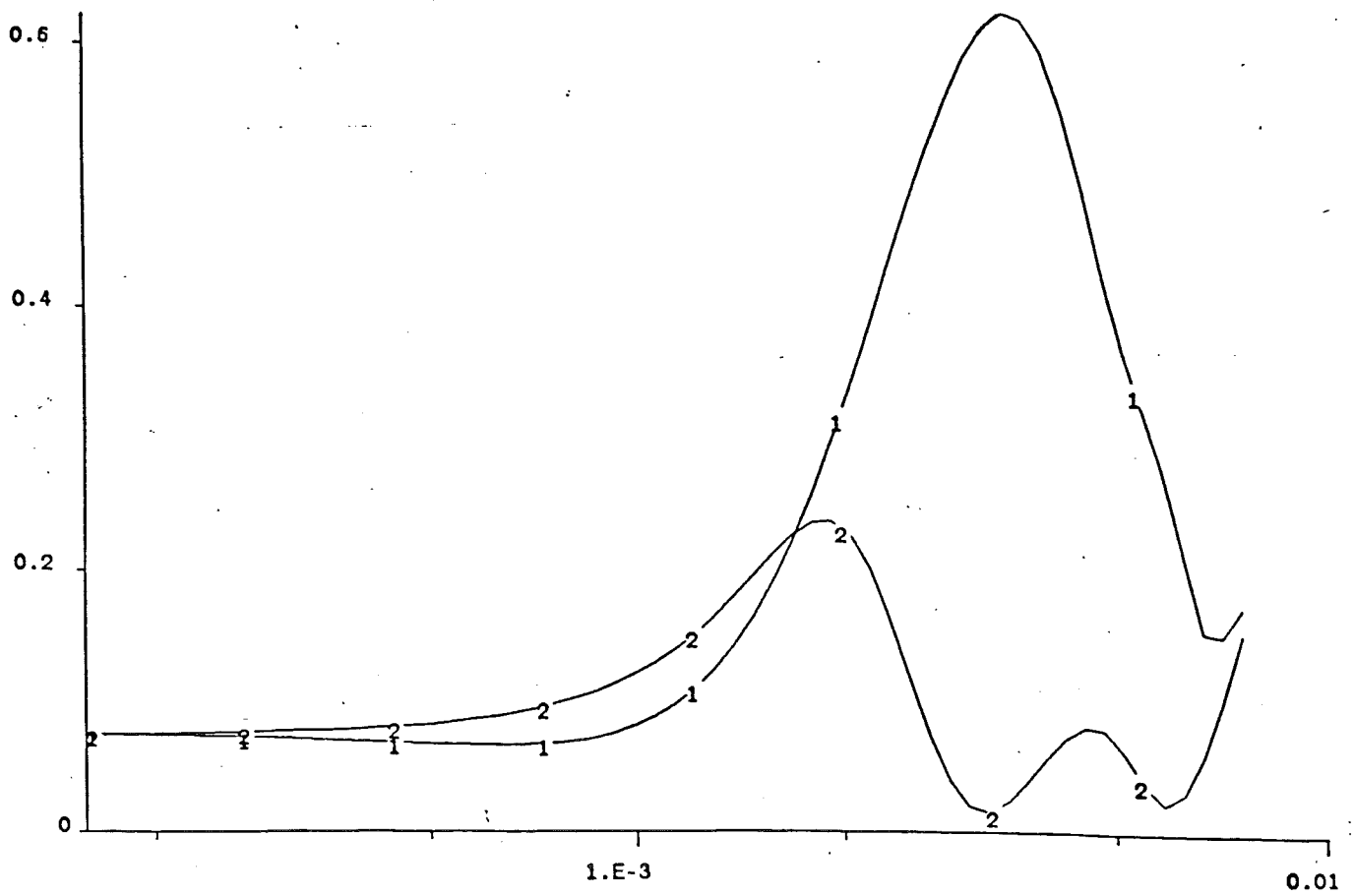


fig. 4.1a

# Koherensfunktioner

$$1 = U_{\lambda\bar{0}} \Rightarrow t_{s\bar{0}}$$

$$2 = U_{\lambda U} \Rightarrow t_{s\bar{0}}$$

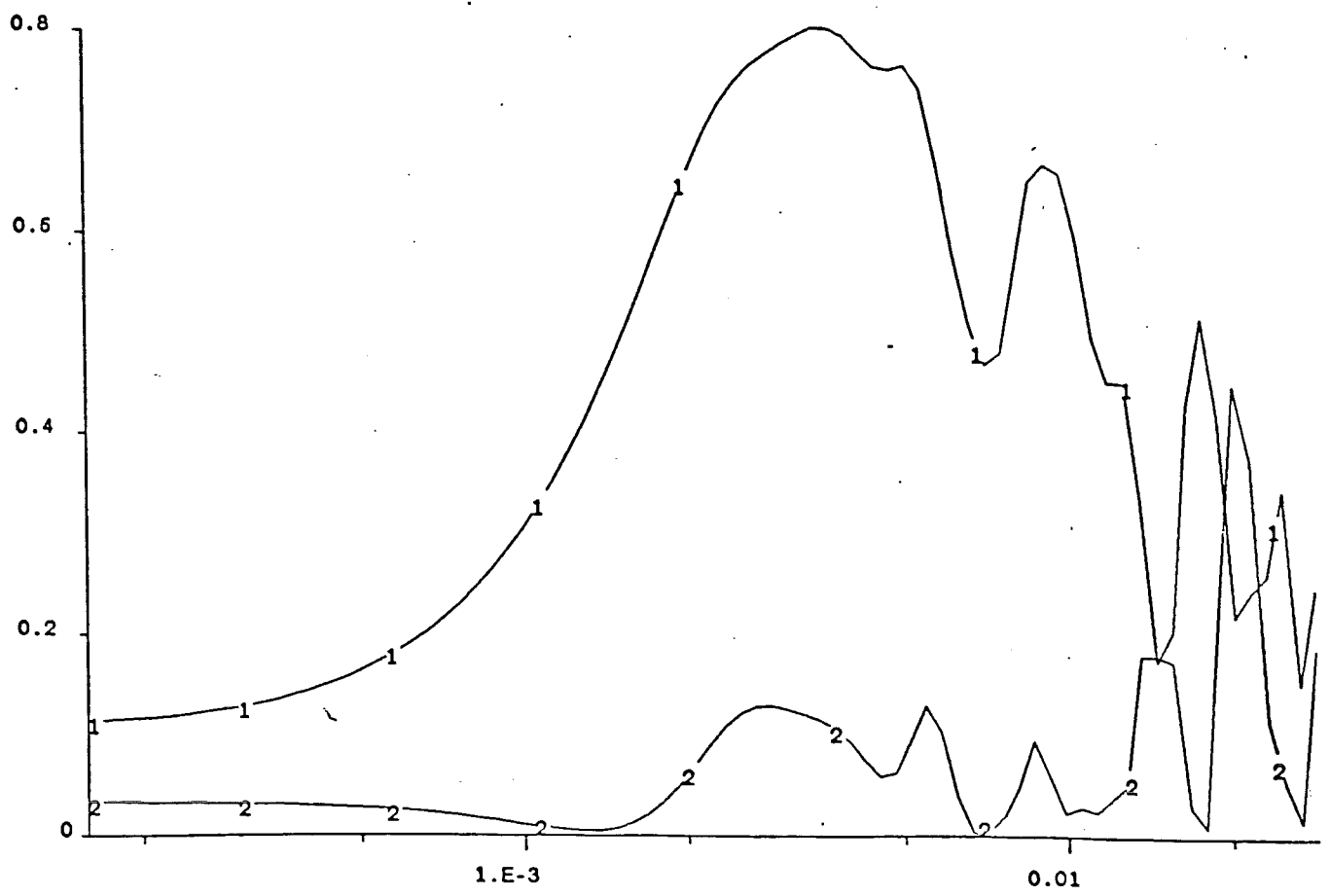
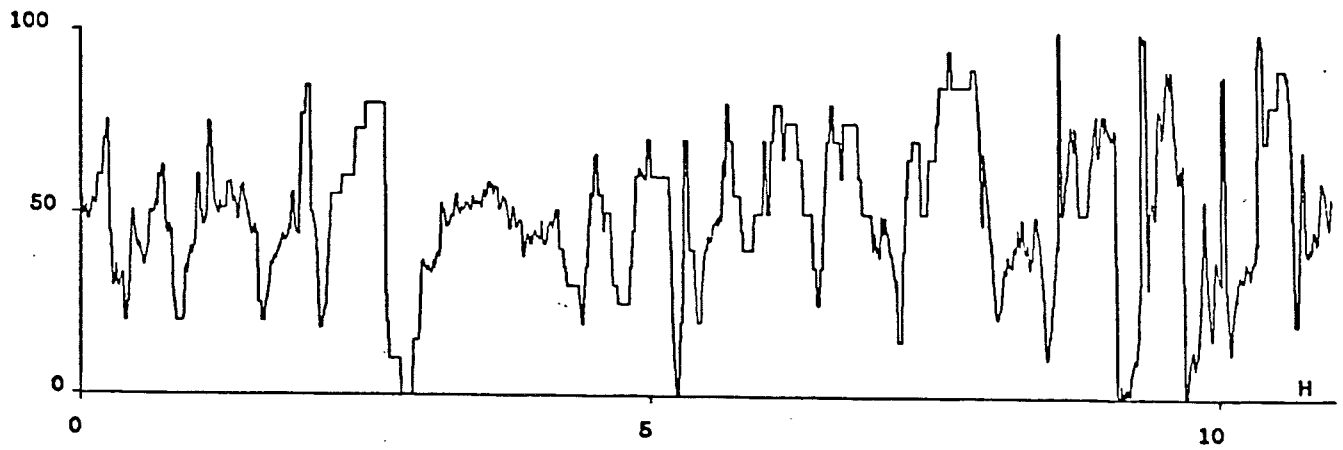


fig. 4.1b

# In- och utsignal

ÅNGVENTIL  $U_{\lambda\ddot{o}}$



TEMPERATUR  $t_{s\ddot{o}}$

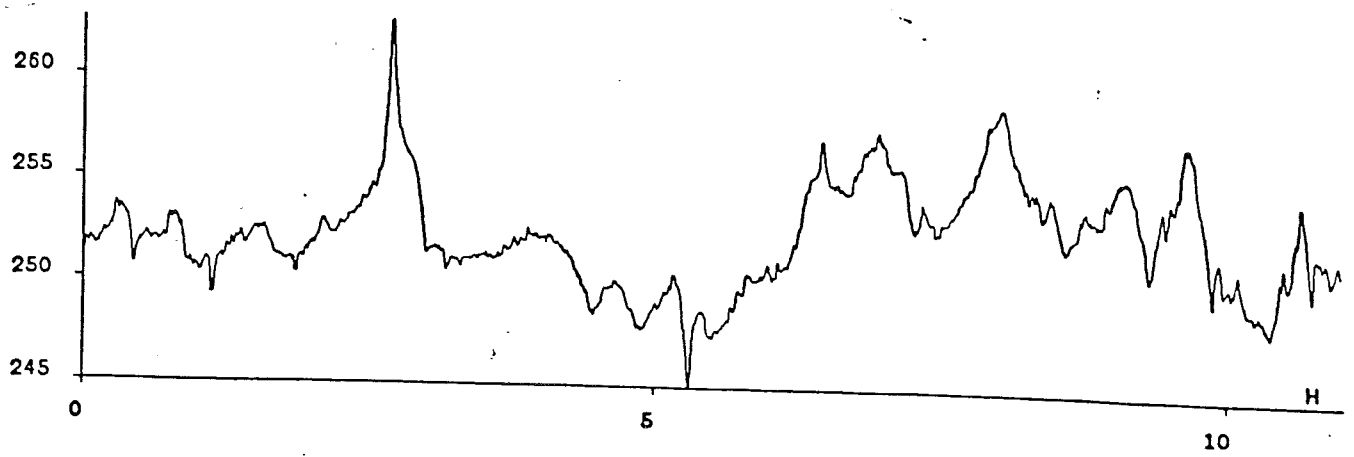


fig 4.2

## Modellestimering

Modellerna som estimeras fås som överföringsfunktioner dvs utsignalen är en funktion av tidigare utsignaler och insignaler. Exempelvis

$$y(t) = a_1y(t-1) + \dots + a_ny(t-n) + b_1u(t-1) + \dots + b_nu(t-n) \quad (4.1)$$

där  $n$  bestämmer ordningen på systemet.  $y(t)$  är utsignalen vid tidpunkten  $t$  och  $u(t)$  insignalen. Det kan även finnas tidsfördröjningar i systemet dvs tid för materialtransporter. Detta uppträder exempelvis vid ånggenerering där en tidsfördröjning fås på grund av tiden det tar för hetoljan att gå från elpannan till ånggeneratoren.

För att bestämma modellordning och tidsfördröjningar görs en serie modeller. För varje modell beräknas också två testkvantiteter:

- F-test med vars hjälp man kan bedöma modellordning.
- Den så kallade förlustfunktionen (vloss), som är ett mått på modellens avvikelse från den verkliga signalen (se appendix D för härledning). Vloss ska vara så liten som möjligt.

F-test är en statistisk testkvantitet som jämför två modellordningar. När värdet på F-test inte längre är större än  $F_{0.05}(n_2 - n_1, N - n_2)$ , där  $n_2$  resp  $n_1$  är antal skattade parametrar för högre resp lägre modellordning och  $N$  är antalet sampel i mätserien, är tillräckligt hög modellordning uppnådd. De skattade parametrarna är de olika  $a$  och  $b$  koefficienterna i ekvation (4.1). En serie beräkningar för  $t_{S\ddot{O}}$  visas i tabellen nedan. TD är tidsförskjutning hos  $U_{A\ddot{O}}$ .

I vårt fall är  $F_{0.05}(3, \infty) = 2.6$ .

TD	n	VLOSS	F-test
0	1	21.09	
0	2	19.72	30.4
0	3	19.60	2.8
1	1	20.65	
1	2	20.11	11.7
1	3	20.07	0.7
2	1	20.75	
2	2	20.31	9.4
2	3	20.15	3.4
3	1	20.60	
3	2	20.21	8.4
3	3	20.00	4.6

Ur denna tabell kan man se att modellordningen är 2 med hjälp av F-test. När det gäller tidsförskjutningen för insignalen väljer vi den modell av ordning 2 med lägst förlustfunktion. I vårt fall är  $TD=0$ .

## Validering

Första steget i valideringen är residualtest (se fig 4.3), där ytterligare statistiska tester görs.

Sedan beräknas modellens utsignal med hjälp av den verkliga insignalen. Denna deterministiska utsignal jämförs med den verkliga utsignalen och visas i fig 4.4.

Visar det sig efter dessa tester att modellen ej är tillfredsställande så får en annan tidsförskjutning eller modellordning provas. Hittar man ändå ingen tillräckligt bra modell får nya mätningar göras eventuellt med ny samplingstid.



## Residualtest

RESIDUALENS VARIANS:  $2.99 \cdot 10^{-2}$

ANTAL TECKENVÄXLINGAR HOS RESIDUALEN: 732

5% TOLERANS GRÄNS: 623 695

TEST AV OBEROENDET HOS RESIDUALERNA:

$E[RES(T) \cdot RES(T + \tau)]$  för  $0 < \tau < 6$

TEST KVANTITET: 2.747

SKALL JÄMFÖRAS MED  $\chi^2(5) = 11.07$

NORMALFÖRDELNINGSTEST

TEST KVANTITET: 84.12

SKALL JÄMFÖRAS MED  $\chi^2(37) = 55.8$

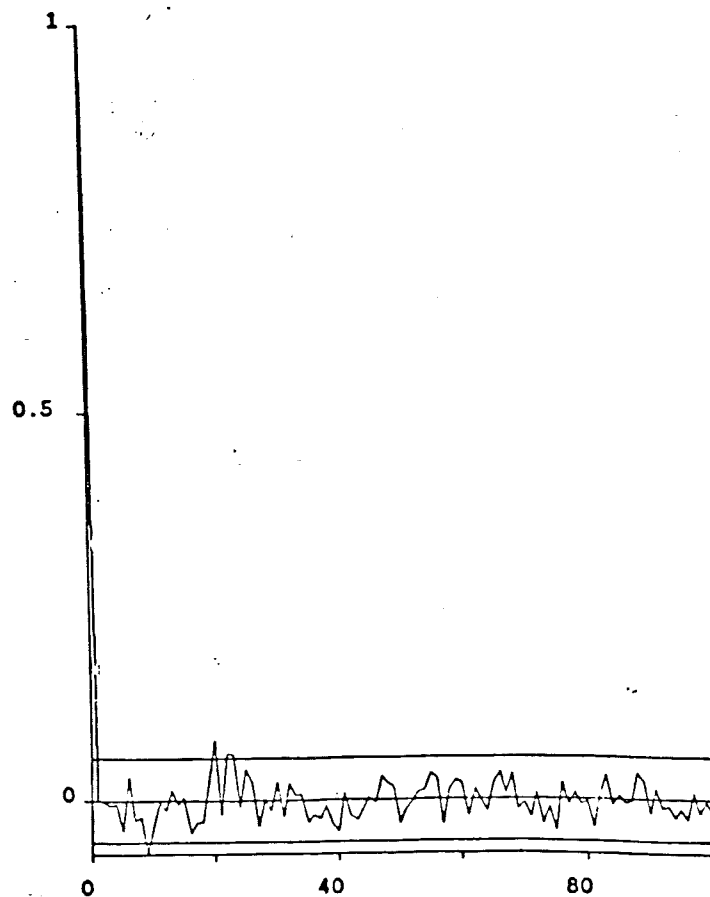


fig 4.3a

**Residualtest forts.**

TEST AV OBEROENDET MELLAN RESIDUALERNA OCH INSIGNAL:

$$E[RES(T) \cdot U(T + \tau)] \quad \text{för} \quad 2 < \tau < 8$$

TEST KVANTITET: 2.747 ..

SKALL JÄMFÖRAS MED  $\chi^2(5) = 11.07$

$$E[RES(T) \cdot U(T + \tau)] \quad \text{för} \quad -5 < \tau < 1$$

TEST KVANTITET: 33.76

SKALL JÄMFÖRAS MED  $\chi^2(5) = 11.07$

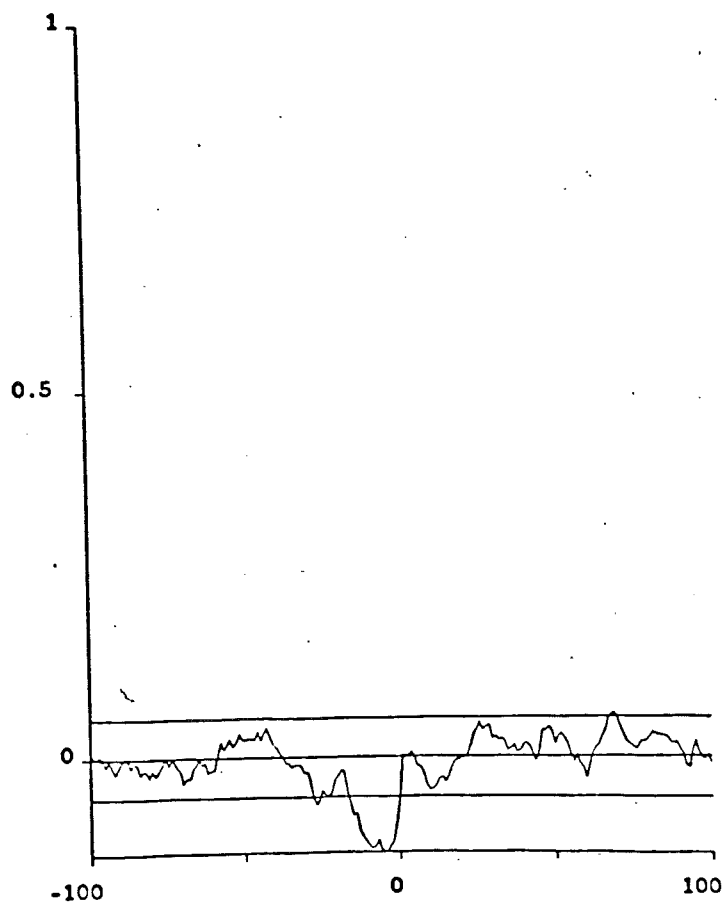


fig 4.3b

# Simulerad utsignal $t_{s\bar{o}}$

1 = simulerad utsignal

2 = verklig utsignal

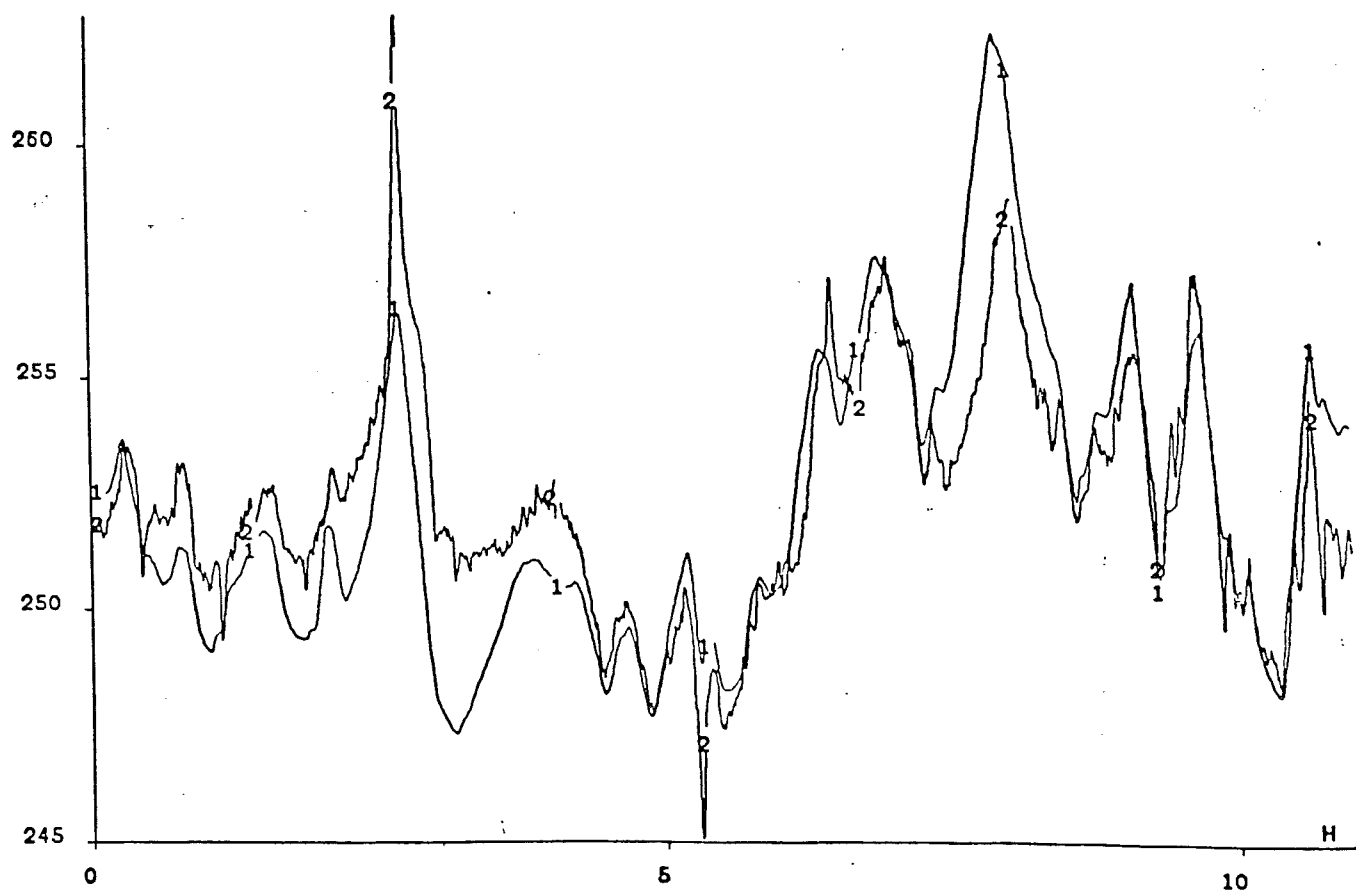


fig 4.4

## 5. Inställning av regulatorer

Modellerna som har tagits fram är på tidsdiskret form men kan transformeras med hjälp av ett matematiskt programpaket, t. ex. Pro-Matlab, till tidskontinuerlig form. Vi transformerar också systemen från överföringsfunktioner till s. k. tillståndsform, vilket är den form som används vid simulering:

$$\frac{dx}{dt} = Ax + Bu$$

$$y = Cx$$

$A$  =  $n \times n$  matris

$B$  = matris eller kolonnvektor

$C$  = radvektor

$x$  = tillstånd i kolonnvektor

$u$  och  $y$  är som vanligt in- och utsignal.

I simuleringspaketet Simnon (utvecklat på institutionen för reglerteknik i Lund) kan sedan systemen implementeras. Med Simnon kan man enkelt se hur modellerna reagerar för olika insignaler och störningar. PID-regulatorer kan också implementeras. Flera modeller kan också kopplas ihop så att hela spaltningssystemet kan simuleras samtidigt. Detta ger en överskådlig bild av de olika delprocessernas inbördes påverkan. De två metoder som presenteras här är Ziegler - Nichols självsvängningsmetod som används för en första inställning på plats och polplacering som innebär att önskad dynamik specificeras.

### Ziegler - Nichols självsvängningsmetod

Integral- och Derivata-delen kopplas bort. Förstärkningen,  $F$ , ökas tills en sinussvängning med konstant amplitud uppstår.  $T_p$  är då svängningens periodtid och  $K_c$  är den förstärkning vid vilken svängningen uppstår.

Sedan används tabell nedan.

	F	$T_I$	$T_D$
P	$0.5K_c$		
PI	$0.45K_c$	$T_p/1.2$	
PID	$0.6K_c$	$T_p/2$	$T_p/8$

## Polplacering

Vill man ha ett bestämt beteende på det återkopplade (slutna) systemet så kan polerna (egenvärdena) placeras. Detta sker genom att ge systemet en viss relativ dämpning,  $\zeta$ , och en viss egenfrekvens,  $\omega$ . Då det slutna systemet blir av ordning 3 måste ännu en pol,  $\alpha\omega$ , införas. Det slutna systemets överföringsfunktion kommer att få följande nämnare (karaktäristisk ekvation):

$$(s + \alpha\omega)(s^2 + 2\zeta\omega s + \omega^2) = 0 \quad (5.1)$$

Vårt exempel  $t_{S\ddot{O}}$  ger följande kontinuerliga överföringsfunktion.

$$t_{S\ddot{O}} = G_p(s)U_{A\ddot{O}}$$

Den allmänna formen på  $G_p(s)$  är:

$$G_p(s) = \frac{B(s)}{A(s)} = \frac{b_1s + b_0}{s^2 + a_1s + a_0}$$

I vårt exempel blir koefficienterna:

$$a_0 = 1.17 \cdot 10^{-5} \quad a_1 = 3.64 \cdot 10^{-2} \quad b_0 = 7.12 \cdot 10^{-6} \quad b_1 = -1.26 \cdot 10^{-4}$$

Variabeln  $s$  är Laplace – transformationens komplexa variabel.

PID-regulatorns överföringsfunktion har följande utseende

$$G_R(s) = F\left(1 + \frac{1}{sT_I} + T_Ds\right) = \frac{F(1 + T_Is + T_IT_Ds^2)}{T_Is}$$

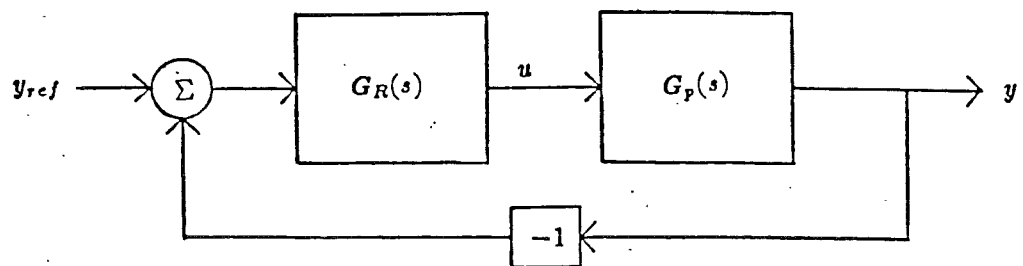


fig 5.1. Blockschemat för återkopplat system.

Det slutna systemets överföringsfunktion (se fig 5.1).

$$G(s) = \frac{G_R G_p}{1 + G_R G_p} = \frac{F(1 + T_Is + T_IT_Ds^2)(b_1s + b_0)}{T_Is(s^2 + a_1s + a_0) + F(1 + T_Is + T_IT_Ds^2)(b_1s + b_0)}$$

Kar. ekv. blir

$$T_I(1 + FT_D b_1)s^3 + T_I(a_1 + Fb_1 + FT_D b_0)s^2 + T_I(a_0 + \frac{Fb_1}{T_I} + Fb_0)s + Fb_0 = 0$$

vilket är det samma som

$$s^3 + \frac{a_1 + Fb_1 + FT_D b_0}{1 + FT_D b_1}s^2 + \frac{a_0 + \frac{Fb_1}{T_I} + Fb_0}{1 + FT_D b_1}s + \frac{\frac{Fb_0}{T_I}}{1 + FT_D b_1} = 0$$

Detta uttryck ska vara identiskt lika med ekv. (5.1). Koefficientidentifikation ger följande ekvationssystem:

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{a_1 + b_0 F + b_1 F T_D}{1 + b_0 F T_D} = \omega(2\zeta + \alpha) \quad (= A) \\ \frac{a_2 + \frac{F b_0}{T_I} + F b_1}{1 + b_0 F T_D} = \omega^2(1 + 2\zeta\alpha) \quad (= B) \\ \frac{\frac{F b_1}{T_I}}{1 + F b_0 T_D} = \alpha\omega^3 \quad (= C) \end{array} \right.$$

Löses detta erhålls:

$$\left\{ \begin{array}{l} T_d = \frac{b_0(a_2 + \frac{b_0}{b_1}C - B) + b_1(A - a_1)}{b_0(B - \frac{b_0}{b_1}C)(A - a_1) + (a_2 + \frac{b_0}{b_1}C - B)(b_0A - b_1)} \\ F = \frac{a_2 + \frac{b_0}{b_1}C - B}{T_D b_0(B - \frac{b_0}{b_1}C - b_1)} \\ T_I = \frac{b_1 F}{C(1 + b_0 T_D F)} \end{array} \right.$$

## Beräknade regulatorinställningar

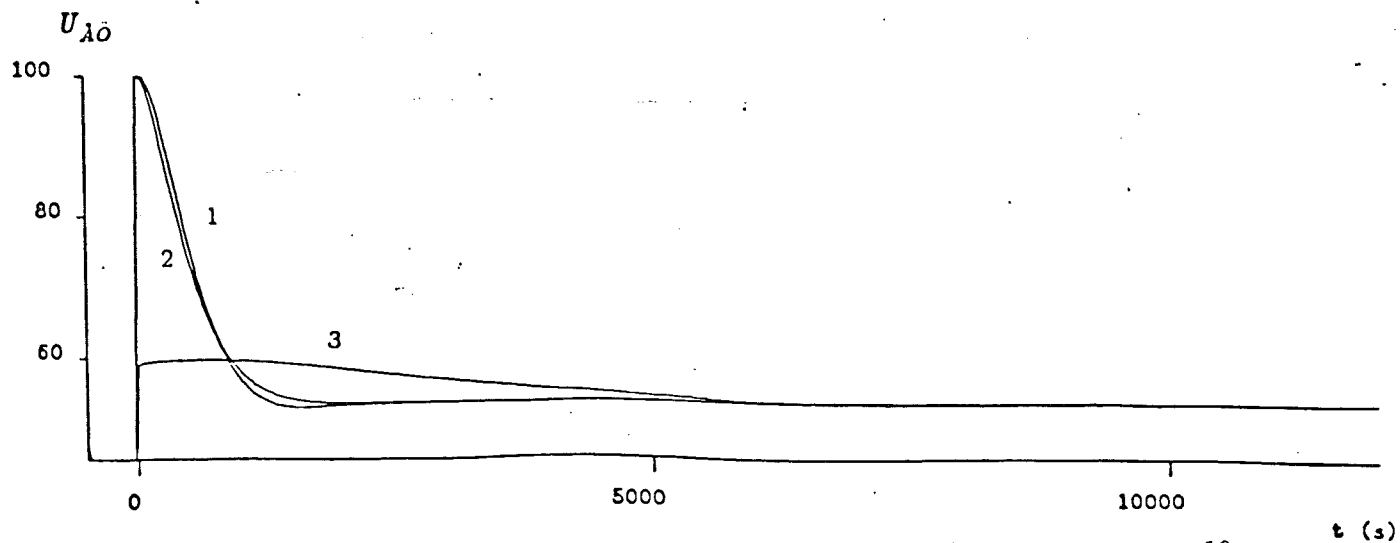
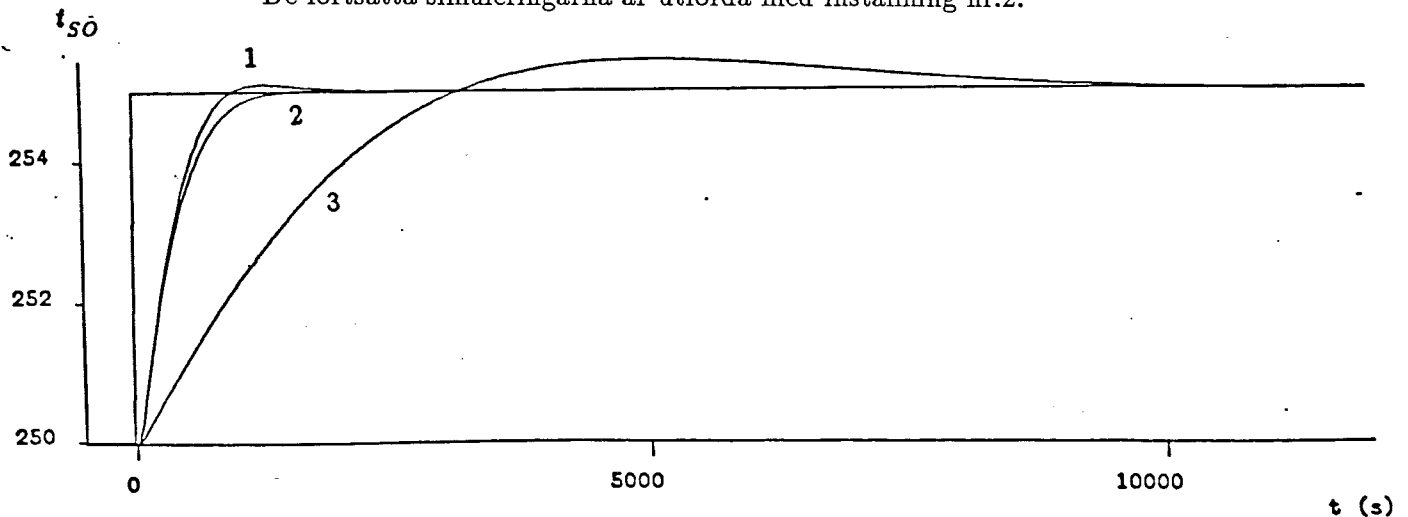
Vi har tagit fram regulatorparametrar för några olika specifikationer. Dessa presenteras för varje regulator nedan tillsammans med plottar över stegsvaret. För elpannan har vi utgått från att dess regulator implementeras i ASEA-mastern. Detta beroende på att ingen dokumentation av en befintliga regulatorn kunnat fås, varken från tillverkaren av elpannan Konus-Kessel eller regulatorfirman KFM.

Vad beträffar inställningen av ångventilernas regulatorer baseras dessa på att de i kapitel 6 beskrivna utsignalsbegränsningarna införts.

$t_{S\bar{O}}$

nr	$\omega$	$\zeta$	$\alpha$	$F$	$T_I$	$T_D$
1	0.0030	0.7	10	408	620	8
2	0.0030	0.8	10	368	554	5
3	0.0006	0.64	61	45	1500	0

De fortsatta simuleringarna är utförda med inställning nr.2.

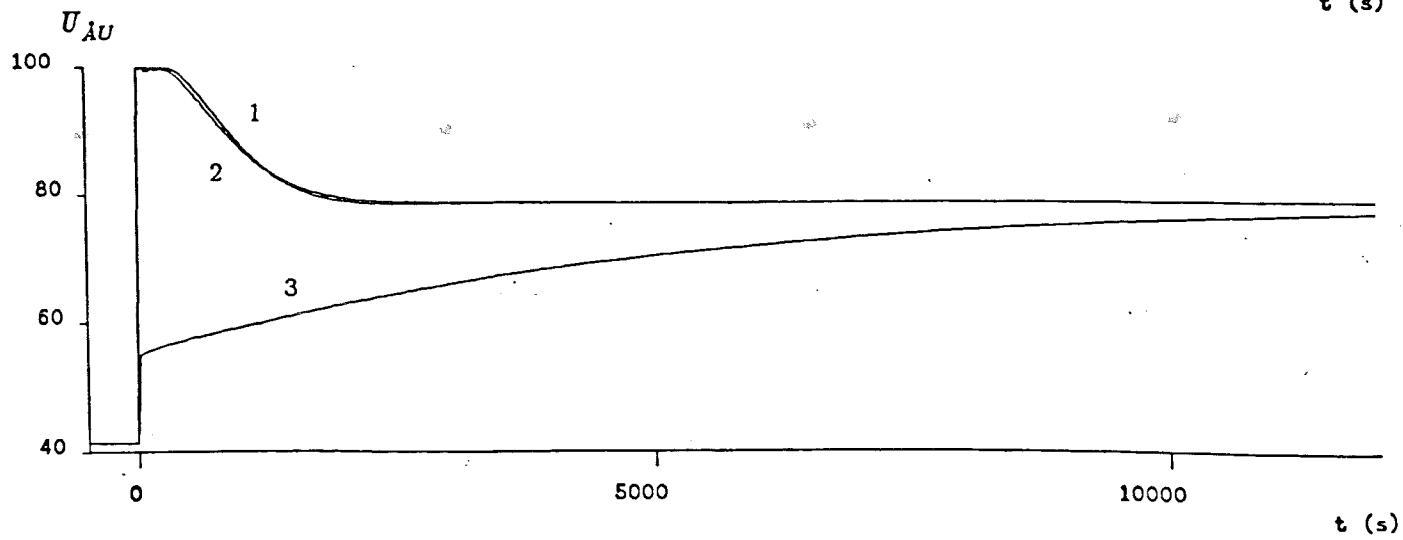
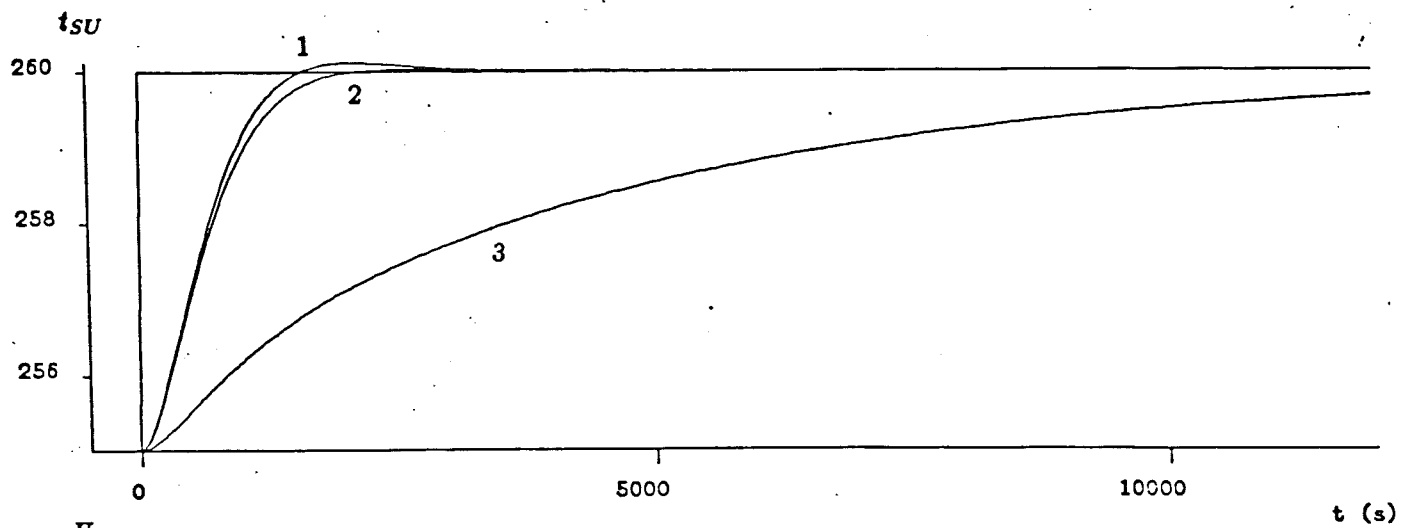


$t_{SV}$

$nr$	$\omega$	$\zeta$	$\alpha$	$F$	$T_I$	$T_D$
1	0.0023	0.86	0.91	200	750	0
2	0.0023	0.96	0.91	226	840	53
3	-	-	-	45	1500	0*

\* Alla poler på reella axeln.

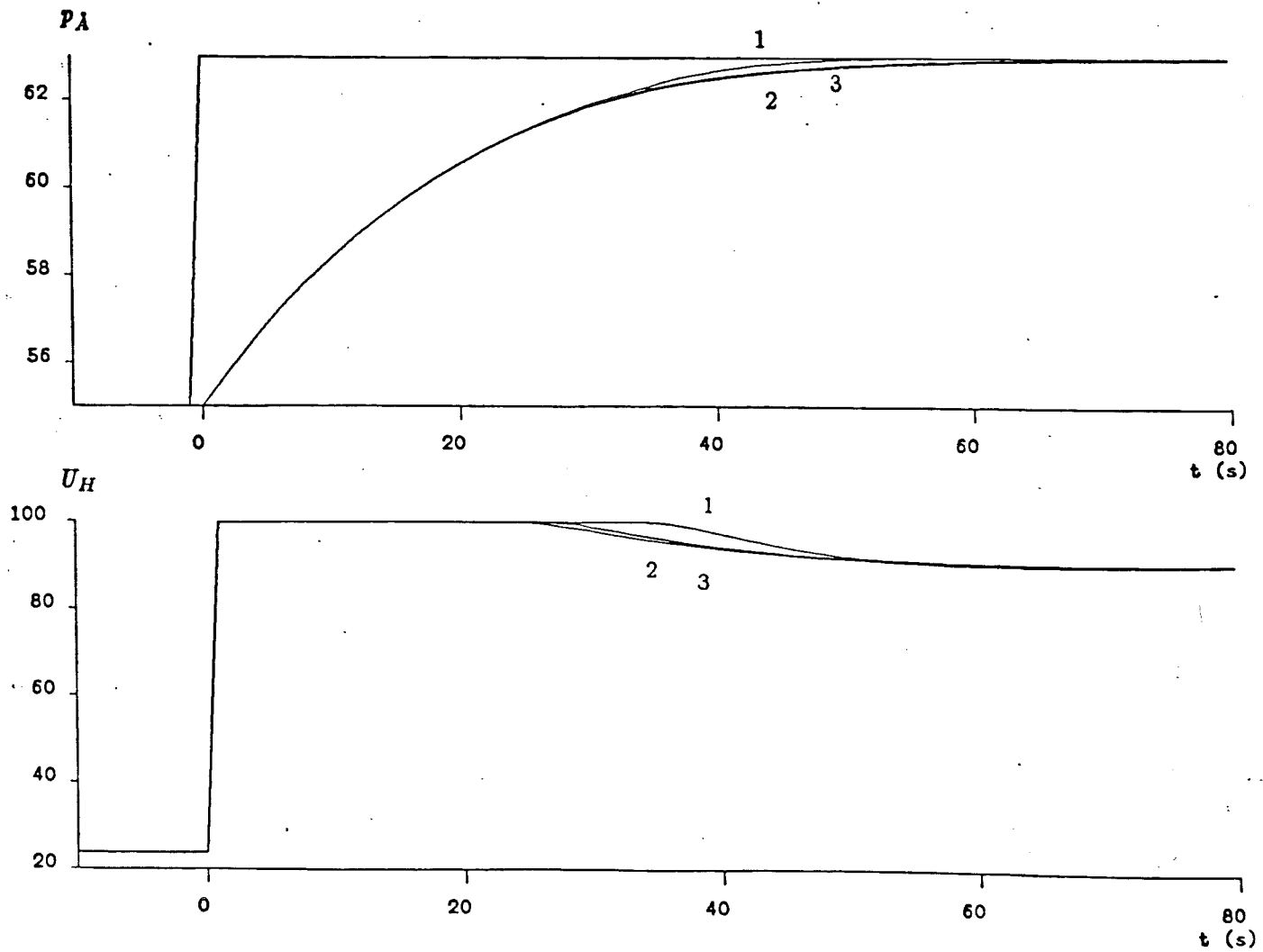
De fortsatta simuleringarna är utförda med inställning nr.2.





$P\lambda$	$nr$	$\omega$	$\zeta$	$\alpha$	$F$	$T_I$	$T_D$
	1	0.046	0.7		55	8.6	
	2	0.046	0.8		82	13	
	3	0.17	0.6		100	12	

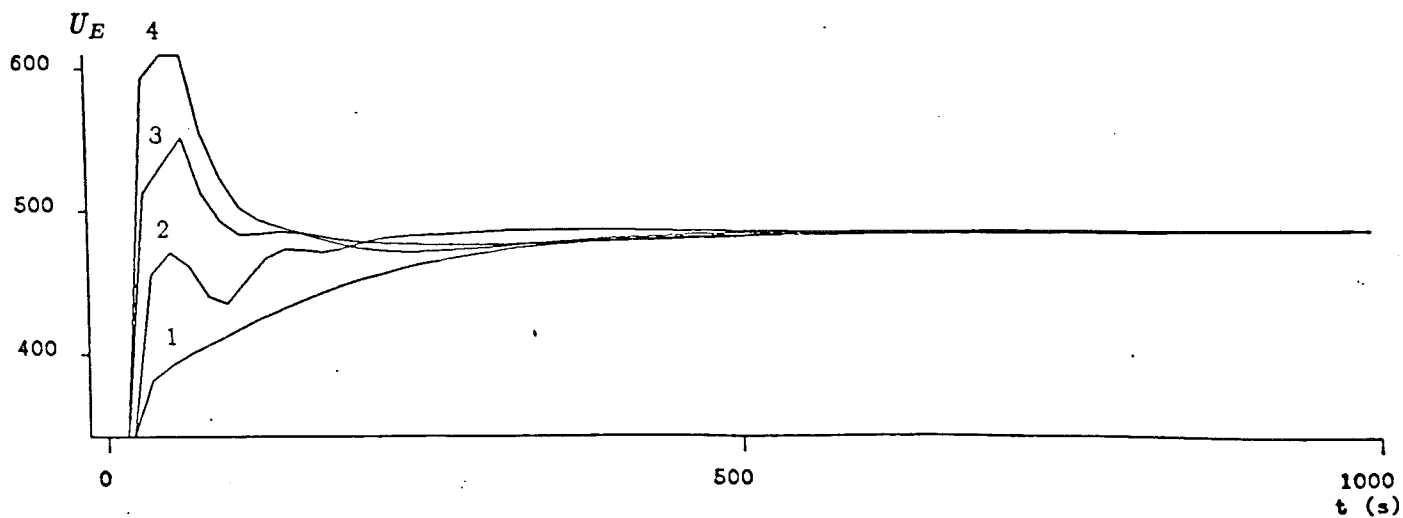
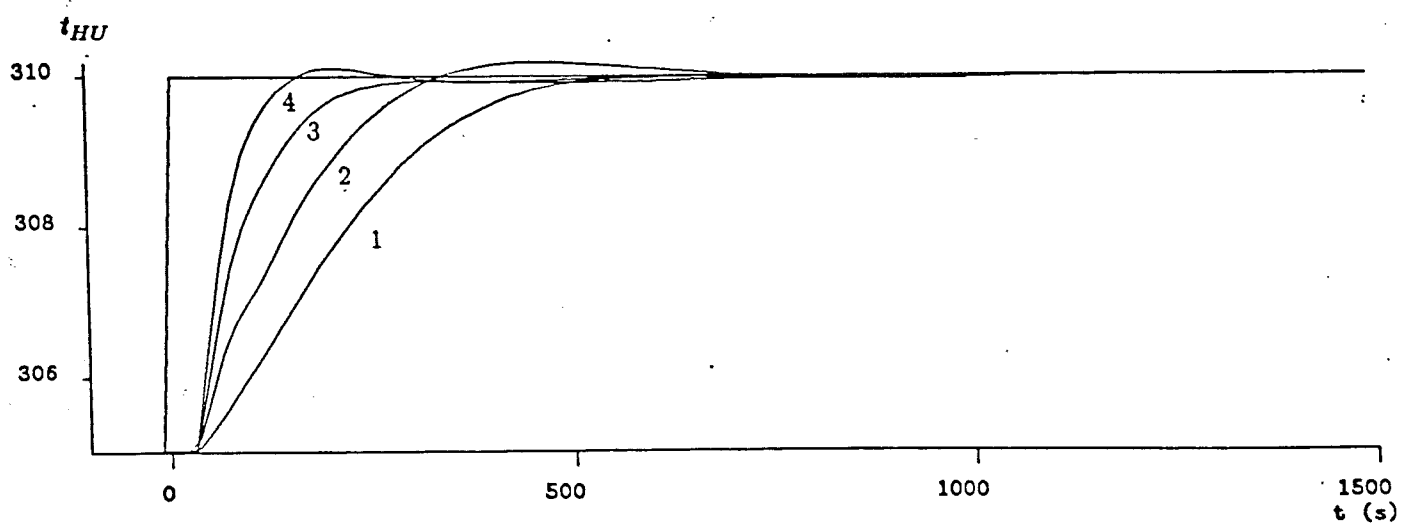
De fortsatta simuleringarna är utförda med inställning nr.3.



$t_{HU}$

$nr$	$\omega$	$\zeta$	$\alpha$	$F$	$T_I$	$T_D$
1	0.0085	0.70	0.50	18	49	40
2	0.0085	0.70	0.60	56	94	70
3	0.0110	0.86	0.38	90	130	10
4	0.0140	0.74	0.44	130	80	10

De fortsatta simuleringarna är utförda med inställning nr.3.



## 6. Modifieringar av regleringen

De förslag på modifieringar som vi kommit fram till kan sammanfattas i fyra punkter:

- Begränsning av ångventilerna
- Kaskadkoppling av elpannans regulator
- Framkoppling av hetoljetemperaturen
- Effektanpassning

### Begränsning av ångventilerna

För att undvika att tryckdifferens mellan ånggeneratoren och spalttorn blir för låg införs en begränsande faktor i ångventilernas utsignal. Denna begränsning fungerar enligt följande. När tryckskillnaden sjunker under ett bestämt värde  $\Delta p_B$  minskas integraldelen,  $I$ , hos utsignalen till regulatorn.

$$I_{begr} = I - k(\Delta p_B - \Delta p)$$

$$\Delta p = (p_A - p_S)$$

Genom simulering har vi kommit fram till värden som vi tycker ger en bra avvägning mellan insvängningstiderna för temperaturerna och trycksänkningen i ånggeneratoren. Den övre ventilen har större dimension och därmed reglerauktoriteten på trycket vilket gör att den bör begränsas mer än den undre. Konstanten för den övre blir  $k = 10$  och för den undre  $k = 1$ .

Simuleringar med begränsning endast av den övre ventilen har också genomförts. Skillnaderna blir inte stora jämfört med begränsning av båda. Dock kan man vid extremfall råka ut för situationen då övre ventilen stängs helt, medan den undre ej påverkas och tryckfallet ej stoppas. I värsta fall träder då säkerhetssystemet in och stänger alla in- och utlopp till spalttornet.

Under simuleringarna har  $\Delta p_{ref}$  satts till 6 bar för att ventilerna skall börja begränsas innan det kritiska  $\Delta p$  vid 2 - 3 bar nås. Skillnaden för temperatur i spalttorn och tryck i ångpannan med och utan begränsning inkopplad visas i figur 6.1. Hela simuleringen visas i appendix E. Denna simulering liksom de övriga i appendix E och F där hela systemet simuleras är uppdelade i tre delar:

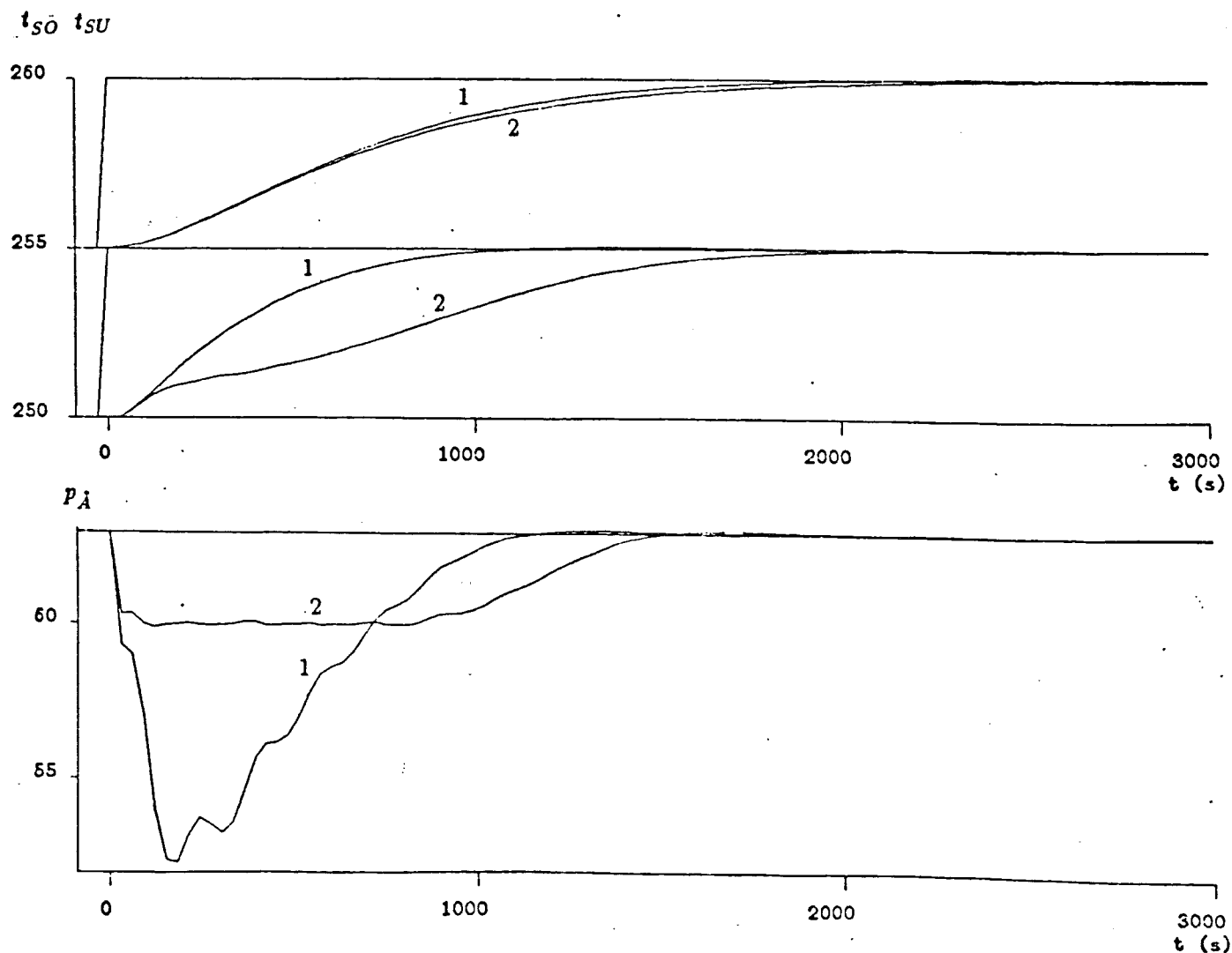
- Börvärdesändring av  $t_{SÖ}$  från 250 till 255°C,  $t_{SU}$  konstant 260°C.
- Börvärdesändring av  $t_{SU}$  från 255 till 260°C,  $t_{SÖ}$  konstant 255°C.
- Börvärdesändring av  $t_{SÖ}$  från 250 till 255°C och  $t_{SU}$  från 255 till 260°C.

## Simulering av hela processen

1 = Utan begränsning av  $U_{\dot{A}\ddot{O}}$  och  $U_{\dot{A}U}$

2 = Med begränsning av  $U_{\dot{A}\ddot{O}}$  och  $U_{\dot{A}U}$

Effekten av de införda ventilbegränsningarna blir att trycket inte sjunker under de 60 bar som specificerats. Men detta leder också till att det tar längre tid att höja temperaturerna i spalttornet.



figur 6.1.

## Kaskadkoppling av elpannans regulator

På grund av systemets struktur, en kedja av lokalt återkopplade delsystem, måste en störning detekteras av varje delsystem i tur och ordning.

En sänkning av  $t_{S\ddot{O}}$   $\Rightarrow$  ökning av  $U_{\dot{A}\ddot{O}}$   $\Rightarrow$  sänkning av  $p_{\dot{A}}$   $\Rightarrow$   
ökning av  $U_H$   $\Rightarrow$  sänkning av  $t_{HR}$   $\Rightarrow$  ökning av  $U_E$  □

För att snabba upp systemets reaktion på en sådan störning kan en kaskadkoppling införas. D.v.s. en avvikelse i spaltornets temperatur ger en ändring av hetoljans börvärde och därmed ökad effekt från elpannan. Kaskadkopplingen kan se ut enligt följande:

$$t_{HUrefksk} = t_{HUref1} + k_1(t_{S\ddot{O}ref} - t_{S\ddot{O}}) + k_2(t_{SUref} - t_{SU}) \quad (6.1)$$

Med denna implementation kommer  $t_{HUrefksk}$  att återgå till det värde den hade innan en störning inträffade.

Om störningen beror på en ändring av någon driftsparameter i tornet, så är det önskvärt att  $t_{HUrefksk}$  anpassas till de nya driftsförhållanden som kommer att råda.

De parametrar i tornet som vi låtit påverka  $t_{HUrefksk}$  är de båda temperaturerna.  $t_{HUref1}$  i ekv. 6.1 får då följande utseende:

$$t_{HUref1} = t_{HUmin} + (t_{S\ddot{O}ref} - t_{S\ddot{O}min}) \frac{k_1}{k_1 + k_2} + (t_{SUref} - t_{SUmin}) \frac{k_2}{k_1 + k_2} \quad (6.2)$$

Vi har satt:

$$\begin{aligned} t_{HUmin} &= 300^\circ C \\ t_{S\ddot{O}min} &= 240^\circ C \\ t_{SUmin} &= 245^\circ C \\ k_1 &= 5.0 \\ k_2 &= 0.5 \end{aligned}$$

Dessa konstanter är grundade på simuleringar och kännedom om processen. Skillnaden för de intressanta signalerna med och utan kaskadkoppling visas i fig. 6.2. Resten presenteras i appendix F.

Denna metod kommer inte att leda till någon radikal uppsnabbning av systemet vid en störning, eftersom fördröjningen huvudsakligen beror på den tröghet som finns i systemet.

Även andra parametrar i spaltornet kan användas i kaskadkopplingen. T. ex. processvatten- och fettemperatur.

Simulering av hela processen med begränsning av  $U_{\dot{A}O}$  och  $U_{\dot{A}U}$

1 = Utan kaskadkoppling

2 = Med kaskadkoppling

I figuren nedan syns att den införda kaskadkopplingen ger en något snabbare höjning av spalttornets temperaturer. Men framförallt så stiger hetoljetemperaturen snabbare. Lägg också märke till att kaskadkopplingen ger ett annat börvärde för hetoljans temperatur, efter det att temperaturerna i spalttornet höjts.

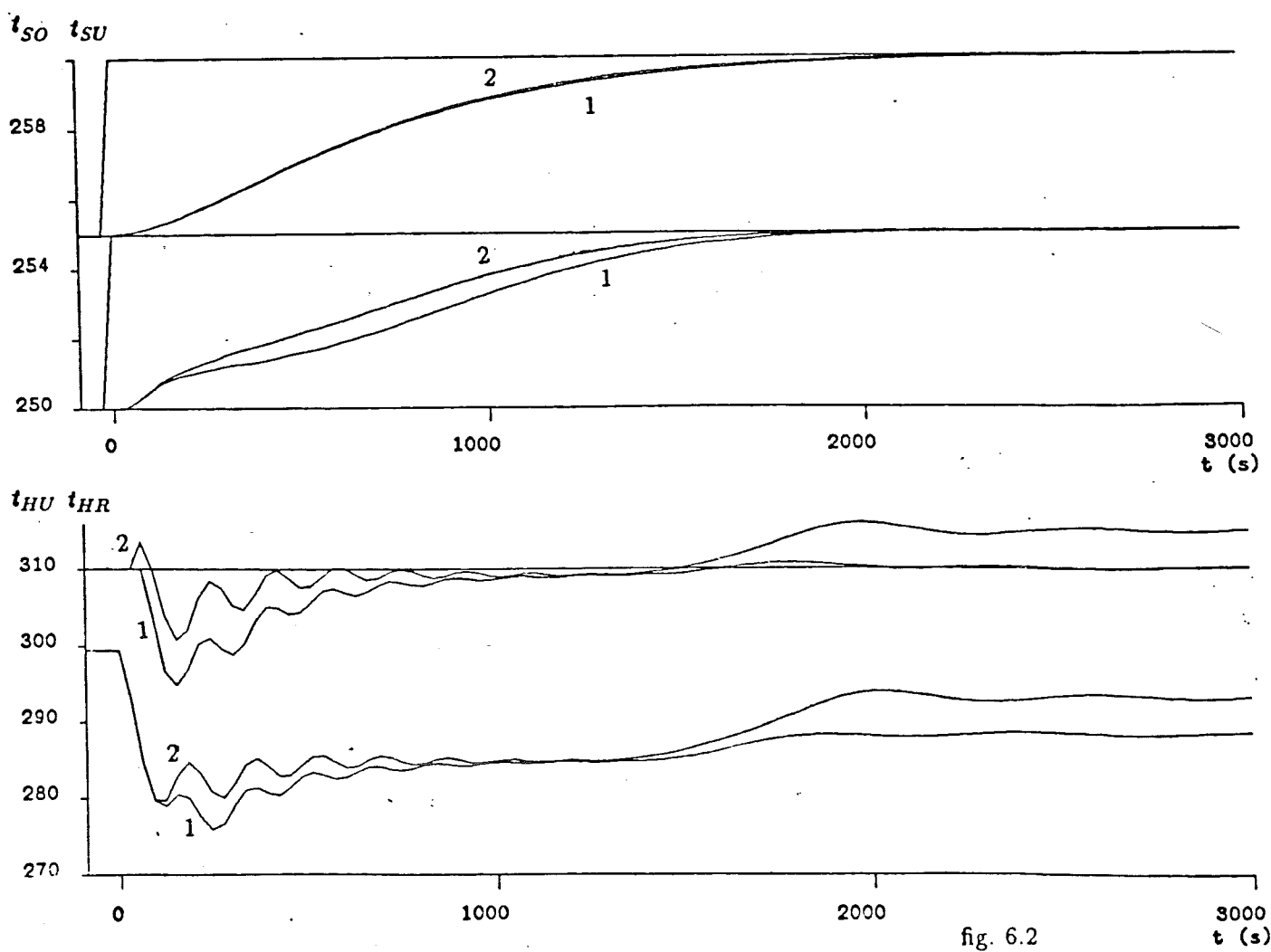


fig. 6.2

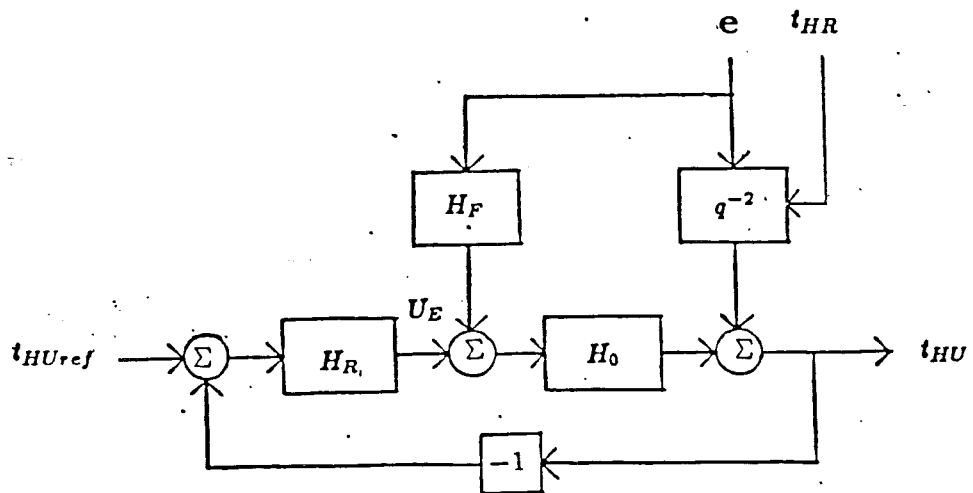
## Framkoppling av hetoljetemperaturen

En modifiering av elpannans regulator, som vid första anblicken ligger nära till hands, är en framkoppling av returoljans temperatur. Med denna skulle pendlingarna som uppstår hos returoljans temperatur vid störningar (se fig. 6.2) kunna minskas. För att denna framkoppling skall kunna genomföras, måste en störning i returtemperaturen kunna definieras. Störningen skulle kunna uttryckas som en avvikelse från ett bestämt värde på returtemperaturen. Svårigheten ligger i att ingen sådan referens finns direkt tillgänglig. Ett sätt är att mäta temperaturhöjningen i elpannan och jämföra med ett teoretiskt värde baserat på statistiska förstärkningen. Störningen  $e$  kan då skrivas som:

$$e = H_0(0)U_E - \Delta t$$

$$\Delta t = t_{HU} - t_{HR}$$

I fig. 6.3 nedan visas hur framkopplingen införs.



Utan framkoppling blir den diskreta överföringsfunktionen:

$$T_{HU} = \frac{H_R H_0 T_{HUref} + q^{-2}(T_{HR} + e)}{1 + H_R H_0}$$

$H_R$  = regulatorn

$H_0$  = elpannan

Med framkoppling blir överföringsfunktionen:

$$T_{HU} = \frac{H_R H_0 T_{HUref} + (H_F H_0 + q^{-2})e + q^{-2}T_{HR}}{1 + H_R H_0}$$

Välj

$$H_F = -\frac{q^{-2}}{H_0}$$

vilket medför att störningen  $e$  inte får någon inverkan.

## Effektanpassning

En annan metod att anpassa hetoljans referenstemperatur till driftsförhållandena i tornet är att uppskatta energiflödet till spalttornet. Ett mått på detta kan representeras av hetoljeventilens utslag. Genom att låta hetoljans referenstemperatur bero på detta utslag skulle man uppnå en justering av temperaturen för alla ändringar av driftsförhållanden t. ex. olika typer av fett och ändring av råvarutemperatur

Detta skulle kunna åstadkommas med en regulator som har  $U_H$  som insignal, en referens  $U_{Href}$  och vars utsignal blir referens till elpannans regulator.

Den nya regulatorn bör vara av lågpasstyp för att inte excitera onödiga pendlingar i oljetemperaturen.

Detta leder till att om någon parameter i tornet ändras och påverkar  $U_H$ , så kommer oljetemperaturen att justeras tills dess att man åter har  $U_H = U_{Href}$ . Därmed erhålls samma beredskap hos systemet.



# Sammanfattning

## Problem

Under examensarbetet, i synnerhet under mätningarna har flera problem uppstått.

Data från de första veckornas mätningar gick ej att använda på grund av att det utgångskort vi använde var inställt för en annan typ av signaler än de vi skulle mäta. Vidare har driftsstörningar på anläggningen försenat mätningarna. En av de persondatorer vi använde oss av fungerade inte tillfredsställande och fick bytas ut.

En svårighet med den arbetsmetod vi använt oss av, identifiering, är att få tillräcklig excitation av processerna under mätning. D. v. s. det gäller att störa processen för att få tillräckligt med information för identifiering. Dessa störningar, som oftast bestod av börvärdesändringar, är inte alltid förenliga med de driftsspecifikationer som finns.

## Slutsatser

Den primära orsaken till de pendlingar som fanns hos spaltningprocessen var otillräckligt intrimmade regulatorparametrar.

Utän den begränsning av ångventilernas utslag vi föreslagit, behövs endast en liten störning av temperaturen i spalttornet för att trycket i ånggeneratoren och därmed skillnadstrycket skall sjunka kraftigt. Störningen kommer därför att förstärkas och fortplanta sig till hetoljetemperaturen.

En pendling hos hetoljetemperaturen är svår att dämpa ut p. g. a. oljans cirkulation i systemet. Hetoljeventilen bidrager också till att hålla denna pendling vid liv genom att den motarbetar elpannans regulator. Ex. antag att oljetemperaturen pendlar. En stigande temperatur leder till att hetoljeventilen kommer att leda mindre olja genom ånggeneratoren, vilket höjer oljetemperaturen. På samma sätt kommer en sjunkande temperatur att få motsvarande effekt.

En implementation av elpannans regulator i ASEA-mastern skulle ge bättre möjligheter att dämpa pendlingar genom att inställningen där kan göras effektivare.

Den föreslagna kaskadkopplingen skulle leda till snabbare reaktion hos systemet vid en störning och ger bättre möjlighet till anpassning av elpannans effekt.

De olika modifieringar som föreslagits kan till stor del genomföras med omprogrammering av ASEA-mastern.

Gemensamt är dock att man inte enbart genom simuleringar kan ge färdiga förslag till ändringar. Dessa måste följas upp och trimmas in för att fungera tillfredsställande.

# Rekommendationer

Pendlingarna i tryck och temperatur berodde till stor del på otillräckligt intrimmade regulatorer. En första inställning utfördes på plats med Ziegler-Nichols självsvängningsmetod (s 16). En större kartläggning av anläggningen gjordes för att kunna beräkna nya regulatorparametrar och bestämma övriga orsaker till pendlingarna (s 2).

- För att de framtagna regulatorparametrarna skall kunna användas krävs att:
  - Hetoljepannans regulator implementeras i ASEA-Mastern. Detta ger också bättre möjligheter att dämpa pendlingarna i hetoljans temperatur.
  - En begränsning av utslaget för spalttornets båda ångventiler, beroende på differenstrycket mellan ånggenerator och spalttorn (s 23).
- De beräknade och med Ziegler-Nichols framtagna regulatorparametrarna presenteras nedan i tabellform (s 16).

Regulator	beräknade parametrar			Z-N parametrar		
	F	$T_I$	$T_D$	F	$T_I$	$T_D$
$t_{SÖ}$	368	554	5	45	1500	-
$t_{SV}$	226	840	53	45	1500	-
$p_{\dot{A}}$	100	12	-	100	12	-
$t_{HU}$	90	130	10	-	-	-

- För att snabba upp systemets reaktion på en störning i spalttornet, införs en kaskadkoppling av hetoljetemperaturens börvärde (s 25).
- Framkoppling av returoljans temperatur är svår att genomföra på grund av att ingen direkt mätbar störning finns tillgänglig (s27).
- En anpassning av elpannans effekt till olika typer av driftförhållanden i spalttornet kan fås genom kaskadkoppling av hetoljetemperaturen från trevägsventilens utslag (s 28).

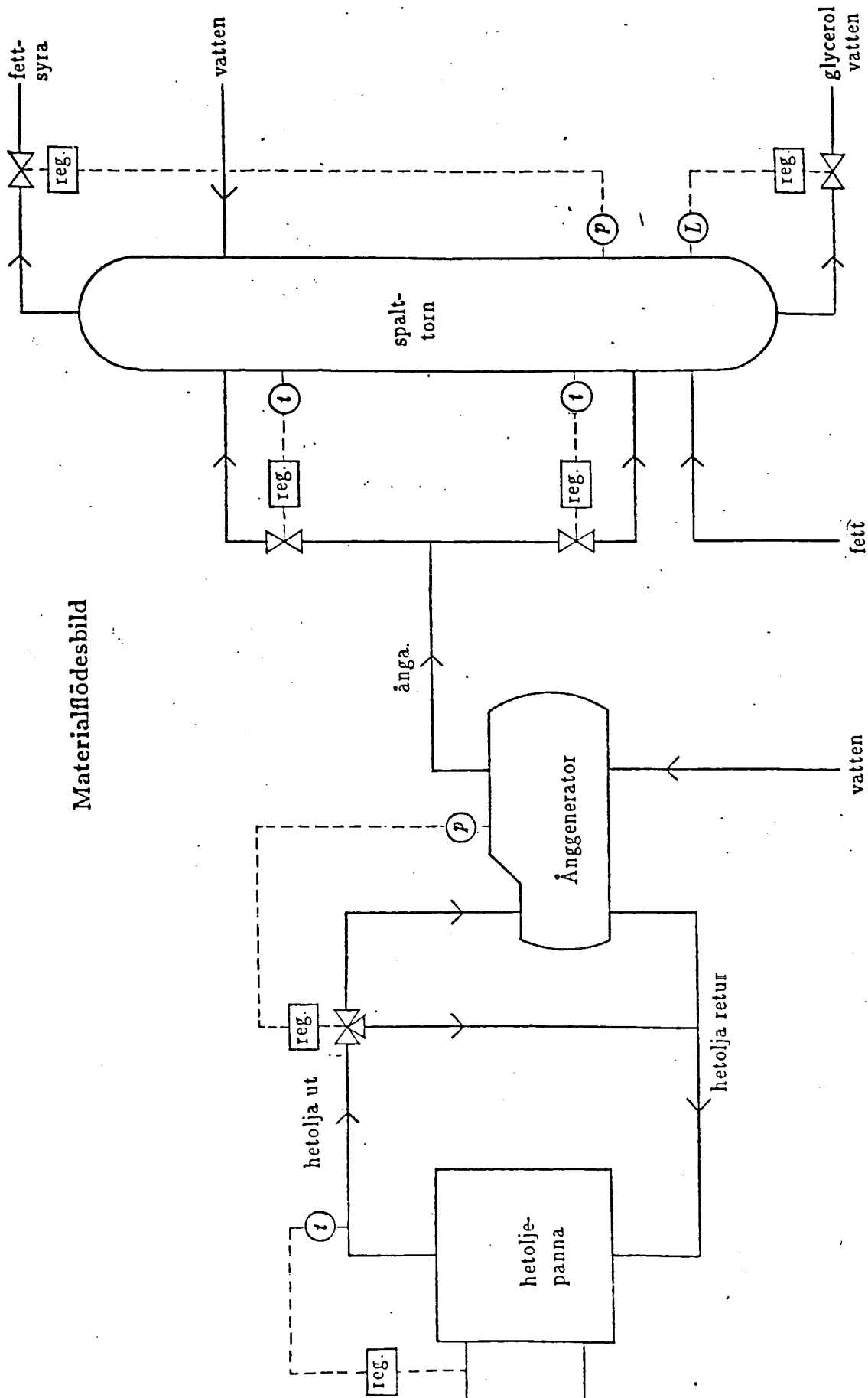
Alla modifieringar utom de två sistnämnda är provade genom simulering eller provkörning på plats. De föreslagna modifieringarna kan alla genomföras med omprogrammering av ASEA-Mastern, utom då det gäller implementeringen av elpannans regulator som också kräver mindre fysiska ingrepp.

# Referenser

- VON DEUBLEIN, D. (1985): "Betriebsergebnisse mit der Hochdruck-Fettspaltung," *Fette • Seifen • Anstrichmittel*, s 508–512.
- OLBJER, L. (1985): *Tidsserieanalys*, KF, Lund.
- PETERSSON, L., *Dokumentation av spaltningprocessen*.
- SWERN, D. (1982): *Bailey's industrial oil and fat products (vol 2)*, Wiley-Interscience publication.
- WIESLANDER, J. (1980): *Idpac Commands, User's guide*, Institutionen för reglerteknik, Lunds tekniska högskola.
- ÅSTRÖM, K. J., *A Simnon tutorial*, Institutionen för reglerteknik, Lunds tekniska högskola.
- ÅSTRÖM, K. J. OCH B. WITTENMARK (1984): *Computer controlled systems - Theory and design*, Prentice Hall.

# Appendix A

Materialflödesbild



# Appendix B

## Beteckningar

$U_E$	Elpannans effekt
$t_{HU}$	Temperatur på uppvärmd hetolja
$t_{HR}$	Temperatur på hetoljan i retur
$U_H$	Styrsignal till trevägsventilen
$p_{\dot{A}}$	Tryck i ånggeneratoren
$L_{\dot{A}}$	Vattennivån i ånggeneratoren
$U_{\dot{A}\ddot{O}}$	Styrsignal till strypventil, övre
$t_{S\ddot{O}}$	Temperatur spalttorn, övre
$U_{\dot{A}U}$	Styrsignal till strypventil, undre
$t_{SU}$	Temperatur spalttorn, undre
$U_{FS}$	Styrsignal från tryckregulatorn (fettsyrauttag)
$ps$	Tryck i spalttorn
$U_{GV}$	Styrsignal från nivåregulatorn (glycerinvattenuttag)
$L_{GV}$	Glycerinvattennivån i spalttornet
$t_{PV}$	Temperatur processvatten
$F_{RF}$	Flöde råfett

## Använda mätningar

Namn	AI1	AI2	AI3	AI4	AI5	AI6	Sampeltid (s)	Mättid (h)
C55	$U_{\dot{A}U}$	$U_{\dot{A}\ddot{O}}$	$U_{FS}$	$U_{GV}$	$L_{GV}$	$ps$	60	94
C72	$U_{\dot{A}\ddot{O}}$	$U_{\dot{A}\ddot{O}}$	$t_{SU}$	$t_{S\ddot{O}}$	$t_{PV}$	$p_{\dot{A}}$	30	19
C73	$U_{L\dot{A}}$	$U_H$	$t_{HR}$	$t_{HU}$	$L_{\dot{A}}$	$L_{\dot{A}}$	30	10
C75	$U_{\dot{A}U}$	$U_{\dot{A}\ddot{O}}$	$U_H$	$t_{HU}$	$L_{\dot{A}}$	$p_{\dot{A}}$	1	4
C17	$U_{\dot{A}U}$	$U_{\dot{A}\ddot{O}}$	$t_{SU}$	$t_{S\ddot{O}}$	$ps$	$p_{\dot{A}}$	30	12
C59	$U_{FS}$	$F_{RF}$	$U_{L\dot{A}}$	$L_{\dot{A}}$	$ps$	$p_{\dot{A}}$	1	7

Under mätning C72 och C73 loggades även  $U_E$  manuellt.

# Appendix C

I detta appendix presenteras modellerna för  $t_{SU}$ ,  $p_{\dot{A}}$ ,  $t_{HU}$  och  $t_{HR}$ . Överföringsfunktionerna visas nedan. Därefter följer plottar från valideringen.

$$t_{SU} = \frac{5.35 \cdot 10^{-6}s + 6.91 \cdot 10^{-7}}{s^2 + 5.96 \cdot 10^{-3}s + 5.17 \cdot 10^{-6}} U_{\dot{A}\ddot{O}}$$

$$p_{\dot{A}} = \frac{5.60 \cdot 10^{-3}}{s + 4.61 \cdot 10^{-2}} U_H + \frac{2.74 \cdot 10^{-3}}{s + 8.66 \cdot 10^{-2}} t_{HU} +$$

$$\frac{-1.40 \cdot 10^{-2}}{s + 7.00 \cdot 10^{-2}} U_{\dot{A}\ddot{O}} + \frac{-1.20 \cdot 10^{-3}}{s + 6.80 \cdot 10^{-3}} U_{\dot{A}U} + \frac{-3.91 \cdot 10^{-2}s + 1.00 \cdot 10^{-4}}{s^2 + 8.68 \cdot 10^{-2}s + 1.00 \cdot 10^{-4}} L_{\dot{A}}$$

$$t_{HU} = e^{-60s} t_{HR} + e^{-30s} \frac{3.41 \cdot 10^{-4}s + 2.54 \cdot 10^{-6}}{s^2 + 1.47 \cdot 10^{-2}s + 7.23 \cdot 10^{-5}} U_E$$

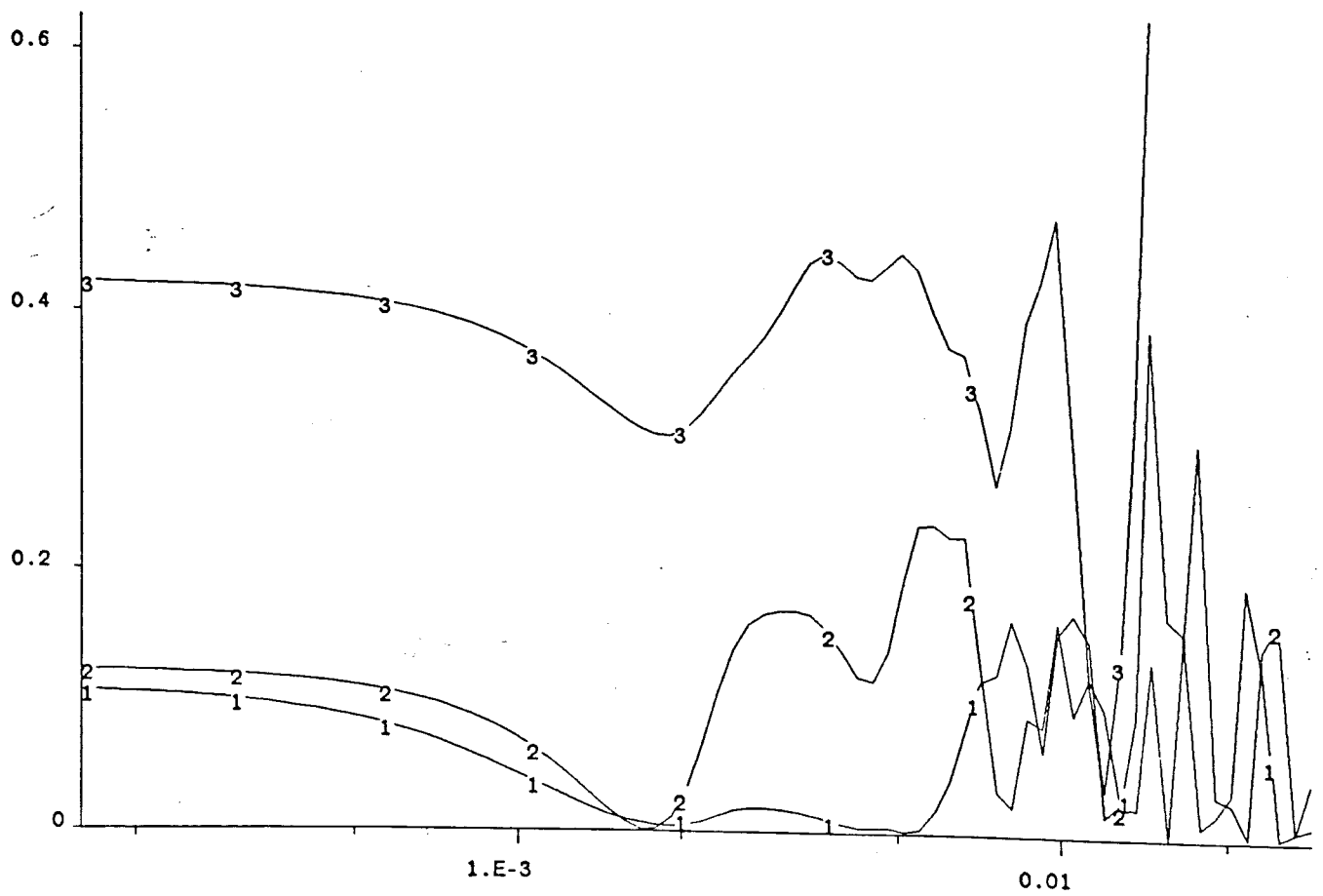
$$t_{HR} = e^{-60s} \frac{1.09 \cdot 10^{-2}s + 3.74 \cdot 10^{-4}}{s^2 + 1.40 \cdot 10^{-2}s + 6.77 \cdot 10^{-4}} t_{HU} + \frac{-1.95 \cdot 10^{-3} - 1.05 \cdot 10^{-4}}{s^2 + 1.40 \cdot 10^{-2} + 6.77 \cdot 10^{-4}} U_E$$

# Koherensfunktioner

$$1 = p_A \Rightarrow t_{SV}$$

$$2 = p_S \Rightarrow t_{SV}$$

$$3 = U_{AU} \Rightarrow t_{SV}$$





### Residualtest $t_{SV}$

RESIDUALENS VARIANS:  $2.18 \cdot 10^{-5}$

ANTAL TECKENVÄXLINGAR HOS RESIDUALEN: 422

5% TOLERANS GRÄNS: 380 438

TEST AV OBEROENDET HOS RESIDUALERNA:

$E[RES(T) \cdot RES(T + \tau)]$  för  $0 < \tau < 11$

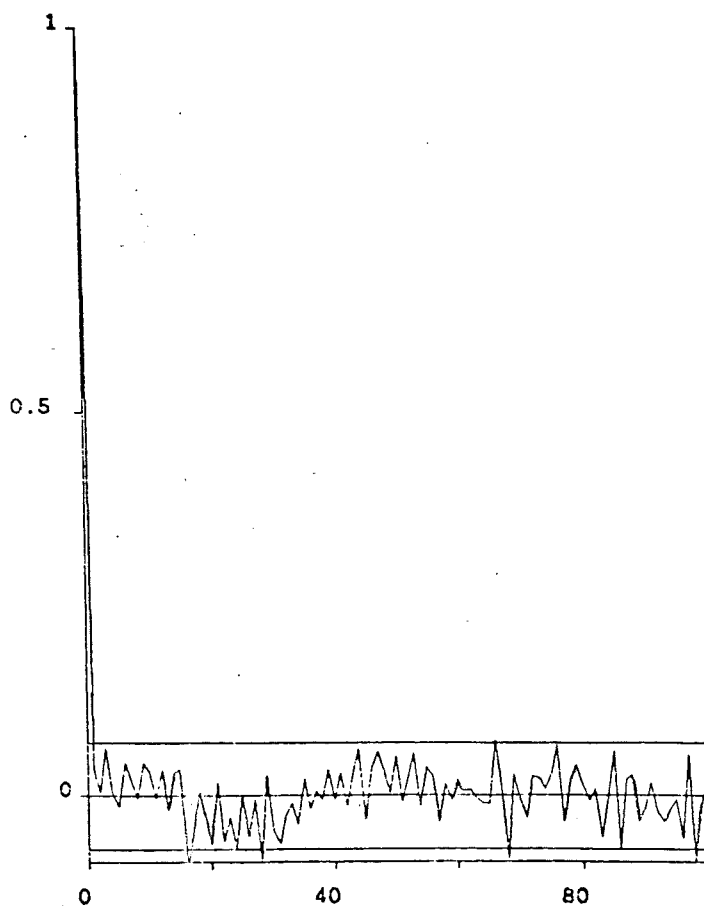
TEST KVANTITET: 8.39

SKALL JÄMFÖRAS MED  $\chi^2(10) = 18.31$

NORMALFÖRDELNINGSTEST

TEST KVANTITET: 49.18

SKALL JÄMFÖRAS MED  $\chi^2(33) = 45$



**Residualtest  $t_{SV}$  forts.**

TEST AV OBEROENDET MELLAN RESIDUALERNA OCH INSIGNAL:

$$E[RES(T) \cdot U(T + \tau)] \quad \text{f\u00f6r} \quad 2 < \tau < 13$$

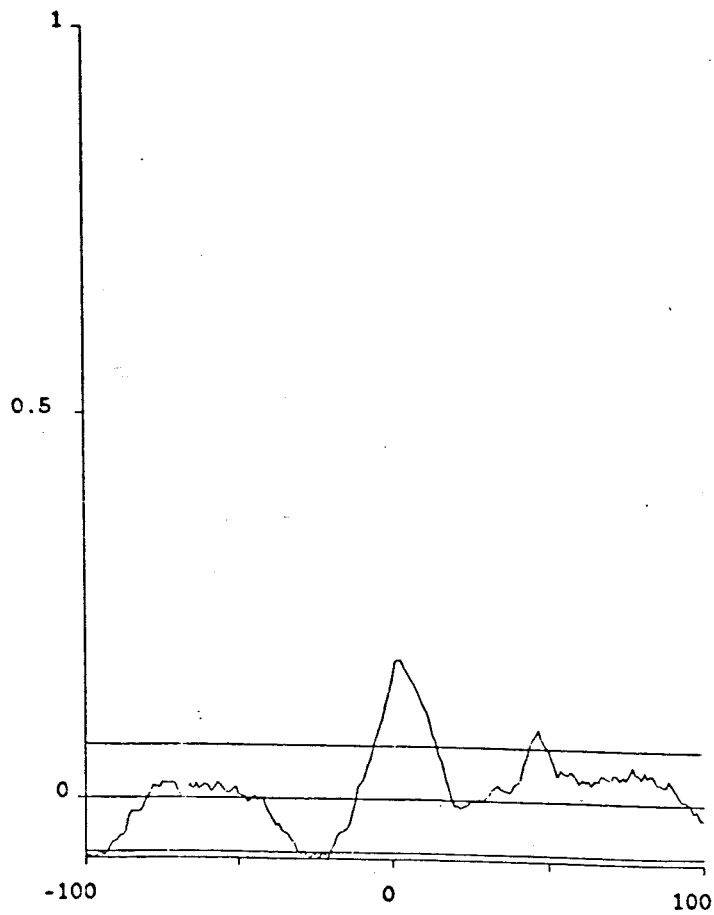
TEST KVANTITET: 28.95

SKALL J\u00c4MF\u00d6RAS MED  $\chi^2(10) = 18.31$

$$E[RES(T) \cdot U(T + \tau)] \quad \text{f\u00f6r} \quad -10 < \tau < 1$$

TEST KVANTITET: 34.97

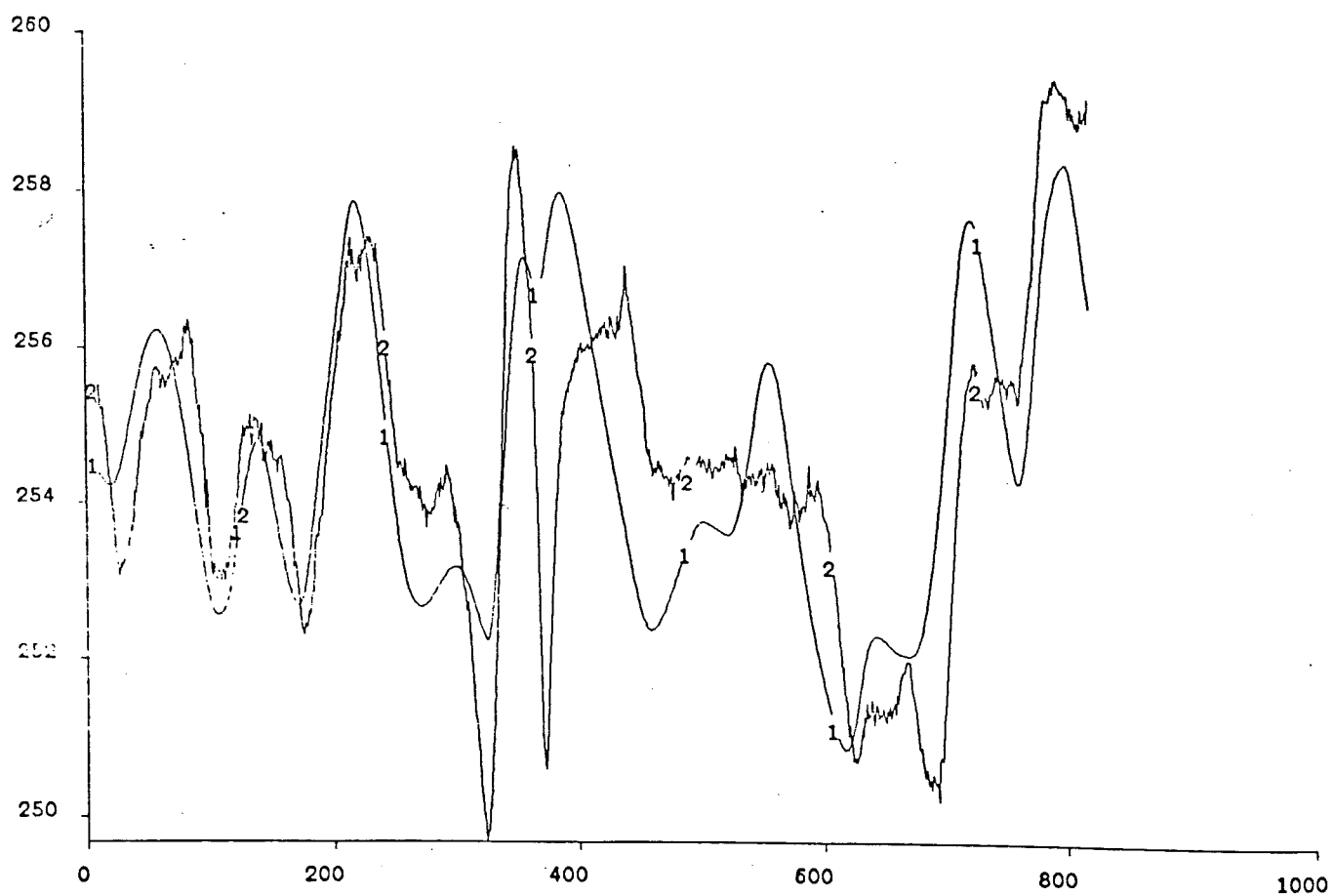
SKALL J\u00c4MF\u00d6RAS MED  $\chi^2(10) = 18.37$



# Simulerad utsignal $t_{SV}$

1 = simulerad utsignal

2 = verklig utsignal

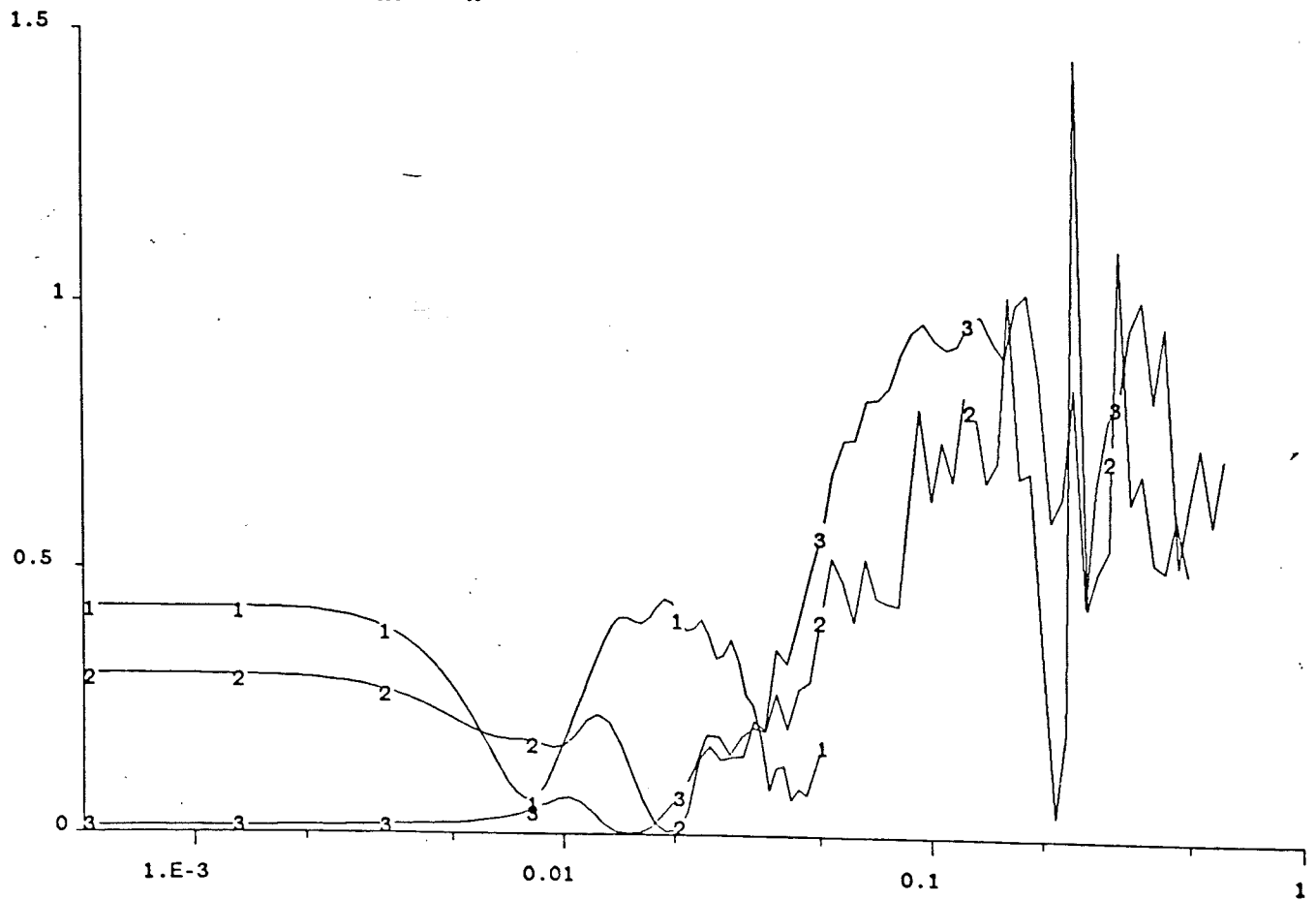


# Koherensfunktioner

$$1 = U_H \Rightarrow p_A$$

$$2 = U_{A\dot{O}} \Rightarrow p_A$$

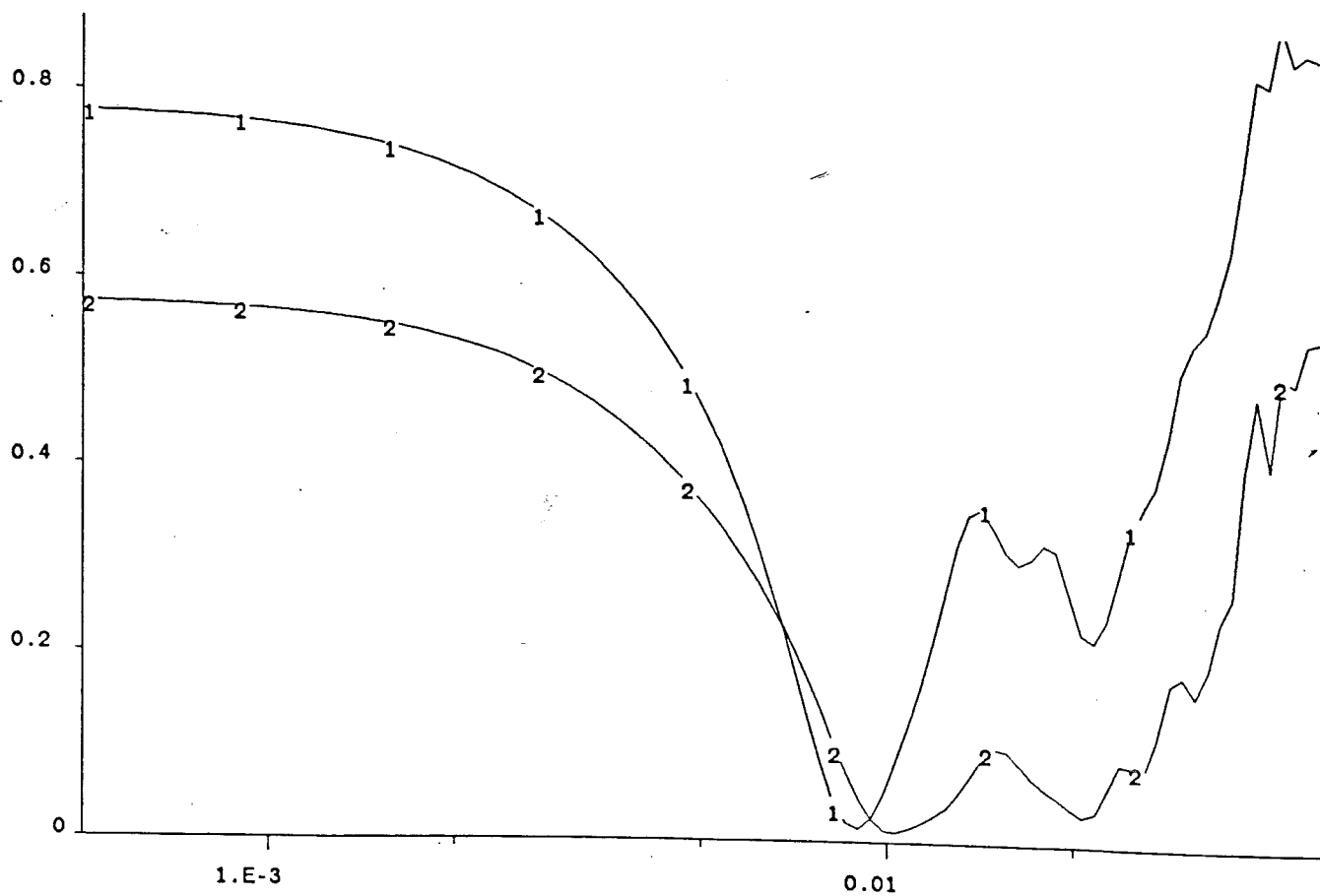
$$3 = U_{AU} \Rightarrow p_A$$



# Koherensfunktioner

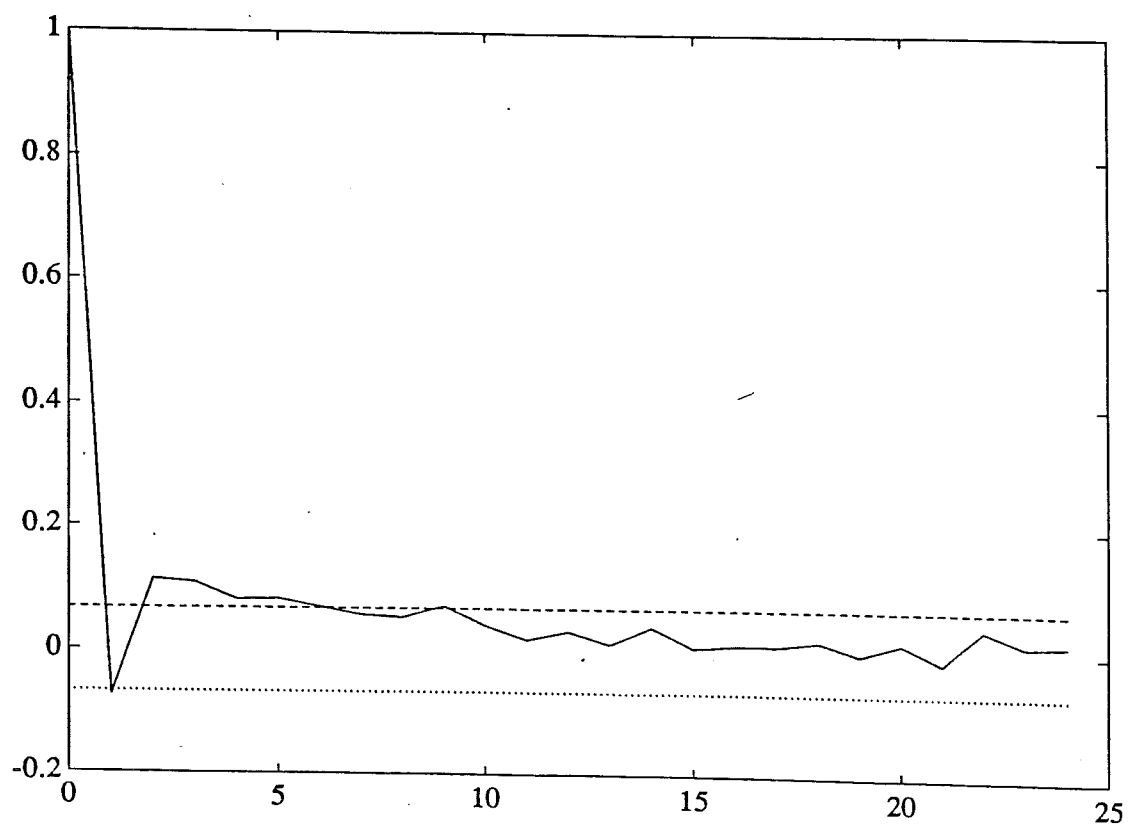
$$1 = t_{HU} \Rightarrow p_A$$

$$2 = L_A \Rightarrow p_A$$



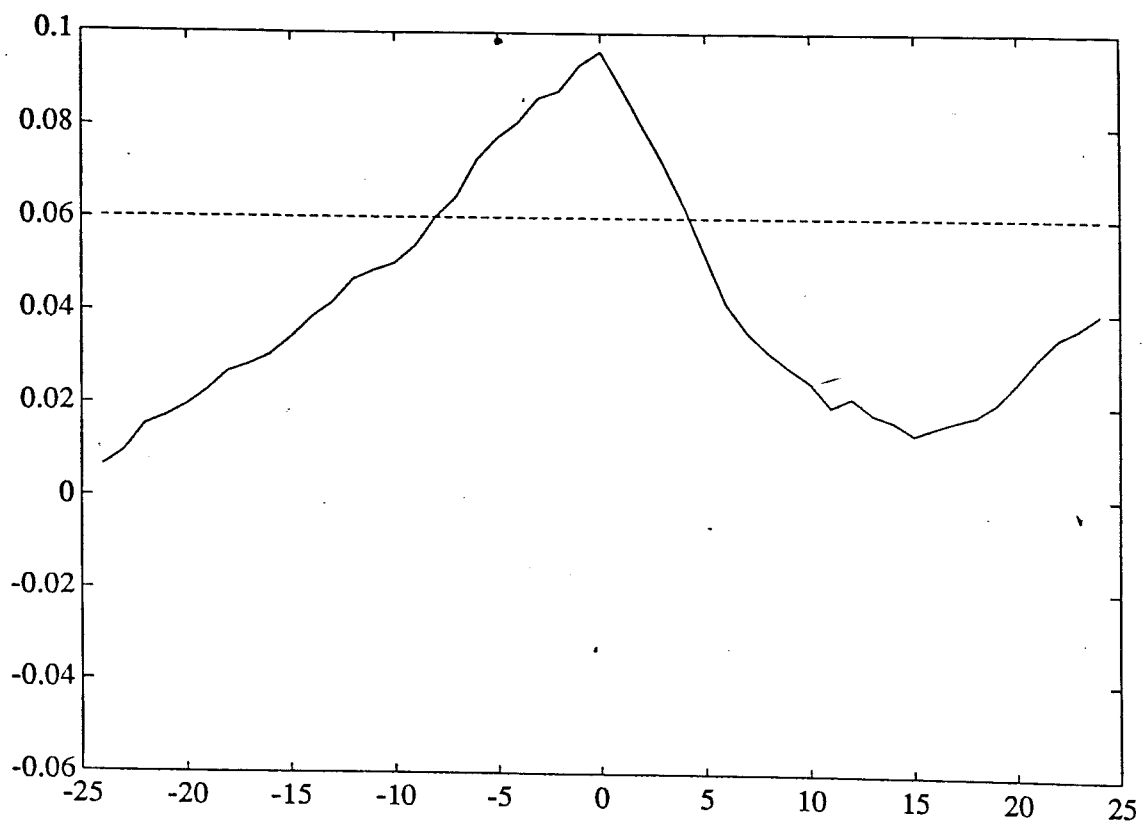
# Residualtest $p_A$

TEST AV OBEROENDET HOS RESIDUALERNA:



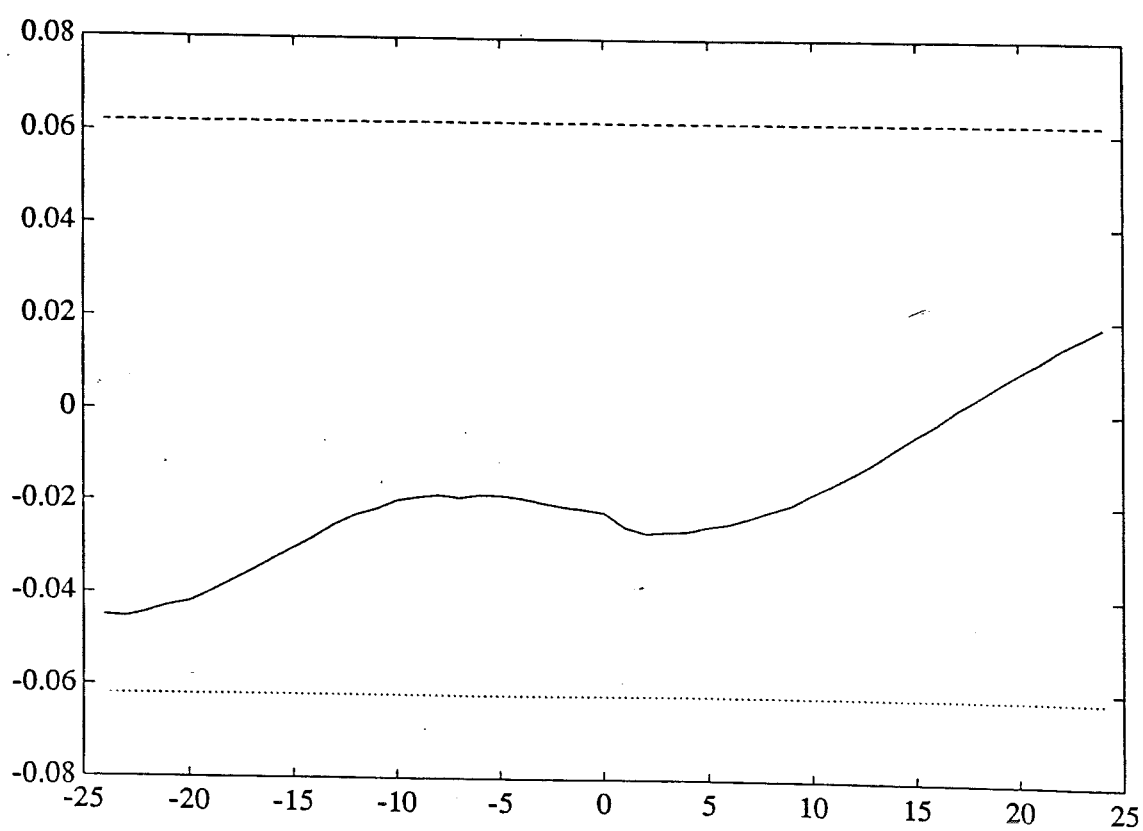
Residualtest  $U_H \Rightarrow p_A$  forts.

TEST AV OBEROENDET MELLAN RESIDUALERNA OCH INSIGNAL:



# Residualtest $t_{HU} \Rightarrow p_{\hat{A}}$ forts.

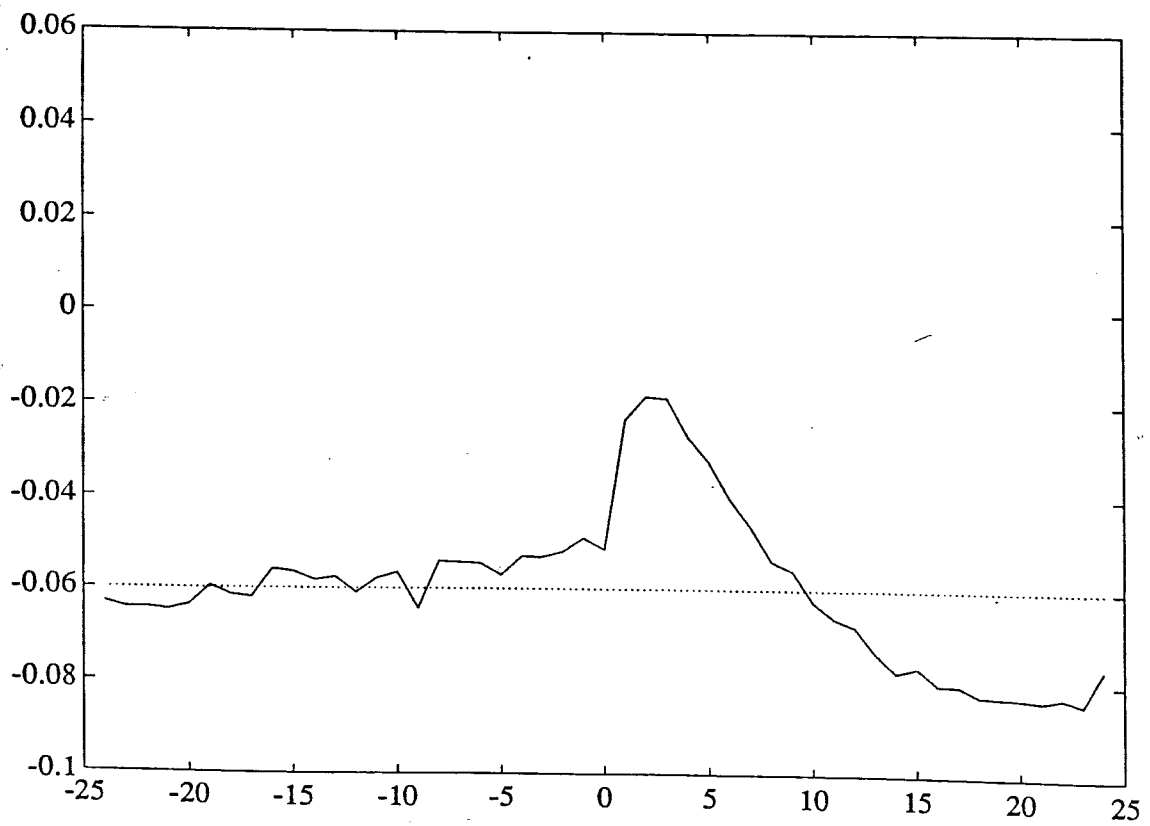
TEST AV OBEROENDET MELLAN RESIDUALERNA OCH INSIGNAL:





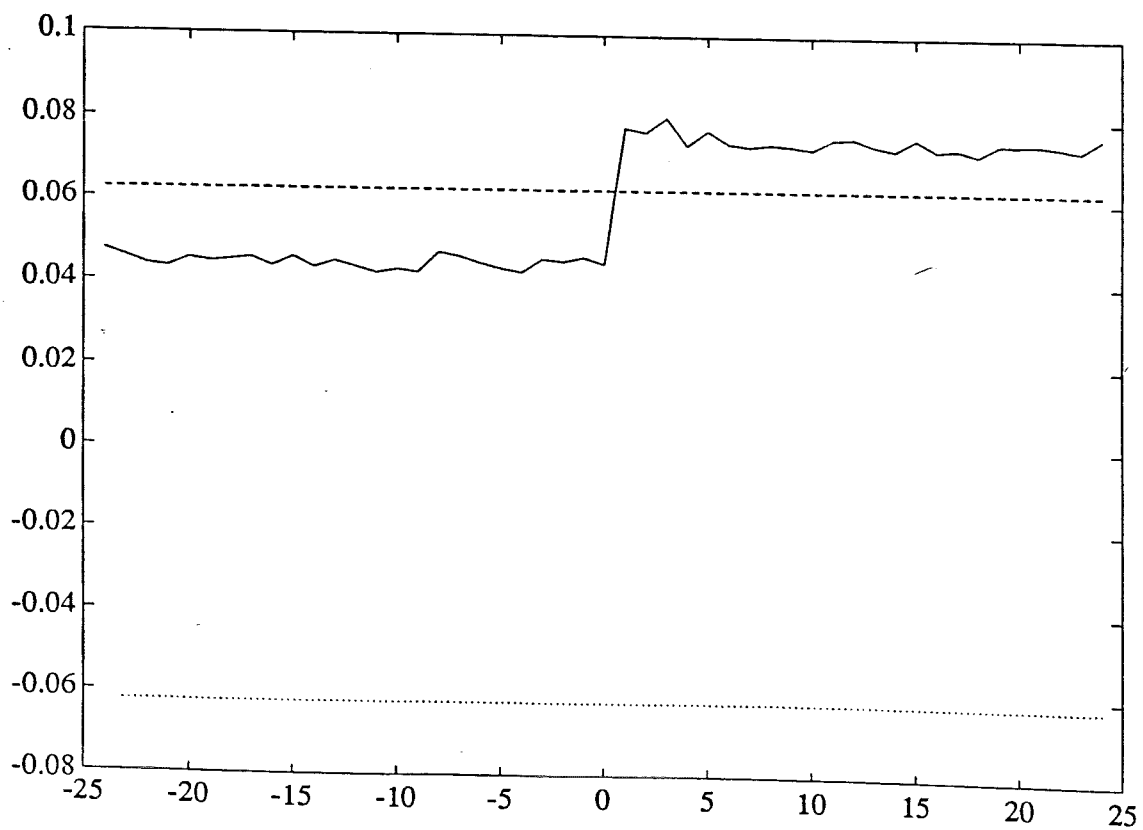
Residualtest  $U_{\hat{A}\hat{O}} \Rightarrow p_{\hat{A}}$  forts.

TEST AV OBEROENDET MELLAN RESIDUALERNA OCH INSIGNAL:



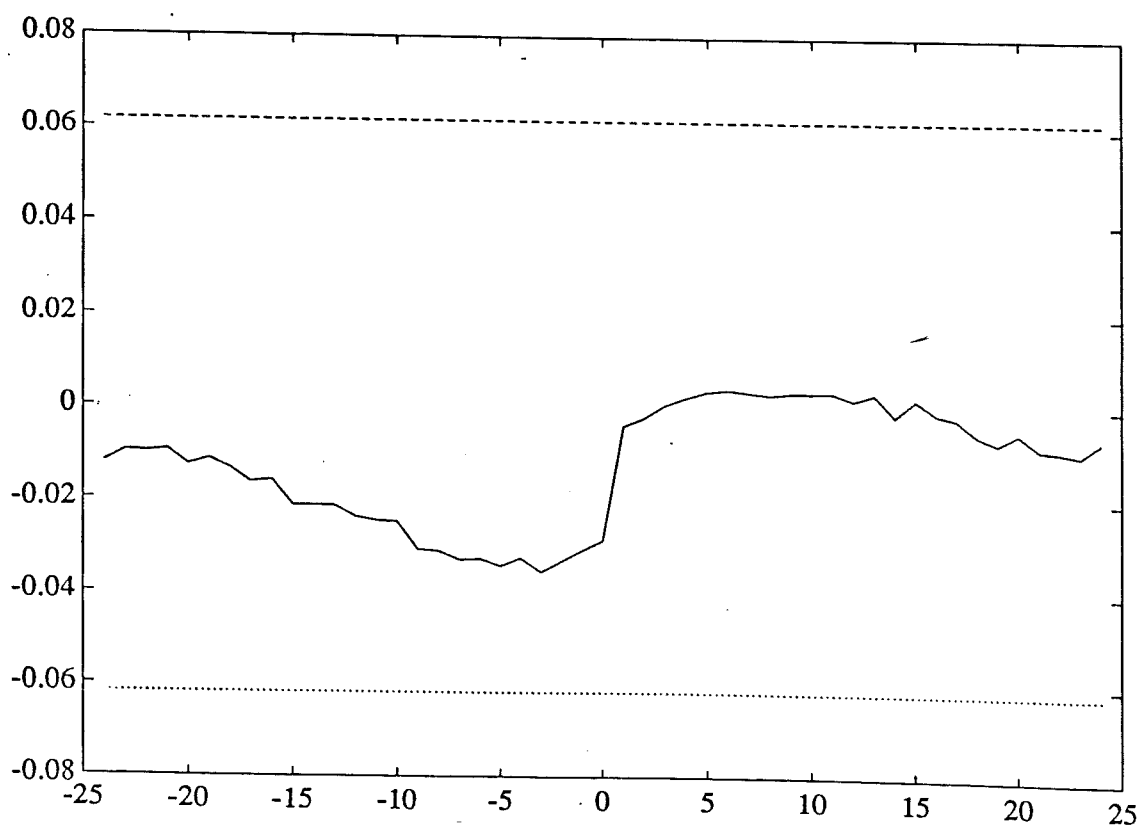
# Residualtest $U_{AU} \Rightarrow p_A$ forts.

TEST AV OBEROENDET MELLAN RESIDUALERNA OCH INSIGNAL:



Residualtest  $L_{\hat{A}} \Rightarrow p_{\hat{A}}$  forts.

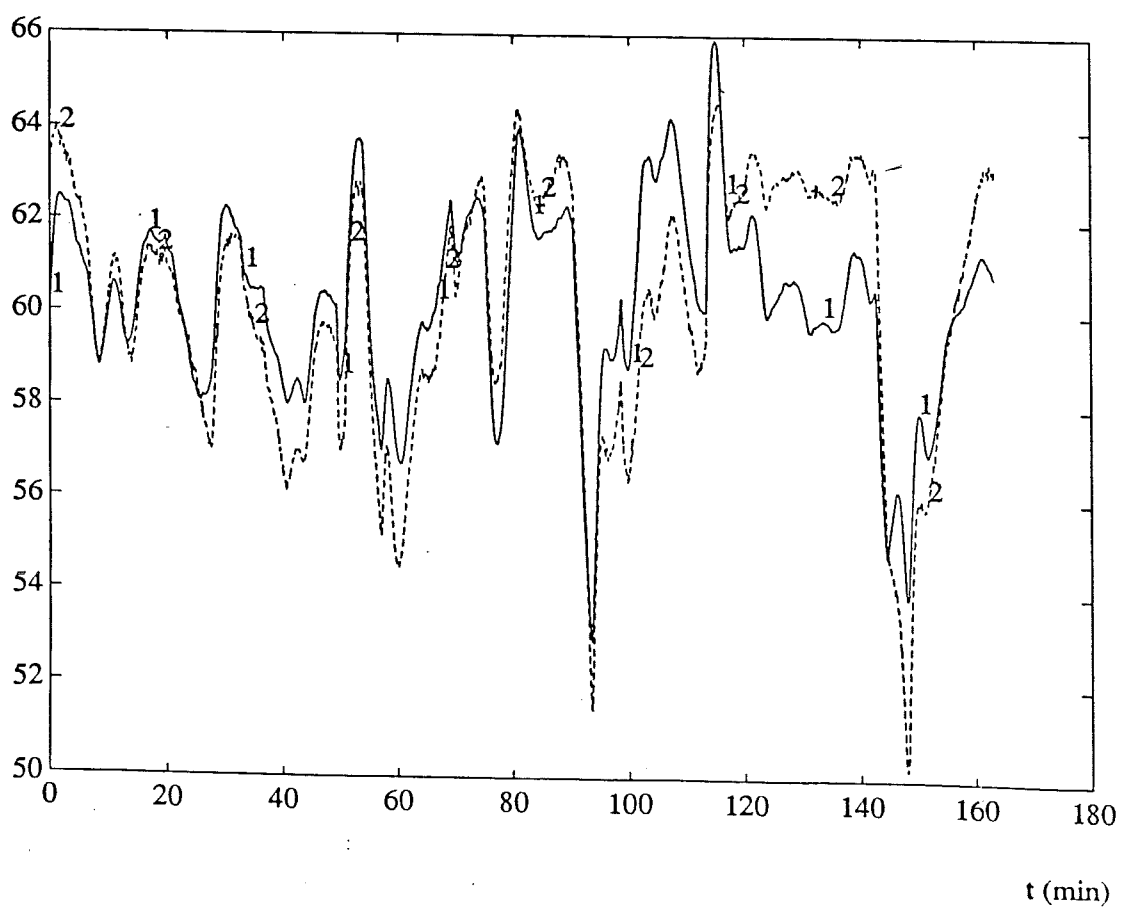
TEST AV OBEROENDET MELLAN RESIDUALERNA OCH INSIGNAL:



# Simulerad utsignal $p_A$

1 = simulerad utsignal

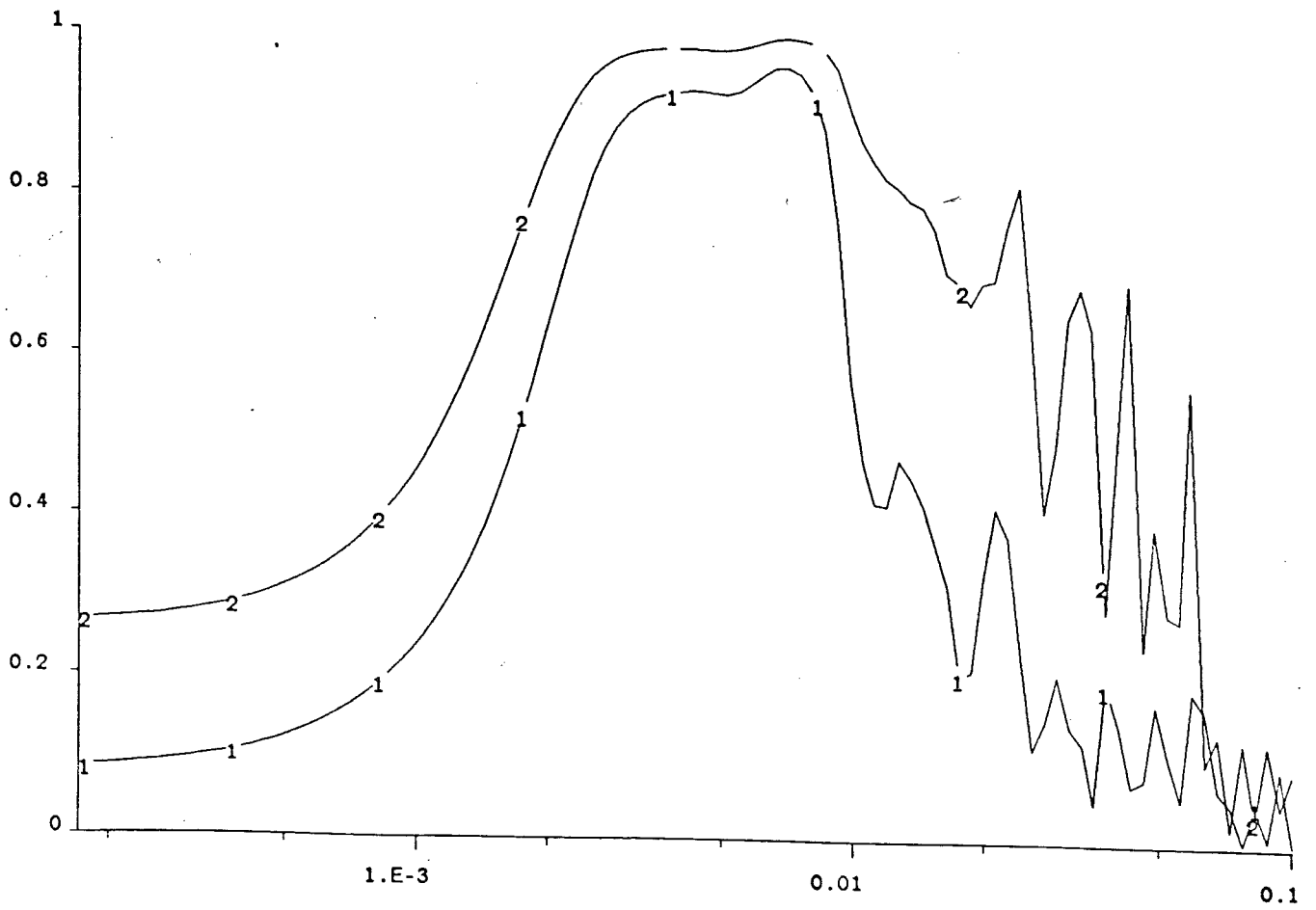
2 = verklig utsignal



# Koherensfunktioner

$$1 = U_E \Rightarrow t_{HU}$$

$$2 = t_{HR} \Rightarrow t_{HU}$$



### Residualtest $t_{HU}$

RESIDUALENS VARIANS: 0.25

ANTAL TECKENVÄXLINGAR HOS RESIDUALEN: 497

5% TOLERANS GRÄNS: 578 648

TEST AV OBEROENDET HOS RESIDUALERNA:

$E[RES(T) \cdot RES(T + \tau)]$  för  $0 < \tau < 8$

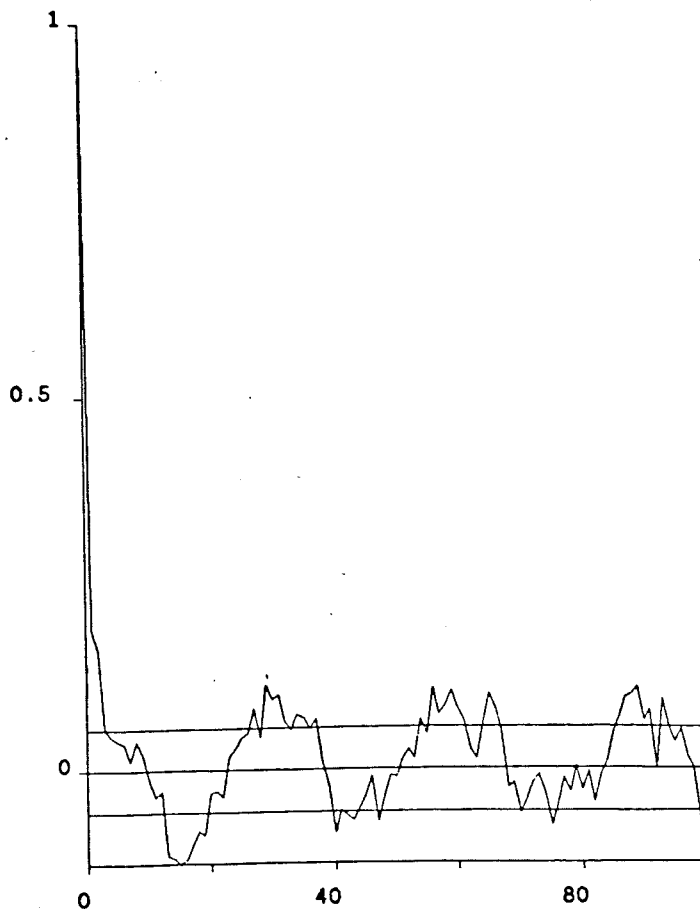
TEST KVANTITET: 86.9

SKALL JÄMFÖRAS MED  $\chi^2(7) = 14.1$

NORMALFÖRDELNINGSTEST

TEST KVANTITET: 45.2

SKALL JÄMFÖRAS MED  $\chi^2(37) = 51$



**Residualtest  $t_{HV}$  forts.**

TEST AV OBEROENDET MELLAN RESIDUALERNA OCH INSIGNAL:

$$E[RES(T) \cdot U(T + \tau)] \quad \text{för} \quad 3 < \tau < 11$$

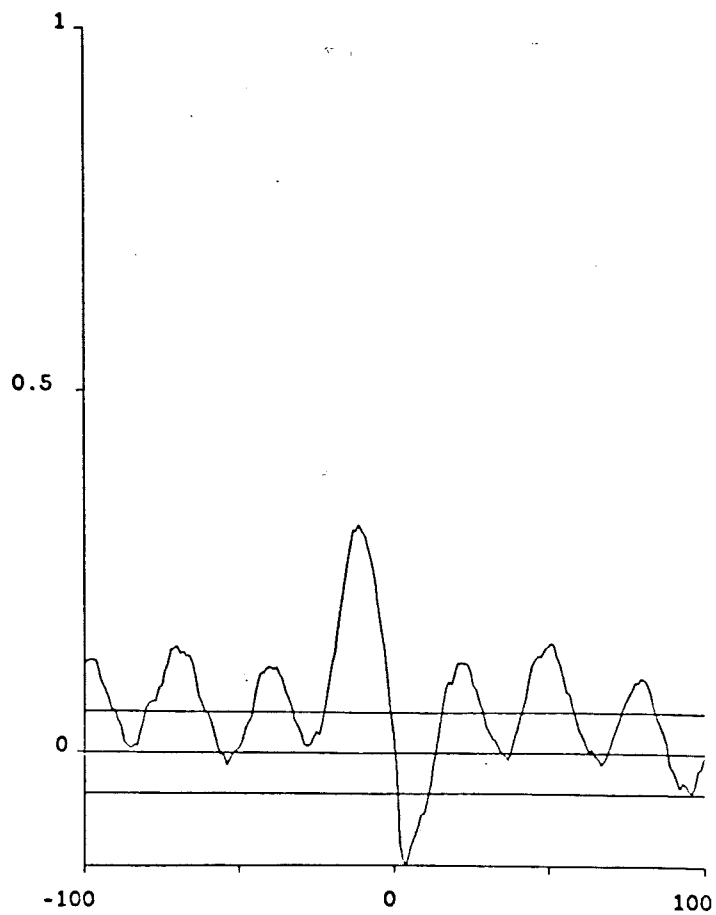
TEST KVANTITET: 37.3

SKALL JÄMFÖRAS MED  $\chi^2(7) = 14.1$

$$E[RES(T) \cdot U(T + \tau)] \quad \text{för} \quad -7 < \tau < 1$$

TEST KVANTITET: 152

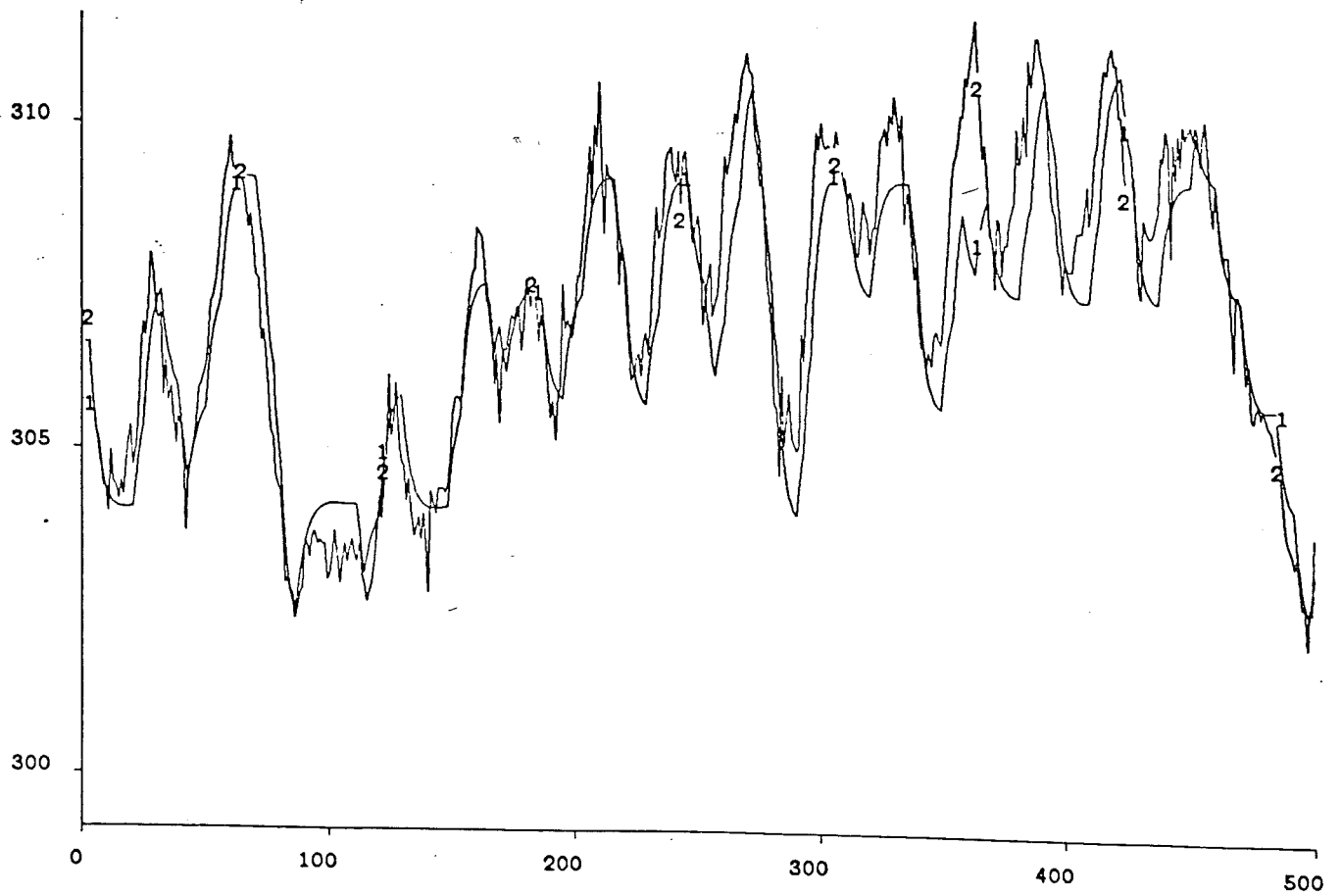
SKALL JÄMFÖRAS MED  $\chi^2(7) = 14.1$



# Simulerad utsignal $t_{HV}$

1 = simulerad utsignal

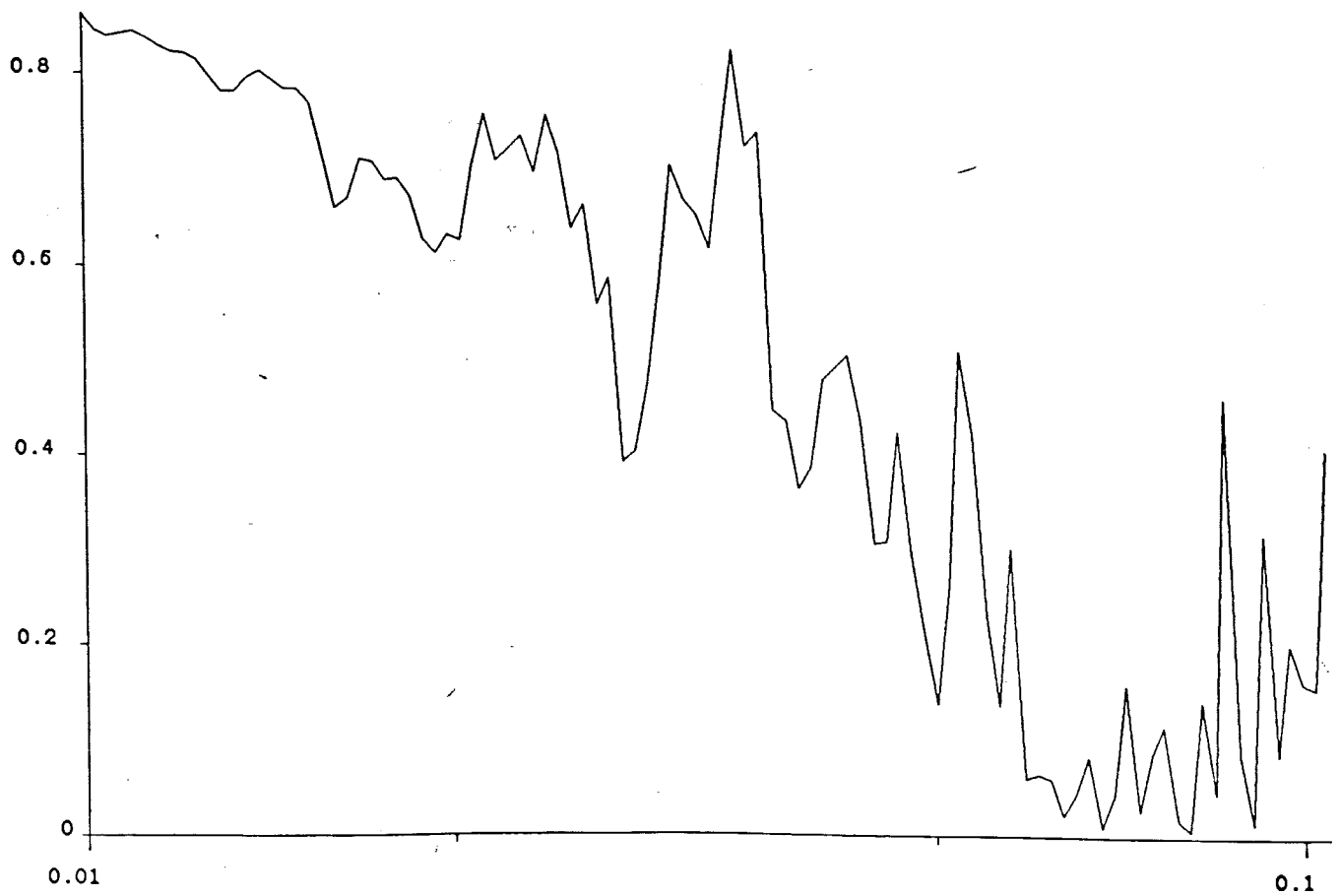
2 = verklig utsignal





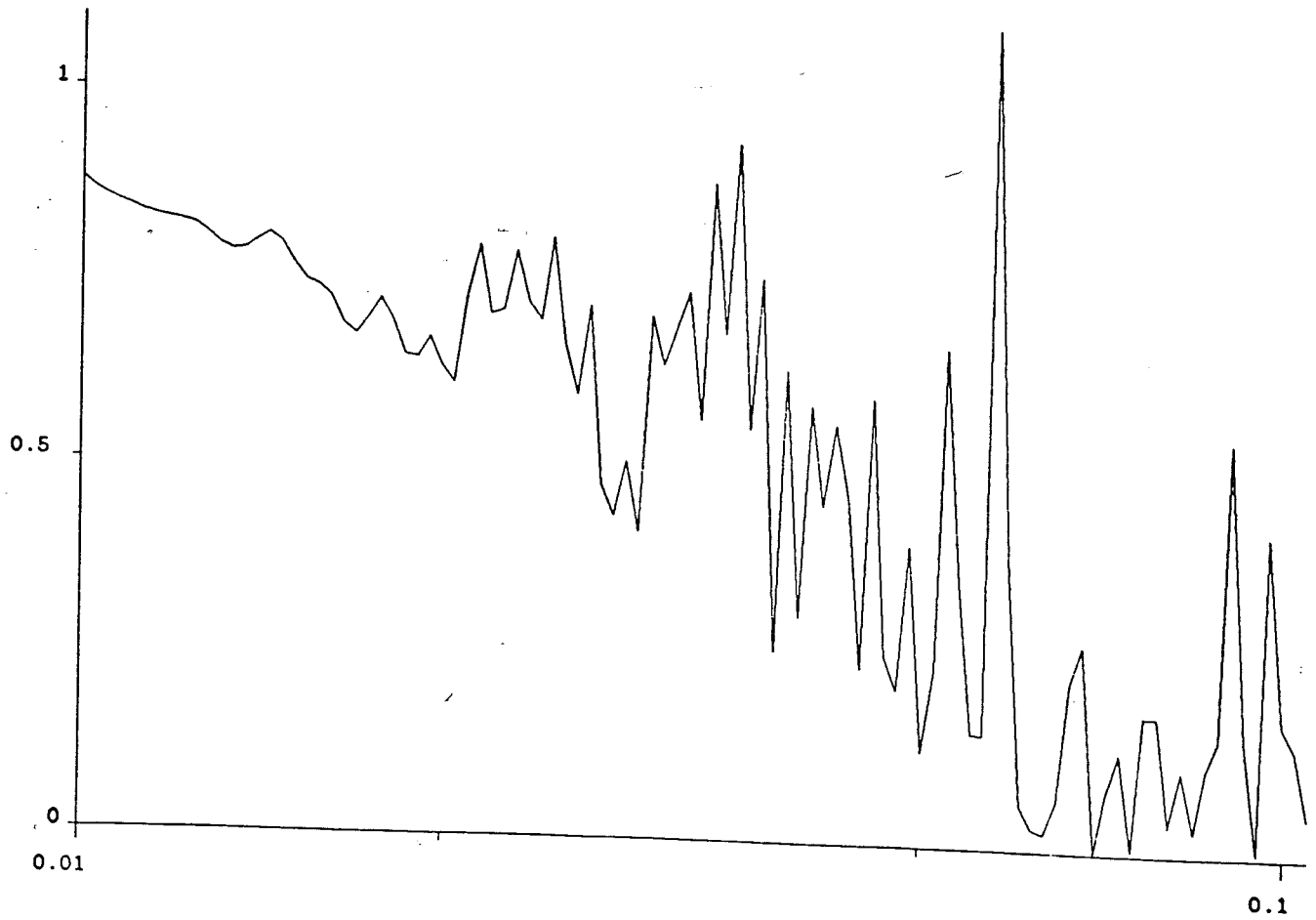
# Koherensfunktioner

$t_{HU} \Rightarrow t_{HR}$



# Koherensfunktioner

$$U_H \Rightarrow t_{HR}$$



### Residualtest $t_{HR}$

RESIDUALENS VARIANS:  $1.30 \cdot 10^{-5}$

ANTAL TECKENVÄXLINGAR HOS RESIDUALEN: 480

5% TOLERANS GRÄNS: 579 649

TEST AV OBEROENDET HOS RESIDUALERNA:

$E[RES(T) \cdot RES(T + \tau)]$  för  $0 < \tau < 11$

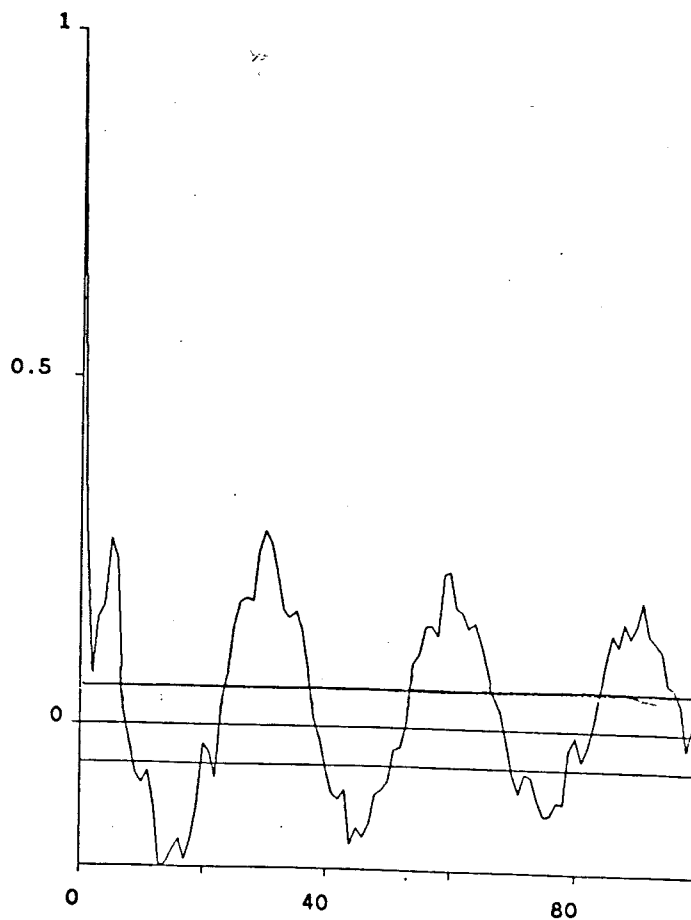
TEST KVANTITET: 345

SKALL JÄMFÖRAS MED  $\chi^2(10) = 18.31$

### NORMALFÖRDELNINGSTEST

TEST KVANTITET: 42.3

SKALL JÄMFÖRAS MED  $\chi^2(37) = 51$



**Residualtest  $t_{HU} \Rightarrow t_{HR}$  forts.**

TEST AV OBEROENDET MELLAN RESIDUALERNA OCH INSIGNAL:

$$E[RES(T) \cdot U(T + \tau)] \quad \text{för} \quad 4 < \tau < 15$$

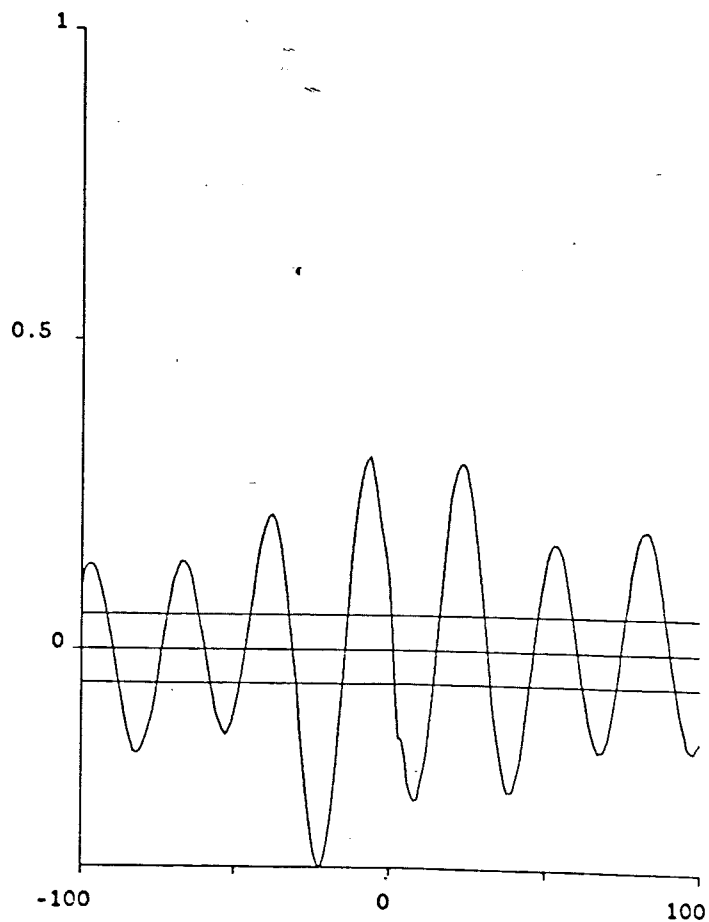
TEST KVANTITET: 144.7

SKALL JÄMFÖRAS MED  $\chi^2(10) = 18.31$

$$E[RES(T) \cdot U(T + \tau)] \quad \text{för} \quad -10 < \tau < 1$$

TEST KVANTITET: 161.3

SKALL JÄMFÖRAS MED  $\chi^2(10) = 18.37$



**Residualtest  $U_H \Rightarrow t_{HR}$  forts.**

TEST AV OBEROENDET MELLAN RESIDUALERNA OCH INSIGNAL:

$$E[RES(T) \cdot U(T + \tau)] \quad \text{för} \quad 4 < \tau < 15$$

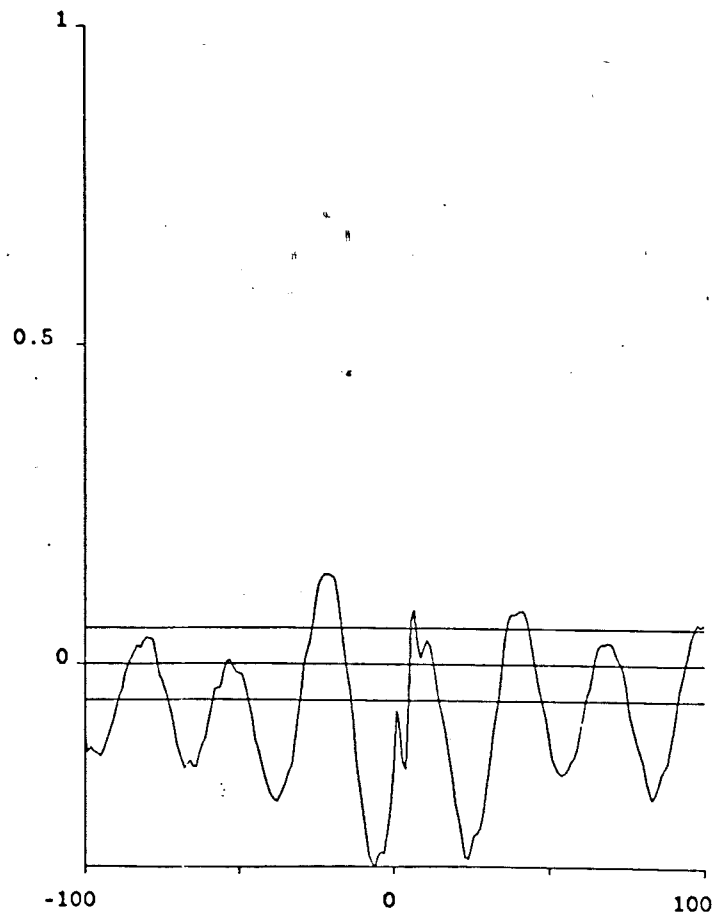
TEST KVANTITET: 234.9

SKALL JÄMFÖRAS MED  $\chi^2(10) = 18.31$

$$E[RES(T) \cdot U(T + \tau)] \quad \text{för} \quad -10 < \tau < 1$$

TEST KVANTITET: 169.7

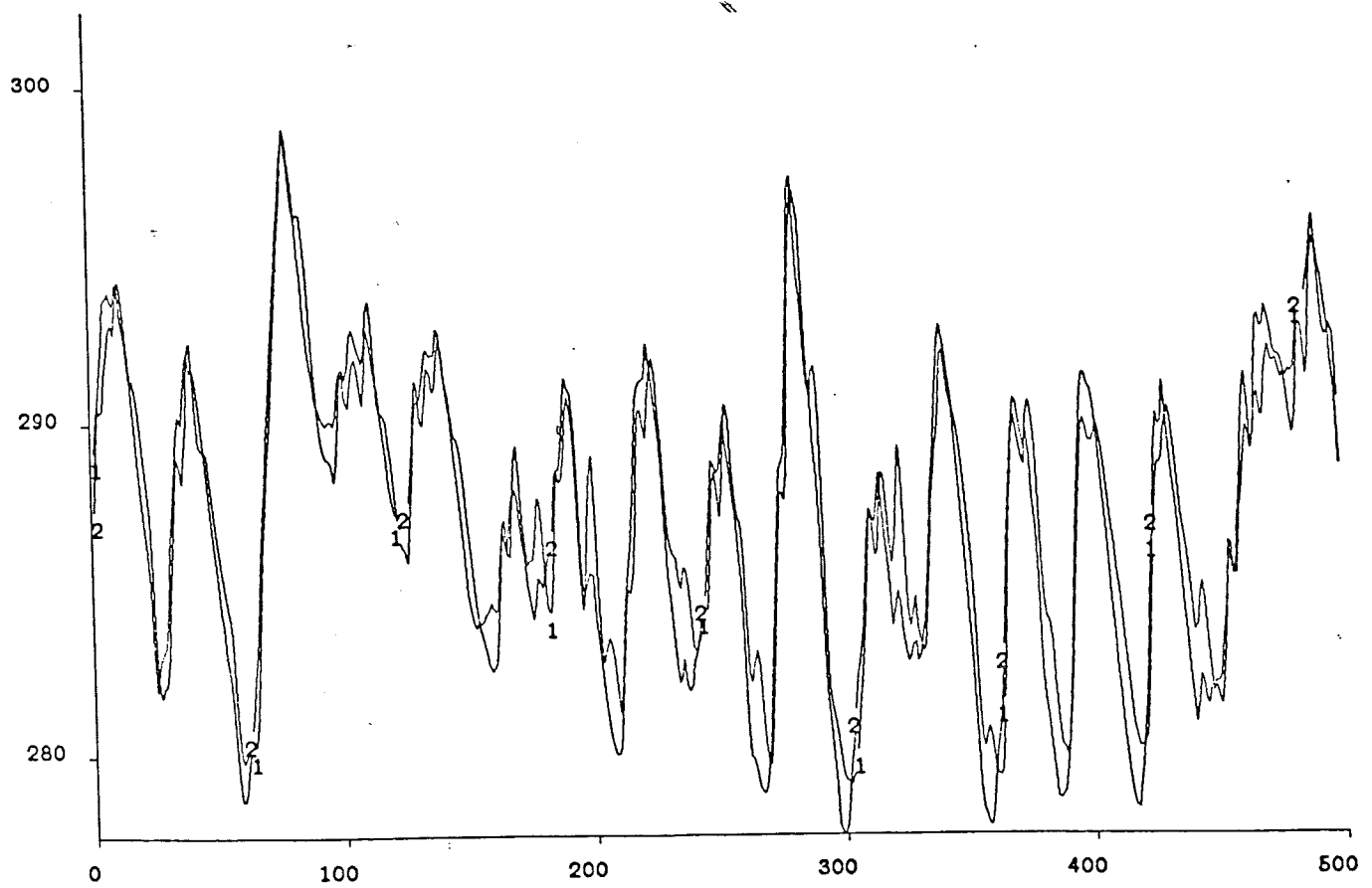
SKALL JÄMFÖRAS MED  $\chi^2(10) = 18.37$



# Simulerad utsignal $t_{HR}$

1 = simulerad utsignal

2 = verklig utsignal



# Appendix D

Vi inför *skiftoperatorn*  $q^{-1}$  där

$$q^{-1}f(t) = f(t-1)$$

$$q^{-2}f(t) = f(t-2)$$

osv

Om alla  $y$ -termer flyttas över till vänstersidan så kan ekv (4.1) skrivas:

$$A(q^{-1})y(t) = B(q^{-1})u(t) \quad (D.1)$$

$A$  och  $B$  är polynom av  $n$ :te ordningen på formen:

$$A(q^{-1}) = 1 + a_1q^{-1} + a_2q^{-2} + \dots + a_nq^{-n}$$

Tas även brus med i modellen genom att införa den stokastiska variabeln  $e(t)$ , ett polynom  $C(q^{-1})$  av  $n$ :te ordningen och en skalär,  $\lambda$  fås en s. k. ARMAX-modell.

$$A(q^{-1})y(t) = B(q^{-1})u(t) + \lambda C(q^{-1})e(t) \quad (D.2)$$

En maximum likelihood (ml) skattning av ekv (D.2) fås genom att minimera förlustfunktionen, vloss

$$vloss(\theta) = \frac{1}{2} \sum \epsilon^2(t) \quad (D.3)$$

där

$$C(q^{-1})\epsilon(t) = A(q^{-1})y(t) - B(q^{-1})u(t)$$

och

$$\theta = (a_1, \dots, a_n, \quad b_1, \dots, b_n, \quad c_1, \dots, c_n)$$

Maximum likelihood skattningen av  $\lambda$  blir

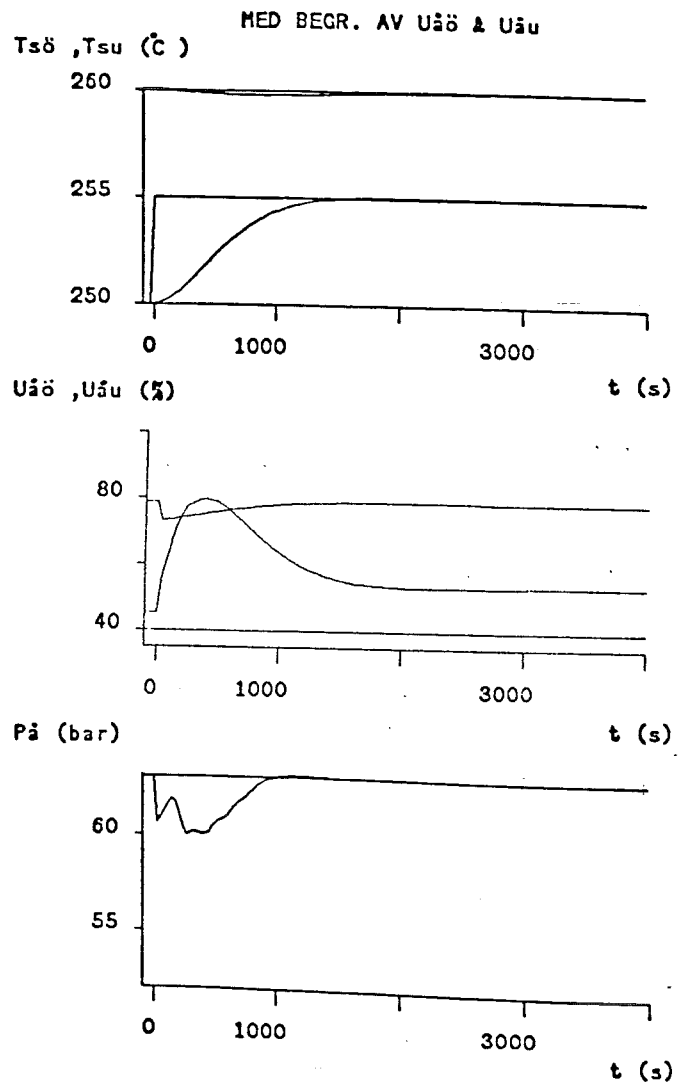
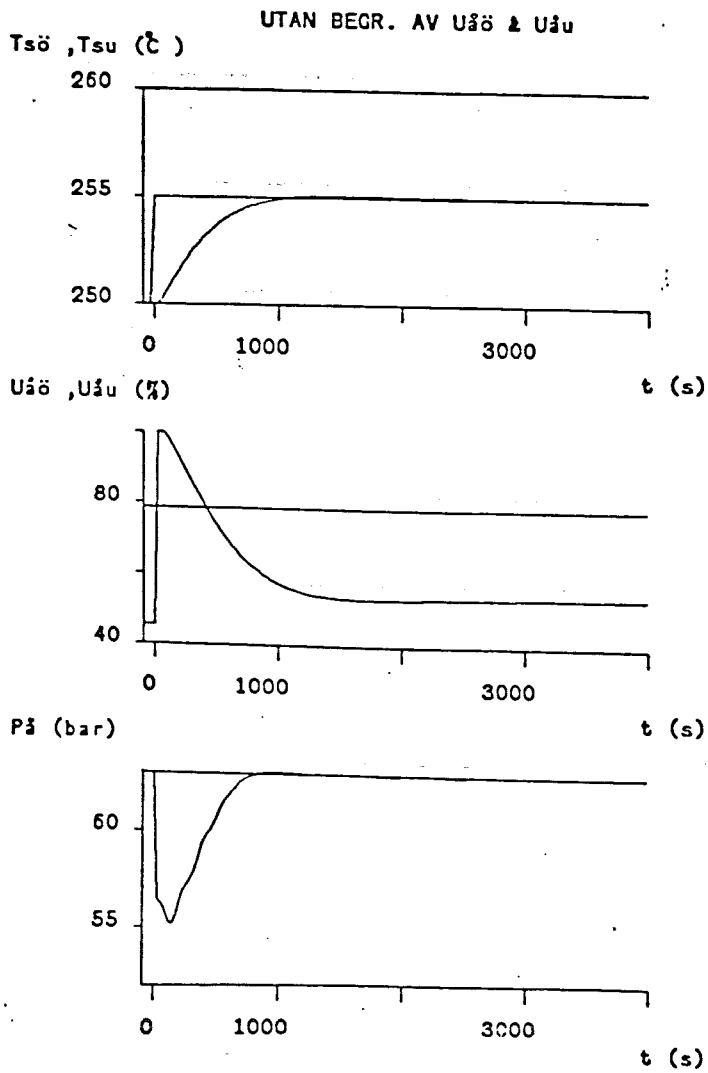
$$\lambda^2 = \frac{2}{N} vloss(\theta)$$

där  $\theta$  är minimum av förlustfunktionen, vloss. Minimeringen sker iterativt med en kombinerad Newton-Raphson och Gauss-Newton algoritim.

# Appendix E



## SIMULERING AV HELA PROCESSEN

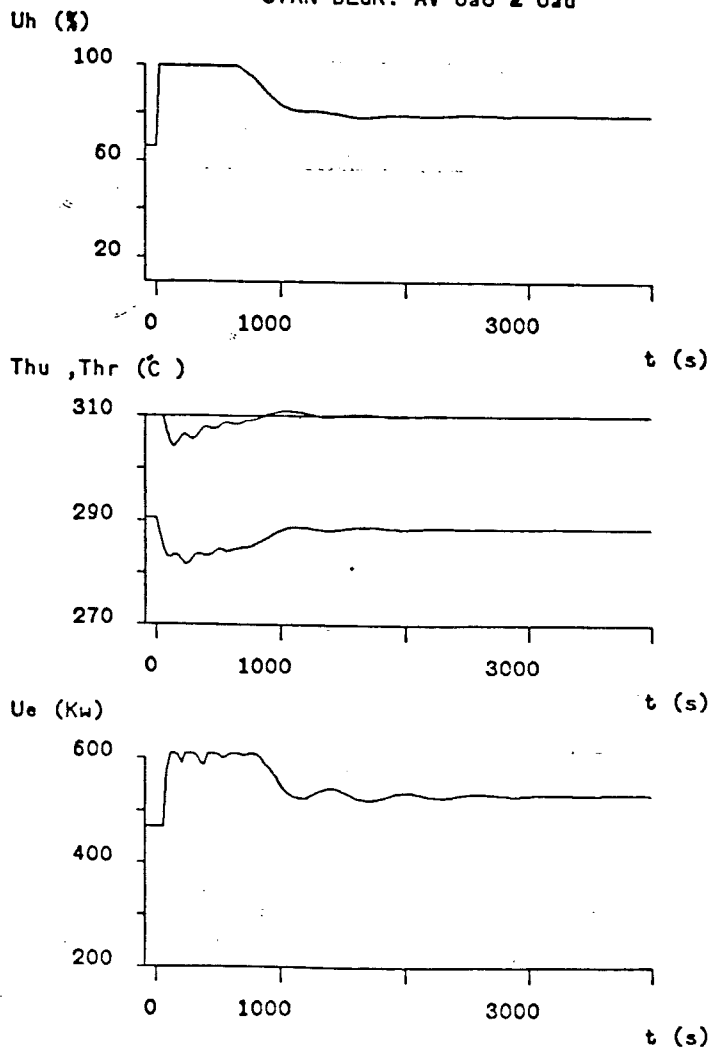


Skillnader med och utan begränsning vid börvärdesändring av  $t_{s\ddot{o}}$ .

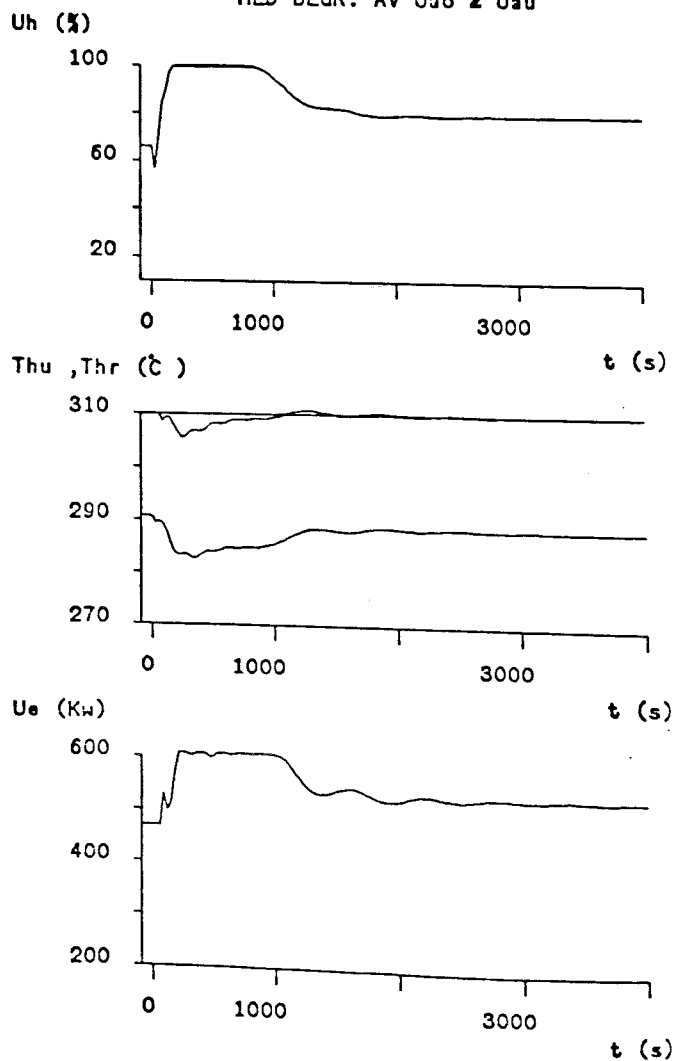
- Trycket i ånggeneratoren  $p_A$  sjunker inte under de 60 bar som specificerats.
- $t_{s\ddot{o}}$  stiger något långsammare med begränsning.

SIMULERING AV HELA PROCESSEN

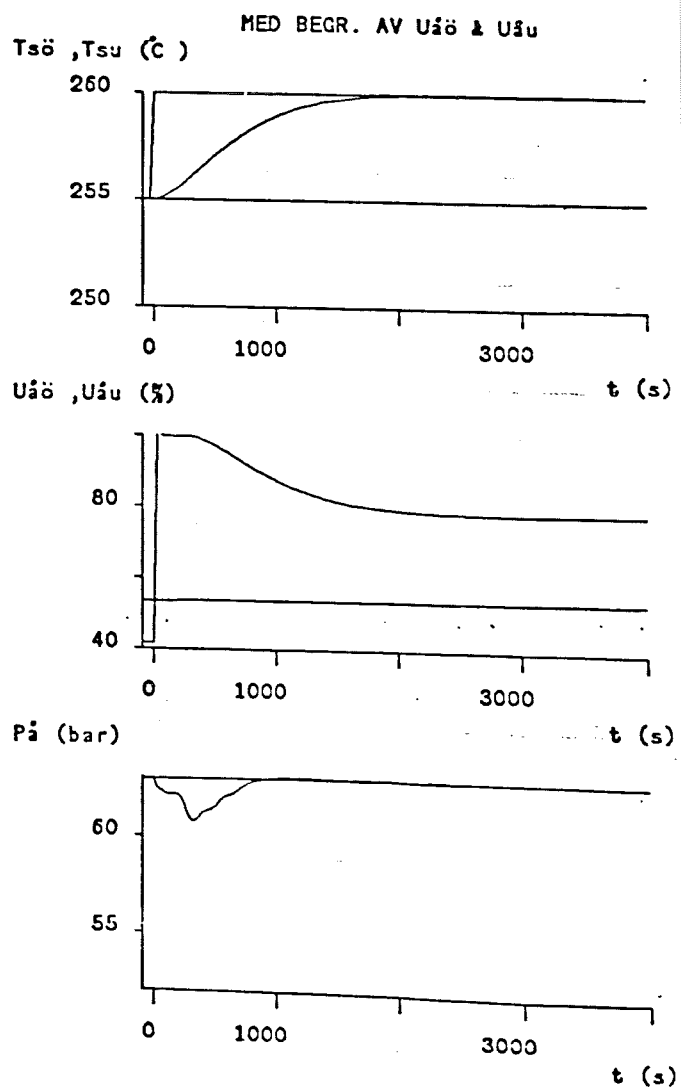
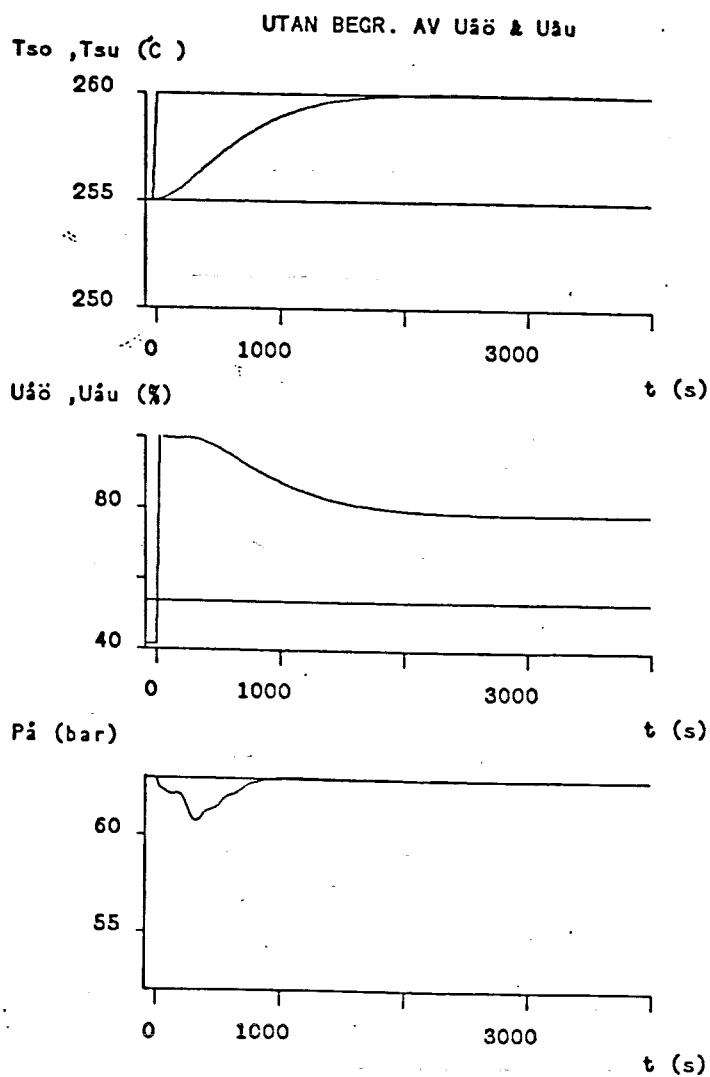
UTAN BEGR. AV U<sub>30</sub> & U<sub>50</sub>



MED BEGR. AV U<sub>30</sub> & U<sub>50</sub>



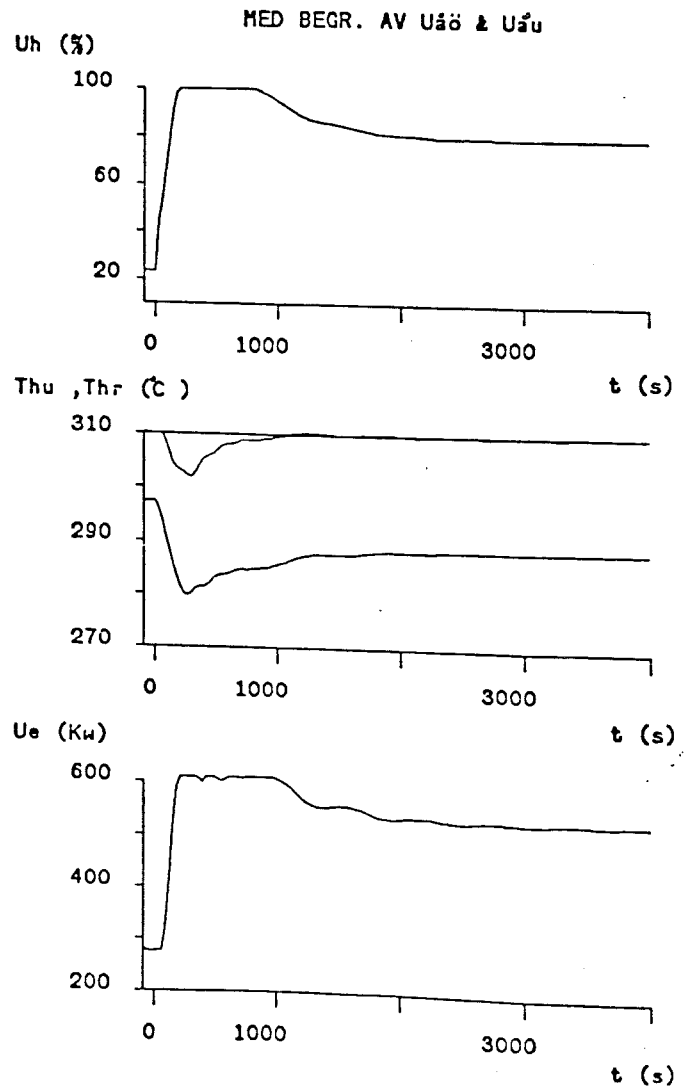
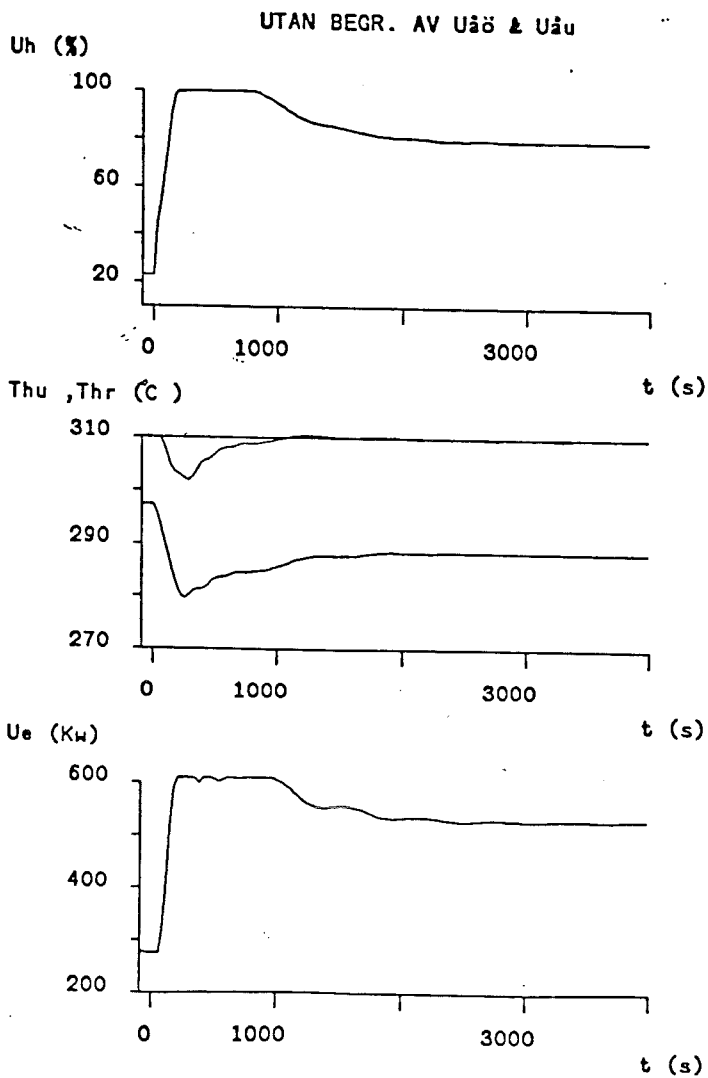
SIMULERING AV HELA PROCESSEN



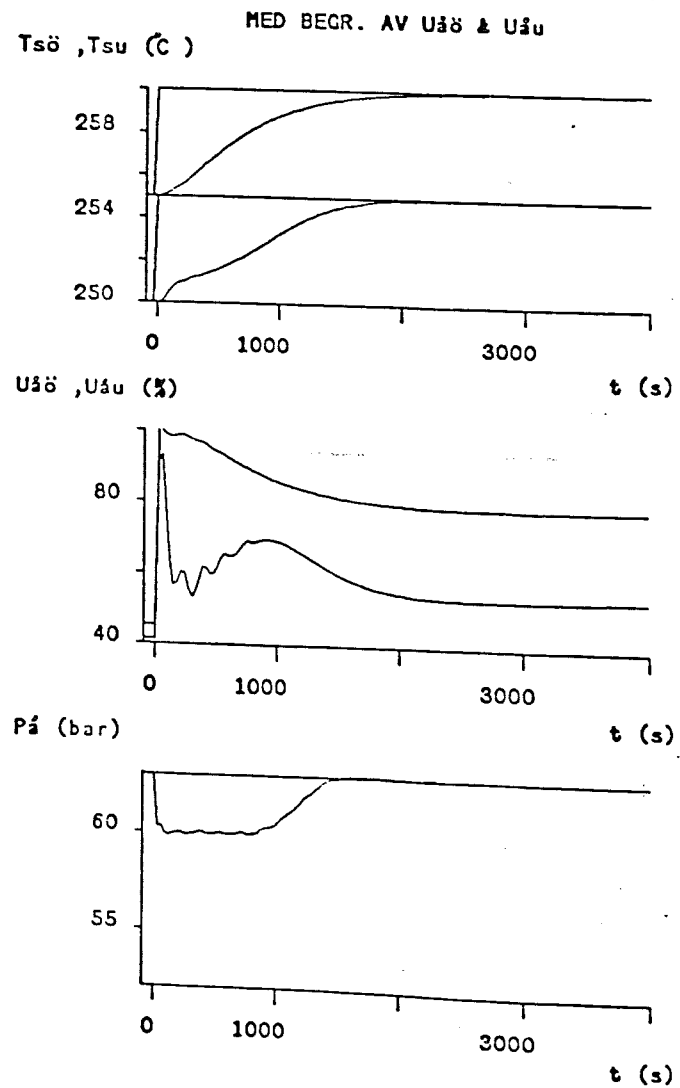
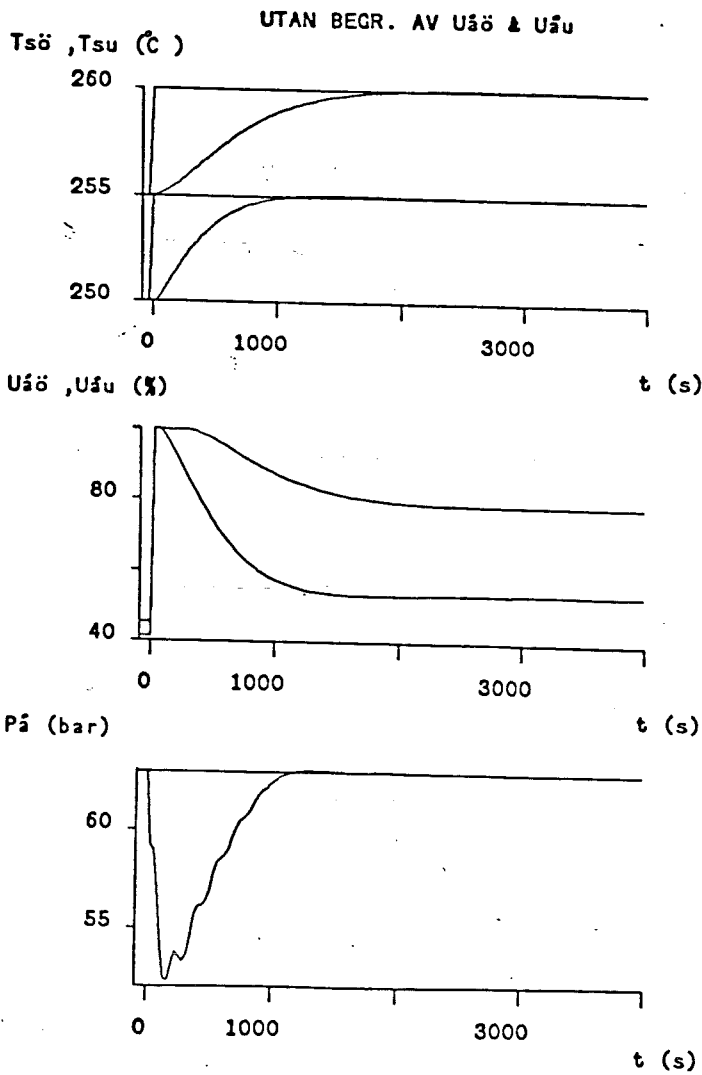
Skillnad med och utan begränsning vid börvärdesändring av  $t_{SV}$ .

- Någon egentlig skillnad syns inte här. Detta beror på att  $U_{\dot{A}U}$  har mindre inverkan än  $U_{\dot{A}\ddot{O}}$ .

SIMULERING AV HELA PROCESSEN



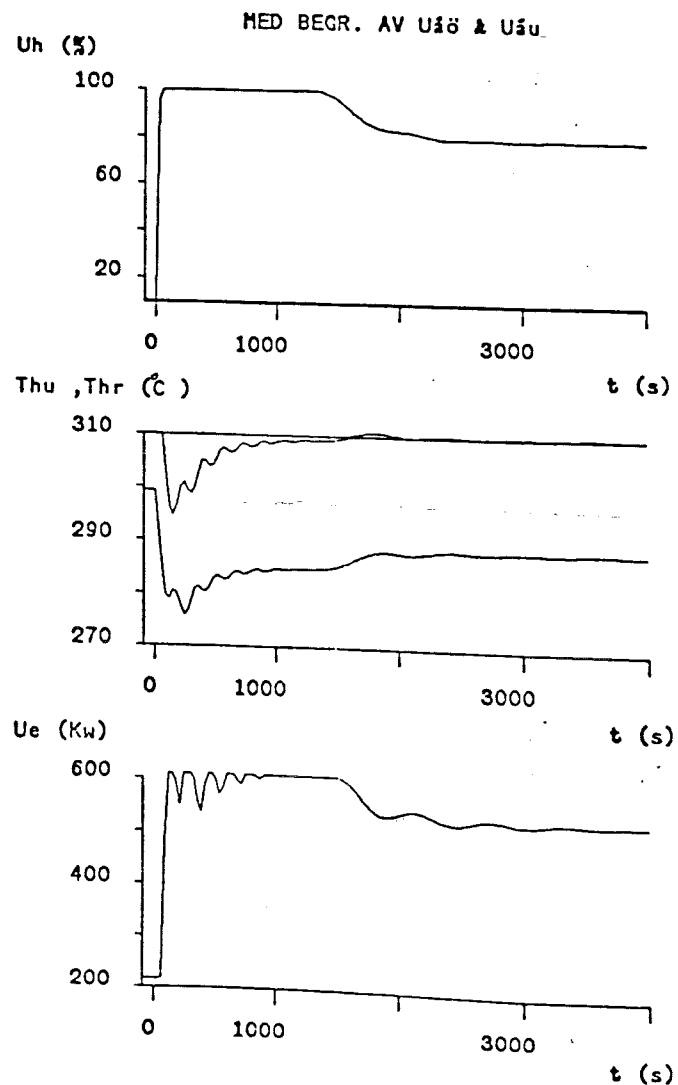
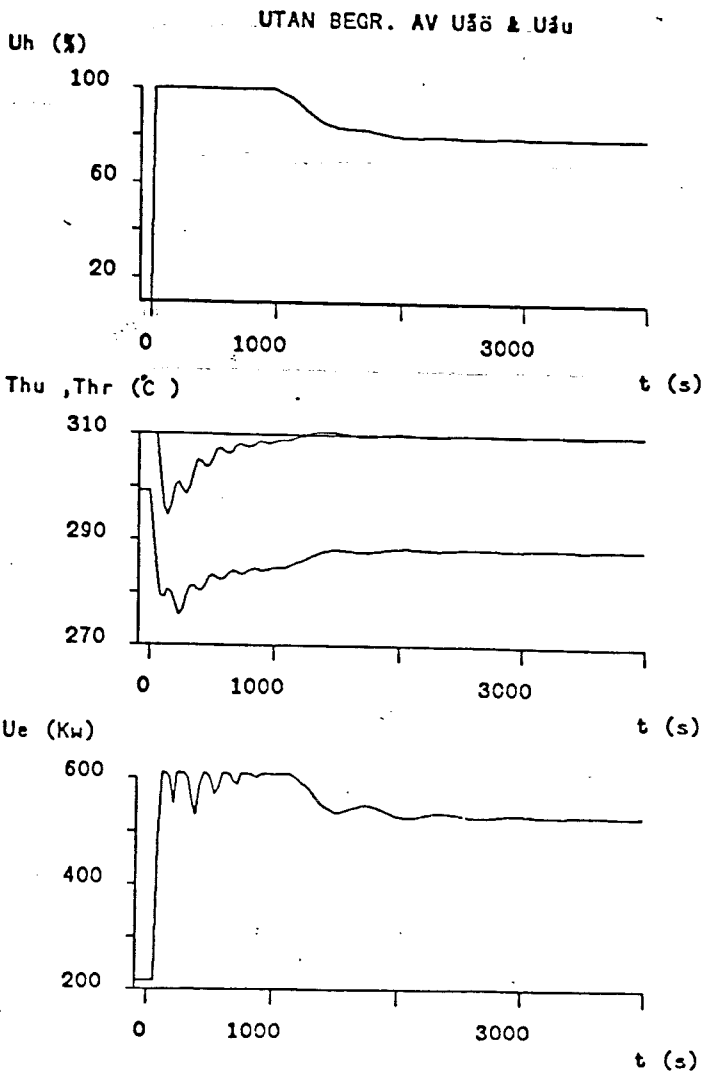
SIMULERING AV HELA PROCESSEN



Skillnader med och utan begränsning vid börvärdesändring av  $t_{S\ddot{O}}$  och  $t_{SU}$ .

- Trycket i ånggeneratoren  $p_{\dot{A}}$  sjunker inte under de 60 bar som specificerats.
- $t_{S\ddot{O}}$  och  $t_{SU}$  stiger något långsammare med begränsning.
- Pendlingen hos  $U_{\dot{A}\ddot{O}}$  beror på att begränsningen återspeglar oscillationen i  $P_{\dot{A}}$ .

SIMULERING AV HELA PROCESSEN



Skillnader med och utan begränsning vid börvärdesändring av  $t_{S0}$  och  $t_{SU}$ .

- Hetoljeventilen  $U_h$  står helt öppen under längre tid vilket innebär att elpannan ger full effekt  $U_e$  under motsvarande tid.

# Appendix F

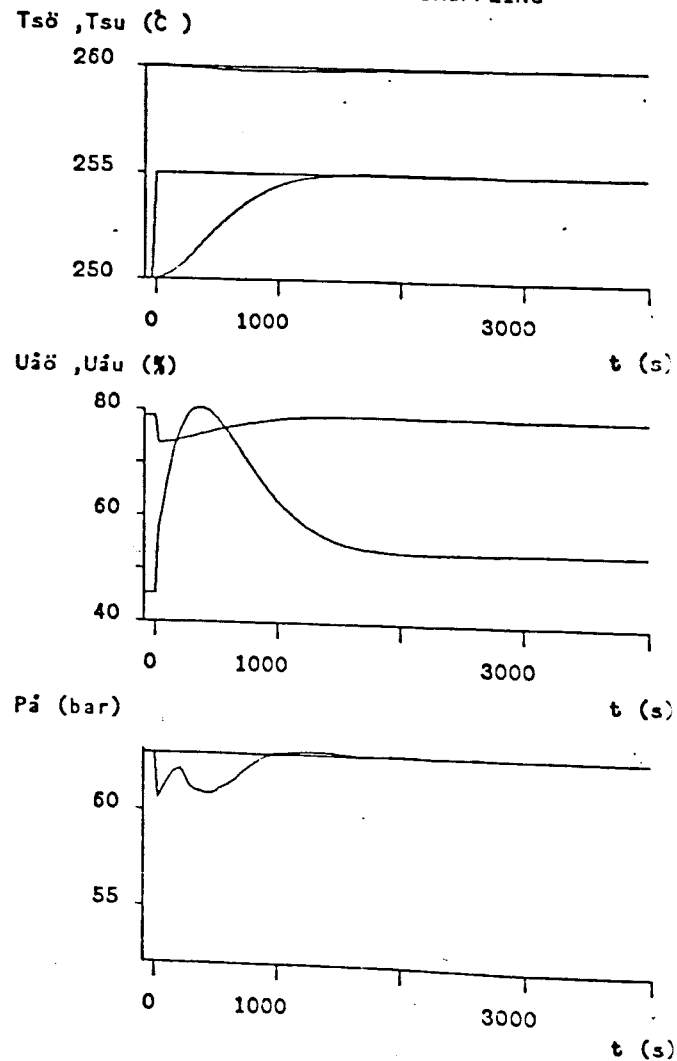
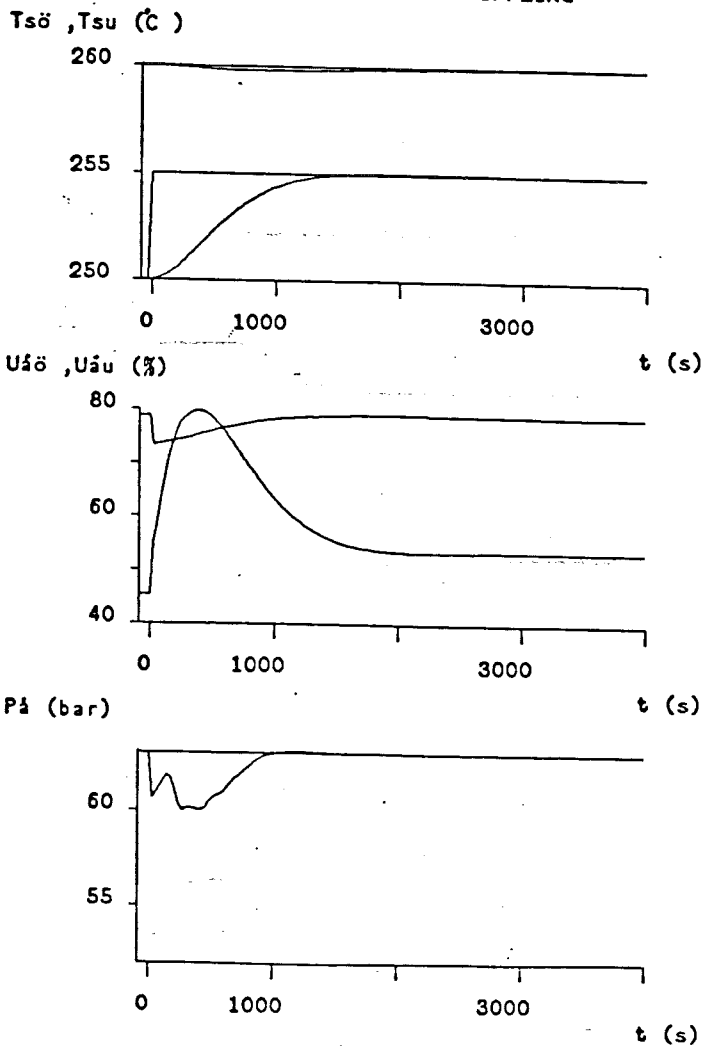
SIMULERING AV HELA PROCESSEN

MED BEGR. AV  $U_{sö}$  &  $U_{su}$

MEN UTAN KASKADKOPPLING

MED BEGR. AV  $U_{sö}$  &  $U_{su}$

OCH MED KASKADKOPPLING



Skillnader med och utan kaskadkoppling.

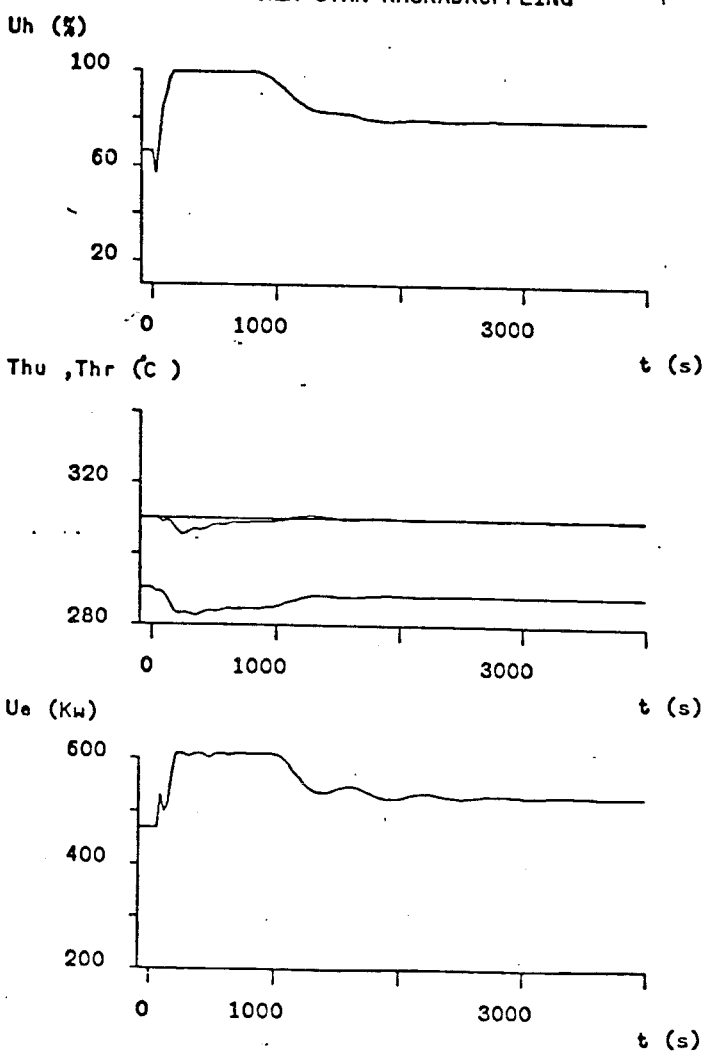
- Temperaturerna i spalttornet  $t_{sö}$  och  $t_{su}$  stiger något snabbare.
- Elpannan uppnår maxeffekt på kortare tid med kaskadkopplingen.
- Hetoljans temperatur sjunker inte lika kraftigt.
- Hetoljans börvärde höjs och anpassas efter de nya driftsvillkoren.

Detta gäller generellt för alla tre simuleringarna.

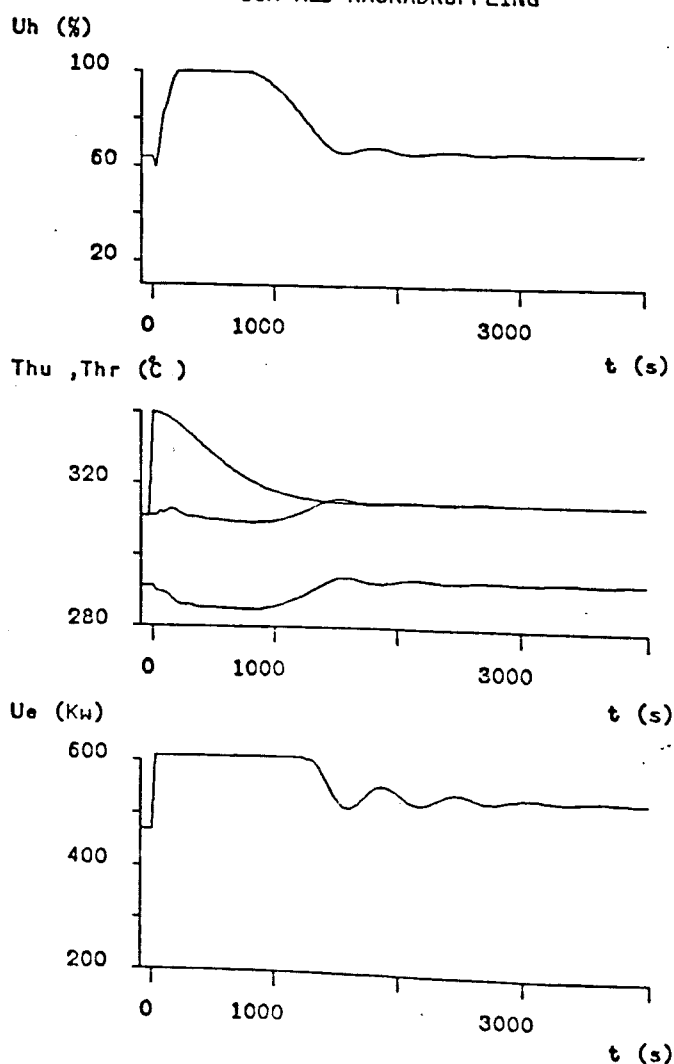


SIMULERING AV HELA PROCESSEN

MED BEGR. AV  $U_{\text{åö}} & U_{\text{åu}}$   
MEN UTAN KASKADKOPPLING



MED BEGR. AV  $U_{\text{åö}} & U_{\text{åu}}$   
OCH MED KASKADKOPPLING



Skillnader med och utan kaskadkoppling.

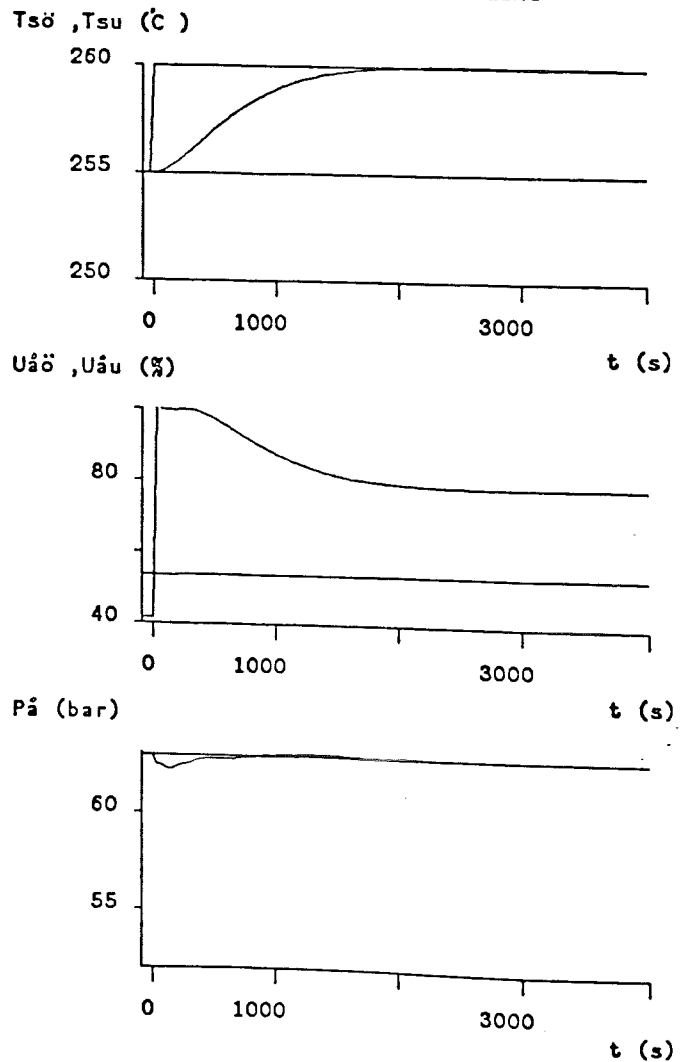
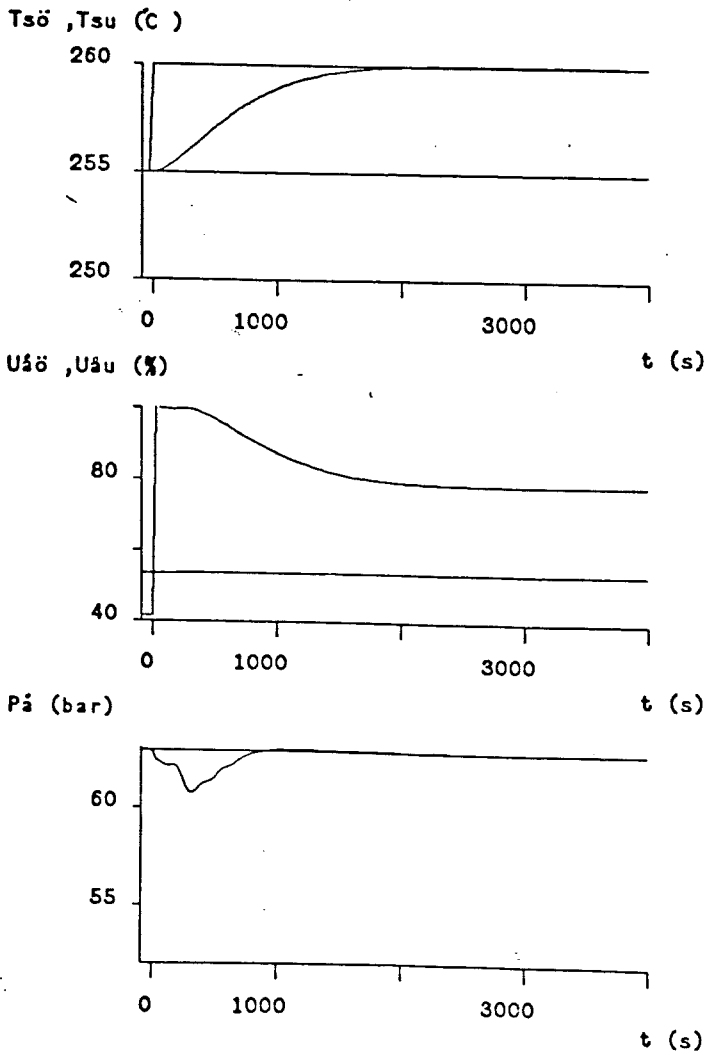
- Den högre oljetemperaturen gör  $U_h$  blir ungefär lika stor efter som före störningen
- Det höjda börvärdet på  $t_{HV}$  gör att elpannan ger maxeffekt under längre tid.

Detta gäller generellt för alla tre simuleringarna.

SIMULERING AV HELA PROCESSEN

MED BEGR. AV  $U_{\dot{a}o}$  &  $U_{\dot{a}u}$   
MEN UTAN KASKADKOPPLING

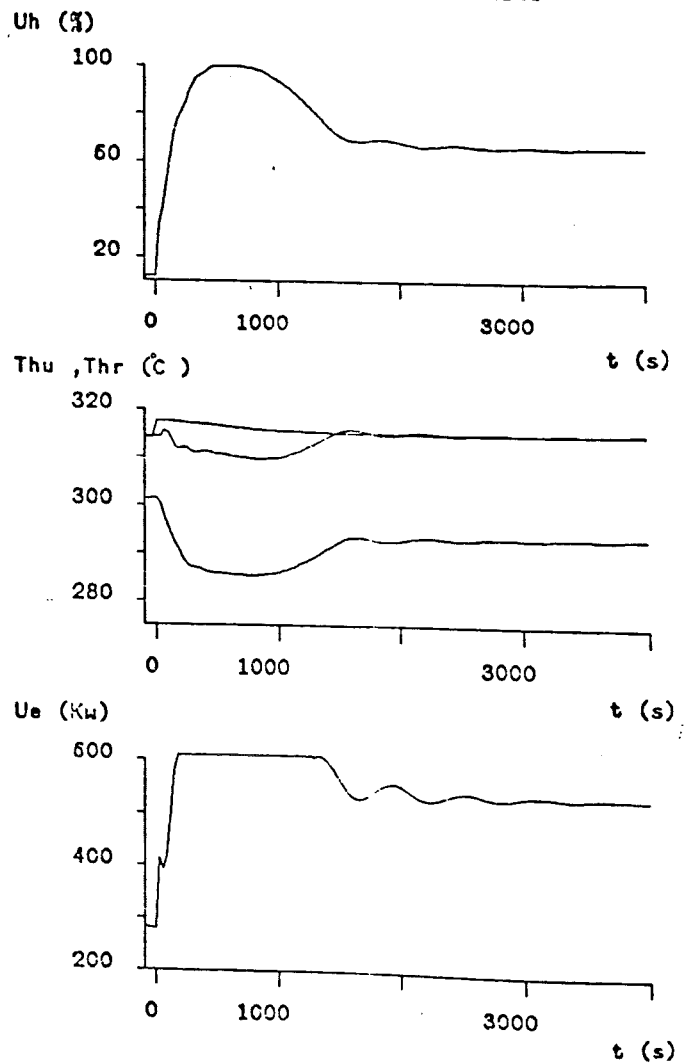
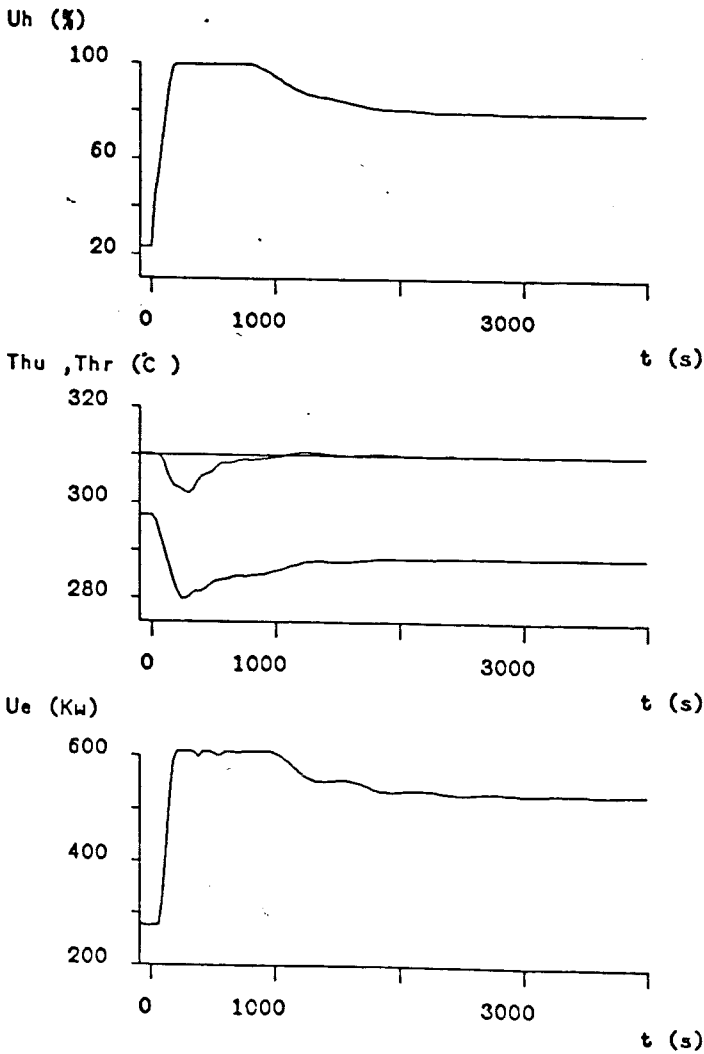
MED BEGR. AV  $U_{\dot{a}o}$  &  $U_{\dot{a}u}$   
OCH MED KASKADKOPPLING



SIMULERING AV HELA PROCESSEN

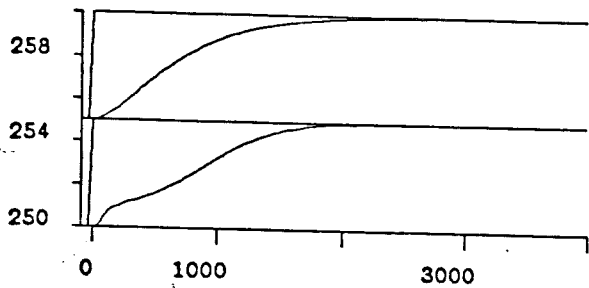
MED BEGR. AV  $U_{a0}$  &  $U_{a1}$   
MEN UTAN KASKADKOPPLING

MED BEGR. AV  $U_{a0}$  &  $U_{a1}$   
OCH MED KASKADKOPPLING

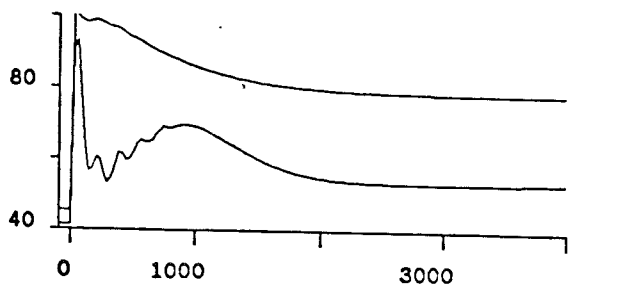


SIMULERING AV HELA PROCESSEN  
 MED BEGR. AV  $U_{\dot{\alpha}o}$  &  $U_{\dot{\alpha}u}$   
 MEN UTAN KASKADKOPPLING

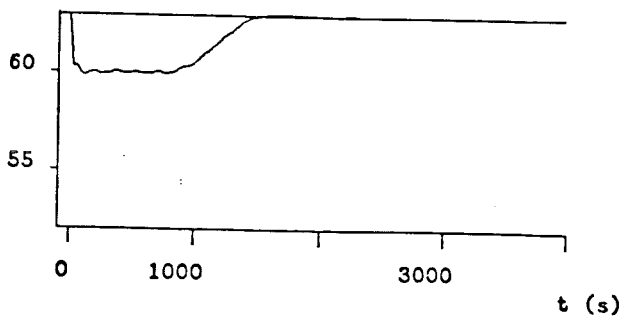
$T_{s\dot{o}}$  ,  $T_{s\dot{u}}$  (°C)



$U_{\dot{\alpha}o}$  ,  $U_{\dot{\alpha}u}$  (%)

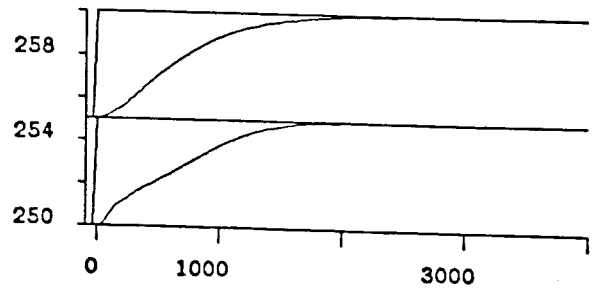


$P_{\dot{\alpha}}$  (bar)

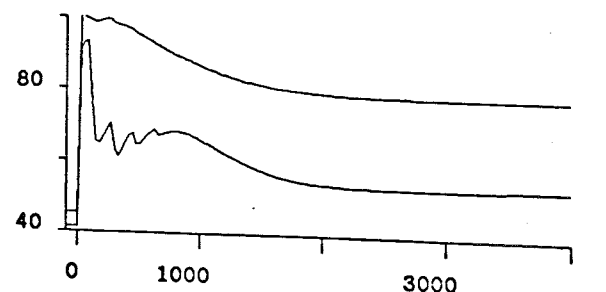


SIMULERING AV HELA PROCESSEN  
 MED BEGR. AV  $U_{\dot{\alpha}o}$  &  $U_{\dot{\alpha}u}$   
 OCH MED KASKADKOPPLING

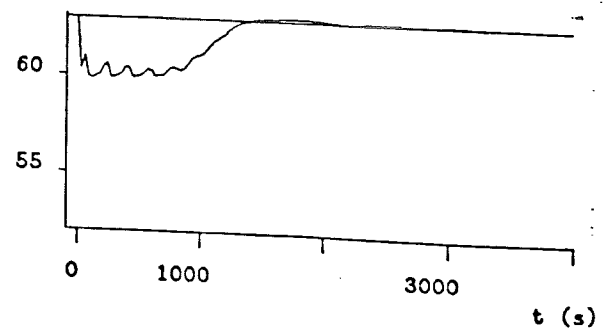
$T_{s\dot{o}}$  ,  $T_{s\dot{u}}$  (°C)



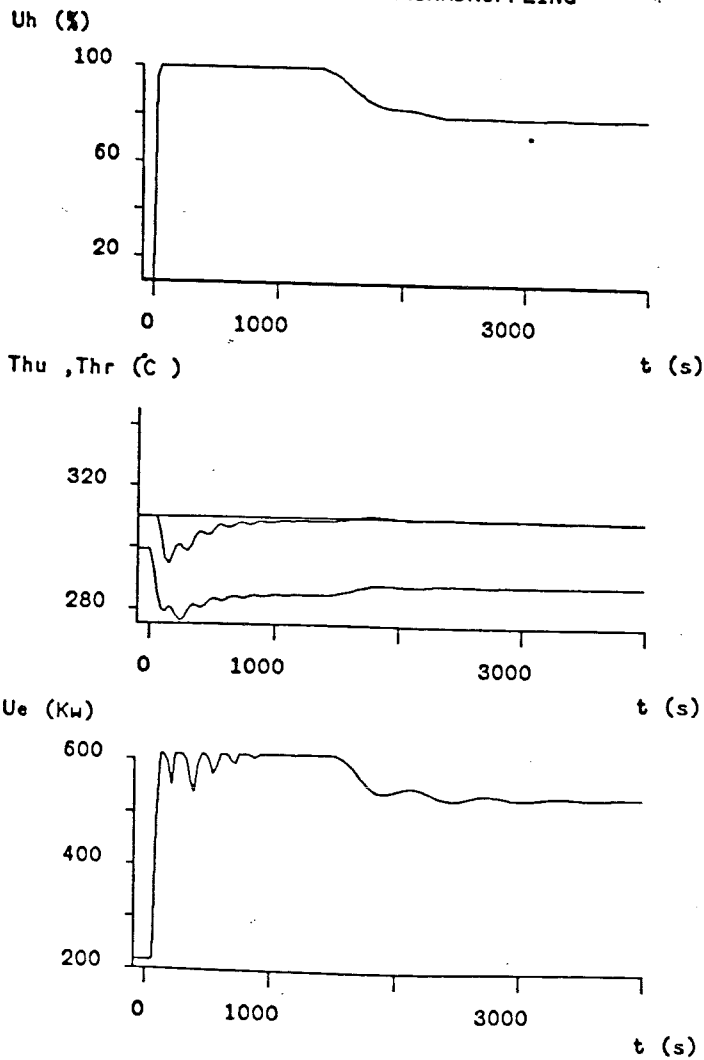
$U_{\dot{\alpha}o}$  ,  $U_{\dot{\alpha}u}$  (%)



$P_{\dot{\alpha}}$  (bar)



SIMULERING AV HELA PROCESSEN  
 MED BEGR. AV  $U_{\text{åö}}$  &  $U_{\text{åu}}$   
 MEN UTAN KASKADKOPPLING



MED BEGR. AV  $U_{\text{åö}}$  &  $U_{\text{åu}}$   
 OCH MED KASKADKOPPLING

