

**UNDERSÖKNING AV EN
PLATTVÄRMEVÄXLARES DYNAMIK
MÄTNINGAR OCH IDENTIFIERING**

**ANDERS LUNDSTRÖM
CHRISTER NILSSON**

TILLHÖR REFERENSBIBLIOTEKET
UTLANAS EJ

RAPPORT RE-90, februari 1971

UNDERSÖKNING AV EN PLATIVÄRMEVÄXLARES DYNAMIK
MÄTNINGAR OCH IDENTIFIERING

Examensarbete vid institutionen för Regleringsteknik

Anders Lundström

Christer Nilsson

Handledare:

Karl Eklund

Förord

Föreliggande arbete har initierats av AB Billmanregulator, Huddinge. Representanter för denna firma och för Alfa Laval har ett gemensamt intresse för undersökningar rörande de dynamiska egenskaperna hos plattvärmeväxlare av Alfa Lavals tillverkning.

Dessa värmeväxlare kommer bl.a. till användning vid s.k. klimatreglering, t.ex. vid husuppvärming med centralvärme.

Författarna har som examensarbete vid institutionen för Regleringsteknik, LTH, gjort en sådan undersökning.

Laboratoriearbetena utfördes på Alfa Lavals utvecklingslaboratorium, och bearbetningen av data vid Lunds Datacentral.

Författarna vill framföra ett tack för hjälp och ledning, ej endast till handledaren, Karl Eklund, utan också till de personer vid ovan nämnda företag och vid olika institutioner som gett sitt bistånd.

Christer Nilsson

Anders Lundström

Sammanfattning

I detta examensarbete undersökes dynamiken hos en (vatten-vatten) plattvärmeväxlare, vilken betraktas som ett system med fyra insignaler och två utsignaler.

Mätningarna har utförts under laboratoriemässiga förhållanden. En eller två insignaler har varierats och mätningar har skett vid olika nivå och amplitud hos dessa. Två olika samplingsintervall har använts.

Data ger möjlighet till identifiering av några tiotal insignal-utsignalsamband. Av dessa har ett utvalts (insignal:sekundärsidans flöde; utsignal:sekundärsidans uttemperatur). Parametrarna i en linjär modell har identifierats med Maximum Likelihood metoden. Ordningstalstest indikerar att en andra ordningens modell är tillräcklig. Kontinuerliga modellens tidskonstant överensstämmer ungefärligen med den som kan skattas ur stegsvar.

Abstract

The task of this thesis was to investigate the dynamical behaviour of a (water-water) plate heat-exchanger, which is considered as a system of four inputs and two outputs.

The measurements have been made during laboratory conditions. One or two inputs are varied. Inputs with different levels and amplitudes have been used. Furthermore, two different sampling intervals have been used.

Data of ten or so input-output relations have been stored. One of these is chosen (input:secondary flow ; output secondary temperature (out)), and identification using the Maximum-Likelihood-method is done. Test of model order indicates that a second order model is satisfying. The time constant of the continuous model is in accordance with that estimated from step response analysis.

Innehållsförteckning

1. Inledning
 - 1.1 Plattvärmeväxlaren
 - 1.2 Identifieringsmetoden
 - 1.3 Val av insignal
2. Försöksuppställningar och mätningar
 - 2.1 Den våta delen
 - 2.2 Mätutrustningen
 - 2.3 Kommentarer om mätningarna
 - 2.4 Förslag till förbättringar
3. Val av insignal och samplingsintervall
 - 3.1 Stegsvarsanalys
 - 3.2 Val av insignal
 - 3.3 Val av samplingsintervall
4. Behandling av mätdata
 - 4.1 Konvertering
 - 4.2 Kalibrering
 - 4.3 Interpolering
 - 4.4 Plottning
5. Identifiering
 - 5.1 Identifieringsprogram
 - 5.2 Den samplade modellen
 - 5.3 Den kontinuerliga modellen
 - 5.4 Kommentarer

7. Referenser

Appendix 1

Specifikation av värmeväxlaren

Appendix 2

Specifikation av mätutrustningen

Appendix 3

Program

1. Inledning

1.1 Plattvärmeväxlaren

I Appendix 1 är värmeväxlaren specificerad. Här redogöres endast för de väsentligare egenskaperna.

Den av oss undersökta växlaren har vatten som processmedium på båda sidorna. Den betraktas som ett system med fyra insignaler och två utsignaler.



ϕ_1 betecknar flödet på primärsidan

ϕ_2 " flödet på sekundärsidan

T_{11} " intemperaturen på primärsidan

T_{21} " intemperaturen på sekundärsidan

T_{12} " uttemperaturen på primärsidan

T_{22} " uttemperaturen på sekundärsidan

Vattnet betraktas som inkompressibelt och alltså:

volymflödet in = volymflödet ut.

En värmeväxlares termodynamiska egenskaper beror bl.a. på storleken av värmegenomgångstalet U . För en viss värmeväxlare är detta en funktion av flödet och temperaturen, $U = U(\phi, T)$.

Eftersom vi endast har möjlighet att identifiera med en linjär modell, måste val av nivåer för flöden och temperaturer ske så att linjäritetsantagandet ansögs uppfyllt.

Den valda värmeväxlaren dimensionerades för ett maximalt flöde på 100 lit/min vid ett tryckfall på mindre än 1 bar. Ett litet tryckfall underlättade flödesstyrningen.

Tillgången på varmvatten tillät temperaturer om högst 80 °C.

Värmeväxlaren kopplades som en motströms värmeväxlare med parallellkopplade kanaler, i överensstämmelse med ett vanligt driftsfall. Då vi för dimensioneringen av styrdon och mätutrustning krävde kännedom om systemets snabbhet, gjordes en uppskattning av växlarens minsta tidskonstant. Med hjälp av datablad beräknades denna ligga i intervallet 0.5 - 2 sek.

1.2 Identifieringsmetoden

Identifiering av modellen för systemet görs ur mätdata med hjälp av Maximum - Likelihood - metoden. Modellen har utseendet:

$$\begin{aligned}y(t) + a_1 y(t-1) + \dots + a_n y(t-n) &= b_{10} u_1(t) + \dots + b_{1n} u_1(t-n) \\&\quad + b_{20} u_2(t) + \dots + b_{2n} u_2(t-n) \\&\quad \cdot \\&\quad \cdot \\&\quad + b_{m0} u_m(t) + \dots + b_{mn} u_m(t-n) \\&\quad + \lambda(e(t) + \dots + c_n e(t-n))\end{aligned}$$

y : utsignalen

$u_1 \dots u_m$: insignaler

Identifieringen får således utföras med en utsignal i taget.

Se (Gustafsson (1)).

1.3 Val av insignal

Som insignaler valdes s.k. Pseudo Random Binary Sequences, vilka är tämligen enkla att generera och vars energispektrum kan göras tillräckligt brett.

Se (Gustafsson (2)).

2. Försöksuppställning och mätningar

2.1 Den våta delen

Inkopplandet av värmeväxlaren utfördes på Alfa Laval enligt fig. 1. Rörledningar av 3/4" vattenledningsrör och ordinära strypventiler för manuell inställning av flödesnivåer ingick i arrengemanget. För den önskade snabba styrningen av temperaturer och flöden användes magnetventiler, vilka styrdes mellan lägena helt öppna och helt stängda. Vattnet på utgångssidan dumpades i allmänna avloppet.

Tilledningarna gjordes så korta som möjligt för att minska värmeförluster och tryckfall.

Styrningen av magnetventilerna gjordes av institutionens PRBS-generator, och då två insignaler varierades dessutom manuellt med ordinära strömbrytare.

2.2 Mätutrustningen

Temperaturer mättes med termoelement, vars lödställen var placerade i vätskeflödet genom rörbussningar alldeles intill värmeväxlaren.

Se Appendix 2.

För mätning av flöde användes en flödesmätare av induktiv typ, vilken tillsammans med flödesstyrdonet kunde kopplas in på primär eller sekundärsidan. Då endast en kvalificerad flödesmätare fanns tillgänglig, kunde samtidig variation av båda flödena ej göras. Kontrollen av att det icke mätta flödet var konstant, gjordes med en precisionsmanometer. Denna medgav också en uppskattningsmedelflöden.

För intrimning av mätutrustningen samt för upptagandet av stegsvar utnyttjades institutionens UV-skrivare.

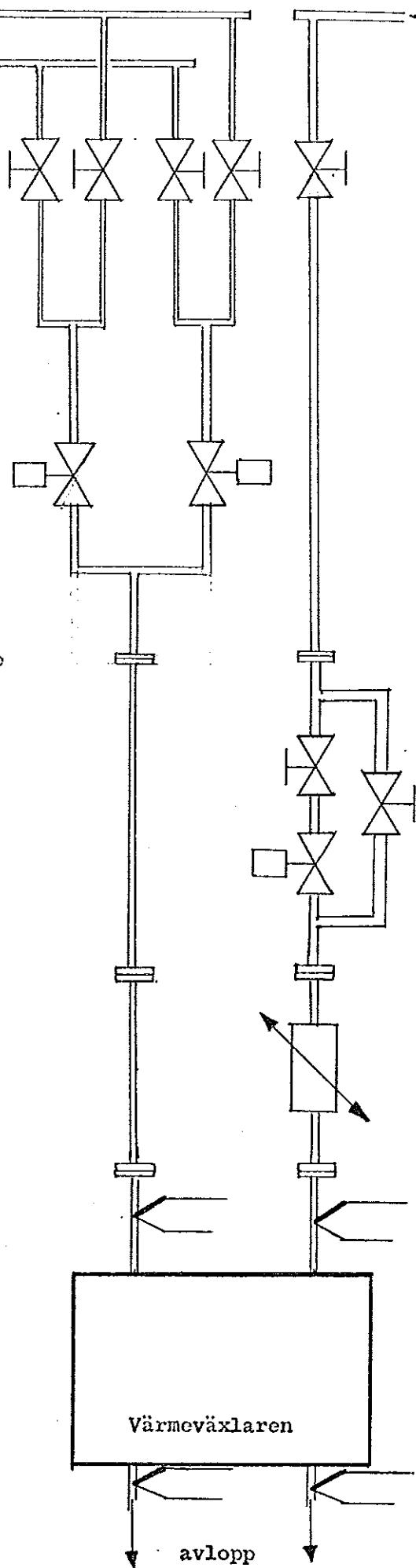
kallt →

varmt →

← kallt

Fig. 1
Schema över
försöksuppsättning

Övrig utrustning:
PRBS-generator
Datalogger med hålremsstans
Temperaturreferens
Förstärkare till flödesgivare



För registrering av data under försöken användes en datalogger med hålremsstans, tillhandahållen av institutionen för Byggnadsteknik 2.

Då vi p.g.a. det korta samplingsintervallet scannade kontinuerligt, erfordrades en yttre temperaturreferens, ett oljebad med konstant temperatur, 40 °C.

2.3 Kommentarer om mätningarna.

Som framgår ovan kunde samtidig variation endast göras med två insignalér, en flödesstyrning och en temperaturstyrning. Detta innebär en viss ofullständighet vid identifieringen.

Vidare kunde endast ett flöde mätas under försöken. Detta ger upphov till svåruppskattbara felkällor, då ett flödesberoende fanns mellan primär och sekundärsida. Detta p.g.a. de snabba flödesstyrningarna som gav upphov till tryckstötar i vattenledningarna. Vi försökte minimera detta beroende genom stort tryckfall före styrdonen och genom att "ta" kallvatten till de båda sidorna från kranar på stort avstånd från varandra i det allmänna nätet.

Varmvattentillförseln erbjöd vissa problem. Tillgången av varmvatten för ett försök kan kort beskrivas som: 3000 lit å 80 °C.

Den snabba styrningen av inflödets temperatur erbjöd också den vissa svårigheter. Denna utfördes med hjälp av ett ventilarrangemang av trevägstyp. För att få samma flöde vid båda temperaturnivåerna krävdes en känslig och tidsödande inställning av strypventilerna.

Varje försök avslutades med en minuts mätning med konstanta insignalér.

För att optimera de ytterre försöksbetingelserna utfördes försöken nattetid första helgen i industrisemestern 1970.

En sammanställning över försöken finns i fig. 3.

Fotografier över försöksuppställningen i fig. 2.

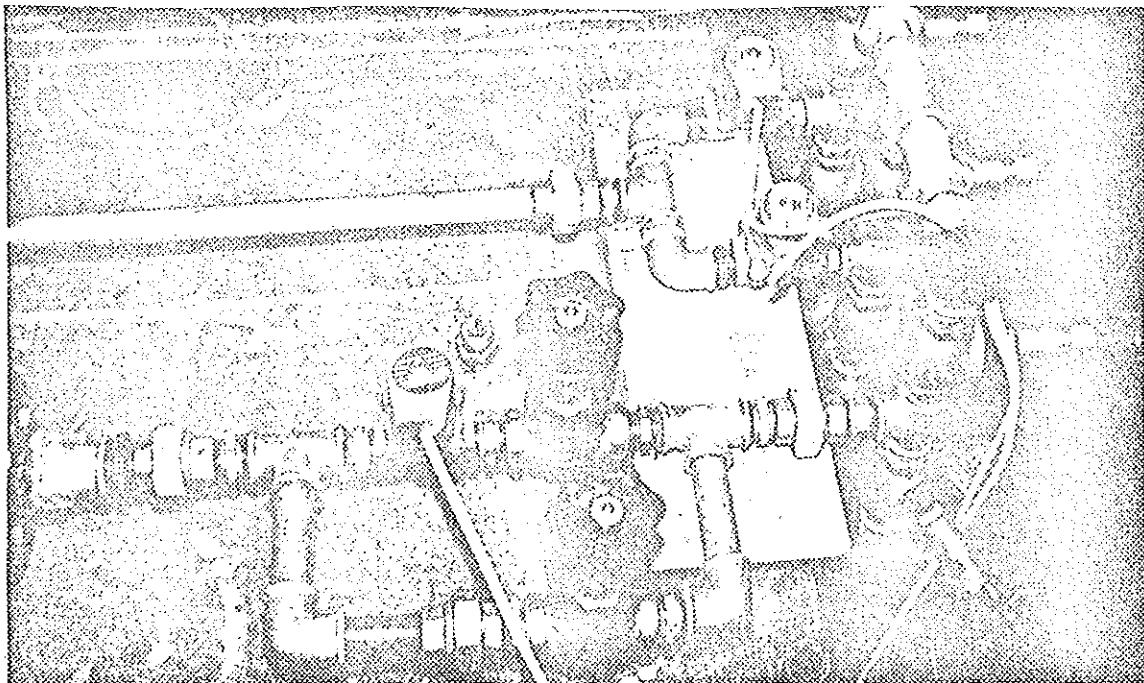
2.4 Förslag till förbättringar

Båda flödena bör kunna mätas.

Ändringar av ett flöde skall ej påverka det andra. Detta krav kan uppfyllas t.ex. genom att vattnet till de olika sidorna tas från skilda behållare.

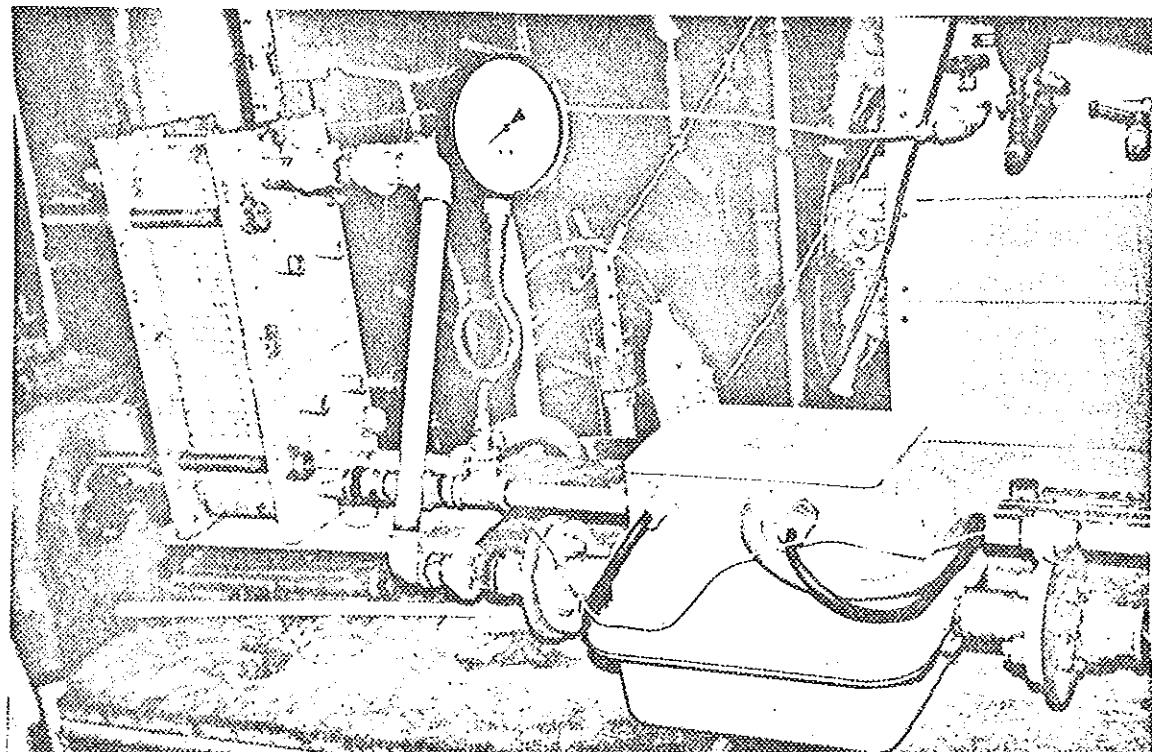
Varmvattnet bör ha en högre (konstant) temperatur under längre tid, t.ex. genom ånguppvärmning.

Styrdonen, framförallt temperaturstyrdonet, bör ha en bättre utformning. Ett steg på vägen är ett högt tillgängligt vattentryck. (Det här tillgängliga var c:a 5 bar.)

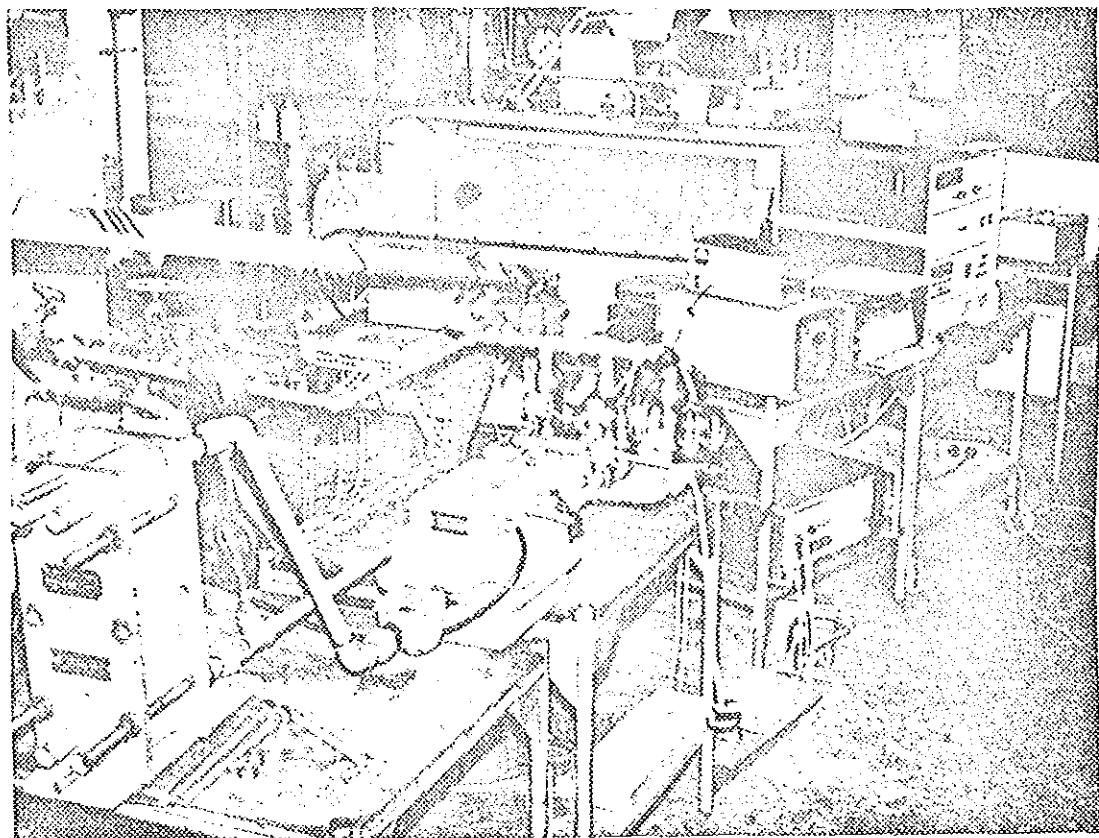


Styrdonen. Övre delen av figuren visar temperaturstyrdonet. Undre delen visar flödesstyrdonet.

Fig. 2:1

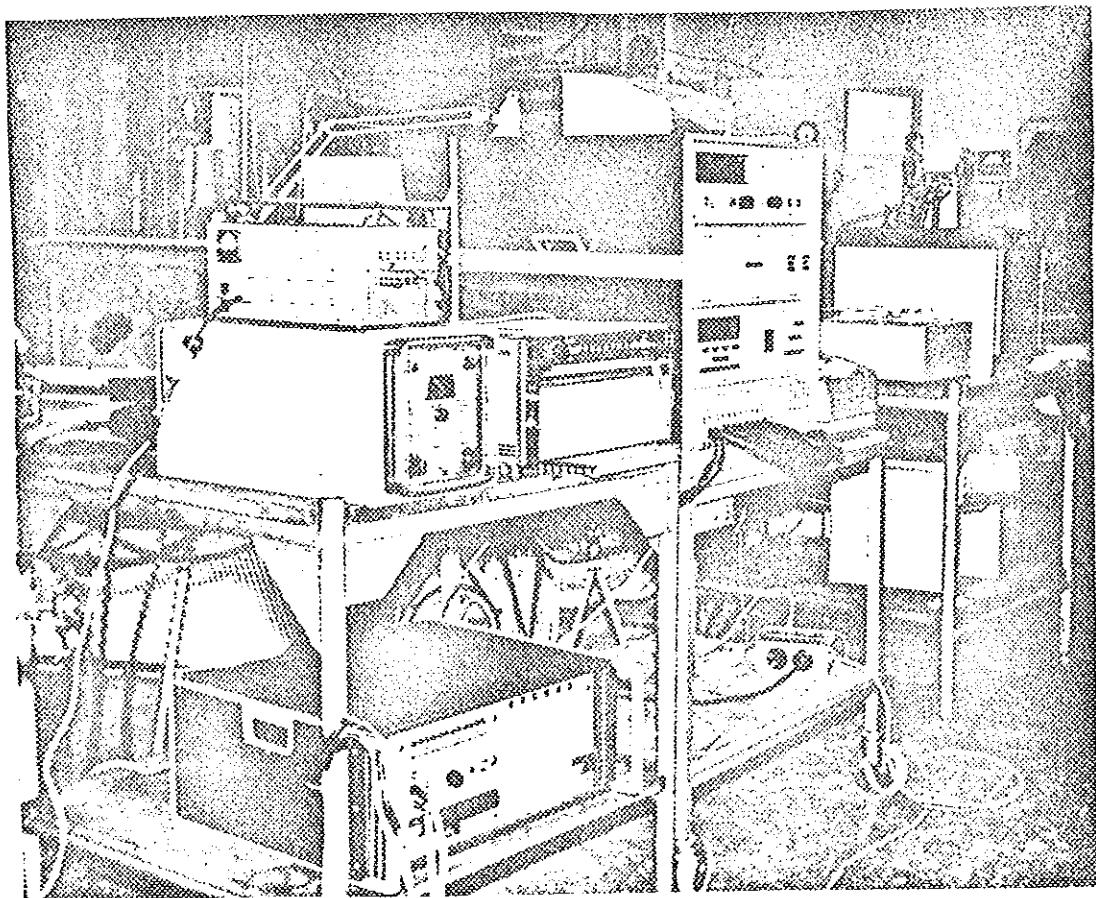


Värmeväxlare och flödesomvandlare. Flödesomvandlaren är placerad på värmeväxlarens sekundärsida.



Värmeväxlare, styr- och mätutrustning.

Fig. 2:2



Vänstra delen av bilden: överst, förstärkare till flödesomvandlaren, UV-skrivare med förstärkare; nederst, PR63-generator.

Högra delen av bilden: data-logger och stans.

Fig. 3

Sammanställning över försöksserier

| Försöks- | Antal | Sampl. | ϕ_1 | ϕ_2 | T ₁₁ | T ₂₁ | T ₁₂ | T ₂₂ |
|----------|--------|------------|------------------------|------------------------|------------------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| nummer | sampl. | int. (sek) | (lit/min) | (lit/min) | (°C) | (°C) | | |
| 1 | 340 | 0.90 | 60 | J ₅₀ G,x | 60 | x | 12 | x x |
| 2 | 570 | 0.54 | 60 | J ₅₀ G,x | 60 | x | 12 | x x |
| 3 | 340 | 0.90 | 60 | J ₄₀ G,x | 60 | x | 12 | x x |
| 4 | 340 | 0.90 | 40 | J ₂₀ G,x | 60 | x | 12 | x x |
| 5 | 340 | 0.90 | 40 | J ₃₀ G,x | 60 | x | 12 | x x |
| 6 | 340 | 0.90 | 60 | J ₄₀ M,x | J ₁₂ G,x | 12 | x | x x |
| 7 | 340 | 0.90 | 40 | J ₄₀ M,x | J ₁₂ G,x | 12 | x | x x |
| 8 | 570 | 0.54 | 40 | J ₄₀ M,x | J ₁₂ G,x | 12 | | x x |
| 9 | 340 | 0.90 | 60 | J ₅₀ M,x | J ₃₀ G,x | 12 | x | x x |
| 10 | 340 | 0.90 | 40 | J ₅₀ M,x | J ₃₀ G,x | 12 | x | x x |
| 11 | 340 | 0.90 | 60 x | 60 | J ₁₂ G,x | 12 | x | x x |
| 12 | 340 | 0.90 | 40 x | 60 | J ₁₂ G,x | 12 | x | x x |
| 13 | 880 | 0.54 | 40 | 60 | J ₁₂ G,x | 12 | x | x x |
| 14 | 1030 | 0.54 | 40 | 60 | J ₃₀ G,x | 12 | x | x x |
| 15 | 340 | 0.90 | 40 x | 20 | J ₃₀ G,x | 12 | x | x x |
| 16 | 620 | 0.90 | J ₃₀ M,x | 40 | J ₁₂ G,x | 12 | x | x x |
| 17 | 500 | 0.54 | J ₃₀ M,x | 40 | J ₁₂ G,x | 12 | | x x |
| 18 | 620 | 0.90 | J ₃₀ M,x | 40 | J ₂₅ G,x | 12 | x | x x |
| 19 | 570 | 0.54 | J ₃₀ M,x | 40 | J ₂₅ G,x | 12 | | x x |
| 20 | 340 | 0.90 | J ₃₀ M,x | 60 | J ₂₀ G,x | 12 | x | x x |
| 21 | 570 | 0.54 | J ₃₀ M,x | 60 | J ₂₀ G,x | 12 | x | x x |
| 22 | 1030 | 0.54 | 40 | 60 | J ₄₀ M,x | 12 | x | x x |
| 23 | 1030 | 0.54 | 40 | 60 | J ₅₀ M,x | 12 | x | x x |
| 24 | 1030 | 0.54 | J ₂₅ M,x | 40 | 75 | 12 | x | x x |
| 25 | 1030 | 0.54 | J ₃₅ M,x | 40 | 75 | 12 | x | x x |

J : styrd signal med max och min - nivåer

x : registrerad signal

M : manuellt styrd signal

G : PRBS - generatorstyrd signal

3. Val av insignal och samplingsintervall

3.1 Stegsvarsanalys

För att få en bättre uppskattning av värmeväxlarens minsta tidskonstant än vad den teoretiska överläggningen gett, gjordes en stegsvarsanalys. Vi registrerade svaret hos utsignalerna, T_{12} och T_{22} , dels för ett steg i flödet, dels för ett steg i intemperaturen, T_{11} . Se fig. 4. Då hänsyn tas till att insignalen ej är ett perfekt steg, fås en uppskattning av minsta tidskonstanten till c:a en sekund.

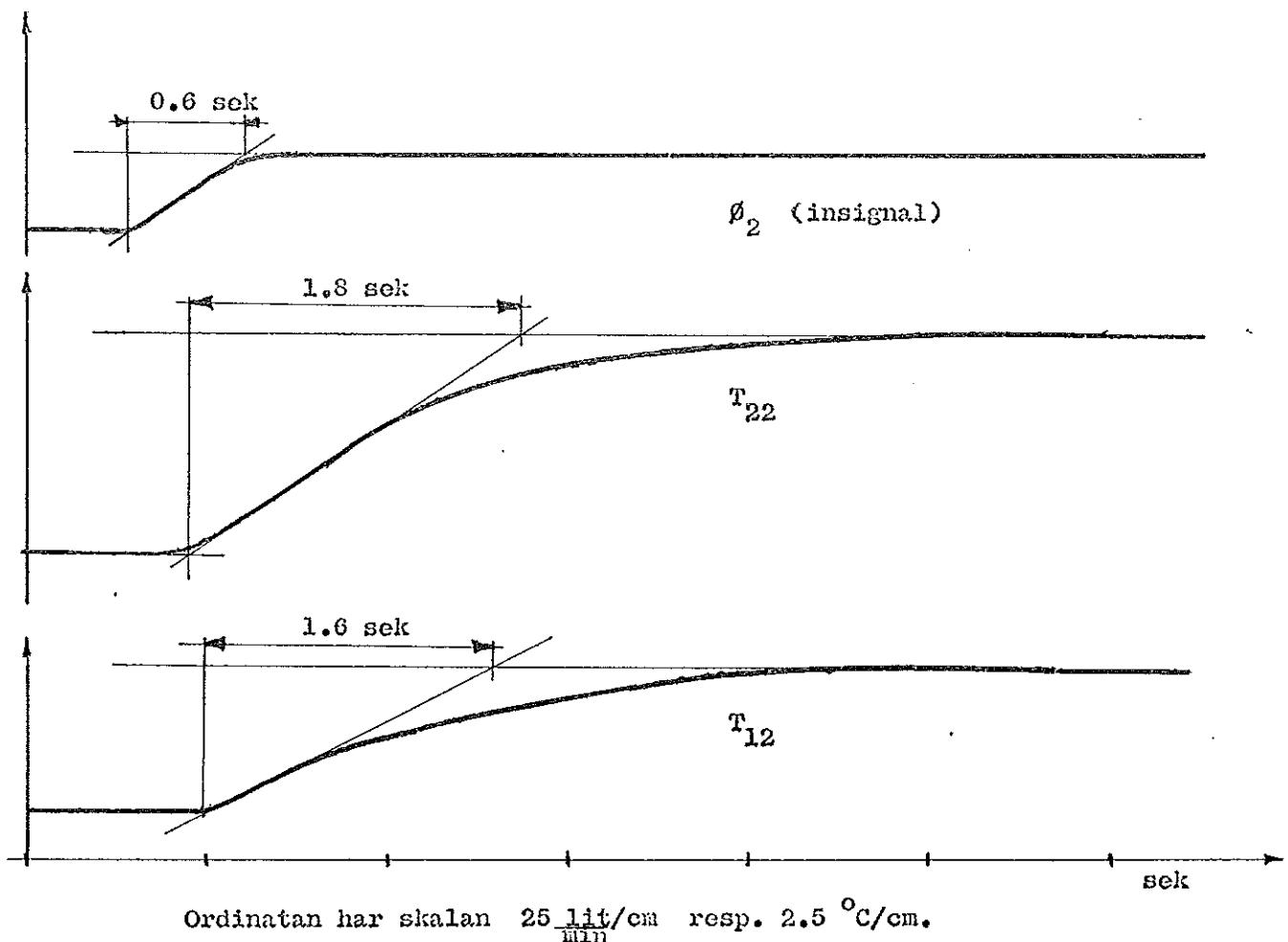
Någon uppskattning av största tidskonstanten låt sig ej göras.

3.2 Val av insignal.

I enlighet med referens (Gustafsson (2)) och på grundval av uppskattningen av minsta tidskonstant valdes tidbasenheten hos PRBS-generatoren till 2 sek. Vidare valdes grundfrekvensen så, att en största tidskonstant på drygt 10 sek borde kunna uppfattas. (7 bitar)

Valet av nivå och amplitud hos insignalen fick göras på betydligt lösare grund. Amplituden bör hållas inom det linjära området. Det var vår målsättning att systematiskt göra flera försök vid samma nivå med olika amplituder. Denna vår målsättning kom dock i konflikt med svårigheterna att med strypventilerna ställa in sådana på förhand valda nivåer och amplituder. För det faktiska valet av insignaler se fig. 3.

Fig. 4:1
Stegsvarsanalys, flödessteg



Registrering av stegen har skett med UV-skrivare.
Temperaturerna är omvälvda. (Dessa sjunker vid ökat
kallvattenflöde.)

Som uppskattning av tidskonstanterna tas

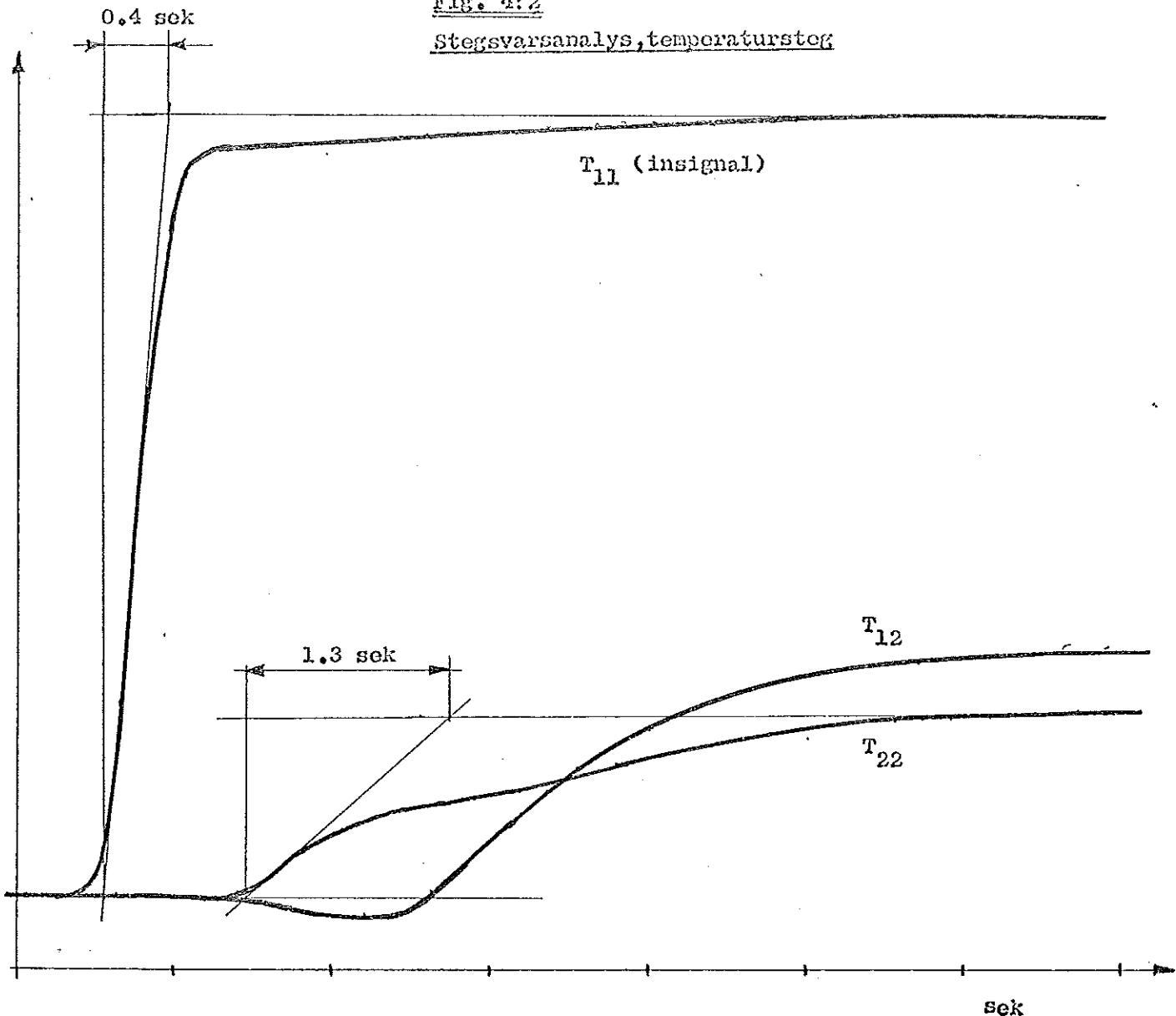
$$1.8 - 0.6 = \underline{1.2 \text{ sek.}}$$

resp.

$$1.6 - 0.6 = \underline{1.0 \text{ sek.}}$$

Fig. 4:2

Stegsvarsanalys, temperaturstöp



Ordinatan har skalan $2.5^{\circ}\text{C}/\text{cm}$.

Registrering av stegen har skett med UV-skrivare.

Nedgången i T_{12} kan förklaras med, att den plötsliga minskningen i kallvattenåtgång på primärsidan gav (genom tryckstöt i vattenledningsystemet) upphov till en kortvarig ökning i kallvattenflödet på sekundärsidan. P g a att växlaren är av motströmstyp, kommer detta omedelbart att synas i primärsidans uttemperatur.

Som uppskattningsvis tidkonstanten tas

$$1.3 - 0.4 = \underline{0.9 \text{ sek.}}$$

3.3 Val av samplingsintervall

Samplingsintervallets storlek bestämdes dels av dataloggerns konstruktion, dels av valet av insignal. Se (Gustafsson (2)).

Då fem insignaler mättes, medgav dataloggern ett minsta samplingsintervall på 0.90 sek.

Flertalet försök har detta samplingsintervall.

För att studera vilken inverkan ett kortare samplingsintervall har på identifieringen, utfördes också en del mätningar då endast tre signaler registrerades, vilket medgav ett samplingsintervall på 0.54 sek.

4. Behandling av mätdata

4.1 Konvertering

De vid försöken erhållna data lagrades i binär form via hälremsläsare på magnetband.

Konvertering samt sorterings kanalvis gjordes med befintligt program. Exempel på utskrift efter denna rutin, se fig. 5.

Som framgår av denna utskrift var mätvärdena behäftade med fel, vilka kunde härledas till dataloggern och stansen.

Det är troligt, att dataloggern p.g.a. störningar i nätspänningen (förmodligen härrörande från PRBS-generatorn) gett mätvärden fel kanalnummer. Till detta har kommit rena stansfel. Då det visade sig svårt att programmässigt rätta till dessa fel, fick varje enskilt fel korrigeras med data-kort. Ett tidsödande arbete.

4.2 Kalibrering

De korrigerade data överfördes från mikrovolt till aktuella fysikaliska storheter.

För temperaturer till $^{\circ}\text{C}$ medelst befintlig "function" för kalibrering av termoelement av amerikansk standard.

För flöden medelst av oss beräknad algoritm, erhållen genom kalibrering av flödesmätaren.

4.3 Interpolering

Då dataloggern ej registrerer kanalerna samtidigt, utan scannar över dessa kontinuerligt, måste mätvärdena interpoleras för att erhålla värden motsvarande samplingstillfällena. Interpoleringen gjordes linjär, eftersom den minsta längden av ett insignalsteg är endast 2 ggr samplingsintervallet.

Fig. 5

Exempel på utskrift efter
konvertering av data.

Försök nr 7.

| kanalnr. | 00 | 01 | 02 | 03 | 04 | (mikrovolt) |
|----------|----------|----------|----------|----------|----------|-------------|
| storhet | ϕ_2 | T_{11} | T_{22} | T_{12} | T_{21} | |
| ***** | 2600. | 1534. | -276. | -377. | -1108. | |
| ***** | 2581. | 1577. | 23. | -101. | -1109. | |
| ***** | 2580. | 1604. | 202. | 60. | -1107. | |
| ***** | 2587. | 1616. | 317. | 153. | -1107. | |
| ***** | 2539. | 677. | 453. | 254. | -1108. | |
| ***** | 2597. | -803. | 297. | 227. | -1108. | |
| ***** | 2591. | -950. | -85. | -38. | -1106. | |
| ***** | 2596. | -1012. | -419. | -459. | -1106. | |
| ***** | 2583. | -1056. | -665. | -721. | -1106. | |
| ***** | 3102. | -1072. | -893. | -876. | -1108. | |
| ***** | 4106. | -1079. | -1008. | -975. | -1108. | |
| ***** | 4137. | -1092. | -1049. | -1029. | -1107. | |
| ***** | 4157. | -1093. | -1067. | -1054. | -1108. | |
| ***** | 4167. | -1095. | -1077. | ***** | | a) |
| ***** | 2551. | 121. | -1077. | -1075. | -1107. | |
| ***** | 2578. | 1296. | -886. | -1055. | -1107. | |
| ***** | 3428. | 1466. | -535. | -674. | -1107. | |
| ***** | 4131. | 1544. | -342. | -368. | -1109. | |
| ***** | 4137. | 1579. | -209. | -225. | -1107. | |
| ***** | 4162. | 1607. | -133. | -138. | -1109. | |
| ***** | 3169. | ***** | ***** | -16. | -1107. | a) |
| ***** | 2613. | -609. | 191. | 89. | -1108. | |
| ***** | 2769. | -866. | -114. | 78. | -1108. | |
| ***** | 4003. | -986. | -597. | -378. | -1108. | |
| ***** | 4150. | -1039. | -850. | -723. | -1107. | |
| ***** | 3168. | -1063. | -933. | -899. | -1107. | |
| ***** | 2604. | -1078. | -985. | -978. | -1107. | |
| ***** | 3515. | -990. | -1037. | -1024. | -1108. | |
| ***** | 4161. | 1187. | -925. | -1052. | -1108. | |
| ***** | 4146. | 1466. | -612. | -734. | -1109. | |
| ***** | 4164. | -755. | -448. | -414. | -1107. | |
| ***** | 4140. | -943. | -636. | -359. | -1108. | |
| ***** | 4151. | -1018. | -821. | -680. | -1108. | |
| ***** | 4171. | -1056. | -942. | -865. | -1108. | |
| ***** | 2526. | -1075. | -987. | -969. | -1106. | |
| ***** | 2580. | -1088. | -1015. | -1018. | -1107. | |
| ***** | 3454. | -244. | -1053. | -1046. | -1107. | |
| ***** | 4164. | 1262. | -885. | -1058. | -1108. | |
| ***** | 4149. | 1451. | -593. | -726. | -1107. | |
| ***** | 3435. | 1553. | -331. | -387. | -1108. | |
| ***** | 2631. | 1593. | -4. | -119. | -1107. | |
| ***** | 2601. | 1611. | 213. | 63. | -1108. | |
| ***** | 2589. | ***** | 1620. | ***** | | b) |
| ***** | | | 326. | 192. | -1106. | |
| ***** | 2589. | -525. | 449. | 247. | -1106. | |
| ***** | 2598. | -886. | 136. | 201. | -1106. | |
| ***** | 3401. | -978. | -435. | -264. | -1108. | |
| ***** | 4141. | -1030. | -795. | -661. | -1106. | |

a) stansfel

b) kanalnumreringsfel, data i kanal 02 härrör från kanal 01.

4.4 Plottning

Exempel på plottar se fig. 6:1 - 6:4

Ur plottningarna framgår att insignalen ej var den väntade PRBS-signalen. Felet torde härledas till generatorns elektronik.

Markeringen på tidsaxeln motsvarar tio samplingsintervall.

$$t_{\text{samp}} = 0.9 \text{ sek}$$

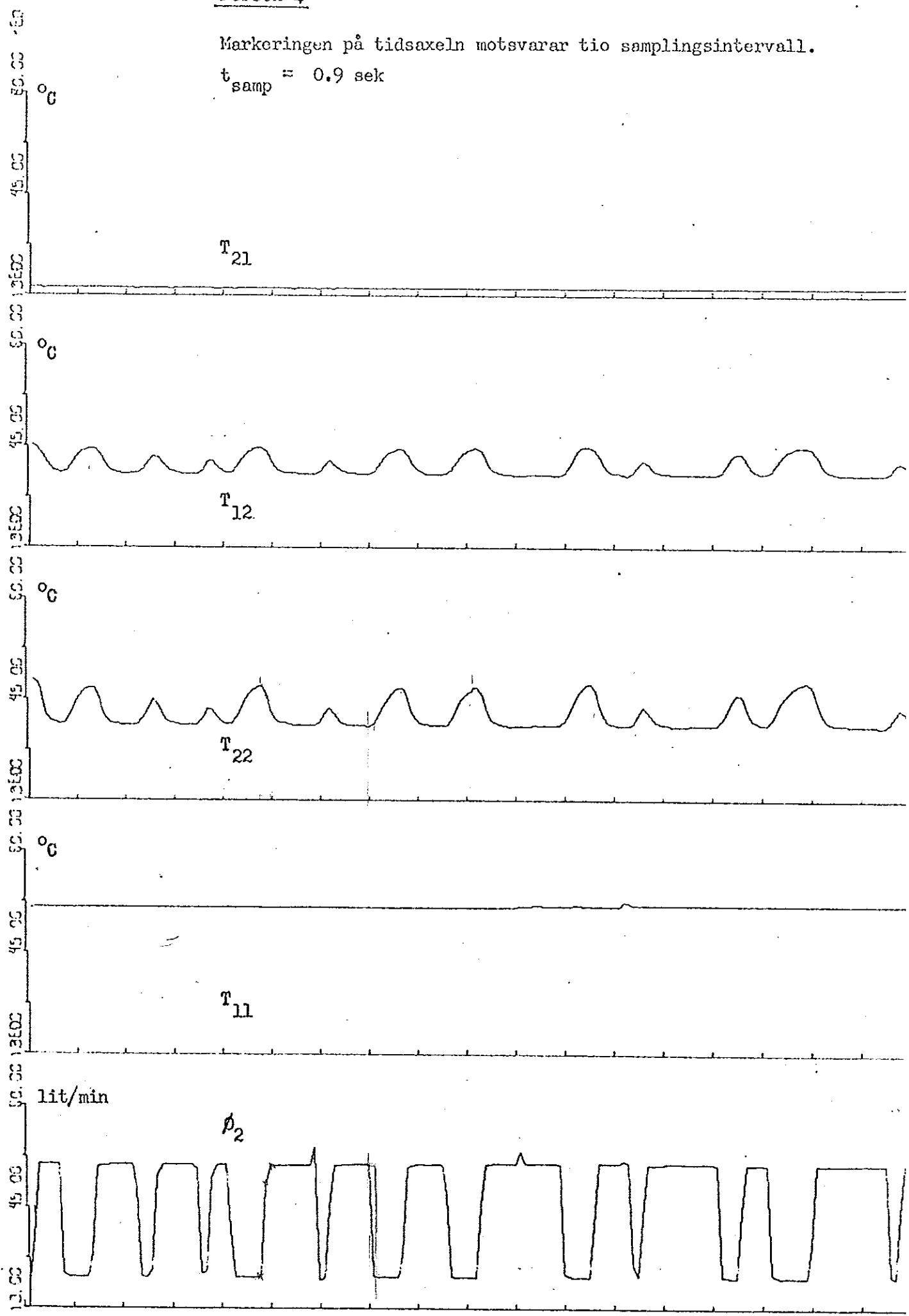


Fig. 6:2

Försök 7

Markeringen på tidsaxeln motsvarar tio samplingsintervall.

$$t_{\text{samp}} = 0.9 \text{ sek}$$

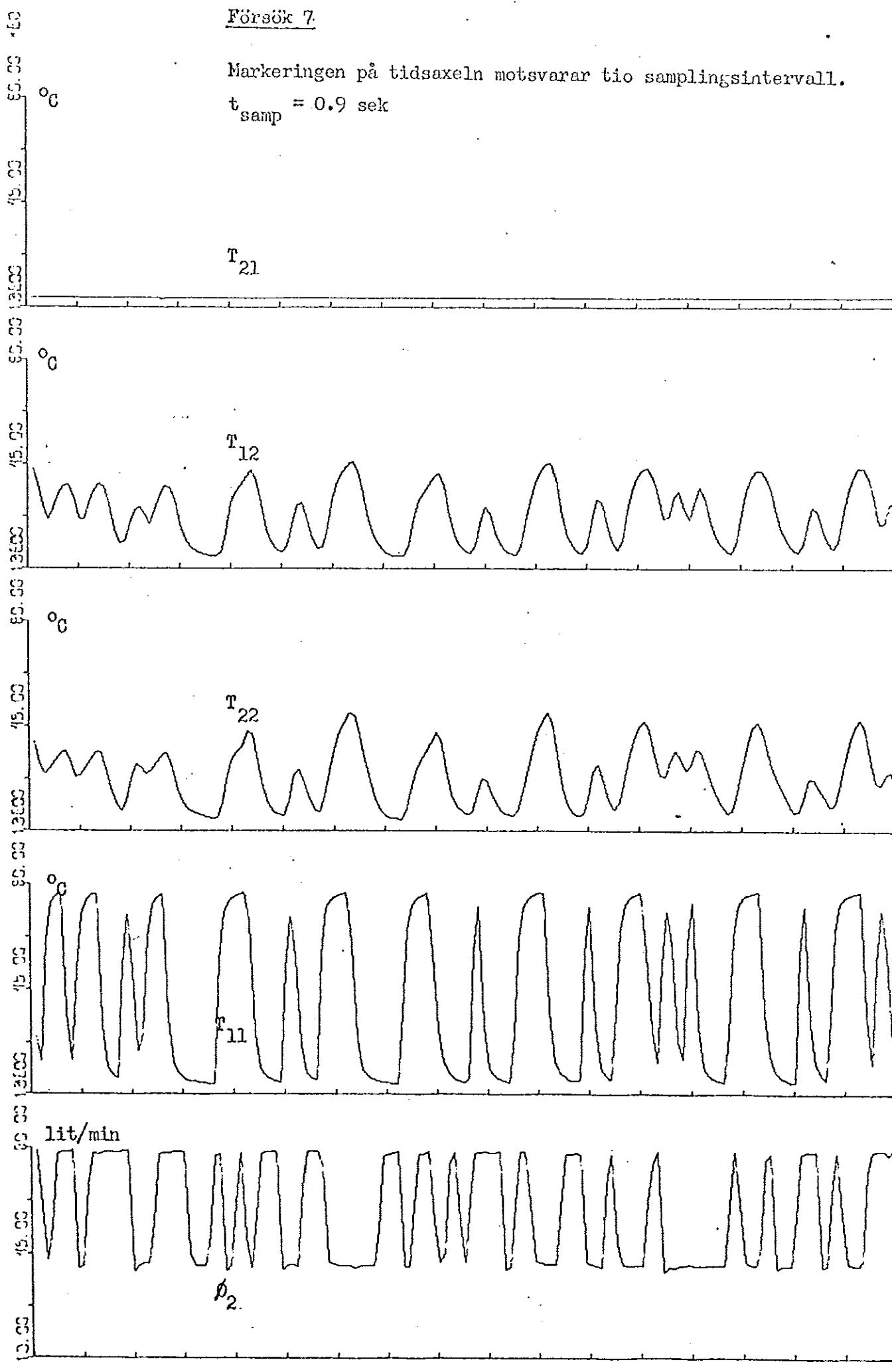


Fig. 6:3
Försök 12

Markeringen på tidsaxeln motsvarar tio samplingsintervall.

$$t_{\text{samp}} = 0.9 \text{ sek}$$

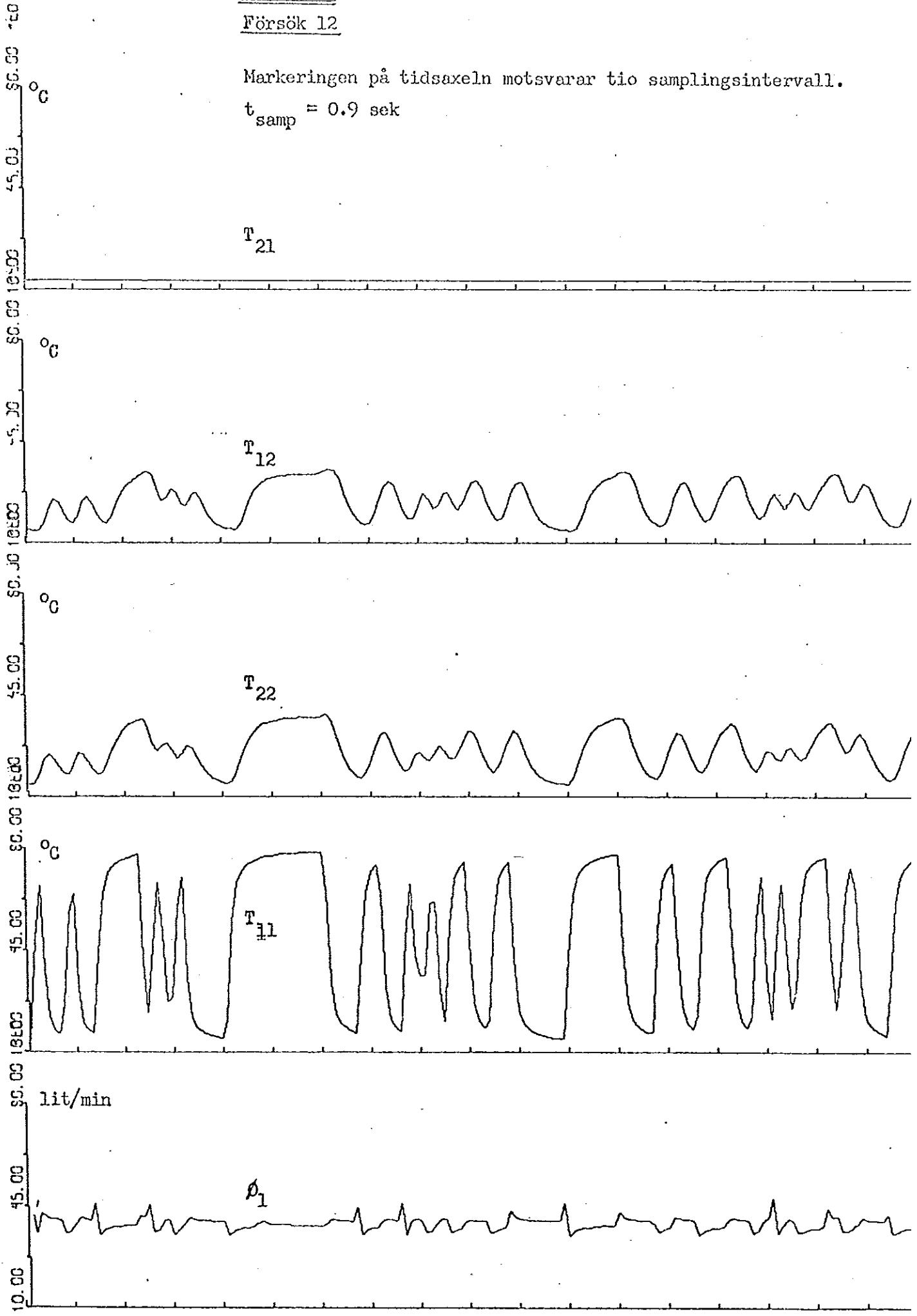
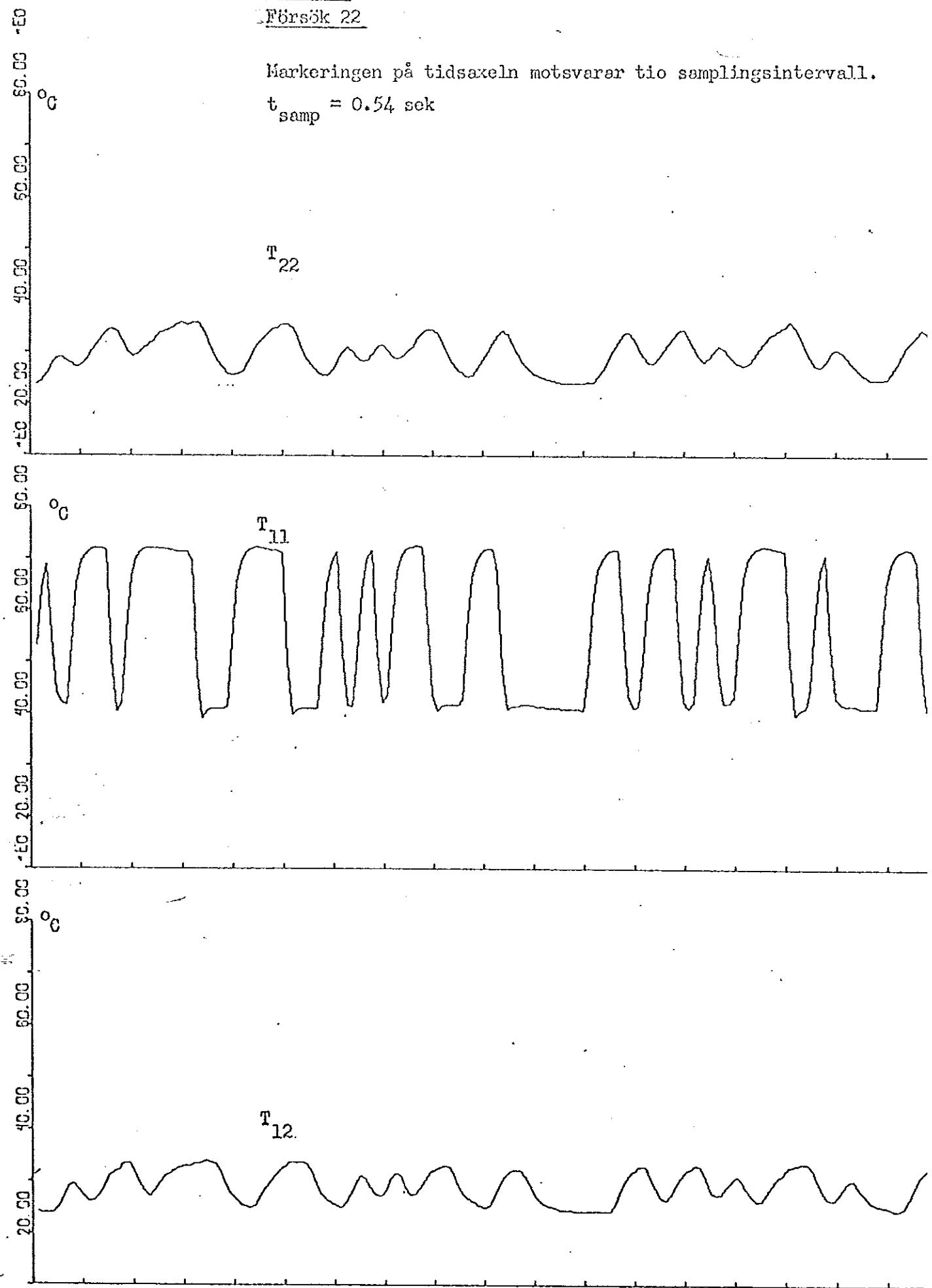


Fig. 6:4
Försök 22

Markeringen på tidsaxeln motsvarar tio samplingsintervall.
 $t_{\text{samp}} = 0.54 \text{ sek}$



5. Identifiering

5.1 Identifieringsprogram

Identifiering utfördes på försök nummer fyra, "loopen" med insignalen (u) = ϕ_2 och utsignalen (y) = T_{22} .

Följande av institutionens program har använts: (Se (Gustavsson (1)))

MISOID (identifieringsprogram)

MISOIM "

RESTAR "

RVVLV2 (testar förskjutningar och ordningstal)

SAMCON (ger den kontinuerliga modellen)

ROT (rotberäkning)

De identifieringsprogram som institutionen förfogade över då identifieringen påbörjades, kräver att insignal-utsignalsambandet är på standardform, dvs. insignaler och utsignal skall ha initialvärden lika med noll. Försöksuppställningen tillät dock inte detta (se kap 2).

Identifieringen utfördes i alla fall som om initialtillståndet vore noll.

Nu gäller (se Gustavsson (1))

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

med A , B och C på vanligt sätt.

Då blir $\xi(1) = y(1) - b_0 u(1)$

Men $V(\theta) = \frac{1}{N} \sum_{t=1}^N \xi(t)^2$ (V förlustfunktionen och N antalet samplingsar)

och härur $\hat{\lambda}^2 = \frac{2}{N} V(\hat{\theta})$.

Eftersom $\xi(1)$ alltid är lika med $y(1) - b_0 u(1)$ och alltså i vårt fall skilt från noll, kommer $V(\theta)$ att sakna en precis tolkning och detta gäller då även λ .

Vidare är $\sigma_{\theta_i}^2 = \hat{\lambda}^2 [V_{\theta\theta}(\theta)]_{ii}^{-1}$ varför även standardavvikelserna

måste betraktas som osäkra.

Och till sist måste påpekas att F-testerna blir högst opålitliga.

Identifieringen visar i själva verket att förlustfunktionen är ung. 125 medan $y(1)$ är ungefärlig 12, dvs. det största bidraget till förlustfunktionen kommer just från $y(1)$.

Under vårt identifieringsarbete modifierades identifieringsprogrammen så att hänsyn tages till initialtillståndet, och uppskattninigar görs av initialvärdena hos u och y (d-parametrar).

Båda identifieringssätten har använts och redovisas i det följande.

Med hjälp av testprogrammet RVV1V2 fastställdes existensen av b_0 -term.

MISOIM användes för att sätta vissa parametrar lika med noll.

Vid samtliga identifieringar har maximum likelihood-metoden använts. Minsta kvadratuppskattninigar har inte varit tillämpliga, då insignalen innehöll ett icke obetydligt brus. En direkt jämförelse visar också att minsta kvadratuppskattningen av λ är c:a 10 gånger större än det λ som fås om $C(z)$ -polynomet tages med.

Till sist måste framhållas att insignalen pga ett elektroniskt fel i PRBS-generatorn ej är en PRBS. Se plottarna.

5.2 Den samplade modellen

5.2.1 Identifiering utan hänsyn till startvärdet (inga d-parametrar).

1:a ordningen

F-test: — Förlustfunktion: 130.60

| a_1 | b_0 | b_1 | c_1 | λ |
|-----------------|---------|---------|--------|-----------|
| -0.5822 | -0.0631 | -0.0813 | 0.4454 | 0.8726 |
| Φ : 0.0187 | 0.0046 | 0.0056 | 0.0477 | |

Poler: $z = 0.5822$ Statisk först.: -0.346

2:a ordningen

F-test: 5.45 Förlustfunktion: 124.51

| a_1 | a_2 | b_0 | b_1 | b_2 | c_1 | c_2 |
|-----------------|--------|---------|---------|-------|-------|---------|
| -0.9357 | 0.2734 | -0.0591 | -0.0487 | 0 | 0 | -0.1910 |
| Φ : 0.0413 | 0.0318 | 0.0046 | 0.0069 | - | - | 0.0546 |
| λ | | | | | | |
| 0.8521 | | | | | | |

Poler: $z = 0.4678 \pm i 0.2335$ Statisk först.: -0.318

3:e ordningen

F-test: 2.68 Förlustfunktion: 121.55

| a_1 | a_2 | a_3 | b_0 | b_1 | b_2 | b_3 |
|-----------------|---------|---------|-----------|---------|--------|--------|
| -0.7513 | -0.0265 | 0.0998 | -0.0590 | -0.0640 | 0.0026 | 0.0158 |
| Φ : 0.4444 | 0.4770 | 0.1641 | 0.0046 | 0.0264 | 0.0249 | 0.0163 |
| c_1 | c_2 | c_3 | λ | | | |
| 0.2475 | -0.3093 | -0.2138 | 0.8419 | | | |
| Φ : 0.4387 | 0.1608 | 0.1233 | | | | |

Statisk först.: -0.325

2:ordningens modell med $c_1 \neq 0$ gav större standardavvikelse med i övrigt samma parametervärden. Simulering enligt fig.9, och kontinuerliga motsvarigheter i 5.3.1.

5.2.2 Identifiering med hänsyn till startvärdens.

Före identifiering dividerades samtliga data med 50.

1:a ordningen

F-test: — Förlustfunktion: 0.01845

| a_1 | b_0 | b_1 | c_1 | d_1 | λ |
|-------------------|---------|---------|--------|--------|-----------|
| -0.6032 | -0.0706 | -0.0700 | 0.8053 | 0.2445 | 0.0104 |
| Θ : 0.0124 | 0.0024 | 0.0027 | 0.0368 | | |

Poler: $z = 0.6032$

Statisk först.: -0.354

Simulering i fig. 7:1. Kontinuerlig motsvarighet i 5.3.

2:a ordningen

F-test: 17.03 Förlustfunktion: 0.01600

| a_1 | a_2 | b_0 | b_1 | b_2 | c_1 | c_2 |
|-------------------|---------|-----------|---------|--------|--------|---------|
| -0.9201 | 0.2583 | -0.0611 | -0.0504 | 0.0028 | 0.4590 | -0.2591 |
| Θ : 0.0339 | 0.0217 | 0.0026 | 0.0032 | 0.0042 | 0.0715 | 0.0743 |
| d_1 | d_2 | λ | | | | |
| 0.2445 | -0.0290 | 0.0097 | | | | |

Då b_2 ej är signifikant skild från noll, gjordes identifiering med

2:a ordningens modell och $b_2 = 0$. Se nästa sida.

3:e ordningen

F-test: 4.32 Förlustfunktion: 0.01540

| a_1 | a_2 | a_3 | b_0 | b_1 | b_2 | b_3 |
|-------------------|---------|---------|---------|---------|---------|-----------|
| -0.8845 | 0.0828 | 0.0745 | -0.0603 | -0.0544 | 0.0097 | 0.0162 |
| Θ : 0.0348 | 0.0345 | 0.0217 | 0.0026 | 0.0035 | 0.0050 | 0.0045 |
| c_1 | c_2 | c_3 | d_1 | d_2 | d_3 | λ |
| 0.4834 | -0.4504 | -0.2347 | 0.2445 | -0.0107 | -0.0662 | 0.0095 |
| Θ : 0.0611 | 0.0798 | 0.0567 | | | | |

Poler: $z = -0.2252 ; 0.5551 \pm i0.1578$

Då denna modell ej har en kontinuerlig motsvarighet med samma ordningstal (se polerna), gjordes en identifiering med startvärdens skilda från noll på parametrarna. Se nästa sida.

Inverkan av startvärdens (d-parametrar) kan här studeras:

1:a ordningens modell utan hänsyn till startvärdens har förlustfunktion med värdet 130 (föreg. sida).

$$(130 - \frac{1}{2}(d_1 \cdot 50)^2)/50^2 = 0.022 ,$$

vilket bör jämföras med förlustfunktionens värdet ovan.

2:a ordningen ($b_2 = 0$)

F-test: --

Förlustfunktion: 0.01600

| a_1 | a_2 | b_0 | b_1 | b_2 | c_1 | c_2 |
|-------------------|---------|-----------|---------|-------|--------|---------|
| -0.8846 | 0.2382 | -0.0610 | -0.0530 | 0 | 0.5025 | -0.2201 |
| ∇ : 0.0250 | 0.0203 | 0.0024 | 0.0030 | | 0.0660 | 0.0716 |
| d_1 | d_2 | λ | | | | |
| 0.2445 | -0.0197 | 0.0097 | | | | |

Poler: $z = 0.4423 \pm i0.2063$

Statisk först.: -0.323

Standardavvikelserna är något mindre än för $b_2 \neq 0$.

Simulering i figur 7:2. Kontinuerlig motsvarighet i 5.3.

3:e ordningen ($b_3 = 0$)

Startvärden till parametrarna (RESTAR) erhölls genom att multiplicera andra ordningens modell ($b_2 = 0$) med polynomet $z - 0.9$.

F-test: 3.54

Förlustfunktion: 0.01551

| a_1 | a_2 | a_3 | b_0 | b_1 | b_2 |
|-------------------|---------|---------|---------|---------|---------|
| -1.3271 | 0.6826 | -0.1290 | -0.0606 | -0.0235 | 0.0259 |
| ∇ : 0.0350 | 0.0405 | 0.0208 | 0.0025 | 0.0038 | 0.0043 |
| c_1 | c_2 | c_3 | d_1 | d_2 | d_3 |
| 0.0080 | -0.5043 | -0.0139 | 0.2443 | -0.1376 | -0.0166 |
| ∇ : 0.0627 | 0.0603 | 0.0570 | | | 0.0095 |

Poler: $z = 0.5899 ; 0.3936 \pm i0.2526$ Statisk först.: -0.328

Simulering i fig. 7:3. Kontinuerlig motsvarighet i 5.3.2.

F-testen gjord mot 2:a ordningens modell:ovan.

För att finna en 3:e ordningens modell med $b_3 \neq 0$, gjordes identifieringar med olika startvärden hos parametrarna. (T.ex. parametrernas startvärdena hos 3:e ordningens modell $b_3 = 0$). Därvid lyckades vi endast finna samplade modeller med en pol i vänstra halvcirkeln.

F-testet, utförd enligt:

$$F = ((V_{\text{old}} - V)/V) \cdot (336/k)$$

med

V : förlustfunktionen

k : ökning i antal parametrar

ger $F \approx 3.5$ då 3:e ordningens modeller testas mot 2:a ordningens modell ($b_2 = 0$). Härur dras slutsatsen, att denna 2:a ordningens modell är tillräckligt god.

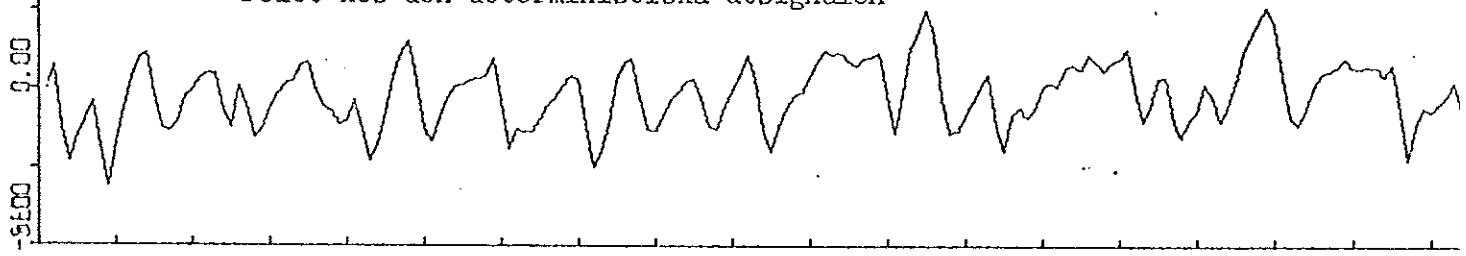
Fig. 7:1 Simulering

1:a ordningens modell enligt 5.2.2

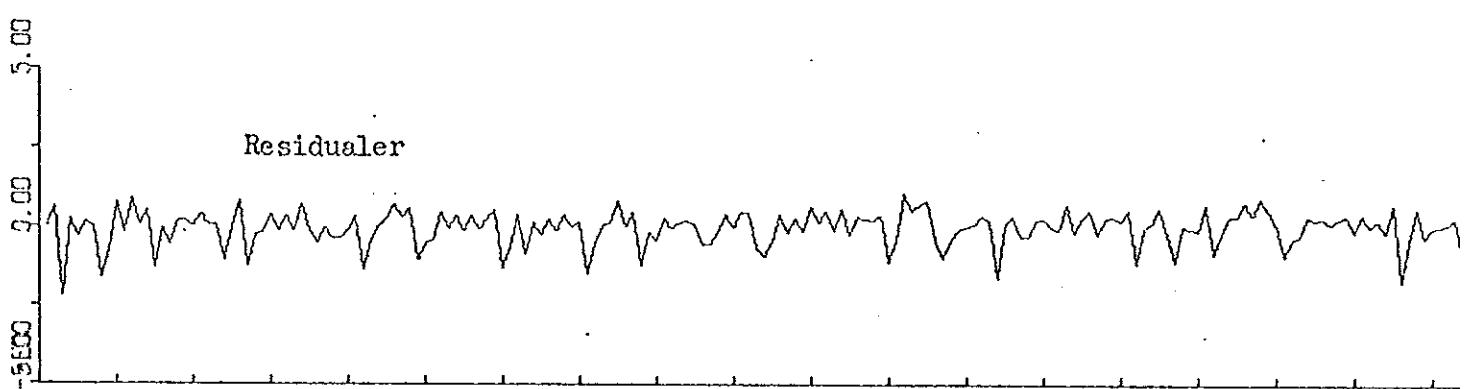
Markeringen på tidsaxeln motsvarar tio samplingsintervall.

Observera olika skalor.

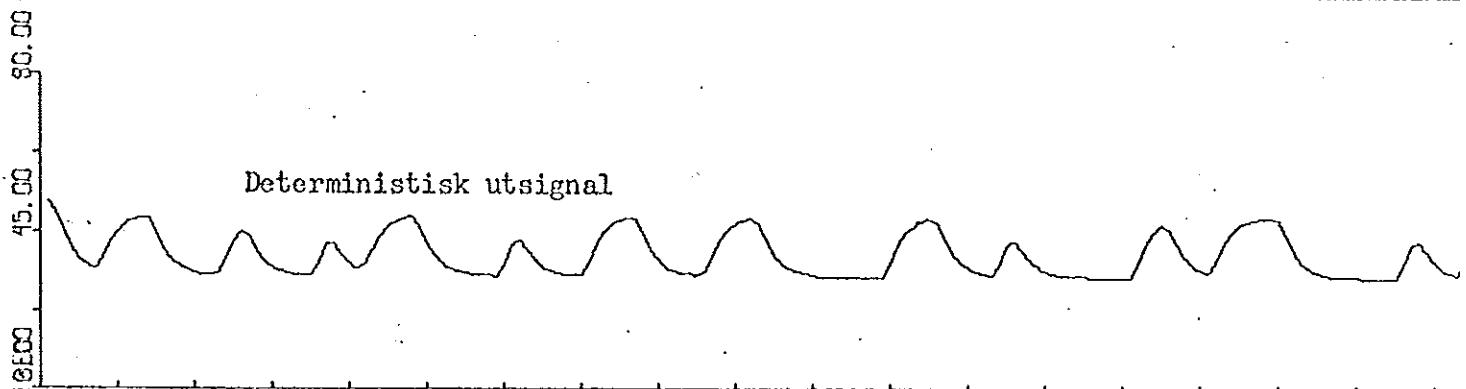
Felet hos den deterministiska utsignalen



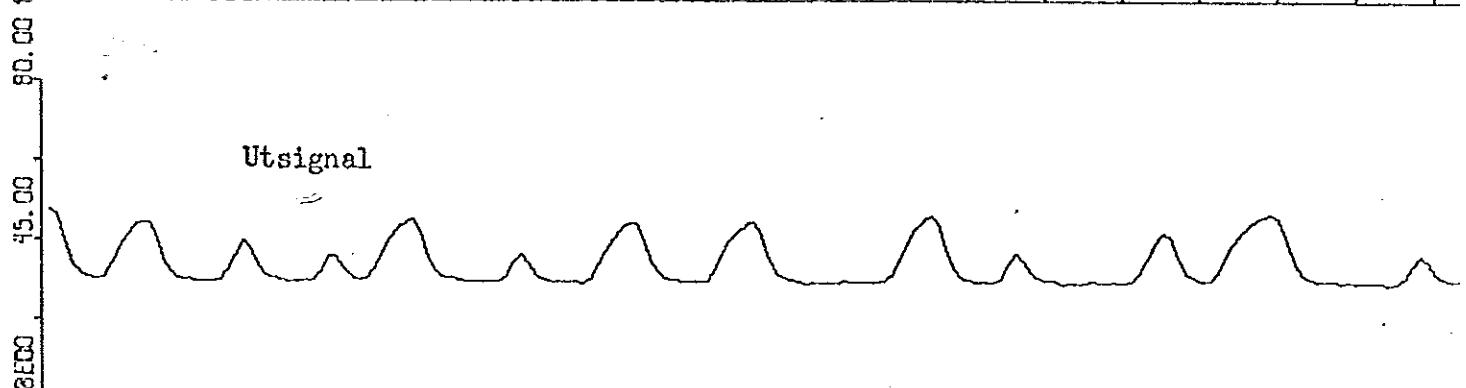
Residualer



Deterministisk utsignal



Utsignal



Insignal

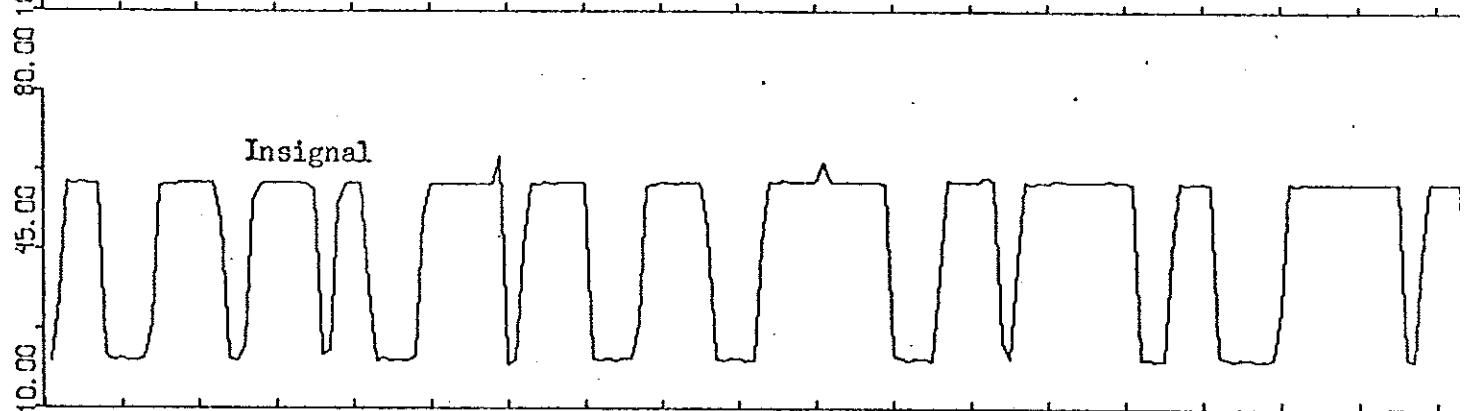


Fig. 7:2 Simulering

2:a ordningens modell enligt 5.2.2

Markeringen på tidsaxeln motsvarar tio samplingsintervall.

Observera olika skalor.

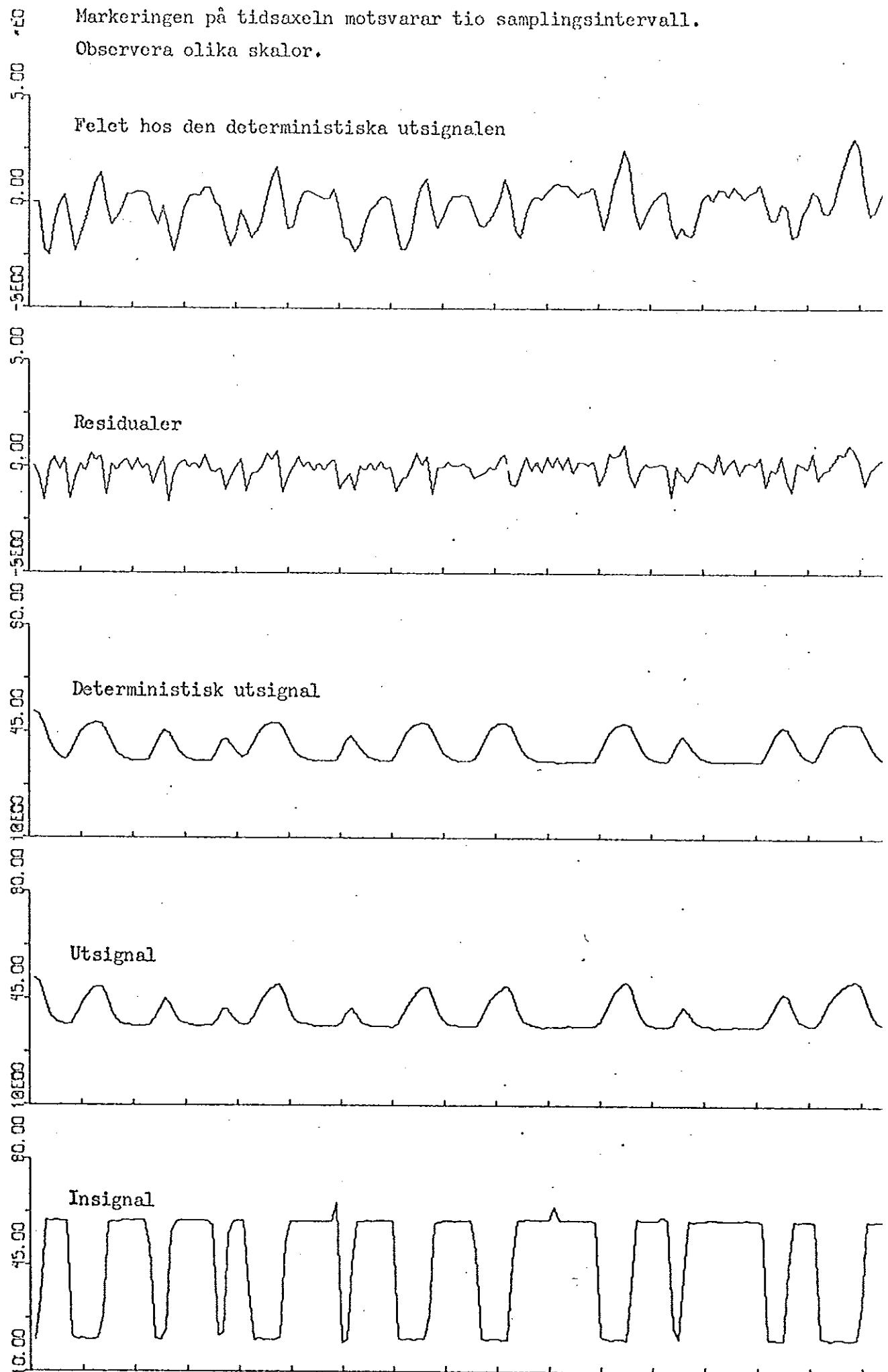


Fig. 7:3 Simulering

3:e ordningens modell enligt 5.2.2 ($b_3 = 0$)

Markeringen på tidsaxeln motsvarar tio samplingsintervall.

Observera olika skalor

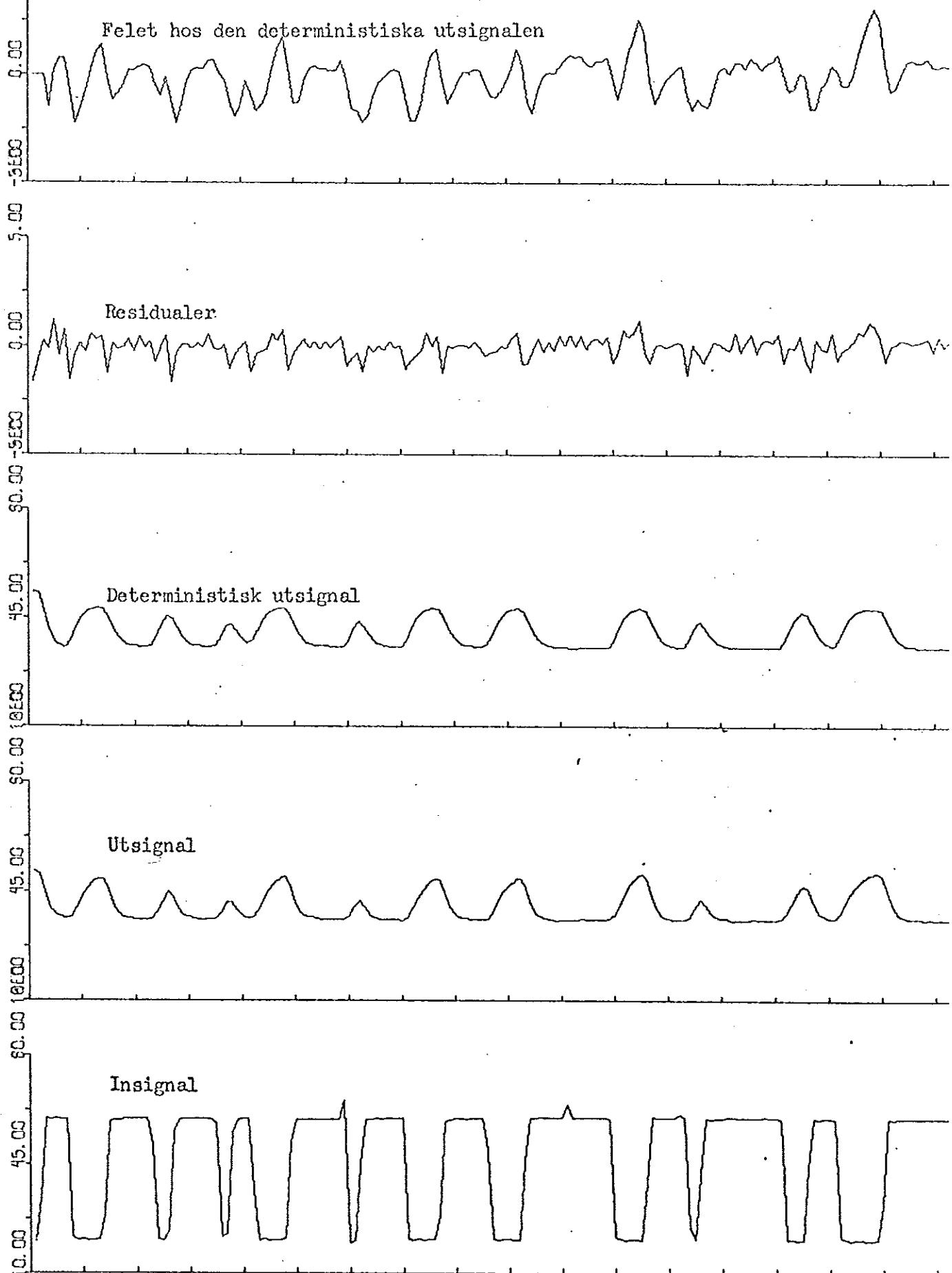
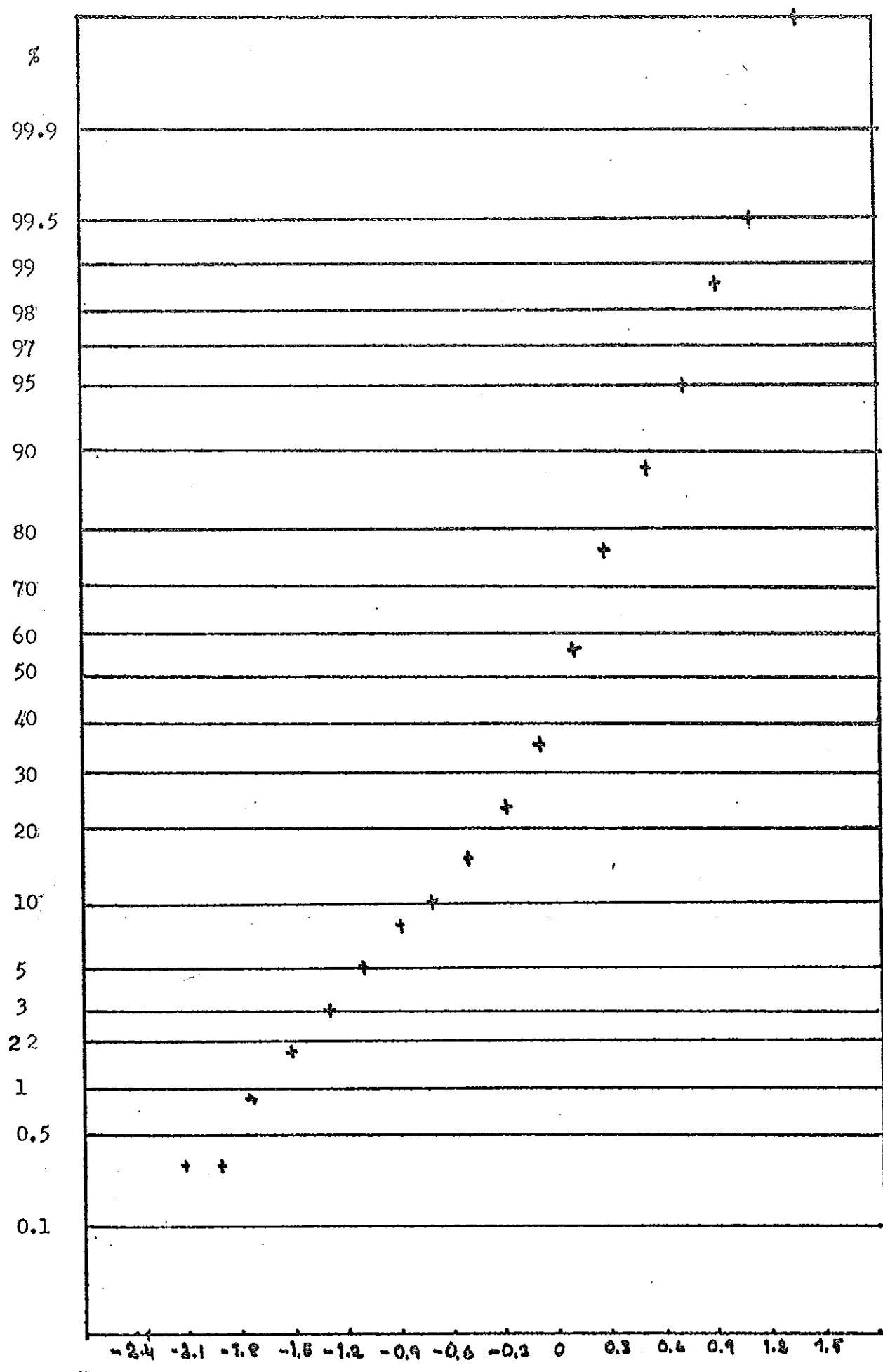


Fig. 8:1

Den kumultativa frekvensen hos residuerna enligt simulering i fig. 7:1

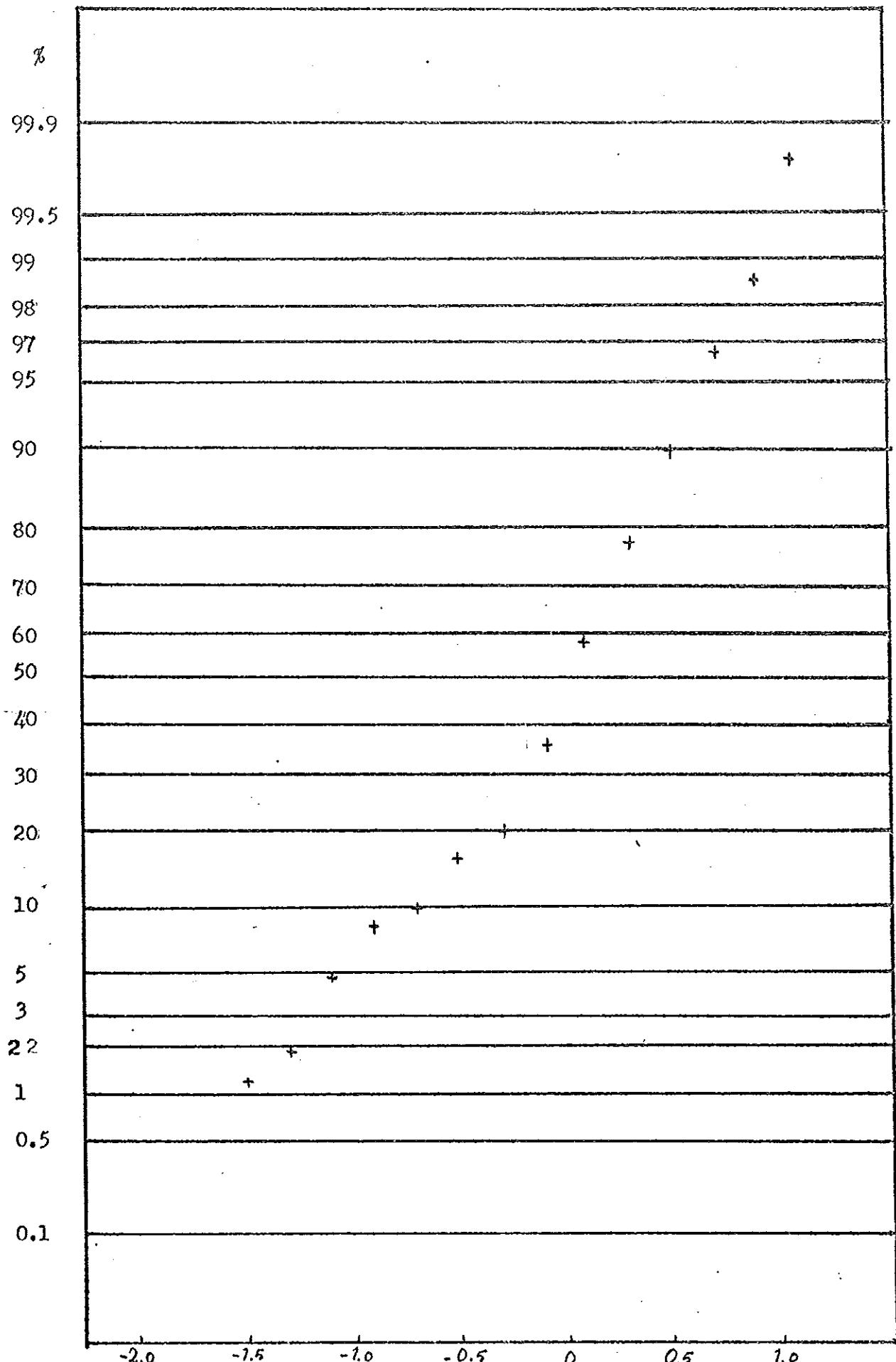


Numeriskt uträknat medelvärde: - 0.021

" uträknad standardavvikelse: 0.525

Fig. 8:2

Den kumultativa frekvensen hos residuerna enligt simulering i fig. 7:2.

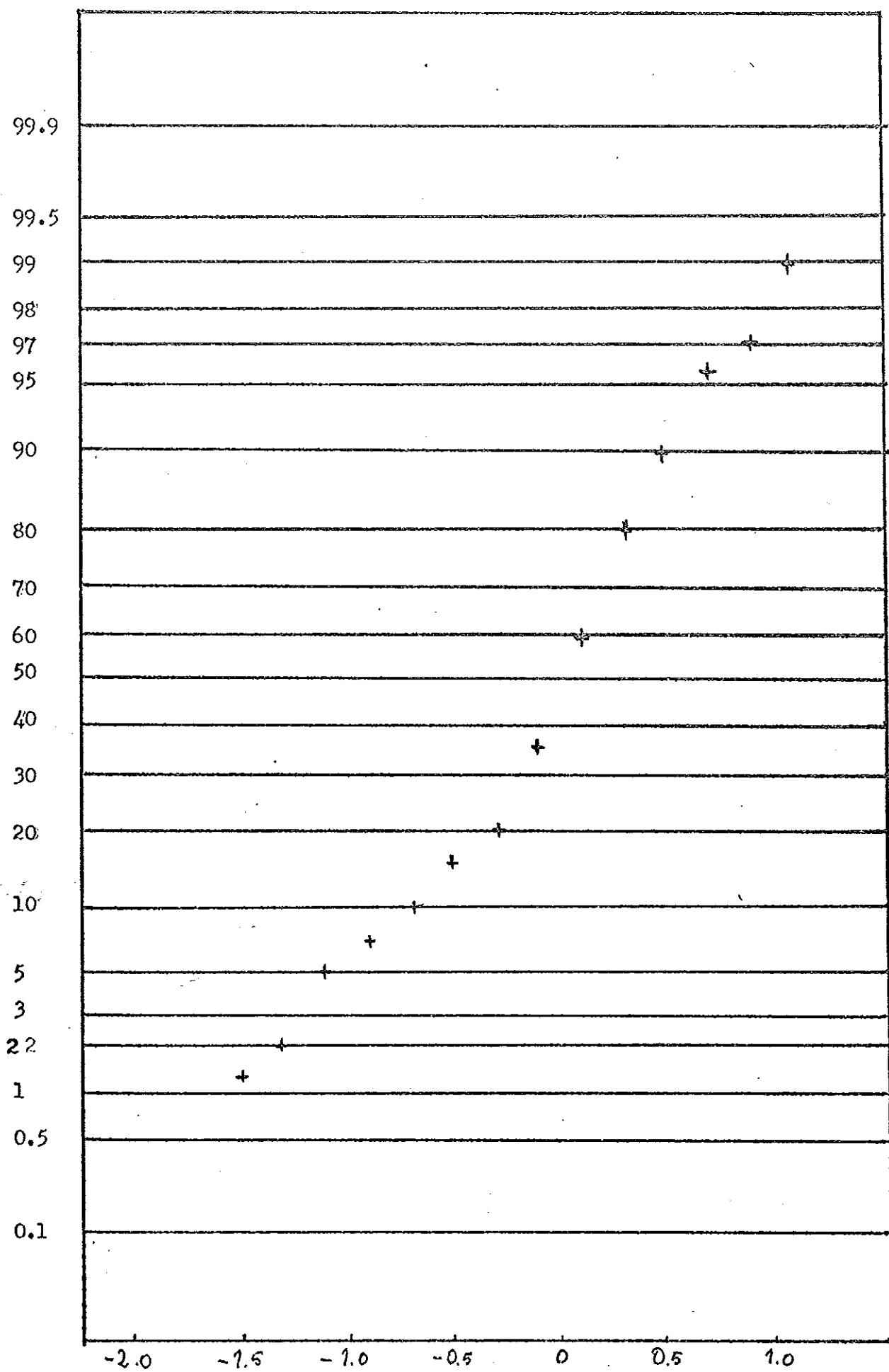


Numeriskt uträknat medelvärde: -0.024

" uträknad standardavvikelse: 0.485

Fig. 8:3

Den kumultativa frekvensen hos residierna enligt simulering i fig. 7:3.



Numeriskt uträknat medelvärde: -0.029

" uträknad standardavvikelse: 0.486

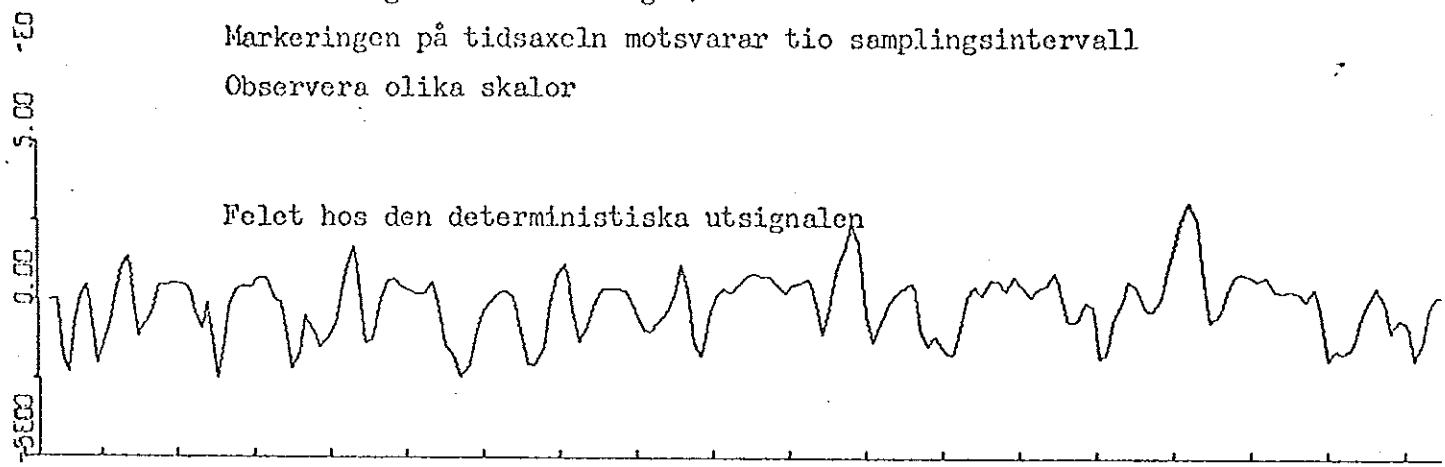
Fig. 9

2:a ordningens modell enligt 5.2.1

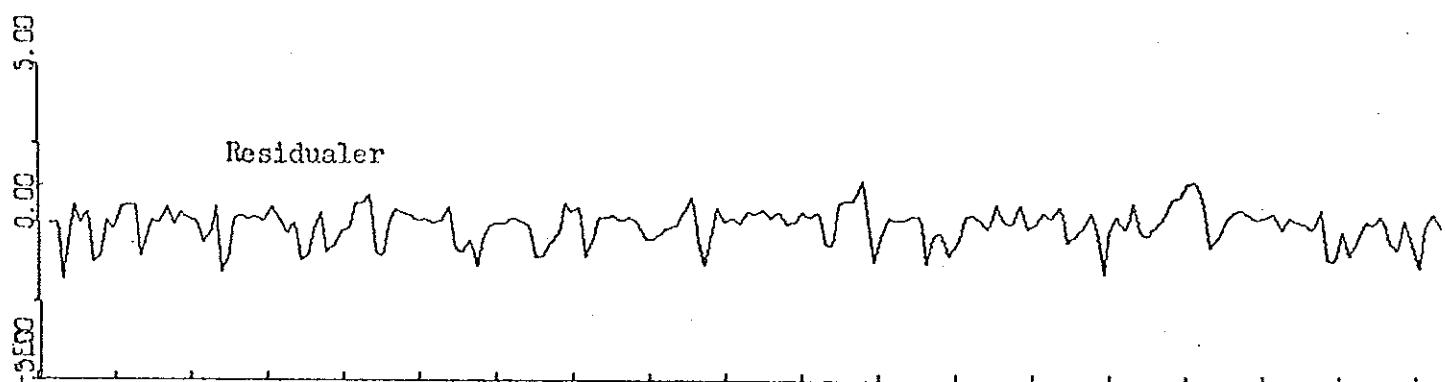
Markeringen på tidsaxeln motsvarar tio samplingsintervall

Observera olika skalor

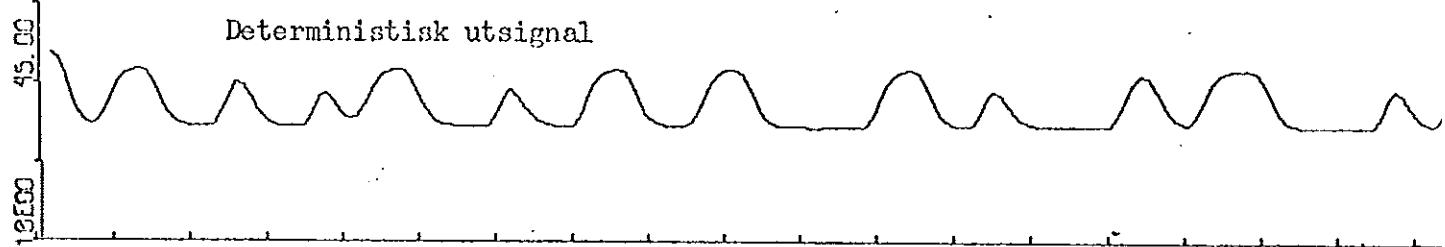
Fellet hos den deterministiska utsignalen



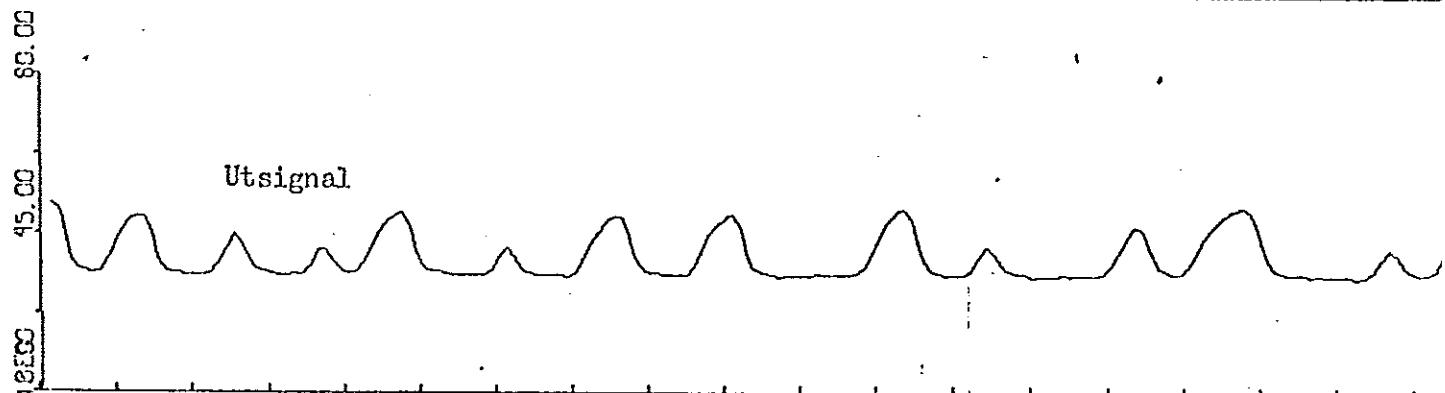
Residualer



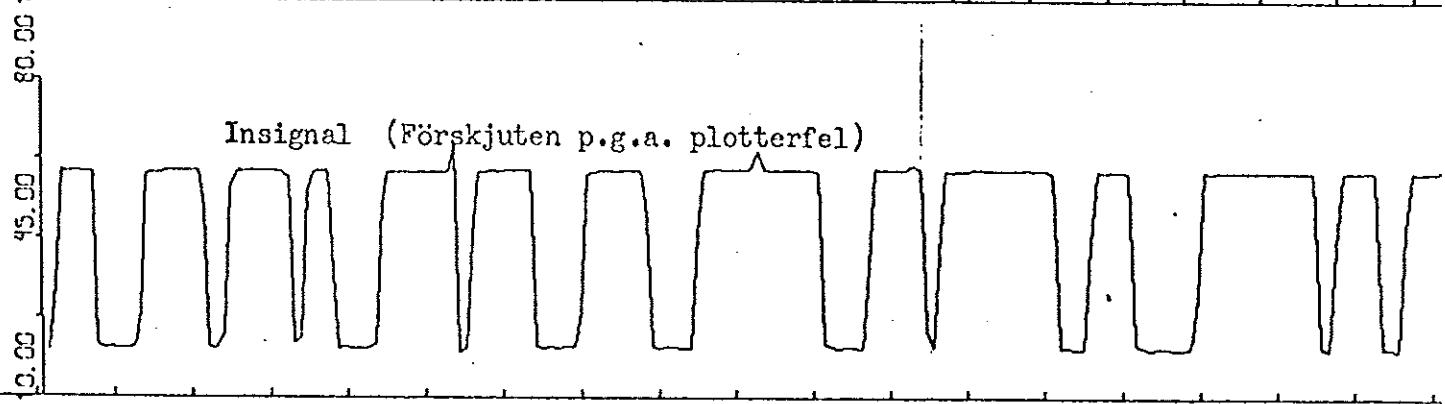
Deterministisk utsignal



Utsignal



Insignal (Förskjuten p.g.a. plotterfel)



5.3 Den kontinuerliga modellen

Med programmet SAMCON beräknas den kontinuerliga modellens A och B matriser till de i 5.2 givna samplade modellerna.

Härur erhålls de nedan givna överföringsfunktionerna.

Samplingsintervallet: 0.90 sek.

Vid komplexa poler uppskattas tidskonstanten genom att "stryka" imaginärdelen.

Vår uppskattnings av motsvarande tidskonstant vid stegsvartsanalysen var 1.2 sek. (se kap.3 , fig. 4:1)

5.3.1 Utan hänsyn till startvärdens

1:a ordningen

$$G(s) = -0.0631 - \frac{0.1702}{s + 0.6010}$$

Tidskonstant: 1.6 sek

Statisk först.: -0.346

2:a ordningen

$$G(s) = -0.059 - \frac{0.111s + 0.204}{s^2 + 1.441s + 0.785}$$

Poler: $s = -0.7205 \pm i.0.5156$

Tidskonstant: 1.4 sek.

Statisk först.: -0.319

5.3.2 Med hänsyn till startvärdens

1:a ordningen

$$G(s) = -0.0706 - \frac{0.1595}{s + 0.5617}$$

Tidskonstant: 1.8 sek

Statisk först.: -0.355

2:a ordningen

$$G(s) = -0.0610 - \frac{0.117s + 0.228}{s^2 + 1.594s + 0.871}$$

Poler: $s = -0.797 \pm i.0.488$

Statisk först.: -0.323

Tidskonstant: 1.25 sek

3:e ordningen ($b_3 \neq 0$)

$$G(s) = -0.0606 - \frac{0.116s^2 + 0.308s + 0.176}{s^3 + 2.275s^2 + 2.106s + 0.654}$$

Poler: $s = -0.5871 ; -0.8441 \pm i \cdot 0.6339$

Tidkonstanter: 1.2, 1.7 sek

Statisk först.: -0.330

5.4 Kommentarer

Avslutningsvis måste betonas att på grund av systemets förmodade olinjäritet, de uppställda resultaten endast gäller i det för försöket aktuella temperatur- och flödesområdet, dvs:

T_{11} 60 °C (Primärsidans intemperatur)

T_{21} 12 °C (Sekundärsidans intemperatur)

ϕ_1 40 lit/min (Primärsidans flöde)

ϕ_2 50 lit/min (Sekundärsidans flöde:insignal)

Att det är sekundärsidans flöde som varierar överensstämmer med ett verkligt driftsfall, och sålunda torde resultaten kunna användas vid reglering. Flera identifieringar återstår dock för att ge en fullständig modell av systemet.

Mätningar och identifiering har gett en andra ordningens modell, som gott beskriver dynamiken hos ett system av osäntlig ordning:

$$(1 - 0.88 z^{-1} + 0.24 z^{-2}) y(t) = (-0.061 - 0.053 z^{-1}) u(t).$$

Stegsvarsanalysen gav att utsignalen var förskjuten 0.1 sek. relativt insignalen. Då vårt samplingsintervall var 0.9 sek får vi en b_0 -term i den samplade överföringsfunktionen.

7. Referenser

1. Ivar Gustafsson:

Parametric identification on multiple input, single output
linear dynamic systems

Juli 1969 Rapport 6907 Inst. för regl.technik LTH

2. Ivar Gustafsson:

Synpunkter på problem vid praktiska identifierings-
experiment

1970 Inst. för regl.technik LTH

Appendix 1.

Specifikation av värmeväxlaren

Den undersökta plattvärmeväxlaren var en Rosenblad Plate Heat Exchanger P 01, parrallelkopplad med 18 kanaler på varje sida.

Plattorna var tidigare ej använda.

Det stora antalet kanaler motiverades av försöksomständigheterna, då dessa krävde litet tryckfall över växlaren, men snabbt vattenflöde i tillledningsrören. Härmed erhölls mindre "avrundade" insignaler.

Plate heat exchanger model P 0

Applications

General heating and cooling duties; heat recovery.

Media handled: liquid/liquid, steam/liquid.

Working principle

The heating surface consists of a number of corrugated metal plates clamped together in a frame and sealed at the edges by cord asbestos fibre or rubber gaskets. The plates are provided with corner ports so arranged that the two media between which heat is to be exchanged flow through alternate interplate spaces. The flow pattern is generally chosen so that the media flow in countercurrent to each other.

Flow rate

Up to 8000 l/h (1770 Igph)

Note: Maximum flow rate depends on temperature programme, permitted pressure drop, and nature of the liquid.

Standard design

The plate heat exchanger is constructed of a frame in which the pack of heat-exchange plates is held. The frame has one fixed end to which upper and lower carrying bars are attached.

Each plate is located on the carrying bars by a recess in each end. The plate pack is compressed by a movable pressure plate at the end opposite the fixed frame and clamped tight by lateral bolts.

The plates are corrugated to improve heat-transfer efficiency and to make them rigid.

Owing to its design, the plate heat exchanger can readily be dismantled for inspection and cleaning. It can moreover be extended or rearranged without difficulty to perform different duties.

Standard frames

The apparatus is fitted with a VB type frame, i.e. for wall mounting.

Standard materials

Frame:

Mild steel "Centriblue" lacquered

Nozzles:

Stainless steel (18 Cr/12 Ni 2.7 Mo)

Titanium

Plates:

Stainless steel (SS), (18 Cr/10 Ni)

Stainless steel (SS), (18 Cr/12 Ni/2.7 Mo)

Titanium

Gaskets:

Rubber

Cord Asbestos fibre

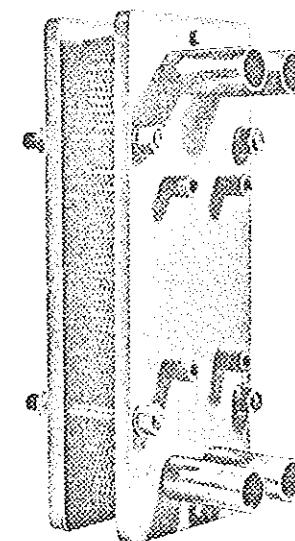


Fig 1: P0 VB



Fig 2: The P0 plate

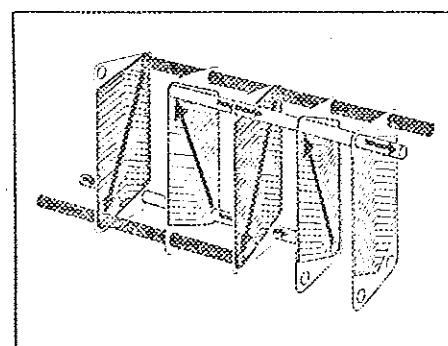


Fig 3: Flow principle of a plate heat exchanger

Connections

Straight pipe thread 1 1/4"

Bends, Flanges 32 SMS 325 NT 16 (DIN 2654 NO 16)

Standard accessories

Set of tools

Technical data

Cord asbestos fibre gaskets 250° C (480° F)
Rubber gaskets pressure up to 6 kg/cm² g (85 psig) 150° C
(300° F)
pressure 6—16 kg/cm² g (85—230 psig)
120° C (250° F)

Max. working pressure:
16 kg/cm² g (230 psig)

Heat transfer coefficient:
3000—5000 kcal/sq.m °C hr (600—1000 Btu/sq.ft °F hr)

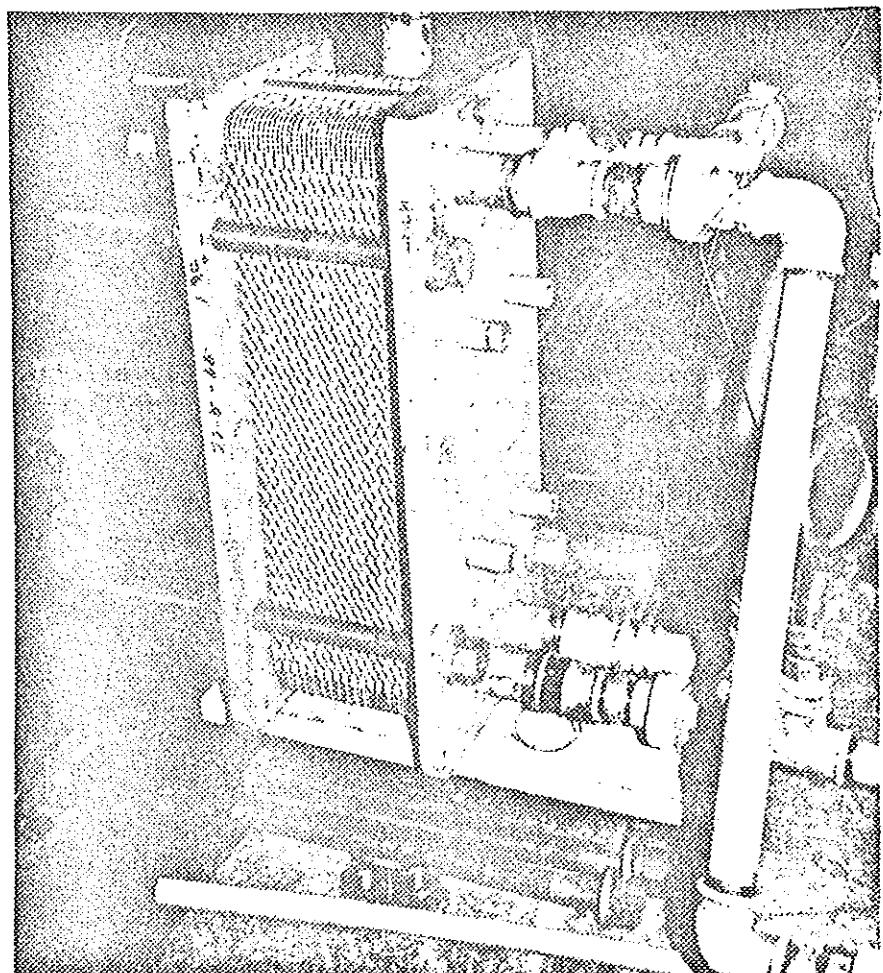
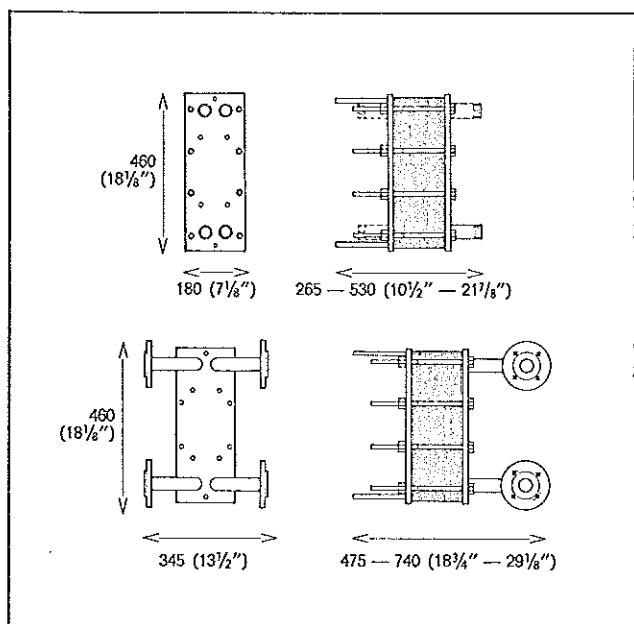
Max. heat-exchange surface:
2.4 m² (26 sq.ft)

Heating surface per plate:
0.033 m² (0.355 sq.ft)

Particulars required for quotation

To enable your Alfa-Laval representative to make a specific quotation on a suitable apparatus, enquiries should be accompanied by the following particulars: flow rates required, temperature programme, physical properties of liquids in question (if not water), desired working pressure, and maximum permitted pressure drop.

Dimensions



Appendix 2

Specifikation av mätutrustningen

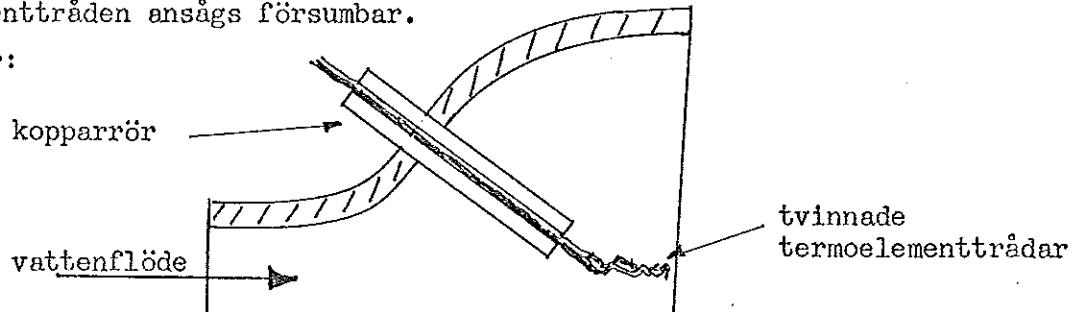
Termoelementen tillverkades av oss av 0.25 mm koppar-konstantan termoelementtråd (amerikansk standard).

Då vanlig lödning ger ett lödställe med relativt stor massa (och för våra behov alldeles för stor tidskonstant), tvinnades för hand c:a två millimeter långa trådar samman. Tidkonstanten hos den så erhållna mätkroppen mättes med minnesoscilloscop på institutionen för Elektrisk Mätteknik och befanns vara mindre än 0.01 sek.

Termoelementen stabiliseras mekaniskt i vattenflödet genom att tråden drögs genom ett kopparrör, vilket infördes i flödet vid rörkopplingen till värmeväxlaren.

För att erhålla god termisk kontakt med vattnet, böjdes tråden så att mätkroppen låg parallell med flödet. Värmeledningen i termoelementtråden ansågs försumbar.

Figur:



Ett förfinat sätt att tillverka mätkroppar är att svetsa samman trådarna genom en kondensator urladdning.

Som temperaturreferens användes ett oljebad, utlånat av institutionen för Byggnadsteknik 2.

Använd referenstemperatur: $40 \pm 0.1 {}^\circ\text{C}$.

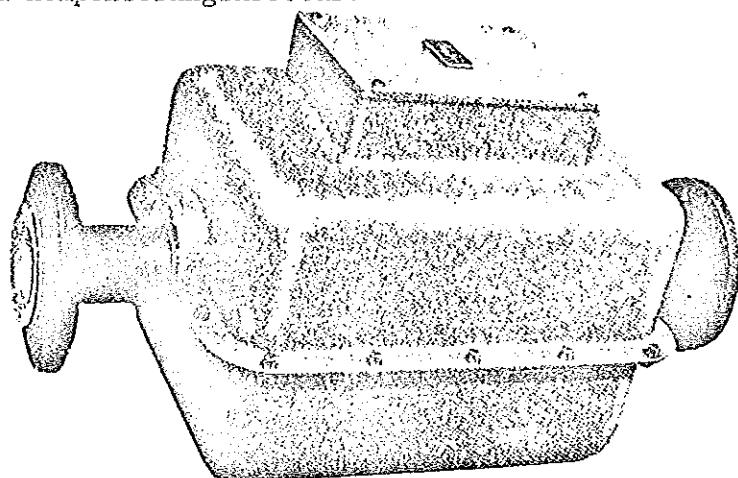
Flödesmätaren var av induktiv typ (märket Taylor), utlånad av AB Billman Regulator.

Taylor flödesomvandlare modell 712N är ett elektromagnetiskt mätdon, vars konstruktion grundar sig på förmågan hos en elektriskt ledande vätska att generera en spänning, när den genomflyter ett magnetiskt fält. Den genererade signalen förstärktes i en signalomvandlare (modell 717T) till en nivå, som gör den lämplig för inmatning i en standardmottagare.

Mätdonet består av en rörsektion av omagnetiskt material med en inre, isolerande beklädnad, vidare av magnetlindningar, elektroder och kåpa jämte erforderliga kompenseringsskretssar.

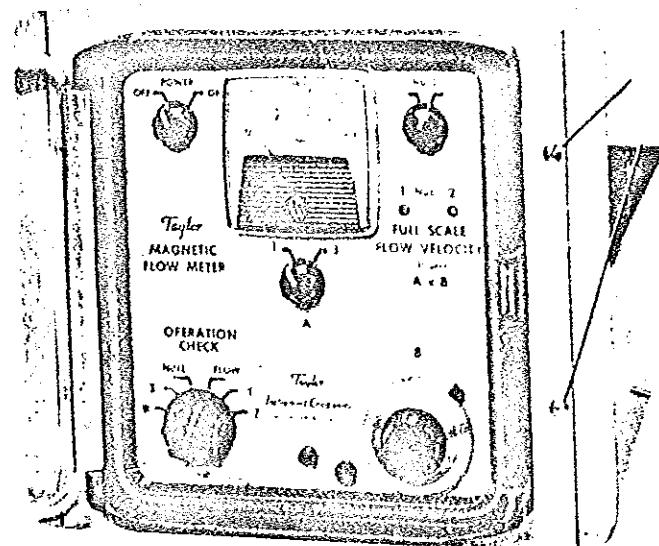
Magnetisk flödesomvandlare
(typ 712N)

I vårt fall var röret
av glasfiber och hade
diametern 1".



Signalomvandlare (typ 717T)

Blockschema och ytterligare
data på nästa sida.



Utsignalen var en stabiliseras likström ($1 - 5 \text{ mA}$). Denna mätte vi över ett motstånd resistansen ett ohm, och fick då en utspänning av samma storleksordning som termospänningarnas.

Flödesmätaren kalibrerades för flöden upptill 100 l/min. (Volymflödesmätning med stoppur och spann).

| | |
|--|--|
| Gränsvärden för strömnings- hastigheten vid fullt skalutslag *) | |
| Skruvinställning av insignalområde | 0.3 - 4.5 m/s |
| Kalibrerad inställningsratt för insignalområde | 0.15 - 9 m/s, kontinuerligt justerbart inom de båda grundom- rådena 0 - 3 och 0 - 9 m/s. |
| Utsignal | 1 - 5 mA likström vid 0-2500 ohms belastning. |
| Minsta rekommenderade kon- duktivitet i processmediet*) | 10 S/cm. |
| Temperaturkänslighet | Mindre än 1 % drift i mätområde eller nollpunkt vid 28°C tem- peraturändring upp till 60°C. |
| Yttermått | |
| Kåpa för panelmontage | Ca 460 mm bygglängd bakom panelen. Minsta erforderliga centrumavstånd är 260 mm. |
| Kåpa för rackmontage | Ca 260 mm bred, 320 mm hög och 420 mm djup. |
| Kåpa för processmontage | Ca 256 mm bred, 254 mm hög och 560 mm djup. |

*) Anm: Under vissa förhållanden kan lägre hastighet än 0,3 m/s vid fullt utslag liksom
också lägre konduktivitet än 10 S/cm accepteras - rådgör med leverantören
i sådana fall.

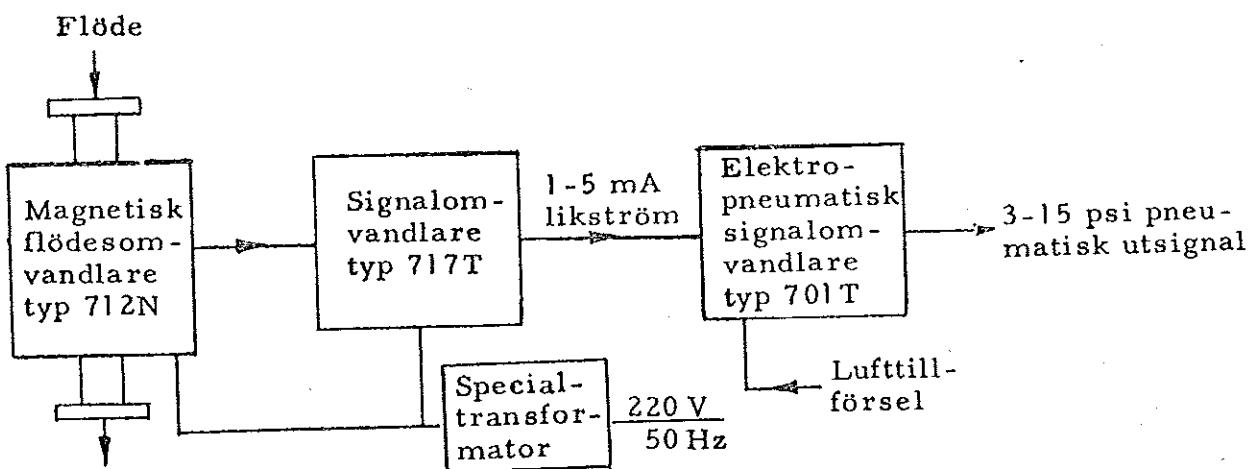


Fig. 2 a - Magnetiskt mätsystem för flöde;
3 - 15 psi utsignal

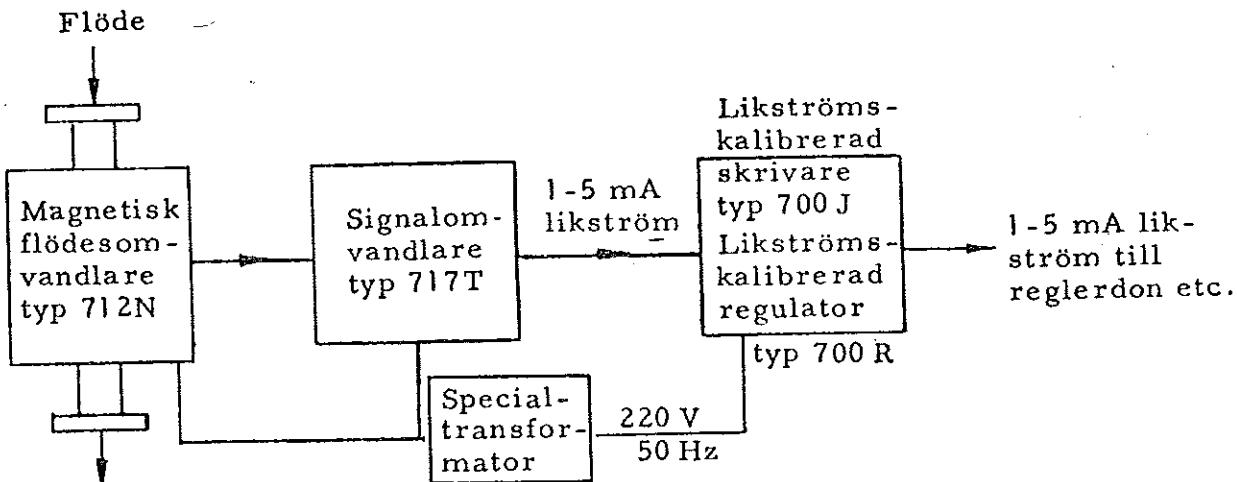


Fig. 2 b - Magnetiskt mätsystem för flöde;
1 - 5 mA likström som utsignal

Appendix 3.

Subroutine CALSUB

Konverterar data från mikrovolt till aktuella fysikaliska enheter,
dvs lit/min för flöde och °C för temperaturer.

SUBROUTINE CALSUB(IVAL,IANT,T)

EXTERNAL CUKIT

DIMENSION T(1500)

IF (IVAL = 3) 10,10,20

IVAL = 2 ANGÅR TEMPERATUR

= 4 ANGÅR FLODE

IANT ANGÅR ANTALLET DATA,

10 DO 1 I= 1,IACT

T(I) = CUKIT(T(I) + 1610.)

1 CONTINUE

GO TO 2

20 DO 3 I=1,IACT

3 T(I) = 0.0241*(T(I) - 906.)

2 CONTINUE

RETURN

END

COMPILER (DATA=SHORT)

FUNCTION CUKNT(X)

DIMENSION A(30),B(30),X(31)

DATA B/59.227,50.261,42.417,35.56,29.461,24.222,24.185,19.571,
*15.586,12.1,9.194,6.719,4.692,3.059,1.81,1.889,0.297,0,0.006,0.3,
*0.654,1.643,2.651,3.969,5.4,7.076,8.979,11.084,13.4,15.92/
* X/1.E5/-4537.,-4330.,-4114.,-3964.,-3678.,-3584.
*-3488.,-3207.,-3033.,-2703.,-2455.,-2200.,-1771.,-1496.,-1148.,
*-768.,-455.,-77.,508.,908.,1401.,1821.,2336.,2906.,3402.,4044.,
*4843.,5566.,6105.,1.E5/ A/0.0454545,0.0434783,0.0416667,0.04,
50.0384615, 0.0370370 ,
B / 0.0370370 ,0.0357143,0.0344828,0.0333333,0.0322581,
50.03125,0.030303,0.0294118,0.0285714,0.0277778,0.0270270,0.026319
58,0.0256419,0.025,0.0245902,0.0238095,0.0232558,0.0227273,0.022222
\$2,0.0217591,0.0212766,0.0208333,0.0204082,0.02/

IU=31

IL=1

IF(IU-IL.EQ.1)GO TO 20

I=(IU+IL)/2

IF(X-XV(I)) 12,13,13

IU=1

GO TO 11

IL=1

GO TO 11

CUKNT=A(IL)*X+B(IL)

RETURN

END