

CODEN: LUTFD2/(TFRT-5221)/1-109/(1979

MÄTNINGAR OCH EXPERIMENT PÅ LABORATIONSPROCESSER

ANDERS AHLSTRÖM

INSTITUTIONEN FÖR REGLERTEKNIK
LUNDS TEKNISKA HÖGSKOLA
MAJ 1979

Sammanfattning

Detta examensarbete behandlar fyra helt skilda processer: Plask och Pysen, elektriskt servo, varmluftsaggregat samt vattenuppvärmning, vilka skall ligga till grund för en ny laboration i den allmänna kursen i reglerteknik.

För processerna har, vid behov, en matematisk modell framtagits, vilken sedan i görligaste mån experimentellt bekräftats. I ett till varje process hörande appendix ges förslag till laborationsuppgifter.

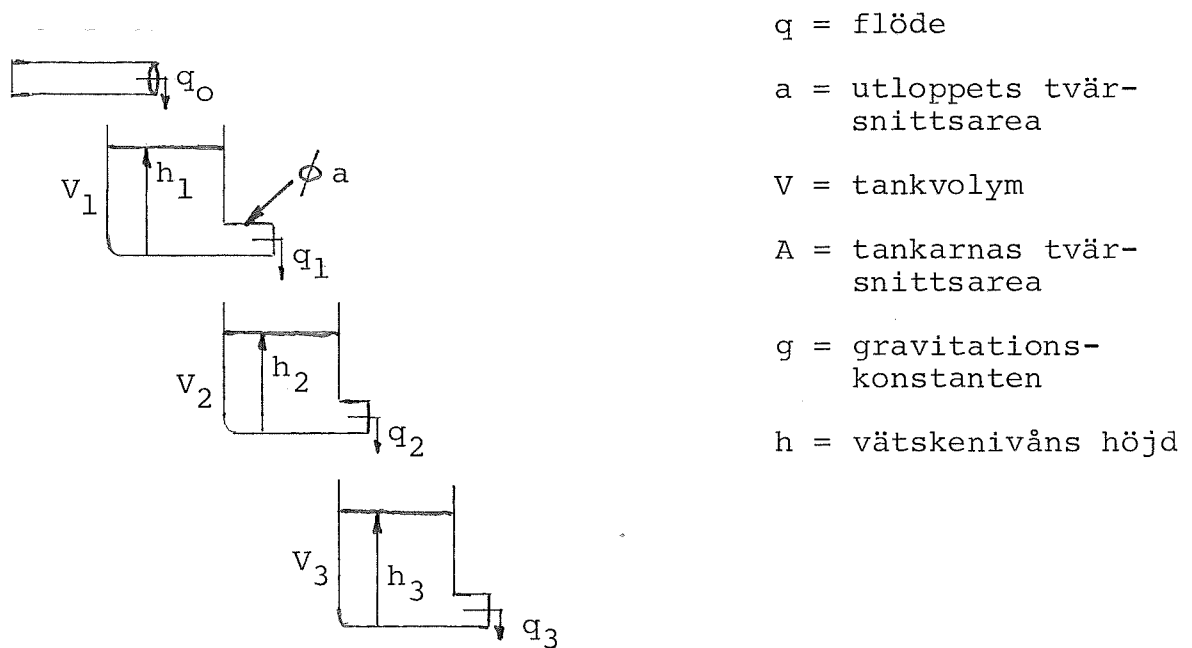
INNEHÅLLSFÖRTECKNING

1. Plask och Pysen
 - 1.1 Processbeskrivning
 - 1.2 Modellbygge
 - 1.3 Regulatorer
 - 1.4 Simulering
 - 1.5 Mätningar och experiment
 - 1.6 Appendix 1

2. Elektriskt servo
 - 2.1 Variation av referensvärdet
 - 2.2 Stegsvaret
 - 2.3 Statiskt fel
 - 2.4 Variation av kretsförstärkningen
 - 2.5 Variation av insignalen
 - 2.6 Störmoment
 - 2.7 Simulering
 - 2.8 Appendix 2

3. Varmluftsaggregat, PT326
 - 3.1 Processbeskrivning
 - 3.2 Modellbygge
 - 3.3 Frekvensanalys
 - 3.4 Transportfördröjning
 - 3.5 Temperaturmätning
 - 3.6 Självsvängning
 - 3.7 Stationärt fel
 - 3.8 Regulatorer
 - 3.9 Simulering
 - 3.10 Appendix 3

4. Uppvärmning av vatten
 - 4.1 Processbeskrivning
 - 4.2 Modellbygge
 - 4.3 Uppkopplingar
 - 4.4 Variation av insignalen
 - 4.5 Anpassning med hjälp av dator
 - 4.6 Stegsvaret
 - 4.7 Variation av regulatorparametrar
 - 4.8 Appendix 4

1. Plask & PysenFig. 1.1 Plask & Pysen1.1 Processbeskrivning

Processen består av tre stycken tankar, som är monterade så att utloppet från den översta tanken utgör inlopp till den mellersta, vars utlopp är den understa tankens inlopp.

Mellan den understa tankens utlopp och den översta tankens inlopp finns en vätskebehållare och en pump, så att processen utgör ett slutet system.

Flödet till den översta och från den understa tanken styrs av pneumatiska ventiler. För mätning av in- och utflöde finns flödesgivare och vätskenivåerna i de tre tankarna mätes med tryckgivare, en i varje tank.

Till förfogande för reglering finns en PI-regulator, en PID-regulator och en summator. För registrering av förlopp finns en skrivare för två signaler.

Processen är olinjär i flera avseenden:

- + Utströmningshastigheten från en tank är ej proportionell mot vätskehöjden.
- + Ventilens förstärkningskaraktistik är olinjär, ty den mättar vid stora signaler. Vidare öppnar ventilen först när signalen är ca 40% av fullt värde.

Då det dessutom förekommer transportfördröjningar i systemet, medför detta att teoretiska beräkningar av regulatorparametrar kan ge oväntade resultat vid den praktiska regleringen.

De flesta fysikaliska system är olinjära, men om olinjäriteterna i systemet inte dominerar, går det ofta bra att linjärisera ekvationerna.

1.2 MODELLBYGGE

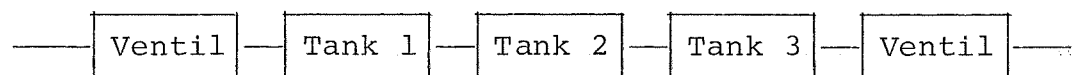


Fig. 1.2 Modell av processen

Som en första modell kan man nöja sig med att bara taga hänsyn till ventiler och tankar, fig. 1.2, men för att få en mer "naturtrogen" modell av systemet, måste man även beakta givardynamik, transportfördröjningar, m.m.

Med hjälp av massbalansekvationerna kan en matematisk modell av processen härledas. Energiförhållandena ger:

$$\left. \begin{array}{l} \frac{1}{2}\rho v^2 = h\rho g \\ q = a \cdot v \end{array} \right\} \Rightarrow q = a \sqrt{2hg}$$

Med ovan använda beteckningar fås

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{dV_1}{dt} = q_0 - q_1 \\ \frac{dV_2}{dt} = q_1 - q_2 \\ \frac{dV_3}{dt} = q_2 - q_3 \end{array} \right. \quad (1.1)$$

Sambanden $V = A \cdot h$, $q_i = a \sqrt{2gh_i}$ $i = 1, 2$ i (1.1) ger

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{dh_1}{dt} = \frac{q_0}{A} - \frac{a}{A} \sqrt{2gh_1} \\ \frac{dh_2}{dt} = \frac{a}{A} \sqrt{2gh_1} - \frac{a}{A} \sqrt{2gh_2} \\ \frac{dh_3}{dt} = \frac{a}{A} \sqrt{2gh_2} - q_3 \end{array} \right. \quad (1.2)$$

Antag att (1.2) har en stationär lösning h^0 för flödet q^0 .

Linjärisering kring höjden h^0 , med

$$\begin{aligned} \Delta h_i &= h_i - h_i^0 \\ \Delta q_i &= q_i - q_i^0 \end{aligned} \quad \text{ger}$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{d\Delta h_1}{dt} = - \frac{a\sqrt{2g}}{2A\sqrt{h_1^0}} \Delta h_1 + \frac{1}{A} \Delta q_0 = -k_1 \Delta h_1 + \frac{1}{A} \Delta q_0 \\ \frac{d\Delta h_2}{dt} = + \frac{a\sqrt{2g}}{2A\sqrt{h_1^0}} \Delta h_1 - \frac{a\sqrt{2g}}{2A\sqrt{h_1^0}} \Delta h_2 = k_1 \Delta h_1 - k_2 \Delta h_2 \\ \frac{d\Delta h_3}{dt} = - \frac{a\sqrt{2g}}{2A\sqrt{h_2^0}} \Delta h_2 - \frac{1}{A} \Delta q_3 = k_2 \Delta h_2 - \frac{1}{A} \Delta q_3 \end{array} \right.$$

På tillståndsform fås

$$\frac{d\Delta h}{dt} = \begin{bmatrix} -k_1 & 0 & 0 \\ k_1 & -k_2 & 0 \\ 0 & k_2 & 0 \end{bmatrix} \Delta h + \begin{bmatrix} 1/A & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & -1/A \end{bmatrix} \Delta q \quad (1.3)$$

där $q = [\Delta q_0 \quad \Delta q_3]^T$ (dvs 2 insignaler, en till varje ventil).

$$k_i = \frac{a_i}{A} \sqrt{\frac{g}{2h_i^0}} = \frac{1}{T_i}$$

där T_i är tidskonstanten.

Sambandet mellan tanknivåer & flöden beskrivs av ekvation (1.3).

Numeriska värden har erhållits genom direkt mätning:

$$1/A \approx 509 \text{ m}^{-2}$$

$$a \approx 9,5 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2$$

$$q_{\max}^0 \approx 2 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}$$

$$k_i \approx \frac{0,1}{\sqrt{h_i^0}} \quad \text{där } k_i \text{ är koefficienten till } \Delta h_i, i \text{ tillståndsekvationen.}$$

Med systemet (1.3) fås överföringsfunktionen

$$G(s) = \frac{1}{A} \cdot \begin{bmatrix} \frac{1}{s+k_1} & 0 \\ \frac{k_1}{(s+k_1)(s+k_2)} & 0 \\ \frac{k_1 k_2}{s(s+k_1)(s+k_2)} & -\frac{1}{s} \end{bmatrix} \quad \text{då } y = I\Delta h \quad (1.4)$$

1.2.1. Stationära tillstånd

Stationära tillstånd fås för $\frac{d\Delta h}{dt} = 0$. För tank 1 och tank 2 blir $(\Delta h_i)_{\text{stat.}} = \Delta q / Ak_i$ där Δq är flödet in i respektive ut ur systemet. Den stationära nivån i tank 3 kan då väljas godtyckligt.

Inga element i överföringsmatrisen (1.4) har någon pol i högra halvplanet, men tank 3 har en pol i origo m.a.p. såväl den övre som den undre ventilen, d.v.s. tank 3 är inte asymptotiskt stabil.

1.2.2. Ventilens dynamik

Ventilens dynamik påverkar systemet högst påtagligt och för att studera denna påverkan antages att ventilerna kan karakteriseras med ett första ordningens system, d.v.s. har överföringsfunktionen

$$G_V(s) = k / (1 + sT_V)$$

Mätningar av k och T_V gav:

$$k \approx 2 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3/\text{s} \cdot \text{skaldel} \text{ och } T_V = 1 \text{ s, för den övre ventilen.}$$

Tillståndsekvationen för ventilen blir:

$$T_V \cdot \frac{dq}{dt} = -q + ku$$

och den linjäriserade ekvationen blir

$$T_V \cdot \frac{d\Delta q}{dt} = -\Delta q + k\Delta u \quad (1.5)$$

Laplacetransformering medför

$$(sT_V + 1)\Delta Q(s) = k\Delta U(s) \implies$$

$$\Delta Q(s) = \frac{k}{1 + sT_V} \cdot \Delta U(s) = G_V(s) \cdot \Delta U(s)$$

där $G_V(s)$ är ventilens överföringsfunktion. Om vi antar att

ventilerna har olika karakteristik, med parametrarna K_0 och T_0 för den övre ventilen och med K_3 och T_3 för den undre, fås den totala överföringsfunktionen

$$G_{\text{tot}}(s) = G_V(s)G(s) \text{ där}$$

$$G_V(s) = \begin{bmatrix} K_0/(1+T_0s) & 0 \\ 0 & K_3/(1+T_3s) \end{bmatrix} \quad (1.6)$$

Således blir enligt (1.4) och (1.6)

$$G_{\text{tot}}(s) = 1/A \begin{bmatrix} K_0/\{(s+k_1)(1+T_0s)\} & 0 \\ K_0k_1/\{(s+k_1)(s+k_2)(1+T_0s)\} & 0 \\ K_0k_1k_2/\{s(s+k_1)(s+k_2)(1+T_0)\} & -K_3/\{s(1+T_3s)\} \end{bmatrix} \quad (1.7)$$

vilket utgör vår modell av systemet.

1.3. Regulatorer

Vår målsättning är att hålla vätskenivån konstant, i en eller flera tankar, trots omgivningens inverkan. För att klara detta kan vi införa någon form av regulator, samtidigt som vi återkopplar systemet.

I detta fall kan regleringen ske antingen manuellt eller med hjälp av befintliga regulatorer, P- och PI-regulator.

Den proportionella regulatorn, P-regulatorn, kan beskrivas med funktionen

$$G_p(s) = K,$$

d.v.s. en ren förstärkningsfaktor.

Den proportionella och integrerande regulatorn, PI, kan beskrivas med funktionen

$$G_{pi}(s) = K(1+1/T_i s).$$

Processen med regulator kan beskrivas enligt fig. 1.3.

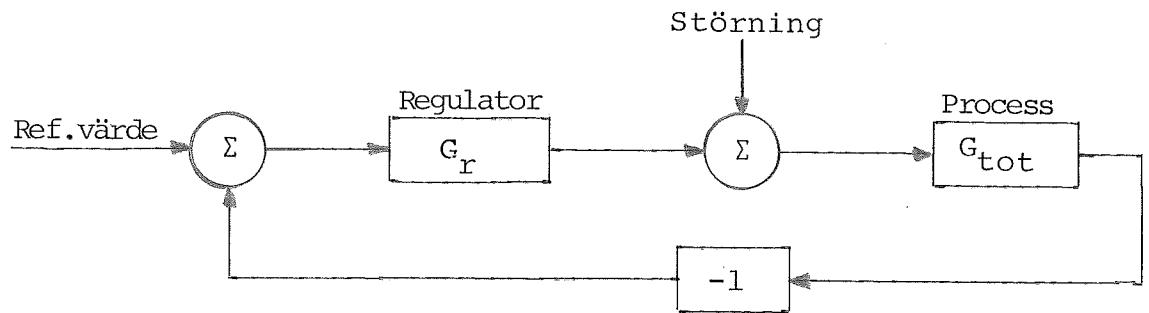


Fig. 1.3. Processen med regulator.

1.4. Simulering

Om man inte kan göra experiment med själva processen, får man simulera, t.ex. på analogmaskin. En uppkoppling av processen visas i fig. 1.4.

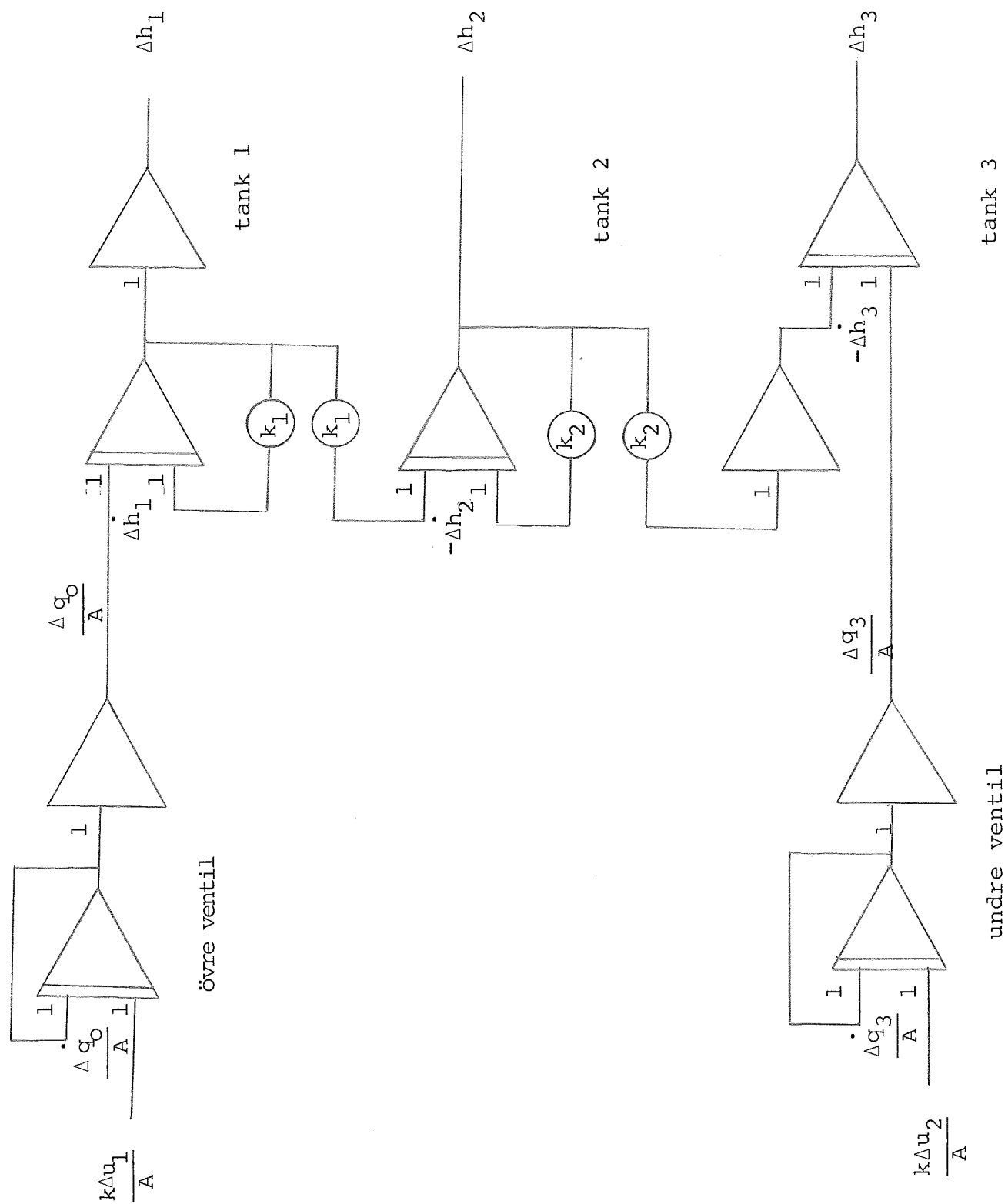


Fig. 1.4. Analogmaskinuppkoppling för tanksystem utan reglering.

1.5. Mätningar1.5.1. Flödesmätning

I fig. 1.5 redovisas flöde som funktion av ventilsignal för den övre ventilen. För att åstadkomma bättre linjäritet mellan flöde och ventilsignal, har återkoppling enligt fig. 1.6 använts:

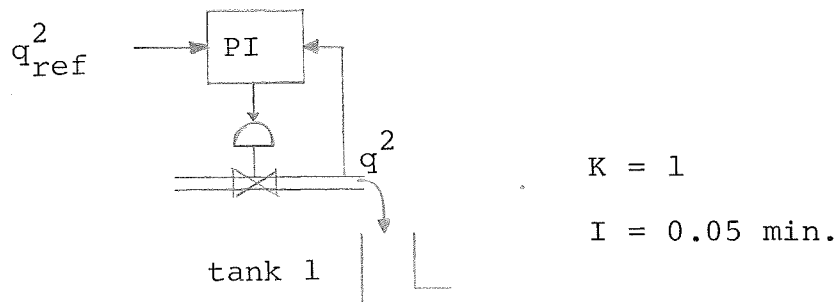


Fig. 1.6 Reglering av ventilen.

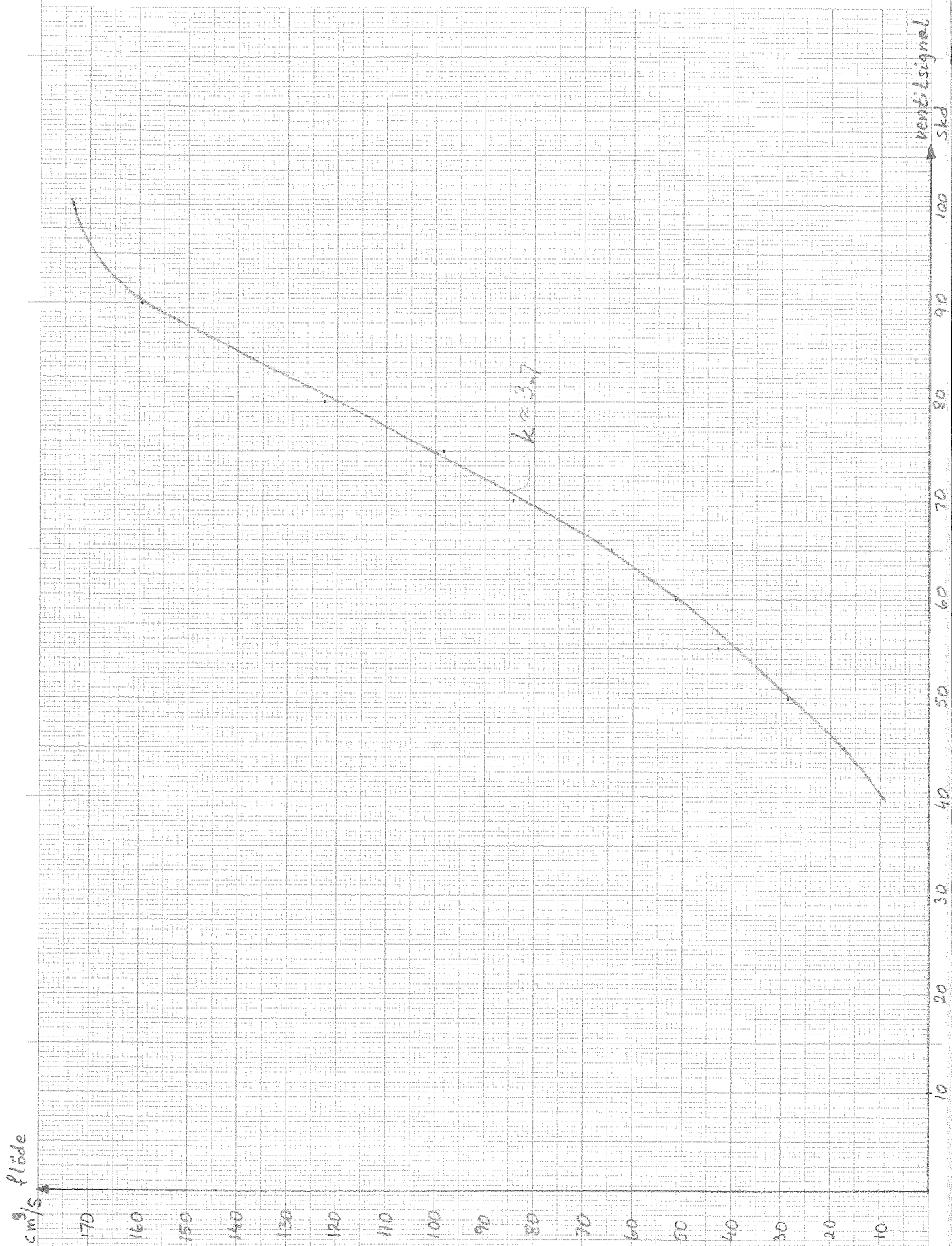
Resultatet av regleringen kan utläsas ur fig. 1.7.

Anmärkning: Flödet mätes med hjälp av en differenstryckmätare, vars utsignal är direkt proportionellt mot tryckdifferensen, d.v.s. utsignalen är proportionell mot $(\text{flödet})^2$.

Kalibreringskurvor, tankskaldelar som funktion av cm, samt skrivarutslag som funktion av tankhöjd, i cm, visas i figur 1.8.

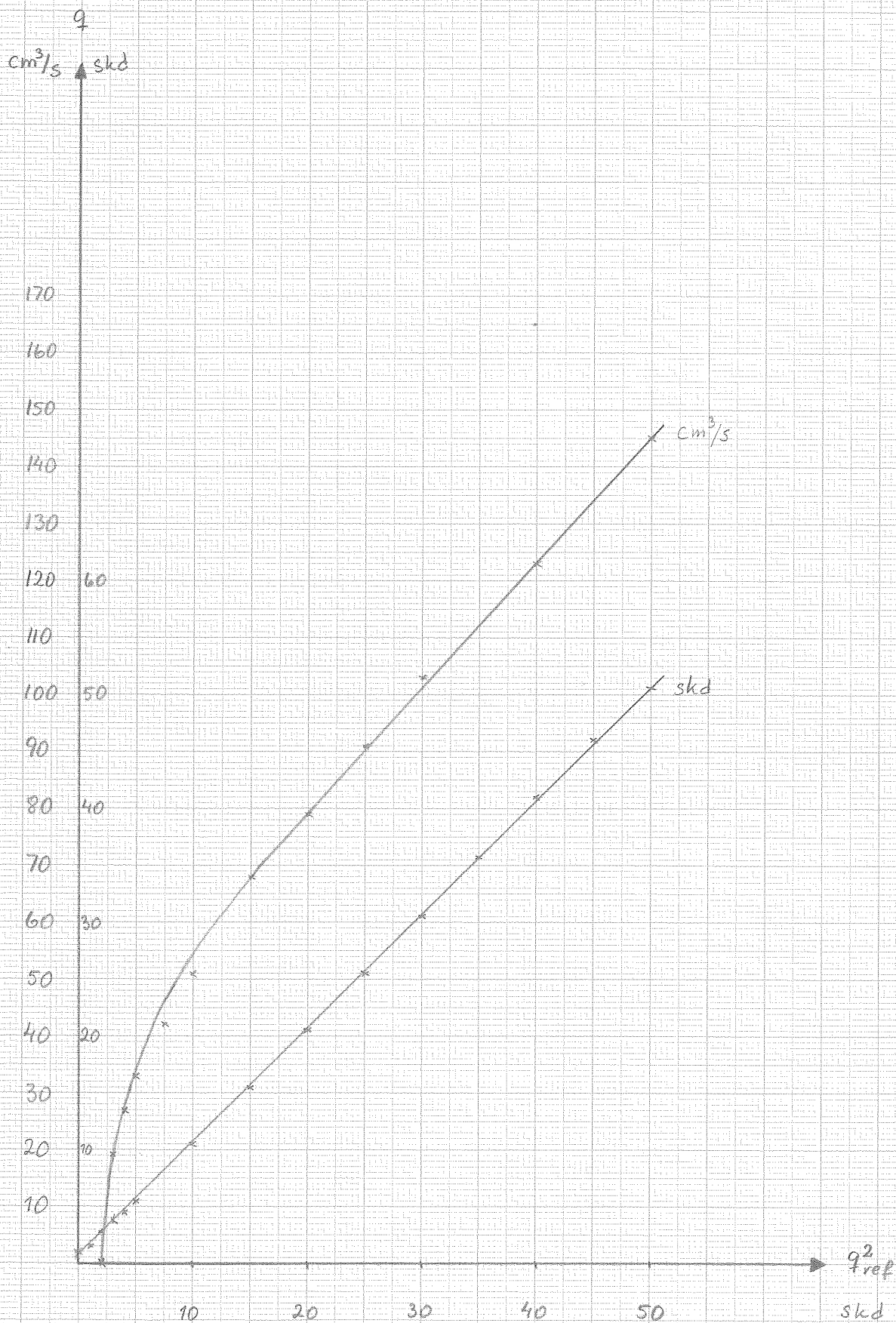
Flöde som funktion av oregrerad
ventilsignal.

Fig.1.5



Flöde som funktion av reglerad ventilsignal.

Fig. 1.7

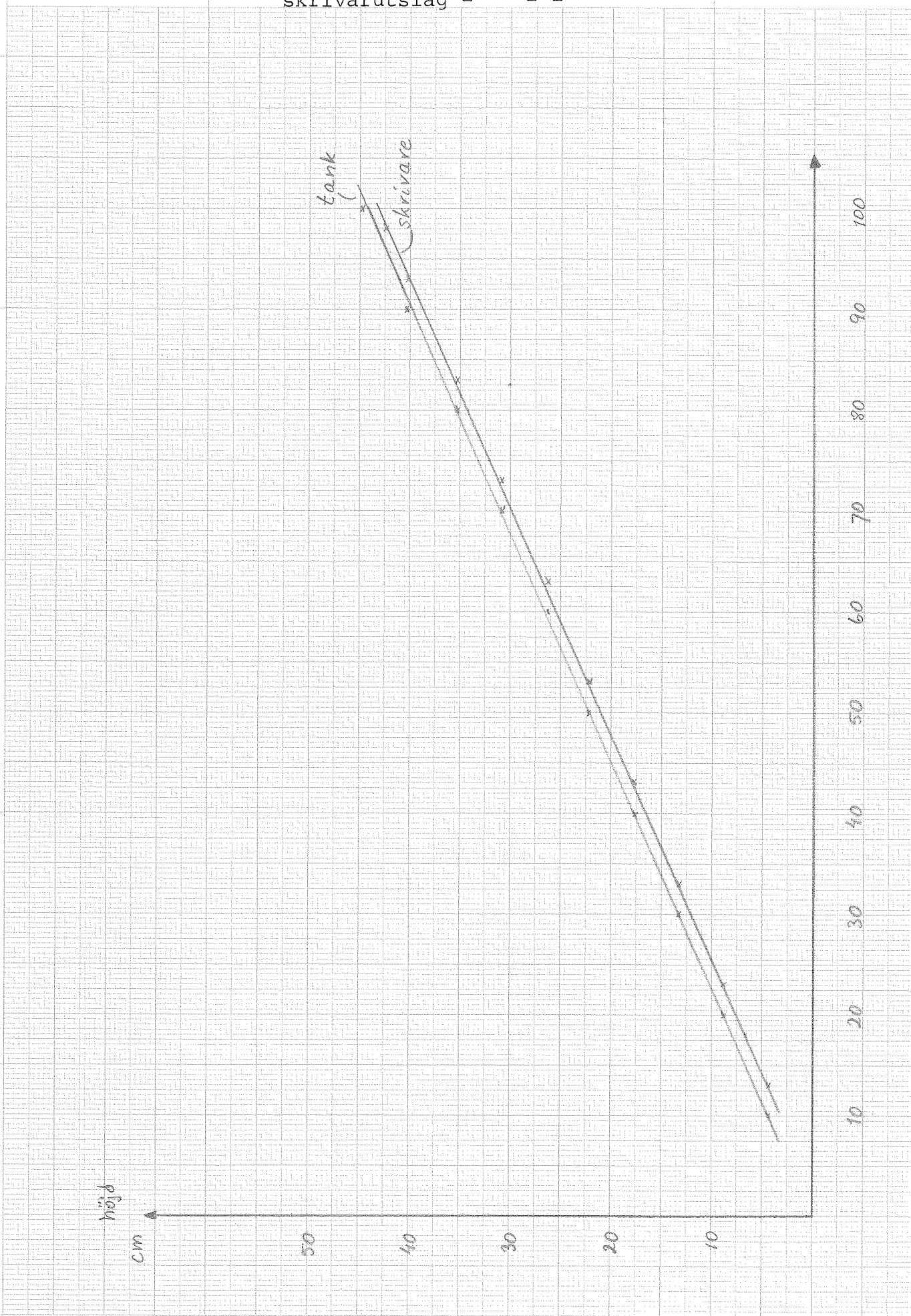


Kalibreringskurvor

tankskaldel - tankhöjd cm

skrivarutslag - "-"

Fig. 1.8



1.5.2. Stegsvarsanalys

För att bestämma överföringsfunktionen från flöde till nivå har stegsvar för det öppna systemet, tank 1, med reglering på ventilen, upptagits.

Resultat, se tabell 1.1.

Positiva steg har en något kortare tidskonstant än negativa.

Stora steg har kortare tidskonstant än små.

Ju högre nivå, kring vilken linjäriseringen sker, desto längre tidskonstant.

Enligt ekvation (1.3) fås för tank 1: $T_{ber} = \frac{A}{a} \sqrt{\frac{2h_1^0}{g}}$

h_1^0 cm	steg skaldel	$T_{mätt}$ sek	$T_{ber.}$ sek	$T_{korr.}$ sek
4.3	+ 2	14.8	1.9	≈ 11.2
7.9	+ 2	14.8	2.6	11.9
11.7	- 2	15.6	3.2	12.8
8.1	+ 3	17.2	2.7	12
13.5	- 3	17.2	3.4	13.3
8.1	+ 5	16.4	2.7	12
17.2	+ 2	18.7	3.9	14.1
20.5	- 2	16.6	4.2	14.8
17.3	+ 3	18.7	3.9	14.2
22.8	- 3	17.9	4.5	15.3
17.3	+ 5	17.9	3.9	14.2
26.2	+ 2	19.5	4.9	16.1

Tabell

1.1

T_{korr} har beräknats efter anpassning av kurvan $h = \alpha q + \beta q^2 + \gamma$ till de uppmätta värdena (se nedan).

Kommentar: Ur tabell 1.1 framgår att den teoretiskt beräknade tidskonstanten är väsentligt kortare än den på processen uppmätta. Detta beror på att vi vid modellbygget bortsåg från de tryckförluster, som finns vid utloppet i tank 1. Vi gör därför en korrigering av vårt antagande.

1.5.3. Anpassning

Enligt Poisseuille's ekvation gäller $q = \frac{\pi \cdot R^4}{8\mu \cdot l} \cdot \Delta p$

d.v.s. $\Delta p \sim q \sim v$

I stationärt tillstånd gäller då $h = \alpha \cdot q + \beta \cdot q^2$

$$q = -\frac{\alpha}{2\beta} \pm \sqrt{\frac{\alpha^2}{4\beta^2} + \frac{h}{\beta}} = \sqrt{\frac{\alpha^2}{4\beta^2} + \frac{h}{\beta}} - \frac{\alpha}{2\beta} = \left(\sqrt{1 + \frac{4h\beta}{\alpha^2}} - 1 \right) \frac{\alpha}{2\beta}$$

Tidskonstanten fås då som

$$\frac{1}{T} = \frac{1}{A} \cdot \frac{dq}{dh} \Big|_0 = \frac{1}{A} \cdot \frac{\alpha}{2\beta} \cdot \frac{4\beta}{\alpha^2} \cdot \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{\sqrt{1 + \frac{4h\beta}{\alpha^2}}} = \frac{1}{\alpha A} \cdot \frac{1}{\sqrt{1 + \frac{4h\beta}{\alpha^2}}}$$

$$T = \alpha A \sqrt{1 + \frac{4h\beta}{\alpha^2}} = A \sqrt{\alpha^2 + 4h\beta}$$

Antag: $\alpha^2 \gg 4h\beta \implies T = \alpha \cdot A$, d.v.s. oberoende av höjden.

Utflödet ur tank 1, $q \text{ cm}^3/\text{s}$, har bestämts som funktion av tankhöjden, $h \text{ cm}$: Tabell 1.2.

Tabell 1.2

q	45.9	47.4	51.0	58.8	64.5	71.4	77.0	83.3	86.2	90.9	97.7
h	4.4	6.6	8.8	13.3	17.6	22.2	26.3	30.9	35.3	40.3	44.7

Med hjälp av minsta kvadrat-approximationen har på försök 3 st. funktioner anpassats till de uppmätta värdena. Funktionerna är

1) $H = \alpha q + \gamma$

där konstanterna beräknats till:

$$\alpha \approx 0.76 \quad \beta \approx -30.9$$

2) $h = \alpha q + \beta q^2$

$$\alpha \approx -0.163 \quad \beta \approx 6.5 \cdot 10^{-3}$$

3) $h = \alpha q + \beta q^2 + \gamma$

$$\alpha \approx 0.216 \quad \beta \approx 3.9 \cdot 10^{-3} \quad \gamma \approx -12.8$$

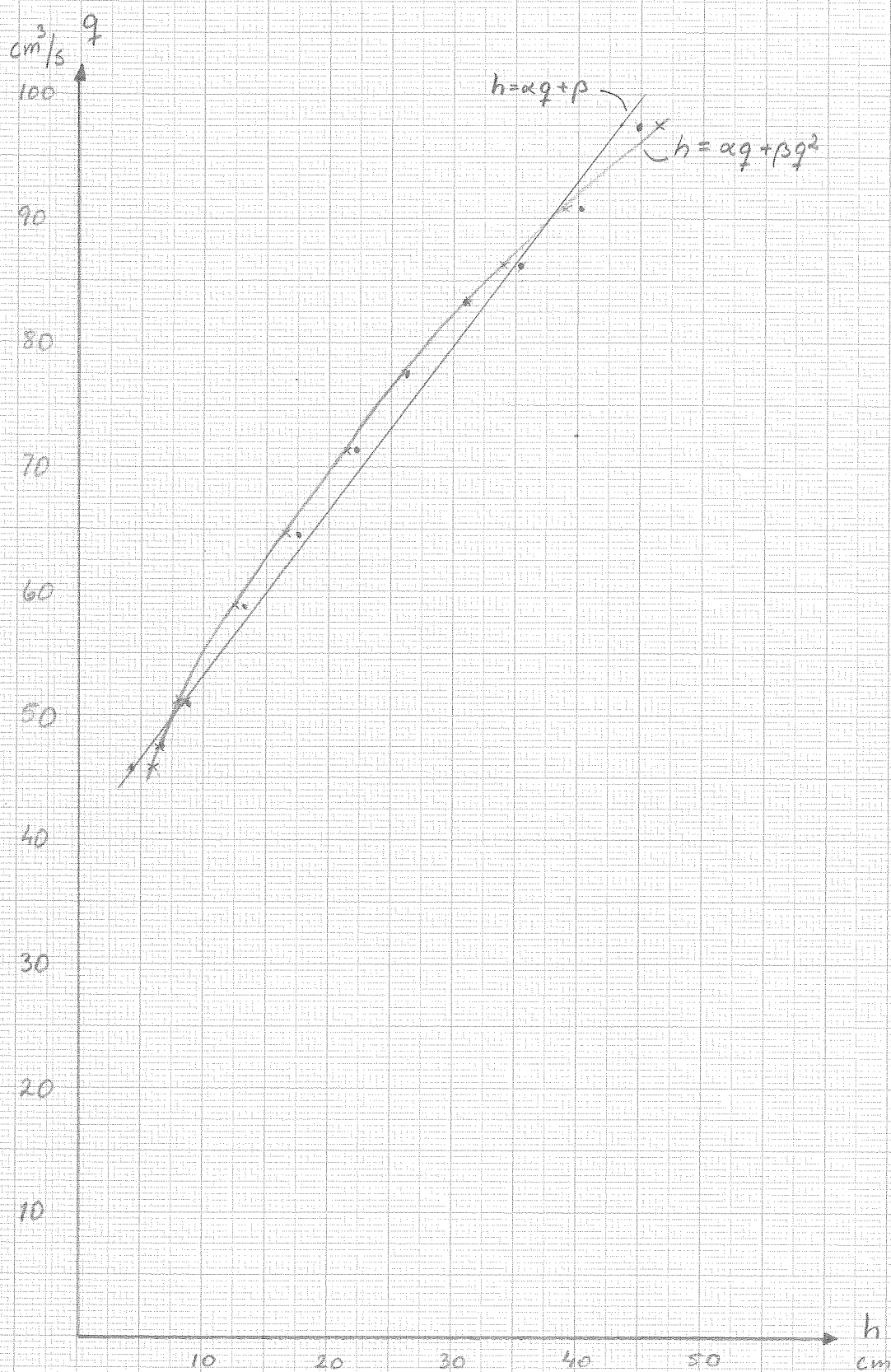
och de har plottats in i figurerna 1.9 och 1.10, efter det att nya h -värden beräknats. Den bästa approximationen, 3, har vi bestämt genom att beräkna resp. funktions förlustfunktion, vilken för de tre kurvorna blir

8, 10900 resp. 31

I fig. 1.11 har tidskonstanten som funktion av tankhöjden plottats för de tre funktionerna och de uppmätta värdena.

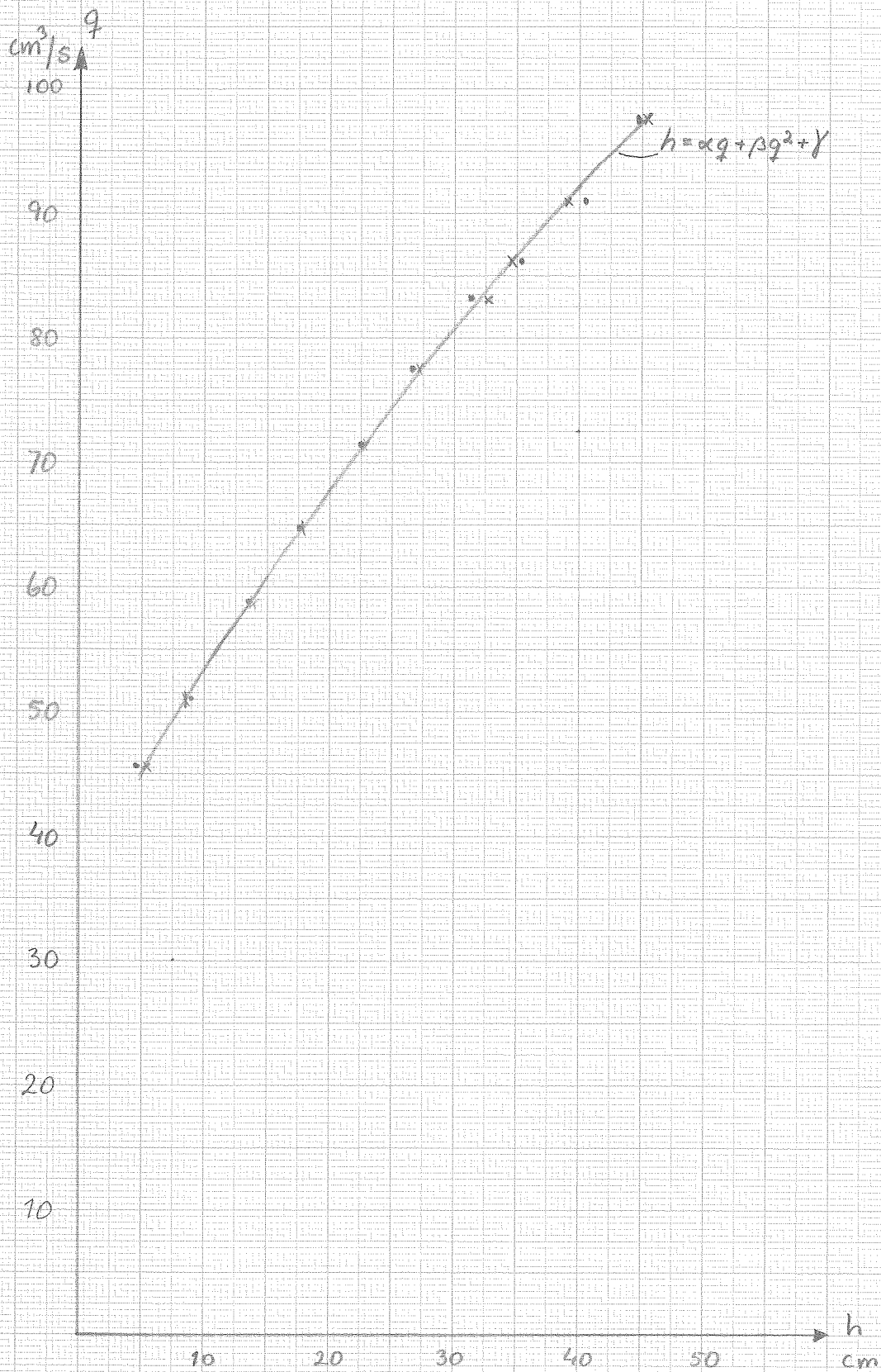
Flöde som funktion av tankhöjd, dels
för uppmätta värden, dels för
 $h = \alpha q + \beta$ och $h = \alpha q + \beta q^2$.

Fig. 1.9



Flöde som funktion av tankhöjd, dels
för uppmätta värden, dels för
 $h = \alpha q + \beta q^2 + \gamma$

Fig. 1.10

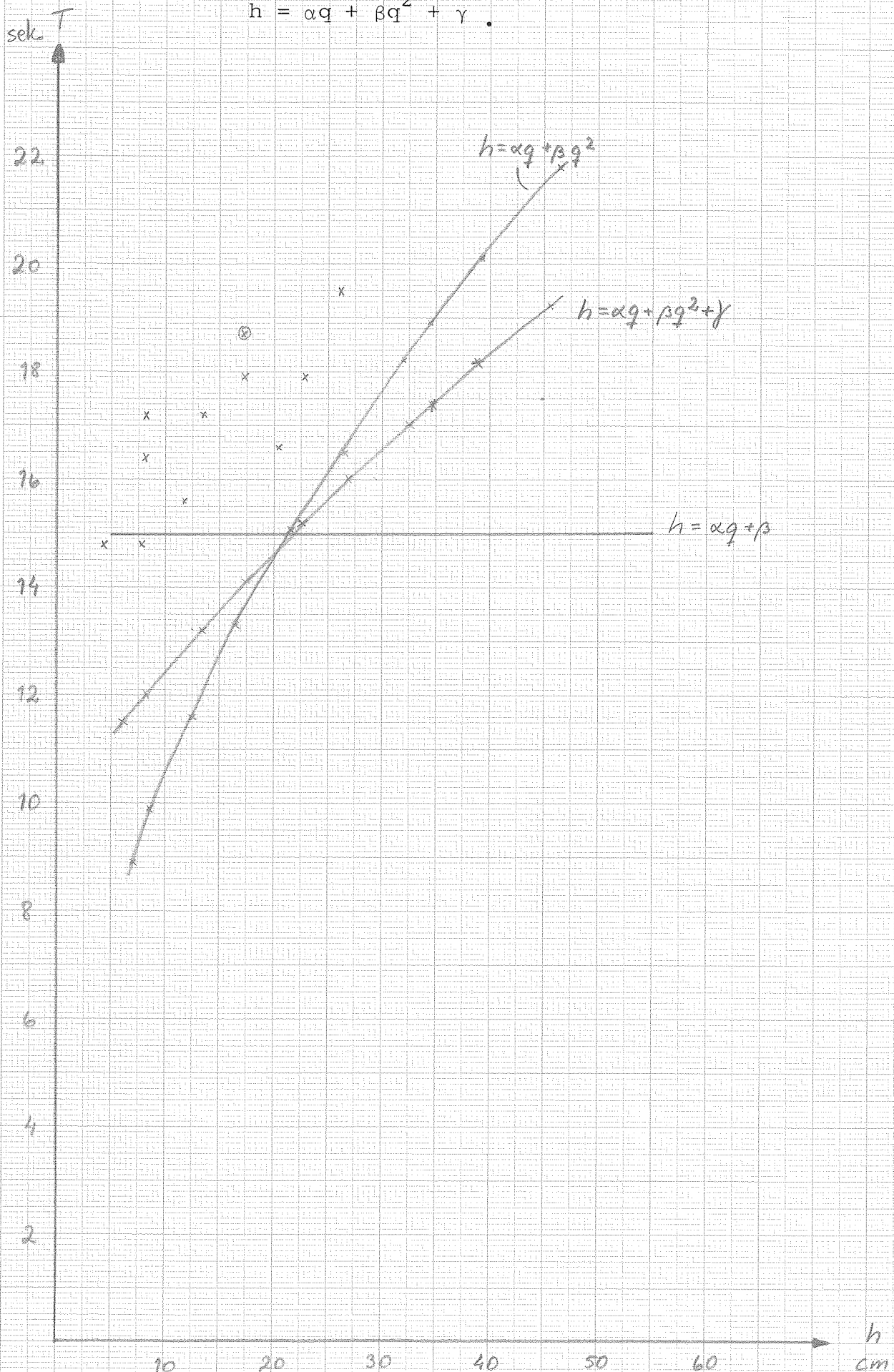


Tidskonstant som funktion av tank-
höjd för uppmätta värden,

$$h = \alpha q + \beta, \quad h = \alpha q + \beta q^2 \text{ samt}$$

$$h = \alpha q + \beta q^2 + \gamma.$$

Fig. 1.11



Med utgångspunkt från tabell 1.2 kan man plotta de logaritmerade värdena av flöde som funktion av höjden, för att få en uppfattning om kurvans riktningskoefficient.

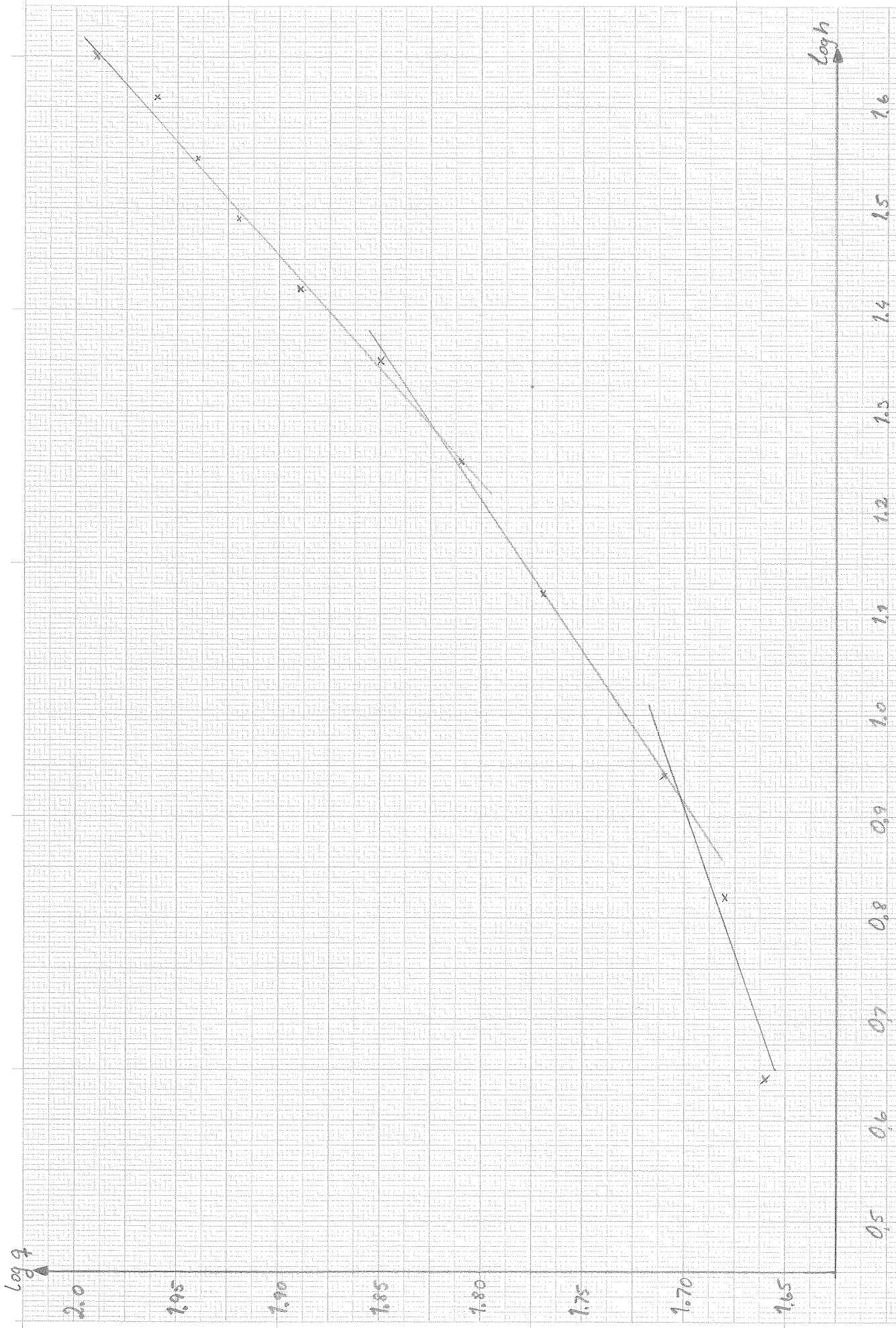
Med ledning av kurvan, som visas i fig. 1.12 kan följande iakttagelser göras:

För stora höjder är flödet ungefär proportionellt mot roten ur höjden, för att vid mindre höjder få en alltmer linjär karakteristik. Detta torde, åtminstone delvis, kunna bero på plastslangen vid tankens utlopp. Slangen utgör ett motstånd för flödet och fungerar troligen här som linjäriserande element.

En tänkbar anledning till varför den uppmätta tidskonstanten genomgående är kortare än den beräknade, kan vara antagandet att vattenytan i tanken har hastigheten noll. I stationärt tillstånd stämmer detta förvisso, men inte vid en stegstörning, varför en fördröjning kan tänkas uppstå.

Flöde som funktion av tankhöjden,
logaritmerade värden.

Fig. 1.12



Överföringsfunktionen från flöde till nivå, i tank 1, är enligt ekvation (1.4)

$$\frac{H_1}{Q_0} = \frac{1/A}{s+k_1} = \frac{T_1/A}{sT_1+1} \quad ; \quad k_1 = 1/T_1 \quad \& \quad k = T_1/A$$

Teoretiskt fås då, för $h = 20.5$ cm

$$k = 0.75$$

$$T_1 = 14.8 \text{ sek.}$$

Mätningarna ger:

$$k = 0.85$$

$$T_1 = 16.6 \text{ sek.}$$

OBS! T_1 är inte entydig.

1.5.4. Experiment

Nivåreglering av tank 1.

P-regulator:

K-värdet varierades mellan 1 och 20.

Systemet blir aldrig instabilt, men för alla K-värden fås ett stationärt fel. Detta fel kan minskas, i viss utsträckning, genom att K-värdet ökas. För mycket stora K-värden börjar systemet att oscillera ($K = 15$). Systemet ställer snabbare in sig på slutvärdet om K ökas, tills K blivit så stort att de oscillativa tendenserna tagit överhand.

PI-regulator:

$P = 1/K = 13\%$ och I-värdet varierades mellan 30 min. och 0.015 min. Systemet förblir hela tiden stabilt, men kommer i självsvängning för mycket korta integrationstider. Med hjälp av I-delen har det stationära felet eliminerats.

För långa integrationstider är svängningstendenserna små men insvängningstiden lång. För korta I-tider blir förhållandet det omvända, tills tiden är så kort att systemet självsvänger ($t = 0.05$ min. och mindre).

Kring en fix vätskehöjd i tanken, skild från noll, gavs olika stegstörningar, såväl positiva som negativa.

Fixt K-värde och I-värdet varierades:

Resultatet blev som ovan, då I-värdet varierades. Dessutom kan noteras, att överslängen för negativa steg blir större än för positiva.

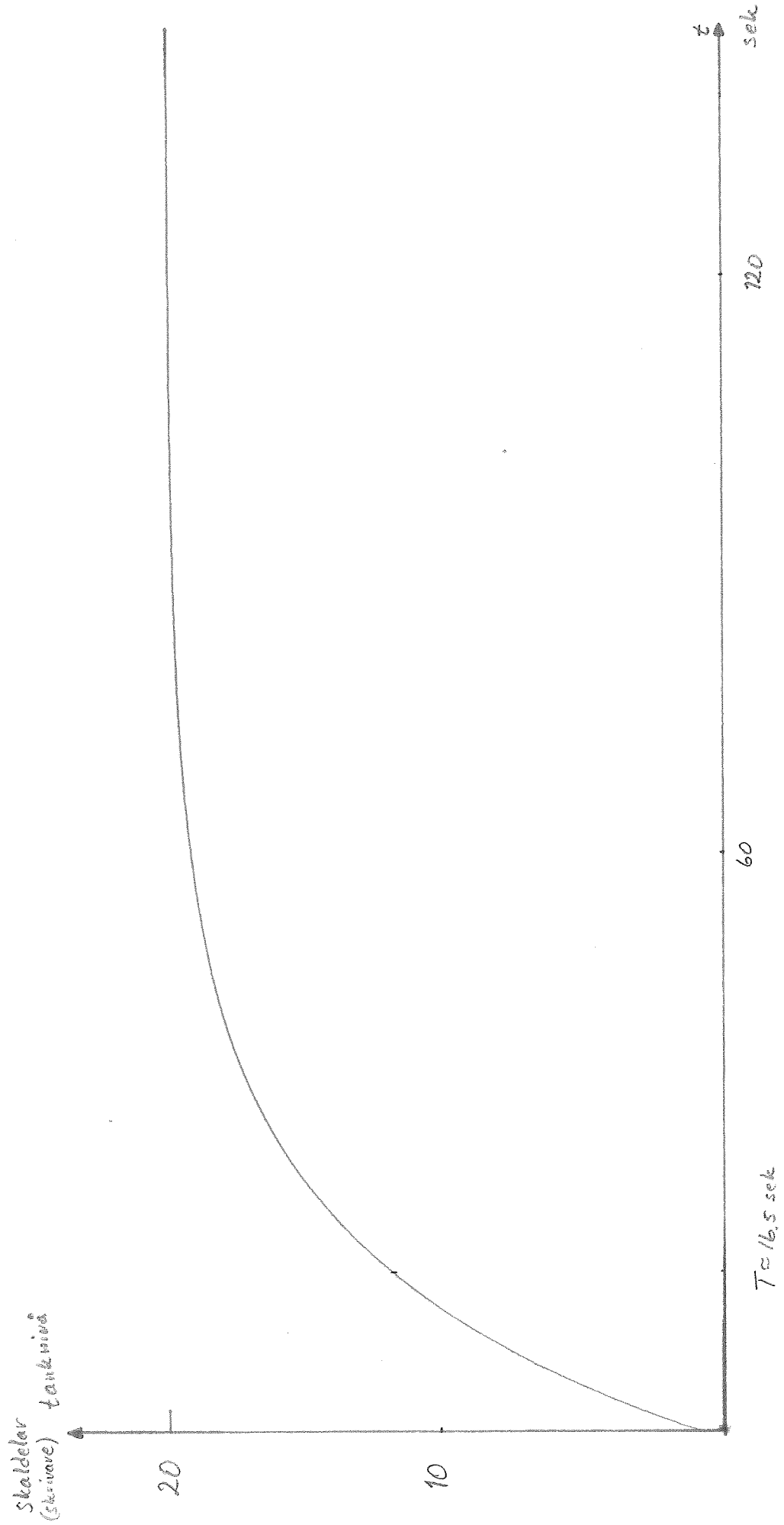
Fixt I-värde och K-värdet varierades:

Resultat som ovan, när K-värdet ändrades.

Simulering av tank 1 på analogmaskin.

I fig. 1.13 visas en kurva, med $T = 16.6$ sek. Insvängningstiden bestäms helt av värdet på $k_1 = 1/T_1$, medan slutvärdet bestäms av insignalens värde. (Jmf. fig. 1.14 och 1.15, som visar kurvor upptagna direkt på systemet).

Fig. 13. Simulering av tank 1.



Appendix 1

Uppgifter.

Manuell styrning av tanknivåerna med hjälp av potentiometer.

Ställ in potentiometern på värdet 6, vilket motsvaras av 10 på den linjära potentiometern. Enligt tankarnas gradering fås då höjderna 15 resp. 35 i tankarna 1 och 2. Vid en ändring till potentiometervärdet 5, motsvarar 5 på regulatorpotentiometern, sjunker nivåerna i båda tankarna till 0, d.v.s. utflödet ur resp. tank är större än inflödet. Om potentiometern ändras tillbaka till 6, tar det ca 75 sek. innan jämviktsnivåerna åter uppnåtts. I tank 1 får vi en ökning till ca 1.5 gånger slutvärdet, innan jämviktsnivå erhållits. Se fig. 1.14. (Överslängen i fig. 1.14 uppträder endast vid mycket låga startnivåer). Om potentiometern ändras till 6.5, ändras nivåerna till 35 resp. 65 skaldelar och det tar ca 60 sek. att nå slutvärdet.

(Skalan på höger regulator)² = skalan på vänster regulator.

Styrning av tanknivåerna, med reglering av ventilen
(olinjär reg.-skala).

Förfarande som ovan.

Med $q_{\text{ref}}^2 = 3.2$ fås nivåerna 15 resp. 30 i de två översta tankarna. Om q ändras till 2.2 ($\sqrt{5}$) blir utflödet större än inflödet, i båda tankarna. Ändras q tillbaka till 3.2 tar det ca 60 sek. innan nivåerna stabiliserats. Ändra q till 3.9 ($=\sqrt{15}$) och nivåerna blir 35 resp. 65 skaldelar och det tar ca 1 min. att uppnå jämviktsnivån.

I fig. 1.15 och 1.16 visas några stegsvar för tank 1.

Simulera stegsvar i tank 1 på analogmaskinen, med

$$k_1 = 060 \text{ på } 10\text{-Volts området}$$

$$\frac{\Delta q}{A} = 005 \text{ på } 10\text{-Volts området}$$

Skalning ger

$$k_1 = 600$$

$$\frac{\Delta q}{A} = 050$$

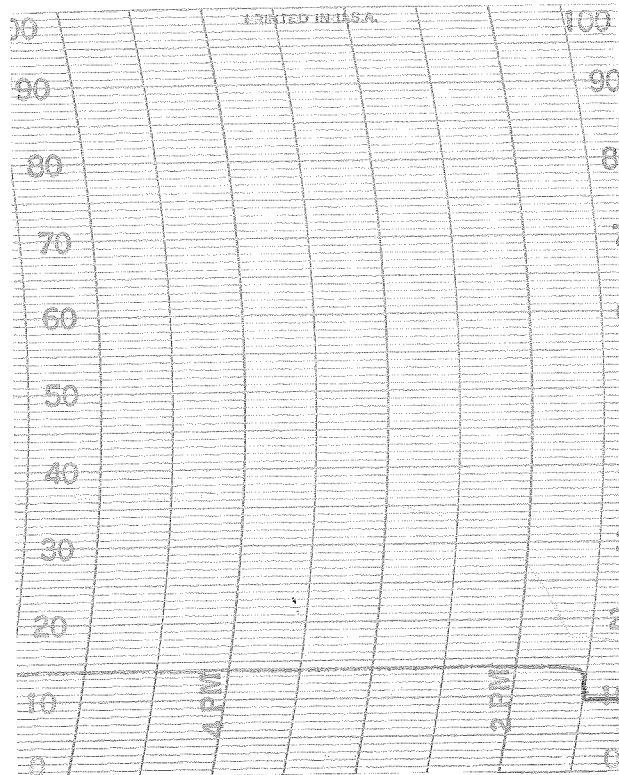
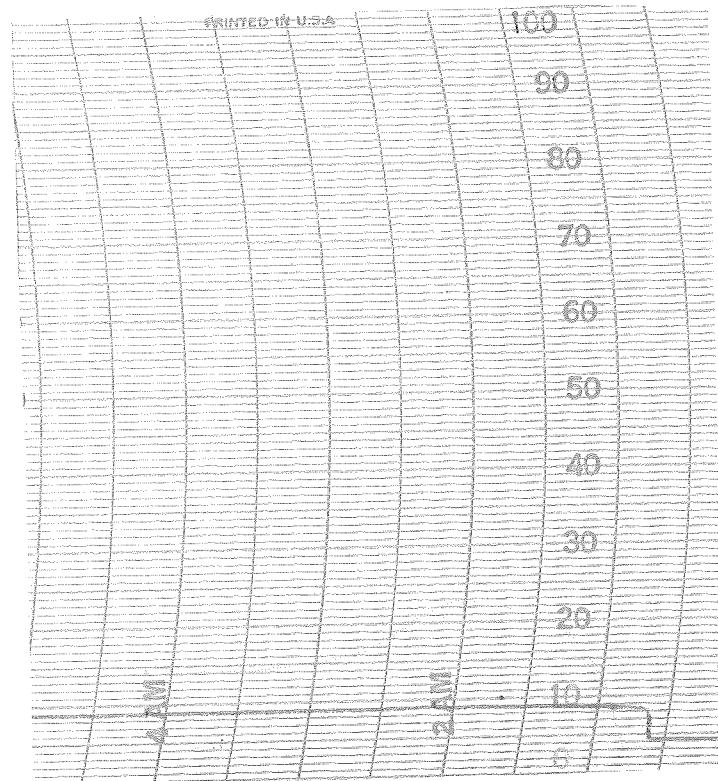
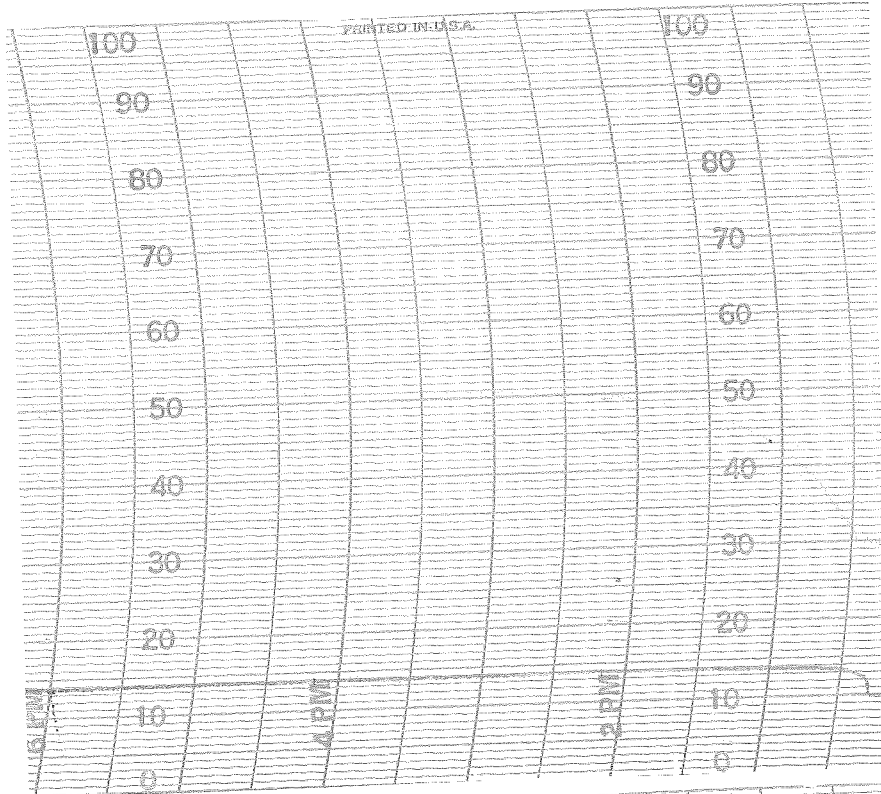
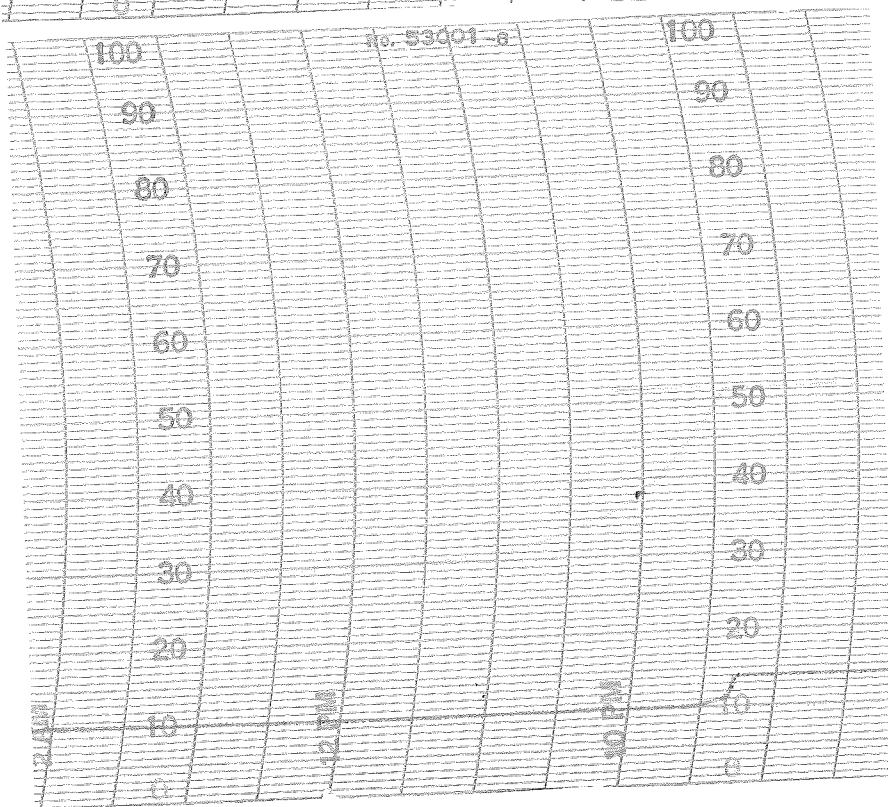


Fig. 1.14. Manuell reglering av tank 1.

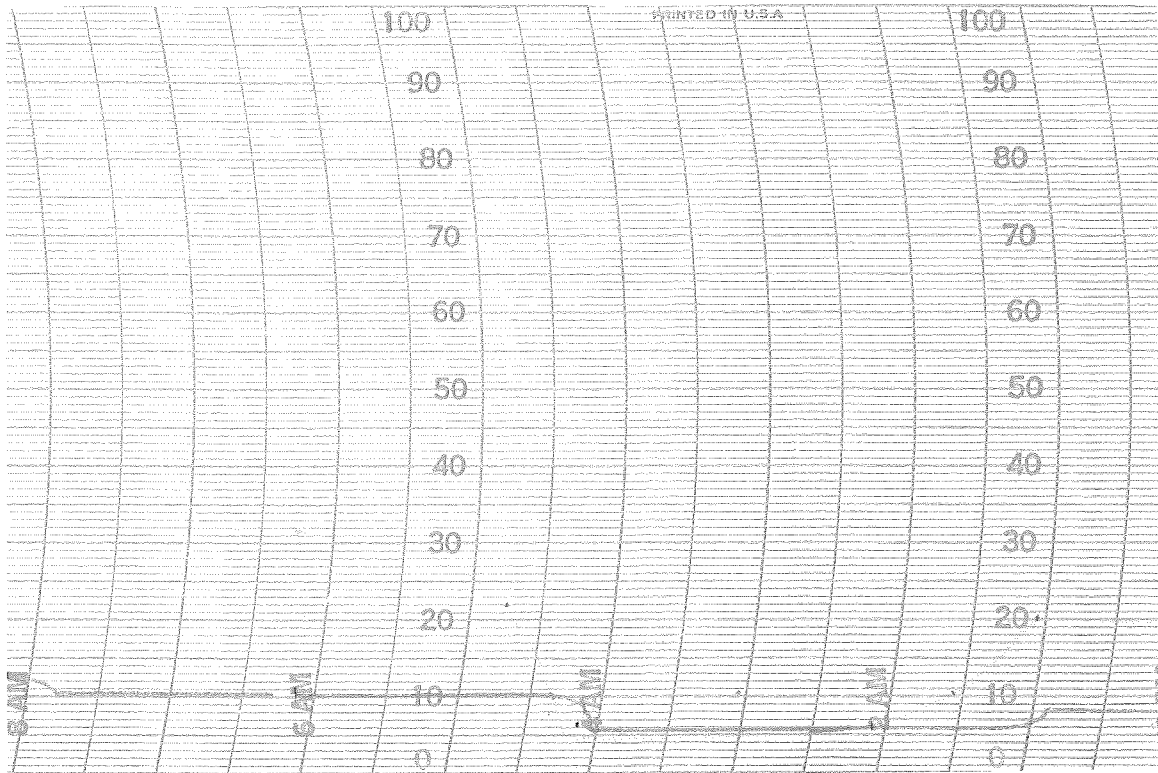


T = 18.8



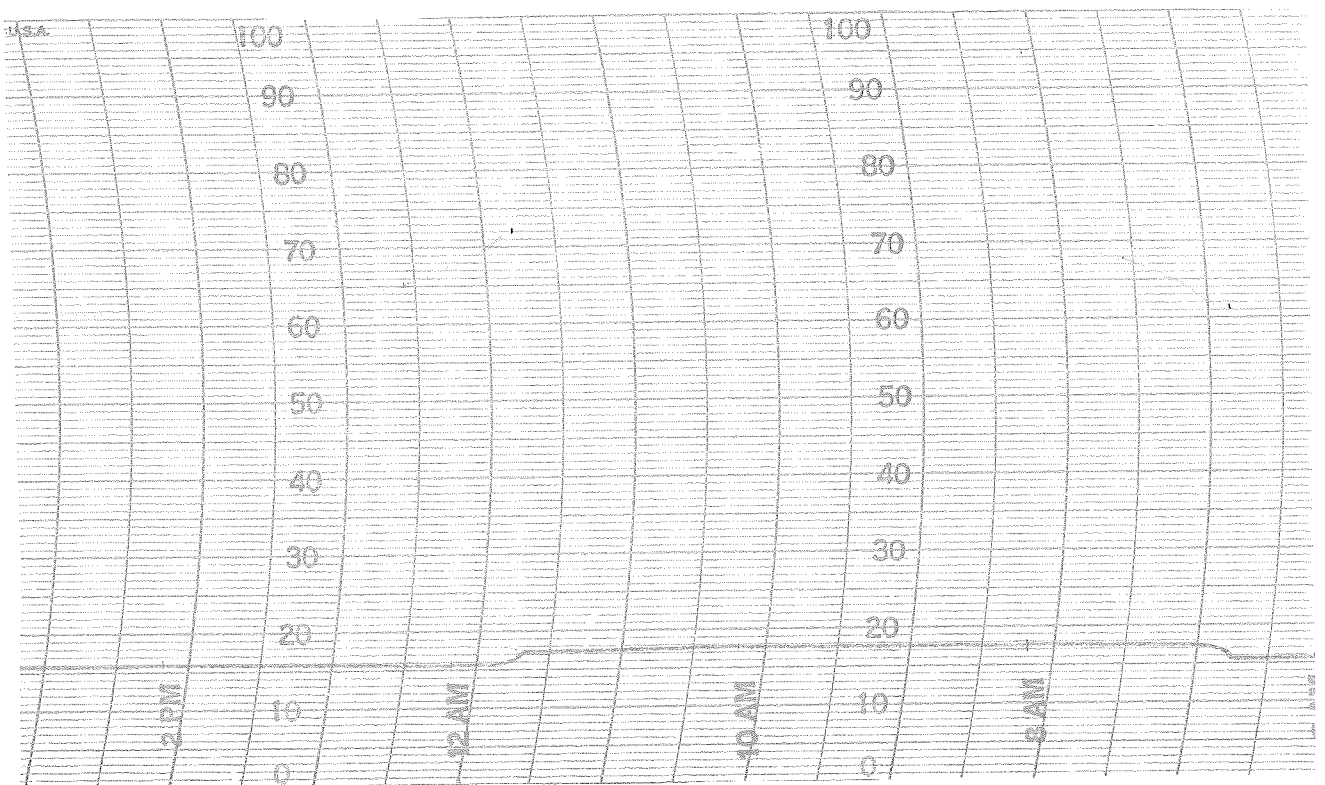
T = 18

Fig. 1.15. Stegsvär, tank 1 med ventilreglering.



$T \approx 18.4$ sek.

$T \approx 16$ sek.



$T \approx 21.9$

$T \approx 19.6$

Fig. 1.16. Stegsvär, tank 1, med reglering av ventilen.

Nivåreglering av tank 1 med PI-regulator.

Lämpliga parametrar:

$$\text{ventilregulator:} \quad \text{PI:} \begin{cases} P = 100\%, \text{ d.v.s. } K = 1 \\ I = 0.25 \text{ min.} \end{cases} \quad (\text{läge remote})$$

$$\text{nivåregulator:} \quad \text{PID:} \begin{cases} P = 13\% \\ I = 1 \text{ min.} \\ D = 0 \end{cases} \quad (\text{läge local})$$

Ställ in h_{ref} på värdet 15 och ändra sedan till 35. Det tar ca. 15 sek. för att uppnå jämvikt, d.v.s. systemet har blivit mycket snabbare. (Referensvärdet ställs in manuellt, med hjälp av en spak på regulatorn, varefter spaken förs till läge 'auto', när önskat värde uppnåtts).

Se figur 1.17.

De negativa stegen i figur 1.17 har en kraftig översläng, vilket beror på att det tar en viss tid för ventilen att öppna, när den varit stängd.

q_{ref}^2

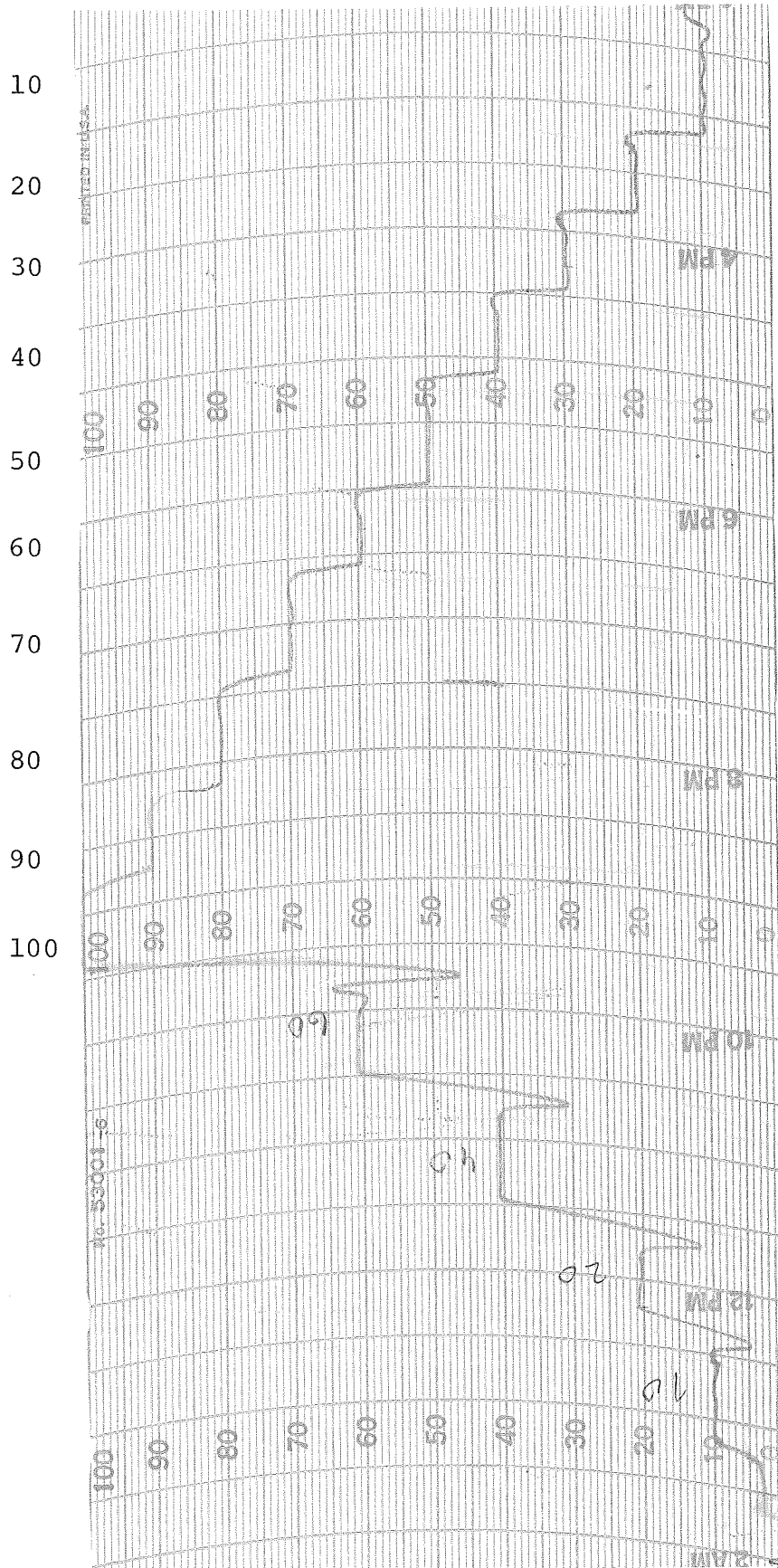


Fig. 1.17. Nivåreglering av tank 1. $P = 13\%$, $I = 1$ min.

Nivåreglering av tank 2.

Försök med PI-regulator, med samma parametrar som för tank 1, misslyckas. Vi måste ha en PID-regulator. Se figur 1.18.

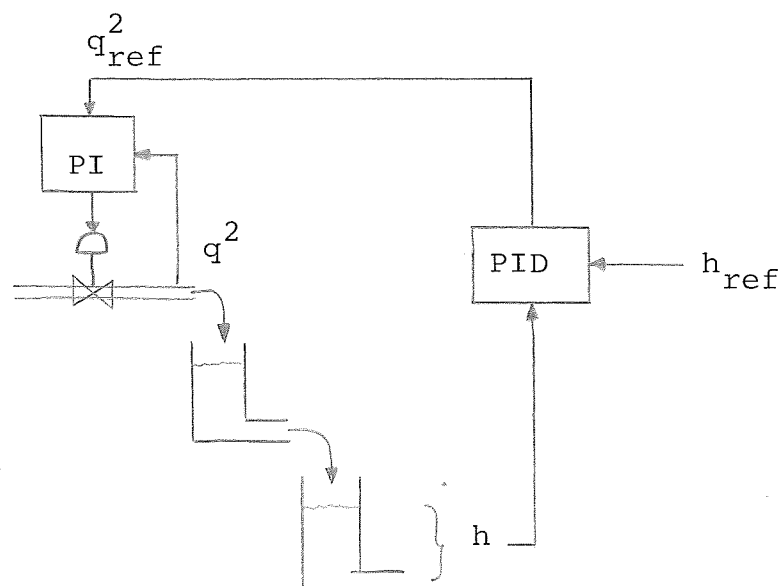


Fig. 1.18. Nivåreglering av tank 2, med ventilreglering.

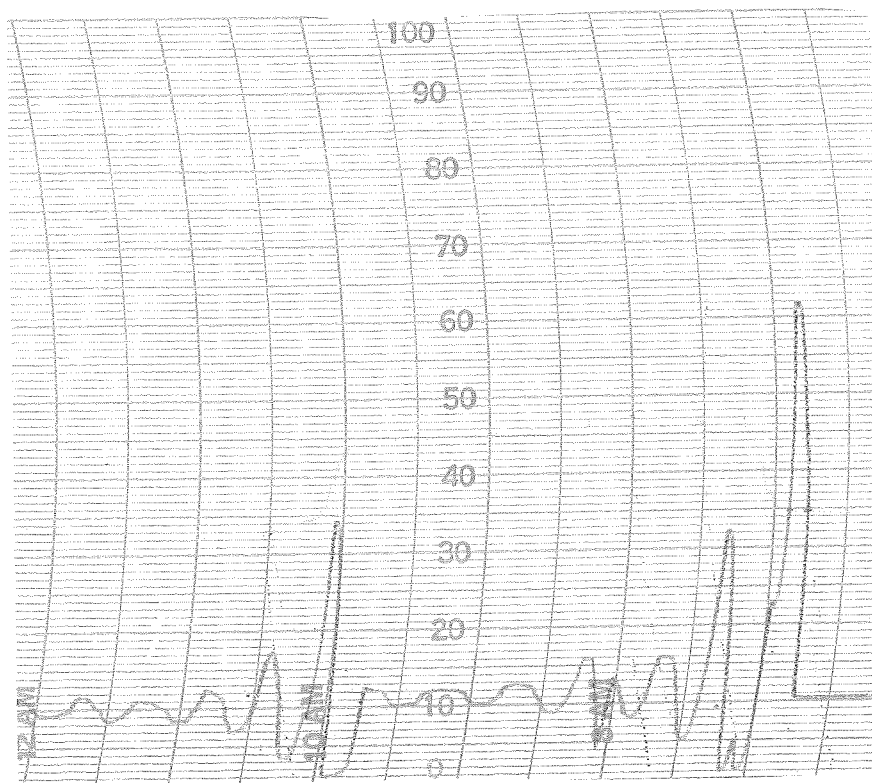
Lämpliga parametervärden:

$P = 30\%$, $I = 0.45$ min., $D = 0.1$ min. (enligt Ziegler-Nichols). Test visar att $P = 10 - 30\%$, I och D som ovan.

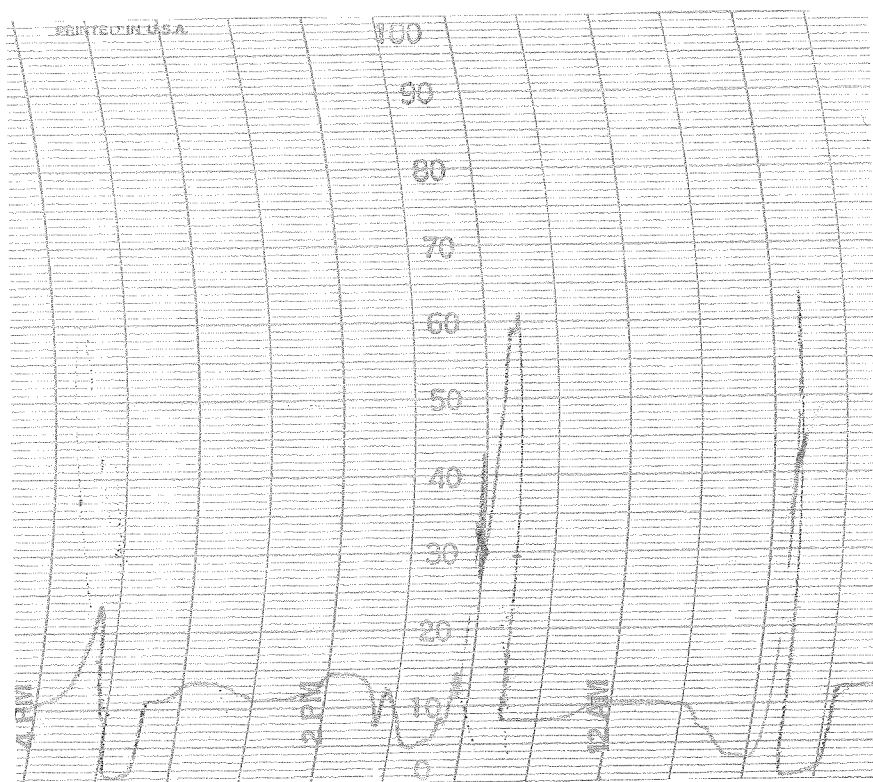
Lämplig jämviktsnivå är 40 - 45 skaldelar, enligt tankmätaren. Stegändringarna bör inte vara större än 10 -15 skaldelar, för att ej utlösa larm. (Vid alltför stora steg kan I-delen bli för stor, varvid systemet blir "oregerligt").

Utförande i övrigt, sker helt analogt med reglering av tank 1.

Se figur 1.19.



P = 10%
I = 0.45 min.
D = 0.1 min.



P = 30%
I = 0.45 min.
D = 0.1 min.

Fig. 1.19. Nivåreglering av tank 2.

2. ELEKTRISKT SERVOSYSTEM

Beskrivning av servosystemet finns gjord i SMAK, på sidorna 4.6 - 4.8 och 4.12 - 4.13.

Härledning av tillståndsekvationerna och överföringsfunktion redovisas i PM till lab. 3-4, AK: sid. 2 - 8. Nedan redovisas resultaten av några experiment och i appendix ges exempel på lab.-uppgifter.

Vi skall undersöka beteendet hos ett elektriskt servosystem, då vissa parametrar varieras. Nedan ges exempel på några variabler som kan vara av intresse samt vad man ev. kan göra för att förbättra systemets beteende.

2.1. Variation av referensvärdet.

Genom att ändra referensvärdet, kan man få lägesgivaren att inta ett nytt stationärt läge. Det öppna systemet kan endast med vissa svårigheter styras manuellt, emedan systemet inte är asymptotiskt stabilt, ty

$$G(s) = \frac{50K}{s(s+10)} .$$

Genom att återkoppla systemet kan dess egenskaper förbättras i flera avseenden: systemets känslighet för belastningsvariationer (t.ex. vid störmoment) och variationer i systemparametrar (t.ex. krets förstärkning) kan avsevärt nedbringas. Behandlingen av servot kommer följaktligen att ske på det enkelt återkopplade systemet.

Systemet återkopplas från lägesgivaren och vi får ett lägesservo, med överföringsfunktionen

$$G(s) = \frac{50K}{s^2+10s+50K} .$$

Då inget annat sägs skall vi ha $K = 2$.

Det öppna systemet återkopplas genom att signalen från lägesgivaren kopplas till en minusgång på differensbildaren.

Resultat.

Om referenspotentiometern ändras åt något håll, från nollläget, rör sig löparen åt samma håll. Sträckan, som löparen rör sig, är direkt proportionell mot ändringen i referensvärdet.

2.2. Stegsvaret .

För att bättre klargöra själva processens beteende, kan man betrakta stegsvaret, varigenom man kan få ett flertal intressanta uppgifter, t.ex. stigtid, insvängningstid, översläng och statistiskt fel. För att ändra på dessa, eller någon av dessa storheter, kan man t.ex. variera kretsförstärkningen.

Ställ in signalgeneratoren, så att den ger en fyrkantvåg med amplituden $2 V_{pp}$ och frekvensen 0.25 Hz. Denna inställning skall, då inget annat anges, gälla i fortsättningen.

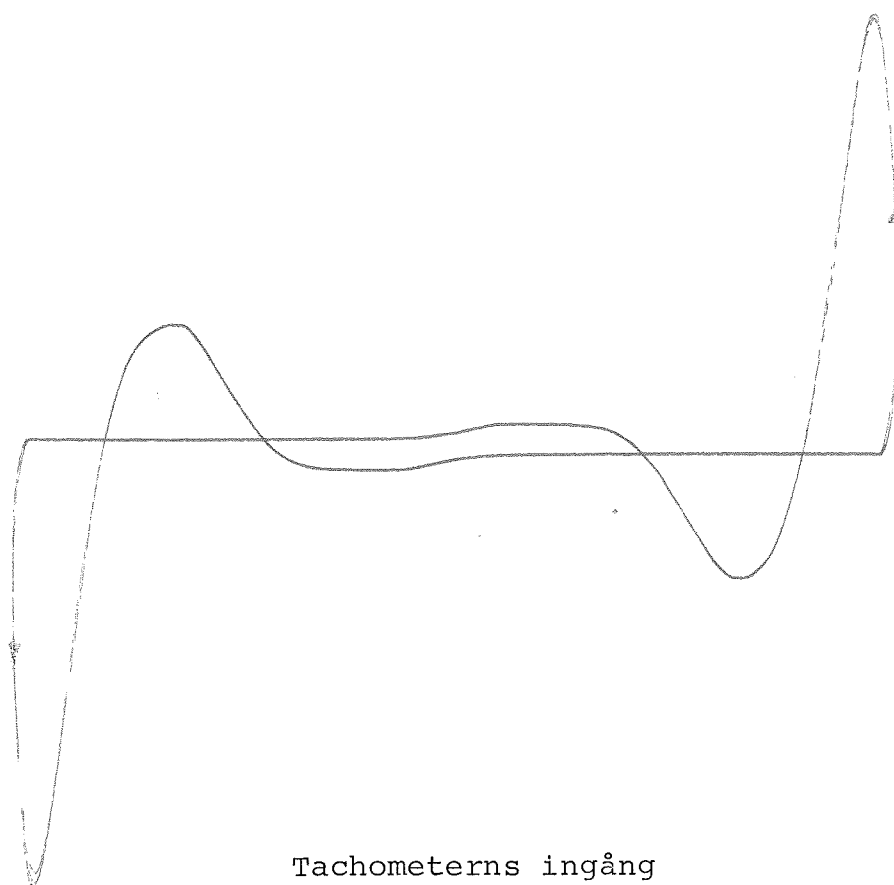
Koppla fyrkantvågen till differensbildarens plusgång. Tag svepspänning till oscilloskopet, X-Y-kopplat, från signalgeneratorns triangelvåg.

I figurerna 2.1 och 2.2 visas stegsvaret från några mät-punkter. Generellt gäller:

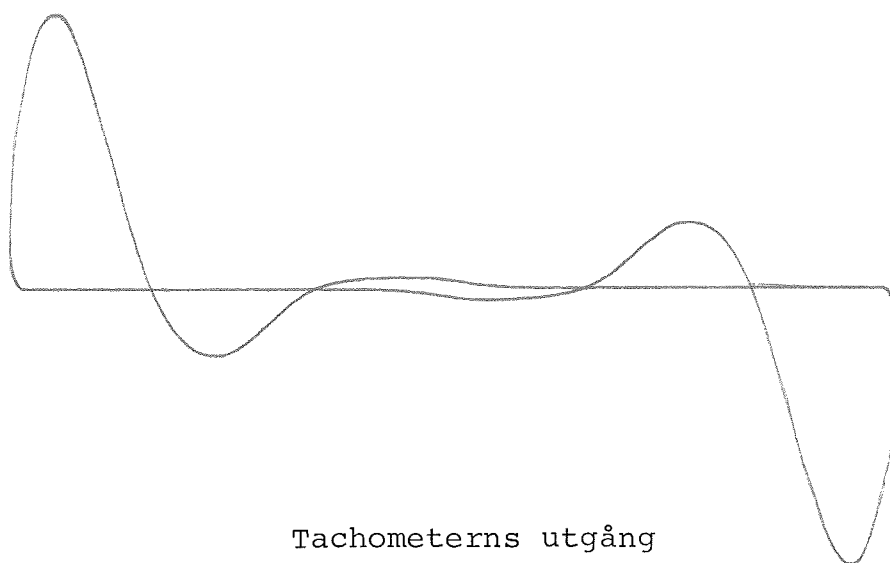
Löparen rör sig på de vertikala delarna av kurvorna.

Kompenseringsnätet inverterar endast signalen.

Tachometers utgång: utsignalen är proportionellt mot vinkelhastigheten.



Tachometerns ingång



Tachometerns utgång

Fig. 2.1. Stegsvär

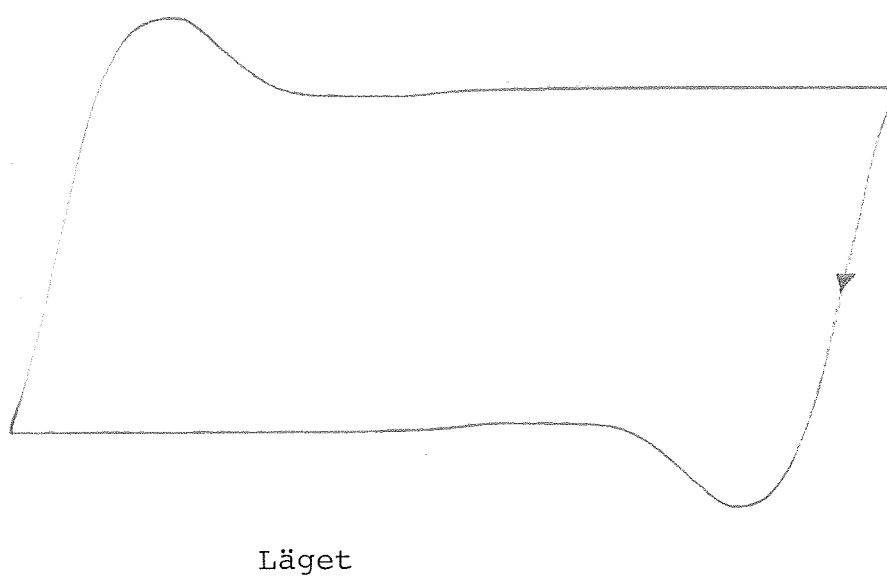
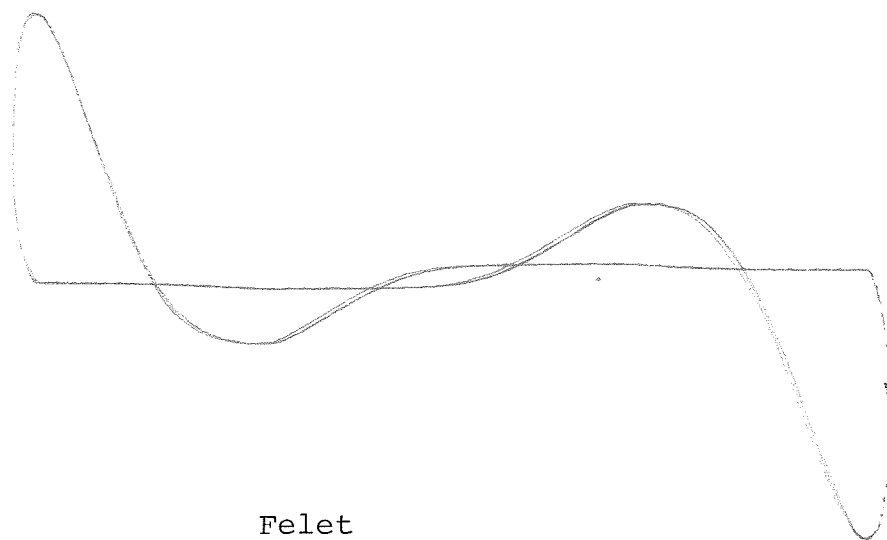


Fig. 2.2. Stegsvar

2.3. Statiska felet.

Med hjälp av stegsvarsanalys kan vi få en uppfattning om storleken av det statiska felet.

Då lägesgivarens överföringskonstant är 0.21 V/mm, skall löparen teoretiskt röra sig 9.52 mm, vid ett steg på 2 V. Mätningar visar att löparen rör sig ca 8 mm. Vi har alltså fått ett stationärt fel, orsakad av friktion.

Teoretiskt skall det stationära felet bli noll, ty med hjälp av fig. 2.3 fås

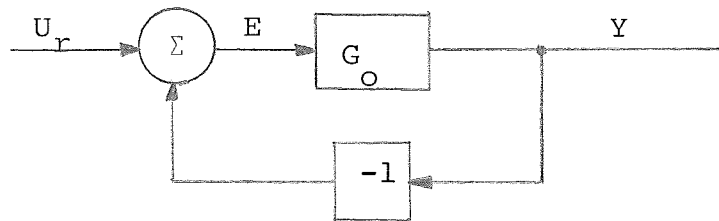


Fig. 2.3. Det enkelt återkopplade systemet

$$\left. \begin{array}{l} \overbrace{(U_r - Y)}^E \cdot G_O = Y \\ Y = U_r - E \end{array} \right\} \Rightarrow E \cdot G_O = U_r - E$$

$$E(s) = \frac{U_r}{1+G_O} \quad \text{och} \quad G_O = \frac{50K}{s(s+10)}$$

$$\text{steg: } U_r = 2/s$$

$$\text{slutvärdesteoremet: } \lim_{t \rightarrow \infty} e(t) = \lim_{s \rightarrow 0} s E(s) = 0,$$

d.v.s. inget stationärt fel i detta fall

2.4. Variation av krets förstärkningen (Riktvärde = 2)

Genom att öka krets förstärkningen kan det stationära felet minskas.

För det enkelt återkopplade systemet, med $G(s) = \frac{50K}{s(s+10)}$

blir karakteristiska ekvationen: $s^2 + 10s + 50 \cdot K = 0$

$s = -5 \pm \sqrt{25 - 50K}$; dubbelrot för $K = 0.5$,

d.v.s. systemet skall teoretiskt börja svänga för $K = 0.5$.

Se fig. 2.4.

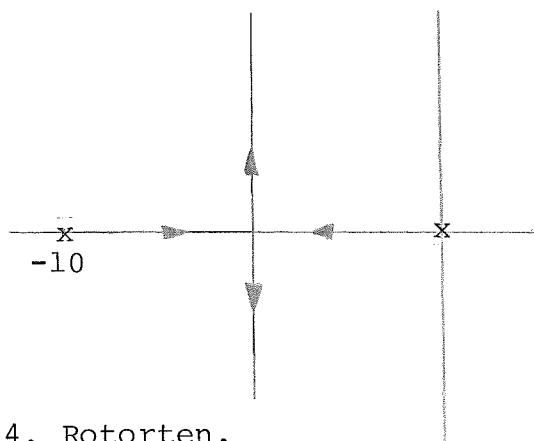


Fig. 2.4. Rotorten.

$K = 0 \Rightarrow s = 0, s = -10$

$K \rightarrow \infty \Rightarrow s \rightarrow -5 \pm j\infty$, d.v.s. systemet blir aldrig instabilt.

Mindre K-värden: För $K = 0.5$, i den karakteristiska ekvationen, ska systemet börja svänga, men på grund av friktionen börjar systemet svänga först för $K = 1$. (Man kan med blotta ögat ej konstatera svängningar när de teoretiskt torde finnas och friktionen fördröjer de oscillativa tendenserna ytterligare litet grand). För $K = 1$ får vi dessutom ett stationärt fel. Friktionen medför nämligen att i stället för att få en översläng, så blir systemet kvar på max.-värdet, d.v.s. det uppmätta slutvärdet är större än det teoretiska.

Större K-värden: Systemet får fler och kraftigare över-
slängar, men det stationära felet minskas. Systemet blir
dock aldrig instabilt. När K ökas blir systemet snabbare,
stigtiden minskas.

Figurerna 2.5 och 2.6 visar lägeskurvans utseende för några
olika K -värden. (Tyvärr är skrivaren inte tillräckligt
snabb, vilket medför att friktionen ej framträder så tyd-
ligt som t.ex. på oscilloskop).

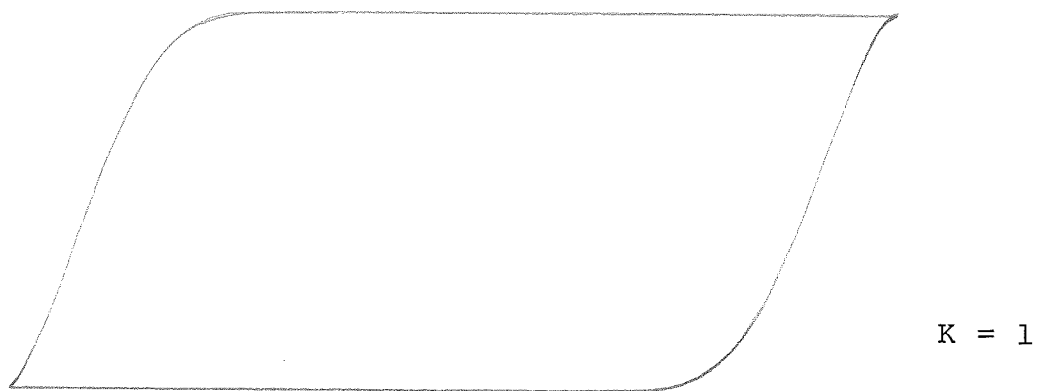
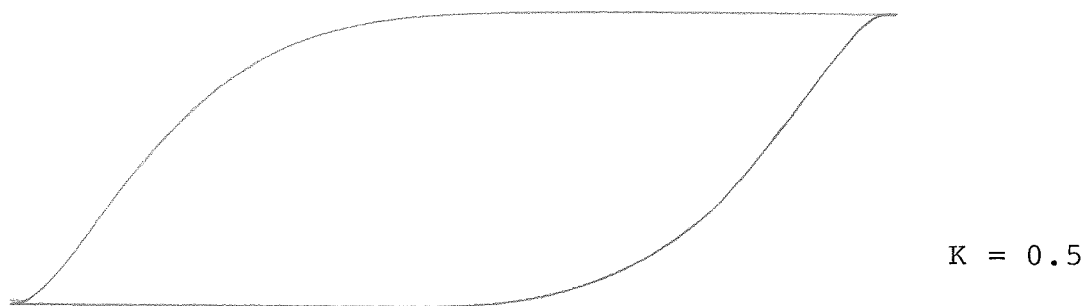
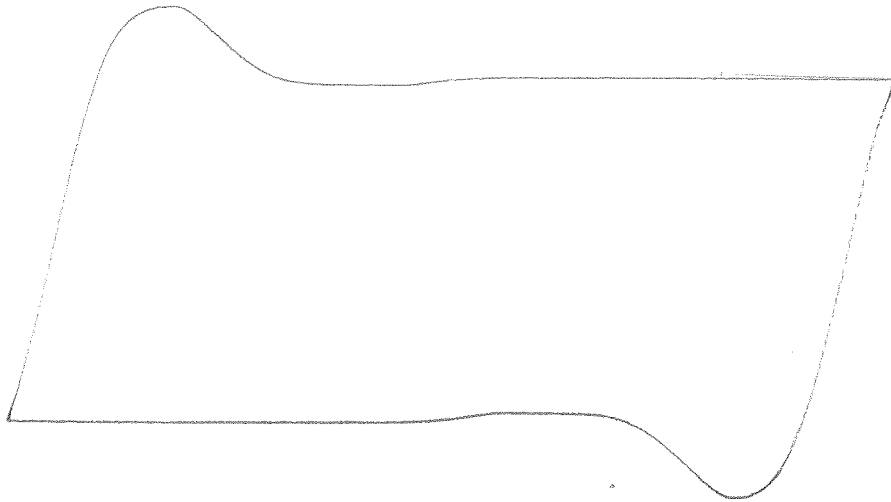
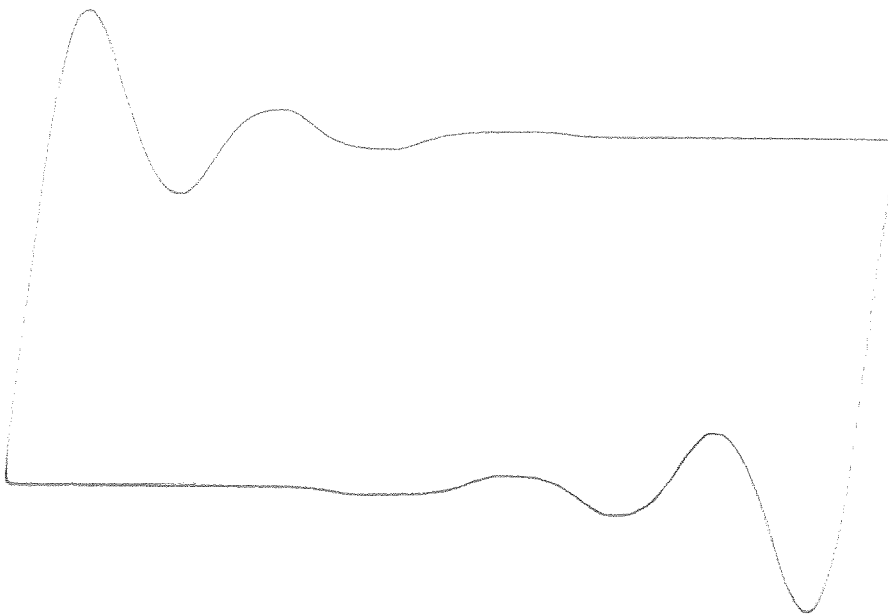


Fig. 2.5. Variation av kretsförstärkningen
(betraktat läget.)



$K = 2$



$K = 5$

Fig. 2.6. Variation av krets förstärkningen
(betraktat läget)

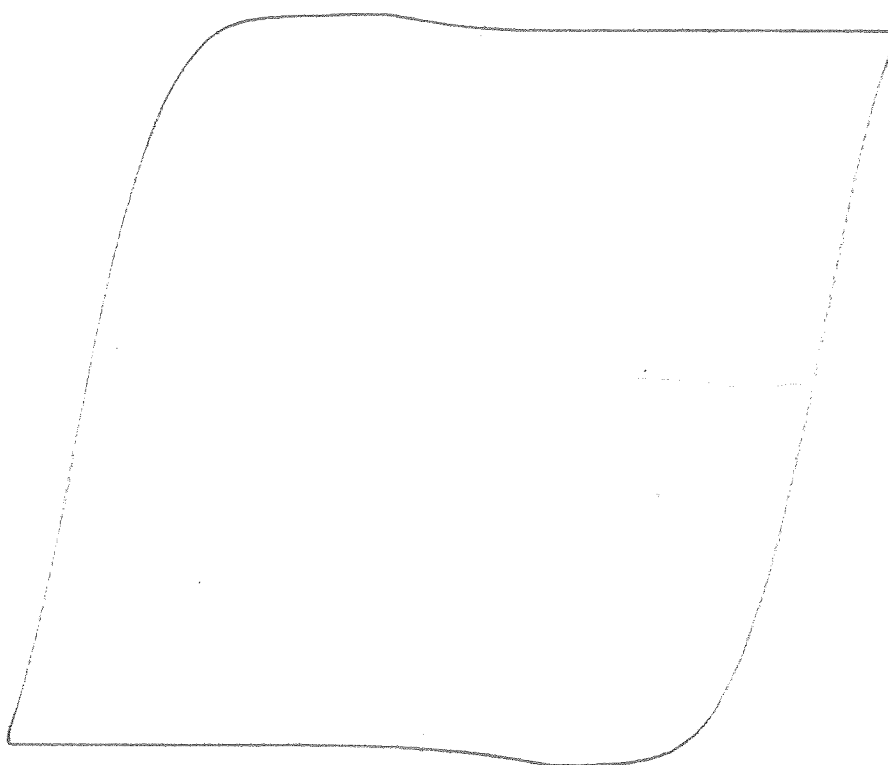
2.5. Variation av insignalen.

Liksom mellan krets förstärkningen och stegsvar, råder ett intimt samband mellan insignal och stegsvar. Genom att variera insignalen kan linjäritet och superpositionssatsens giltighet konstateras.

Om systemet hade varit linjärt, så skulle stegsvaret för en stor insignal sett likadan ut, som för en liten insignal, fast större. I fig. 2.7 och 2.8 visas hur kurvorna förändras, när insignalen varieras. I fig. 2.7 är $K = 1$ och i fig. 2.8 är $K = 2$. (Då $K = 2$ kan man ej applicera så stor inspanning, ty servot fastnar i ena ändläget). Friktionen påverkar också systemet, vilket medför att kurvorna blir "kantigare".



1 V



4 V

Fig. 2.7. Variation av signalen; $K = 1$
(betraktat läget)

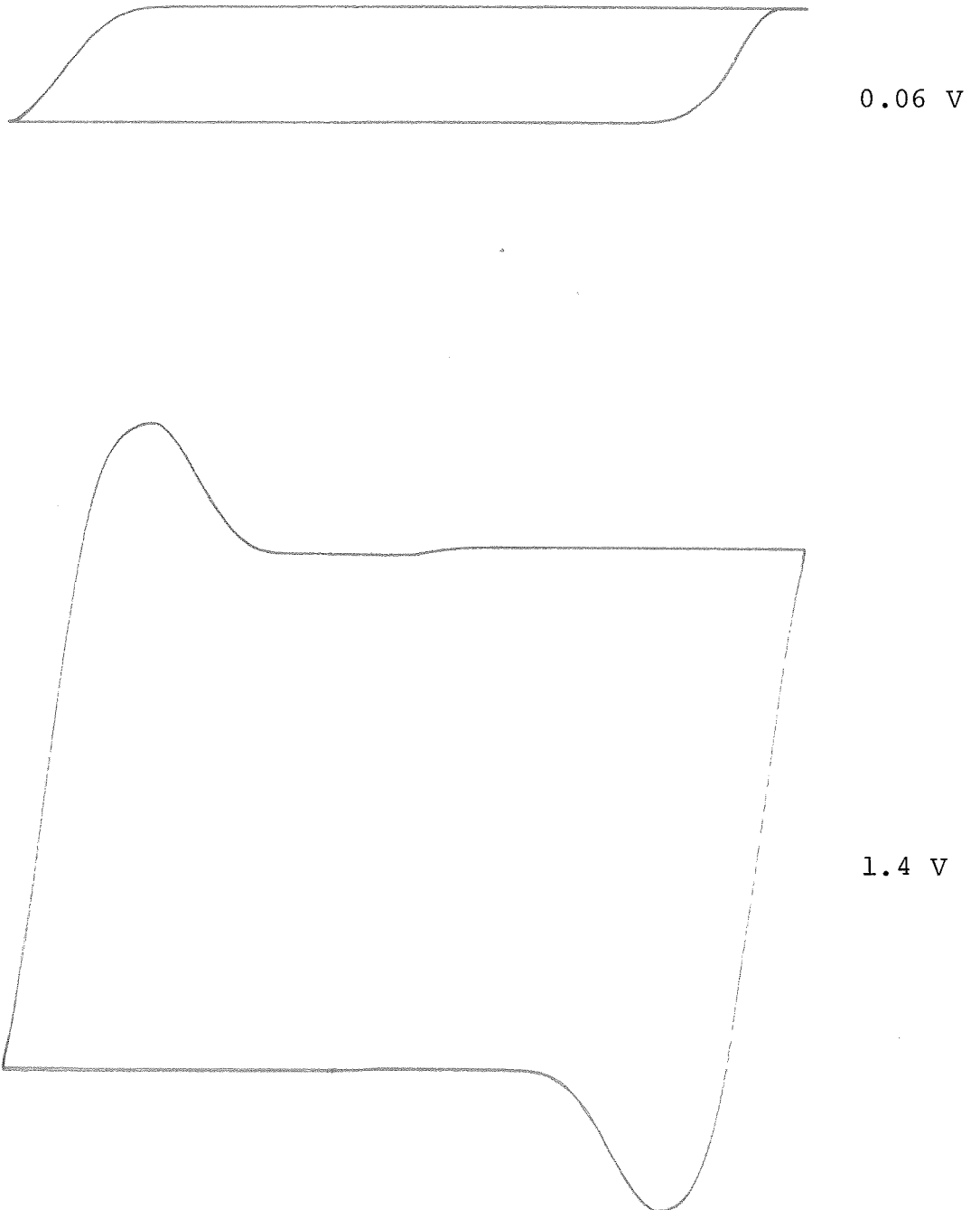


Fig. 2.8. Variation av signalen, $K = 2$.
(betraktat läget)

2.6. Störmoment.

Ett positivt störmoment som appliceras på motoraxeln, har samma effekt som en belastningsökning. Effekten av denna belastningsändring kan dock minskas eller helt elimineras genom att kompenseringsslänkar införes i systemet.

I fig. 2.9 visas blockschema för servo med störmoment.

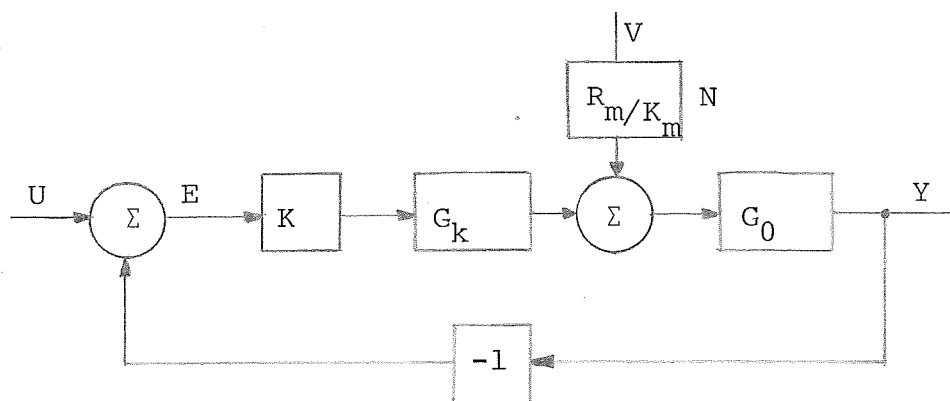


Fig. 2.9. Servo med yttre störmoment.

Teoretiskt fås

$$E = U - Y \quad \text{Sätt } U = 0$$

$$(E \cdot K \cdot G_k + \frac{N}{s}) \cdot G_0 = Y = -E \Rightarrow E = - \frac{N/s \cdot G_0}{1 + K \cdot G_k \cdot G_0} \Rightarrow$$

$$E = - \frac{1/s \cdot \frac{N \cdot 100}{s(s+10)}}{\frac{s(s+10) + 100K}{s(s+10)}} \Rightarrow s \cdot E = - \frac{s \cdot 1/s \cdot 100N}{s(s+10) + 100K} = - \frac{N}{K}$$

$$\left. \begin{array}{l} V = 6.2 \cdot 10^{-4} \quad \text{Nm} \\ K_m = 6.2 \cdot 10^{-3} \quad \text{Nm/A} \end{array} \right\} \Rightarrow \frac{R_m}{K_m} \cdot V = 0.53V = N \Rightarrow$$

$$E = - \frac{0.53}{2} = -0.265$$

Uppmätt: $E = -0.29V$ (friktion)

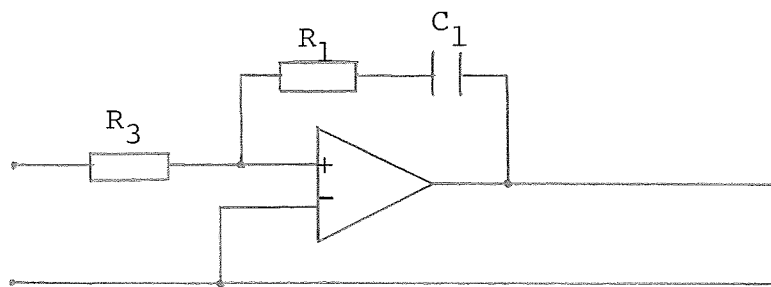
Genom att koppla in kompenseringsslänkar, skall vi nu försöka minska inverkan av störmomentet.

Önskemål: Störmomentet skall gå ned så snabbt som möjligt, samtidigt som fasmarginalen ändras högst 6° . Länken skall realiseras med passiva komponenter.

En PI-länk, d.v.s. ett nät med överföringsfunktionen

$$G_k(s) = K_k \cdot \frac{s + a}{s}$$

elimineras störmomentfel. Nätet kan realiseras enligt figur 2.10.



$$K_k = \frac{R_1}{R_3} \qquad a = \frac{1}{R_1 C_1}$$

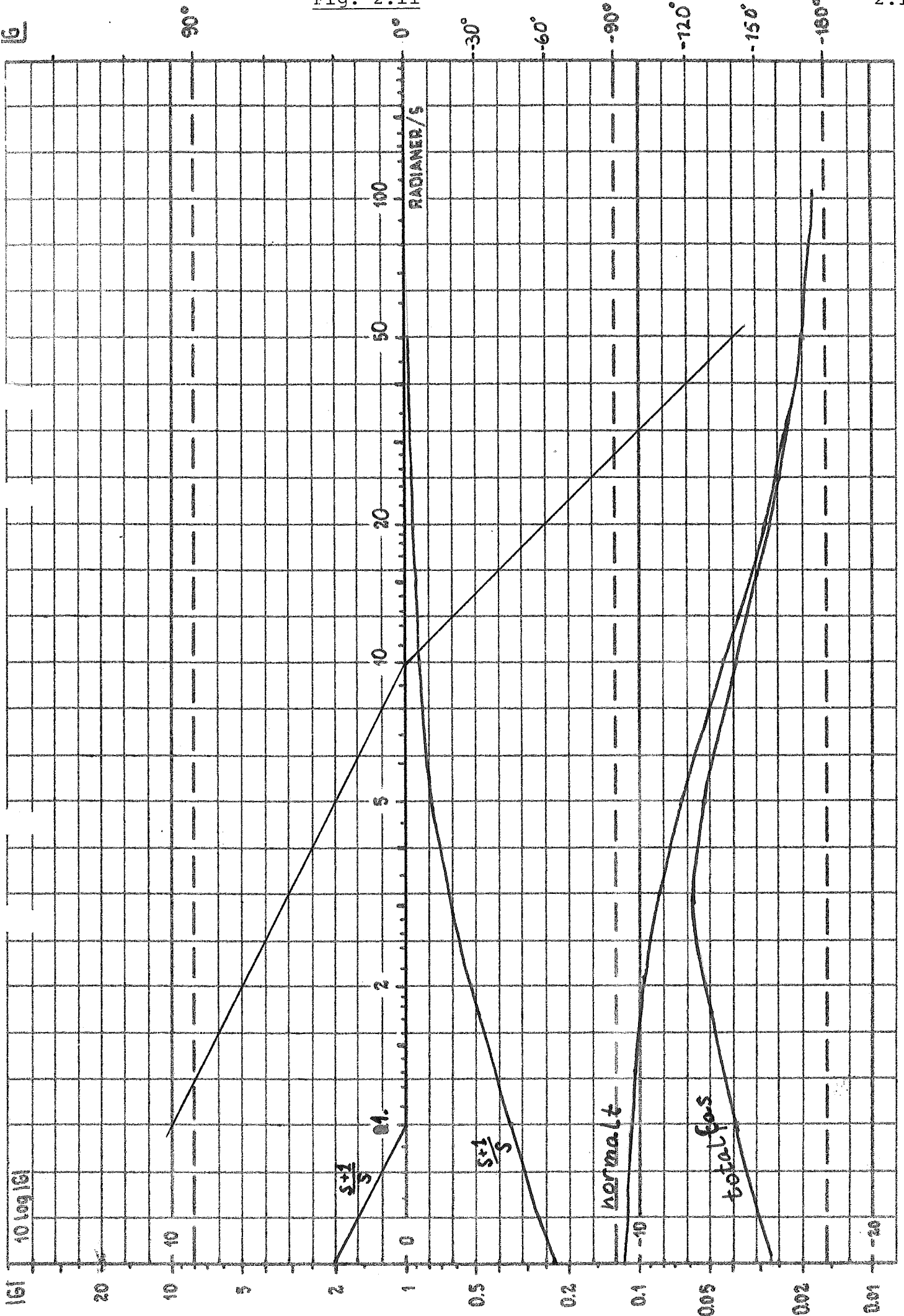
Fig. 2.10. PI-länk för minskning av störmomentets inverkan.

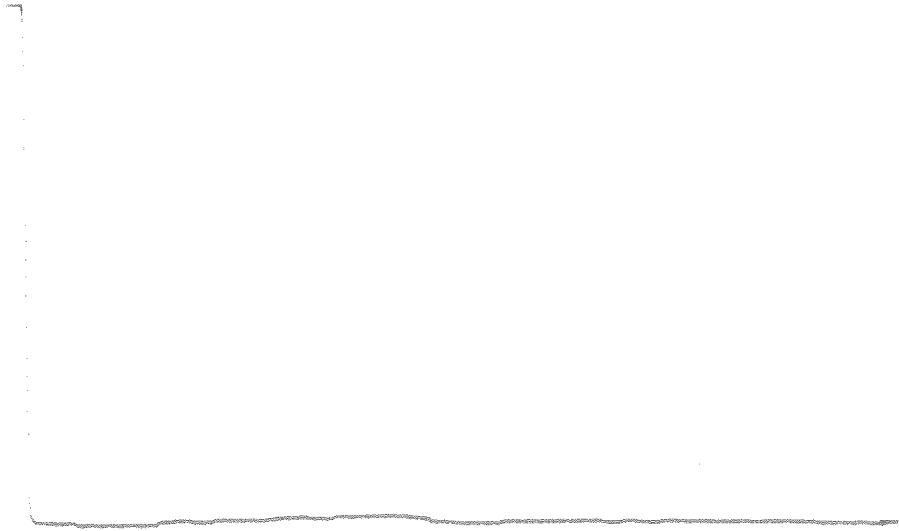
Bodediagram hjälper oss att välja K_k och a , så att kraven kan uppfyllas. I fig. 2.11 visas såväl det öppna systemets som kompenseringsslänkens belopps- och faskurvor.

Skärningsfrekvensen är ca 10 rad/sek och tunregeln (fasretarderande kompensering) ger alltså $a = 1$,

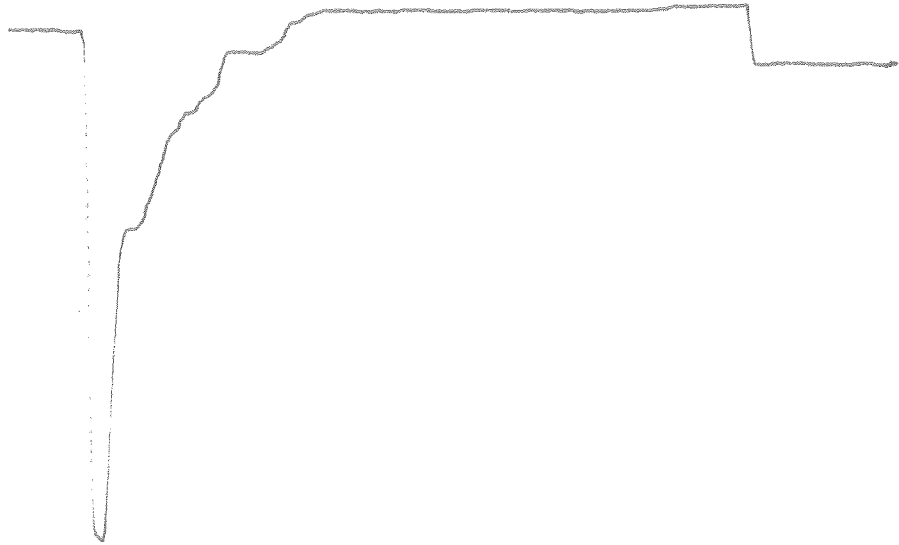
$K_k = 1$. Med $C_1 = 10 \mu\text{F}$ blir $R_1 = R_3 = 120 \text{ k}\Omega$. I fig. 2.12 visas systemets reaktion på ett störmoment, dels utan PI-länk, dels med.

Fig. 2.11





utan kompenseringslänk



med kompenseringslänk

Fig. 2.12. Störmoment.

2.7. Simulering.

Om man ej har möjlighet att göra mätningar och experiment direkt på själva processen, får man tillgripa simulering.

$$\text{Systemet har överföringsfunktionen } G(s) = \frac{100}{s(s+10) + 100}$$

varför vår modell blir enligt figur 2.13.

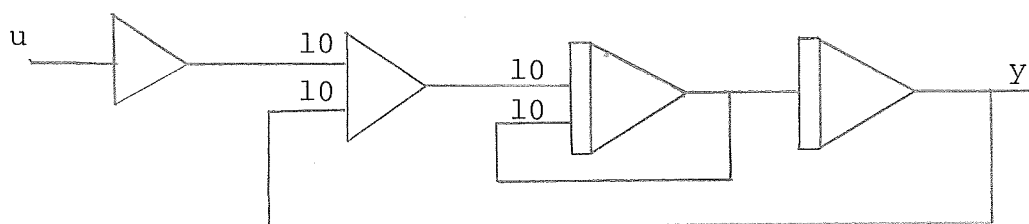


Fig. 2.13. Analogmaskinuppkoppling av servot.

Figurerna 2.14 och 2.15 visar simulerat resp. verkligt system.

På oscilloskop (skrivaren är ej tillräckligt snabb) syns tydligt att det simulerade systemet är helt utan friktion medan detta finns i det verkliga systemet. I det simulerade systemet finns ej heller något stationärt fel. I övrigt ser kurvorna likadana ut.

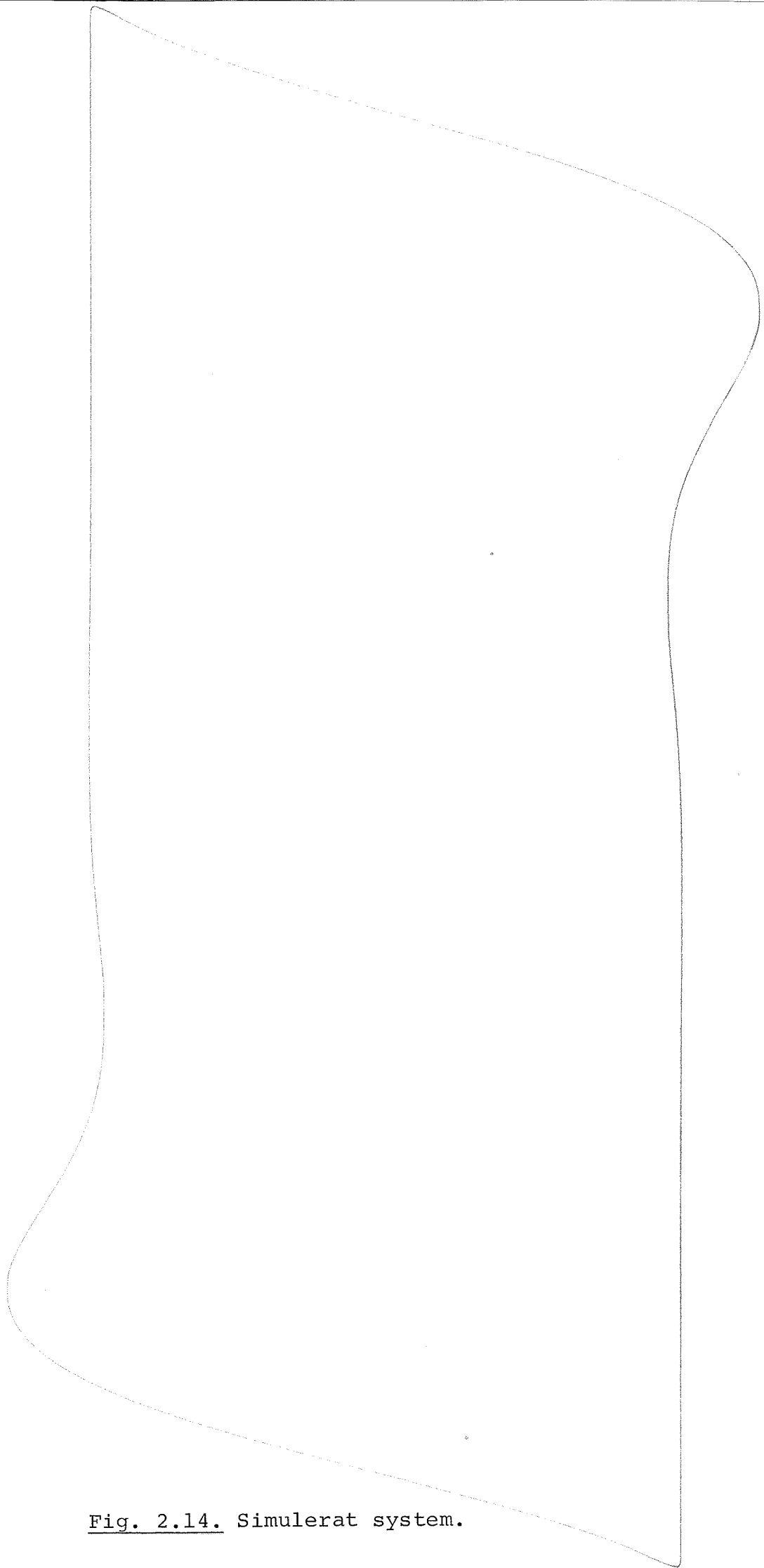


Fig. 2.14. Simulerat system.

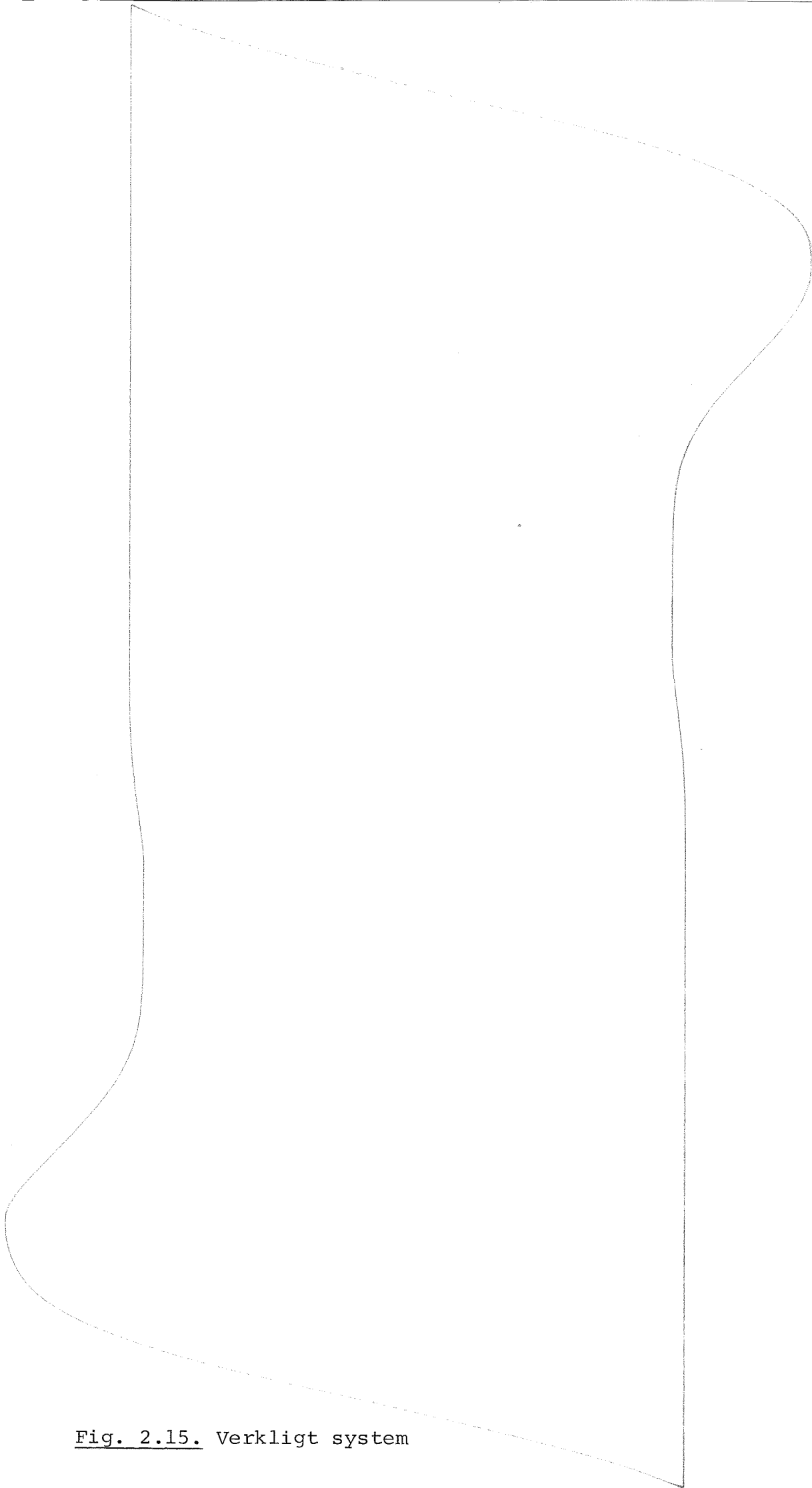


Fig. 2.15. Verkligt system

2.8. Appendix 2.

1 Variation av referensvärdet

Variera referensvärdet och observera löparens rörelser.

2 Stegsvaret

Studera signalen i systemets olika mätpunkter.

Vilken är den fysikaliska tolkningen av de olika signalerna?

3 Statiska felet

Beräkna hur långt löparen rör sig då insignalen är ett steg på två V.

Beräkna det stationära felet, för samma insignal.

Jämför de uppmätta värdena med de teoretiskt beräknade samt förklara ev. skillnad.

Vad kan göras för att minska det stationära felet?

4 Variation av kretsförstärkningen

Hur ändras systemet, speciellt stegsvaret, då kretsförstärkningen ändras? Jämför med verkligheten.

När blir systemet instabilt?

5 Variation av insignalen

Studera hur stegsvaret förändras och förklara dess beteende, då insignalens amplitud varierar från 0 till 5 V.

6 Störmoment

Beräkna det stationära felet då ett störmoment på $6.2 \cdot 10^{-4}$ Nm läggs på axeln.

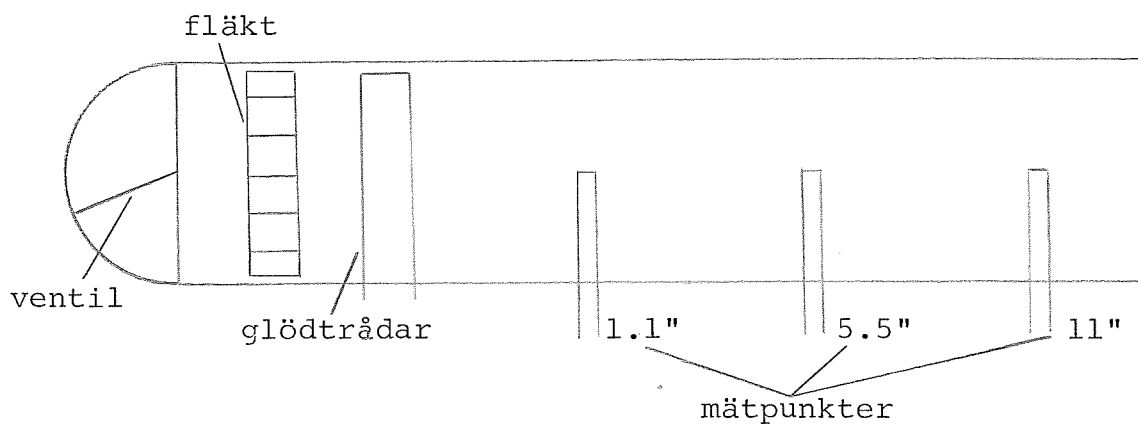
Jämför uppmätt och beräknat värde.

7 Minskning av störmomentet

Koppla in en PI-länk och kontrollera vad som sker med störningen. Jämför med uppgift 6.

8 Simulering

Jämför utsignalerna från modellen och från det verkliga systemet.

3. VARMLUFTSAGGREGAT (PT 326)3.1. Processbeskrivning:

En centrifugalfläkt blåser luft från atmosfären, via ett värmegaller, genom ett rör tillbaka till atmosfären.

Processen består av att upphetta luftströmmen genom röret till önskad temperaturnivå, varefter temperaturen mätes och jämföres med börvärdet. Ett ev. fel förstärkes och genererar en signal till ett korrigerande element, i detta fall värmegallret.

Blockschema över varmluftsaggregatet visas i fig. 3.1.

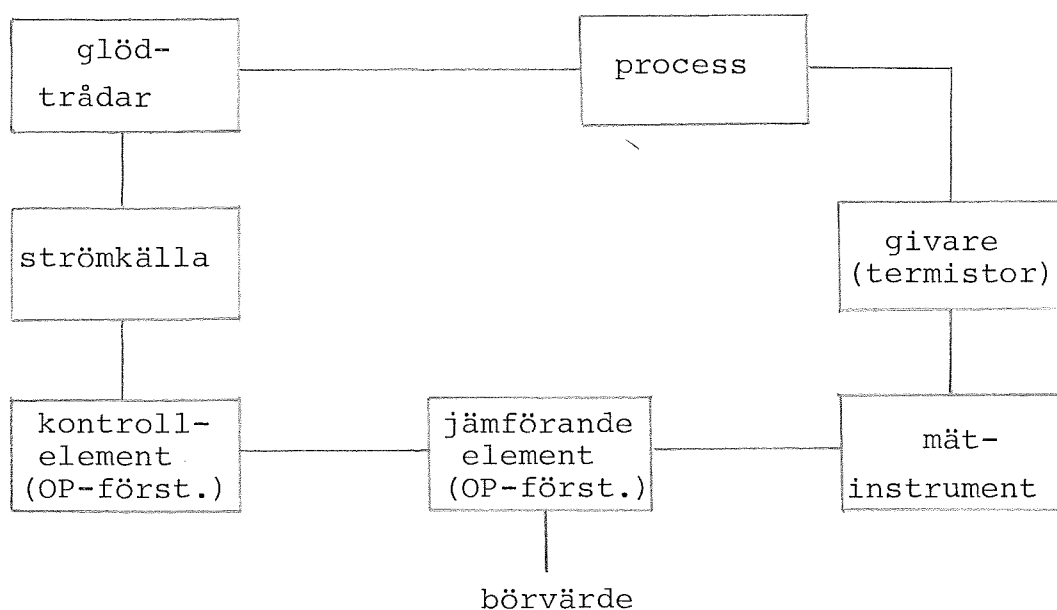


Fig. 3.1. Blockschema över varmluftsaggregatet.

3.2. Modellbygge

Innan de på processen utförda experimenten redovisas genomföres först en matematisk härledning av systemet, vilket blir vår modell.

Det antages att den från luftströmmen till plaströret överförda värmen är försumbar. Vidare antages att värmetrådarnas temperatur ändras momentant för en effektändring.

Låt gallertemperaturen, T_g , vara insignal och den av detektorn uppmätta temperaturen, T_d , vara utsignal.

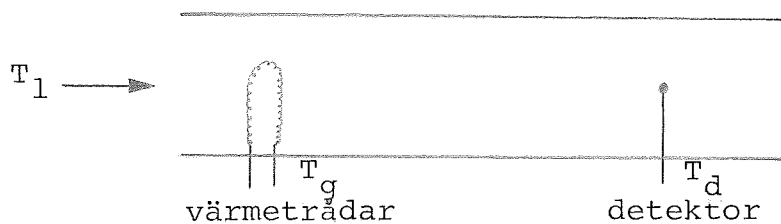


Fig. 3.2. Processmodell

Med fig. 3.2 som processmodell och där

T = temperatur

m = massa

c = värmekapacitivitet

h = värmeövergångskoefficient

A = area

index g , l och d avser värmegaller, luft och detektor samt energibetraktelse av systemet fås då

$$\left\{ \begin{array}{l} m_1 \cdot c_1 \cdot \frac{dT_1}{dt} = A_g \cdot h_g (T_g - T_1) \\ m_d \cdot c_d \cdot \frac{dT_d}{dt} = A_d \cdot h_d (T_1 - T_d) \\ y = T_d \end{array} \right. \Rightarrow$$

$$\begin{bmatrix} \dot{T}_1 \\ \dot{T}_d \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -k_1 & 0 \\ k_d & -k_d \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} T_1 \\ T_d \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} k_1 \\ 0 \end{bmatrix} T_g \quad T_g = A \cdot \begin{bmatrix} T_1 \\ T_d \end{bmatrix} + B \cdot T_g$$

$$y = \begin{bmatrix} 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} T_1 \\ T_d \end{bmatrix} = C \cdot \begin{bmatrix} T_1 \\ T_d \end{bmatrix}$$

där

$$k_1 = \frac{A_g \cdot h_g}{m_1 \cdot c_1} = 1/T_1 \quad \text{och}$$

$$k_d = \frac{A_d \cdot h_d}{m_d \cdot c_d} = 1/T_d$$

$$T = 1/k = \text{tidskonstanten}$$

(Då ekvationerna är linjära kan vi tänka oss $\frac{dT}{dt}$ som en avvikelse från den stationära lösningen.)

$$\text{Enligt } G(s) = C(sI - A)^{-1}B + D$$

blir systemets överföringsfunktion

$$G(s) = \frac{k_1 \cdot k_d}{(s+k_1)(s+k_d)} = \frac{1}{(sT_1 + 1)(sT_d + 1)}$$

För att få den kompletta överföringsfunktionen måste dessutom hänsyn tagas till transportfördröjningen, på grund av luftströmmens begränsade hastighet. Detta medför att $G(s)$ skall multipliceras med termen e^{-sT} , där storleken av T

beror på vilken mätpunkt som avses. Under givna förutsättningar, blir alltså vår modell

$$G(s) = \frac{e^{-sT}}{(sT_l+1)(sT_d+1)} .$$

3.3. Frekvensanalys.

Då detta är en för oss okänd process, skall vi även genom experiment försöka utreda systemets dynamik, vilket kan ske genom frekvensanalys.

Frekvensanalys är en av de mest använda metoderna för att bestämma dynamiken hos ett stabilt, linjärt system. Metoden, som ger systemets överföringsfunktion direkt, utnyttjar det faktum att det stationära svaret på insignalen

$$u(t) = u_0 \cdot \sin \omega t$$

för ett stabilt, linjärt system, med överföringsfunktionen $G(s)$, är $y(t) = y_0 \cdot \sin(\omega t + \phi)$.

Genom att låta insignalen till systemet vara en sinussignal med frekvensen ω och jämföra in- och utsignalens amplituder och faser, kan $G(s)$ bestämmas. Genom att variera ω kan överföringsfunktionen bestämmas i ett godtyckligt antal punkter, varefter resultatet kan plottas i t.ex. Bode-diagram.

Den experimentella uppställningen blir enligt figur 3.3.

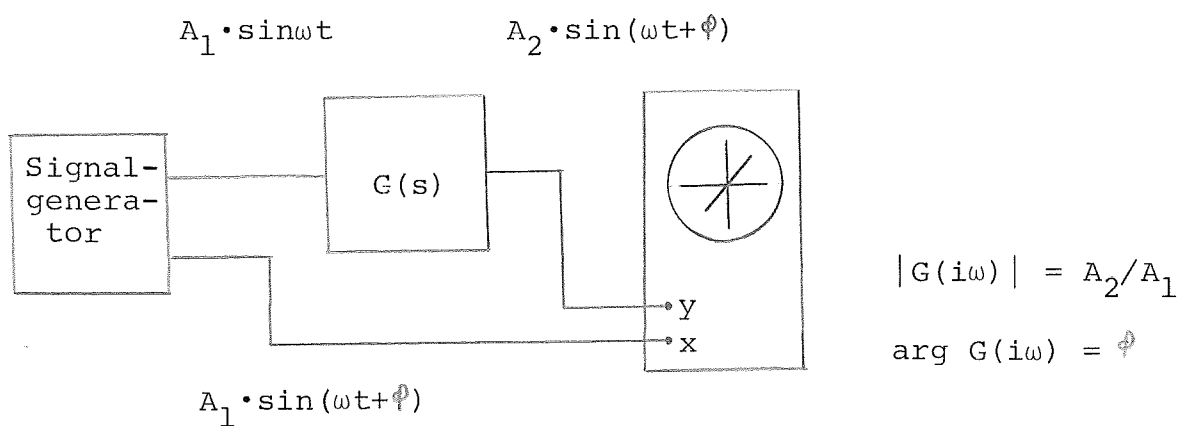


Fig. 3.3. Experimentell uppställning för frekvensanalys.

Fasläget mellan de två sinussignalerna, som erhålles från signalgeneratoren, är varierbart och injusteras så att bilden på oscilloskopet blir en rät linje. Då är signalerna på oscilloskopets x- och y-ingång i fas.

Grundkopplingen för att göra frekvensanalys på PT 326 visas i figur 3.4.

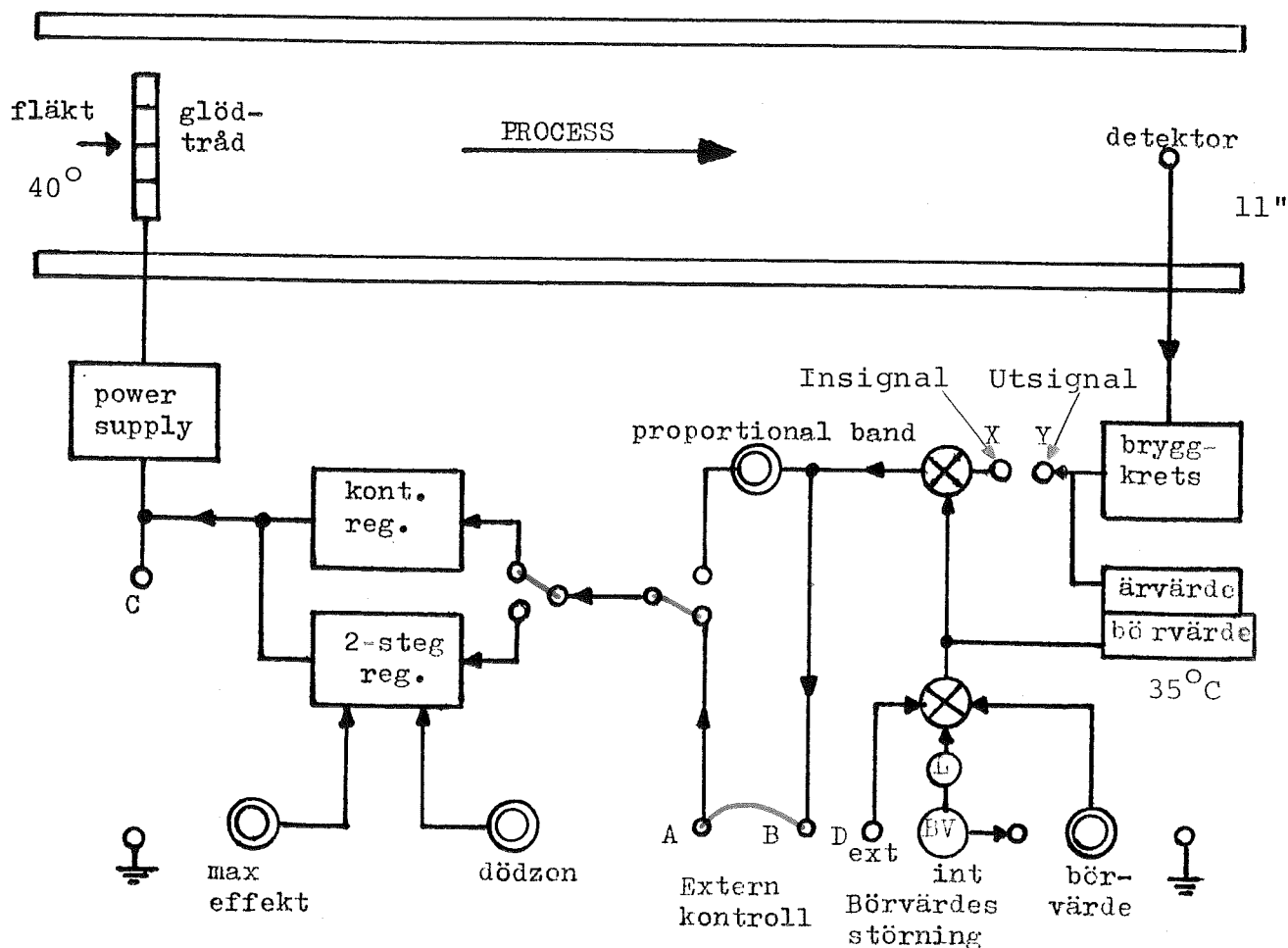


Fig. 3.4. Uppkoppling på PT 326 för att göra frekvensanalys.

Gör uppkopplingen enligt figur 3.4, där insignalen skall vara sinusvågen med fix fas. Utsignalen får gå in på oscilloskopets y-ingång, oscilloskopet x-y-kopplat, medan sinusvågen, med variabel fas, får gå in på x-ingången.

Lämplig amplitud på insignalen är $2 V_{pp}$.

Låt frekvensen variera mellan .02 och 2.5 Hz.

På grund av den stora osäkerheten i mätresultaten, inskränktes mätningarna till de två yttersta mätpunkterna, 11" och 5.5".

Börvärdet hölls fixt, 35°C , medan ventilöppningen varierades: 20, 40 resp. 60° . Därefter varierades börvärdet (20, 35 resp. 45°C) för fix ventilöppning, 40° .

På grund av de slumpmässiga variationerna hos processen är det mycket svårt att bestämma såväl fas som belopp, framförallt vid låga frekvenser och vid stora ventilöppningar. För att få noggrannare mätningar, bör man välja en säkrare metod, t.ex. där man bestämmer Fourierkoefficienterna.

Resultaten av mätningarna framgår av tabellerna 3.1 och 3.2 samt av figurerna 3.5 och 3.6, där fas- och beloppskurvorna för mätserier plottats.

Tabell 3.1

f	rad/ sek	20°				40°				60°			
		11"		5.5"		11"		5.5"		11"		5.5"	
		IGI	LG	IGI	LG	IGI	LG	IGI	LG	IGI	LG	IGI	LG
0.02	0.13	1.33	-6	1.5	-6	1.15	-6	1.4	-4	0.95	-5	1.0	0
.04	.25	1.33	-12	1.5	-10	1.15	-10	1.4	-8	.95	-10	1	-6
.08	.50	1.33	-20	1.5	-18	1.05	-17	1.06	-14	.95	-16	1	-14
0.1	.63	1.33	-28	1.5	-24	1.05	-22	1.06	-19	.90	-20	0.95	-20
.2	1.26	1.23	-54	1.33	-42	1.0	-44	1.06	-36	.80	-36	.85	-32
.4	2.51	0.93	-100	1.03	-78		-82		-70	.70	-71	.70	-62
.5	3.14	0.83	-120	0.90	-93	0.73	-100	0.78	-82	.60	-88	.65	-74
.8	5.03	0.5	-170	0.57	-135	0.50	-145	0.53	-117	.45	-130	.45	-105
1.0	6.28	0.35	-200	0.43	-160	0.38	-170	0.43	-135	.30	-150	.35	-125
.2	7.54	0.27	-223	0.33	-177	0.30	-190	0.33	-155	.25	-170	.28	-140
.3	8.17									.23	-180	.24	
.4	8.80	0.21	-250	0.27	-190	0.25	-210	0.28	-167				
.5	9.42									.18	-200	.21	-155
.6	10.05	0.17	-270	0.21	-210	0.20	-230	0.25	-178				
.8	11.31			0.17		0.15	-250	0.18	-194	.14			
2.0	12.57	0.12	-310	0.13	-240	0.15	-265	0.135	-205	.105	-240	.13	-185
2.2	13.82												
2.4	15.08									.08		.11	

Börvärde : 35°C

Insignal : 2·sinωt

Tabell 3.2

Då systemets dynamik skall vara fix, har i dessa fall endast fasen mätts.

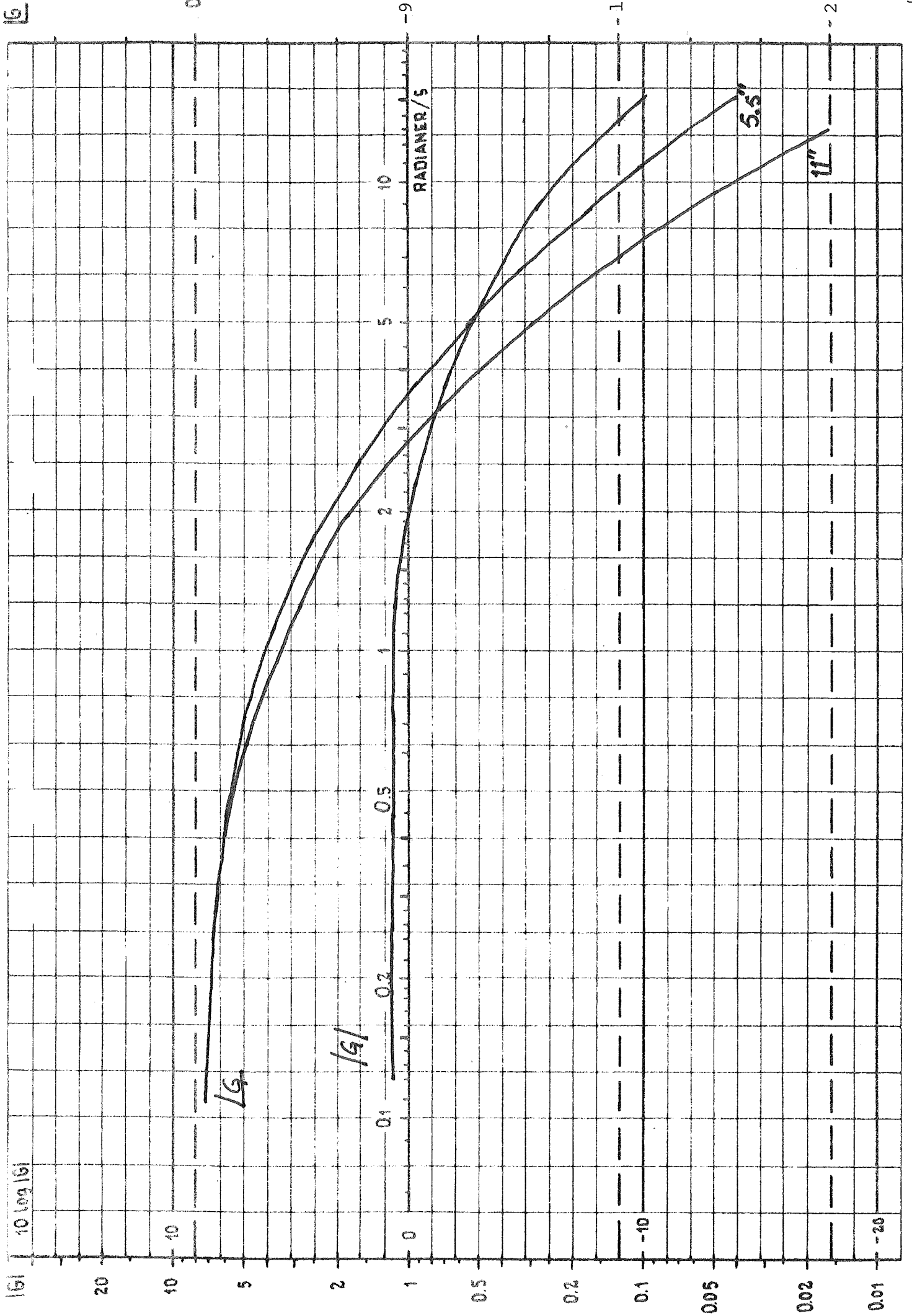
f Hz	rad/sek	20°		45°	
		11"	5.5"	11"	5.5"
0.02	0.13	0	-6	-5	-5
.04	.25	-10	-10	-10	-10
.08	.50	-20	-17	-18	-16
0.1	.63	-25	-20	-22	-20
.2	1.26	-45	-38	-45	-37
.4	2.51	-85	-70	-85	-70
.5	3.14	-100	-85	-100	-85
.8	5.03	-150	-120	-145	-120
1.0	6.28	-174	-140	-170	-140
.3	8.17	-205	-160	-200	-160
.5	9.42	-225		-220	
.6	10.05		-180		-180
2.0	12.57	-265	-200	-260	-200

Ventilöppning : 40°

Insignal : 2 sin ω t

35°C, 40°luftintag

Fig. 3.5

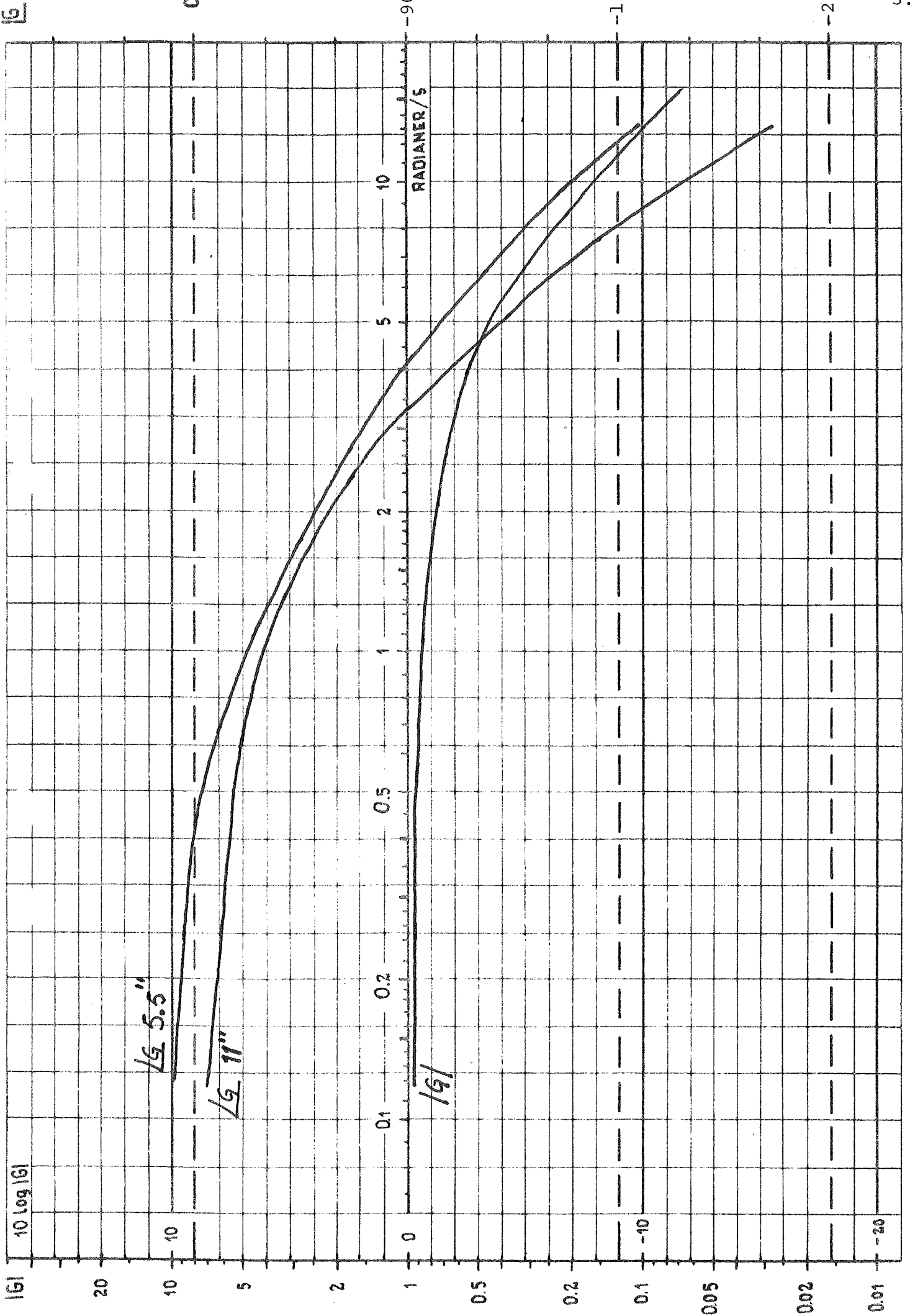


INSTITUTIONEN FÖR REGLINGSTEKNIK L.T.H.

10:1 ± 10 DECIBEL = + 2.30 NEPER

35°C, 60°luftintag

Fig. 3.6



Resultat av frekvensanalys:

Ju mindre ventilöppning (20, 40 resp. 60°) desto större blir fasförskjutningen, för fixt börvärde. Detta beror på att lufthastigheten är lägre för små ventilöppningar, varför transportfördröjningen då gör sig mer gällande.

För samma vinkel på luftintaget, d.v.s. konstant lufthastighet, blir fasförskjutningen oförändrad, vid varierande börvärde.

Fasförskjutningen blir större, ju längre bort från värmekällan mätpunkten befinner sig, vilket är direkt avhängigt transportfördröjningen. Teoretiskt skall processens dynamik vara densamma, oberoende av var vi mäter och vid vilken ventilöppning mätningen sker. Med tanke på mätmetodens noggrannhet, torde detta kunna anses uppfyllt.

För att kontrollera reproducerbarheten hos processen, gjordes en ny mätserie med börvärdet 35°C och 40°s luftintag, varvid såväl börvärde som ventilöppning ställdes in på nytt. Avvikelserna från tidigare erhållna resultat var så små att de lika gärna kan bero på avläsningssvårigheter som skillnad i inställning av börvärde eller ventilöppning.

Slutsatser, med ledning av faskurvan:

Då fasen blir en bra bit under -180° , kan det tänkas processen är ett andra ordningens system, med tanke på att det även finns transportfördröjning i processen. Eftersom faskurvan tydligen börjar på 0° och såväl fas- som beloppskurvorna är monotont avtagande, är det troligt,

bortsett från transportfördröjningen, det endast finns termer i nämnaren, i systemets överföringsfunktion.

Slutsatser, med ledning av beloppskurvan:

Då det inte, med den använda mätmetoden, går att få några tillnärmelsevis säkra mätpunkter för $f \geq 2.5$ Hz, kan man omöjligt avgöra systemets ordning, genom att betrakta asymptoterna. Lågfrekvensasymptoten har lutningen noll, medan högfrekvensasymptoten tyckes ha lutningen 2. Då man inte kan mäta vid tillräckligt höga frekvenser, kan man dock ej säga något definitivt.

Beloppskurvan indikerar dock möjligheten att processen är ett andra ordningens system, med överföringsfunktionen

$$G(s) = \frac{e^{-sT} \cdot K}{(1+sT_1)(1+sT_2)}$$

och med $K \approx 1$.

Följande förfarande har använts för att bestämma överföringsfunktionen:

- Systemet har antagits vara av andra ordningen.
- För fyra alternativ har de teoretiska beloppskurvorna uppritats och jämförts med den uppmätta, varvid brytpunkter erhöles.
- För resp. kurva har transportfördröjningen, T_p , bestämts, med ledning av var fasen är minus 90° .
- Den uppmätta faskurvan har minskats med resp. T_p och därefter jämförts med motsvarande teoretiska faskurva.

Alternativen är följande:

1. Separata brytpunkter, med 1 ruta mellan brytpunkterna
2. Separata brytpunkter, med 2 rutor mellan brytpunkterna
3. Dubbel brytpunkt
4. Separata brytpunkter, med 3 rutor mellan brytpunkterna.

De åsyftade rutorna återfinnes i Bode-diagram och resulterade i följande brytpunkter och tidsfördröjningar:

	11"	5.5"
1. 3.7 och 4.6 rad/sek.	0.13 sek.	0.04 sek.
2. 4 och 5.7 -"-	0.17 sek.	0.07 sek.
3. 5 rad/sek.	0.19 sek.	0.09 sek.
4. 3.5 och 7 rad/sek.	0.19 sek.	0.09 sek.

Resultat:

Alternativ 1 ansluter sig inte fullt så bra som övriga, till de uppmätta värdena. Av de återstående alternativen verkar 2 vara något sämre än 3 och 4. Skillnaderna är emellertid så små, att man inte med säkerhet kan hävda att ett alternativ är bättre än ett annat, på grund av osäkerheten i mätningarna.

Här har alternativ 3 valts och i fig. 3.7 visas dels alternativ 3:s faskurva, dels den på processen uppmätta faskurvan, 11", minskad med tillskottet på grund av transportfördröjningen. För mätpunkten 5.5" sammanfaller faskurvan med alternativ 3.

I manualen till PT 326 anges transportfördröjningen, för den yttersta mätpunkten, till ca 0.18 sek., vilket också

pekar på något av alternativen 2, 3 eller 4.

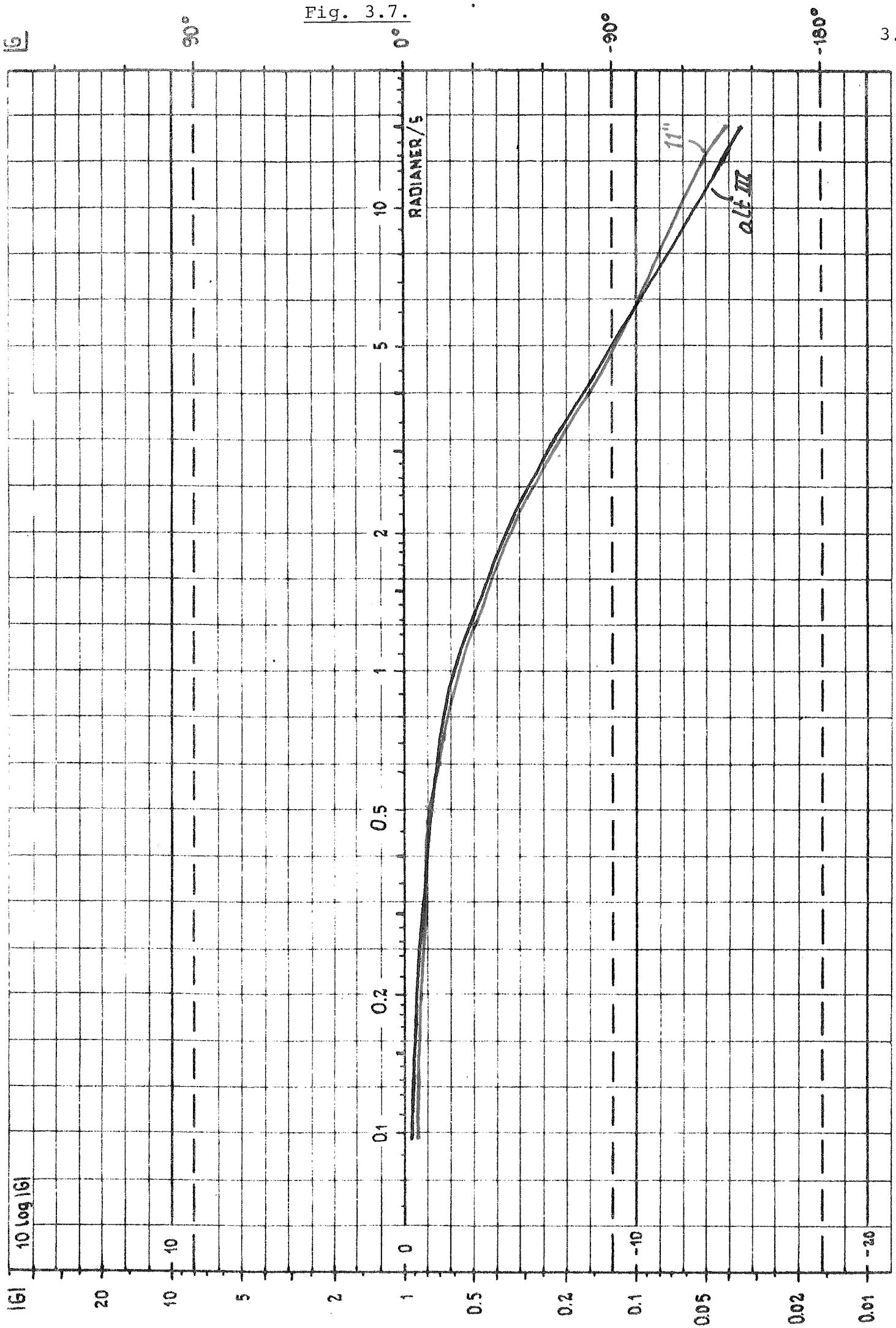


Fig. 3.7.

3.4. Transportfördröjning

För att få ytterligare ledtrådar kan man mäta upp processens transportfördröjning.

En ändring av förutsättningarna för en process, påverkar detektorn efter ett tidintervall, som beror dels på processen, dels på avståndet mellan punkten där förändringen inträffar och detektorn. Transportfördröjningen är en ren tidfördröjning, då den varken ändrar signalens amplitud eller form.

Grund-uppkopplingen för mätningen av transportfördröjning på PT 326 visas i figur 3.8.

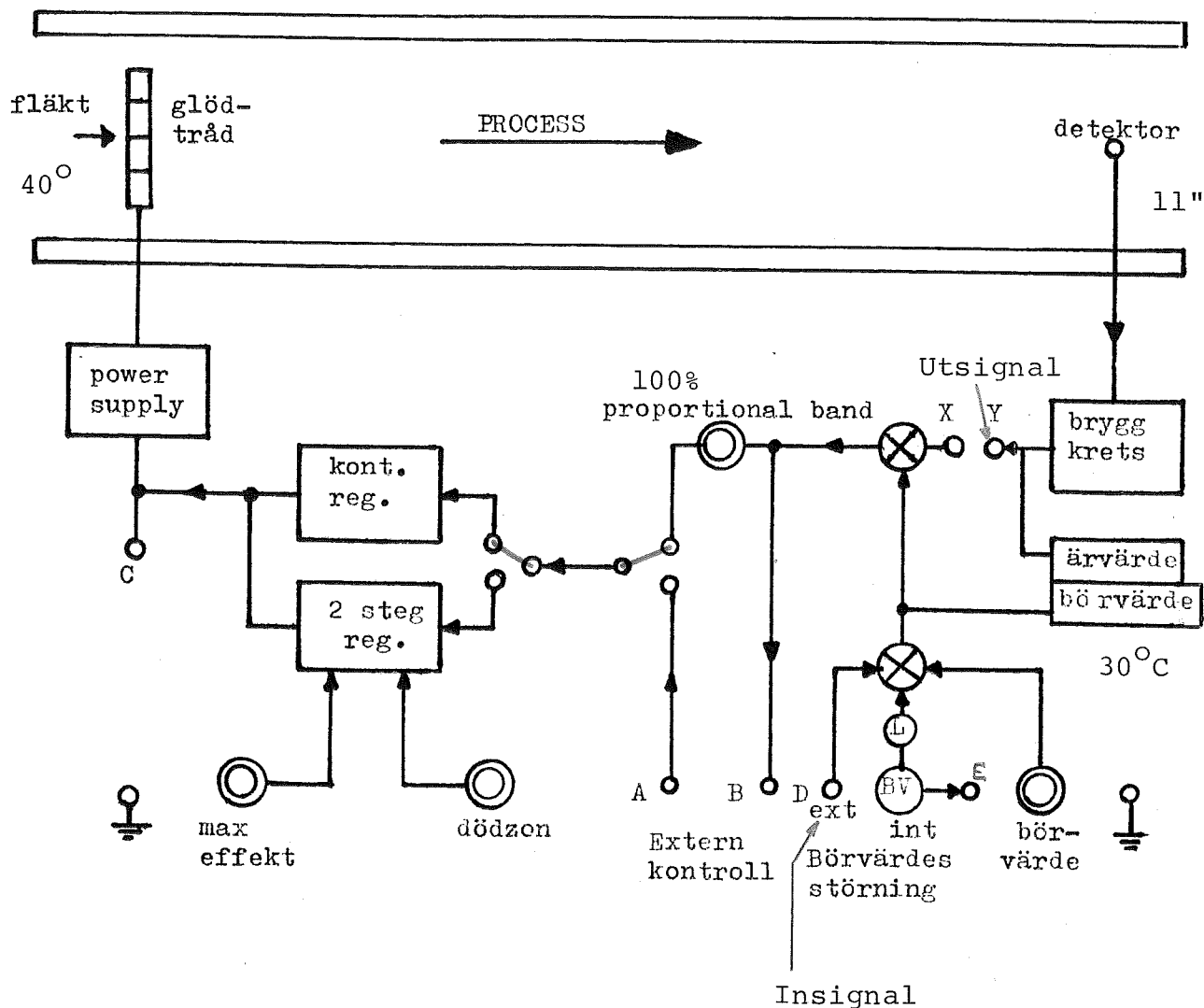


Fig. 3.8. Uppmätning av transportfördröjning.

Börvärdet sättes till 30°C , luftintaget till 40° och detektorn placeras i den 3:e mätpunkten, från fläkten räknat.

Anslut en fyrkantvågsgenerator, $2 V_{pp}$ och 0.1 Hz till punkt D.

I avsaknad på tongenerator kan en intern stegstörning åstadkommas genom att slå om switchen märkt BV, varvid oscilloskop kan triggas externt från punkt E.

Förutom grundmätningen uppmättes transportfördröjning, T_p , och stigtid, T_r , för de båda yttre mätpunkterna vid börvärdet 35°C och ventilöppningarna 20, 40 och 60° , med följande resultat:

	T_p (sek.)	T_r (sek.)
20° { 11"	0.3	0.45
{ 5.5"	0.15	"
40° { 11"	0.2	"
{ 5.5"	0.1	"
60° { 11"	0.15	"
{ 5.5"	0.08	"

Med hjälp av en snabb UV-skrivare uppmättes transportfördröjningen för alla tre mätpunkterna, vid 35°C och 40°C :s ventilöppning, vilket gav 0.19, 0.09 resp. 0.03 sek. för den yttersta, mellersta resp. innersta mätpunkten. Dessa värden stämmer väl överens med i frekvensanalysen framtagna värden.

Tills vidare antages därför överföringsfunktionen, från temperaturen på värmegallret till uppmätt temperaturvärde, vara

$$G(s) = \frac{e^{-sT}}{(1+sT_1)(1+sT_2)} \quad \text{med } T_1=T_2 = 0.2 \quad \text{och}$$

$T = 0.2$ resp. 0.1 för yttersta resp. mellersta mätpunkten.

Detektorns (= termistor) tidskonstant ≈ 0.2 sek, enligt mätning på termistorns stegsvar.

3.5. Temperaturmätning.

Då processen består av att upphetta luftströmmen genom röret till önskad nivå, faller det sig naturligt att göra en temperaturmätning.

För olika, fixa värden på börvärdet har luftventilöppningen varierats. Temperaturen har uppmätts för alla tre mätpunkterna, med hjälp av på PT befintligt mätinstrument.

För att kunna se ev. skillnader har samma mätserie gjorts för det slutna systemet. K valdes till 2.5.

Resultaten framgår av tabell 3.3.

Tabell 3.3

		Uppmätta värden, °C					
Bör- värde °C	Luft- intag o	11"		5.5"		1.1"	
		öppna	slutna	öppna	slutna	öppna	slutna
20	20	24	20	24	20	22	20
	40	0	15	0	15	<0	10
	60	<0	0	<0	0	<0	0
	80	<0	0	<0	0	≪0	0
30	20	34	28	35	28	34	28
	40	29	27	29	27	23	25
	60	20	23	21	23	0	21
	80	10-20	22	10-20	22	<0	15
35	20	41	33	43	33	42	33
	40	37	31	36	31	32	30
	60	30	29	30	29	20	26
	80	27	28	26	28	0-10	23
40	20	52	33-40 ^{x)}	53	37	54	37
	40	43	35	43	35	39	35
	60	35	33	36	33	29	31
	80	33	32	33	32	24	29

x) oscillerar

Generella slutsatser.

Ju större ventilöppning, desto lägre blir temperaturen. Detta beror på den ökade lufthastigheten vid stora öppningar, varvid större luftmängd per tidsenhet skall värmas upp.

Temperaturen är ungefär densamma oberoende om man mäter i den mellersta eller den yttersta mätpunkten, medan den innersta mätpunkten, för ventilöppningar som är 40° eller större, genomgående är något lägre. Detta kan möjligen förklaras av en olikformig uppvärmning av luften i rörets tvärsnitt. (Luften ej ordentligt blandad).

Ur tabellen framgår det att, trots osäkerheten beträffande kalibrering, processen dras med ett stationärt fel.

För det slutna systemet minskar det stationära felet, vilket också är i överensstämmelse med teorin. Ju större K blir, desto mindre blir det stationära felet, tills K är så stort att systemet kommer i självsvängning.

3.6. Självsvängning.

Med hjälp av de vid frekvensanalysen uppritade Bode-diagrammen kan man säga när systemet skall börja svänga och med vilken frekvens. Självsvängningen skall ju inträffa när fasen är -180° . Motsvarande P -värde, i procent räknat, blir då

$$P = (\text{beloppskurvans värde vid } -180^\circ) \cdot 100 \quad \text{och}$$

$$K = 100/P, \text{ där } P \text{ kallas proportionalband.}$$

Gör uppkopplingen enligt figur 3.9 för att kontrollera självsvängningsfrekvensen.

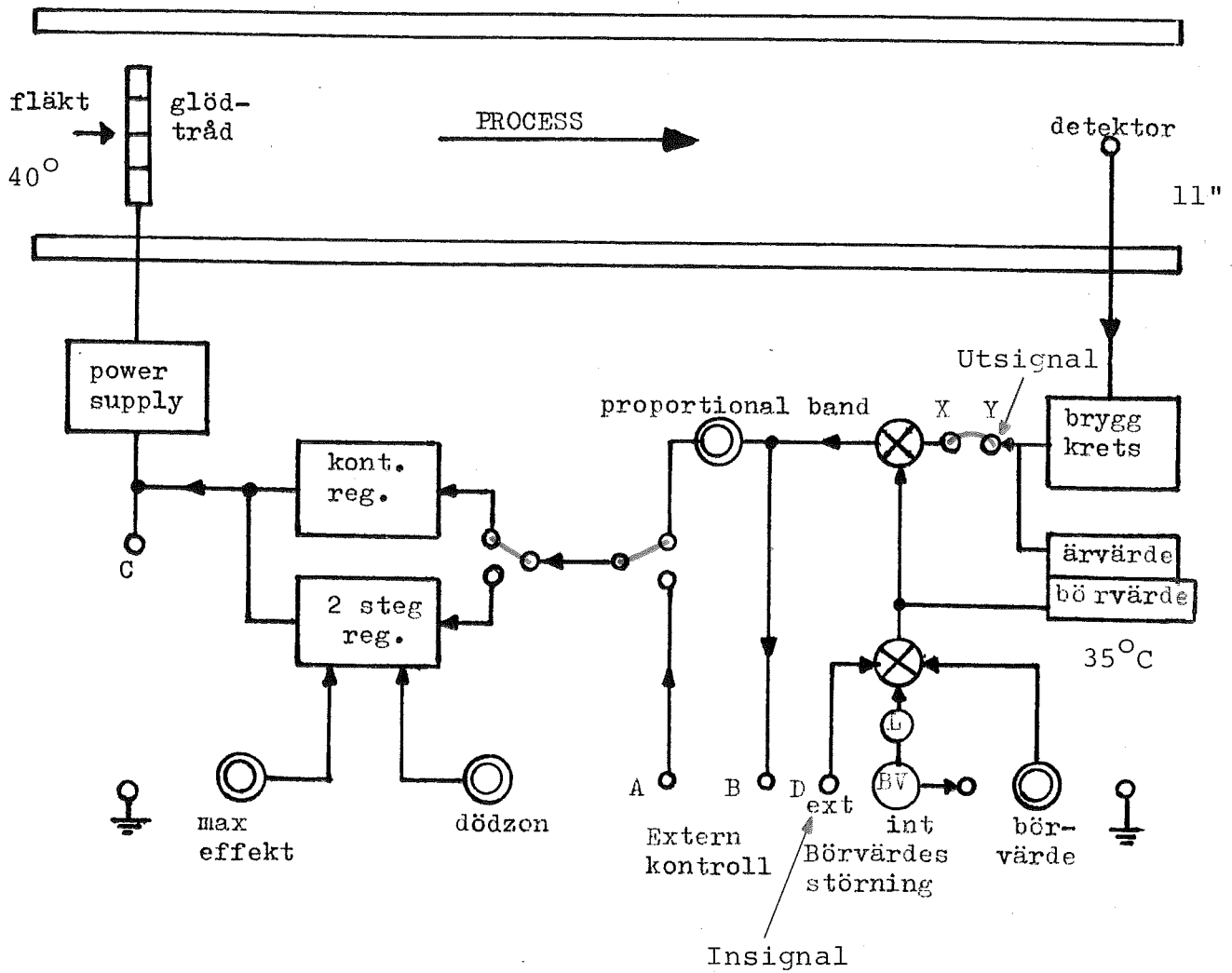


Fig. 3.9. Kontroll av självsvängning.

Låt insignalen vara en fyrkantvåg med amplituden 2 V och frekvensen 0.1 Hz. Signalen kopplas till punkt D på PT 326. Börvärdet sättes till 35°C , medan ventilöppningen varieras (40 och 60°).

Följande värden erhöles:

	P_{Bode}	$P_{\text{mätt}}$	ω
40° , 11"	37%	25%	6.8 rad/sek
40° , 5.5"	22%	15%	10 "
60° , 11"	23%	15%	7.9 "
60° , 5.5"	14%	9%	11.8 "

Resultat.

Trots att förstärkningen ökades till maximalt värde, d.v.s. $P < P_{\text{mätt}}$, kan systemet ej fås att bli instabilt, men svängningsfrekvensen minskar något i samtliga fall. Teoretiskt skall svängningsfrekvensen minska och om det är ett andra ordningens system, samtidigt som vi har transportfördröjning, så skall systemet kunna bli instabilt. Anledningen till att så ej blir fallet är att signalen från kontrollenheten till det korrigerande elementet ej kan bli tillräckligt stor.

När systemet precis är i självsvängning, självsvänger även signalen till värmetrådarna. Vid större K-värden blir korrektionssignalen en fyrkantvåg som varierar mellan full värme, på värmetrådarna, och ingen värme. Korrektionssignalen till värmeelementet kan betraktas i punkt C, i figur 3.9.

3.7. Stationärt fel

Trots att maximalt K-värde applicerades på processen, får vi fortfarande ett stationärt fel. Om systemet har den överföringsfunktion, som vi har antagit, så blir det teoretiska, stationära felet

$$\frac{2}{1+K} \quad \text{för en P-regulator}$$

$$0 \quad \text{för en PI-regulator}$$

ty enligt blockschemat i figur 3.10 gäller

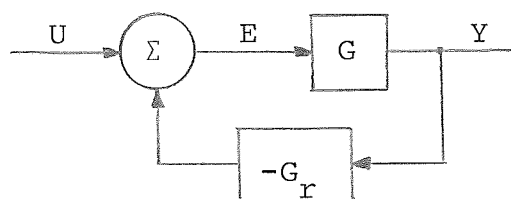


Fig. 3.10. Blockschemat för servo med regulator.

$$G = \frac{e^{-sT}}{(1+sT_1)^2}$$

$$\left. \begin{array}{l} E = U - G_r \cdot Y \\ Y = G \cdot E \end{array} \right\} E = U - G \cdot G_r \cdot E \Rightarrow E = \frac{1}{1+G \cdot G_r} \cdot U$$

stegstörning : $U = 2/s$

slutvärdessatsen : $\lim_{s \rightarrow 0} s \cdot F(s) = \lim_{t \rightarrow \infty} f(t) = A$

P-regulator : $G_r = K$

$$E = \frac{(1+sT_1)^2}{K \cdot e^{-sT} + (1+sT_1)^2} \cdot \frac{2}{s} \Rightarrow A = \frac{2}{1+K}$$

PI-regulator : $G_2 = K(1 + \frac{1}{sT_i})$

$$E = \frac{sT_i (1+sT_1)^2}{sT_i \cdot K e^{-sT} + K e^{-sT} + (1+sT_1)^2} \cdot \frac{2}{s} \Rightarrow A = 0$$

3.8. Regulatorer.

För att konstatera hur olika regulator typer påverkar systemet, har kopplingen enligt figur 3.11 använts och stegsvaret studerats.

I figur 3.13 visas några stegsvar för olika K-värden, vid användande av P-regulator.

Resultat:

Ju större K-värde, desto kortare blir stigtiden och desto kraftigare blir överslängarna.

För små K-värden får vi ett stort stationärt fel, vilket dock minskar med ökande K-värde.

På de i figurerna 3.14 och 3.15 visade kurvorna har en PI-regulator utnyttjats. Nu har det stationära felet eliminerats.

De regulatorparametrar som bestämts enligt Ziegler-Nichols metod, medför en väl kraftig översläng, ca. 20%, varför andra värden prövats.

Stegsvaren, som fås för rekommenderade regulatorparametrar, kan ses i figur 3.16.

P-regulator: $K = 0.8$

PI-regulator: $K = 0.8$ och $K/T_i = 1.8$

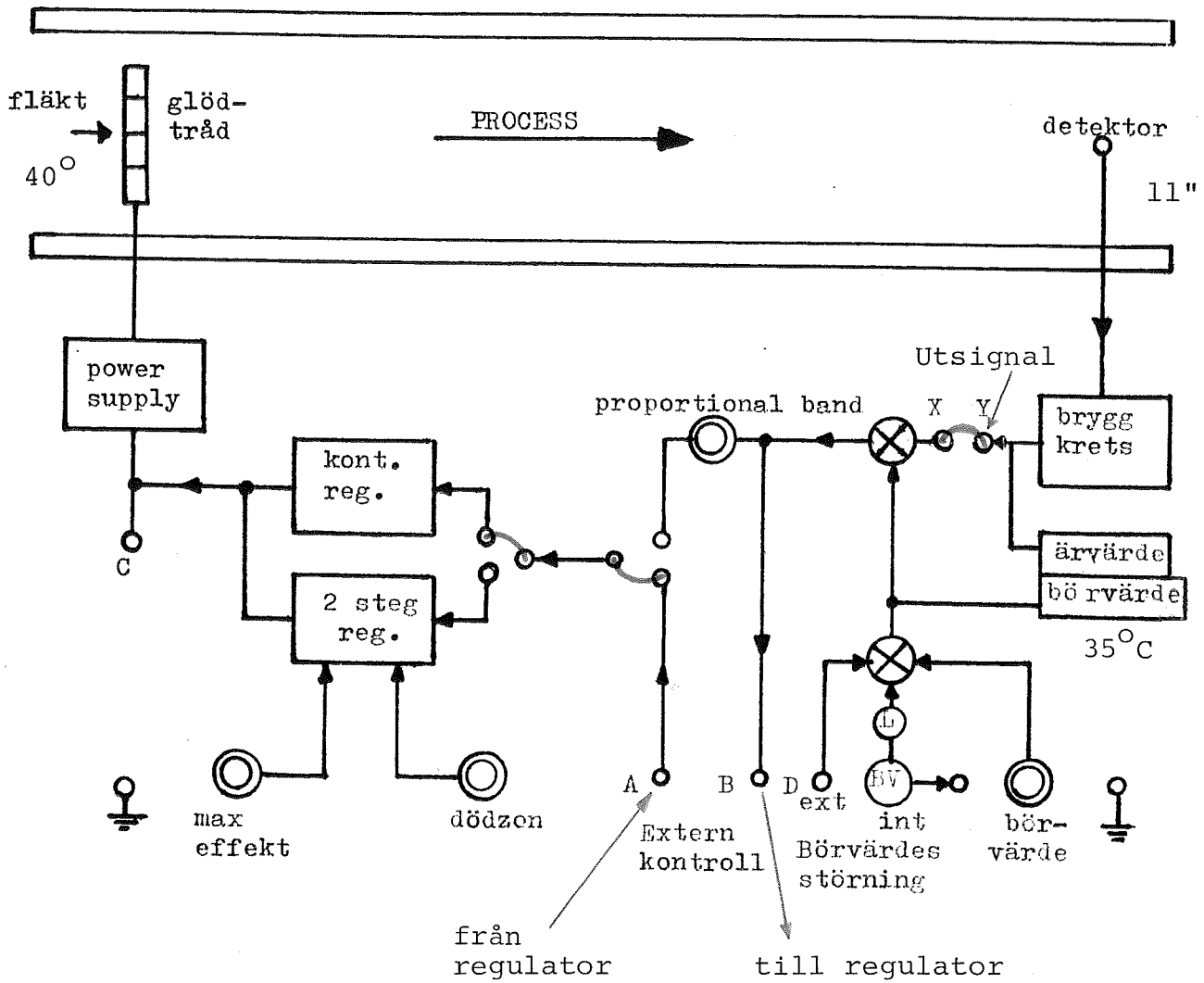


Fig. 3.11. Reglering med yttre regulator.

Regulatorerna kan kopplas upp på analogmaskin och signalen till regulatorn tas från punkt B och signalen från regulatorn skall gå in i punkt A. Man kan alstra ett internt steg med hjälp av switchen BV. Regulatorstrukturerna visas i figur 3.12.

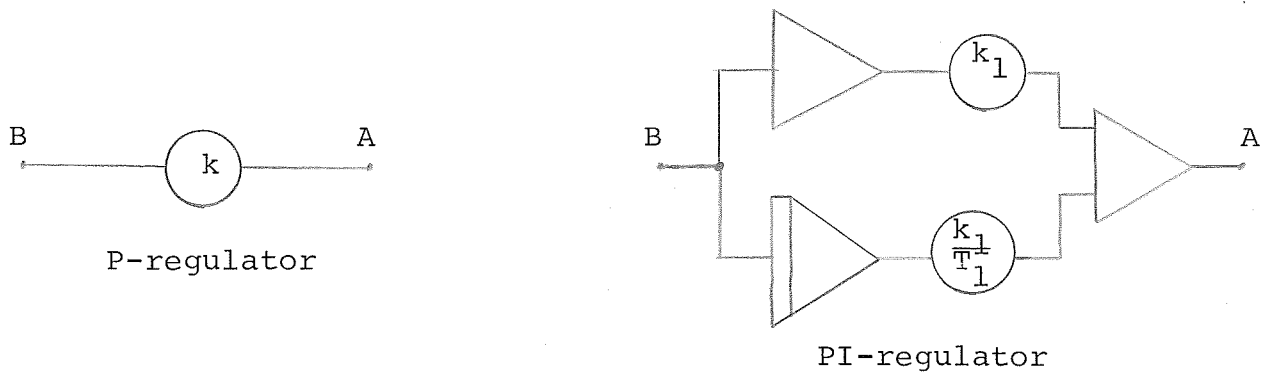


Fig. 3.12. Regulatorstrukturer.

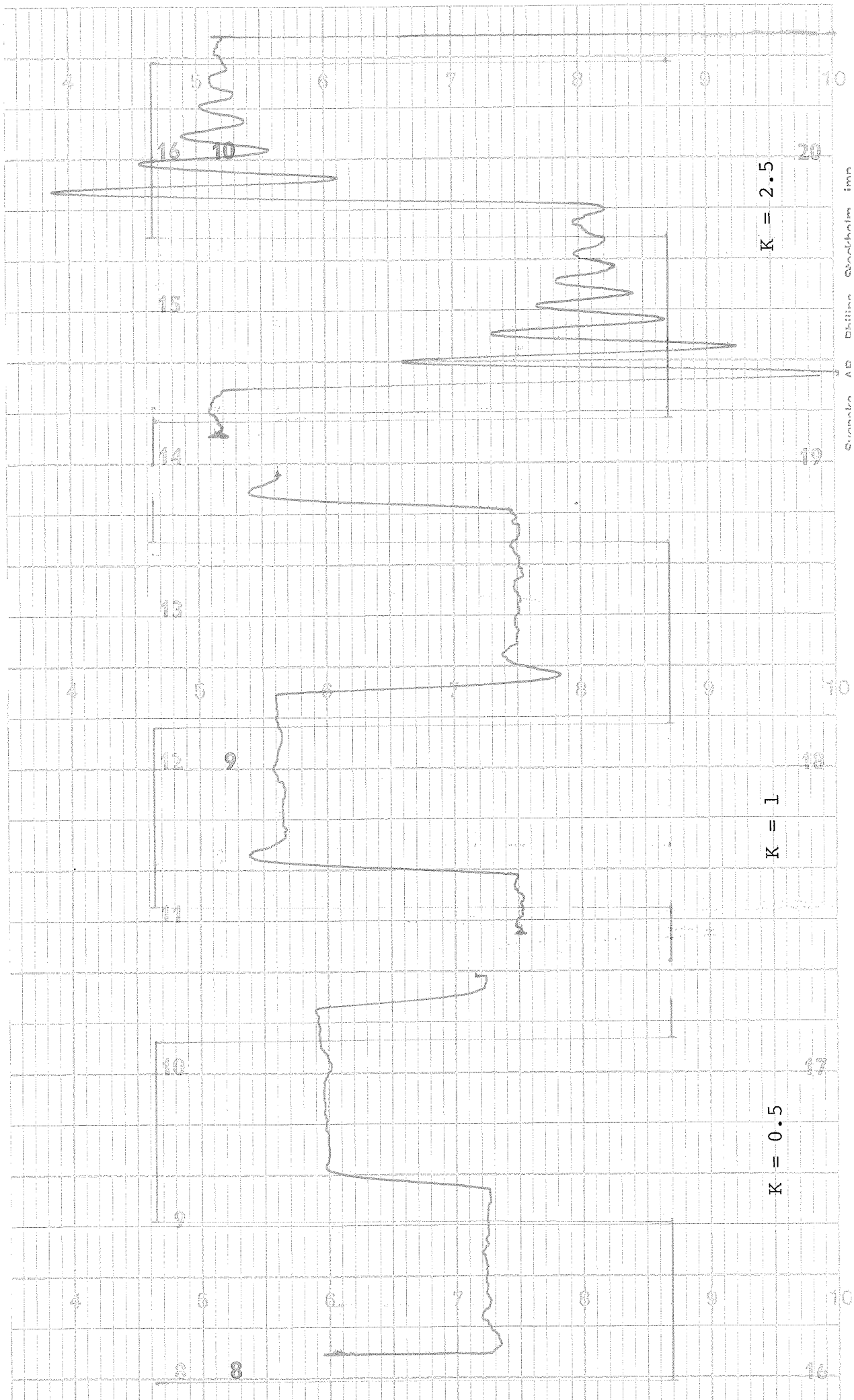


Fig. 3.13. Reglering med hjälp av P-regulator vid 35°C, 40° och 11"

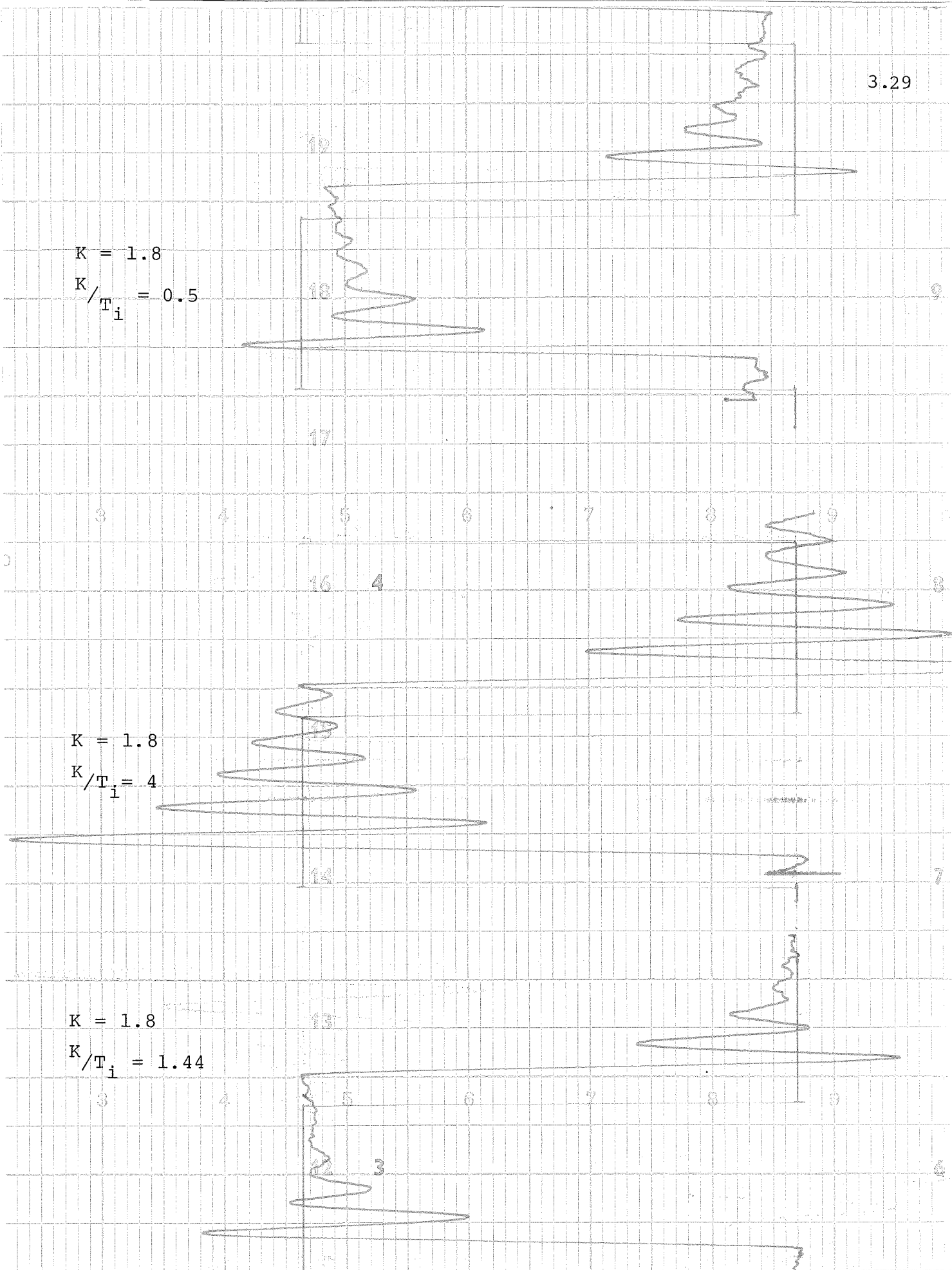


Fig. 3.14. Reglering med hjälp av PI-regulator vid 35°C, 40° och 11".

Inställning enligt Ziegler-Nichols: $K = 1.8$ och $K/T_i = 1.44$.

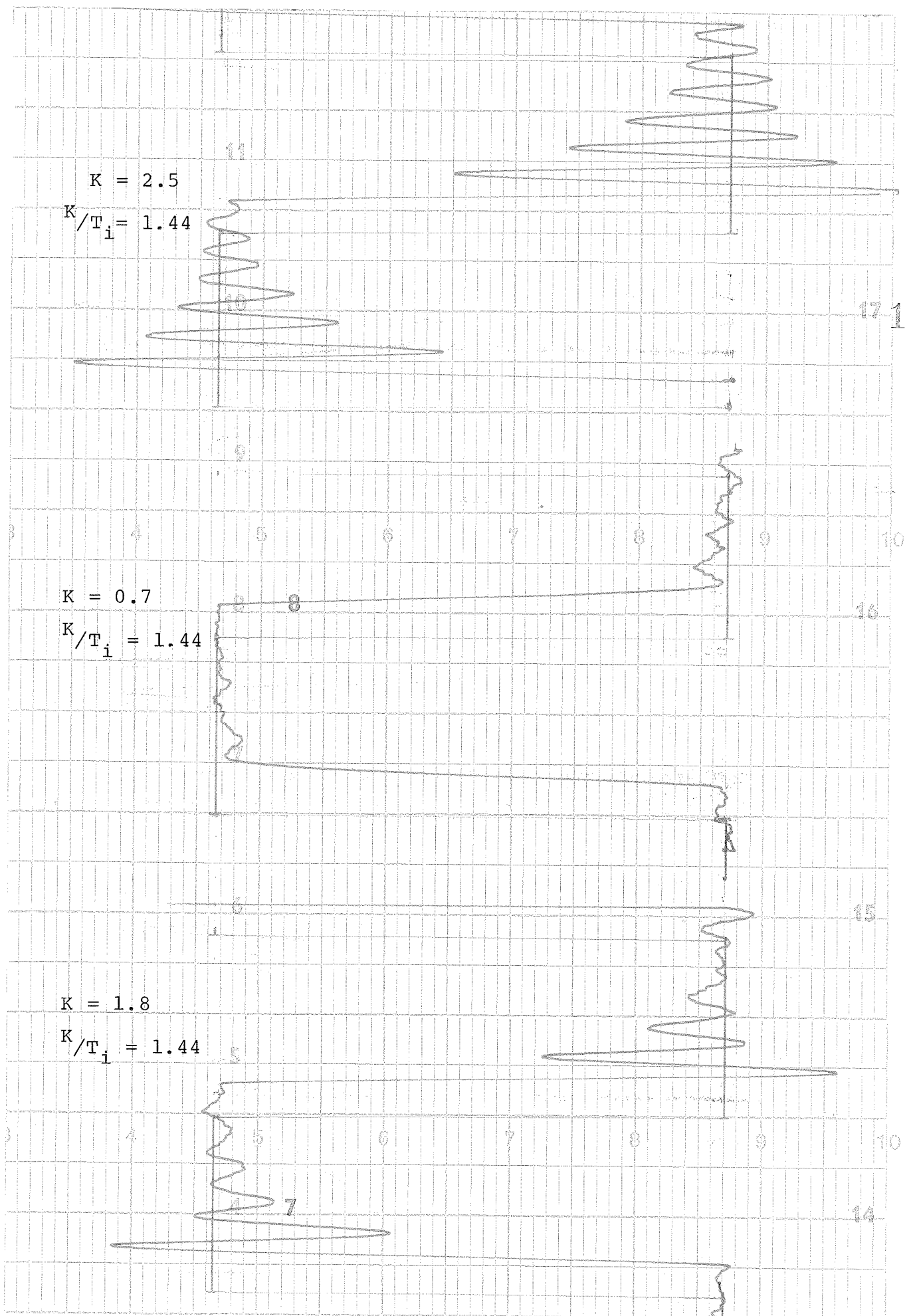
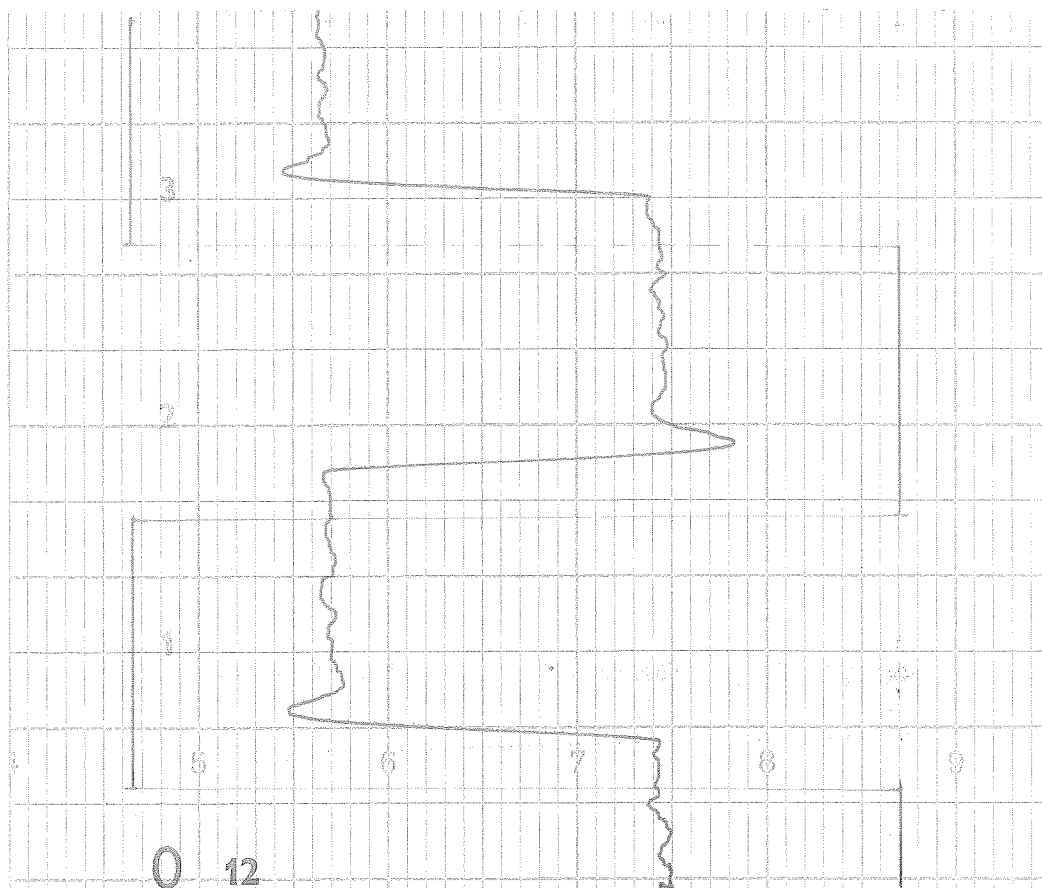


Fig. 3.15. Reglering med hjälp av PI-regulator vid 35°C, 40° och 11".
 Inställning enligt Ziegler-Nichols: $K = 1.8$ och $K/T_i = 1.44$.

P-regulator

$$K = 0.8$$



PI-regulator

$$K = 0.8$$

$$K/T_i = 1.8$$



Fig. 3.16. Stegsvär enligt föreslagna regulatorparametrar.

Börvärde 35°C , 40° luftintag och $11''$:s mätpunkt.

3.9. Simulering kan tillgripas för att kontrollera om vår gissade överföringsfunktion verkar rimlig, med avseende på t.ex. stegsvar. Vi bortser här från transportfördröjningens inverkan.

$$G(s) = \frac{Y}{U} = \frac{1}{(1+sT)^2} \Rightarrow$$

$$(s^2T^2+2sT+1)Y = U \Rightarrow \ddot{y}T^2+2\dot{y}T+y = u \Rightarrow$$

$$\ddot{y} = -\frac{2}{T}\dot{y} - \frac{y}{T^2} + U \cdot \frac{1}{T^2}$$

I fig. 3.17 visas uppkoppling för simulering av processen.

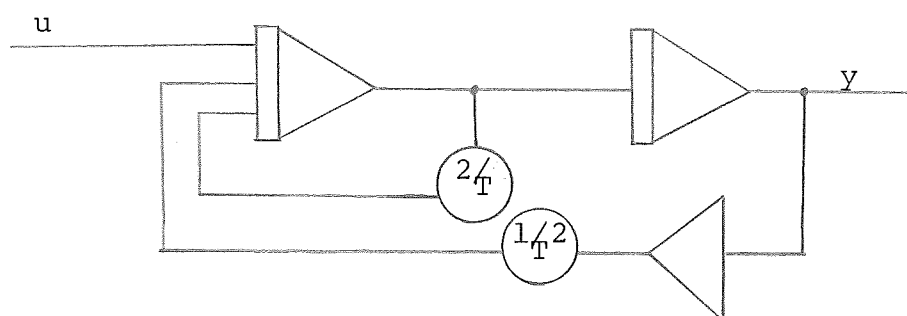


Fig. 3.17 . Analogimaskinuppkoppling av systemet.

Vid simuleringen valdes T till 0.2 sek., vilket resulterade i en tidskonstant 0.43 sek. För själva processen har motsvarande värde uppmätts till ca 0.45 sek.

Figur 3.18 visar resultatet av simuleringen.

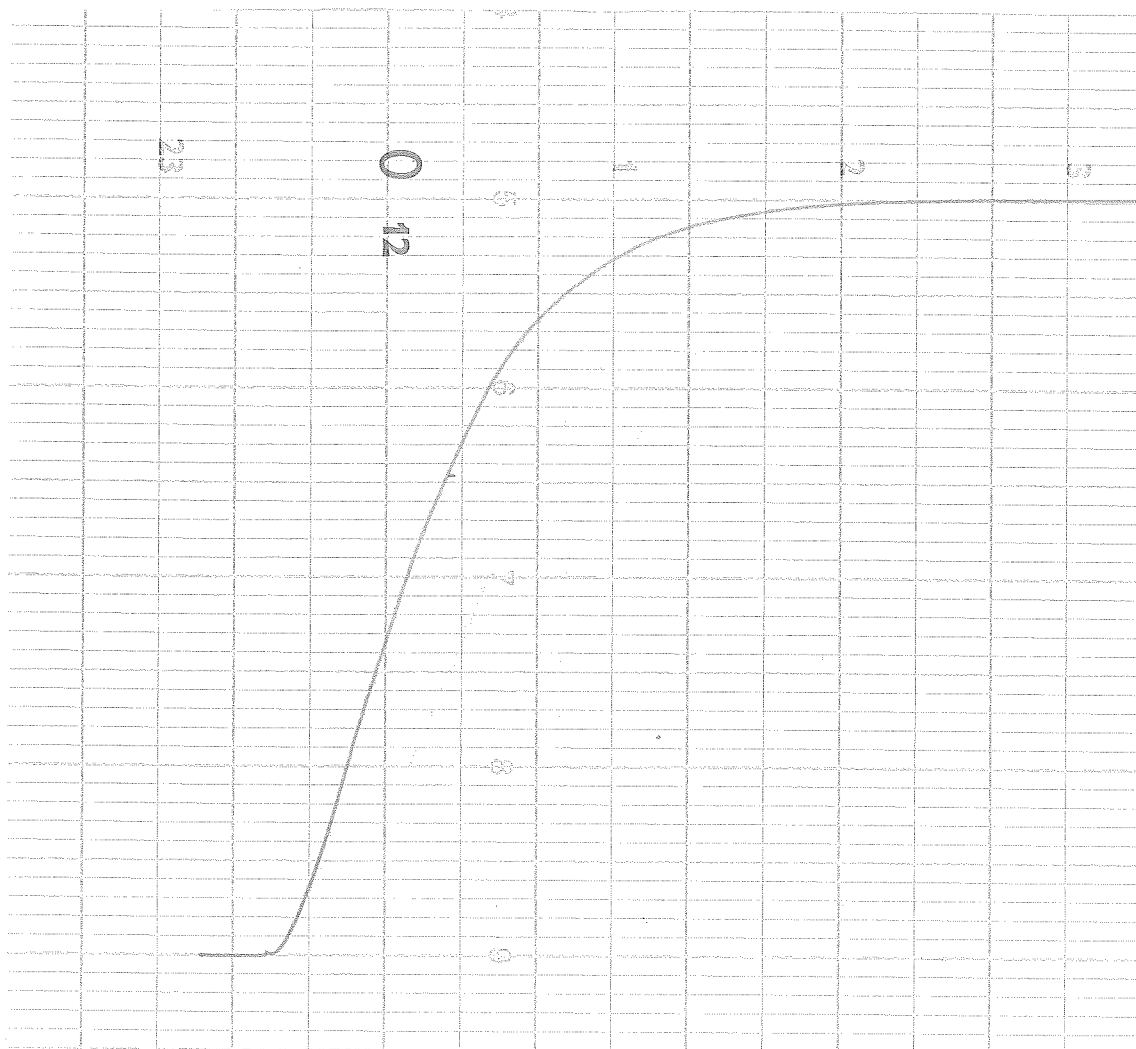


Fig. 3.18. Stegsvar för $G(s) = \frac{1}{(1+0.2s)^2}$ simulerat på analogmaskin. Stigtid ≈ 0.43 sek.

3.10. Appendix.

Uppgifter.

Beträffande uppkoppling och utförande, ges sidhänvisning till de redan beskrivna försöken.

Visa

1. transportfördröjning i de olika mätpunkterna,
sid. 3.17 ff.
2. stationärt fel,
sid. 3.24-3.25.
3. olika regulatorers inverkan på t.ex. stegsvaret,
sid. 3.26 ff.
4. självsvängningen för det slutna systemet,
sid. 3.22 ff.

Simulera systemet på analogmaskin,

sid. 3.32.

4. UPPVÄRMNING AV VATTEN

4.1. Processbeskrivning

Betrakta ett system bestående av en värmeplatta och en kastrull med vatten, enligt figur 4.1.

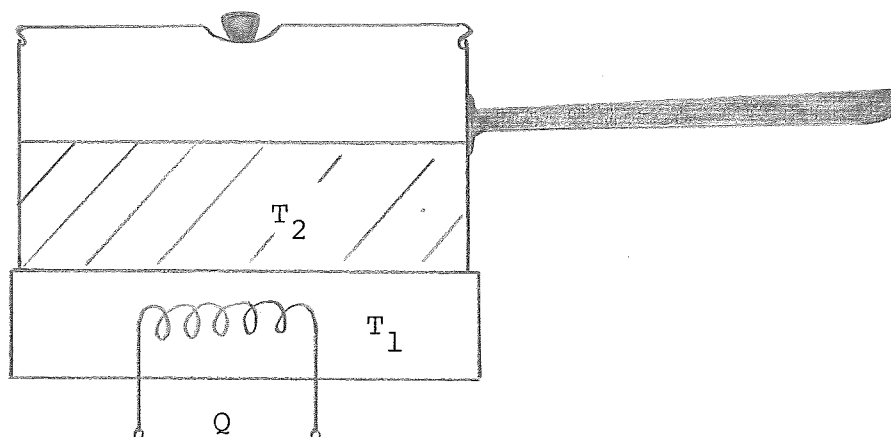


Fig. 4.1. Vattenkokning.

Denna process består i att upphetta vatten i en kastrull. Vi kan här antingen applicera en konstant ineffekt, Q , till plattan, eller, med hjälp av en regulator, bestämma en önskad sluttemperatur på vattnet. Som en extra "knorr" kan en aluminiumplatta läggas mellan plattan och kastrullen, vilket medför en tidsfördröjning i systemet.

4.2. Modellbygge

I den matematiska härledningen, som utgör vår modell av systemet, bortser vi från kastrullens massa, såsom en självständig massa, och behandlar den som om den vore en del av plattans massa.

Detektorns tidskonstant har uppmätts till ca 4.7 sek. Eftersom den är så liten, kan vi helt bortse från den i vår modell.

Låt effekten till värmeplattan vara insignal och vattentemperaturen vara utsignal.

Om aluminiumplattan är med, får vi ett extra tillstånd på grund av dess stora massa.

Utan aluminiumplatta fås:

$$\left\{ \begin{array}{l} m_1 c_1 \cdot \frac{dT_1}{dt} = Q - A_1 h_1 (T_1 - T_2) - A_o h_1 (T_1 - T_o) \\ m_2 c_2 \cdot \frac{dT_2}{dt} = A_1 h_1 (T_1 - T_2) - A_2 h_2 (T_2 - T_o) \\ y = \begin{bmatrix} 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} T_1 \\ T_2 \end{bmatrix} \end{array} \right.$$

där T_o = luftens temperatur = konstant

T_1 = plattans temperatur

T_2 = vattnets temperatur

c = värmekapacitivitet

h = värmeövergångskoefficient

A = area

På matrisform fås:

$$\begin{aligned} \dot{T} &= \begin{bmatrix} -k_1 - k_2 & k_1 \\ k_3 & -k_3 - k_4 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} T_1 \\ T_2 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 1/m_1 c_1 \\ 0 \end{bmatrix} \cdot Q - \begin{bmatrix} k_2 \\ k_4 \end{bmatrix} \cdot T_o = \\ &= A \cdot \begin{bmatrix} T_1 \\ T_2 \end{bmatrix} + B \cdot Q - F \cdot T_o \\ y &= \begin{bmatrix} 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} T_1 \\ T_2 \end{bmatrix} = C \cdot \begin{bmatrix} T_1 \\ T_2 \end{bmatrix} \end{aligned}$$

$$\text{med } k_1 = \frac{A_1 h_1}{m_1 c_1}$$

$$k_2 = \frac{A_o h_1}{m_1 c_1}$$

$$k_3 = \frac{A_1 h_1}{m_2 c_2}$$

$$k_4 = \frac{A_2 h_2}{m_2 c_2}$$

Enligt $G(s) = C(sI-A)^{-1}B$ blir överföringsfunktionen, från tillförd effekt till värmeplattan till vattentemperatur:

$$G(s) = \frac{k_3/m_1 c_1}{(s+k_4)(s+k_1+k_3+k_4)} = \frac{k}{(sT_A+1)(sT_B+1)}$$

där

$$T_A = 1/k_4$$

$$T_B = 1/(k_1+k_3+k_4)$$

$$k = \frac{k_3}{k_4 m_1 c_1 (k_1+k_3+k_4)}$$

4.3. Uppkopplingar

Före redogörelsen av själva experimenten, följer helt kortfattat en beskrivning av de uppkopplingar som utnyttjats i de olika experimenten.

Utan regulator: (figur 4.2)

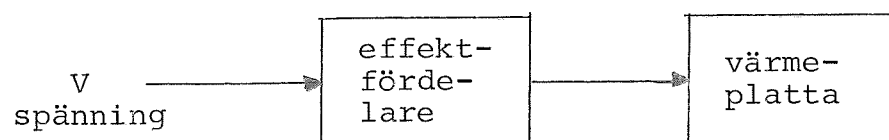


Fig. 4.2. Process utan regulator.

Utan regulator kan man applicera en konstant effekt på värmeplattan. Inspänningen från minus 10 V till plus 10 V motsvarar från 0 till 100% av kokplattans effekt, där maximal effekt genomgående varit 1250 W (4 på värmeplattan).

Med regulator:

Regulatorn är en av institutionens specialtillverkade enheter, vilken kan användas tillsammans med en analogimaskin.

Låt signalen från uttaget "u" på regulatorn gå in till analogimaskinen.

Subtrahera 10 V från detta värde och multiplicera resultatet med två. Det resulterande värdet får gå in till effektfördelaren, vilken drivs med ± 15 V.

Som referensvärde, in på y_{ref} på regulatorn, tages ett värde från analogimaskinen. Noll till minus 10 V motsvarar en vattentemperatur av 0 till 100°C.

På denna process kan endast användas P- eller PD-regulator. Med I-del inkopplad kommer vattnet att koka, även om referensvärdet är 75°C.

Rekommenderad PD-regulator: $K = 20$

$$T_d = 1$$

$$N = 1.5$$

där N är en parameter i filtret, som approximerar deriveringen.

4.4 Variation av insignalen

Vid variation av insignalen användes inte regulatorn. Genom att mäta temperaturen som funktion av inmatad effekt, kan man eventuellt få fram en uppfattning om effektförlusterna. Förlusterna består dels av egenkonvektion, dels av strålning.

Då värmeplattan i detta fall endast består av en spiral, avges värme såväl till kastrullen som till luften. Kastrullen avger värme till luften som omger kastrullen och till vattnet, vilket i sin tur avger en del värme till luften.

Mätningar på 1 liter vatten, med lock, redovisas i figur 4.3. En praktiskt taget identisk kurva erhöles om vattentmängden i stället var $\frac{1}{2}$ liter.

Resultat:

Ju högre temperatur vattnet har, desto mer effekt krävs för att hålla temperaturen konstant. Värmeförlusterna har med andra ord ökat. Ökningen tycks vara styckvis linjär.

4.5. Anpassning

På grund av förlusttermernas antal ger det ingen direkt ledning att logaritmera effekt och temperatur, för att därigenom få en uppfattning om riktningskoefficienter, utan vi gör i stället en anpassning av mätvärdena till några olika kurvor. Anpassningen har skett med hjälp av dator enligt minsta kvadratapproximationen och de olika alternativen är:

$$1. \quad P = \alpha + \beta\Delta T$$

$$2. \quad P = \alpha + \beta\Delta T + \gamma\Delta T^2$$

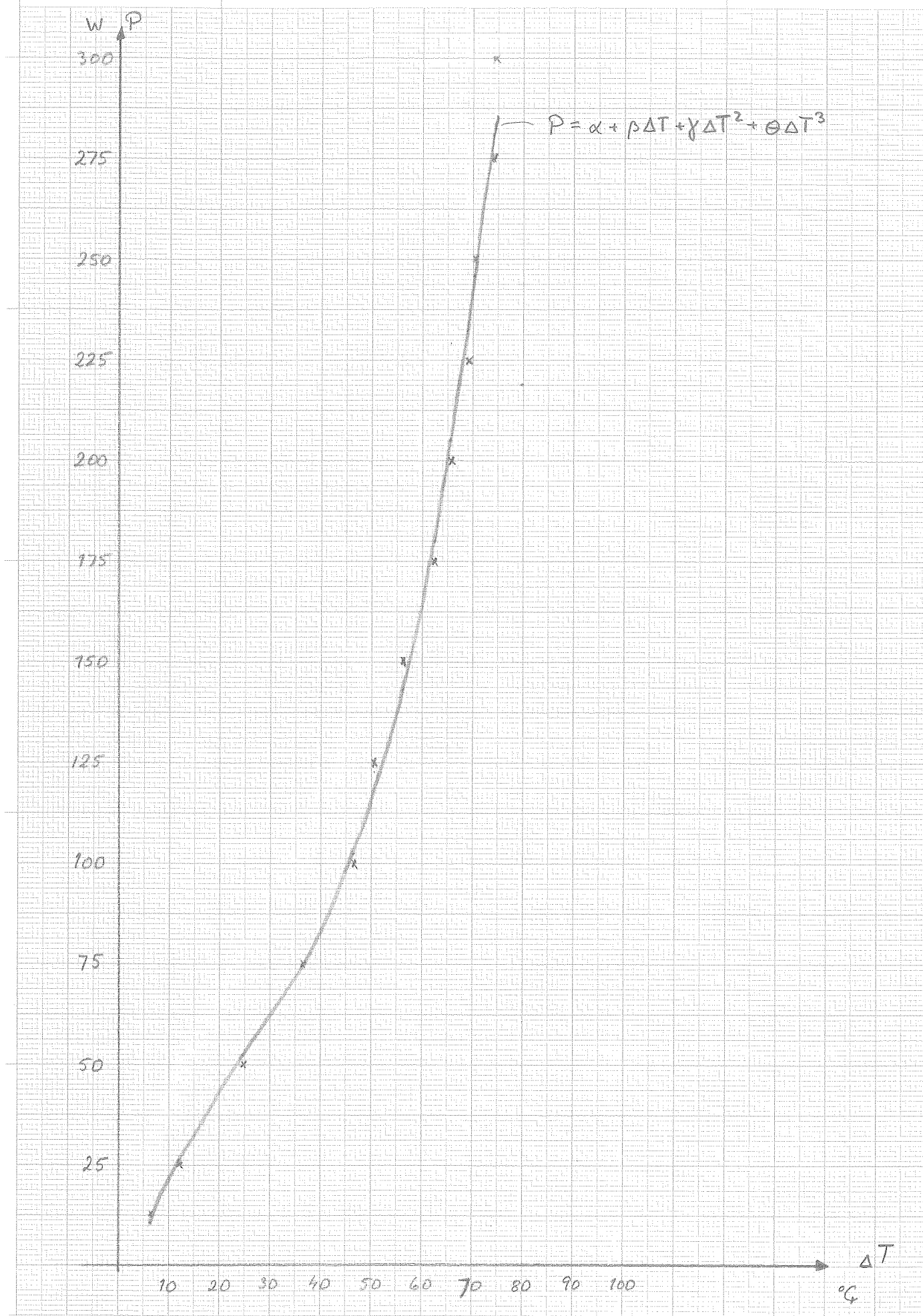
$$3. \quad P = \alpha + \beta\Delta T + \gamma\Delta T^2 + \theta\Delta T^3$$

$$4. \quad P = \alpha + \beta\Delta T + \gamma\Delta T^2 + \theta\Delta T^3 + \phi\Delta T^4$$

och resultaten framgår av tabell 4.1, där F betecknar förlustfunktionen.

Temperaturökning & anpassning
som funktion av inmatad effekt.

Fig. 4.3



Tabell 4.1

Alt.	α	β	γ	θ	ϕ	F
1.	-44.07	3.91				4800
2.	28.49	-1.20	$6.1 \cdot 10^{-2}$			706
3.	-13.32	4.31	$-9.76 \cdot 10^{-2}$	$1.26 \cdot 10^{-3}$		222
4.	8.58	0.28	0.1	$2.3 \cdot 10^{-3}$	$2.1 \cdot 10^{-5}$	178

Resultat:

Med utgångspunkt från förlustfunktionen är alternativ 4 det som ansluter sig bäst till de uppmätta värdena. Med tanke på den lilla skillnaden mellan alternativ 3 och 4, hur liten den konstanta termen till ΔT^4 är samt osäkerheten i mätningarna, kan dock alternativ 3 anses jämbördigt med 4. Här har alternativ 3 valts och detta har även plottats i figur 4.3.

4.6. Stegsvar

Stegsvarsanalysen har genomförts dels för olika vattentäckningar, dels med resp. utan lock, dels med resp. utan aluminiumplatta. Då inget annat säges har de ovan nämnda regulatorparametrarna använts.

Eftersom vi inte kan ha någon I-del i regulatorn, får vi i samtliga fall ett stationärt fel, vars storlek varierar mellan 2 och 4°C.

4.6.1. Öppna systemet

För stegstörningar på 25 resp. 100 W uppför sig systemet som om det vore av första ordningen med en stigtid på ca 40 min. Man kan då tänka sig att bortse från plattan-
-kastrullen och anse att värmen tillföres vattnet direkt. Vi får då en ny modell:

$$\begin{cases} m_2 c_2 \cdot \frac{dT_2}{dt} = Q - A_2 h_2 (T_2 - T_0) \\ y = \begin{bmatrix} 1 \end{bmatrix} \cdot T_2 \end{cases}$$

$$\dot{T}_2 = \begin{bmatrix} -k_2 \end{bmatrix} \cdot T_2 + \begin{bmatrix} \frac{1}{m_2 c_2} \end{bmatrix} \cdot Q - k_2 \cdot T_0$$

$$\text{där } k_2 = \frac{A_2 \cdot h_2}{m_2 c_2} = 1/T_v$$

T_v = vattnets tidskonstant

Då blir

$$G(s) = \frac{A_2 h_2}{s T_v + 1}$$

Stegsvar för det öppna systemet visas i figur 4.4.

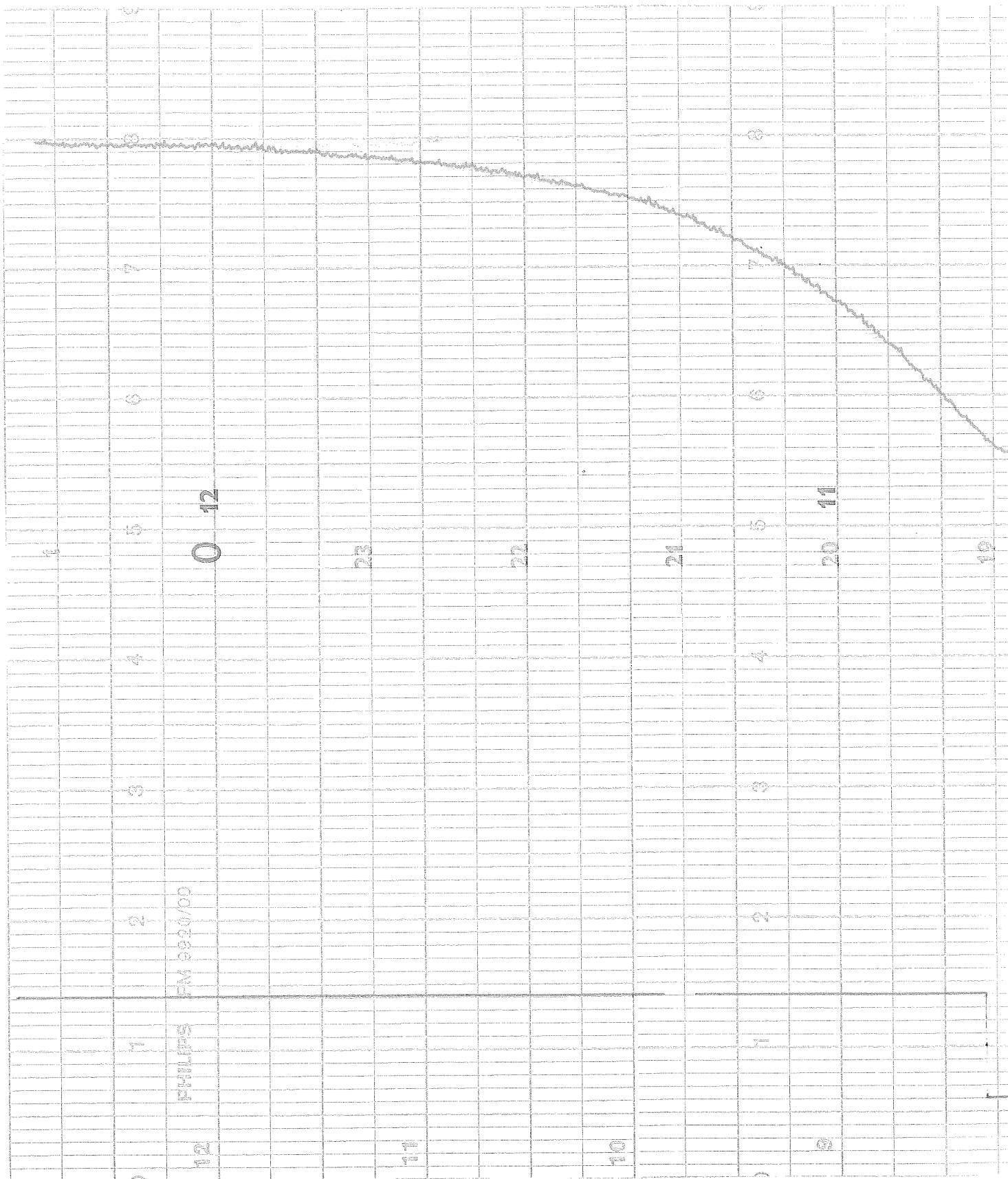


Fig. 4.4. Stegsvär för det öppna systemet

Steg: 100 W

4.6.2. Med resp. utan lock

Avdunstningen blir väsentligt större, 5 - 6 gånger större, vid försök utan lock, jämfört med försök med lock. Detta medför i sin tur att överslängen blir mindre, men vi får fler överslängar, och effektåtgången i stationärt tillstånd blir större, om man inte använder lock. Insvängnings- och stigtid blir dock ungefär densamma i de båda försöken.

4.6.3. Olika vattenmängder

Försök har utförts dels med $\frac{1}{2}$, dels med 1 liter vatten. Med $\frac{1}{2}$ liter vatten får vi en större översläng, men ett något mindre stationärt fel hos stegsvaret, än hos motsvarande kurva med 1 liter. Insvängningstiden blir kortare för den stora vattenmängden, på grund av den mindre överslängen, medan den lilla vattenmängden har den minsta stigtiden. Effektåtgången blir mindre för den lilla vattenmängden än för den stora, när stationärt tillstånd uppnåtts. Självfallet krävs dock mer effekt för att värma upp 1 liter vatten till 75°C , än för $\frac{1}{2}$ liter till samma temperatur, figur 4.5.

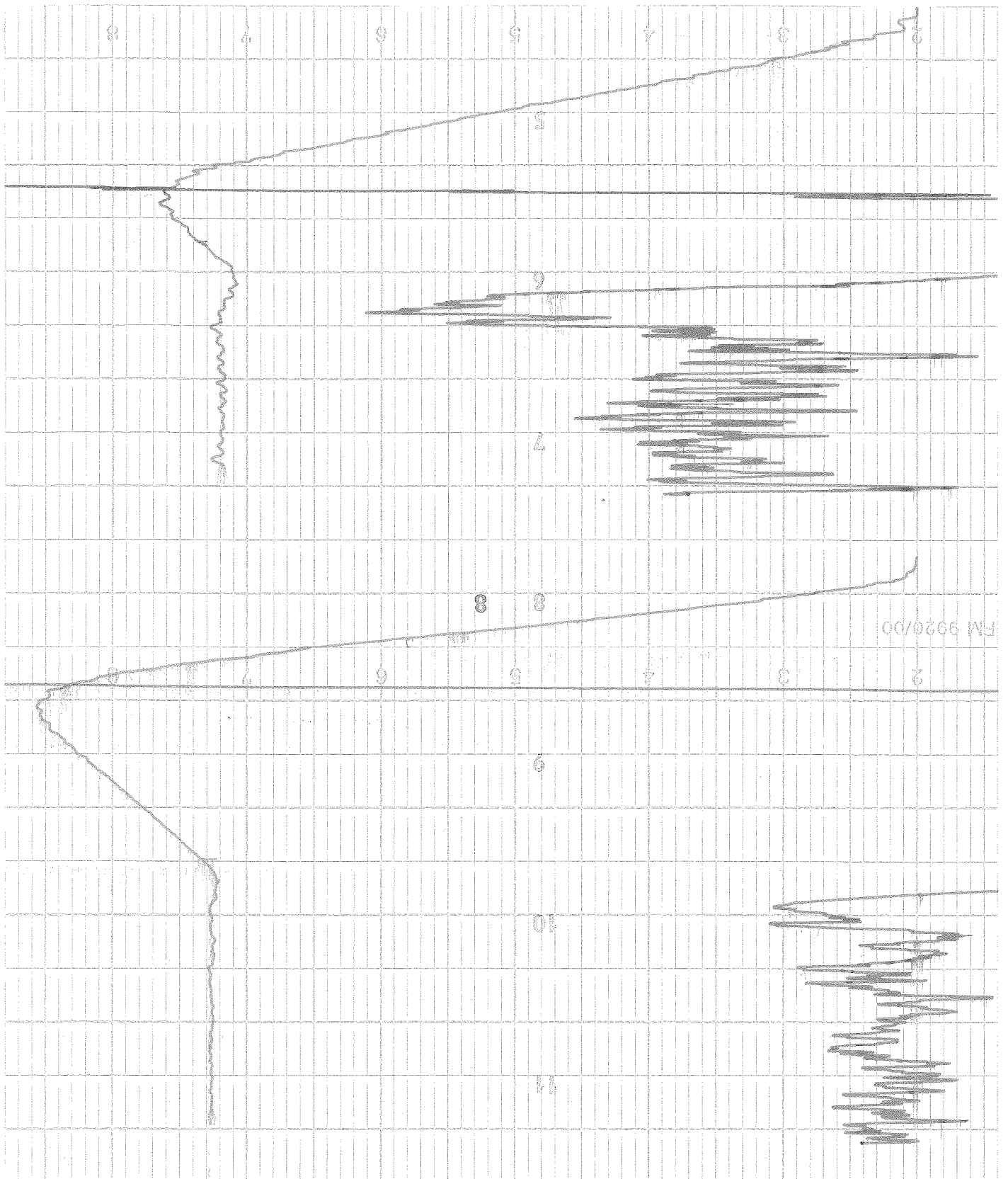


Fig. 4.5. Stegsvär med olika vattenmängder.

Övre kurvan med 1 liter vatten och den

undre med $\frac{1}{2}$ liter.

Börvärde 75°C .

4.6.4. Med resp. utan aluminiumplatta

Med aluminiumplattan, 20.0 mm tjock, införes en tidsfördröjning i systemet, på grund av plattans stora massa. Av samma anledning kommer regulatorn inte till sin rätt, i och med att en stor mängd värme kommer att finnas lagrad i plattan. Detta medför att systemet blir avsevärt trögare, med plattan. Man får kraftigare och fler överslängar och en väsentligt längre insvängningstid. Även stigtiden blir längre vid försök med aluminiumplattan.

Vid stationärt tillstånd är den inmatade effekten ungefär lika stor i de båda fallen, men med plattan varierar effektbehovet betydligt mer än utan platta, figur 4.6.

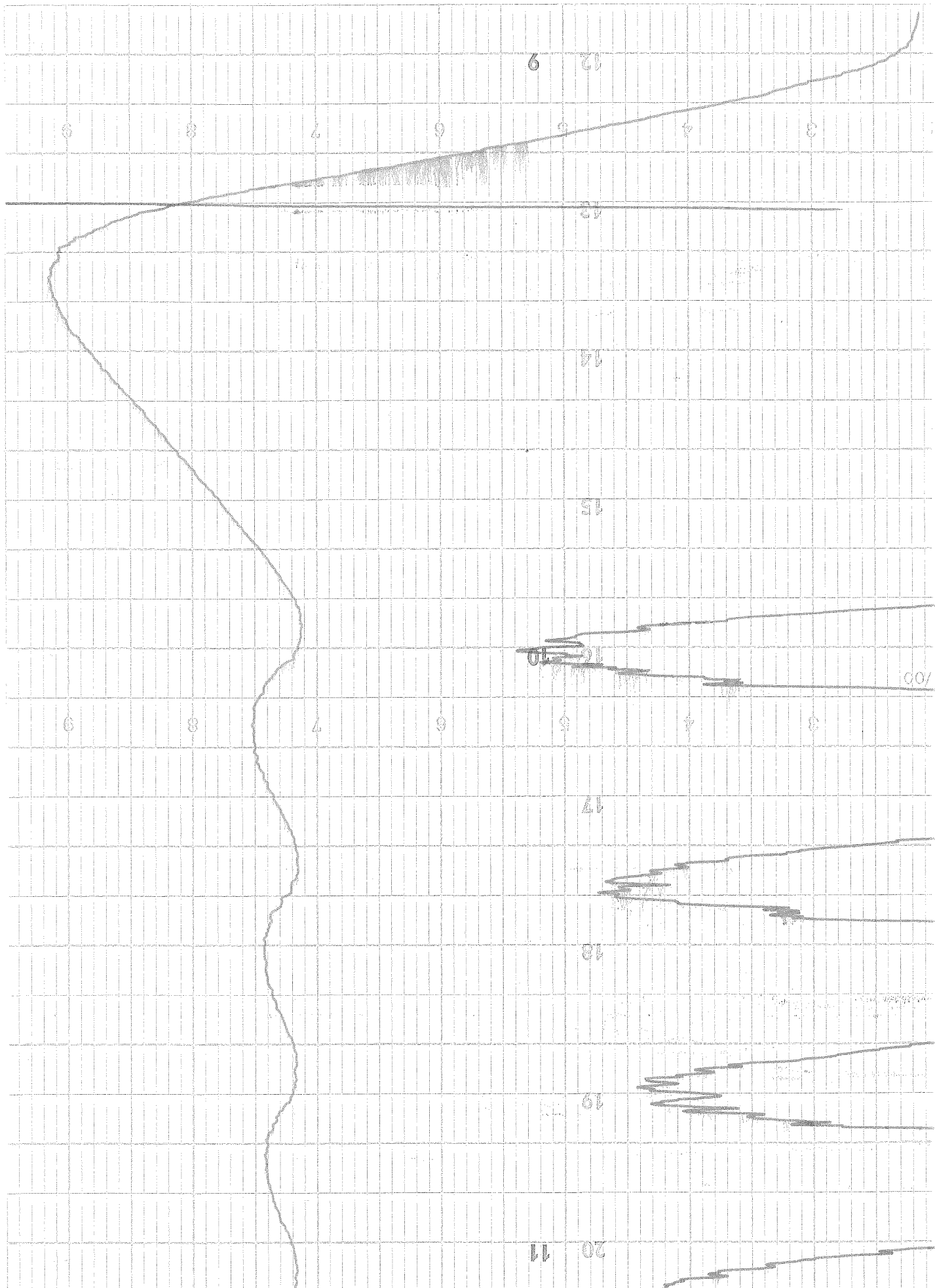


Fig. 4.6. Stegsvär för $\frac{1}{2}$ liter vatten, med aluminiumplatta.
Börvärde 75°C

4.7. Variation av regulatorparametrarna

Ett utmärkt sätt att få en uppfattning om hur en regulator påverkar en process, är att variera regulatorparametrarna och studera stegsvaret. I detta fall kan K - och T_d -värdet ändras.

4.7.1. Ändring av K -värdet

Teoretiskt skall en ökning av K -värdet medföra att systemet blir snabbare och att det stationära felet skall minska.

Mätningarna visar, för stora K -värden, att det stationära felet minskar, men snabbheten har inte ökats. Detta beror på att man vid uppvärmningen, i båda fallen, har samma ineffekt (mättning).

För stora K -värden får vi en något större översläng än vid små K -värden, figur 4.7.

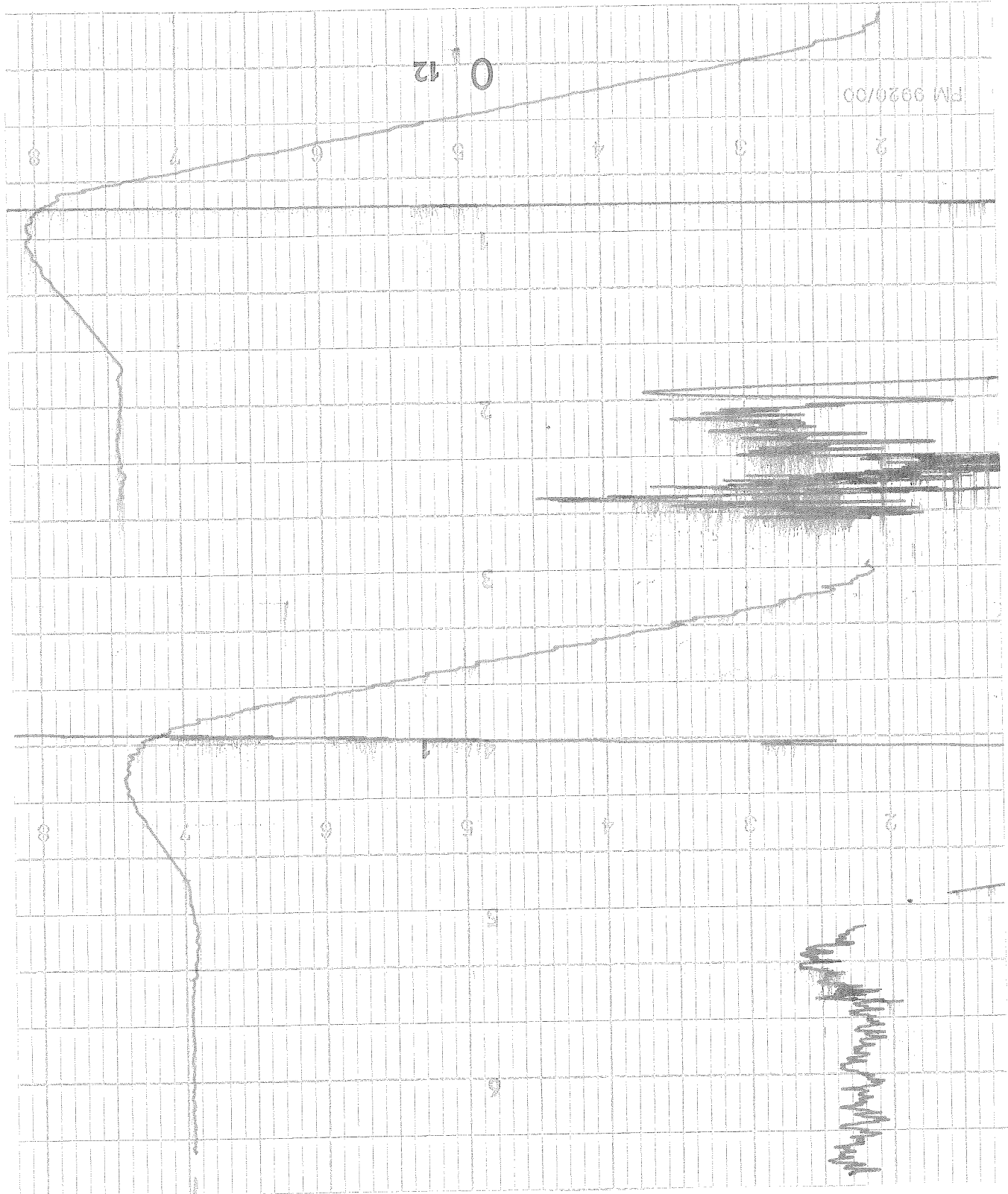


Fig. 4.7. Variation av K-värdet.

I övre kurvan är $K = 50$ och

i den undre $K = 10$.

Börvärde 75°C

4.7.2. Ändring av derivationstiden , T_d

Korta derivationstider skall ge en kraftigare översläng än långa, vilket även mätningarna visar. Genom den större överslängen blir insvängningstiden också något längre. I övrigt uppför sig kurvorna likadant, figur 4.8.

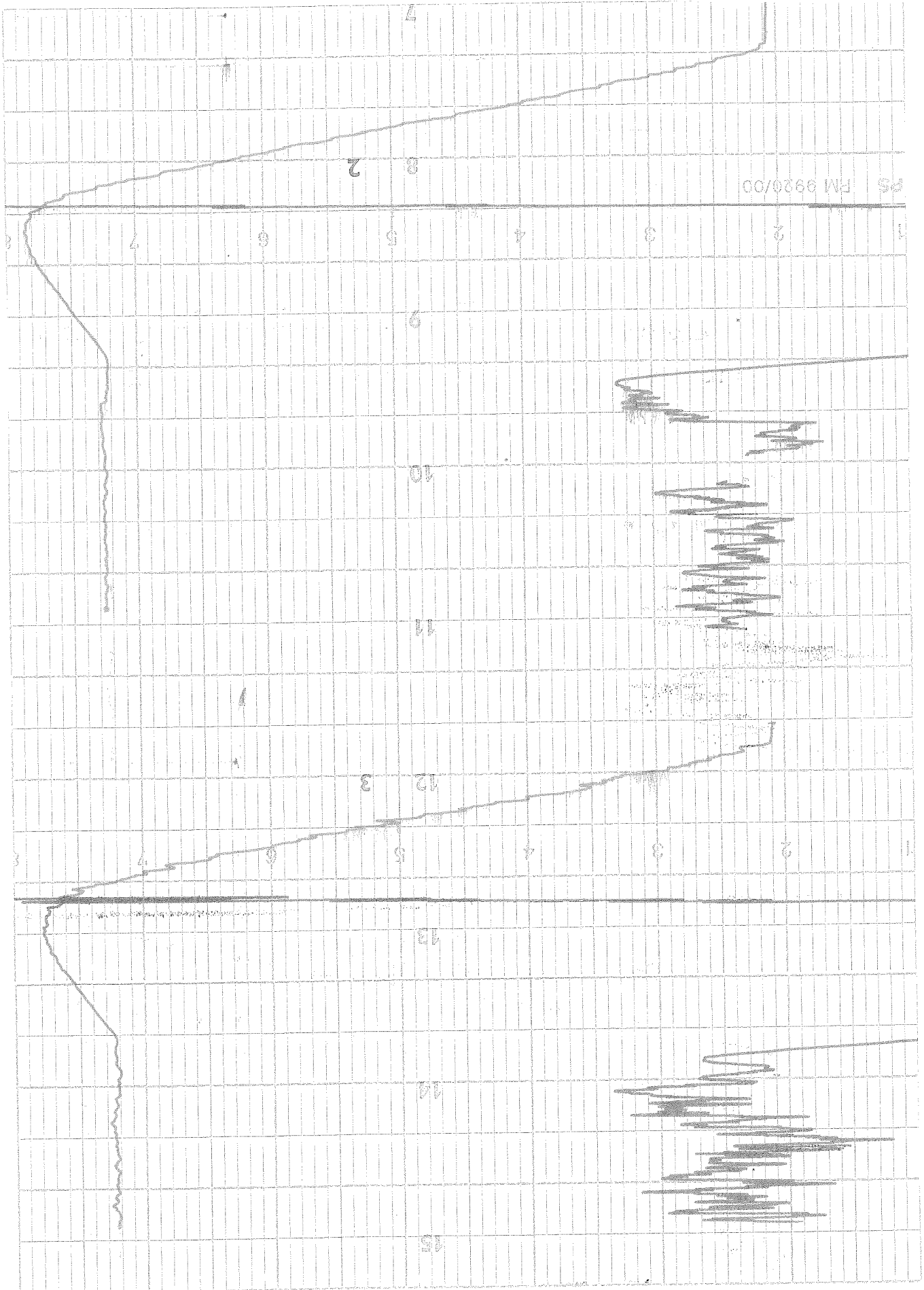


Fig. 4.8. Variation av derivationstiden Börvärde 75°C
 Övre kurvan : $T_d = 0.5$
 Undre kurvan: $T_d = 2.0$

4.8 Appendix 4

Uppgifter.

1. Värm 1 liter vatten, börvärde = 60°C , med värmeplattan inställd på 4 och med regulatorn inkopplad. Lämpliga parametrar:

$$K = 20, \quad T_d = 1 \quad \text{och} \quad N = 1.5$$

2. Gör som i 1, men med $K = 50$
3. Gör som i 1, men med $T_d = 5$
4. Gör som i 1, men med aluminiumplattan under kastrullen.