

DYNAMIKSTUDIER PÅ ETT ÅNGKRAFTVERK

JERZY FLATO  
GEORG HODOSI

RE-181 Juni 1976  
Department of Automatic Control  
Lund Institute of Technology

DYNAMIKSTUDIER PÅ ETT ÅNGKRAFTVERK

Redogörelse för ett examensarbete utfört 1975 - 76

av : Jerzy Flato

Georg Hodosi

Handledare: Ingemar Svanberg    Stal - Laval, Finspång  
Ivar Gustavsson    Inst. för Regleringsteknik,  
Björn Wittenmark    LTH, Lund

A B S T R A C T

The goal of this work is to build a dynamic model for a steam power plant, using frequency and step-response analysis and use it for construction of an automatic controlling system. The model is to simulate all the variables necessary for controlling whith reasonable accuracy.

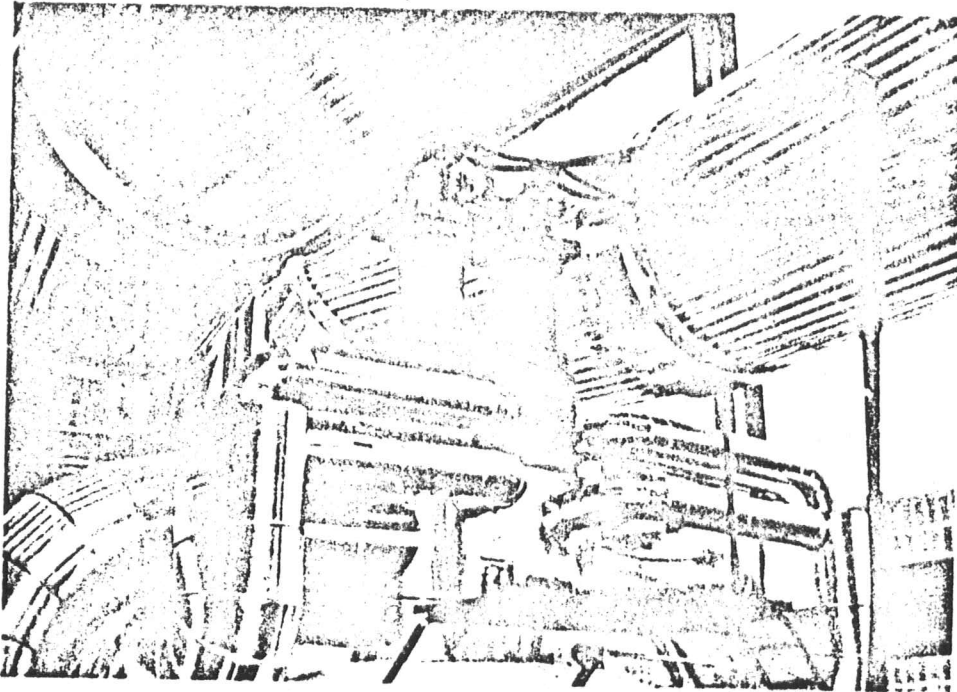
By using measurements at a power plant in Örebro, the transfer functions for the most important steam pressures and process temperatures were determined. Whith those transfer functions as a ground several alternative dynamical models were analysed. One of them was chosen as the most useful for the computer simulation.

The process outputs that were important for controlling purposes were fed back and controlled, and the optimal parameters for the controllers were chosen by repeated simulations. The interactive computer program "Simnon" was used. The computer plottings of the feedback-systems show that the controllers satisfy the requirements.

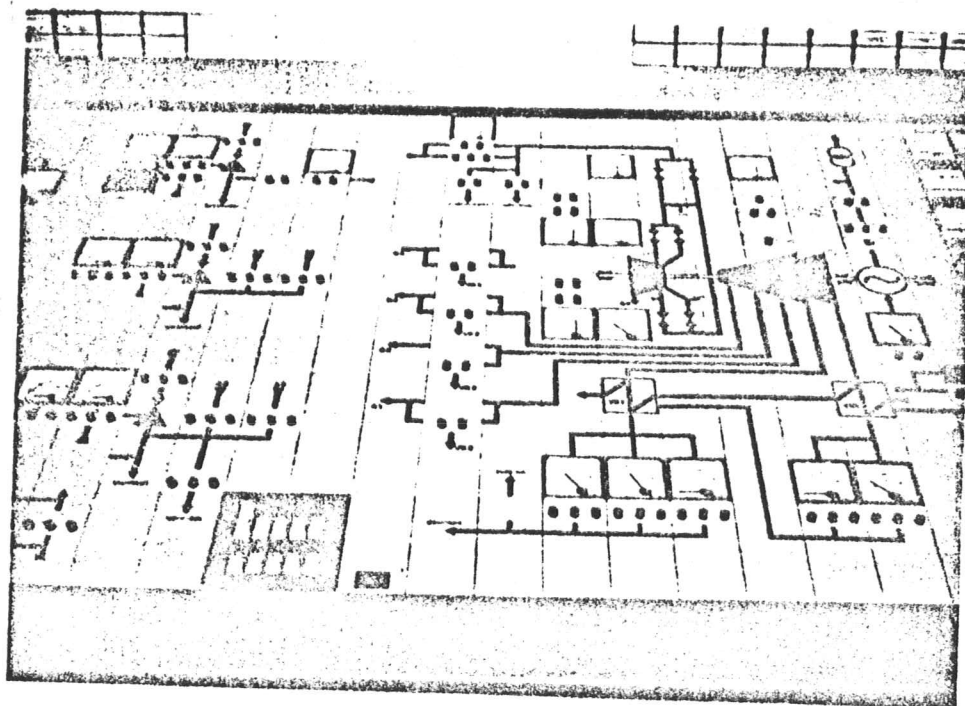
A model based on physical laws was built for the turbine with condensor. This model was used to study the temperature- and pressure changes. The resulting pressure changes were fairly accurate, but for the temperature changes the model was too simple, so that the first model is more efficient for feedback and control.

100000  
73-01  
Bl. 51.4 455

STAL-LAVAL



Reklerventil



Manöverpanel

S A M M A N F A T T I N G

Avsikten med examensarbetet är att med hjälp av frekvens och och stegsvarsanalys bygga en modell för ett ångkraftverk och använda den för att konstruera ett reglersystem.

Modellen skall simulera alla processvariabler som är intressanta ur reglertekniskt synpunkt, med tillräcklig noggrannhet.

Med hjälp av mätningarna gjorda på Örebrovärmekraftverk bestämdes de viktigaste ångtryck och temperaturprocessernas överföringsfunktioner.

Utgående från överföringsfunktionerna analyserades några alternativa dynamiska modeller för kraftverket. En av dessa visade sig vara lämpligast ur simuleringssynpunkt.

De ur reglersynpunkt viktiga mätsignaler återkopplades och lämpliga regulatorparametrar simulerades fram. Till det använde vi ett interaktivt dataprogram "Simnon". Plottningar på datamaskin av de återkopplade systemen visar att regulatorerna uppfyller de uppställda kraven.

Vi har utifrån fysikaliska grundekvationer byggt en modell för kraftverket, varvid endast temperatur och tryckändringar studerades. Det visade sig att tryckförloppen överensstämde med de förväntade, men för att få fram temperaturändringarna var modellen för enkel och därmed kan den andra modellen effektivare användas för återkoppling och reglering.

I N N E H Å L L

Inledning.....1  
Mätningar.....3  
Frekvensanalys.....4  
    - Mätmetoder.....4  
    - Signalmätning.....9  
Framtagning av överföringsfunktioner.....10  
    - Frekvensanalys.....10  
    - Stegvarsanalys.....18  
    - Lista över Bodediagram.....22  
    - Kommentar till Bodediagram.....38  
Startsönd.....42  
Dynamisk modell.....47  
Återkoppling och reglering.....54  
Ångans väg genom turbinen.....62  
    - Modell för turbinen.....65  
    - Modell för kondensorn.....68  
Litteratur.....77  
Appendix I Användning av Simnon.....78  
Appendix II Systemekvationer för delprocesserna.....85  
Appendix III Dataprogram för fysikaliska modellen.....94

I N L E D N I N G

Ett värmekraftverk har en ganska omfattande reglerutrustning för reglering av bland annat turbinvarvtal, effekt och fjärrvärmetemperatur. För dynamiska beräkningar på reglersystemet och för simulering med hjälp av dator eller analogmaskin krävs en dynamisk modell av processen. Avsikten med examensarbetet är att få fram en sådan modell, samt att få fram förslag till inställning av turbinregulatorn.

En ny reglerform "temperatursondreglering" kommer sannolikt att införas på kommande anläggningar. Denna reglering har till uppgift att begränsa temperaturskillnaden mellan turbinhus och ånga. Även denna reglerform tas med i modellen och lämpliga regulator anges.

Mätningarna gjordes på en 104 MW Stal-Lavals värmeturbin, då kontrollundersökning gjordes i slutet av garantitiden. Ångturbinen användes kontinuerligt för elektricitetsalstring och kylvattnet för uppvärmning av bostäder. Turbinen är av axialtyp med 2 steg, som driver en synkrogenerator från Asea. Ångregleringen består av ventilerna: V1, V2, V3 och V4. Först öppnar V1 och V2 parallellt. När V1 och V2 är helt öppna börjar V3 öppna, och när V3 är helt öppen börjar V4 öppna. V1 och V2 tar ungefär 60% av ångmängden till turbinen V3 ytterligare 30% och V4 återstående 10%. Vid mät-

ningarna använde vi V3 för att åstadkomma sinus- och stegstörningar. Ventilernas hastigheter är hydrauliskt begränsade till ett slag på ca 3 sekunder.

Genomförande:

1. Frekvensanalys på värmekraftverket i Örebro.
2. Utvärdering av frekvensanalysen med uppritande av Bodediagram och framtagna överföringsfunktioner.
3. Framtagande av dynamisk modell av processen, lämpad att användas vid simuleringar med hjälp av dator eller analogmaskin.
4. Förslag till inställning av regulatorn inklusive "temperatursondreglering".



MÄTNINGAR:

Följande mätstorheter registrerades;

1. Temperatur av fjärrvärmevatten
2. Tryck i värmekondensor
3. Ångpannatryck
4. Ångtryck i turbininloppet
5. Varvtal
6. Temperaturdifferens mellan ånga och turbinhus
7. Generatoreffekt
8. Söld effekt
9. Kylvattenflöde
10. Ventilläge
11. Tongeneratorsignal
12. Regleravvikelse

Vid mätningarna varierade vi tongeneratorfrekvens, tongeneratoramplitud och kylvattenflöde.

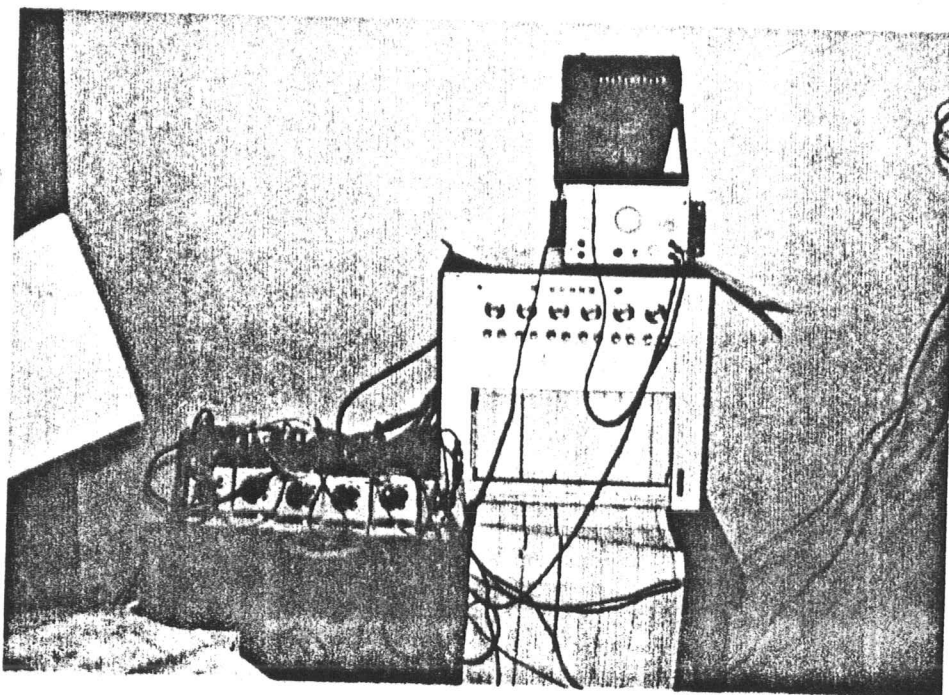
Vi använde oss av följande mätinstrument:

- 6-kanalsskrivare
- Digitalvoltmeter
- Tryck, temperatur, effekt - givare
- Oscilloskop

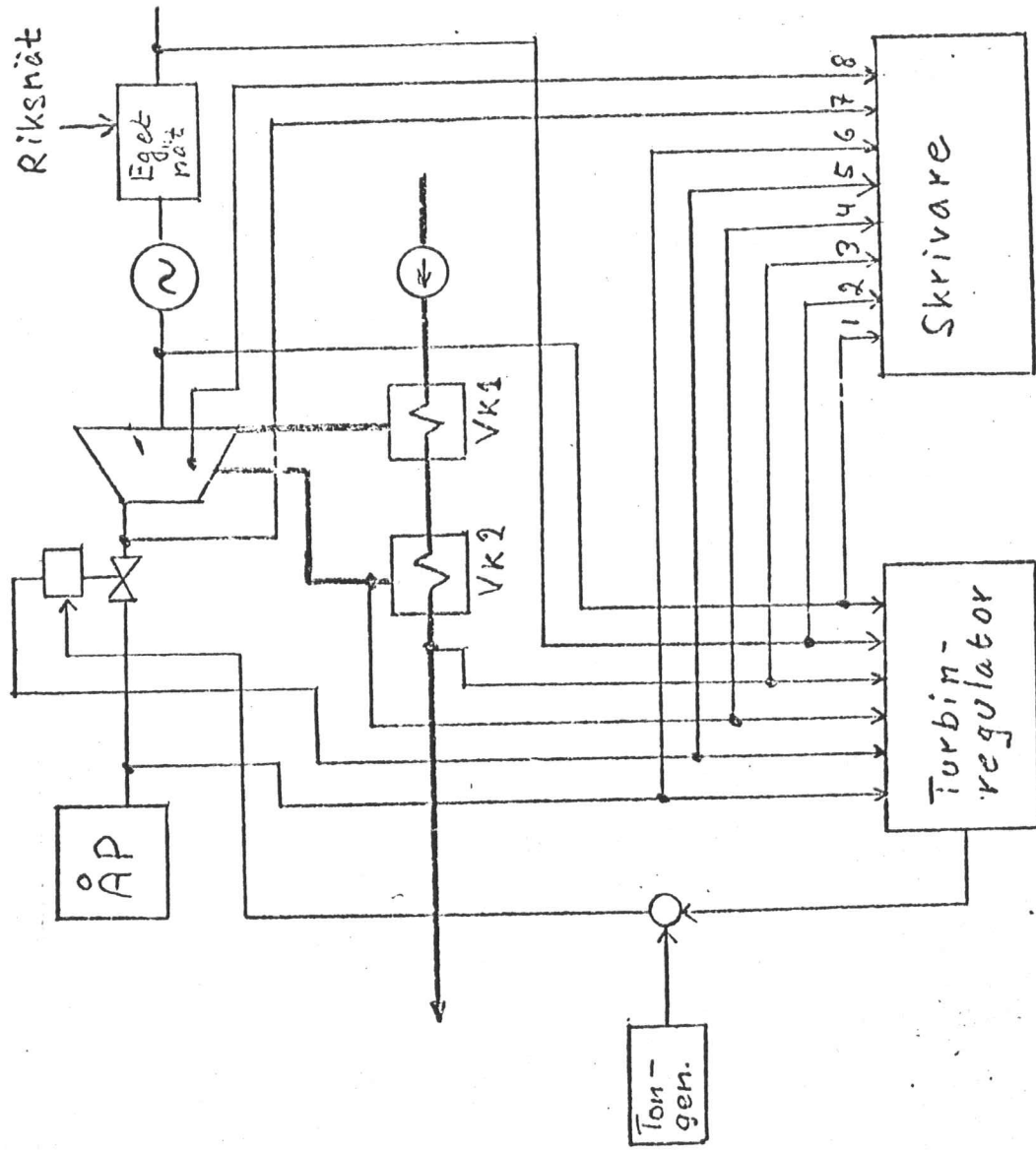
FREKVENSPANALYSMätmetoder

Mätningarna gjordes för det slutna systemet, med regulatorn inkopplad. Den principiella uppkopplingen framgår av figur 1. På ventillägessignalen överlagrades en sinusformad signal. På radskrivaren registrerades mätsignalerna. Sinusfrekvensen varierades stegvis från 0.00078 Hz till 5 Hz. Mätsignalerna registrerades för olika amplituder på sinusen. Mätsignalernas amplituder ändrades proportionellt.

För att få fram överföringsfunktionerna behövde vi mäta det öppna systemet för de olika delprocesserna. Att vi verkligen mätte det öppna systemet framgår av följande härledningar.



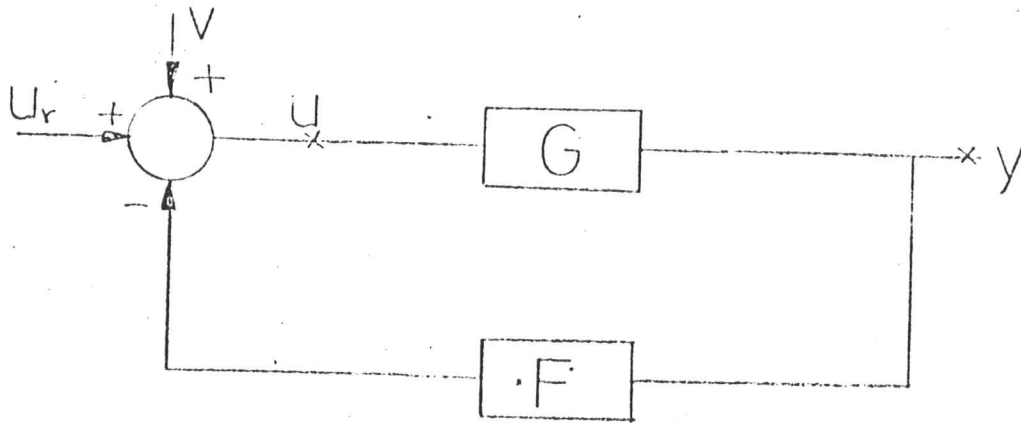
Mätutrustning



1. Turbinvarvtal
2. Köpt effekt
3. Temperatur fjärrvärmevatten
4. Tryck VK2
5. Reglerventilläge
6. Panntryck
7. Tryck i turbininlopp
8. Temperatursondsignal

Uppkoppling för frekvensanalys

Fig. 1

SYSTEM UTAN STÖRNING

F = regulator

v = signal från torgenerator

u = mätpunkt

G = sökt överföringsfunktion

y = mätpunkt utsignal

u<sub>r</sub> = börvärde

$$y = Gu = G(v + u_r - Fy) \quad \rightarrow \quad y(1 + GF) = (u_r + v)G \quad 1$$

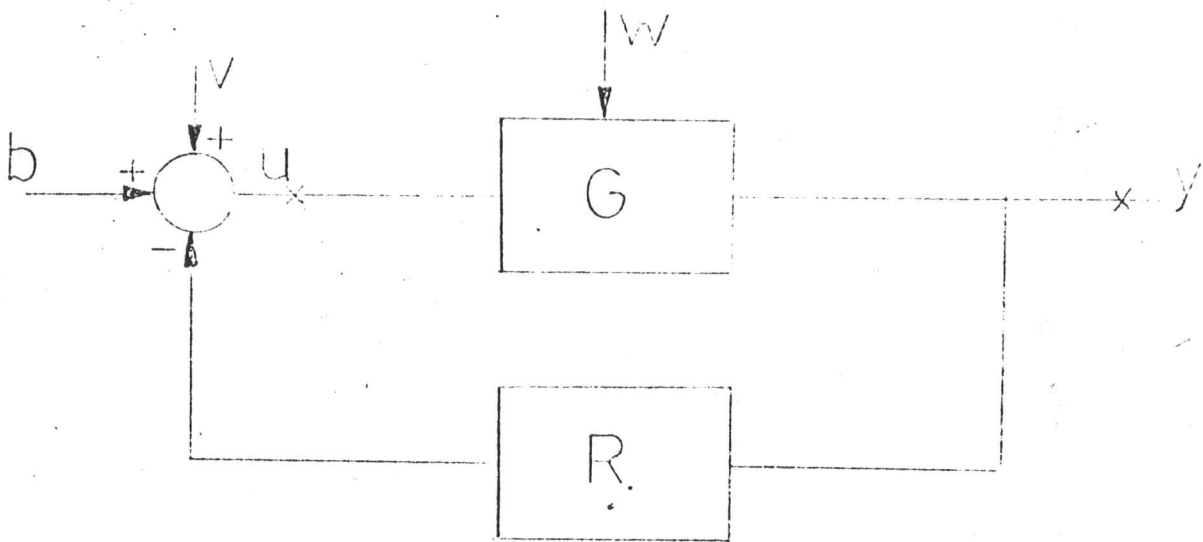
$$u = v + u_r - yF = v + u_r - uFG$$

$$u(1 + FG) = v + u_r \quad 2$$

Def av överföringsfunktion  $G_0 = y : u$  ger tillsammans med 1 och 2

$$G_0 = G$$

Slutsats: vi mäter det öppna systemets överföringsfunktion.



$b$  = börvärde

$v$  = signal från tongenerator

$u$  = mätpunkt insignal

$G$  = sökt överföringsfunktion

$w$  = störning

$R$  = regulator

$$y = (u + w)G = (v + b - Ry + w)G$$

$$y(1 + RG) = (v + b + w)G \quad \dots \quad 1$$

$$u = v + b - R(u + w)G$$

$$u(1 + RG) = v + b - wRG \quad \dots \quad 2$$

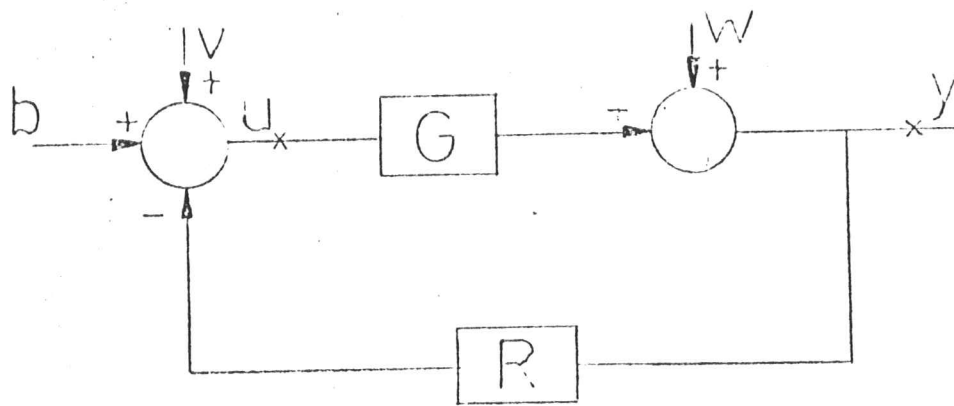
Definition av överföringsfunktion  $G_o = \frac{y}{u}$  ger med 1 och 2

$$G_o = \frac{v + b + w}{v + b - wRG} = G \frac{1 + w/(v + b)}{1 - RGw/(v + b)}$$

$\frac{w}{v + b}$  liten. Serientveckling ger

$$G_o = G \left( 1 + \frac{w}{v + b} (RG + 1) \right) \approx G \quad \text{då } R \text{ är litet}$$

Se kommentar på föregående sida.



$b$  = börvärde

$v$  = signal från tongenerator

$u$  = mätpunkt insignal

$G$  = sökt överföringsfunktion

$w$  = störning

$R$  = regulator

$$y = uG + w = (v + b - yR)G + w \quad \rightarrow \quad y(1 + RG) = vG + bG + w$$

$$u(1 + RG) = v + b - Rw$$

Definition av överföringsfunktion  $G_o = \frac{Y}{u}$  ger med 1 och 2

$$G_o = \frac{v + b + w/G}{v + b - Rw}$$

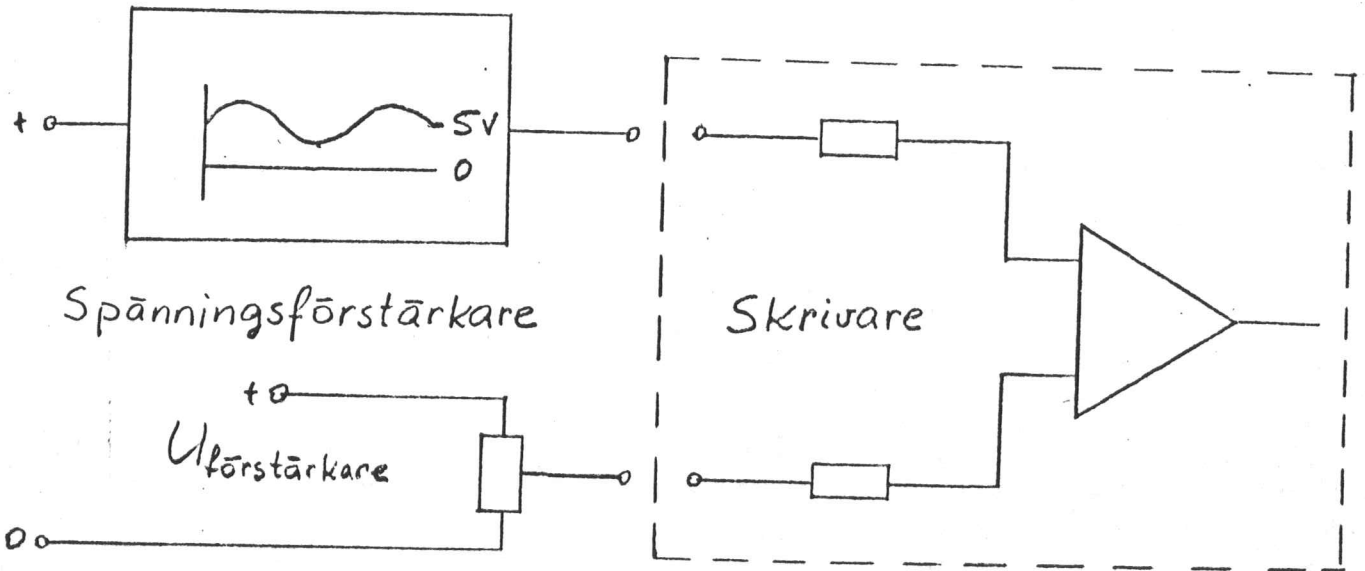
$\frac{w}{v + b}$  liten. Serieutveckling ger:

$$G_o = G \left( 1 + \frac{wR}{v + b} \right) + w \frac{1}{v + b} \cdot G \approx G$$

Kommentar: Eftersom vi har fått ut sinusformade kurvor i utsignalen då tongenerators signal var sinusformad, så kan vi inte ha fått in stora stokastiska störningar. Genom att vi har mätt flera olika frekvenser och jämfört kurvorna, så kan vi utesluta periodiska störningar.

Signalmåtning

Vid tryckmätningarna använde vi "nollpunktsförskjutning", för att utbalansera likspänningskomponenten. Därmed undviker vi att bottna förstärkarna.



FRAMTAGNING AV ÖVERFÖRINGSFUNKTIONERNA

När amplitudpunkterna och faspunkterna avsattes på Bode-diagram så har vi jämfört dem med typkurvorna. Med hjälp av dessa har vi approximerat våra kurvor och därmed bestämt överföringsfunktionerna.

KONTROLL AV ÖVERFÖRINGSFUNKTIONER

För att kontrollera att vi verkligen fått fram de riktiga överföringsfunktionerna har vi simulerat några frekvenser på datamaskinen. Vid mätningarna i Örebro har vi bland annat kört dessa frekvenser. Därmed kunde vi jämföra de verkliga överföringsfunktionerna med de som vi har fått fram ur frekvensanalysen. På följande sidorna visas några exempel på radskrivarutskrifter och simuleringar. Det är bra överensstämmelse bland dessa, trots att en del radskrivarutskrifter är något otydliga (några överföringsfunktioner modifierades för att få bra överensstämmelse).

I en del fall har vi halverat tongeneratoramplituden med följd av att även utsignalen har halverats. Detta kan vara en god indikation på att det är frågan om linjära system.



SKRIVARHAST 1mm/s

$f = 0.01 \text{ Hz}$

11

VENTILLÄGE

TONGENERATOR

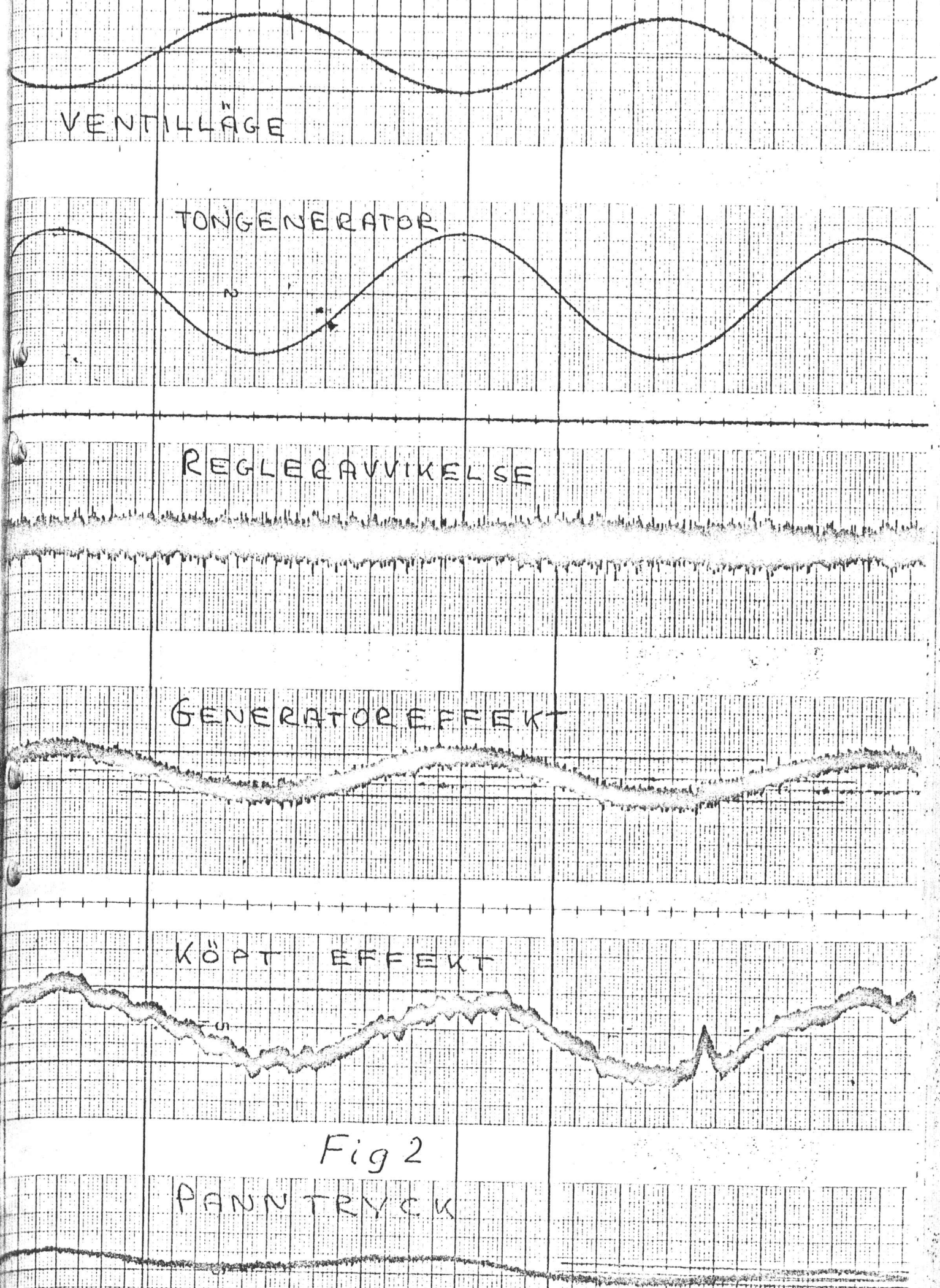
REGLERAVVIKELSE

GENERATOR EFFEKT

KÖPT EFFEKT

Fig 2

PANNTRYCK



U = VENTILLÄGE  
Y = KÖPT EFFEKT

HCOPY Ø G13 OPEN W-0.0628 R/S

STORE : U  
STORE : Y

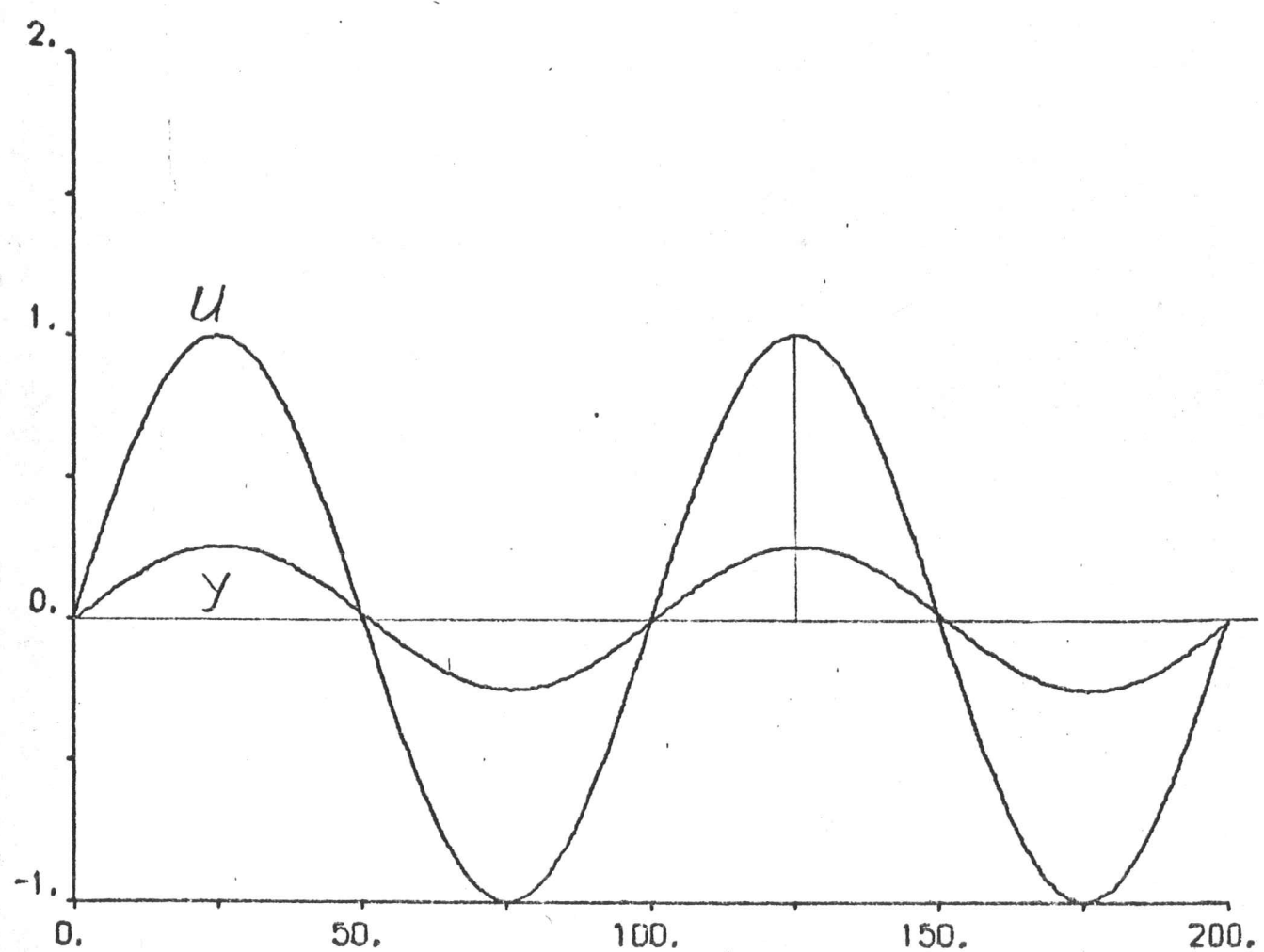


Fig 3

LÄGE VENTIL 3

$\phi = 0.005 \text{ Hz}$

TRYCK I TURBININLOPP

TRYCK VK<sub>1</sub>

BRUSH INSTRUMENTS DIVISION, GOULD INC.

CLEVELAND, OHIO PRINTED IN U.S.A.

TRYCK VK<sub>2</sub>

0.036

UTGÅENDE KYLUATTEN

*0.500*

Fig 4

17mm-980

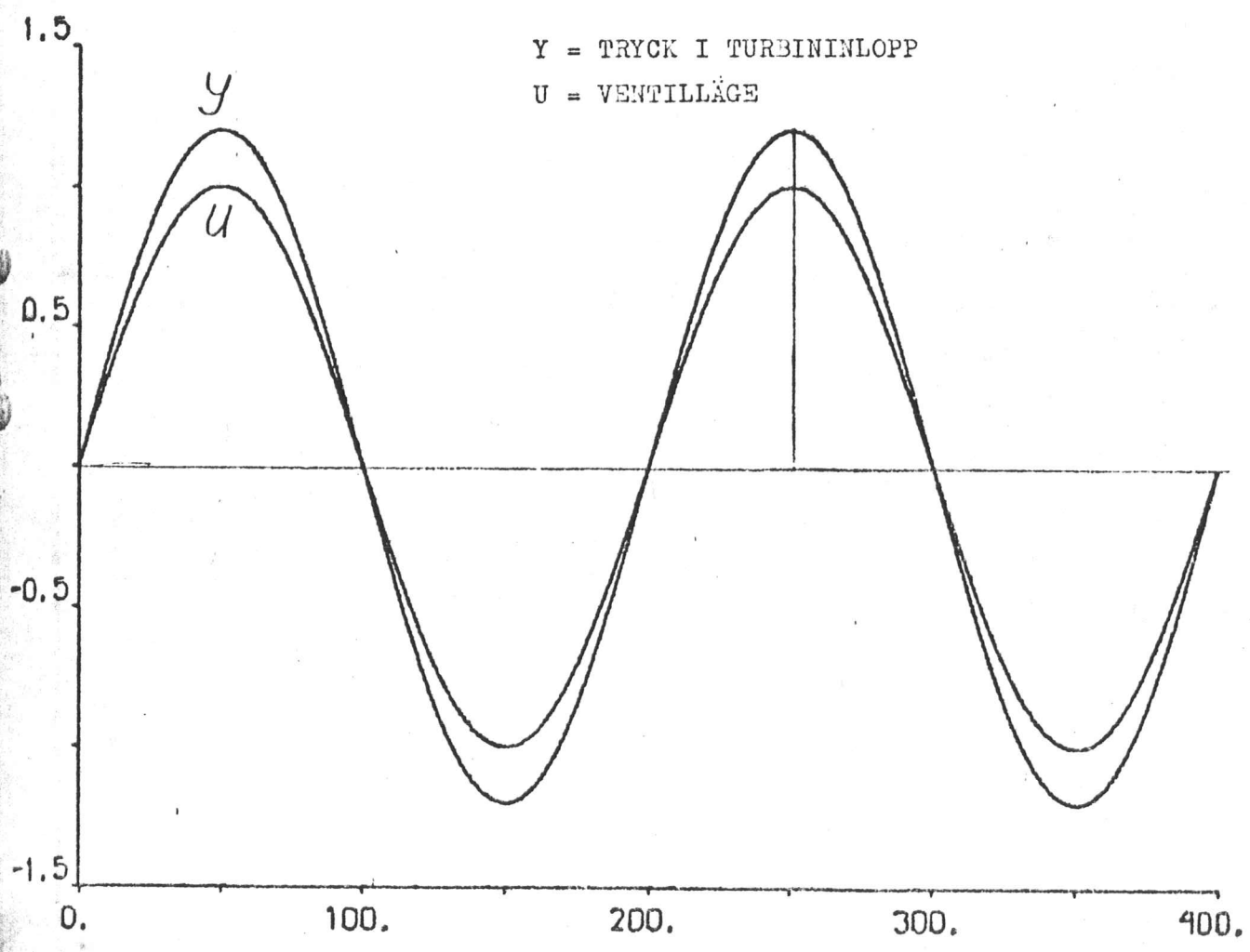
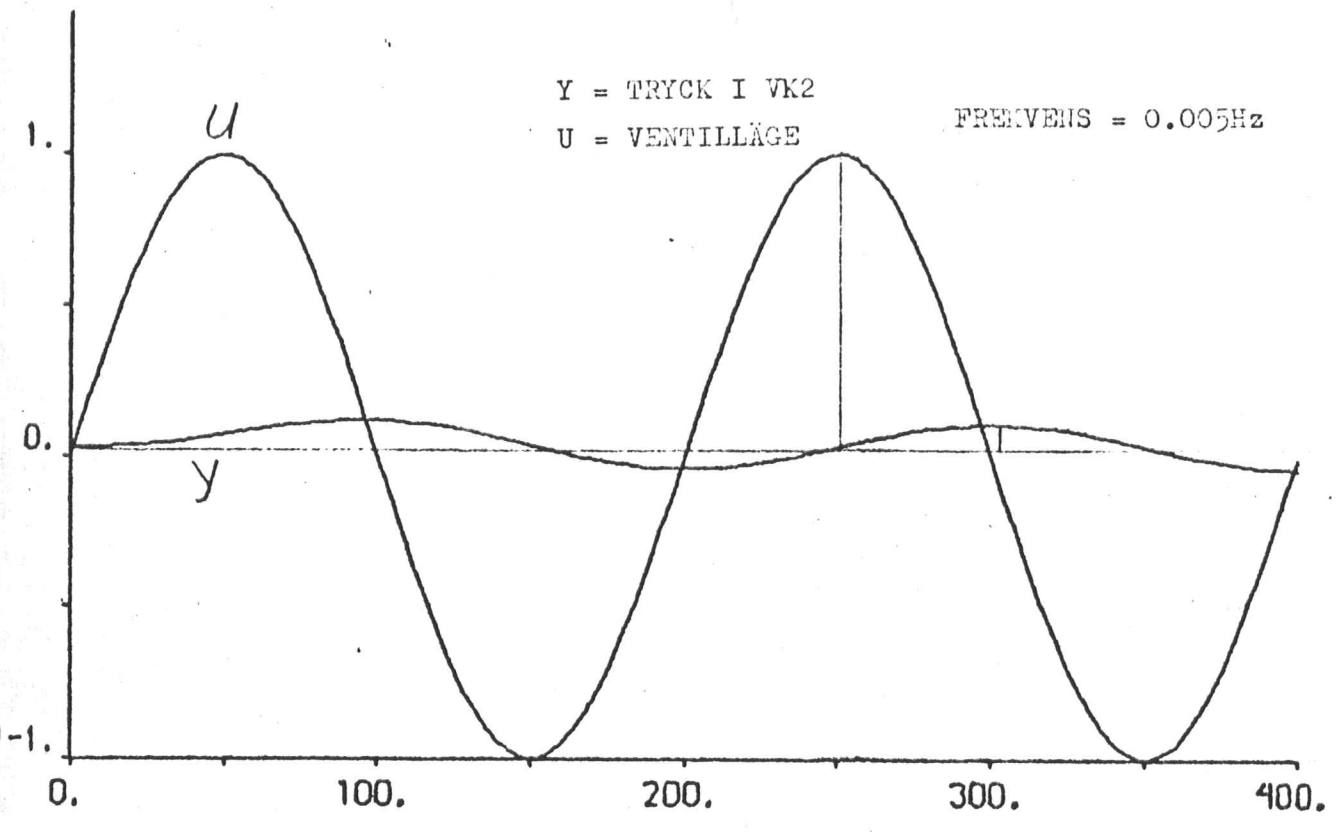
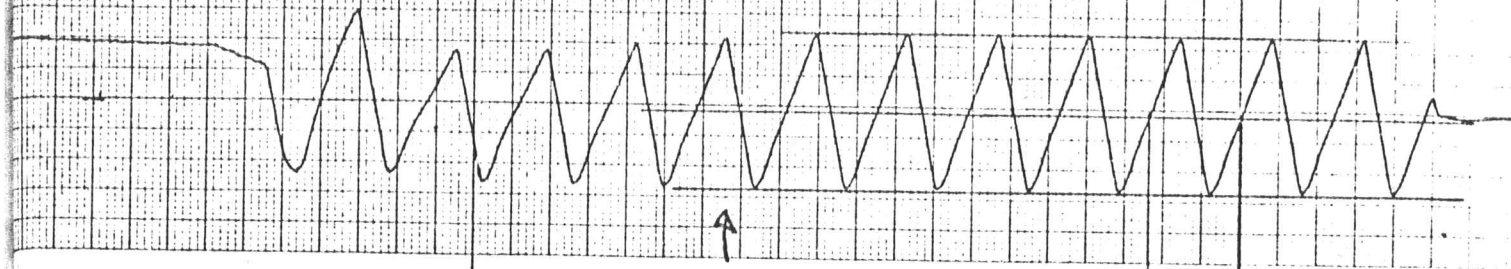


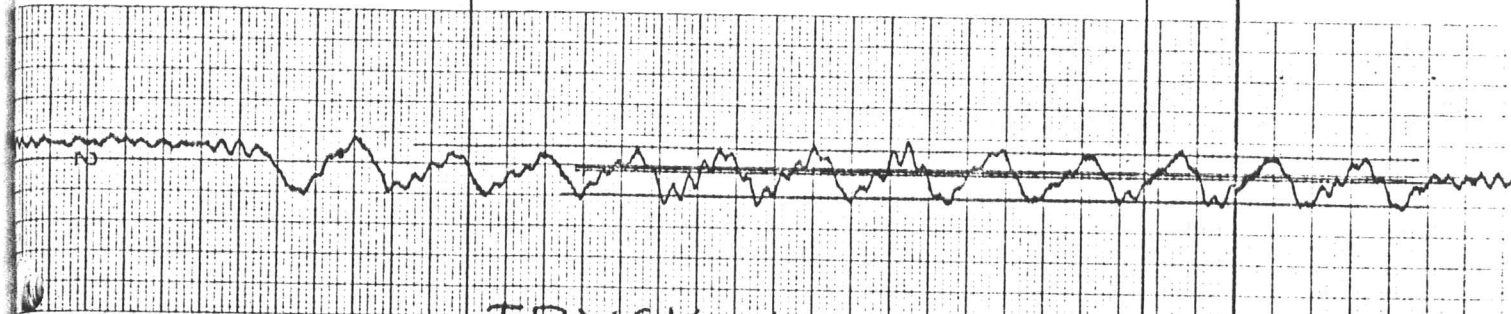
Fig. 5

2712

15



VENTILLÄGE (3)



TRYCK I TURBININLOPP

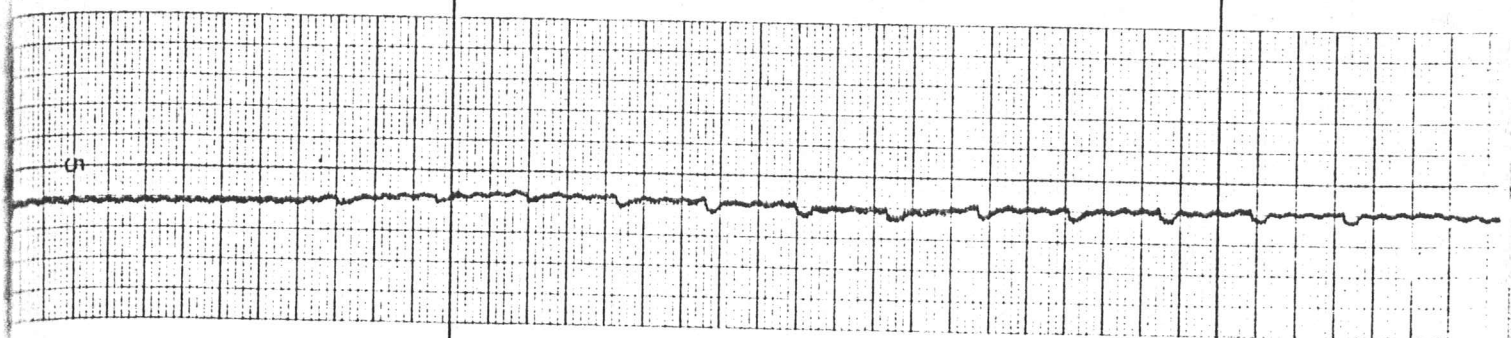
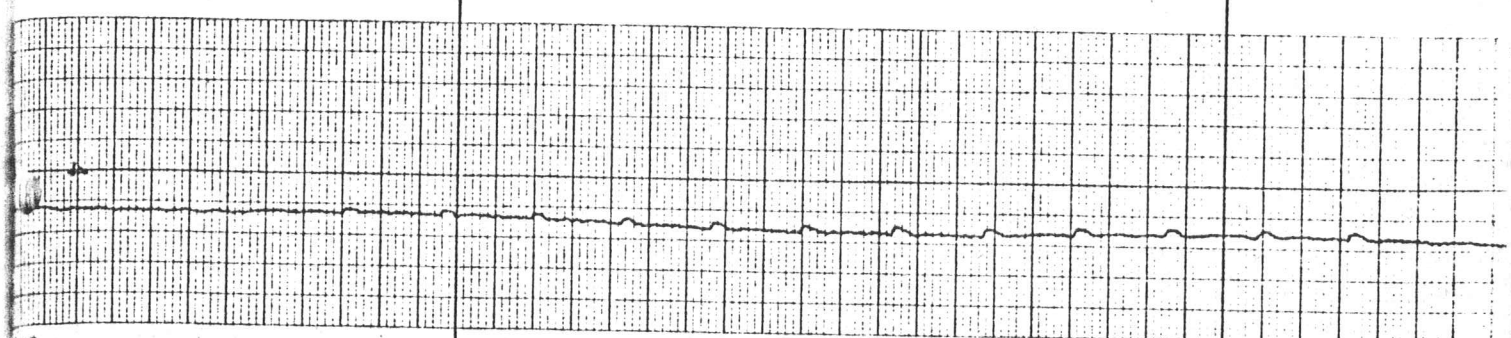
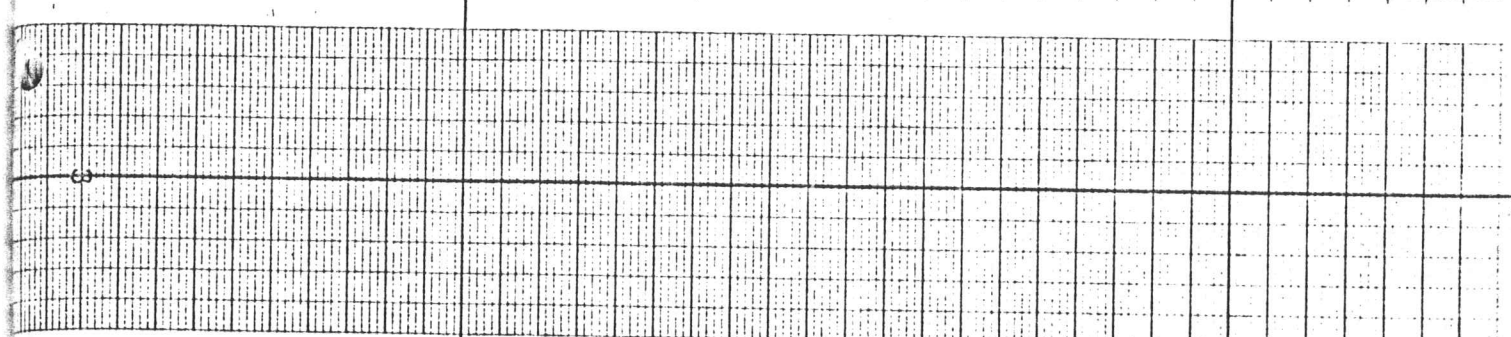


Fig. 6

U = VENTILLÅGE

Y = TRYCK I TURBININLOPP

HCOFY 066 V.L.-TRYCK I TURB.INL. W-12.6

FIL4 : U G6  
FIL4 : Y G6

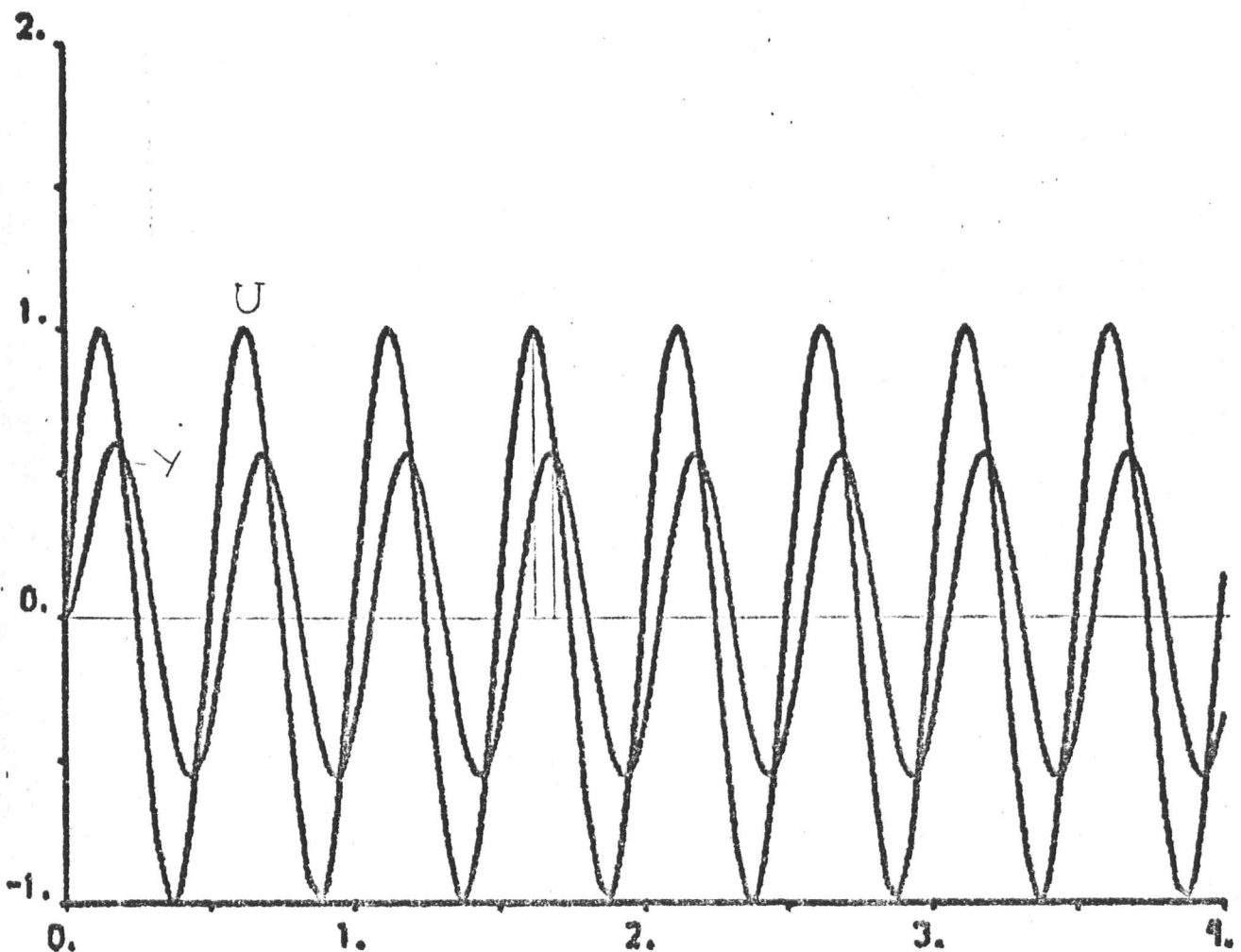


Fig. 7

Kommentar till kurvorna:

I fig. 2 visas en registrering av en sinusformad ventillägesändring och motsvarande sinussvar för Köpt Effekt vid 0.01 Hz.

I fig. 3 visas en simulering av samma process vid samma frekvens. God överensstämmelse av amplitud och fasförskjutning.

I fig. 4 visas en registrering av Tryck i Turbininlopp och Tryck V<sub>k2</sub> vid en sinusformad ventillägesändring vid 0.005 Hz. Dessa jämfördes med fig. 5 som simulerades på datamaskin.

Jämförelse mellan uppmätt och simulerat Tryck i Turbininlopp visas i fig. 6 och vid 2 Hz.

STEGSVARSANALYS

Vid mätningarna i Örebro har vi tagit några stegsvar på de viktigaste signalerna.

Med hjälp av stegsvaren har vi bestämt överföringsfunktionen för startsonden, eftersom frekvensområdet för Bodediagrammet var för smalt och endast den ena brytpunkten var med. Även tidsfördröjningen fick vi fram på det här sättet.

Med hjälp av datamaskinen har vi simulerat stegsvaren för Tryck  $VK_2/VL$  och Temperatur fjärrvärmevatten/ $VL$ . Dessa har vi jämfört med stegsvaren från skrivaren och funnit god överensstämmelse.



SKRIVARHASTIGHET 25 mm/min

TESTEN TIL SPINNESTEN

3.5 min

9.2.5

4.9 min insv.

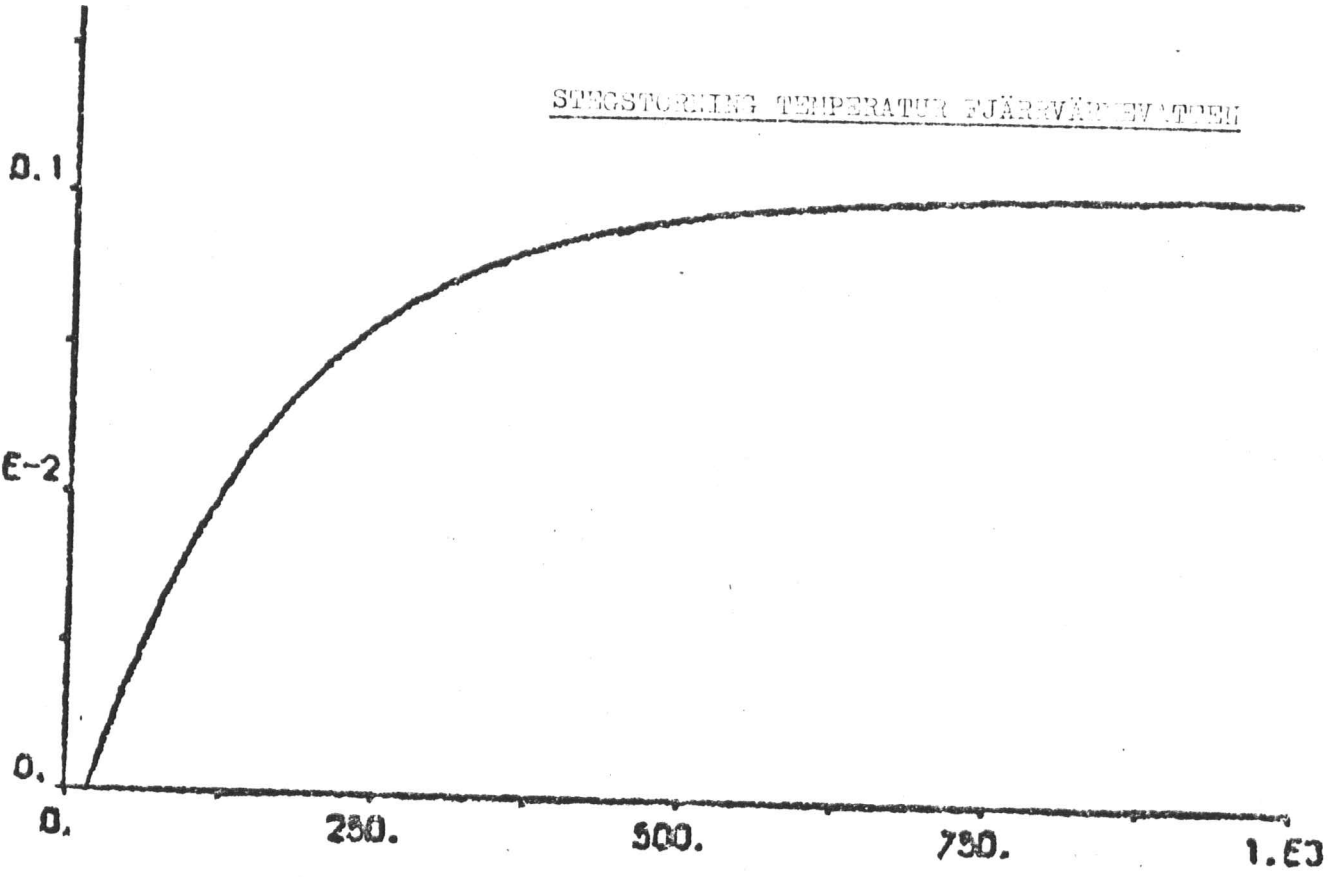
FIG. 8

385.

spinnen 2.45

7.1 min insv. 4.2

STEGSTÖRNING TEMPERATUR FJÄRRVÄRMEVATTEN



STEGSTÖRNING TRYCK I TURBININLOPP

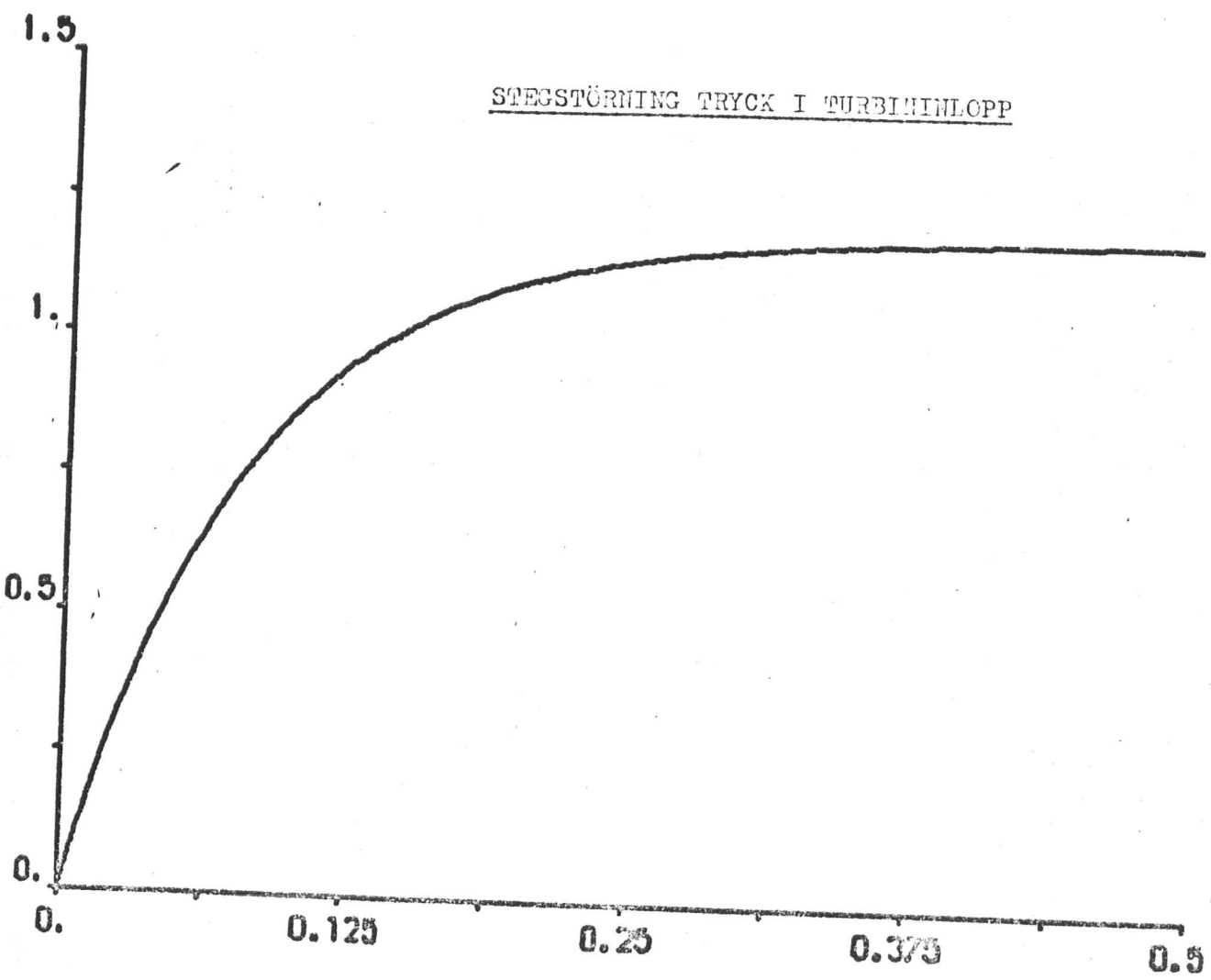


Fig. 9

HCOPIY ØG5 L1 TRYCK I VK2 STEG  
Z2 : Y G5  
Z3 : Y G5

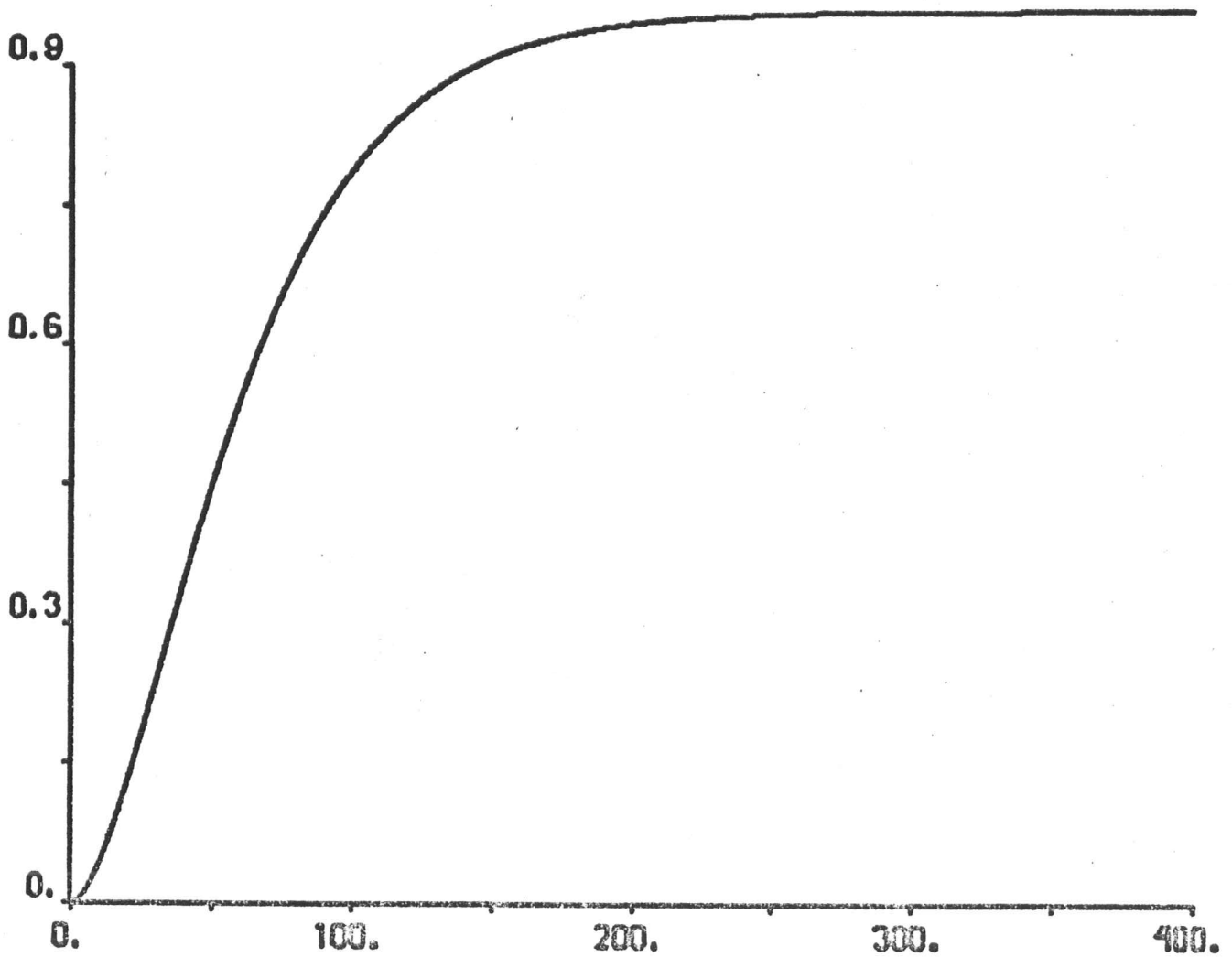


Fig. 10

LISTA ÖVER BODEDIAGRAM

<u>Nr</u>	<u>Bodediagram</u>
1	Panntryck/Ventilläge
2	Temp. Fjärrvärmevatten/Tryck i turbininlopp
3	Generatoreffekt/Tryck i turbininlopp
4	Temperatur Startsond/Ventilläge
5	Tryck VK2/Tryck i turbininlopp
6	Tryck i Turbininlopp/Ventilläge
7	Ventilläge/Tongenerator
8	Ventilläge/Regleravvikelse
9	Köpt Effekt/Tryck i Turbininlopp
10	Köpt Effekt/Generatoreffekt
11	Temperatur Fjärrvärmevatten/Tryck VK2
12	Temperatur Fjärrvärmevatten/Ventilläge
13	Köpt Effekt/Ventilläge
14	Generatoreffekt/Ventilläge
15	Tryck VK2/Ventilläge

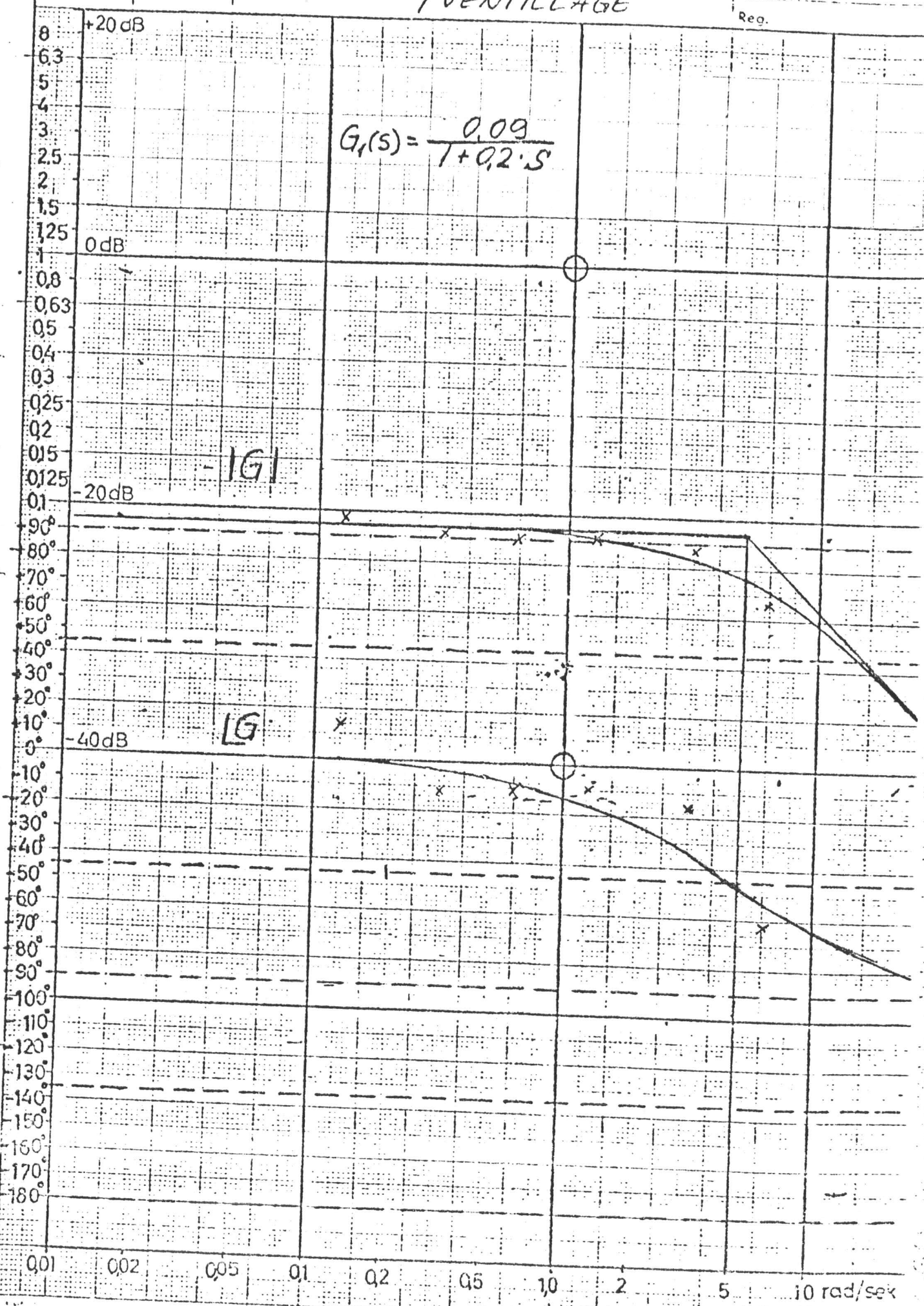
Kommentar till bodediagram på sid 38-41

Datum \_\_\_\_\_  
Sign. \_\_\_\_\_

## PANNTRYCK / VENTILLÄGE

Reg.

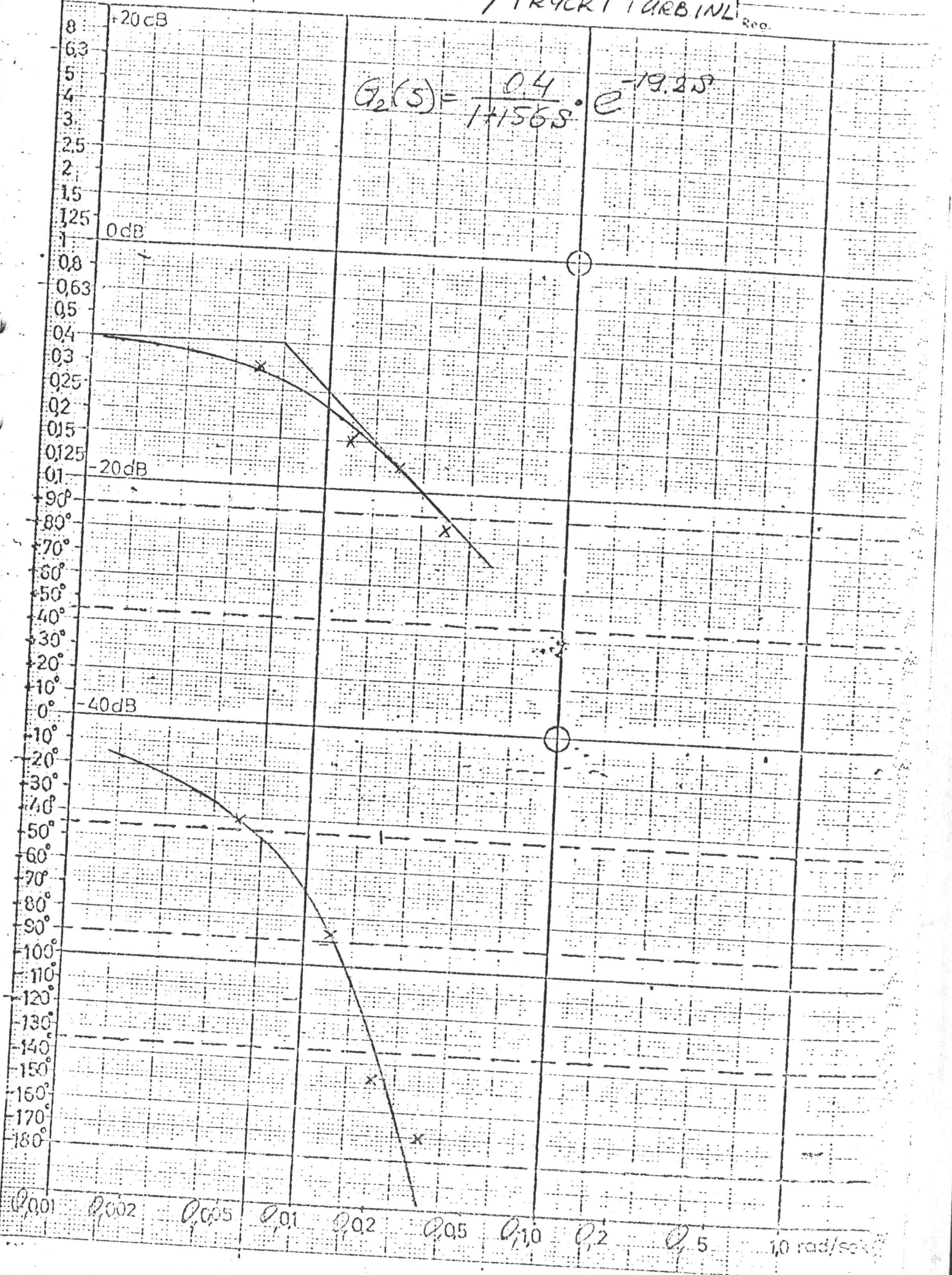
$$G_1(s) = \frac{0,09}{1 + 0,2 \cdot s}$$



Datum \_\_\_\_\_  
Sign. \_\_\_\_\_

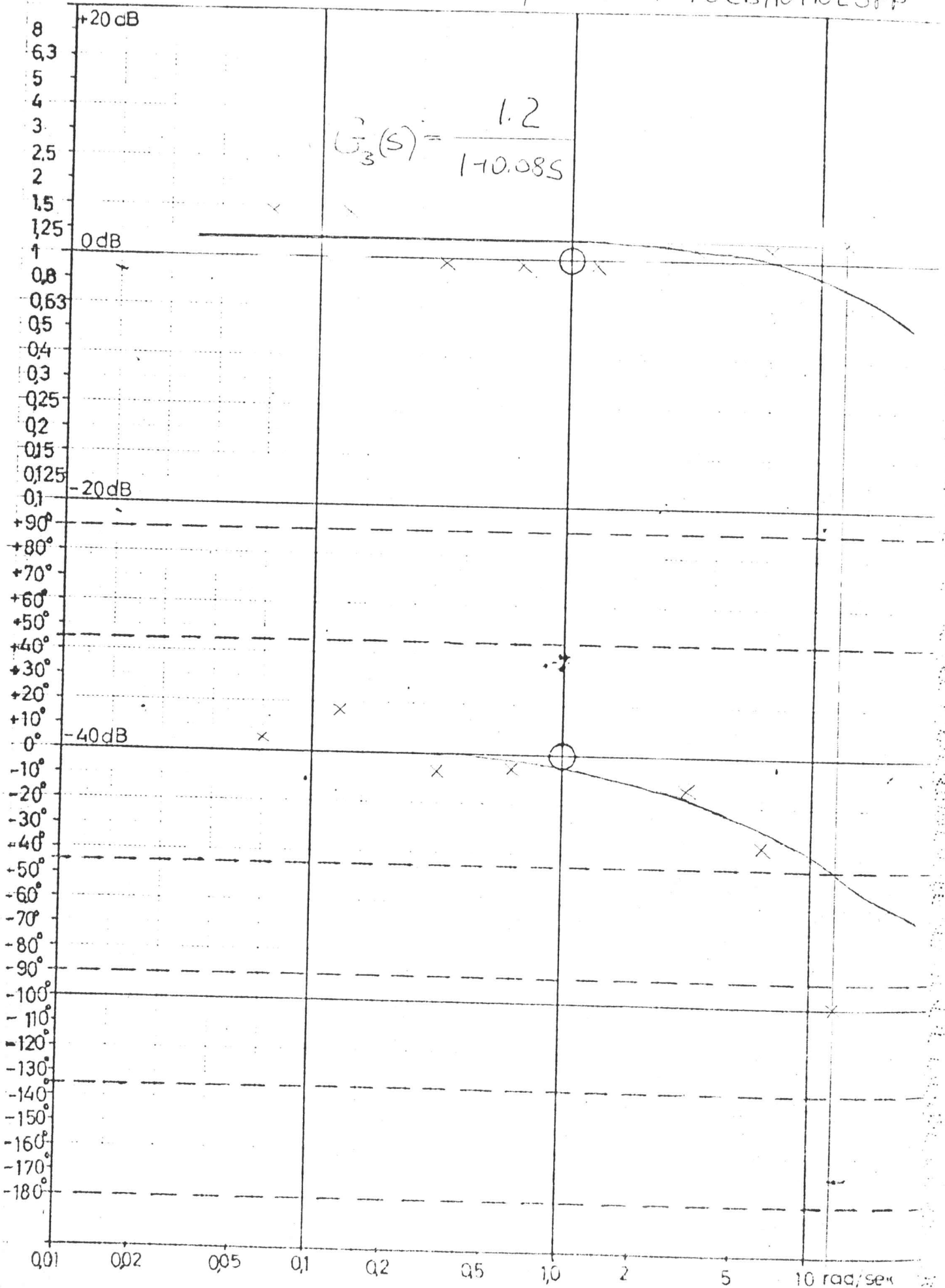
## TEMP. FJÄRR.V. / TRYCK I TURBINL

Rec.



Datum: \_\_\_\_\_ Sign: \_\_\_\_\_

## GENERATOREFFEKT / TRYCK I TURBININLOPP



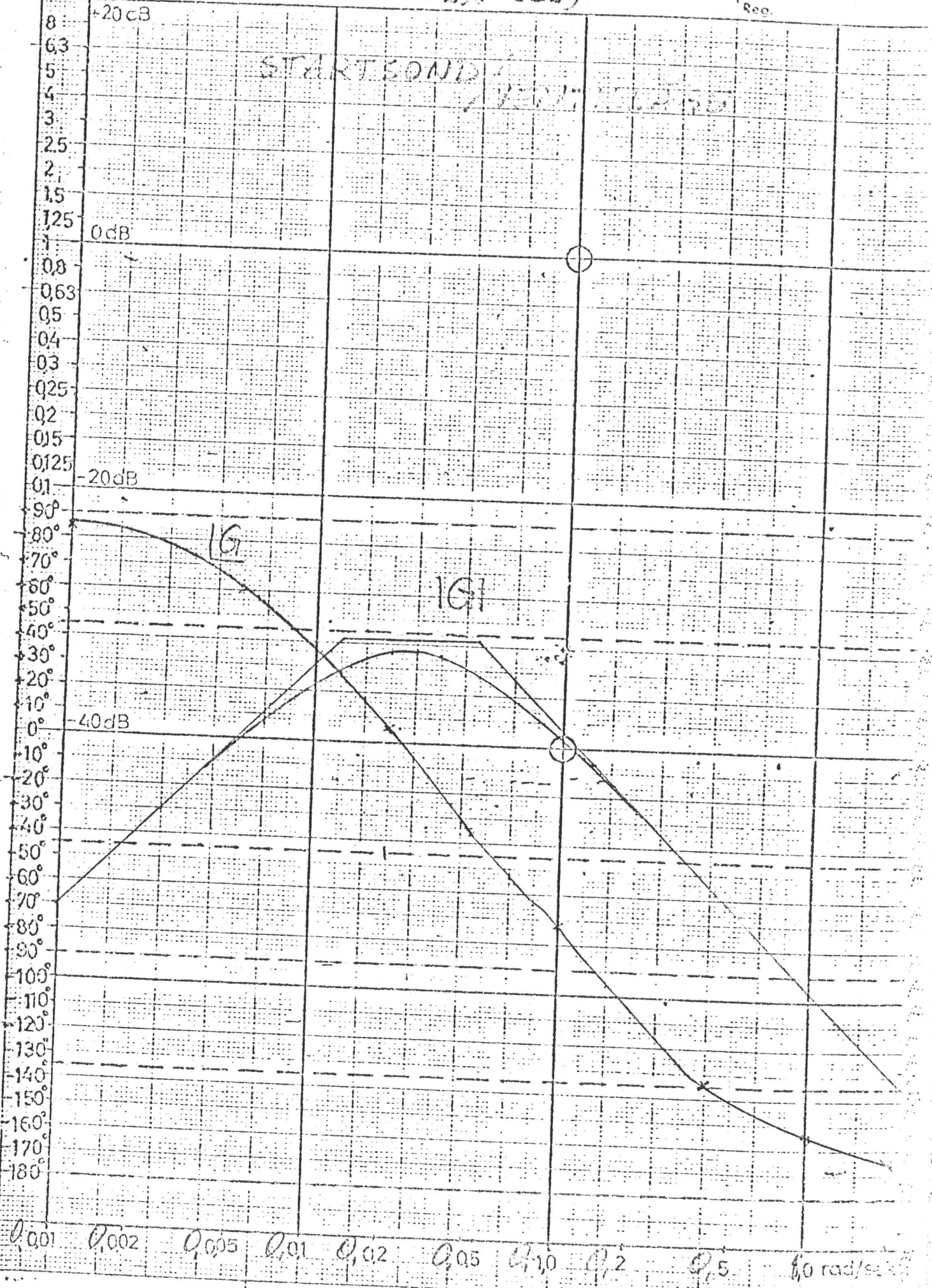
Datum

Sign.

$$G_4(s) = \frac{2,75 \cdot e^{-2,4s}}{(1+80s)(1+22s)}$$

Reg.

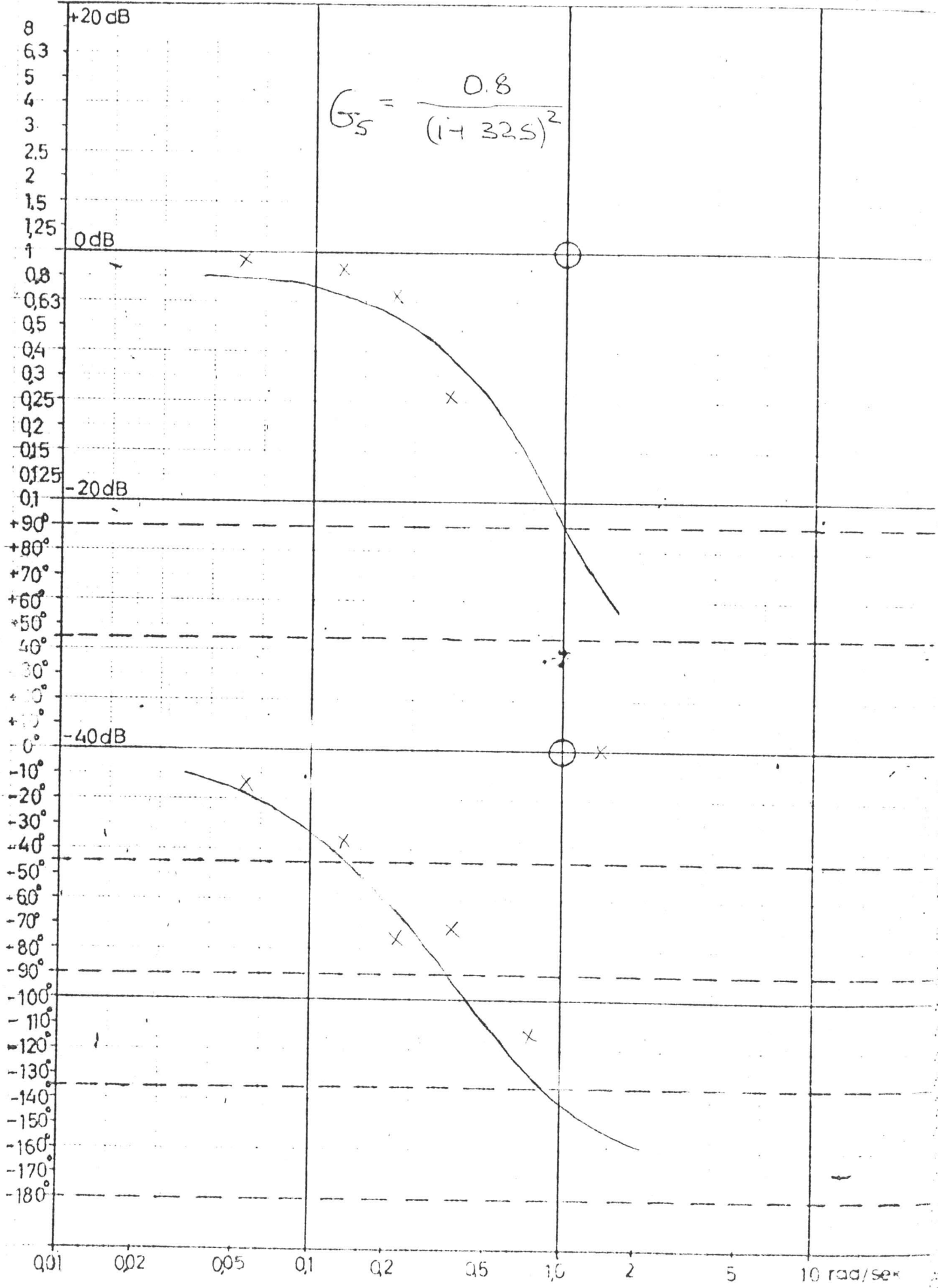
STARTSOND  
/ 2007 / 2007





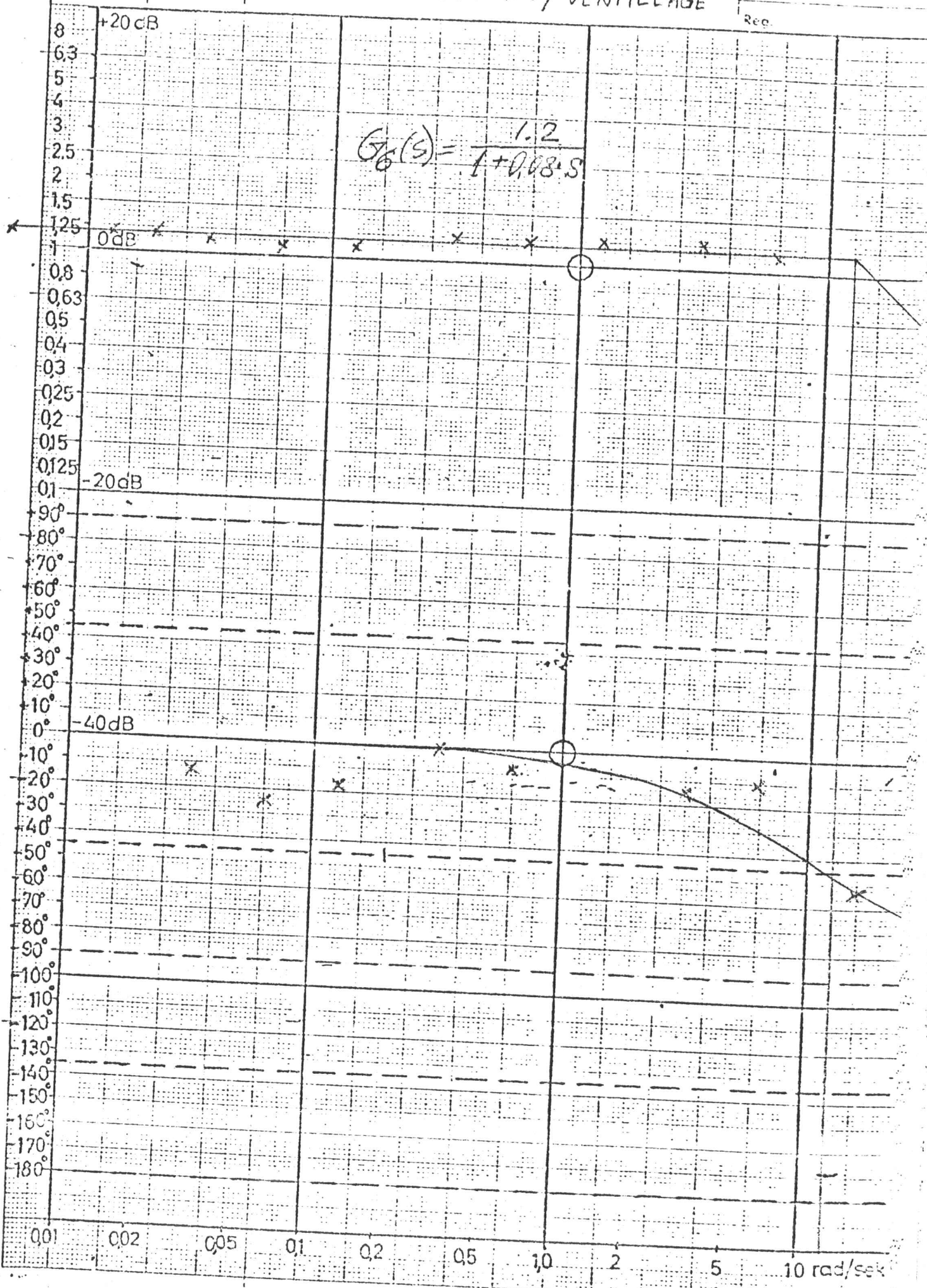
Datum      Sign

## TRYCK VK<sub>2</sub> / TRYCK I TURBININLOPP



Datum \_\_\_\_\_  
Sign. \_\_\_\_\_

## TRYCK I TURBININL. / VENTILLÄGE

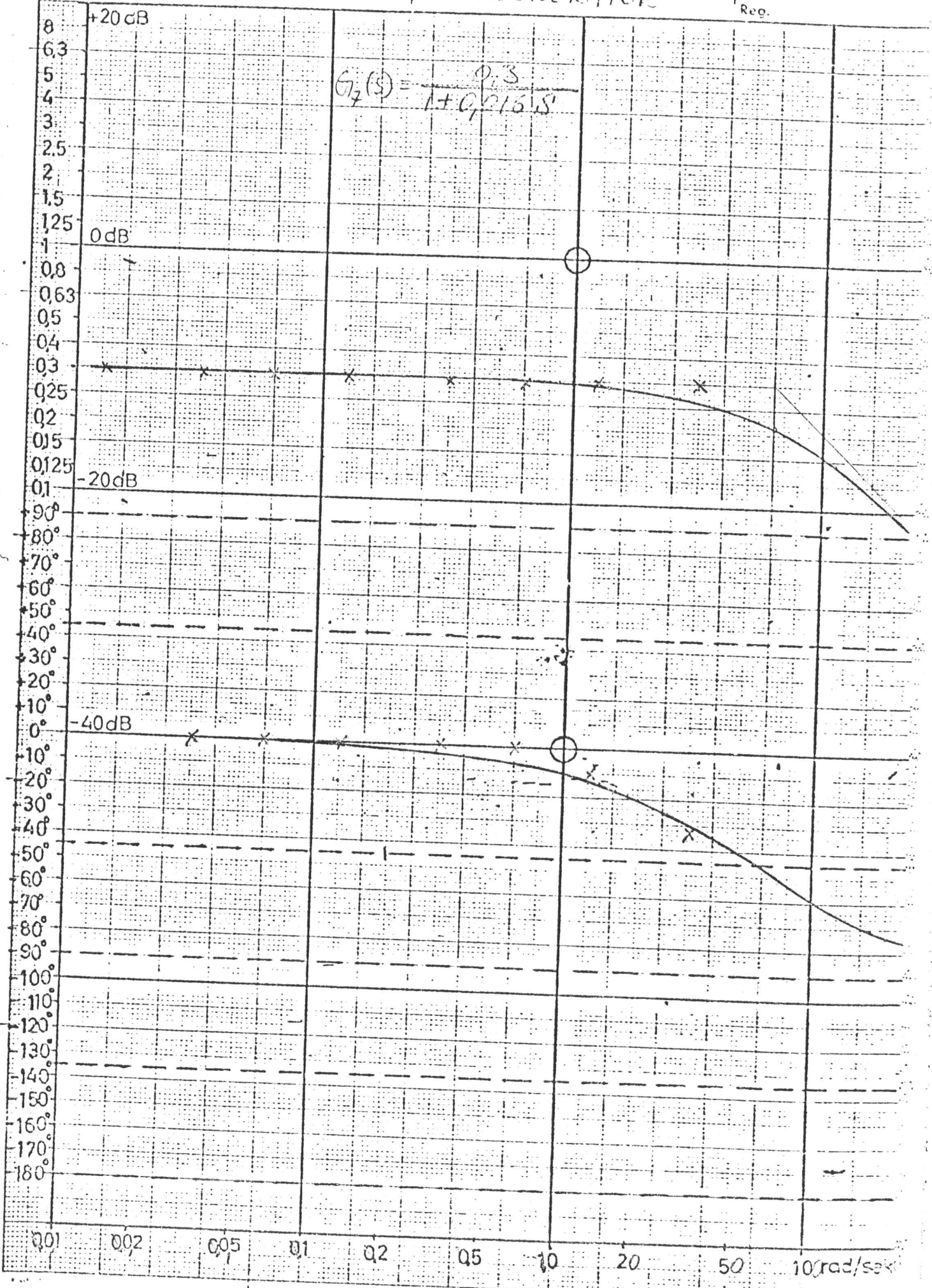


Datum: \_\_\_\_\_  
Sign: \_\_\_\_\_

## VENTILLÄGE / TONGENERATOR

Reg. \_\_\_\_\_

$$G_7(s) = \frac{0,3}{1 + 0,015s}$$

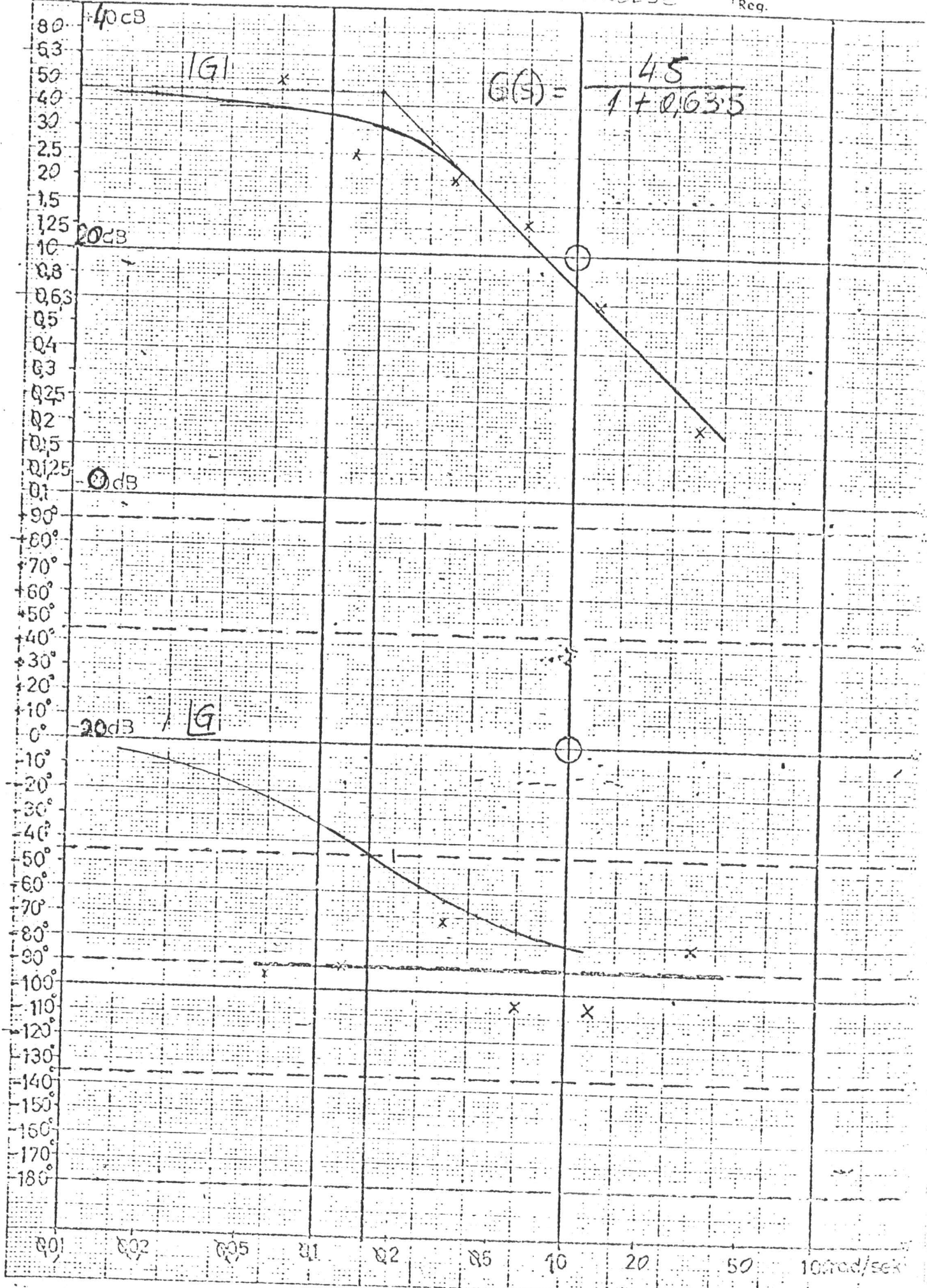


Datum

Sign.

VENTILLÄGE / REGLER-VÄRKLING

Req.

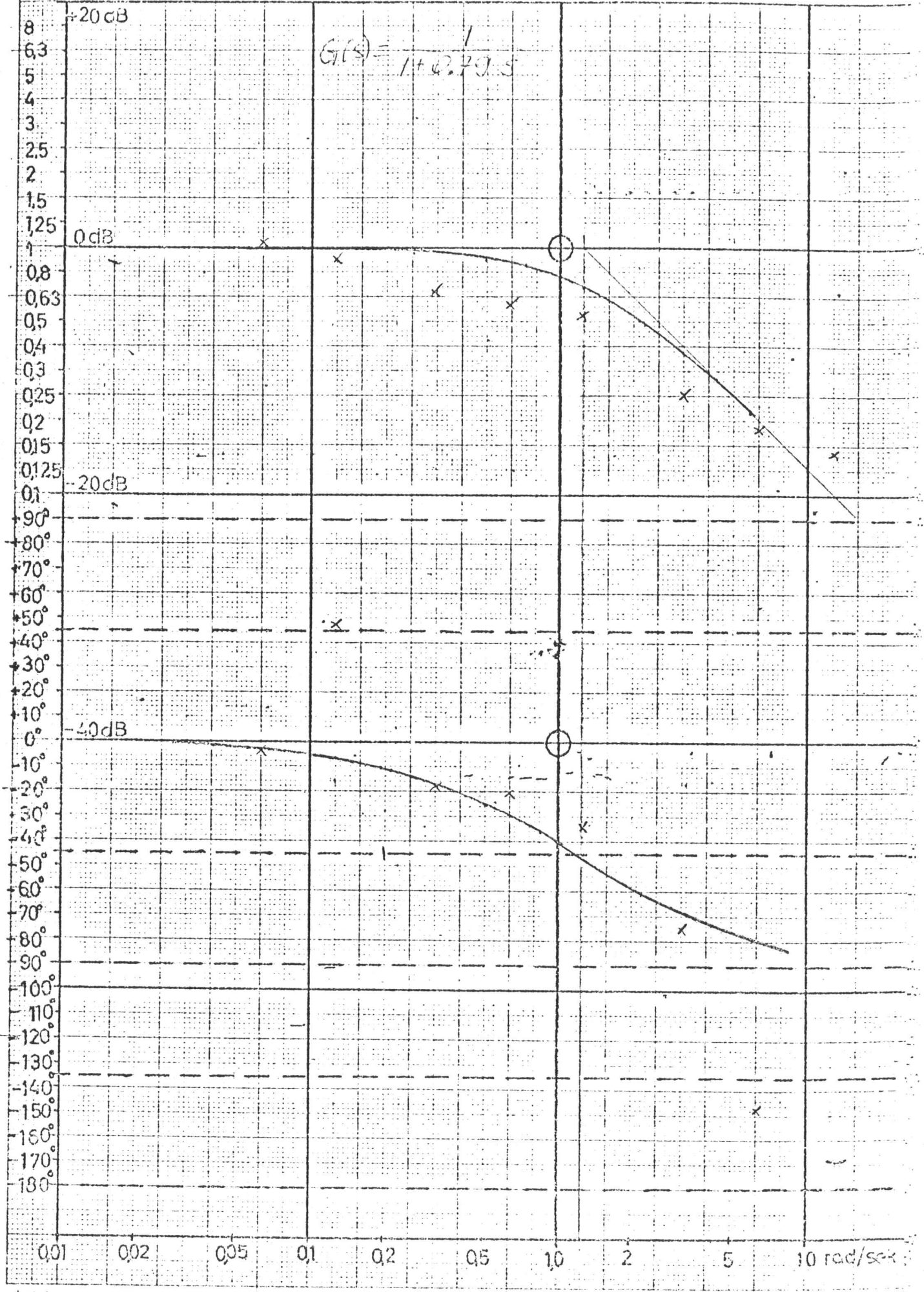


Datum I

Sign.

KÖPT EFFLKT / TRYCK I TURB. INL Reg.

$$G(s) = \frac{1}{1 + 0.29s}$$

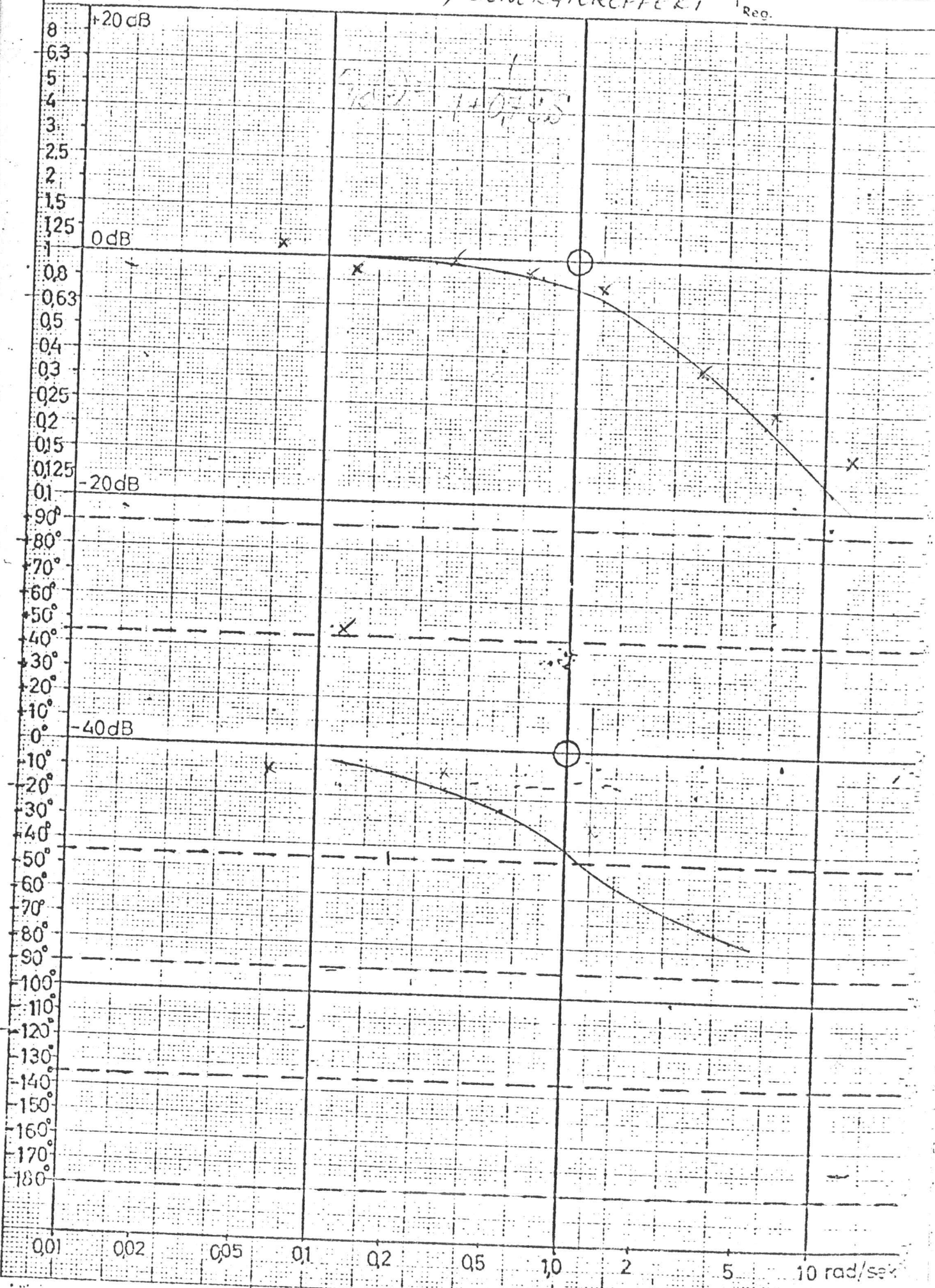


Datum

Sign.

KÖPT EFFEKT /  
GENERATOREFFEKT

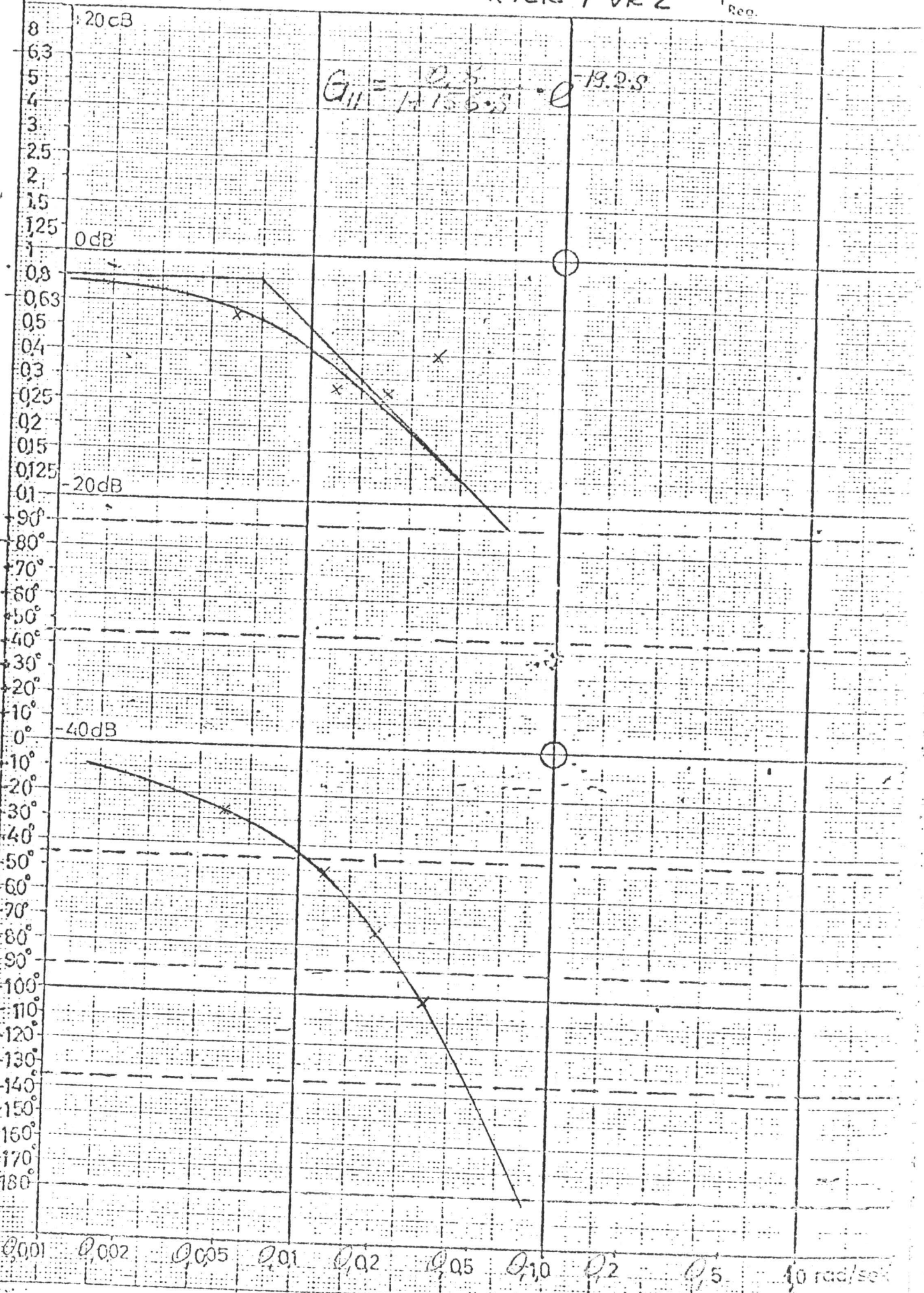
Reg.



Datum \_\_\_\_\_  
Sign. \_\_\_\_\_

TEMP. FJÄRRV.V. / TRYCK I VK2

Reg.

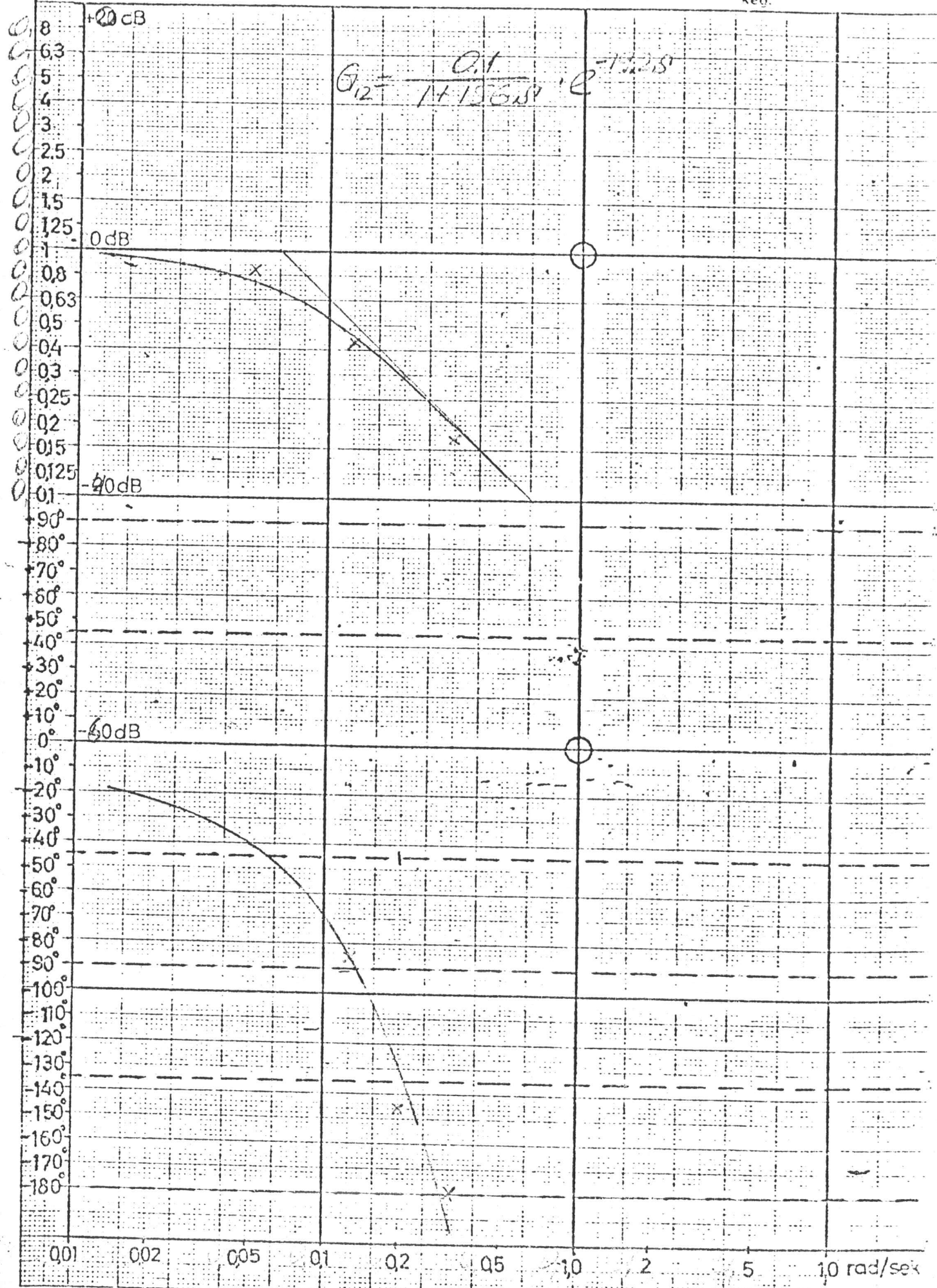


TEMP. F.J.V.V. / VENTILLÄGE

Datum

Sign.

Reg.



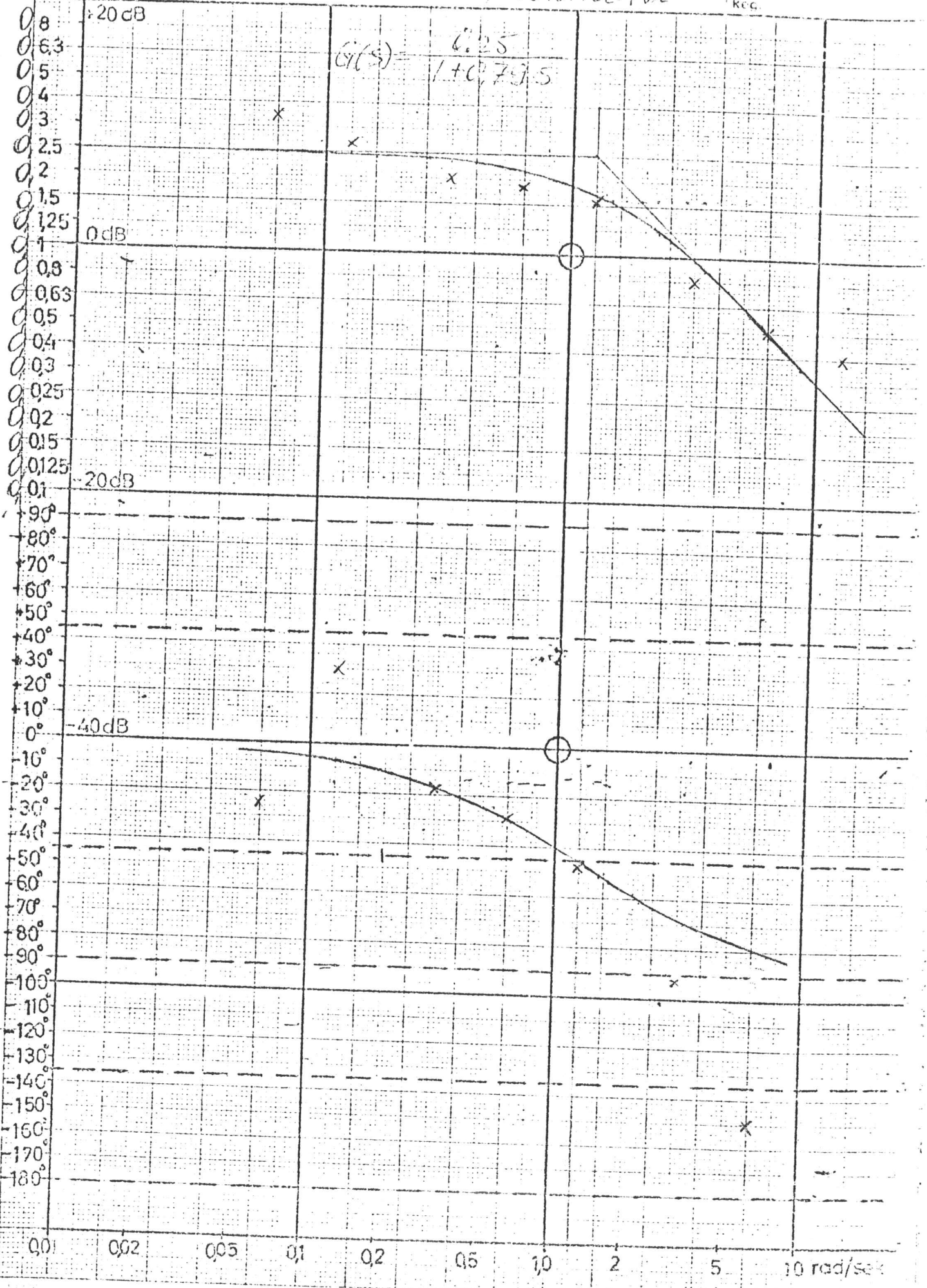


Datum  
II

Sign.

KÖPT EFFEKT /  
VENTILLAGE

Rec.

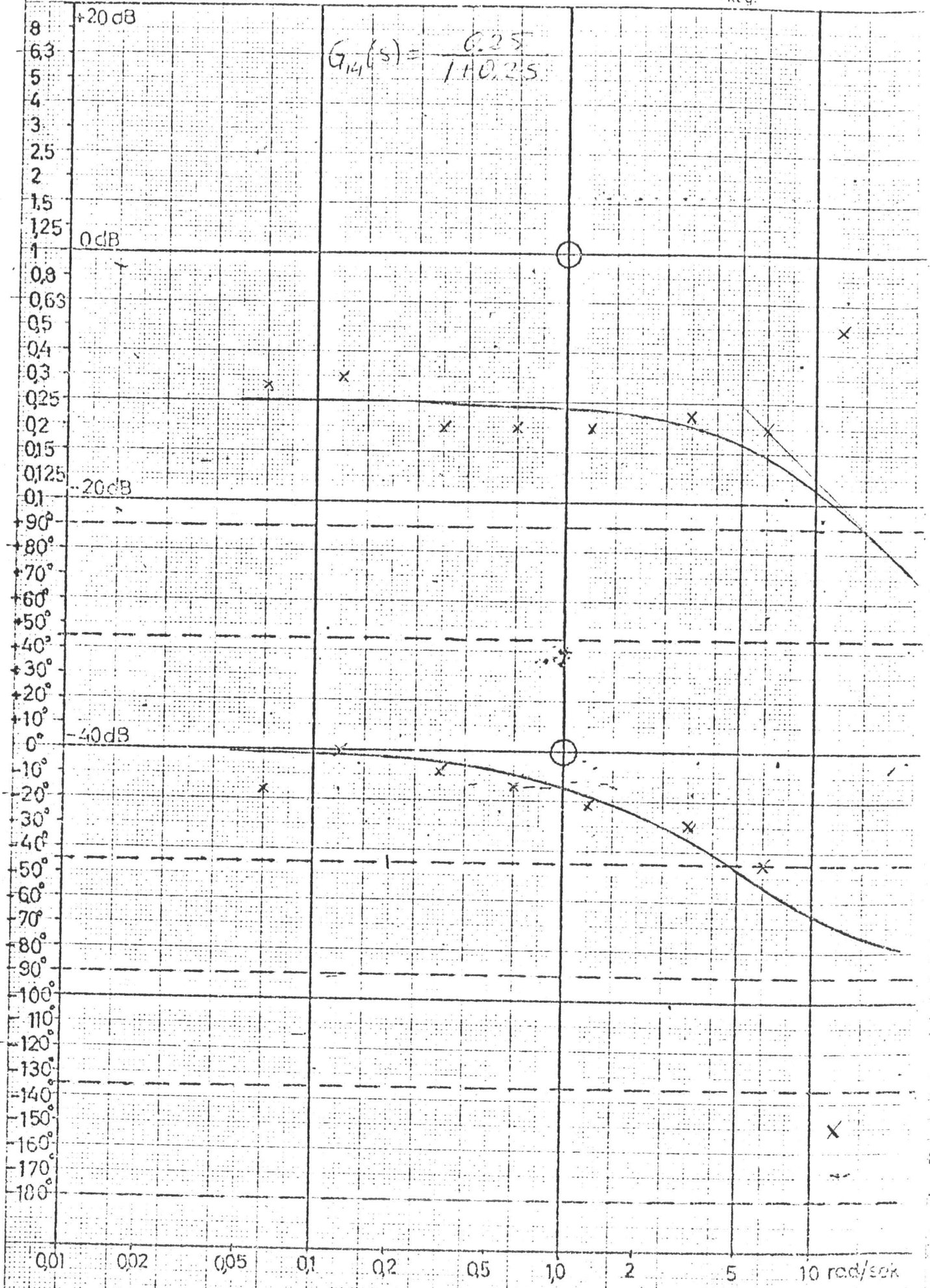


Datum I Sign.

GENERATOREFFERT

VENTILLÄGE Reg.

$$G_{14}(s) = \frac{0,25}{1+0,25s}$$

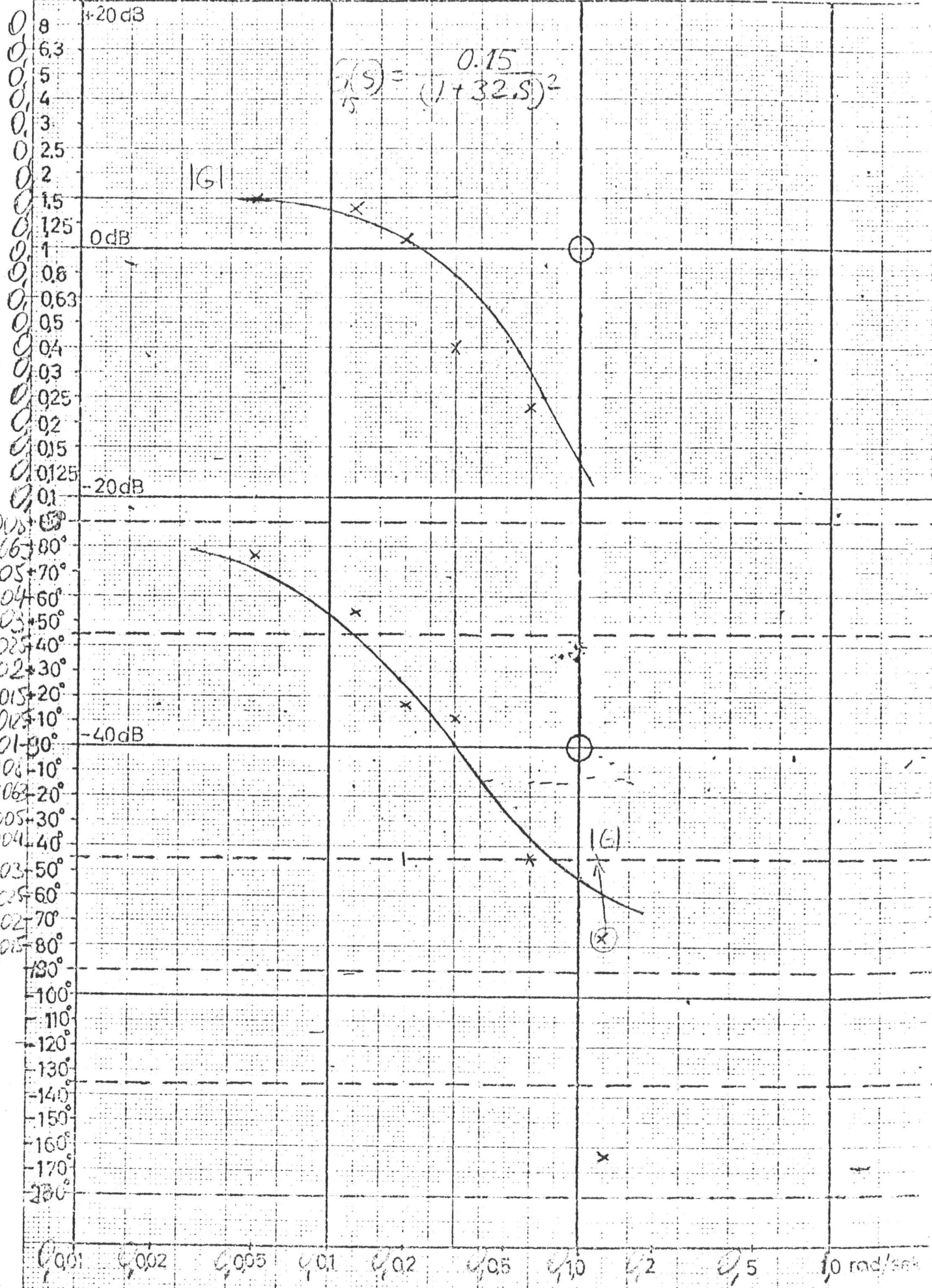


Datum

Sign.

TRYCK VK2 / VENTILLÅG

Rev.



KOMMENTAR TILL BODEDIAGRAM:

Bodediagram 1 Mycket bra överensstämmelse med typkurvan för amplitudkurvan; ganska stor spridning för argumentkurvan, som kan vara orsakad av pannans egen reglering.

Bodediagram 2 Amplitud och faskurvan stämmer bra överens med typkurvorna. Dessutom så har vi jämfört ovanstående överföringsfunktion med den som vi fick fram ur stegsvarsanalysen och fick bra överensstämmelse mellan dessa.

Bodediagram 3 Spridningen av punkterna för små frekvenser är stor. Vi har förmodligen fått in störningar i mätutrustningen för dessa frekvenser. För de högre frekvenserna är det något mindre spridning och faskurvan stämmer bra överens med typkurvan. Brytfrekvensen är rimlig för en sådan generator.

Bodediagram 4 Se startsonden.

Bodediagram 5 Spridningen av beloppspunkterna är stor. Faskurvan följer typkurvan ganska bra. Vid mätningarna hade vi problem med tryckgivarna och det kan vara orsaken till den stora spridningen. Vid jämförelse med överföringsfunktionerna som vi tog fram ur stegsvarsanalysen fick vi bra överensstämmelse. Den fysikaliska modellen för turbinen tyder också på att det är en rimlig överföringsfunktion.

Bodediagram 6 Bra överensstämmelse med typkurvan, särskilt för amplitudkurvan..

Bodediagram 7 Amplitudkurvan följer helt typkurvan. En punkt för amplitudkurvan är helt felaktig. Överföringsfunktionen stämmer bra överens med den vi fick fram ur stegsvarsanalysen. (Det är frågan om mycket snabba förlopp och det visar att mätutrustningen hänger med bra.)

Bodediagram 8 Spridning av punkterna är stor för lägre frekvenser och mindre <sup>över</sup> brytfrekvensen, särskilt för amplitudkurvan.

Bodediagram 9 Spridningen av punkterna är stor. Systemet är känslig även för små yttre störningar, som vi varit utsatta för. Brytfrekvensen stämmer bra överens med den vi fick ur stegsvarsanalysen.

Bodediagram 10 Det är i princip samma som det föregående.

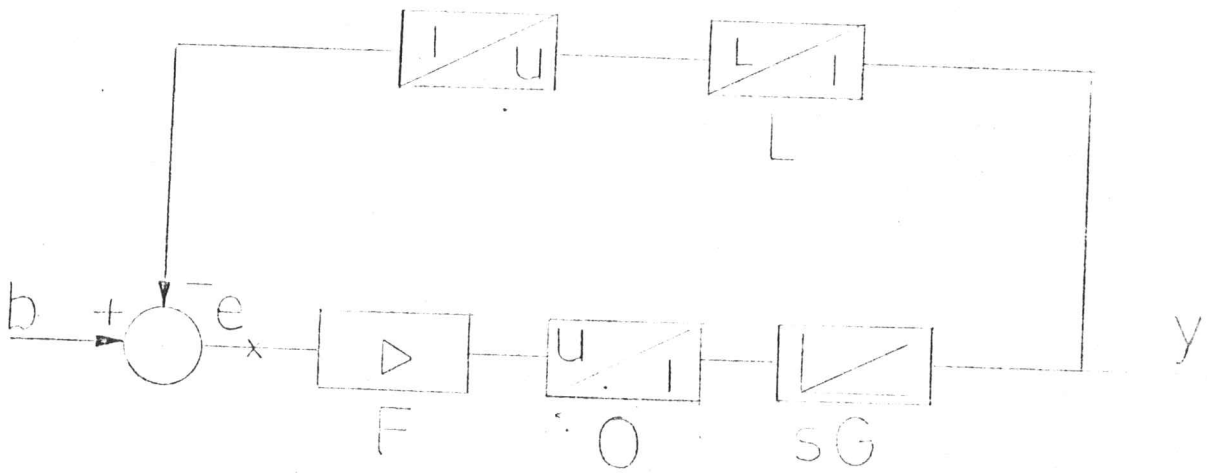
Bodediagram 11 Spridningen av punkterna för beloppskurvan är stor. Faskurvan följer helt typkurvan. Bra överensstämmelse med överföringsfunktionen ur stegsvarsanalysen.

Bodediagram 12 Bra överensstämmelse med typkurvorna.

Bodediagram 13 Spridningen av faspunkterna för de högre frekvenserna är stor. Det kan ej vara fråga om en transportfördröjning. Denna överföringsfunktion ger bäst överensstämmelse med den vi fick ur stegsvarsanalysen.

Bodediagram 14 Spridningen är stor. Den sista mätpunkten är felaktig, då amplitud och faspunkternas lägen är motstridiga. Det är möjligt att generatorns egen reglering stört våra mätningar. Vi har ingen jämförelse med stegsvarsanalysen, men det är en process som vi inte behöver reglera.

Bodediagram 15 Spridningen av fas och amplitudpunkterna är små. Det liknar G5, som fysikaliskt är identiskt med för lägre frekvenser.



L = lägestransmitter

b = börvärde

e = mätpunkt

y = reglerventil

G = styrspole

$$y = eFO(sG)$$

$$\text{Överföringsfunktion } G_o = \frac{y}{e} = s(FOG)$$

STARTSONDÖverföringsfunktion

Startsonden mäter temperaturskillnad mellan ångan och turbinhuset. Stegsvaret från sonden uppmätt på turbinen har en tidsfördröjning på 2.4 s, går uppåt från mittläge till ett visst värde och återvänder sakta till mittläge. Kurvan når maximum efter 38 s och svänger in sig tillbaka på cirka 430 s. Tidsfördröjningen stämmer bra med BODE-diagrammets argumentkurvan, som är baserat på sinus-svaren.

Av stegsvarets utseendet att döma innehåller överföringsfunktion både integrations- och derivationstermer. Vi antog formen på överföringsfunktionen till:

$$\frac{as}{(I + bs)(I + cs)} \text{EXP} (-2.4 \text{ s})$$

Omskrivning till standartformen ger:

$$\frac{a/bc \cdot s}{(I/b + s)(I/c + s)} \text{EXP} (-2.4 \text{ s}) = \frac{a/bc \cdot s}{s^2 + \frac{(b+c)}{bc} s + \frac{I}{bc}} \text{EXP} (-2.4 \text{ s})$$

I SIMMONS differentialform blir det: (SIMMON se appendix I)

$$DX1 = A1 \cdot XI + X2 + B \cdot U$$

$$DX2 = A2 \cdot XI$$

$$Y = XI$$



där  $A1 = -\frac{b+c}{bc}$ ,  $A2 = \frac{1}{bc}$ ,  $B = a/bc$ , och tidsfördröjning  $\text{EXP}(-2.4 \text{ s})$  simuleras med subrutinen DELAY.

Vi simulerade systemet med varierande värden på parametrar  $a$ ,  $b$  och  $c$  för att få identifiering med det uppmätta stegsvaret. Slutgiltigt resultat blev:

$$G4(s) = \frac{2.7s}{(I + 80s)(I + 22s)} \text{EXP}(-2.4 \text{ s})$$

och koefficienter i differentialekvationerna:

$$A1 = -0.058$$

$$A2 = -0.0057$$

$$B = 0.001539$$

#### Återkoppling och reglering av startsonden

För att undvika termiska påkänningar på rotorn och sprickor i turbinhuset är det nödvändigt att hålla temperaturdifferensen under en viss nivå. Regulatorns uppgift är att reglera ventilläget både vid start av turbinen och kontinuerlig drift så att temperaturdifferensen ej överstiger ett visst värde. En alltför snabb reglering är ej önskvärd pga ångpannans tröghet.

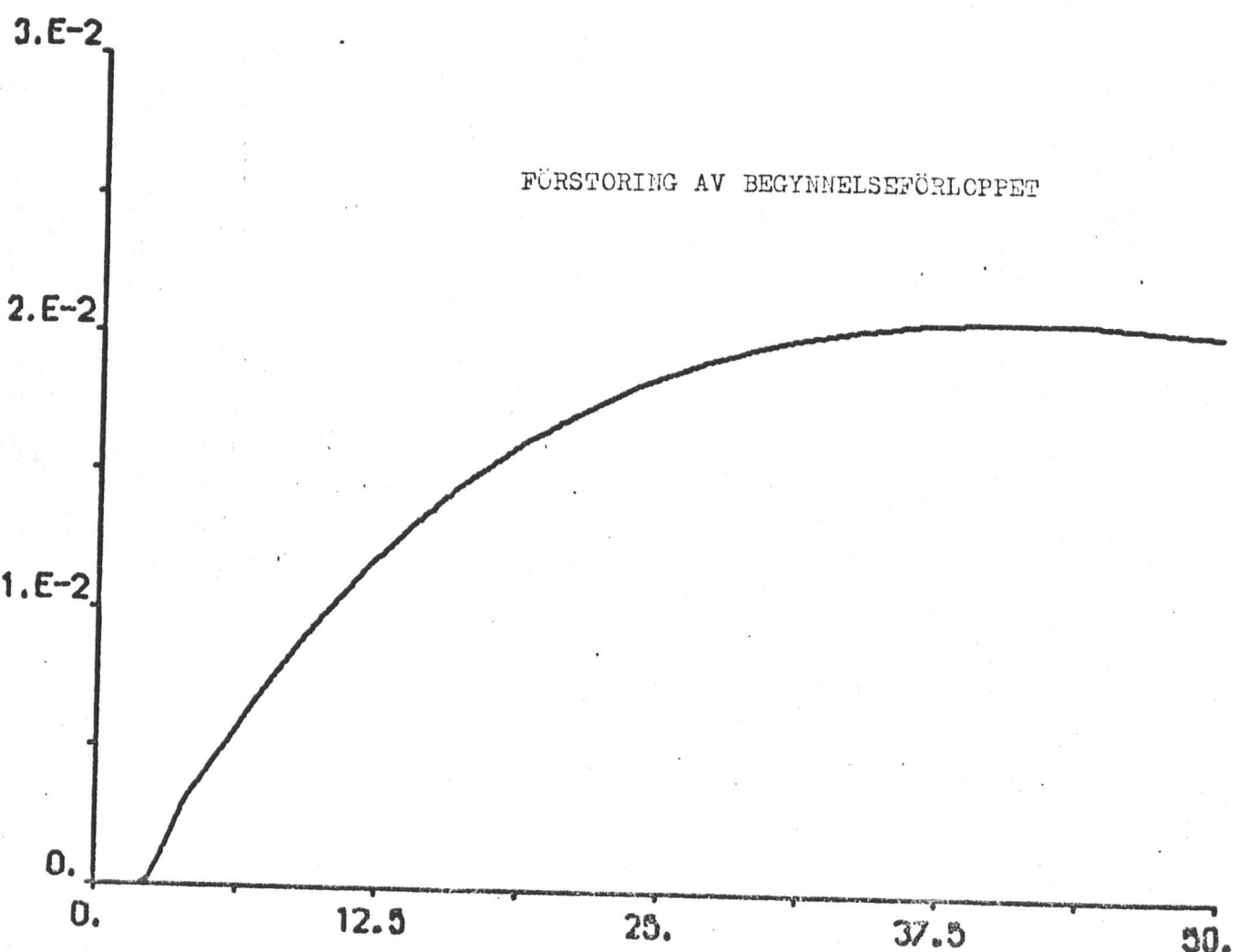
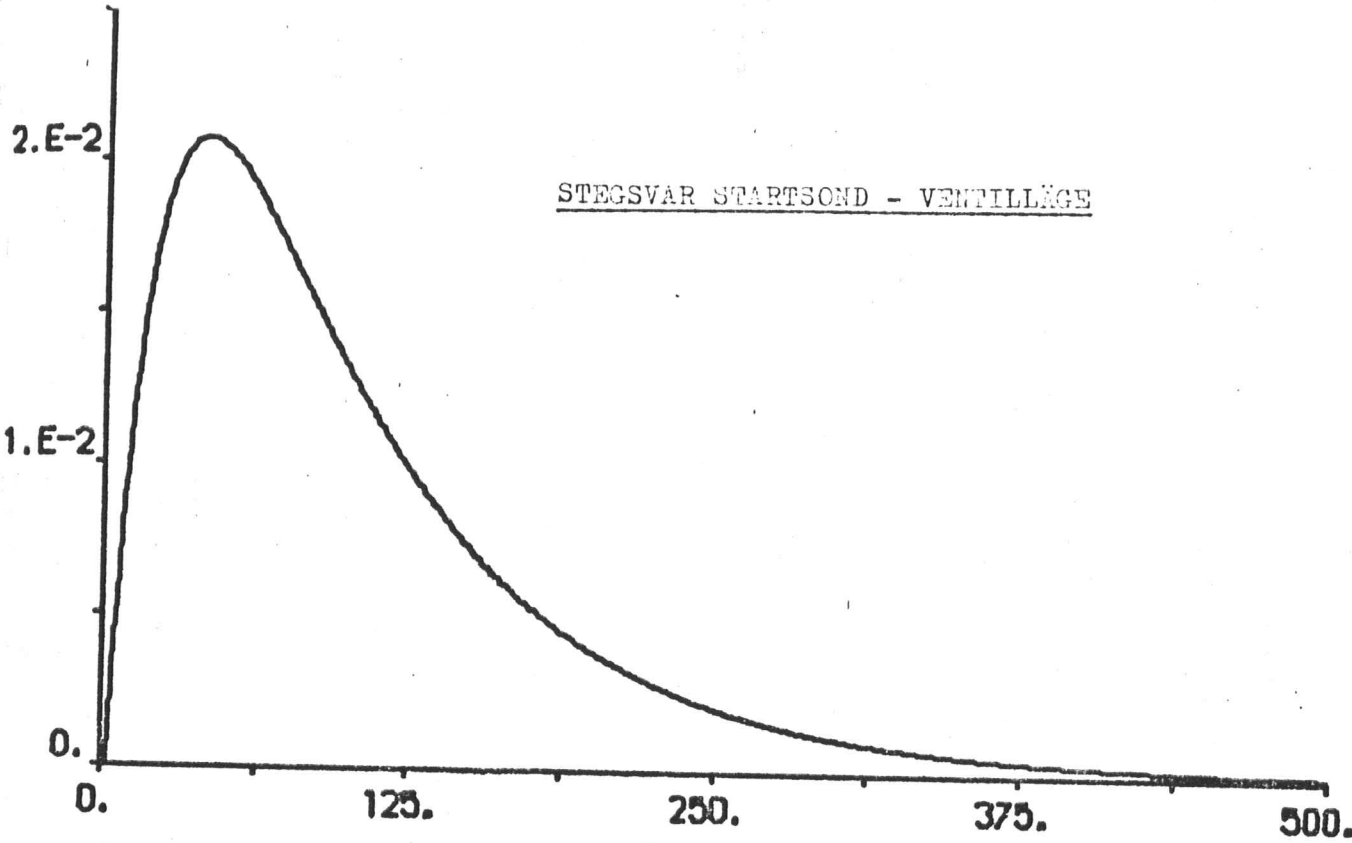


FIG. 11

SKRIVARHASTIGHET 25 mm/min

3.5 mm

9.25

4.9 min ins.

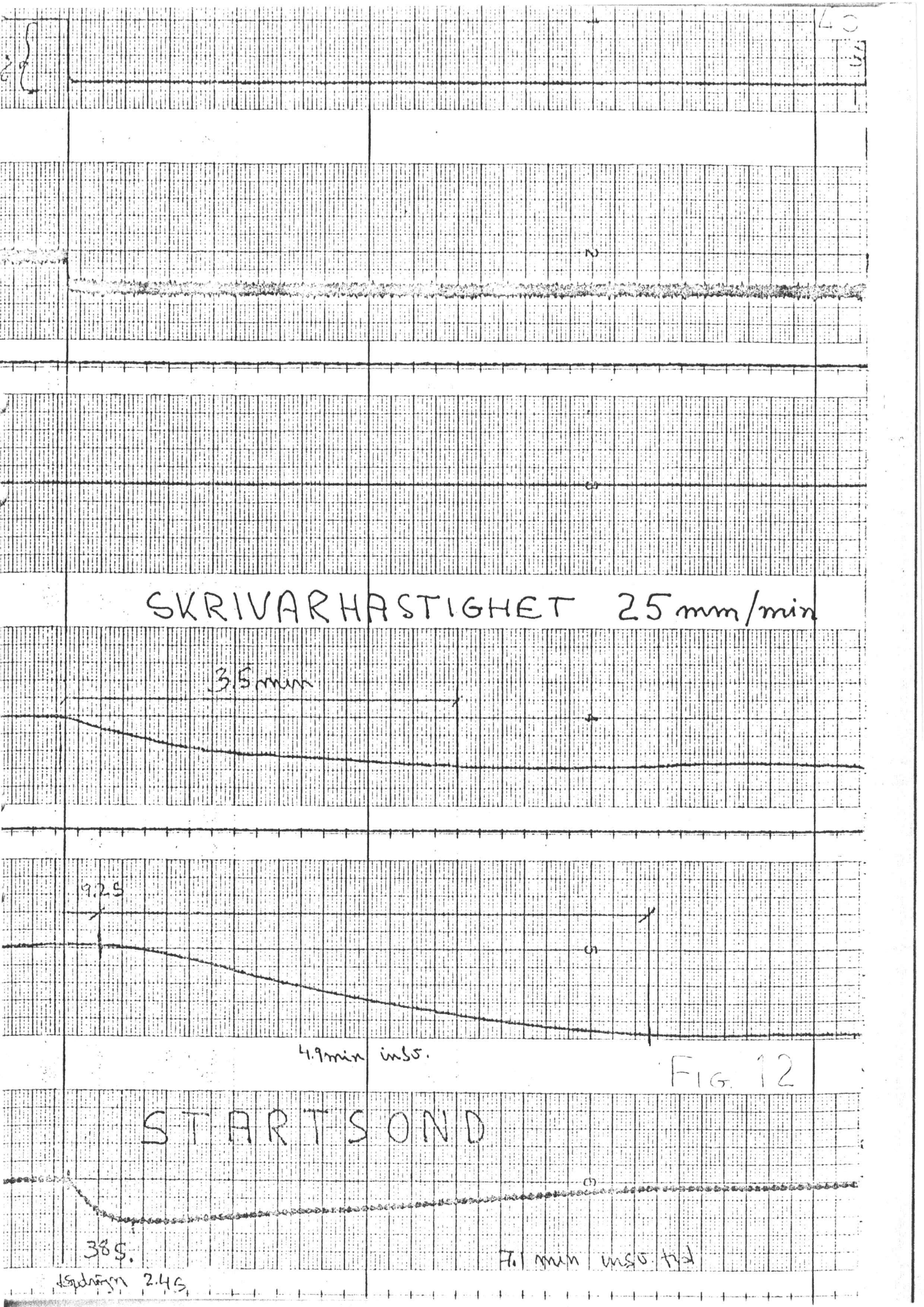
FIG. 12

STARTSOND

385.

7.1 min ins. tid

spidstign 2.45

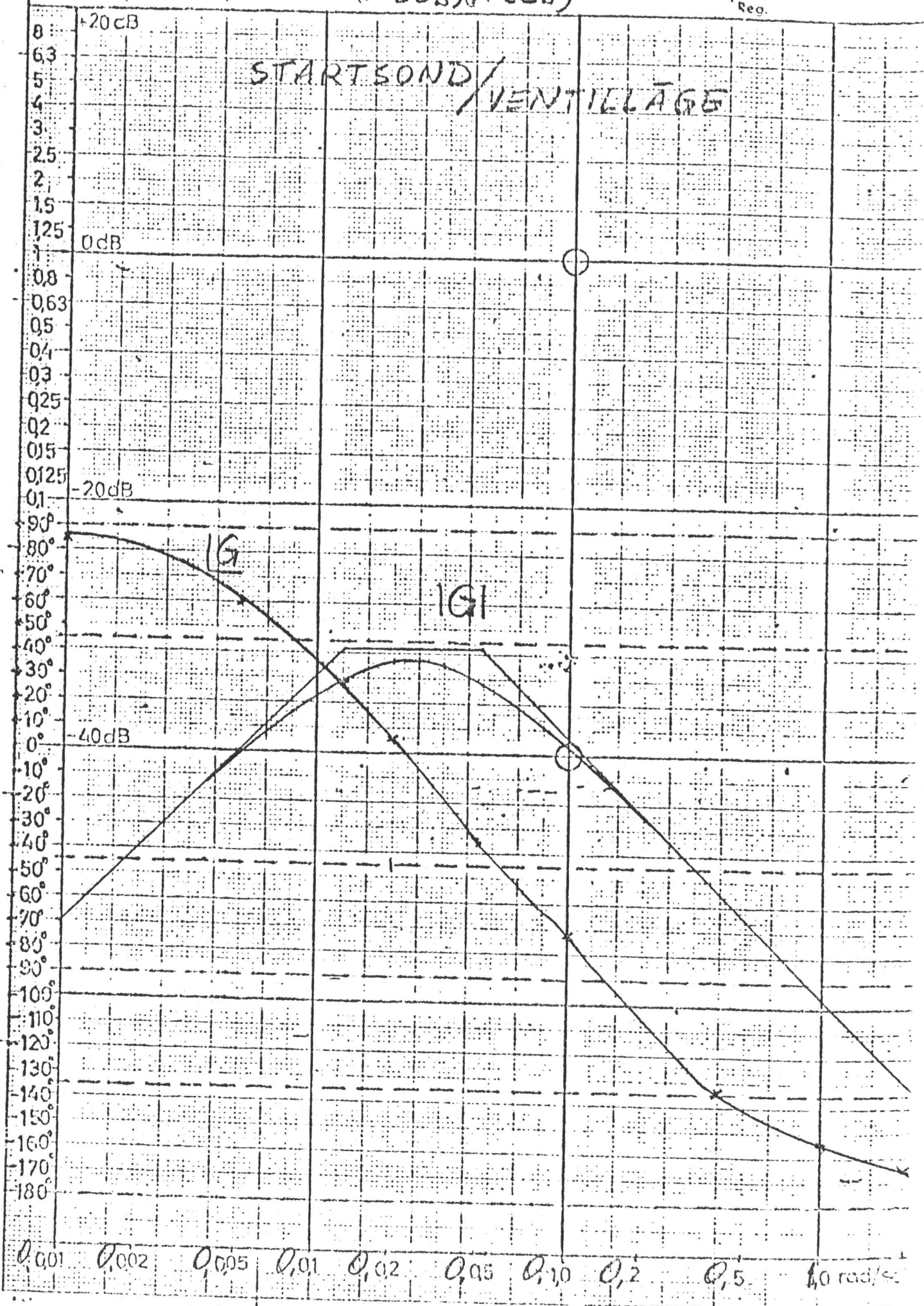


Datum: Sign:

$$G_4(s) = \frac{2,75 \cdot e^{-2,45s}}{(1+80s)(1+22s)}$$

Reg.

STARTSOND / VENTILÄGE



DYNAMISK MODELL

4 olika modeller har vi tagit fram för närmare undersökning. L2-modellen är den utförligaste, men vid regulatorframtagning har vi använt L4. Det är i och för sig ingen förenkling då vi har tagit fram överföringsfunktionerna dels direkt från ventilläge och till ventilläge via tryck i turbininlopp. Men vid simulering av regulatorer på modellen har vi på det sättet besparat en snabb länk som tar lång tid att integrera tillsammans med de långsamma.

I modell L3 har vi G14 i serie med G9, men då generatorn har egen reglering har vi valt att slå ihop de ovanstående till G13, och reglera endast den.

I L1 har vi ett förslag på en reglerform, där man kan variera kylvattenflödet till värmekondensorn. Den är endast lämplig då fjärrvärmevattens temperatur ändras. Detta med hänsyn till den långsamma och kostsamma reglering av pumparna.

Vi har valt L4, ty där har vi separata reglerformer för varje process.

Dessutom så är alla utsignaler från de olika processerna mätbara. Det här blockschemat möjliggör återkoppling och reglering på ett enkelt sätt.

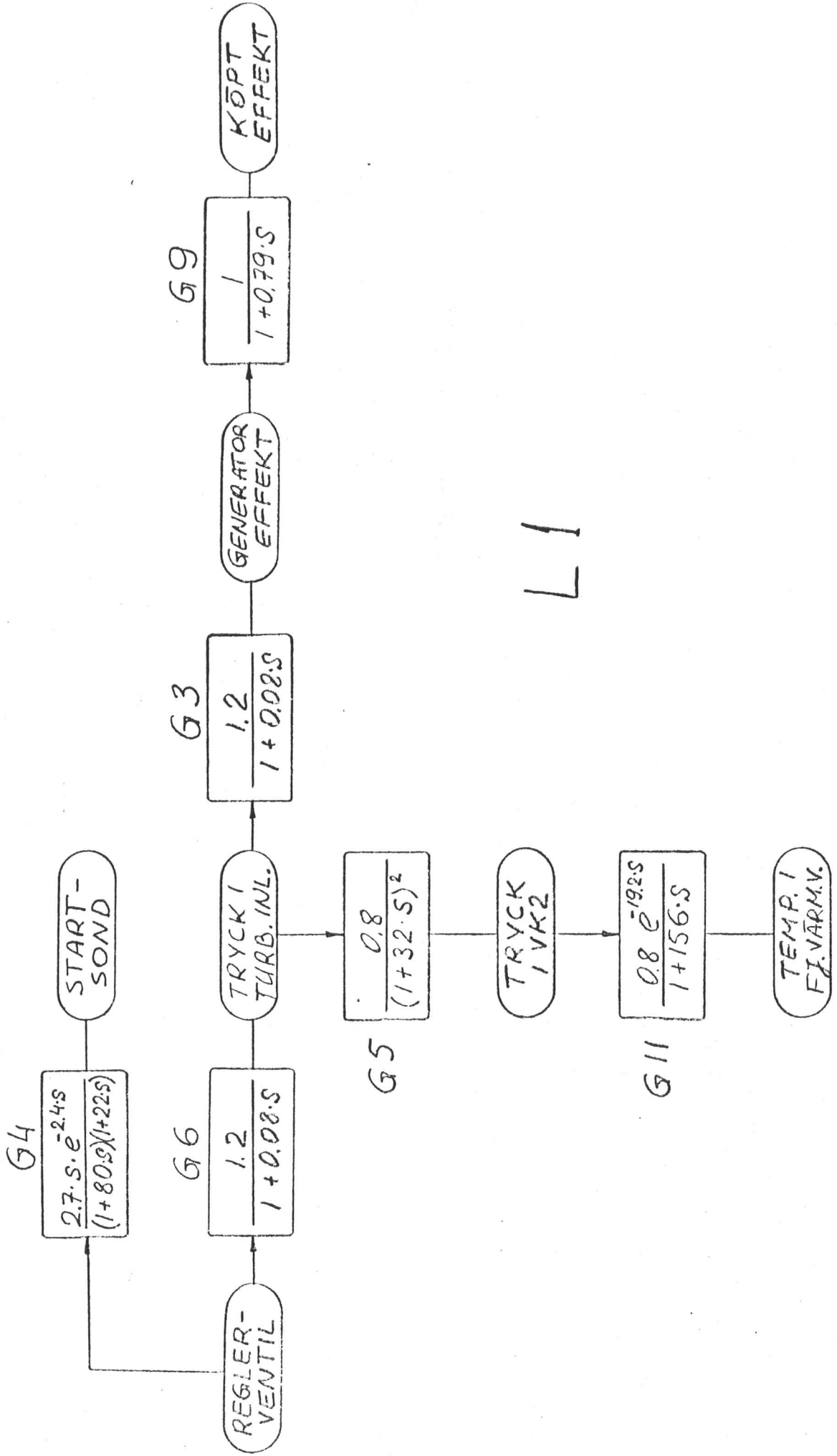


Fig. 13

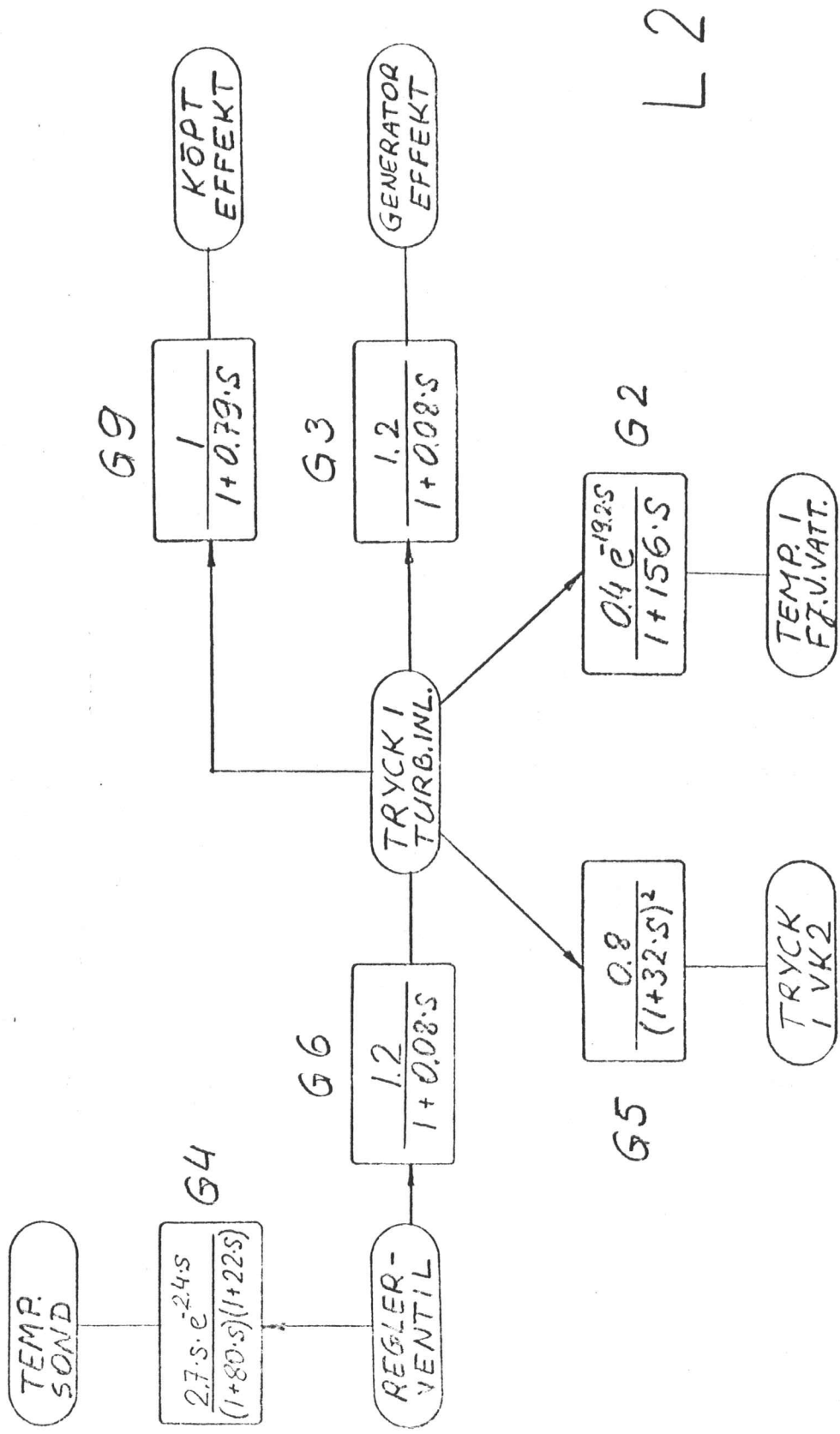
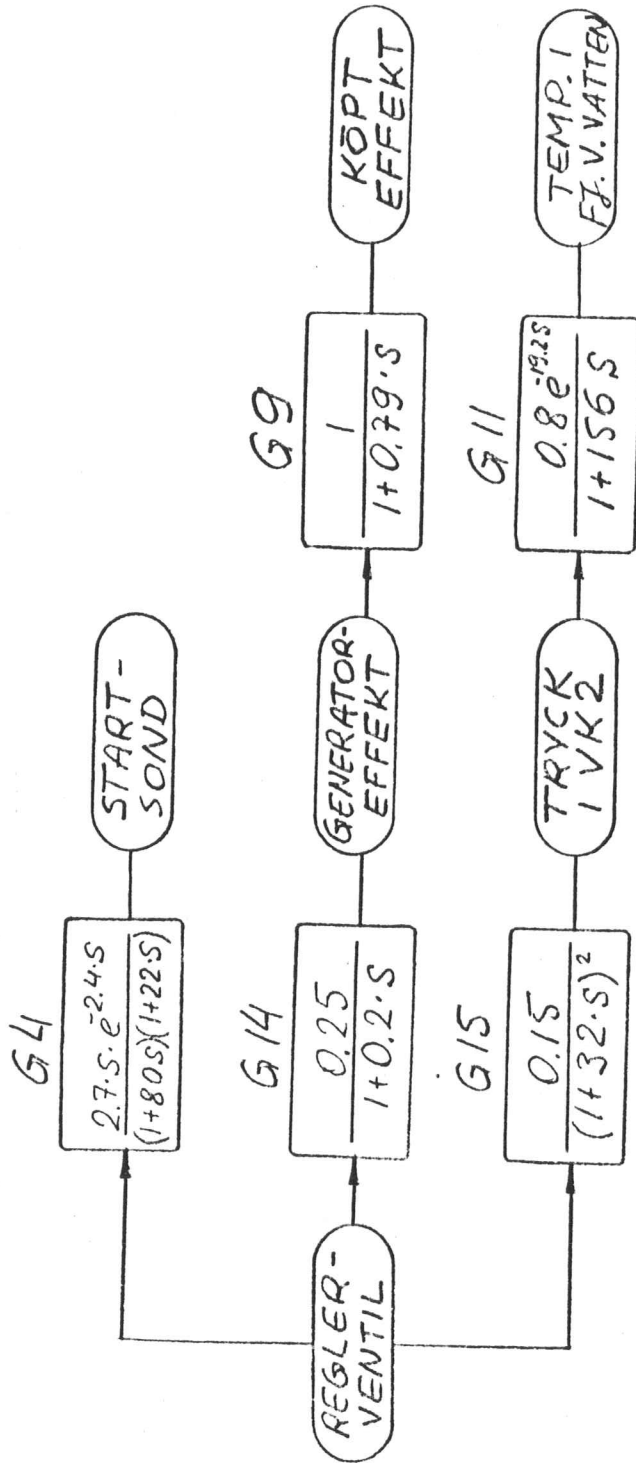


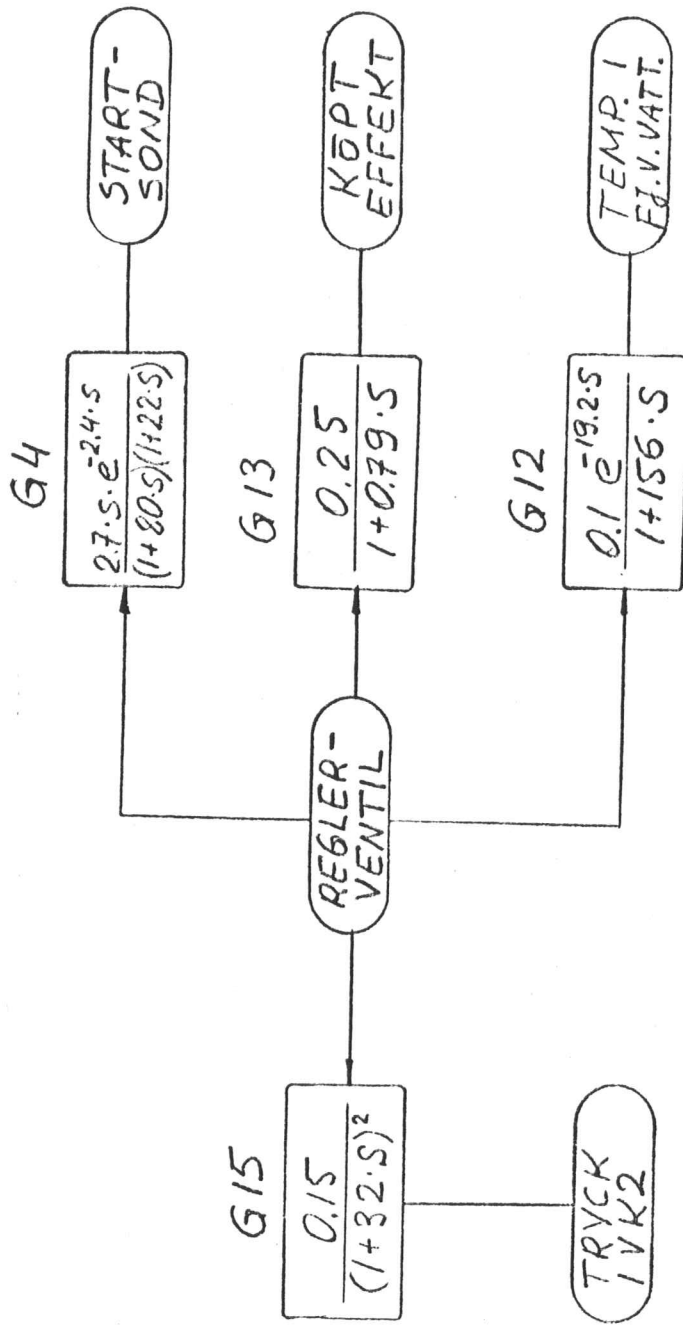
FIG 14



L3

Fig 15





L 4

FIG 16

KOMMENTAR TILL DE OLIKA MODELLERNA

L1 Denna dynamiska modell motsvarar bäst det fysikaliska förloppet av anläggningen. Det snabba tryckförloppet G5 åtföljs av en temperaturändring, men då det är frågan om stora kylvat-  
ten volymer så blir det en stor tidskonstant och en transport-  
fördröjning. En återkoppling och reglering från temperaturen i  
fjärrvärmevattnet är ej lämplig p.g.a. de stora dynamiskillna-  
der mellan processerna. En reglering endast av trycket kompen-  
serad med en reglering av temperaturen är ej lämplig, då det är  
i praktiken svårt att hitta en sådan analog kompensering.  
Dessutom är p. g. a. gradigkeiten i kondensorn lämpligast att  
återkoppla de båda mätbara storheterna och reglera dem separat.  
De övriga länkarna i L1 är enkla att reglera och mätning av de  
reglerade storheter medför inga problem.

L2 Alla ingående storheter kan enkelt regleras med den här  
modellen. Eftersom generatoren har en egen reglering, så kan man  
försumma den länken. G6 kan också försummas för temperatur och  
tryckregleringarna, då detta är mycket snabbare än de övriga.  
Dessutom så har vi tagit fram överföringsfunktionerna även di-  
rekt från reglerventilen till startsonden, trycket i kondensorn,  
temperaturen av fjärrvärmevattnet och köpta effekten, varför den  
länken är överflödig.

L3 Denna modell har samma nackdelar som L1 och L2.

L4 Denna modell är enklast att reglera. Varje delsystem kan återkopplas och regleras separat. Det är fyra insignal - utsignal system, med gemensam utsignal, ventillägget. Det är en stor fördel att kunna styra hela processen med varje reglerform separat. Vid t. ex. varmkörning av turbinen är regleringen av startsonden viktigare än regleringen av den köpta effekten. Då är det önskvärt att ge startsonden högre prioritet, vilket är möjligt med den här modellen, genom att t. ex. ändra börvärdesinställningen.

Simuleringar med den här modellen är enkelt att utföra.

ÅTERKOPPLING OCH REGLERING

De 4 regulatorerna skall styra: den köpta effekten, tryck i värmekondensorn, temperaturen i kylvattnet och temperaturskillnaden mellan turbinhus och ånga, genom att öppna eller stänga ventilen till turbinen.

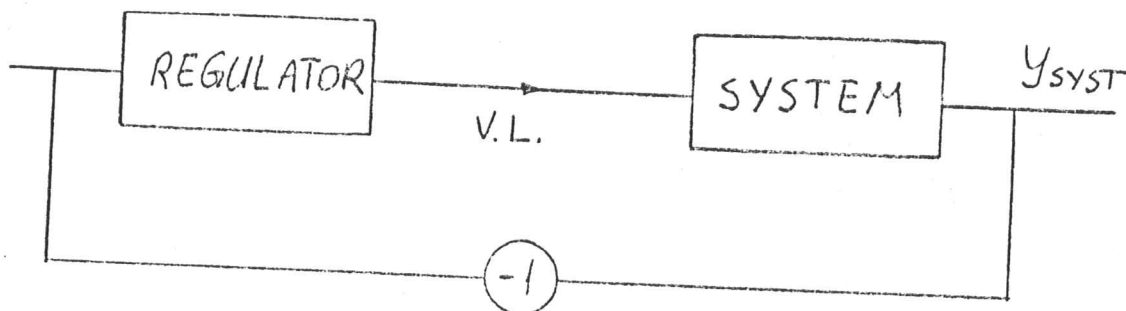
REGULATORSPECIFIKATIONER:

Vid en given stegstörning är det önskvärt att:

- överslängen skall bli minimal
- insvängningstiden skall bli så kort som möjligt
- stationära felet elimineras

Vid framtagning av parametrar till regulatorerna har vi utnyttjat en bildskärmsterminal. Där kunde vi systematiskt följa hur processen ändrades för olika parameterintervall. Vi har valt relativt långsamma regleringar för att undvika höga ventilhastigheter.

Följande modell använde vi:



De fyra regulatorerna är:

Startsond  $100 + \frac{6}{s}$

Temp. Fjärrvärmevatten  $0.5 + \frac{0.03}{s}$

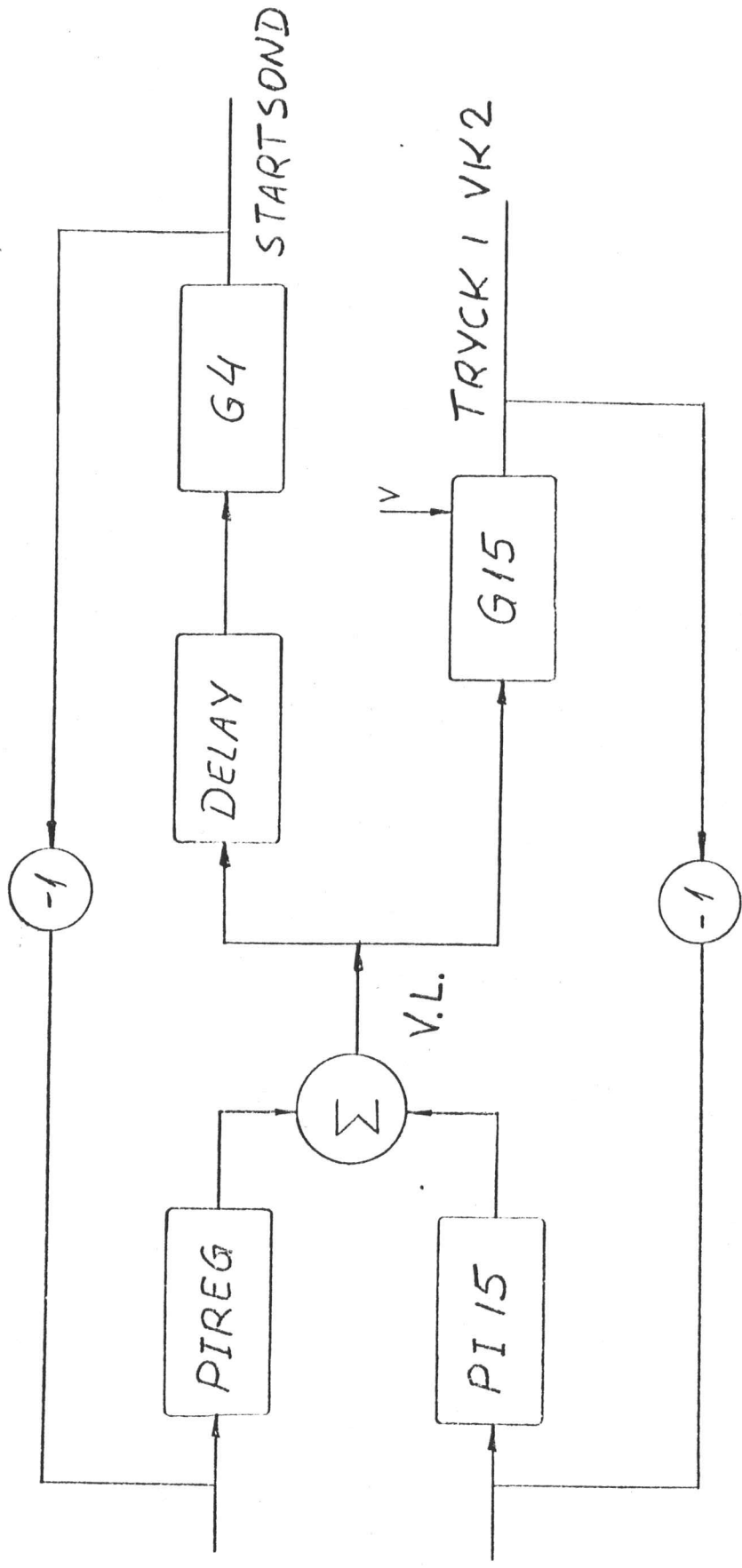
Köpt Effekt  $2 + \frac{3.5}{s}$

Tryck i VK2  $6 + \frac{0.16}{s}$

Diagram över de återkopplade systemen finns på sidorna 57-60.

Vi har undersökt hur en koppling (enl. figur 17) av startsonden och tryck i värmekondensorn fungerar. Varje delsystem har sin regulator. Denna metod är inte lämplig då insvängningstiden ökar. Diagram finns på sidan 61.

Santliga regulatorer är så anpassade att högsta ventilhastigheten är begränsad och att insvängningstiden blir så kort som möjligt. Vi har använt enkla regulatorer av PI-typ, eftersom de visade sig vara tillräckligt effektiva.



CONNECTING SYSTEM CTU

FIG 17

HCOPIY ØTRYCK I VK2 / VL P1-6 P2-0.16

Q : Y G15  
Q : U G15

STEG 0.3 = 0.083 bar

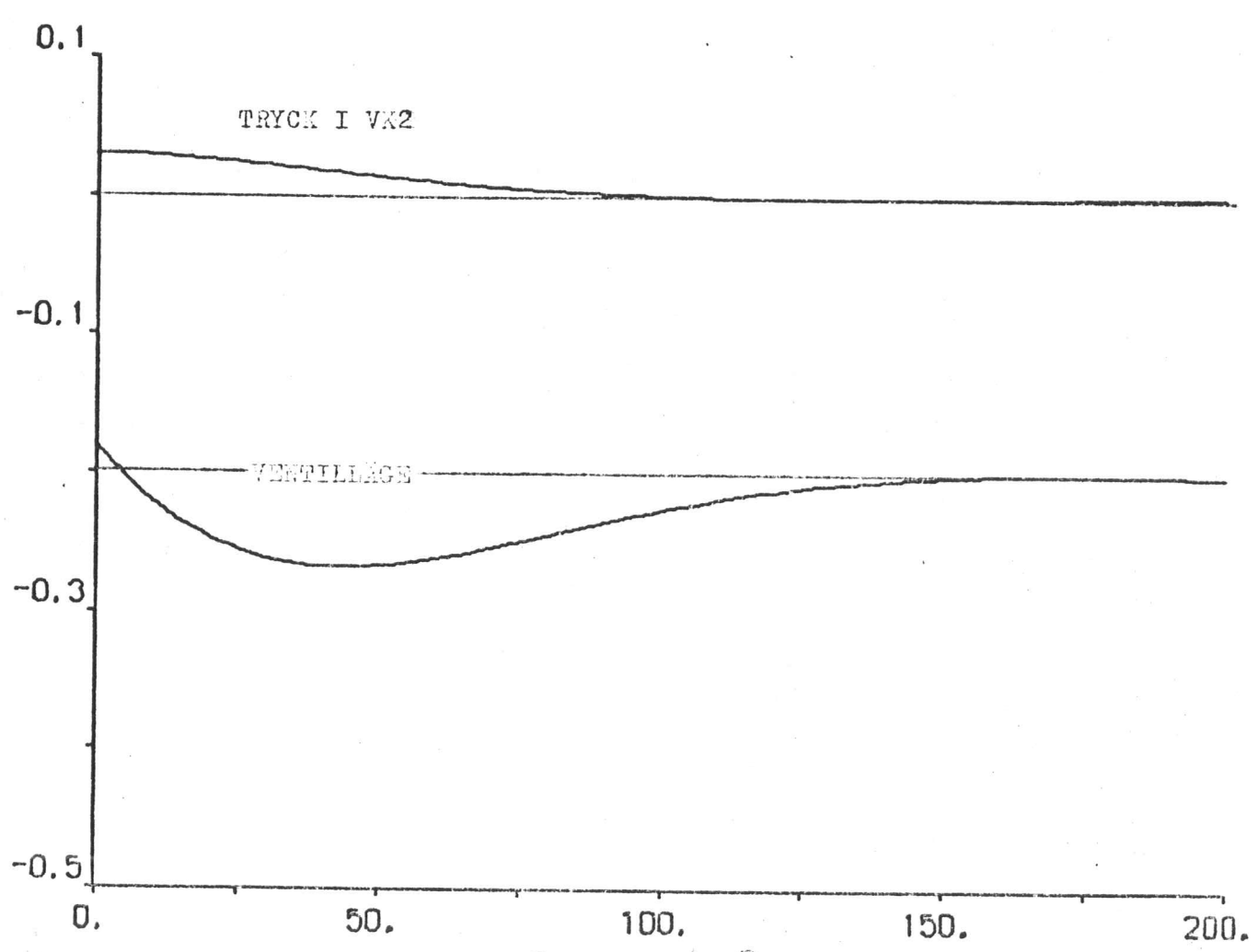


Fig 18

HCOPIY Ø G12-PIREG-DELAY STEG-0.1 P1:0.5 P2:0.03

A : Y G12  
A : U G12

STEG 0.1 = 9°

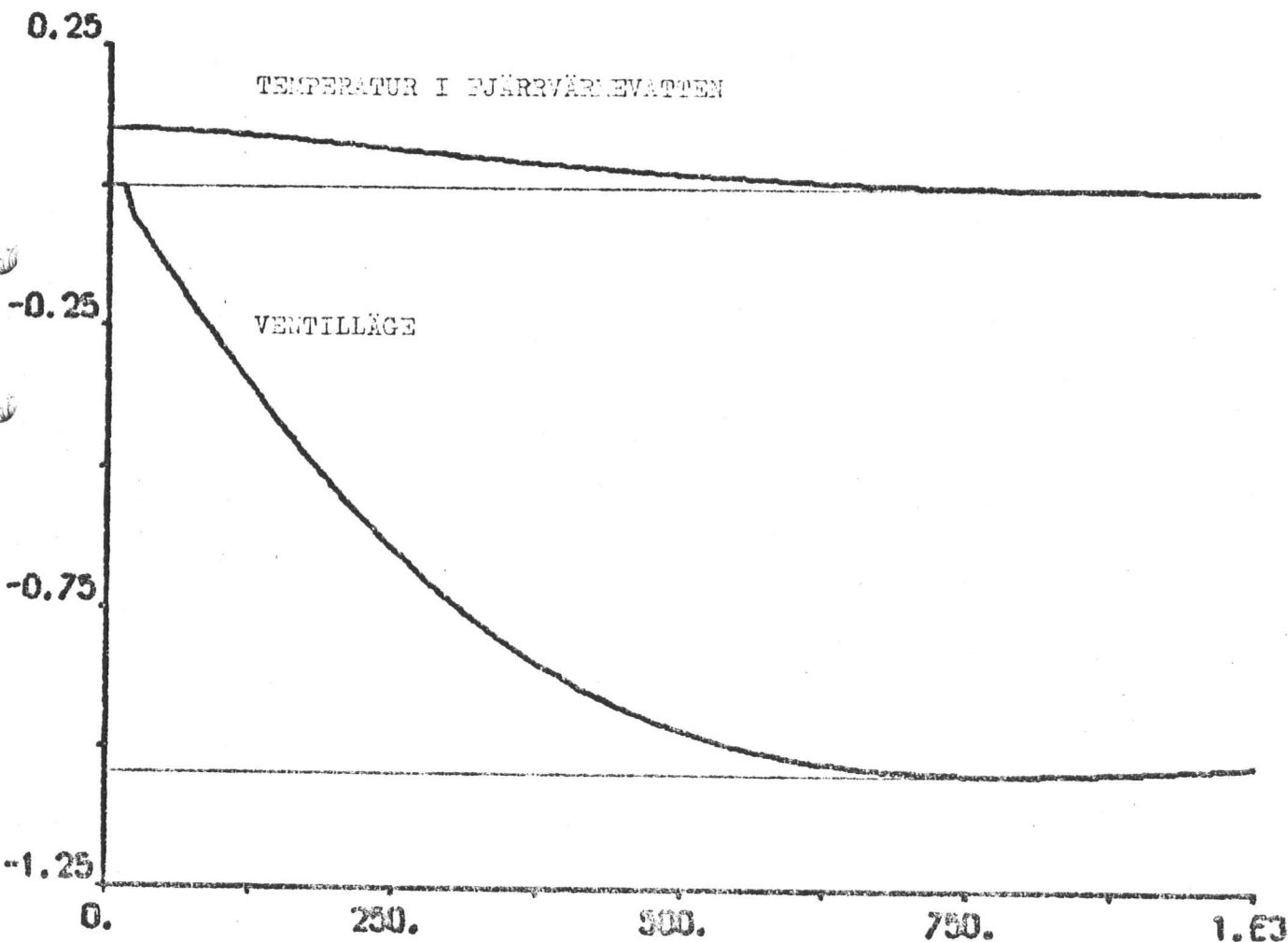


FIG 19



HCOPIY ØG13-PIREG-C13 P1-2 P2-3.5

C : U G13  
C : Y G13

STEG = 1

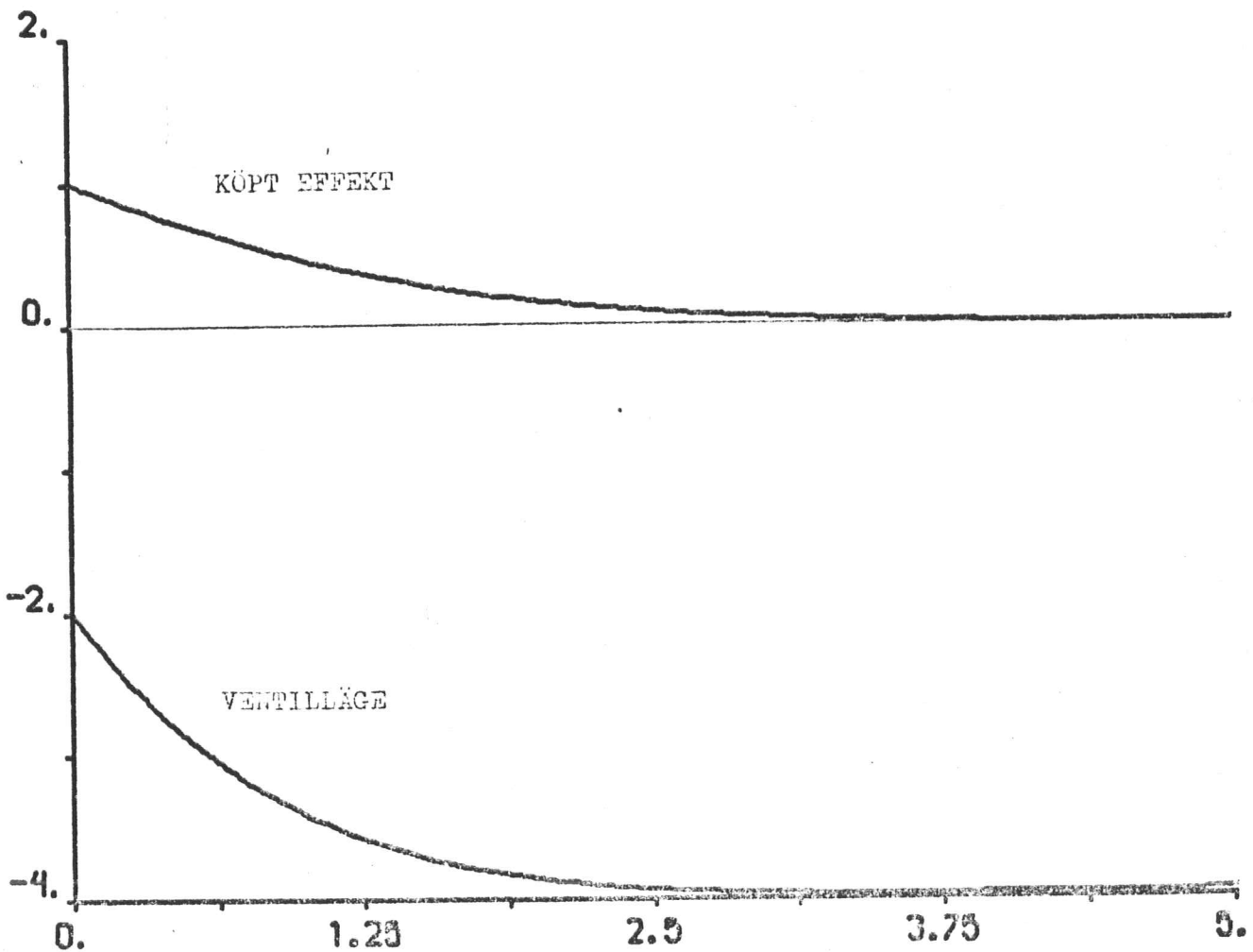
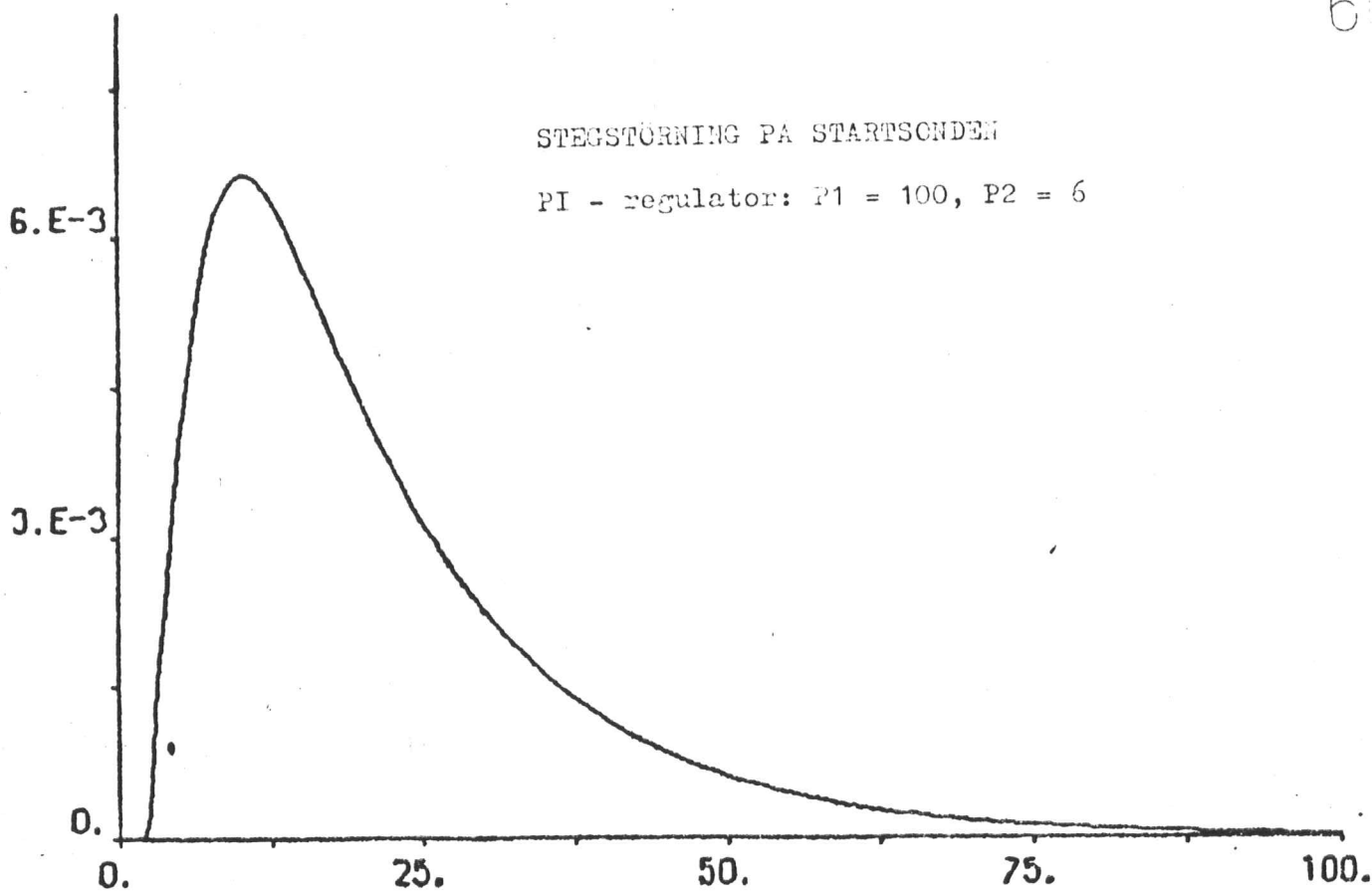


Fig 20

STEGSTÖRNING PÅ STARTSONDEN

PI - regulator: P1 = 100, P2 = 6



VENTILLÄGE DÅ STARTSONDEN REGLERAR

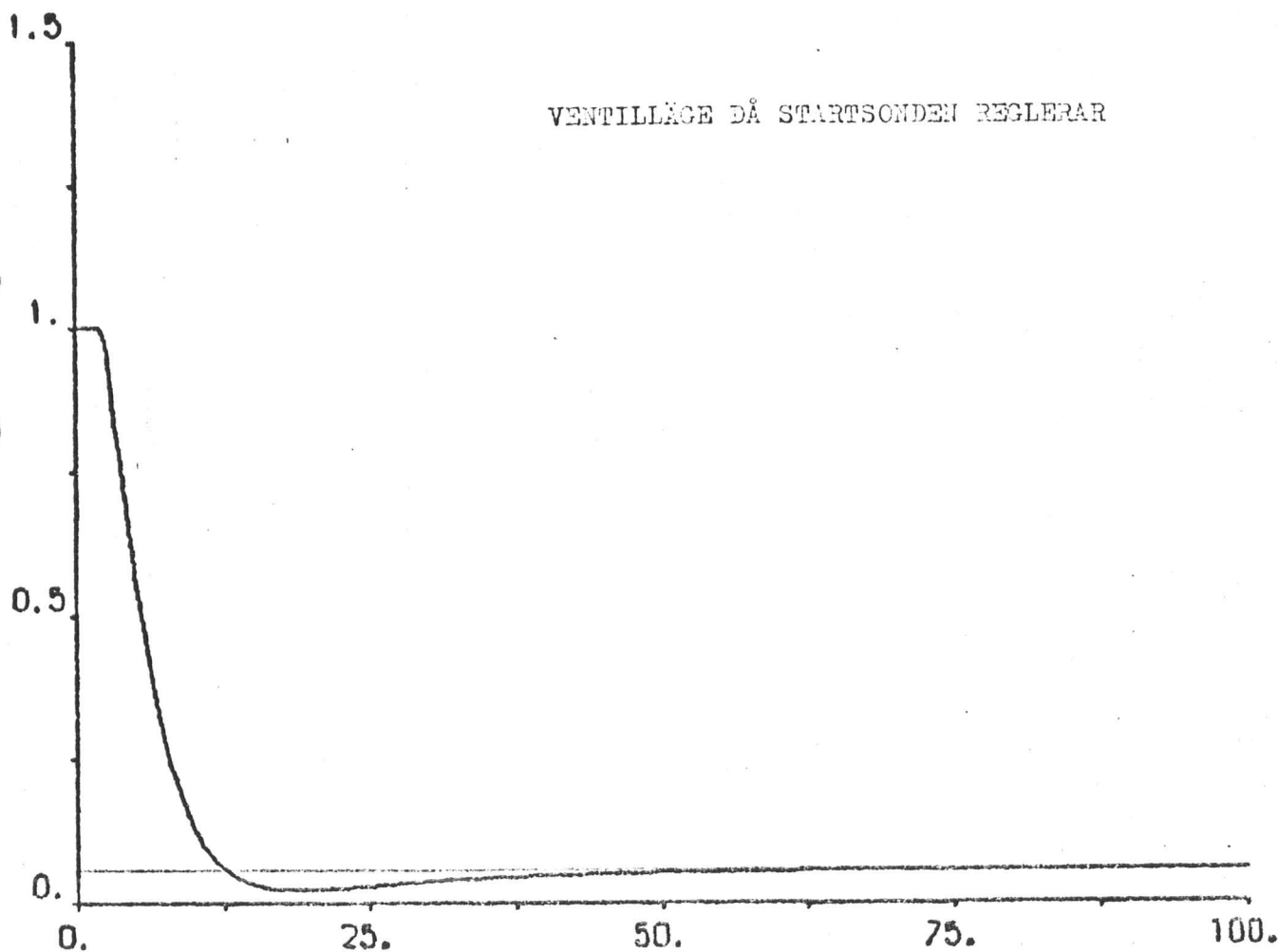


FIG 21

STEGSTÖRNING FÖR DET SAMMANSETTA  
SYSTEMET

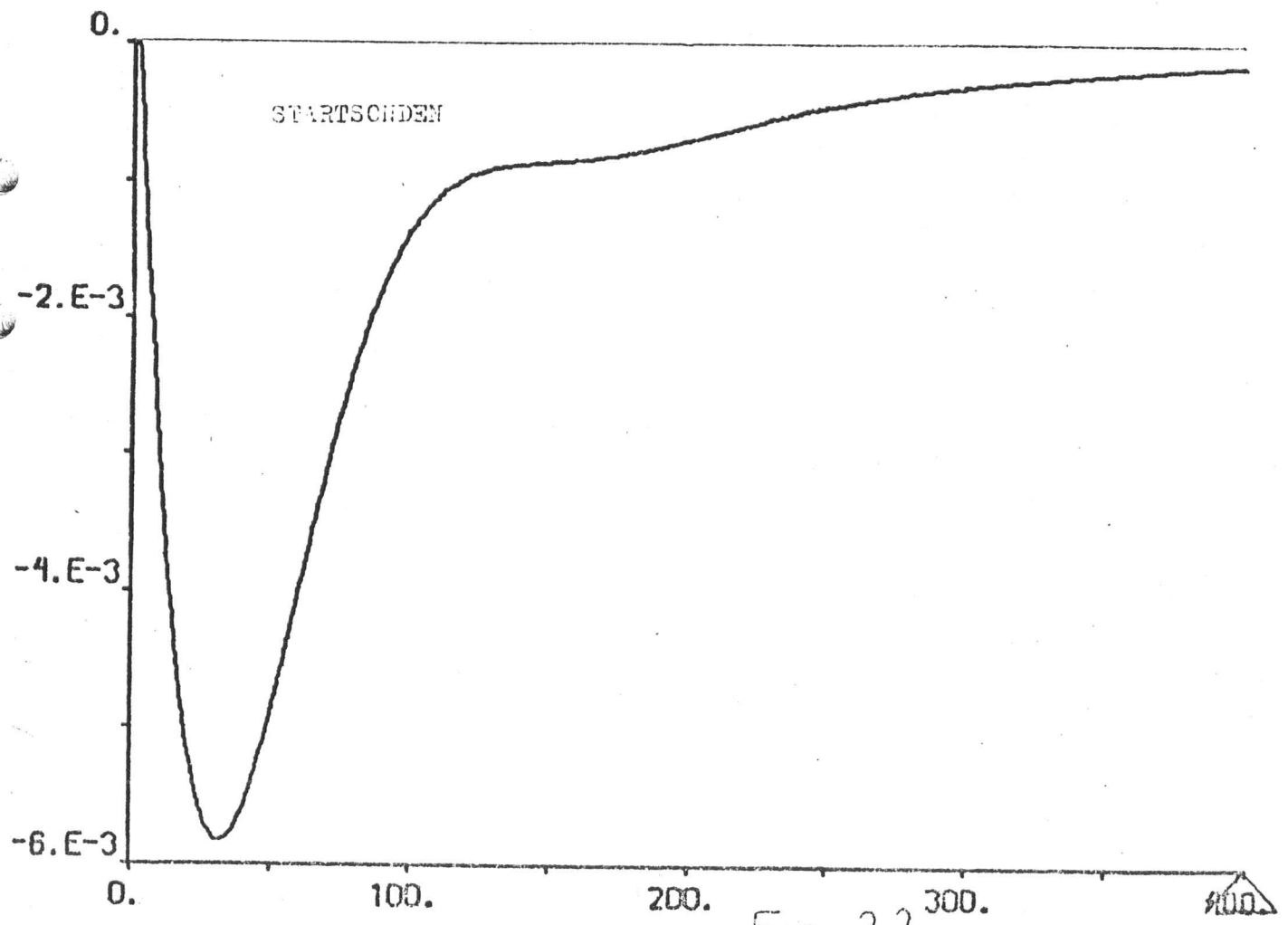
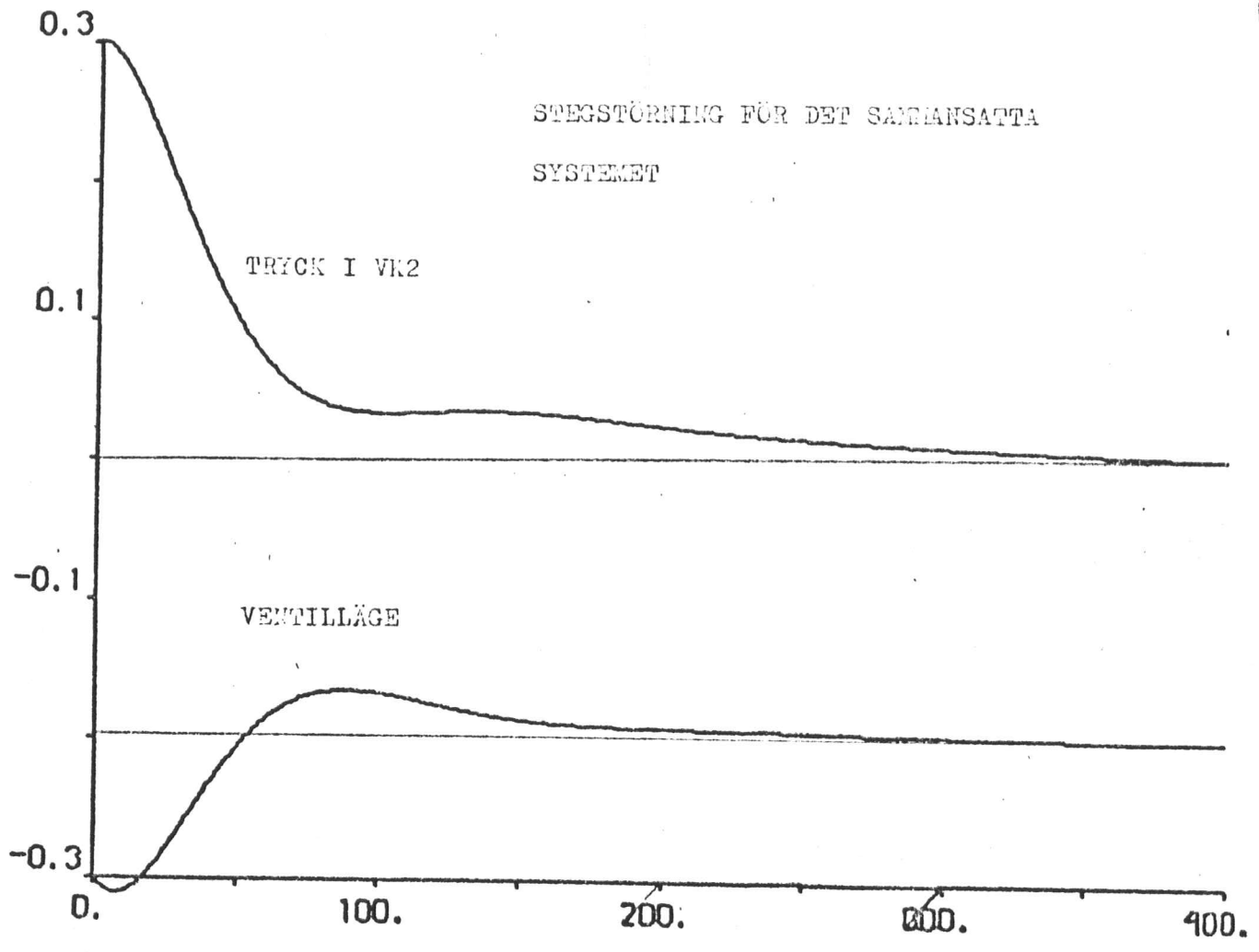


FIG 22

ÅNGANS VÄG GENOM TURBINEN

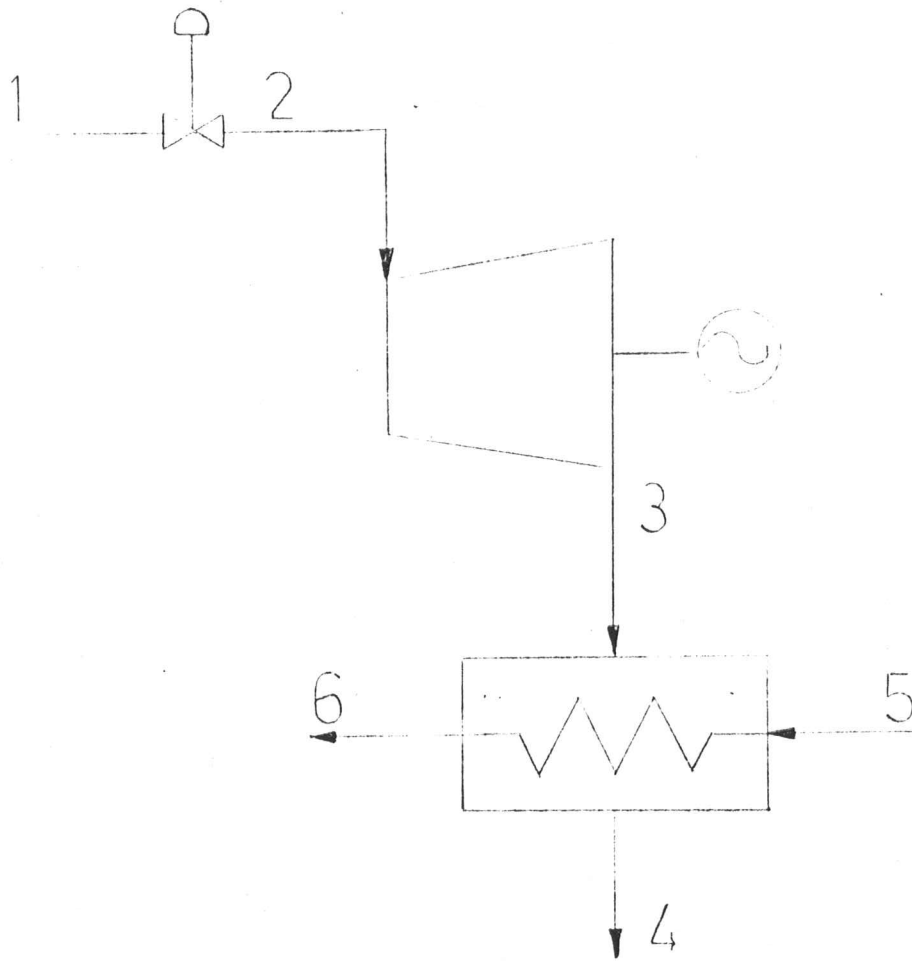
Anledningen till att vi har tagit fram en fysikalisk modell för ångan är följande:

- 1) Vid mätningarna av trycket i värmekondensorn för olika kylvattenflöden fick vi stora ändringar av överföringsfunktionerna. Vi försökte att på teoretisk väg förklara dessa.
- 2) Med hjälp av den fysikaliska modellen ta fram preliminära regulatorer för nya anläggningar, genom att simulera med de nya parametrarna som anläggningarna skall utrustas med.

Med hjälp av den fysikaliska modellen kunde vi konstatera bra överensstämmelse mellan de teoretiska tryckförloppen och de verkliga. Vi försökte efterlikna våra uppmätningar genom att göra stegstörningar och en sinusformad störning på ventilen. Temperaturändringarna gick inte att få fram, då modellen är för enkel. Till de behöver man en ganska komplicerad programmeringsrutin som räknar fram entalpierna och temperaturerna i varje steg. Det är en dyrbar procedur. Då temperaturändringarna är långsamma förlopp jämfört med tryckändringarna, så har de ej stor betydelse för reglering vid stationär drift.

Datamaskinsimuleringar visas på sidorna: 72 - 75.

Tryck	P	$N/m^2$
Temperatur	T	$^{\circ}K$
Volym	V	$m^3$
Massflöde	m	$kg/s$
Densitet	$\rho$	$kg/m^3$
Inre energi	$E_v$	J
Arbete	W	J
Entalpi	i	$J/kg$
Massa	M	kg
Värmefflöde	q	W
Spec. värme konst P	$c_p$	$J/kg^{\circ}K$
Spec. värme konst V	$c_v$	$J/kg^{\circ}K$
Isentrop exponent	$\kappa$	
Höjd	z	m
Jordacceleration	g	$m/s^2$
Specifika volymen	v	$m^3/kg$
Area	A	$m^2$
Kinetisk energi	$E_k$	J
Potentiell energi	$E_p$	J



$E_t$  = energi i turbinen

$$E_t = E_t(P_t, T_t)$$

$M_t$  = massan i turbinen

$$M_t = M_t(P_t, T_t)$$

$E_k$  = energi i kondensorn

$$E_k = E_k(P_k, T_k, Q_k)$$

$M_k$  = massan i kondensorn

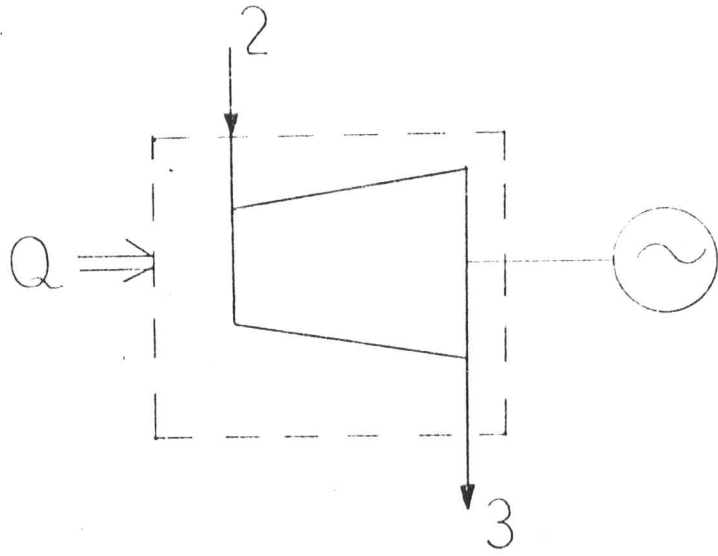
$$M_k = M_k(P_k, T_k)$$

Ideal gas

$$\frac{\partial}{\partial t}(E_k) = \frac{\partial}{\partial t}(u + p\sigma) = \left( \frac{dp}{dt}, \frac{dT}{dt}, \frac{dQ_k}{dt} \right)$$

$$\frac{\partial}{\partial t}(M) = \frac{\partial}{\partial t} \left( \frac{PV}{RT} \right) = \left( \frac{dp}{dt}, \frac{dT}{dt} \right)$$

TURBIN



Allmäna energiekvationen

$$\frac{dQ}{dt} = \frac{dE_v}{dt} + \int_{A_3} (L + \frac{c^2}{2} + gz) \dot{dm}_3 - \int_{A_2} (L + \frac{c^2}{2} + gz) \dot{dm}_2 + \frac{dW}{dt} + \frac{dW_{skj}}{dt}$$

$$\frac{dW}{dt} = \frac{dW_{skj}}{dt} = \frac{dQ}{dt} = 0$$

$E_k, E_p$  försummas

Def  $E_v = \int_{m_v} u dm_v$

$u = i - Pv$

$\rho = \frac{dm}{dV}$

$$E_v = \int_v (i - Pv) \rho dv \dots \dots \dots 1$$

$i = c_p T$

$v = \frac{V}{m}$

$\rho = \frac{P}{RT}$

insättning i 1 ger

$$E_v = \int \frac{P}{v} \left( \frac{C_p}{R} - 1 \right) dv$$

$$R = C_p - C_v$$

$$\gamma = \frac{C_p}{C_v}$$

$$\Rightarrow E_v = \int \frac{P}{\gamma - 1} dv$$

Derivering m. a. p. tiden ger:

$$\frac{dE_v}{dt} = \frac{1}{\gamma - 1} \int \frac{dP}{dt} dv = \frac{V}{\gamma - 1} \frac{dP}{dt}$$

Insättning i energiekv. ger:

$$\frac{dP}{dt} = \frac{\gamma - 1}{V} \frac{dE_v}{dt} = \frac{\gamma - 1}{V} \left[ \int_{A_2} i_2 \dot{m}_2 - i_1 \dot{m}_1 \right]$$

$$\frac{dP}{dt} = DP2 = T12 (M1 \times I1 - M2 \times I2)$$

För hela systemet gäller:

$$DP2 = T12 \times (M1 \times I1 - M3 \times I3)$$

T12 = tidskonstant för turbin. Simuleras fram.

I1 = I2 ty ren strypning

$$I = I(P)$$

I1 = K1 × CPl × Pl      Ur värmebalansen fås:

$$K1 = 4 \times 10^{-5} \quad CPl = 2.6 \times 10^3 \text{ J/kg}$$



## STAL-LAVAL

Kontinuitetsekvationen ger:

$$M1 = M2; \quad M3 = M4; \quad M5 = M6$$

Kegelgesetz tillämpad på turbinen ger:

$$M3 = TK \times \sqrt{1 - \left(\frac{P3}{P2}\right)^2} \times \frac{P2}{\sqrt{T1}}$$

Beräkning av ventilkarakteristikan

Effekten  $\sim$  massflöde =  $\dot{m}$

massflöde  $\sim$  ventilläge =  $x$   $\Rightarrow$

$$\dot{m} = kx$$

Modellen gäller för 91 % last. Då är 3 ventiler helt öppna

och reglering sker med den 4:de

Vid 100 % last

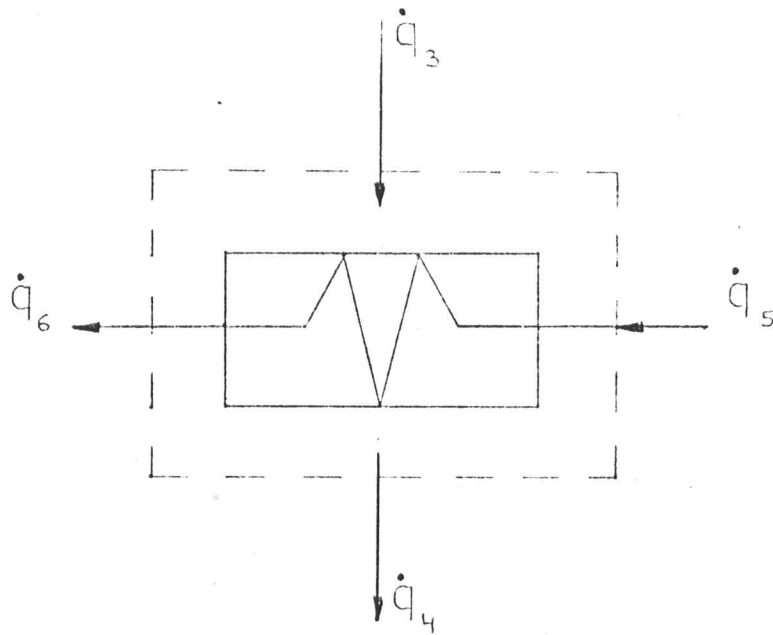
$$\dot{m} = 118.6 \text{ kg/s}$$

$x = 1$  helt öppen  $\Rightarrow$

$K = 118.6 = VK = \text{ventilkonstant}$

$$M1 = VK \cdot X \quad 0 \leq X \leq 1$$

KONDENSOR



Allmäna energiekvation

$$\frac{dQ}{dt} = \frac{dE_V}{dt} + \int_{A_{4,6}} (i + \frac{c^2}{2} + gz) \dot{m}_{4,6} - \int_{A_{3,5}} (i + \frac{c^2}{2} + gz) \dot{m}_{3,5} + \frac{dW}{dt} + \frac{dW_{sk,j}}{dt}$$

$$\frac{dW}{dt} = \frac{dW_{sk,j}}{dt} = E_k = E_p = \frac{dQ}{dt} = 0$$

$$\frac{dE_V}{dt} = \sum \dot{q}_{in} - \dot{q}_{ut} \dots\dots\dots 2$$

$$E_V = \int_{m_V} u dm_V = \int_V (i - pv) dV = \int_V (i - P) dV$$

Derivering m. a. p. tiden

$$\frac{d}{dt} (E_v) = \frac{dE_v}{dt} = \frac{d}{dt} \int (i_s - P) dV = \frac{dP}{dt} V \quad \Rightarrow$$

$$\frac{dP}{dt} = \frac{1}{V} \frac{dE_v}{dt} \quad \text{Ins ekv 2 ger}$$

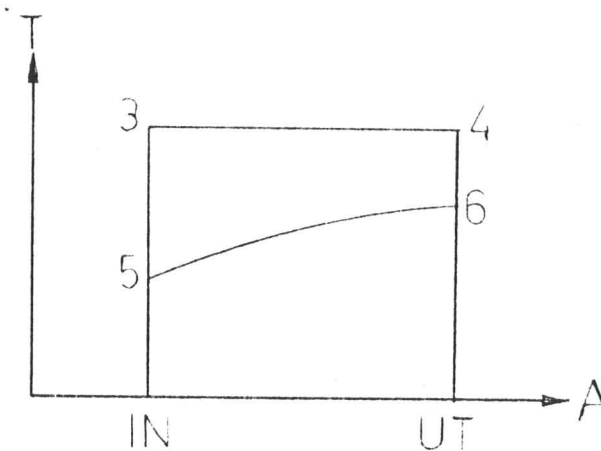
$$\frac{dP}{dt} = \frac{1}{V} [ \dot{m}_3 i_3 + \dot{m}_5 i_5 - (\dot{m}_4 i_4 + \dot{m}_6 i_6) ]$$

$$\dot{Q}_4, \dot{Q}_5, \dot{Q}_6 = i_v \dot{m}_v \quad v = \text{vatten}$$

$$DP_3 = T_{13} \cdot [ M_3 \times I_3 + M_5 \times I_5 - (M_3 \times I_4 + M_5 \times I_6) ]$$

T13 = tidskonstant kondensor

Värmeövergång



$$T_3 = T_4 \quad \text{ty kondensering}$$

T6 beräknas som ett medelvärde

$$\dot{Q} = \Delta i \dot{m} = \dot{m}_3 i_3 - \dot{m}_4 i_4 = Ak \left( T_3 - \frac{T_6 + T_5}{2} \right)$$

$$E_{34} = M_3 \times I_3 - M_3 \times I_4$$

$$\frac{E_{34}}{Ak} = T_3 - \frac{T_6}{2} - \frac{T_5}{2}$$

$$T_6 = 2 \times \left( T_3 - \frac{T_5}{2} - \frac{E_{34}}{Ak} \right)$$

$$DP_3 = T_{13} \times \left( E_{34} + M_5 \times I_5 - M_5 \times I_6 \right)$$

Bestämning av konstanter ur värmebalansen

$$I_5 = 306 \times 10^3 \text{ J/kg} \quad T_5 = 73^\circ\text{C}$$

$$I_6 = 2.1 \times 10^3 \times T_6$$

Stationär lösning för turbinen:

$$DP2 = 0 \quad \text{med } M1 = 118.6 \text{ kg/s} \quad P2 = 132.2 \text{ bar} \quad P3 = 0.82 \text{ bar}$$

$$\text{ges } TK = 1.69 \cdot 10^{-3}$$

Kontroll insättning i DP2 ger  $DP2 \sim 0$

Stationär lösning för kondensor

$$DP3 = 0 \quad \Rightarrow \quad AK = -1.67 \cdot 10^6$$

Kontroll

$$DP3 = 0.2 \cdot 10^6$$

Uppskattning av felet:

$$DP3 = 10^6 \cdot (92 + 193 - 284)$$

Felet är mindre än 2<sup>o</sup>/oo av den största termen.

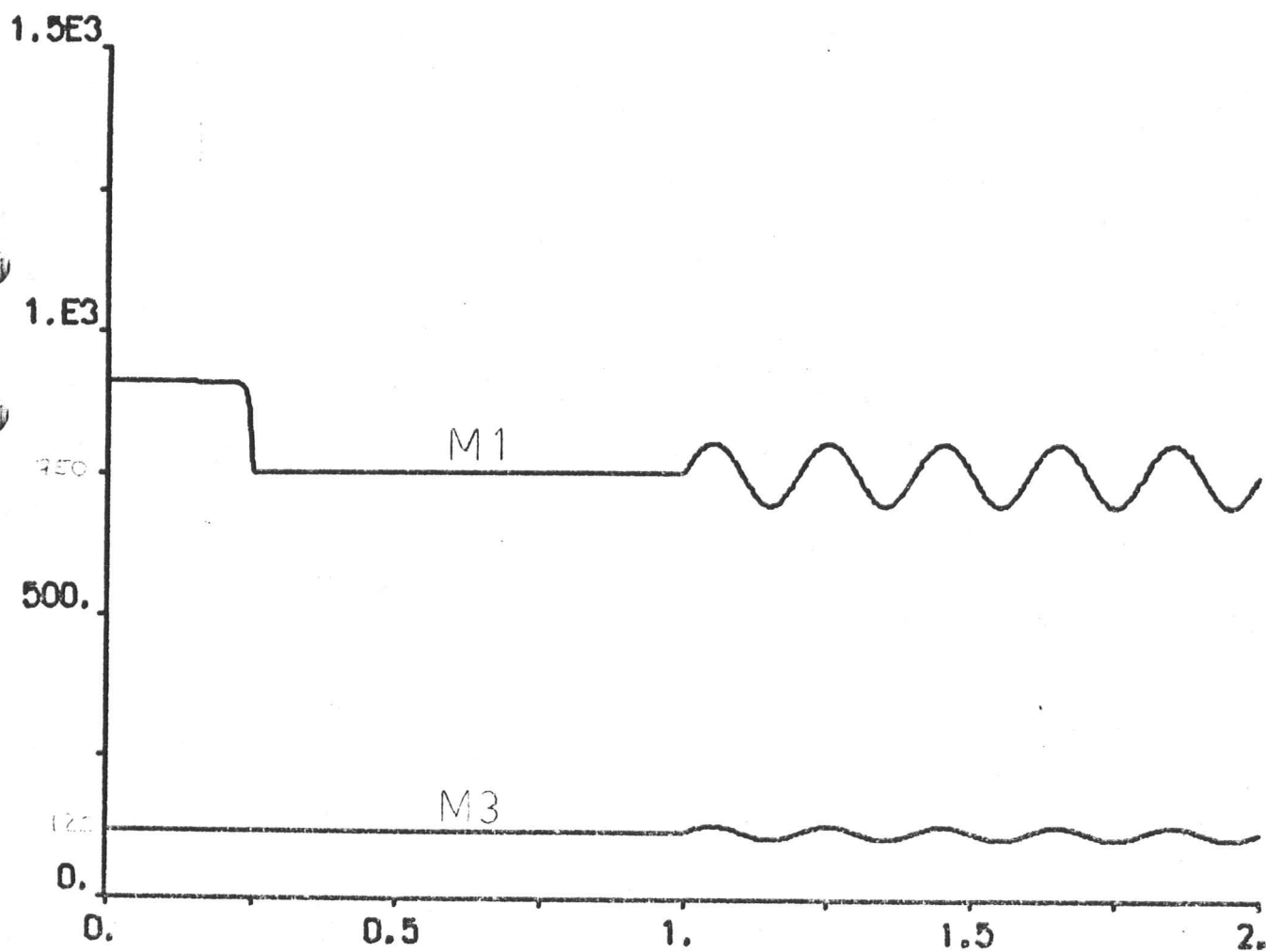
Simuleringar med hjälp av datamaskin visas på nästföljande sidorna.

M1 = MASSFLÖDE FÖRE REGLERVENTIL

M3 = MASSFLÖDE EFTER TURBIN

HCOPY Ø M3 M1 A-0.1 F-31.4

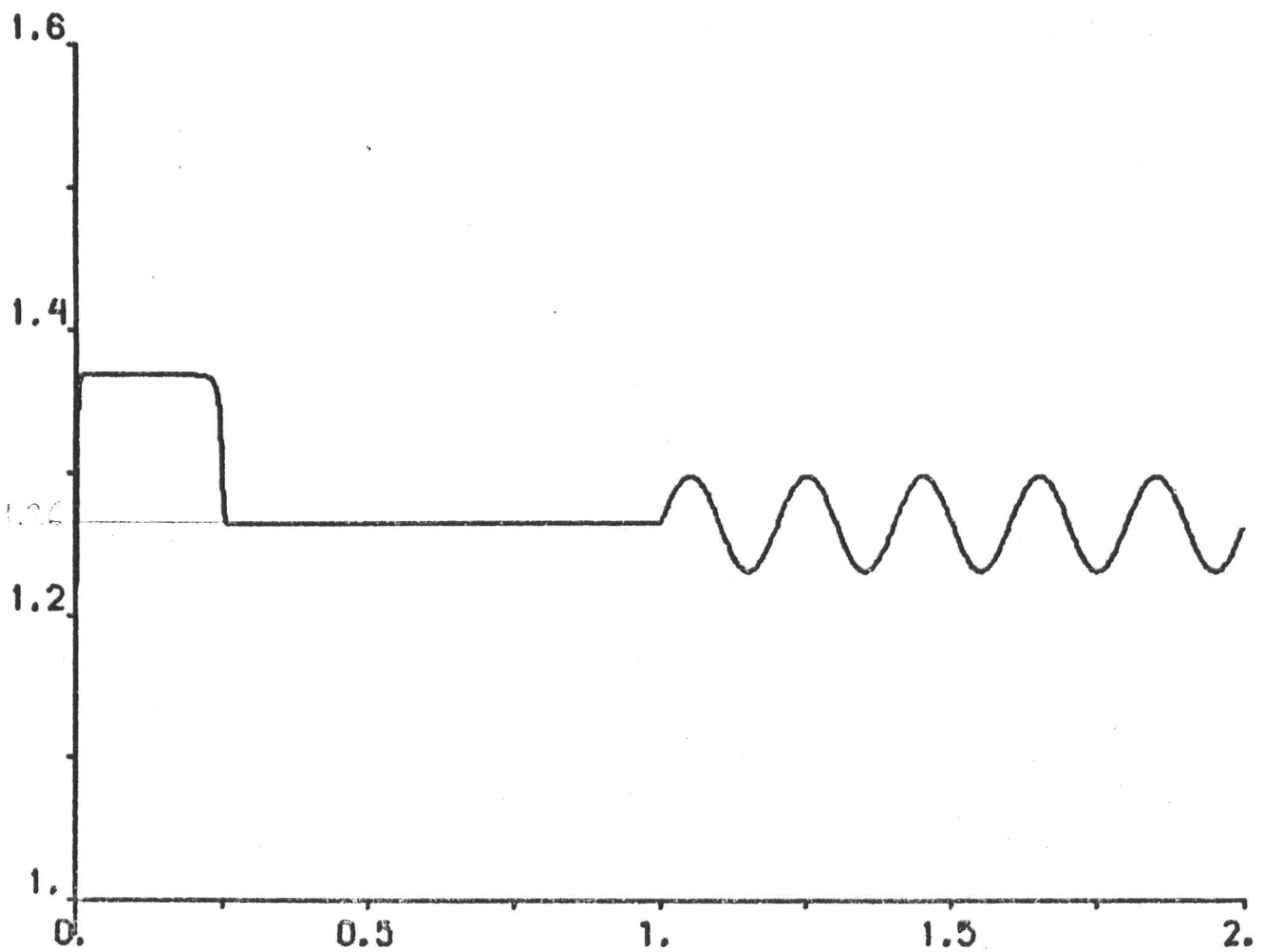
C : M1  
C : M3



TRYCKET EFTER TURBINEN

HCOPY Ø P03 A=0.1 F=31.4

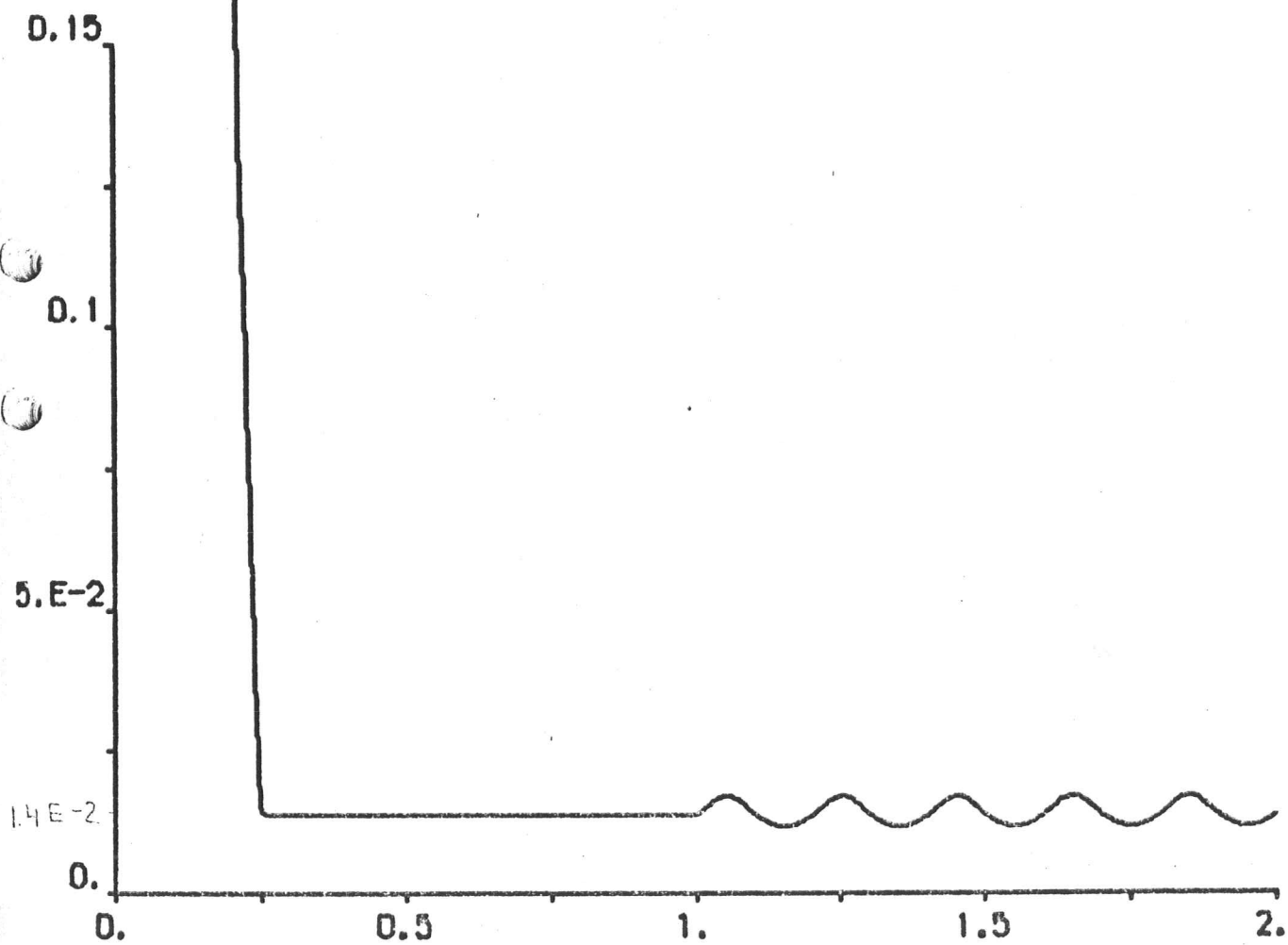
B • P03



TRYCKET EFTER REGLERVEKTELEN OCH FÖRE TURBINEN

HCOPY Ø P02 A=0.1 F=31.4

A : P02



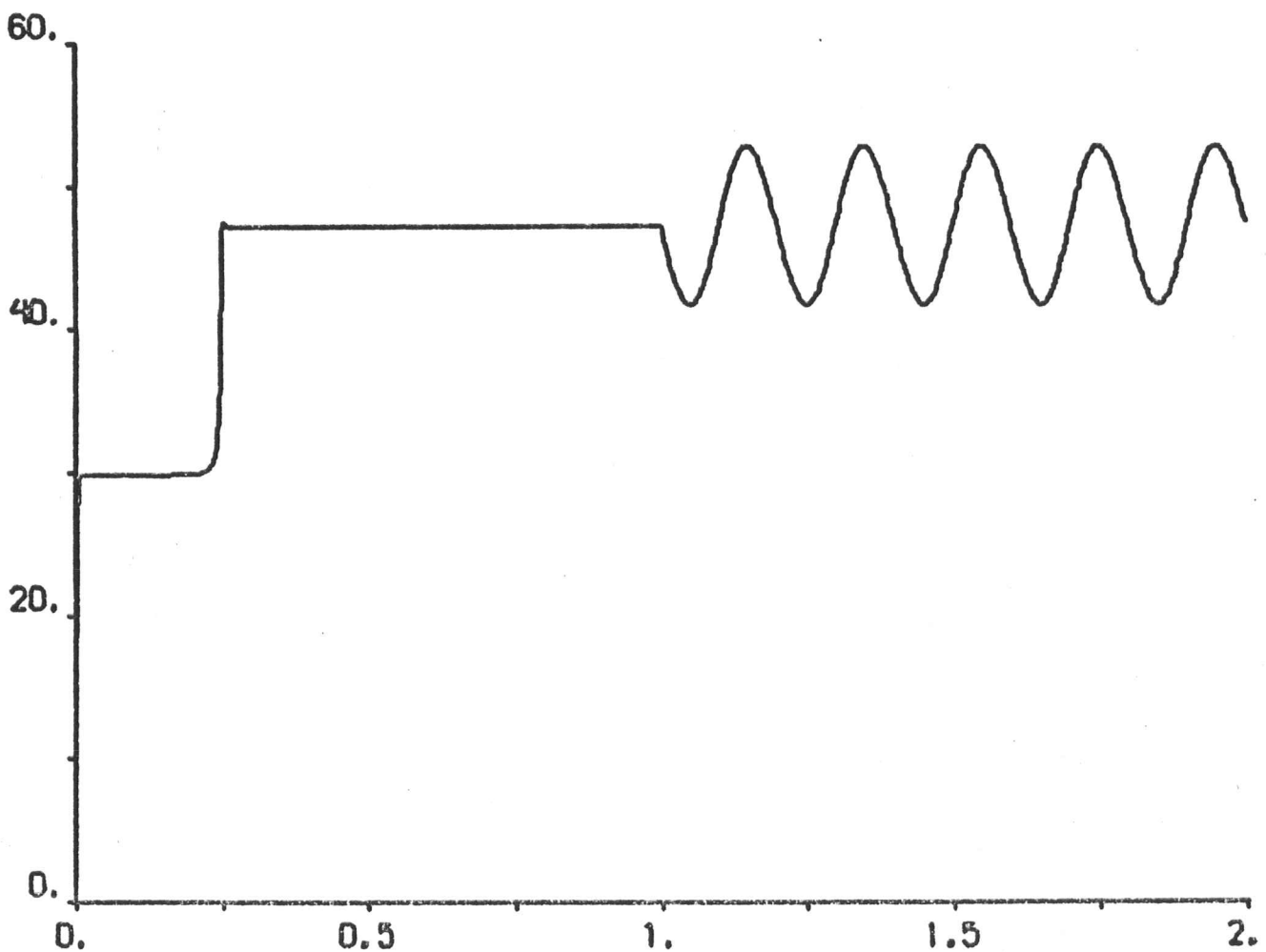


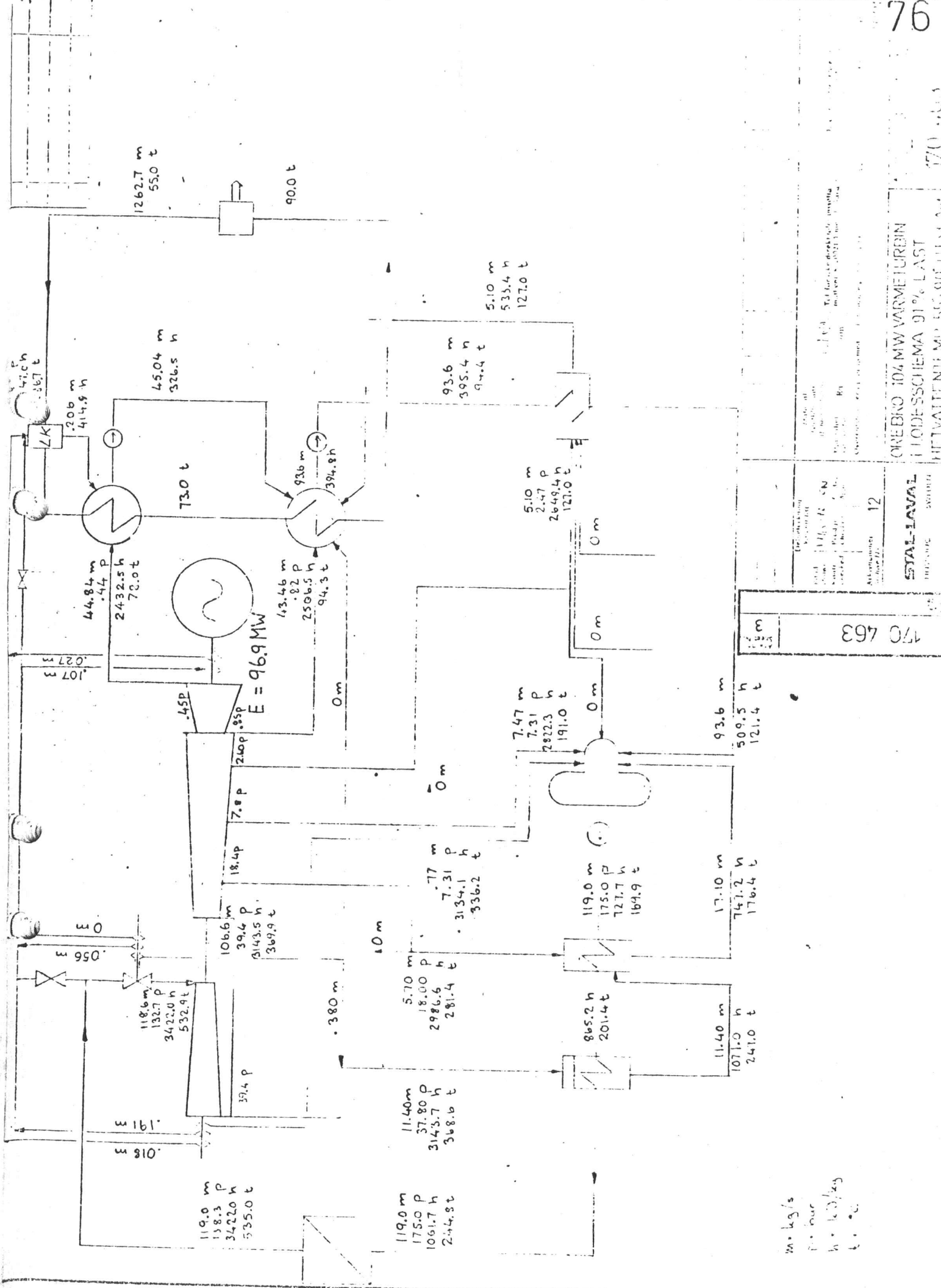
T6 = TEMPERATUREN PÅ DET UTGÅENDE KYLVATTNET FRÅN  
KONDENSORN.

INGEN HÄNSYN TILL TRANSPORTFÖRDÖJNING HAR TAGITS.

HCOPIY Ø T6 A=0.1 F=31.4

D . T6





m. kg/s  
 P. bar  
 h. h/24h  
 t. t

170 463

Designation	12
Material	Stal-Laval
Manufacturer	Stal-Laval
Year	
Weight	
Volume	
Pressure	
Temperature	
Speed	
Power	
Efficiency	
Remarks	

CREBNO 104 MW VARME TURBIN  
 ILODESSCHEMA 91% LAST  
 HITVAITTE NI MO 550 000 LITRA W

L I T T E R A T U R:

Tyllered, Gunnar "Termodynamik" LTH 1971

Åström, Karl-Johan "Reglerteori" Stockholm 1968

Profos, P "Die Regelung von Dampfanlagen" Springer 1962

Piwinger, Franz "Regelungstechnik für Praktiker" VDI 1975

Elmqvist, Hilding "Simnon" Lund 1975

Glad, Torhel "Opta" Lund 1974

Kompendium i sytemteknik, reglerteknik, Lund

## Appendix I

ANVÄNDNING AV SIMNON

SIMNON är ett program för simulering av reglertekniska system. Eventuella överföringsfunktioner i Laplaceform måste skrivas om till differentialekvationer.

Ex. på terminalkörning med kommentarer.

ⓐ RUN SIMNON,PROJNR,PROJID,tid

ⓐ ASG,AX JUREK

C Filen JUREK tillordnas körningen

ⓐⓐ TTY W,132,S,ctrl G

C Förberedelse för Simnon - körning

ⓐ XQT SIM SIMNON.

C Exekvering av Simnon - programmet

EDIT GI "Här skall system GI skrivas in på filen"

Univac svarar: GI NOT FOUND

INPUT

Här skrives systemet rad för rad:

CONTINUOUS SYSTEM BI

STATE X Y tillståndsvariabler

INPUT U insignal

DER DX DY derivator

DYNAMICS differentialekvationer

DY = A1 Y + B U

DX = A2 Y

Parametrar:

A1:

A2:

B :

END

return

EDIT

E                    utgång från editor

SAVFIL JUREK GI

C sparar GI på filen Jurek.

På så sätt skrives kopplingssystemet CI

CONNECTING SYSTEM CI

TIME T

CONNECT

IN = IF S = 1 THEN 1 ELSE SIN (C\*T)

U[GI] = IN

S : 1

C : 0.01

END

Parameter kan ändras med PAR - kommando, t ex

PAR S[CI]:0

. STAL-LAVAL

För att simulera GI måste man definiera systemet GI CI  
SYST GI CI

Nu skall man säga vilka variabler skall plottas ut.

PLOT Y[GI]  
AXES V 0 1.5 H 0 100 - ritar axlar  
SIMU 0 100 systemet simuleras och Y plottas på skärmen.

För att få kopior på Univacs plotter, följande kommandon  
skall köras:

- STORE Y[GI] Spara variabel
- SIMU /A simulera och spara på filen A (Simnon-  
fil)
- AXES rita axlarna
- SHOW /A Visa vad som finns på filen A
- HCOPY "SYST GI - STEGSVAR

Kurvan kopieras och strängen efter " kommer som rubrik.

DISP - kommando ger utskrift av värden för alla variabler  
och parametrar vid simuleringens slut. Tidsfördröjning  
kan simuleras med DELAY - system, som vi behöver till  
simulering av G4 - startsonden:

```

CONTINUOUS SYSTEM G4

INPUT U

STATE XI X2
DER DXI DX2
OUTPUT Y

```

Deklaration av variabeltyper

OUTPUT

$$Y = XI$$

DYNAMICS

$$DX1 = A1 X1 + X2 + B U$$

$$DX2 = A2 X1$$

$$A1 : -5.8E - 2$$

$$A2 : -57.E - 5$$

$$B : 1.539E - 3$$

END



CONNECTING SYSTEM Q4

TIME T

CONNECT

$$TDI [DELAY] = T - 2.4$$

IN : I

$$UI [DELAY] = IN \quad \text{steg in}$$

$$U [G4] = YI [DELAY]$$

END

LET NI.DELAY = 0

,N2.DELAY = I

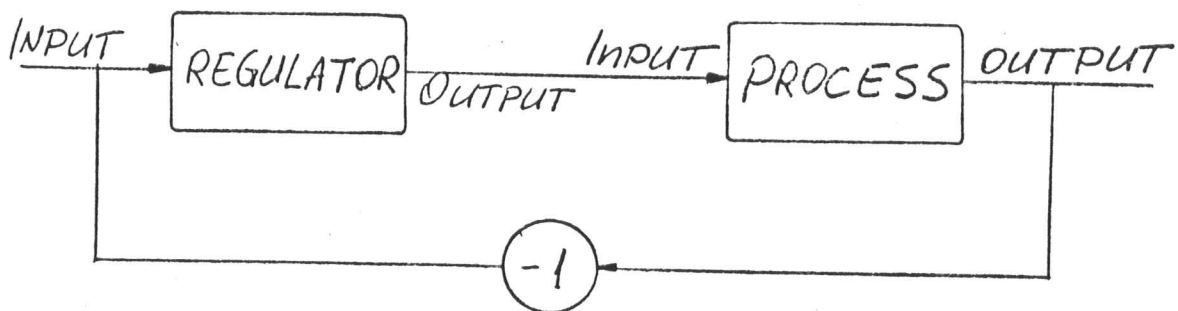
LET SPACE.DELAY = 450

Kärnminnesutrymme som behåller simulerade värden en tid (här 2.4 s)

SYST G4 DELAY Q4

systemet med fördröjningen är definierad och kan plottas ut på vanligt sätt.

För att återkoppla processen med en regulator behöver vi skriva en CONNECTING SYSTEM, där input till processen är detsamma som output från regulatorn och input till regulatorn är output från processen. Se figuren nedan. Våra system finns på sidorna: 7:8-10



I vårt fall är det aktuellt med PI - regulatorerna, som har överföringsfunktionen  $P1 + \frac{P2}{s}$  eller i dynamisk form:

$$\begin{cases} DX = U \\ Y = P1 \times U + P2 \times X \end{cases}$$

Regulatorer beskrivs i Simnon på samma sätt som processer, d.v.s. i continuous system. Sedan simuleras hela systemet i vanlig ordning, med några begynnelsevärden på parametrarna P1 och P2.

För oss gällde det att få processen att reagera "hyggligt", d.v.s. utsignalen skall regleras ner till noll relativt fort och utan stora överslängar. Dessutom skall ventil-



lägesändringen genomförs med måttlig hastighet och utan större överslängar. Med hjälp av bildskärmsterminalen kan det genomförs mycket åskådligt. Vi simulerade systemet och plottade på skärmen processens utsignal och ventilläge. Om vi inte var nöjda med deras utseende, då ändrade vi parametrarna P1 och P2 med PAR - kommando. (Till exempel PAR P1 : 0.1). Sedan kunde vi simulera och plotta om tills vi fick tillfredsställande resultat.

Den här var en optimering för hand. Det finns en möjlighet att optimera regulatorparametrarna automatiskt med hjälp av OPTA - systemet. (Se figur på sid. 7:11)

I regulatorbeskrivningen definierar man parametrarna som input-variabler (INPUT U P1 P2) och i processbeskrivningen inför man en förlustfunktion, som man vill minimera.

Till exempel:

$$J = \int y^2 dx \quad \text{minimera utsignalen } y$$

$$J = \int (y^2 + u^2) dx \quad \text{minimera både in och ut-signal}$$

Förlustfunktionen motsvarar då LOSS-funktionen i OPTA.

OPTA simulerar systemet upprepade gånger och ändrar regulatorparametrarna så att förlustfunktionen minimeras. På det sättet fås fram de optimala parametrarna.

En lämplig förlustfunktion i vårt fall skulle antagligen bli:

$$J = \int (ay^2 + b \frac{du}{dt} + cu^2) dt$$

där  $\frac{du}{dt}$  är ventilhastigheten och a, b, c är viktningsstalen.

Denna metod för oss utanför det centrala syftet med examensarbetet, då bestämning av viktningsstalen höjer enormt kostnaderna för datamaskinkörningarna.

```

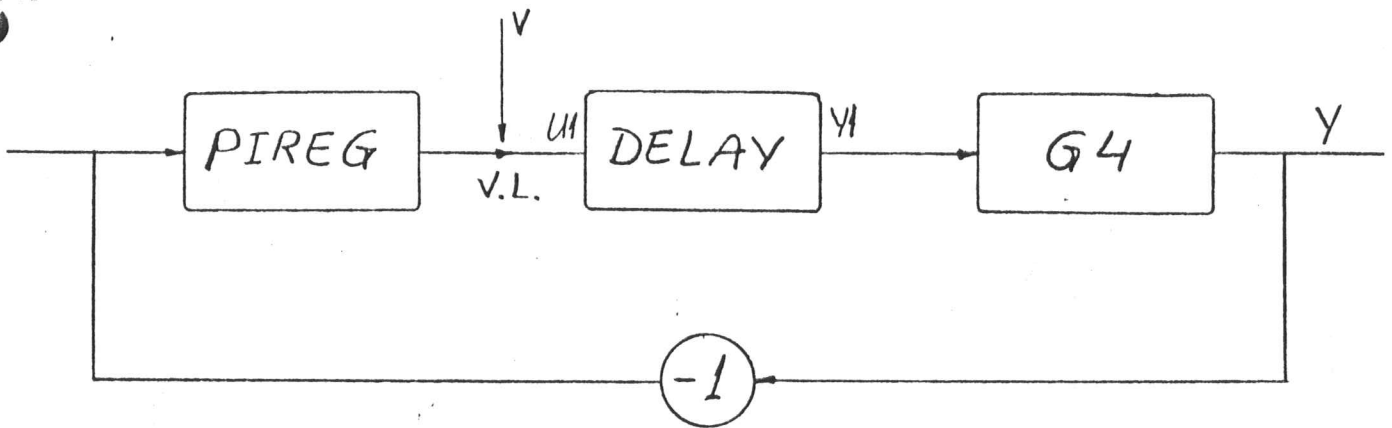
MACRO M4
GETFIL F G4 C4 PIREG
LET N1.DELAY=0
/ N2.DELAY=1
/ SPACE.DELAY=450
SYST G4 PIREG DELAY C4
AXES V -10 2 H 0 300
PLOT UAG4A YAG4A
SIMU 0 300
END

```

```

CONNECTING SYSTEM C4
TIME T
CONNECT
TD1ADELAYA=T-2.4
YAPIREGA=-YAG4A
U1ADELAYA=YAPIREGA+V
V:1
UAG4A=Y1ADELAYA
END

```



```

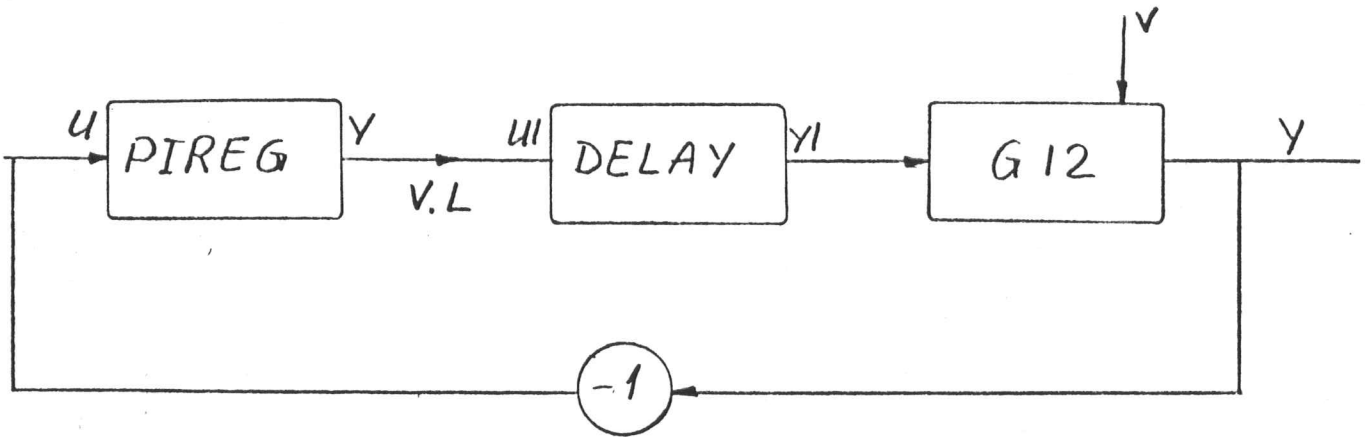
MACRO M12
GETFIL F G12 F12 PIREG
LET N1.DELAY=0
/ N2.DELAY=1
/ SPACE.DELAY=450
SYST PIREG DELAY G12 F12
PLOT UAG12A YAG12A
AXES V -5 1 H 0 100
SIFU 0 100
END

```

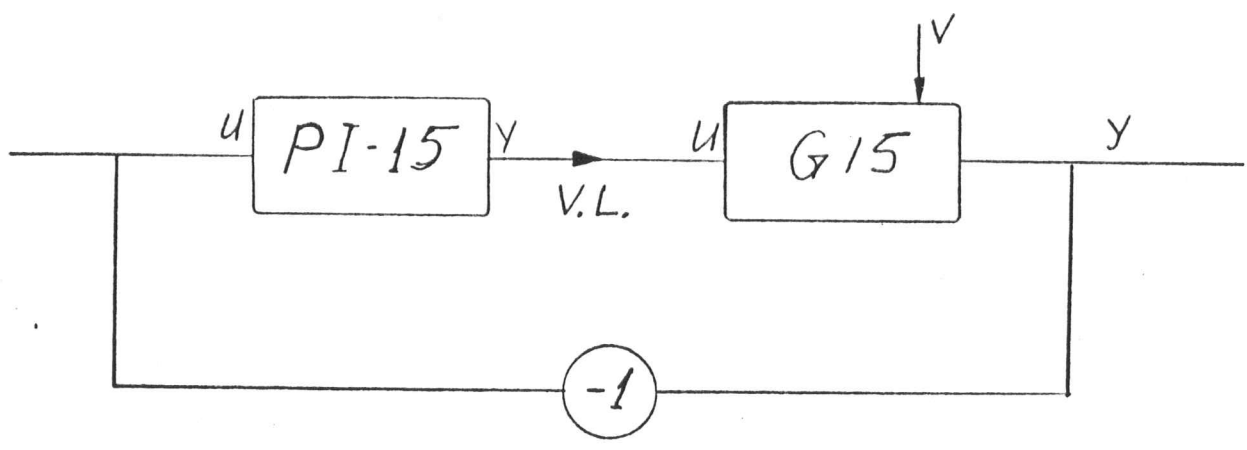
```

-----
CONNECTING SYSTEM F12
TIME T
CONNECT
T01ADELAYA=T-19.2
YAPIREGA=YAG12A
U1ADELAYA=YAPIREGA
UAG12A=Y1ADELAYA
END

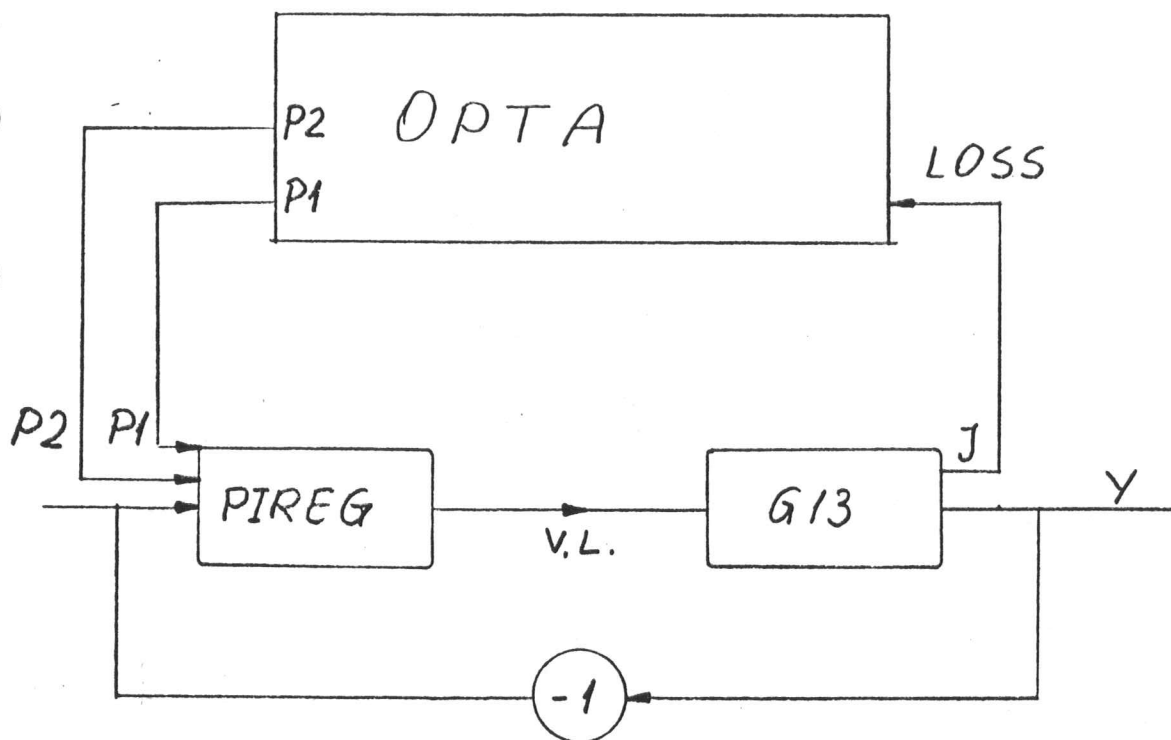
```



CONNECTING SYSTEM C15  
CONNECT  
UAPI15A=-YAG15A  
UAG15A=YAPI15A  
END



```
CONNECTING SYSTEM C13  
TIME TT  
CONNECT  
UAPIREGA=-YAG13A  
UAG13A=YAPIREGA  
LOSSAOPTAA=JAPIREGA  
P1APIREGA=P1AOPTAA  
P2APIREGA=P2AOPTAA  
T=TT-TBEGAOPTAA  
END
```



```

MACRO ACTU
LET N1.DELAY=0
/ R2.DELAY=1
/ SPACE.DELAY=450
GETFIL F G4 G15 PIREG PI15 CTU
SYST G4 G15 PIREG PI15 DELAY CTU
END

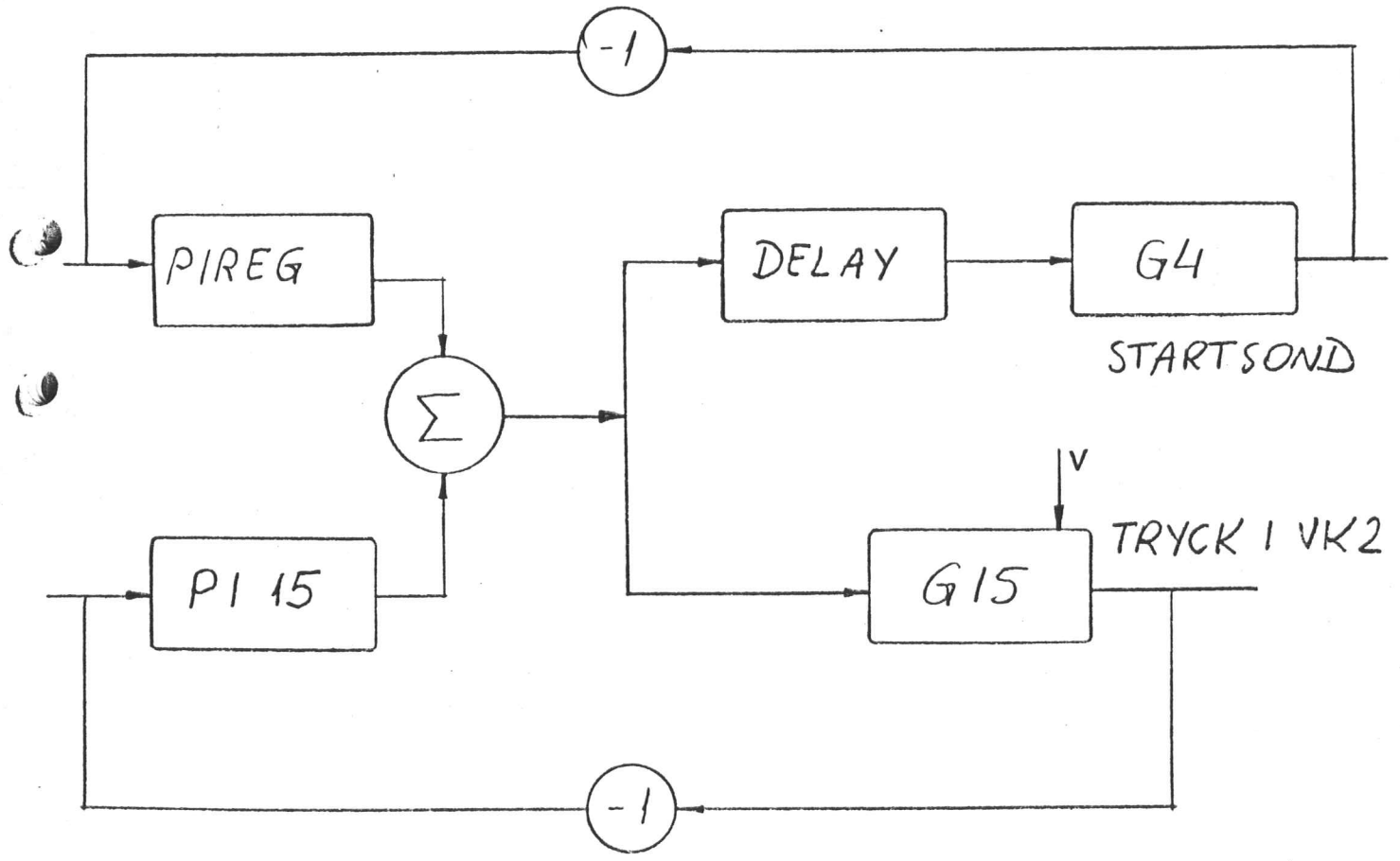
```

```

CONNECTING SYSTEM CTU
TIME T
CONNECT
TD1ADELAYA=T-2.4
YAPIREGA=-YAG4A
YAPI15A=-YAG15A
U1ADELAYA=MIN(YAPIREGA,YAPI15A)
UAG15A=MIN(YAPIREGA,YAPI15A)
UAG4A=Y1ADELAYA
END

```

SE DISPLAY PÅ NÄSTA SIDA



CONTINUOUS SYSTEM G4

TIME : T 400,000  
 STATE : X1 -1.406725-04 X2 2.959738-04  
 INIT : X1 0.000000 X2 0.000000  
 DER : DX1 1.063581-06 DX2 7.992756-08  
 INPUT : U -.197552  
 OUTPUT: Y -1.406725-04 A1 5.795454-02 A2 5.681818-04  
 B 1.534091-03  
 PAR : C 22,0000 D 80,0000 A 2,70000

CONTINUOUS SYSTEM G15

STATE : S -.294033 X -1.841974-02  
 INIT : S 0.000000 X 0.000000  
 DER : DS -4.267227-05 DX -2.356741-06  
 INPUT : U -.197593  
 OUTPUT: Y 5.966932-03 A1 -6.250000-02 A2 -1.000000-03  
 PAR : V 300000  
 B 1,500000-03

CONTINUOUS SYSTEM PIREG

STATE : X 3.12548  
 INIT : X 0.000000  
 DER : DX 8.440350-04  
 INPUT : U 1.406725-04  
 OUTPUT: Y 3.13955 DZ 8.440350-04 PV 100,000  
 PAR : P1 100,000 P2 6,00000

CONTINUOUS SYSTEM PI15

STATE : X -.191626  
 INIT : X 0.000000  
 DER : DX -5.966932-05  
 INPUT : U -5.966932-03  
 OUTPUT: Y -.197593  
 PAR : P1 1,00000 P2 1,000000-02

CONTINUOUS SYSTEM DELAY

INPUT : U1 -.197593 TD1 397,600  
 OUTPUT: Y1 -.197552

CONNECTING SYSTEM CTU

TIME : T 400,000



CONTINUOUS SYSTEM G2  
 INPUT U  
 STATE Y  
 DER DY  
 DYNAMICS  
 $DY=A*Y+B*U$   
 $A:-0.0064$   
 $B:2.0E-3$   
 END

TEMP. I FJÄRRVÄRMEVATTEN / VENTILLÄGE

CONTINUOUS SYSTEM G3  
 INPUT U  
 STATE Y  
 DER DY  
 DYNAMICS  
 $\bullet = A*Y+B*U$   
 $A:-12.5$   
 $B:15.0$   
 END

GENERATOREFFEKT / TRYCK I TURB. INLOPP

CONTINUOUS SYSTEM G4  
 TIME T  
 INPUT U  
 STATE X1 X2  
 DER DX1 DX2  
 OUTPUT Y A1 A2 B  
 OUTPUT  
 $Y=X1$   
 $A2=1/C/D$   
 $B=A*A2$   
 $A1=(C+D)*A2$   
 DYNAMICS  
 $DX1=-A1*X1+X2+B*U$   
 $DX2=-A2*X1$   
 $C:2.7$   
 $D:22$   
 $B:30$   
 END

STARTSOND / VENTILLÄGE

CONTINUOUS SYSTEM G5  
 INPUT J  
 STATE Y X  
 DER DY DX  
 DYNAMICS  
 $DY=A1*Y+X$   
 $DX=A2*Y+B*J$   
 $A1:-0.0025$   
 $A2:-0.977E-3$   
 $B:0.78E-3$   
 END

TRYCK I VK2 / TRYCK I TURB. INLOPP

CONTINUOUS SYSTEM G6  
 INPUT U  
 STATE Y  
 DER DY

TRYCK I TURB. INLOPP / VENTILLÄGE

DYNAMICS  
 $dy = A * y + B * u$   
 A: -12.5  
 B: 15.0  
 END

CONTINUOUS SYSTEM G9  
 INPUT U  
 STATE Y  
 DER DY  
 DYNAMICS  
 $dy = A * y + B * u$   
 A: -1.20  
 B: 1.20  
 END

KÖPT EFFEKT / GENERATOREFFEKT

CONTINUOUS SYSTEM G11  
 INPUT U  
 STATE Y  
 DER DY  
 DYNAMICS  
 $dy = A * y + B * u$   
 A: -0.01  
 B: 0.0003  
 END

TEMP. I FJÄRRVATTEN / TRYCK I VK2

CONTINUOUS SYSTEM G12  
 INPUT U  
 STATE X  
 DER DX  
 OUTPUT Y  
 OUTPUT  
 $Y = X + V$

DYNAMICS  
 $dx = A * x + B * u$   
 A: -0.4E-3  
 B: 6.5E-4

TEMP. I FJÄRRVATTEN / VENTILLÄGE

CONTINUOUS SYSTEM G13  
 INPUT U  
 STATE S  
 DER DS  
 OUTPUT Y  
 OUTPUT  
 $Y = S + V$   
 DYNAMICS  
 $ds = A * s + B * u$   
 V: 1  
 A: -1.26  
 B: 0.32  
 END

KÖPT EFFEKT / VENTILLÄGE

CONTINUOUS SYSTEM G14  
 INPUT U  
 STATE Y  
 DER DY  
 DYNAMICS  
 $DY=A*Y+B*U$   
 A:-5.0  
 B:1.25  
 END

GENERATOREFFEKT/VENTILLÄGE

CONTINUOUS SYSTEM G15  
 INPUT U  
 STATE S X  
 DER DS DX  
 OUTPUT Y  
 OUTPUT  
 $S+V$   
 DYNAMICS  
 $DS=A1*S+X$   
 $DX=A2*S+B*U$   
 V:0.03  
 $A1:-0.0625$   
 $A2:-0.001$   
 B:0.000146  
 END

TRYCK I VK2/VENTILLÄGE

# Appendix III

94

```

CONTINUOUS SYSTEM TURBIN
INPUT X
TIME T
STATE PP2 P3 T7
DER DPP2 DP3 DT7
OUTPUT
P2=PP2*150
M1=VK*(1+A*X)
A:0.1
M3=TK*SQRT(ABS(1-P3*P3/P2/P2))
T1=K1*P1
P1:138.3E5
M5:500.0
I1=CP1*K1*P1
T3=K3*P3
I3=CP3*K3*P3
I4=CPV*T3
I5=I3*I5-M5*14
T6=2*(T3-T5/2-E34/AK)
T0=T7
I0=CPV*T0
T12:0.03
T13:0.2
PU2=P2/PU02*150
PU3=P3/PU03
PU02:132.7E5
PU03:0.03E5
VK:118.0
TK:030
CP1:2.6E3
K1:4.E-5
K3:115.E-5
CP3:1.9E3
CPV:3.E3
T5:75.0
I5:306.E3
AK:-1.07E0
DYNAMICS
I2=T12*(M1*I1-M3*I3)
DPP2=DP2/150
DP3=T13*(E34+M5*I5-M5*I6)
DT7=-0.13*(T7-T6)
END

```

```

-----
CONNECTING SYSTEM C
TIME T
CONNECT
XATURBINA=IF T>1 THEN SIN(F*T) ELSE 0
F:31.4
END

```

```

-----
MACRO T
GETFIL F TURBIN C
SYST TURBIN C
INIT PP2:0.07E4
/ P3:0.0E0
/ T7:305
ERROR 50
END

```