

PARAMETERUPPSKATTNING I OLINJÄR MODELL
FÖR ÅNGKRAFTVERK

GUSTAV JÖNSSON

RE-133 september 1973
Inst.för Reglerteknik
Lunds Tekniska Högskola

PARAMETER ESTIMATION IN A NONLINEAR MODEL OF A
BOILER-TURBINE UNIT.

Summary.

The purpose is to establish a dynamic model of a reheat boiler-turbine unit suitable for power system studies. The primary task is to relate active power to the manipulated variables. To obtain a low order model several simplifying assumptions and approximations has been made. These are guided by data collected at Öresundsverket in Malmö.

The model consists of only two nonlinear first order differential equations. The state variables are drum and re-heater pressure. The manipulated variables are fuel flow, control valve position and feedwater flow. Numerical values of ten uncertain parameters were estimated from the experimental data.

D I A G R A M B I L A G A .

PARAMETERUPPSKATTNING I OLINJÄR MODELL FÖR ÅNGKRAFTVERK.

Redogörelse för examensarbete utfört sommaren 1973 av
Gustav Jönsson.

Handledare : Sture Lindahl

Ivar Gustavsson

Institutionen för Regleringsteknik vid LTH Lund,
september 1973.

PARAMETERUPPSKATTNING I OLINJÄR MODELL FÖR ÅNGKRAFTVERK.

Sammanfattning.

Avsikten med examensarbetet är att utifrån fysikaliska lagar bestämma en matematisk modell av ett ångkraftverk. Genom att utnyttja mätningar gjorda vid Öresundsverket i Malmö bestäms sedan numeriska värden på konstanter och parametrar.

Målet har varit att i första hand prediktera elektrisk uteffekt samt tryck i dom och mellanöverhettare.

Modellen presenteras som två olinjära första ordningens differentialekvationer. För att modellens gradtal inte skall bli för stort, har det varit nödvändigt att göra förenklingar och approximationer.

Som tillståndsvariabler har valts domtryck och tryck i mellanöverhettare. Insignaler är matarvattenflöde, bränsleflöde samt reglerventilens läge.

INNEHÅLL:	sid.
1. Inledning.	1
2. Kraftverk och mätdata.	2
3. Förenklingar och approximationer.	5
3.1. Pannan.	5
3.2. Ångflöde.	5
3.3. Temperaturer.	6
3.4. Isentropisk expansion.	6
3.5. Entalpier.	6
3.7. Linearisering av Mollierdiagram.	7
4. Beräkningar utgående från data gällande i stationaritet.	8
4.1. Beräkning av verkningsgraden.	8
4.2. Relationen tryck före - flöde genom turbin.	9
4.3. Förenklad beräkning av stegsvaret.	10
4.4. Bestämning av temperaturen efter hög- trycksturbinen.	12
4.5. Flödet genom högtrycksturbinen.	13
5. Systemekvationerna.	15
5.1. Energibalans för eldstaden.	15
5.2. Mellanöverhettaren.	16
5.3. Val av parametrar.	17
6. Programpresentation.	19
6.1. Program PESTLA.	19
6.2. Användning.	19

7. Verifikation av modellen.	21
7.1. Fysikalisk tolkning.	21
7.2. Diagram.	21
7.3. Parametervärden.	22
8. Slutsatser.	23
8.1. Derivator.	23
8.2. Parametrar.	23
8.3. Modellens giltighetsområde.	25
8.4. Modellens godhet.	25
9. Referenser.	27
DIAGRAMBILAGA	
APPENDIX I	

1. INLEDNING.

Under de senaste åren har andelen elektrisk energi som produceras vid oljeeldade ångkraftverk ökat kraftigt. Trots kärnkraftens genombrott, kommer oljeeldade ångkraftverk även i framtiden spela en avgörande roll särskilt då det gäller den reglerbara delen av elkraftproduktionen. Det är därför av intresse att finna matematiska modeller, som beskriver ångkraftverkets uppförande under inverkan av olika styrvariabler.

Vid undersökning av stabilitet hos större kraftsystem, behöver man enkla modeller dvs. modeller med lågt ordningstal. Det gäller då också att få ett enkelt uttryck för elektrisk uteffekt, utgående från de tillståndsekvationer som använts. Approximativt kan elektrisk uteffekt från en turbin uttryckas

$$P_{el} = \eta q (h_f - h_e) \quad \text{där}$$

η = verkningsgraden,

q = flödet genom turbinen,

h_f och h_e betecknar entalpin före resp. efter turbinen.

De flöden och entalpier som ingår i ekvationen bestäms med hjälp av tillståndsekvationerna samt ett antal statiska samband.

Den här framtagna modellen gäller generellt för ångkraftverk med enkel mellanöverhettning. De numeriska värden som finns i den slutliga modellen är specifika för aggregat P16-G16 vid Öresundsverket i Malmö.

2. KRAFTVERK OCH MÄTDATA.

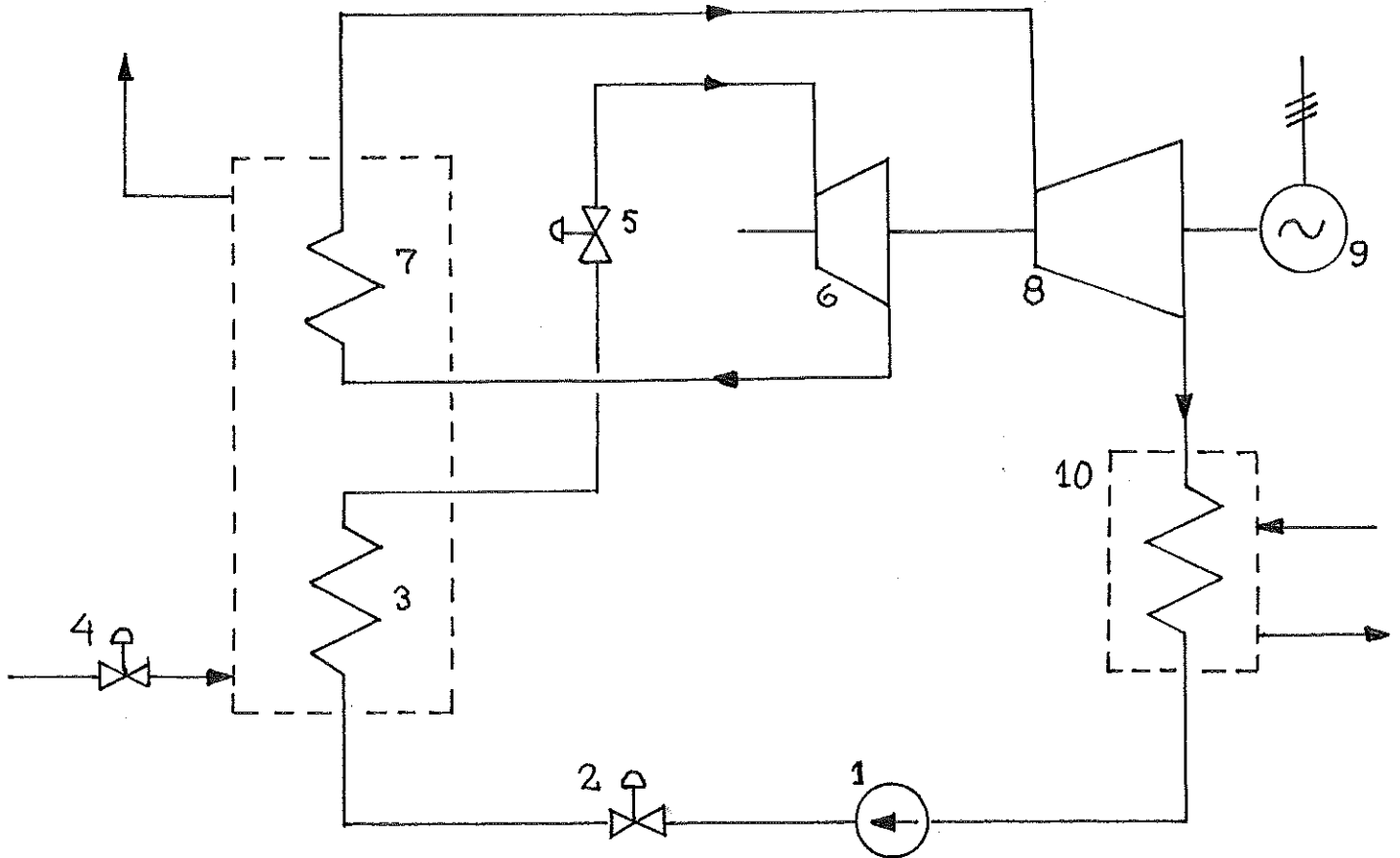
För att bestämma numeriska värden på de konstanter och parametrar som ingår i modellekvationerna, utnyttjas mätdata från experiment gjorda på Öresundsverket i Malmö. Dessa experiment finns utförligt beskrivna i ref.(1). Den enhet som användes i experimenten benämnes P16-G16. Ett schematiskt diagram över panna-turbinenhet finns på sid. 5. I detta diagram är en rad förenklingar införda, dessa svarar mot de förenklingar som gjorts vid framtagande av modellekvationerna.

Pannan är en oljeeldad dompanna, med enkel mellanöverhettning. Matarvattnet förvärmes till 300°C . I domen separeras ångan från vattnet, det maximala domtrycket är 150 kg/cm^2 . Överhettning av ångan sker till 535°C . I mellanöverhettaren är trycket ca 32 kg/cm^2 vid maximalt domtryck, och ångans temperatur höjs där åter till 535°C . Både högtrycksturbinen och lågtrycksturbinen är radialturbiner. Högtrycksturbinens maximala uteffekt är 45 MW_e och lågtrycksturbinens 115 MW_e . Ångflödet vid maximal uteffekt anges till 500 t/h .

Det finns två olika sätt att reglera panna-turbinenhet, så att en given mängd elektrisk effekt produceras. Om reglerventilen är helt öppen, ändras aktiv effekt genom att domtrycket ändras. Då domtrycket är konstant ändras aktiv effekt med hjälp av reglerventilen. De s.k. turbinregulatorerna sköter justeringar av små variationer kring det stationära värdet.

Fig.2.1.

Schematiskt diagram över panna-turbinenhet.



1. Matarvattenpump.
2. Matarvattenventil.
3. Förvärmare, dom och överhettare.
4. Reglerventil för bränsle.
5. Reglerventil för ångflöde till högtrycksturbin.
6. Högtrycksturbin.
7. Mellanöverhettare.
8. Lågtrycksturbin.
9. Generator.
10. Kondensor

De experiment som utnyttjas för att bestämma numeriska värden är experimenten 1.05 och 2.01, för att verifiera modellen används experiment 5.27.

I experiment 1.05 varierar reglerventilens läge medan bränsleflödet hålls konstant. Reglerventilen är helt öppen i experiment 2.01 och bränsleflödet varierar.

Även i experiment 5.27 är reglerventilen helt öppen och bränsleflödet ökas så att den aktiva effekten ökar från 90 MW_e till 160 MW_e, dvs. från ungefär halvlast till fulllast.

Jämförelse med beteckningar på experimenten i ref.

	ref.(1)	ref.(2)	ref.(3)
Exp. 1.05	E	E	B
Exp. 2.01	A	A	A
Exp. 5.27		K	E

3. FÖRENKLINGAR OCH APPROXIMATIONER.

För att det skall vara möjligt att beskriva ett så komplicerat system som en panna-turbinenhet, med få tillståndsekvationer, är det nödvändigt att göra förenklingar.

3.1. Pannan.

Den differentialekvation som presenteras längre fram, gäller energibalans för pannan. Energi tillföres genom matarvattnet och bränslet. Den energi som tillföres genom bränslet, förutsättes vara proportionell mot bränsleflödet. Även förlusterna antas proportionella mot bränsleflödet. För att få det verkliga energiinnehållet i bränslet måste till proportionalitetskonstanten, mellan bränsleflöde och genom bränsle tillförd energi, adderas en term som svarar mot förlusterna.

Som framgår av fig.2.1, betraktas matarvattenförvärmning, dom och överhettning som en enhet. Egentligen sker förvärmning av matarvattnet genom att ånga avtappas från lågtrycksturbinen och i en speciell förvärmare överförs värme till matarvattnet. I modellen bortses helt från detta. Matarvattenentalpin sätts som en parameter som identifieras.

3.2. Ångflöde.

Den insprutning, som sker för att kontrollera ångtemperaturen, försummas. Som nämndes ovan, medtas inte heller avtappningen från lågtrycksturbinen. Dessa båda förutsättningar medför att flödet genom högtrycksturbinen och lågtrycksturbinen kan sättas lika i stationaritet.

3.3. Temperaturer.

Det förutsättes att, temperaturen före högtrycksturbinen är lika med temperaturen före lågtrycksturbinen. Samt att dessa temperaturer är konstanta lika med 535°C .

3.4. Isentropisk expansion.

För att det skall vara möjligt att bestämma entalpifallet över respektive turbin, antas vid beräkning av dessa entalpifall, att expansionen sker isentropiskt. I uttrycken för elektrisk effekt, multipliceras entalpifallet med en verkningsgrad. Denna verkningsgrad antas ta hänsyn till att i verkligheten kan expansionen inte ske isentropiskt.

3.5. Entalpier.

Då det antagits att temperaturen före turbinerna är konstant, bestäms entalpierna före respektive turbin endast av trycket. Denna bestämning sker genom linearisering av Mollierdiagram. Dvs. $h_f(p_f)_{t=\text{konst.}}$. Entalpin efter högtrycksturbinen bestäms förutom av trycket också av temperaturen, eftersom temperaturen inte är konstant. I avsnitt 4.4 redogörs för hur denna temperatur kan bestämmas. Entalpin efter högtrycksturbinen blir således en funktion av tryck och temperatur. Dvs. $h_{eh}(t_{eh}, p_{eh})$, fås genom linearisering av Mollierdiagrammet. Entalpin efter lågtrycksturbinen antas vara konstant.

Vattnet i domen antas ha en temperatur som är 10°C lägre än förångningstemperaturen. Entalpin för vattnet i domen bestäms då endast av trycket i domen.

3.6. Linearisering av Mollierdiagram.

7

För att få ett enkelt uttryck på de entalpier, som ingår i ekvationerna, kan man linearisera Mollierdiagrammet. Detta kan göras med relativ god noggrannhet, om man för varje aktuellt område i diagrammet använder speciella värden på konstanterna a , b och c i ekvationen nedan.

$$h(t,p) = a + b t + c p \quad \text{där } t=\text{temp. och } p=\text{tryck}$$

Eftersom ångtemperaturen före högtrycksturbinen förutsättes konstant lika med 535°C , kan entalpin skrivas

$$h_{fh}(p)_{t=535^{\circ}\text{C}} = 3567 - 1.06 p_{fh} \quad (\text{kJ/kg})$$

där p_{fh} skall anges i bar.

Denna funktion gäller i området $110 < p_{fh} < 130$ bar med ett fel < 1 kJ/kg. I området $80 < p_{fh} < 150$ bar är felet < 5 kJ/kg.

För entalpin efter högtrycksturbinen gäller

$$h_{eh}(p,t) = 2347 + 2.42 t_{eh} + 2.73 p_{eh} \quad (\text{kJ/kg})$$

där p_{eh} skall anges i bar och t_{eh} i $^{\circ}\text{C}$.

I området $25 < p_{eh} < 40$ bar

$$300 < t_{eh} < 350 \quad ^{\circ}\text{C}$$

är felet < 7 kJ/kg.

Ångtemperaturen före lågtrycksturbinen antas också konstant lika med 535°C . Entalpin före lågtrycksturbinen ges då av

$$h_{fl}(p)_{t=535^{\circ}\text{C}} = 3566 - 1.06 p_{fl} \quad (\text{kJ/kg})$$

med ett fel < 1 kJ/kg i området $25 < p_{fl} < 40$ bar.

Enligt 3.5 har entalpin för vattnet i domen bestämts som funktion av trycket i domen.

$$h_{dv}(p) = 933 + 4.14 p_d \quad (\text{kJ/kg}) \quad \text{med } p_d \text{ i bar.}$$

4. BERÄKNINGAR UTGÅENDE FRÅN DATA GÄLLANDE I STATIONARITET:

4.1. Beräkning av verkningsgraden.

Då ångdata och elektrisk effekt är kända, kan man beräkna verkningsgraden, om man förutsätter att elektrisk effekt kan skrivas:

$$P_{el} = P_{el}^h + P_{el}^l = \eta_h q_h \Delta h_h + \eta_l q_l \Delta h_l \quad (w)$$

där index h betecknar högtrycksturbin

och index l betecknar lågtrycksturbin.

η = verkningsgrad

q = ångflöde (kg/s)

Δh = entalpifall över resp. turbin. (kJ/s)

I stationärt tillstånd och vid maximal uteffekt gäller:

$$P_{el} = 160 \text{ MW}$$

$$P_{el}^h = 45 \text{ MW}$$

$$P_{el}^l = 115 \text{ MW}$$

Ångtillstånd före högtrycksturbin:

$$p_{fh} = 130 \text{ kg/cm}^2$$

$$t_{fh} = 535^\circ\text{C} \quad \text{ger } h_{fh} = 3435 \text{ kJ/kg}$$

Ångtillstånd före lågtrycksturbin:

$$p_{fl} = 32 \text{ kg/cm}^2$$

$$t_{fl} = 535^\circ\text{C} \quad \text{ger } h_{fl} = 3532 \text{ kJ/kg}$$

Ångflödet antas vara lika genom båda turbinerna eftersom stationaritet förutsatts.

$$q_h = q_l = 5 \cdot 10^5 \text{ kg/h}$$

Om isentropisk expansion förutsättes fås följande ångdata

efter högtrycksturbinen:

9

$$t_{eh} = 310^{\circ}\text{C}$$

$$p_{eh} = 32 \text{ kg/cm}^2 \quad \text{ger } h_{eh} = 3013 \text{ kJ/kg}$$

Trycket i kondensorn, dvs. trycket efter lågtrycksturbinen, sättes till $p_{eh} = 0.04 \text{ kg/cm}^2$. Då isentropisk expansion förutsättes fås $h_{eh} = 2200 \text{ kJ/kg}$.

Ovanstående värden insatta i ekvationen för P_{el} ger:

$$\eta_h = 0.768$$

$$\eta_l = 0.622$$

4.2. Relationen tryck före - flöde genom turbin.

För en ångturbin gäller approximativt för flödet:

$$q = \text{konst.} \sqrt{p_f/v_f} \quad \text{där } v \text{ betecknar volymitet.}$$

Enligt allmänna tillståndslagen gäller för ideal gas:

$$v = \text{konst.} \quad T/p \quad \text{där } T \text{ är absoluta temperaturen i } ^{\circ}\text{K.}$$

Med antagandet om ideal gas fås flödet genom turbinen:

$$q = \text{konst.} \quad p/\sqrt{T}$$

Då tryck och flöden är kända kan konstanter för resp. turbin beräknas.

$$q_h = 10.8 \cdot 10^4 \quad p_{fh}/\sqrt{T_{fh}} \quad (\text{kg/h})$$

$$q_l = 44.5 \cdot 10^4 \quad p_{fl}/\sqrt{T_{fl}} \quad (\text{kg/h})$$

trycket anges i kg/cm^2

Om temperaturen sättes till 535°C blir flödena:

$$q_h = 0.379 \cdot 10^4 \quad p_{fh} \quad (\text{kg/h})$$

$$q_l = 1.565 \cdot 10^4 \quad p_{fl} \quad (\text{kg/h}).$$

Avsikten är att undersöka hur stor del av effektökningen, som kommer momentant, vid en ändring av av domtrycket. Antag att p_{fh} ökas momentant, från 80 bar till 130 bar, samtidigt som övriga parametrar förblir konstanta. Det förutsätts dock att t_{eh} sjunker så att p_{eh} förblir konstant. Se fig. 4.1.

Om stationaritet förutsättes, är ångflödet genom de båda turbinerna lika. Enligt 4.2. kan då trycket före lågtrycksturbinen beräknas om trycket före högtrycksturbinen är känt och temperaturerna är lika.

$$p_{fh} = 80 \text{ bar} \quad \text{ger} \quad p_{fl} = 19.7 \text{ bar}$$

Enligt 4.1. blir då

$$P_{el}^h = 29 \text{ MW}_e$$

$$P_{el}^l = 73 \text{ MW}_e \quad \text{dvs.}$$

$$P_{el} = 102 \text{ MW}_e$$

Om p_{fh} ökar momentant till 130 bar fås, under ovanstående förutsättningar och om expansionen sker isentropiskt.

$p_{eh} = 19.7 \text{ bar}$ och $t_{eh} = 255^\circ\text{C}$. Detta ger elektrisk effekt omedelbart efter tryckökningen,

$P_{el}^h = 57 \text{ MW}_e$ och effekten från lågtrycksturbinen oförändrad.

$$P_{el}^l = 73 \text{ MW}_e \quad \text{dvs.}$$

$$P_{el} = 130 \text{ MW}_e$$

Då stationaritet inträtt kan flödena genom resp. turbin sättas lika. Då fås

$$p_{fh} = 130 \text{ bar} \quad \text{och} \quad p_{fl} = 32 \text{ bar. Och effekterna}$$

$$P_{el}^h = 45 \text{ MW}_e$$

$$P_{el}^l = 115 \text{ MW}_e.$$

Andel effektökning som kommer momentant blir

$$(130-102)/(160-102) = 0.49$$

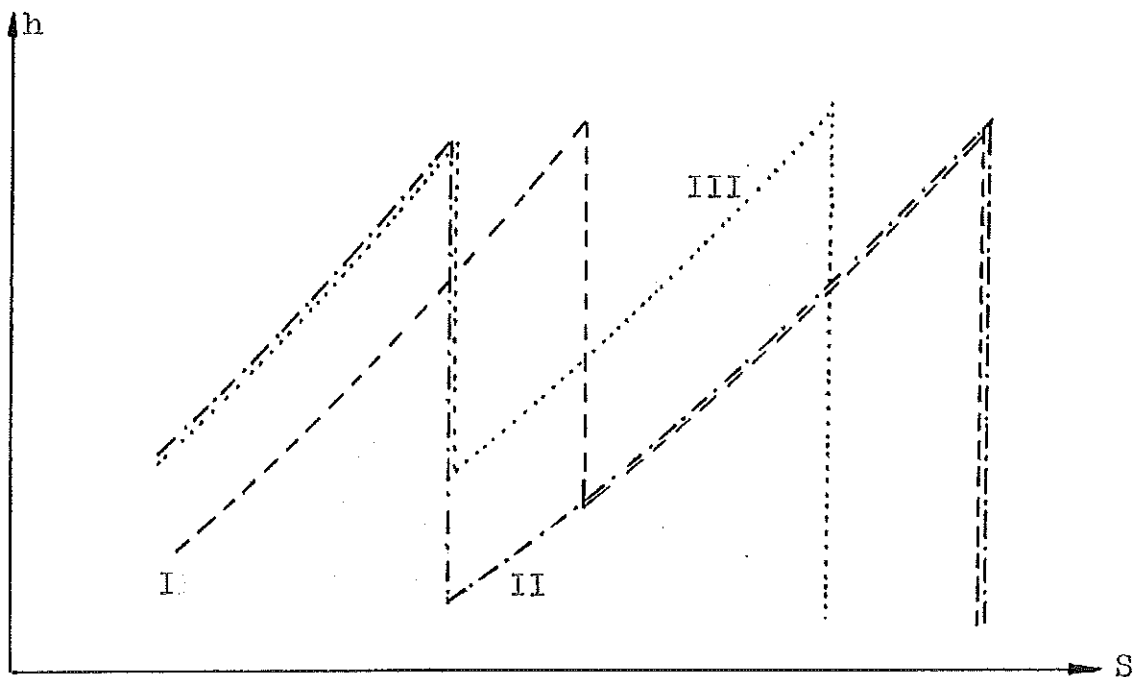


Fig.4.1.Förlopp i h-S-diagram vid stegändring av domtryck.

- I. Stationaritet $p_{fn} = 80$ bar och $p_{eh} = 19.7$ bar.
- II. Omedelbart efter stegändringen $p_{fn} = 130$ bar
medan $p_{eh} = 19.7$ bar.
- III. Stationaritet har inträtt $p_{fn} = 130$ bar och
 $p_{eh} = 32$ bar.

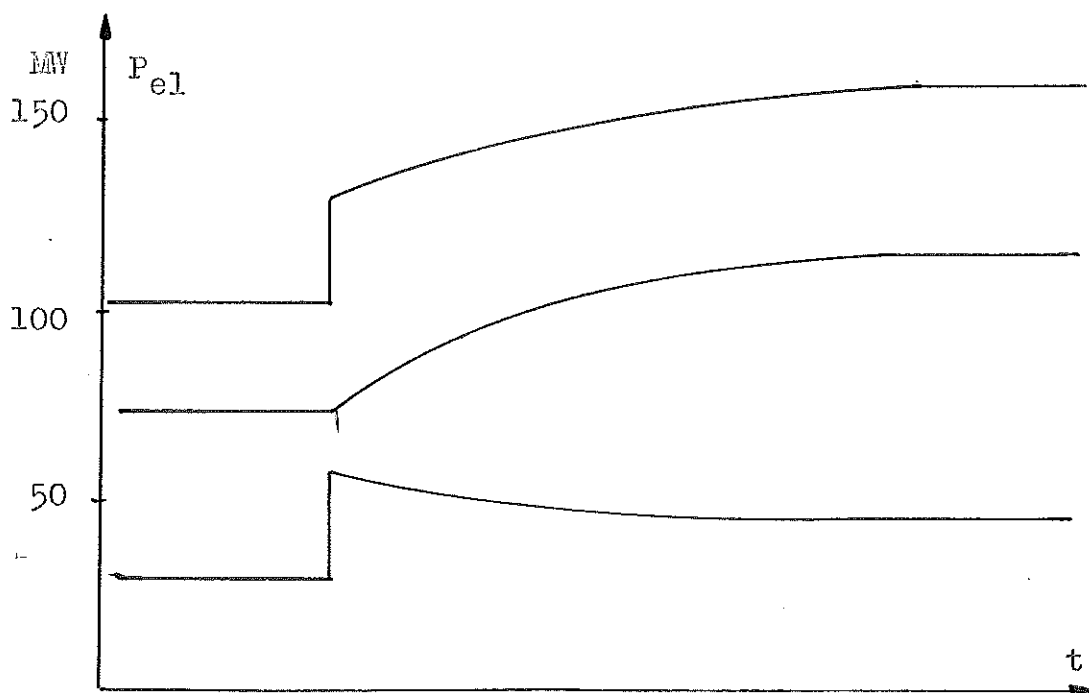


Fig.4.2.Effekt som funktion av tiden vid stegändring
av domtryck.

4.4. Bestämning av temperaturen efter högtrycksturbinen.

För att kunna bestämma entalpin efter högtrycksturbinen, måste temperaturen vara känd. Denna temperatur är en funktion av trycket före och trycket efter högtrycksturbinen, om isentropisk expansion förutsättes. Sambandet, som som går att få fram ur ångtabell, är uppritat i diagram. Se fig. 4.3.

En linjär approximation antages ge tillräcklig noggrannhet.

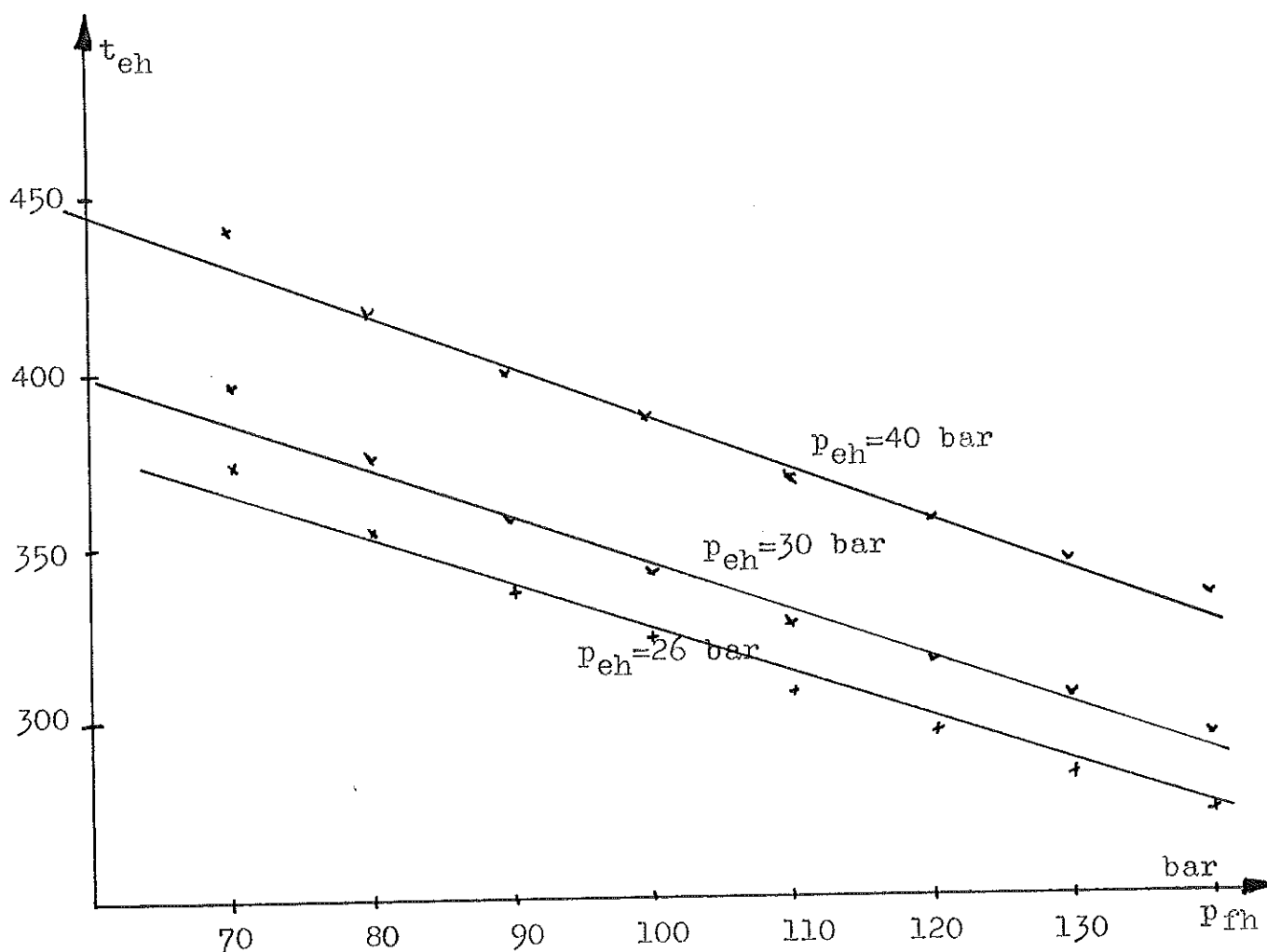


Fig.4.3. t_{eh} som funktion av p_{fh} och p_{eh} . Och den linjära approximationen $t_{eh} = 346 - 1.43 p_{fh} + 4.57 p_{eh}$.

4.5. Flödet genom högtrycksturbinen.

13

Ångflödet genom högtrycksturbinen beror av domtrycket och reglerventilens läge. Det har här antagits att det är oberoende av trycket efter turbinen. Detta överensstämmer med mätresultat.

Sambandet mellan arean i reglerventilen och de normerade värden, som angivits på reglerventilens läge, är inte känt. För att bestämma ångflöde som funktion av reglerventilens läge och domtryck, är det nödvändigt att utnyttja de mätningar som gjorts.

I fig.4.4. finns mätresultat inritade. Det visar sig att det går bättre att anpassa en funktion som innehåller $\sqrt{u_2}$, än en funktion som innehåller u_2 . Här betecknar u_2 de normerade värden på reglerventilens läge som angivits i ref.(2). Anpassning av en funktion ger:

$$q_h(u_2, p_d) = (8.9 \sqrt{u_2} - 6.9) p_d + (445 \sqrt{u_2} - 230)$$

Denna funktion finns inritad i fig.4.4.

Den funktion som tagits fram ovan, visar sig vara en för grov approximation. För att finna en bättre relation, anställdes en funktion med tre parametrar, som identifieras.

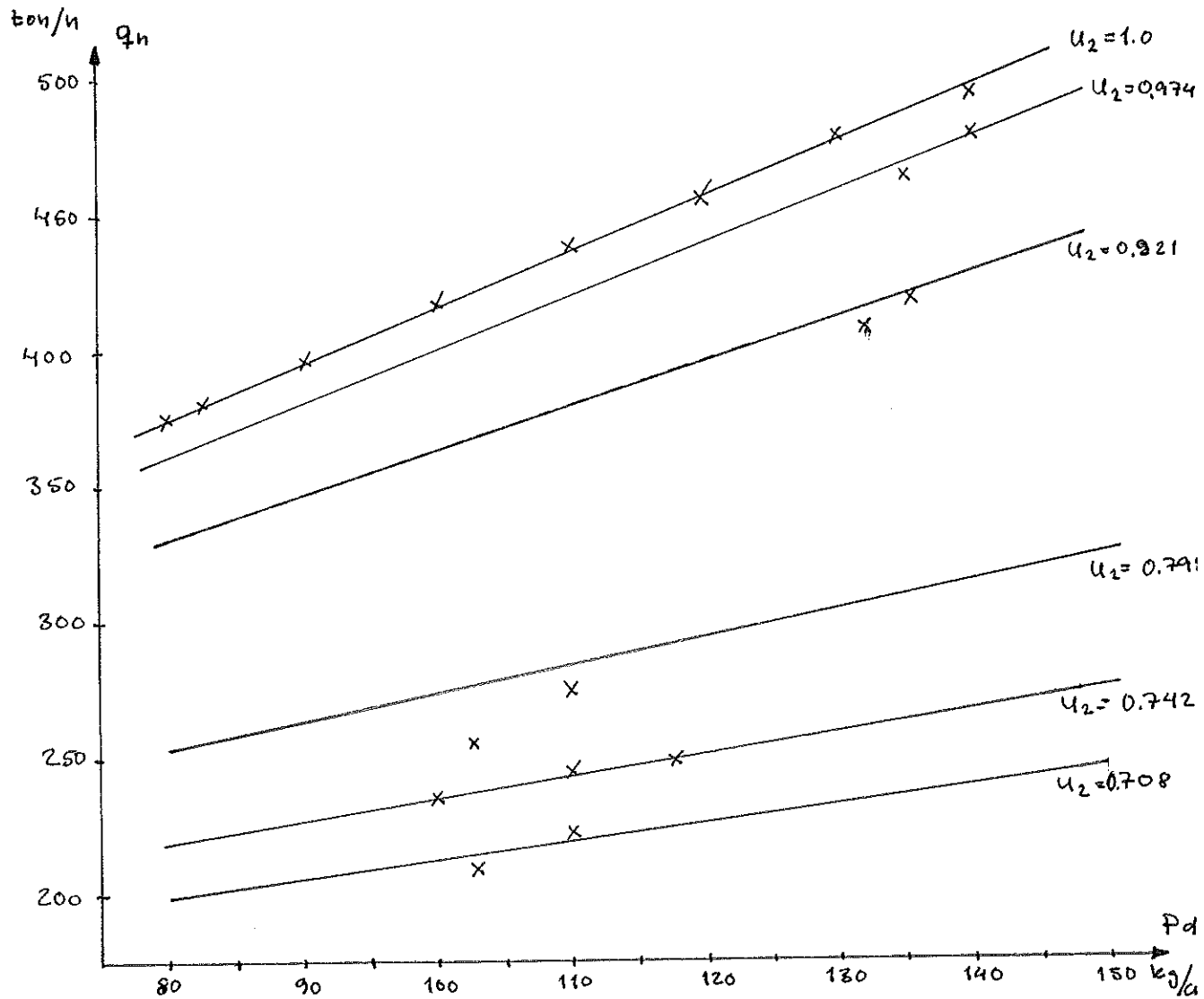
$$q_h(u_2, p_d) = a_7 + a_8 u_2 + a_9 p_d \text{ för experiment 1.05, och}$$

$$q_h(u_2, p_d) = a_{10} + a_8 u_2 + a_9 p_d \text{ för experiment 2.01.}$$

Parametrarna a_7 och a_{10} får vara specifik för varje experiment, medan a_8 och a_9 får anta samma värden i olika experiment. Lutningarna får således vara lika i olika experiment, medan en nivå lämplig för varje experiment bestämmas.

Då man känner flödet genom högtrycksturbinen kan enligt avsnitt 4.2, trycket före högtrycksturbinen bestämmas.

Fig.4.4. Flödet genom högtrycksturbinen som funktion av damtrycket och reglerventilens läge.



Den linjära approximationen i $\sqrt{u_2}$ och p_d

$$q_h(u_2, p_d) = (8.9 \sqrt{u_2} - 6.9) p_d + (445 \sqrt{u_2} - 230)$$

är inritad.

5. SYSTEMEKVATIONERNA!

5.1. Energibalans för eldstaden.

För att bestämma en differentialekvation för domtrycket, tecknas energibalans för eldstaden. Tillförd energi minus bortförd energi är lika med ändringen i upplagrad energi.

$$\frac{dE}{dt} = a_1 u_1 + q_{mv} h_{mv} - q_h h_{fh} + q_h h_{eh} - q_l h_{fl}$$

E energi upplagrad i domen (kWs),

a_1 parameter som motsvarar den del av energiinnehållet i bränslet som överförs till vatten-ångsystemet (kWs/kg),

u_1 bränsleflöde (kg/s),

q_{mv} matarvattenflöde (kg/s),

h_{mv} entalpi för matarvattnet (kJ/kg),

q_h ångflöde genom högtrycksturbinen (kg/s),

h_{fh} entalpi för ångan före högtrycksturbinen (kJ/kg),

h_{eh} entalpi för ångan efter högtrycksturbinen (kJ/kg),

q_l ångflöde genom lågtrycksturbinen (kg/s),

h_{fl} entalpi för ångan före lågtrycksturbinen (kJ/kg),

Den i domen upplagrade energin, är dels energi lagrad i de järnmassor som finns i anslutning till domen, dels energi lagrad i vattnet i domen. Således

$$E = E_j + E_v$$

där index j står för järn och index v för vatten. Och

$$\frac{dE}{dt} = \frac{dE}{dt}j + \frac{dE}{dt}v \quad \text{där}$$

$$\frac{dE_j}{dt} = \frac{\partial E_j}{\partial p_d} \cdot \frac{dp_d}{dt} \quad \text{och}$$

$$\frac{dE_v}{dt} = \frac{\partial E_v}{\partial p_d} \frac{dp_d}{dt} + \frac{\partial E_v}{\partial m_v} \frac{dm_v}{dt}$$

Detta ger

$$\frac{dE}{dt} = \frac{\partial E}{\partial p_d} \frac{dp_d}{dt} + \frac{\partial E_v}{\partial m_v} \frac{dm_v}{dt}$$

Under förutsättning att $E = E(p_d) = k_1 p_d$, kan ovanstående uttryck skrivas

$$\frac{dE}{dt} = k_1 \frac{dp_d}{dt} + \frac{\partial E_v}{\partial m_v} \frac{dm_v}{dt} \quad \text{där}$$

k_1 konstant (kW / bar.s)

$$\frac{dm_v}{dt} = u_3 - q_h, \quad u_3 \text{ matarvattenflöde..(kg/s)}$$

$\frac{\partial E_v}{\partial m_v}$ sättes till entalpin för domvattnet, dvs. h_{dv}

Jämviktsekvationen för energin kan då skrivas

$$\begin{aligned} \frac{dp_d}{dt} = & (a_1 u_1 + q_{mv} h_{mv} - q_h h_{fh} + q_h h_{eh} - q_1 h_{fl} - \\ & - (u_3 - q_h) h_{dv}) / k_1 \end{aligned}$$

5.2. Mellanöverhettaren.

Då det gäller att bestämma en ekvation för mellanöverhettaren, förutsättes att upplagring av energi sker huvudsakligen genom upplagring av massa. Flöde till mellanöverhettaren minus flöde från mellanöverhettaren är lika med ändringen av massan.

$$\frac{dM}{dt} = q_{in} - q_{ut} = q_h - q_1$$

M massan för ångan i mellanöverhettaren (kg)

q_h flöde genom högtrycksturbinen (kg/s)

q_1 flöde genom lågtrycksturbinen (kg/s)

Massan kan uttryckas med hjälp av volym och volymitet:

Detta kan sedan skrivas om enligt allmänna tillståndslagen.

$$M = \frac{V}{v} = \frac{V p}{T \text{ konst.}}$$

V volym (m^3),

v volymitet (m^3/kg),

p tryck (bar),

T temperaturen ($^{\circ}\text{K}$),

Förutsatt att temperaturen och volymen är konstanta, blir

$$\dot{M} = M(p) = k_2 p$$

där k_2 är en konstant (kg/bar).

Enligt avsnitt 4.2 kan flödena skrivas

$$q_h = c_h p_{fh}$$

$$q_l = c_l p_{fl}$$

där c_h och c_l är konstanter ($\text{kg}/\text{s bar}$)

p_{fh} tryck före högtrycksturbin

p_{fl} tryck före lågtrycksturbin, detta tryck sätts lika med tryck efter högtrycksturbinen och således är trycket i mellanöverhettaren. Detta tryck kallas i fortsättningen för x_2 .

$$\frac{d\dot{M}}{dt} = c_h p_{fh} - c_l x_2 \quad \text{eller}$$

$$k_2 \frac{dx_2}{dt} = c_h p_{fh} - c_l x_2$$

5.3. Val av parametrar.

Då det gäller att få överensstämmelse mellan modell och mätdata, har man att välja ett antal parametrar i ekvationerna

$$\frac{dx}{dt} = f(x, u, a)$$

$$y = g(x, u, a)$$

där x betecknar tillstånd och y utsignaler, a är de pa-

metrar som sedan skall identifieras, så att ett givet kriterium blir uppfyllt.

De konstanter, som ingår i ekvationerna, och är svåra att beräkna eller har stor inverkan på utsignalerna, väljs som parametrar.

I avsnitt 4.1 har en sådan parameter införts, nämligen a_1 , som är proportionalitetskonstanten mellan bränsleflöde och genom bränsle tillförd energi. Denna konstant har stor inverkan på domtryckets stationära värde.

De konstanter k_1 och k_2 , som infördes i avsnitt 4.1 resp. 4.2, svarar mot tidskonstanter. Således har dessa inverkan då det gäller att anpassa tidsderivatan av trycket.

Dvs. $a_2 = 1/k_1$ och

$$a_3 = 1/k_2.$$

Verkningsgraderna justerar stationära värdet på elektrisk effekt. Man kan inte förutsätta att de är lika med de verkningsgrader som beräknats utgående från data gällande i stationaritet. De har därför valts som parametrar

$$a_4 = \eta_1$$

$$a_5 = \eta_h$$

Eftersom temperaturen för matarvattnet inte är konstant, är det en approximation att sätta matarvattenentalpin konstant. Denna konstant är svår att bestämma, då i modellen även bortses från den vanliga matarvattenförvärmningen. Det är därför lämpligt att välja matarvattenentalpin som parameter,

$$a_6 = h_{mv}.$$

I avsnitt 4.5 har redogjorts för parametrarna a_7, a_8, a_9 och a_{10} .

6. PROGRAMPRESENTATION.

För att anpassa modellen till mätdata, utnyttjas ett program som finns tillgängligt.

6.1. PROGRAM PESTLA

Parameteridentifikation hos olinjära kontinuerliga system med diskreta mätningar på utsignalen.

För att kunna använda detta program skall systemet ges på formen.

$$\begin{aligned} \frac{dx}{dt} &= f(x,u,a) & \text{där } x & \text{ är tillstånd} \\ y &= g(x,u,a) & u & \text{ är insignaler} \\ & & a & \text{ är parametrar} \end{aligned}$$

Det kriterium som används för parameteridentifikationen, innebär att summan av kvadraterna på modellfelen minimeras.

För att uppfylla kriteriet används en Newton-Raphson algoritm. För beräkning av gradienter och andraderivator utnyttjas differentieldynamisk programmering.

Då det visade sig svårt att uppfylla kriteriet, utnyttjades även ett program som bygger på en annan algoritm.

6.2. Användning.

För att utnyttja programmet behöver man skriva en subrutin: USER. Denna subrutin är unik för processen och skall ge värden till $f, q, f_x, f_a, f_{xx}, f_{aa}, f_{xa}, q_x, q_a, q_{aa}, q_{xx}, q_{xa}$. Där f är systemfunktionen och q är bidraget till förlustfunktionen vid ett samplingsintervall, samt indexerade funktioner innebär derivatan med avseende på det index som anges.

Subrutinen är uppdelad i sex avdelningar.(INIT; SYSTEM; 20
LOSS; OUTPUT; PDERF; PDERQ)

INIT:

Anropas en gång för att läsa in data,sätta initialvärden på parametrar och tillståndsvariabler.

SYSTEM:

Definierar systemekvationerna,i detta fall fyra stycken. Två för varje experiment.

LOSS:

Förlustfunktionen definieras i denna avdelning,dvs. summan av modellfelens kvadrater.

OUTPUT:

Som utsignaler används de två tillståndsvariablerna samt elektrisk effekt i de båda experimenten.

PDERF:

I denna avdelning beräknas de partiella derivatorna av systemfunktionerna, med avseende på x och a . Både första och andraderivatorna beräknas.

PDERQ:

Utnyttjas för att bestämma de partiella derivatorna av förlustfunktionen.Även här anges första och andraderivatorna med avseende på x och a .

I appendix I finns hela subrutinen USER.

7. VERIFIKATION AV MODELLEN.

I ref.(2) anges några möjligheter att testa modellen:

- Undersökning av olika förutsättningar som gjorts.
- Testa modellens uppförande på data som inte användes då modellen togs fram.
- Jämföra resultatet med vad man på förhand vet om processen.

7.1. Fysikalisk tolkning.

Modellen har tagits fram, med hjälp av de fysikaliska lagar som gäller för ångkraftprocessen. Alla ingående faktorer och termer har en fysikalisk tolkning. De approximationer som gjorts påverkar inte modellens huvuddrag. Genom att tillåta en mera komplicerad modell kan man undvika dessa approximationer, och kan då erhålla en bättre modell.

7.2. Diagram.

I en diagrambilaga presenteras resultatet. För varje experiment finns sex diagram. Först ett för varje insignal, därefter ett för varje utsignal. I utsignaldiagrammen är mätta utsignaler heldragna och motsvarande utsignal från modellen streckad.

Här presenteras även resultatet från experiment 5.27 i de sista diagrammen. Experiment 5.27 användes inte då parametervärdena togs fram.

De parametervärden som slutligen erhöles presenteras i nedanstående tabell.

$$a_1 = 4.4022 \cdot 10^4$$

$$a_2 = 1.3097 \cdot 10^{-3}$$

$$a_3 = 7.7814 \cdot 10^{-2}$$

$$a_4 = 0.5751$$

$$a_5 = 1.0721$$

$$a_6 = 655.5$$

$$a_7 = -704.8$$

$$a_8 = 646.6$$

$$a_9 = 4.028$$

$$a_{10} = -696.6$$

8. SLUTSATSER

8.1. Derivator.

Det program som användes för att uppskatta parametrarna, kräver att man ger explicita uttryck på första- och andraderivator av systemfunktionerna och förlustfunktionen. Trots att en enkel modell har eftersträvat, blir uttrycken, speciellt på andraderivatorna, komplicerade. Detta innebär svårigheter att få rätt uttryck på derivatorna, i programmet.

För att kontrollera de analytiska uttrycken, skrevs ett program, som utförde numerisk derivation av systemekvationerna och förlustfunktionen. I samma program anropades subrutinen USER, som innehåller de analytiska uttrycken på derivatorna. På så sätt kan man erhålla värden på derivatorna dels genom numerisk derivation dels genom analytisk derivation.

Svårigheten med numerisk derivation är att på förhand välja en lämplig steglängd, dvs. välja ett lämpligt värde på h i ekvationen

$$f'_x(\bar{x}) = \frac{f(\bar{x} + h) - f(\bar{x} - h)}{2h}$$

Genom att utföra numerisk derivation med olika värden på h , kan man i efterhand bestämma ett lämpligt h -värde.

Det visade sig dock omöjligt, att genom numerisk derivation, få fram de blandade andraderivatorna med avseende på förlustfunktionen, med god noggrannhet.

8.2. Parametrar.

Då man väljer parametrar är det viktigt att se till att tillräcklig frihet för modellen erhålles. Dvs. man måste

kunna justera modellen med hjälp av parametrarna, så att både det statiska och dynamiska uppförandet hos modellen överensstämmer med mätdata.

Som redan diskuterats i avsnitt 5.3 är a_1 en parameter, som påverkar felet i stationaritet. Parametern a_1 har även inverkan på stegsvaret i utsignalen i exp. 2.01, dvs det exp. där bränsleflödet varierar.

Då det gäller stegsvaret i utsignalen i exp. 1.05 är det parameter a_8 som har störst inverkan. Det dynamiska uppförandet bestäms till stor del också av parametrarna a_2 och a_3 .

Tidigare har parametrarna a_4 och a_5 kallats verkningsgrader. Denna benämning infördes i avsnitt 4.1, där beräkningar utfördes på data gällande i stationaritet. Då det gäller det dynamiska förloppet, har dessa parametrar inverkan på hur uteffekten fördelas mellan lågtrycksturbinen och högtrycksturbinen. Det är därför fel att kalla dessa parametrar för verkningsgrader, då de innefattar mer.

Vid beräkningar i avsnitt 4.3 fås att andel effekt som kommer momentant vid en stegvis ändring av domtrycket är 49%. Mätningar visar att denna andel skall vara större. Således finns brister i modellen, eftersom man erhåller för låg andel. För att korrigera detta fel, med hjälp av parametrarna, justeras a_5 så att en större del av effekten kommer från högtrycksturbinen. Samtidigt måste a_4 justeras nedåt så att summa uteffekt från båda turbinerna blir konstant.

Orsaken till att effekten från högtrycksturbinen blir för liten, vid en stegändring av trycket, är att flödet genom högtrycksturbinen ej är korrekt i modellen. I uttrycket

för flödet genom högtrycksturbinen tas inte hänsyn till trycket efter högtrycksturbinen. I stationaritet är detta tryck bestämt av enbart trycket före högtrycksturbinen, varför uttrycket för flödet gäller med god noggrannhet i stationaritet. Vid en ändring av trycket före turbinen påverkas flödet av trycket efter turbinen, eftersom detta inte endast bestäms av trycket före turbinen vid ickestationaritet.

8.3. Modellens giltighetsområde.

Då man måste göra så många förenklingar och approximationer som gjorts här, är det svårt att överblicka inverkan av dessa. Man kan inte direkt avgöra vilken approximation eller förenkling som har störst inverkan. Det är därför svårt att uppskatta modellens giltighetsområde.

En begränsning är lineariseringen av Mollierdigrammet. I avsnitt 3.6 är angivet vilken noggrannhet som fås i de angivna områdena. Då man befinner sig utanför dessa blir noggrannheten dålig, dvs. modellen gäller ej om man har för stor avvikelse på tryck och temperatur.

Uttrycket för flödet genom högtrycksturbinen har stor inverkan på modellen. De parametervärden som återfinns i detta uttryck fås med hjälp av två experiment där man har små variationer i domtryck och små utslag på reglerventilens läge. Man kan därför anta att korrigeringar i dessa parametervärden behövs, om modellen skall gälla för större variationer i domtryck och reglerventilens läge. Detta gäller också antagandet om att temperaturen före turbinerna är konstant lika med 535°C .

8.4. Modellens godhet.

I de experiment som använts för identifiering av parameternerna kan modellfelen lätt uppskattas. Felen överstiger

sällan, i dessa båda experiment 1.5%.

26

Absoluta felet i elektrisk uteffekt är maximalt 2.5 MW_e .

Detta fel förekommer vid steändring av uteffekten. I stationaritet är felet i elektrisk uteffekt betydligt mindre.

9. REFERENSER.

- (1) Eklund K: Linear Drum Boiler-Turbine Models,
Report 7117.
- (2) Eklund K, Gustavsson I: Identification of
Drum Boiler Dynamics,
- (3) Åström KJ, Eklund K: A Simplified Nonlinear
Model of a Drum Boiler-Turbine Unit, Report 7107.

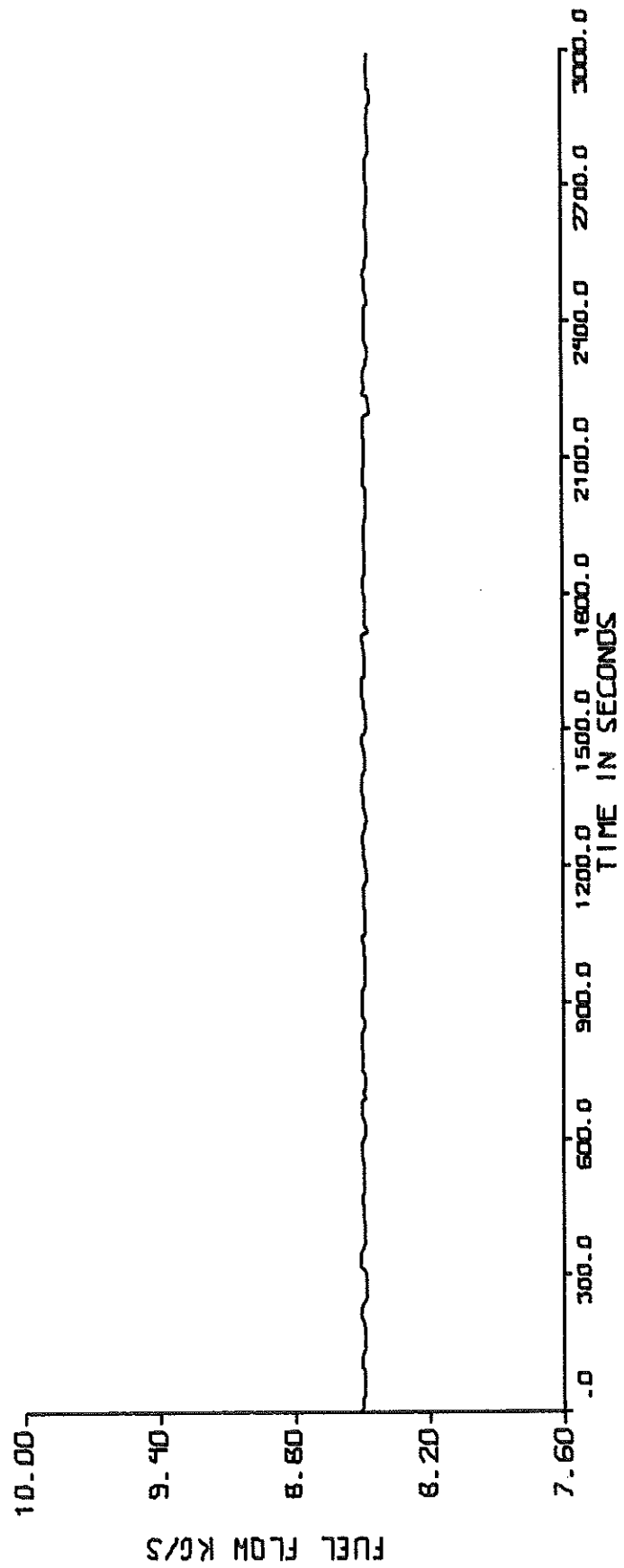


DIAGRAM 1. EXP. 1.05

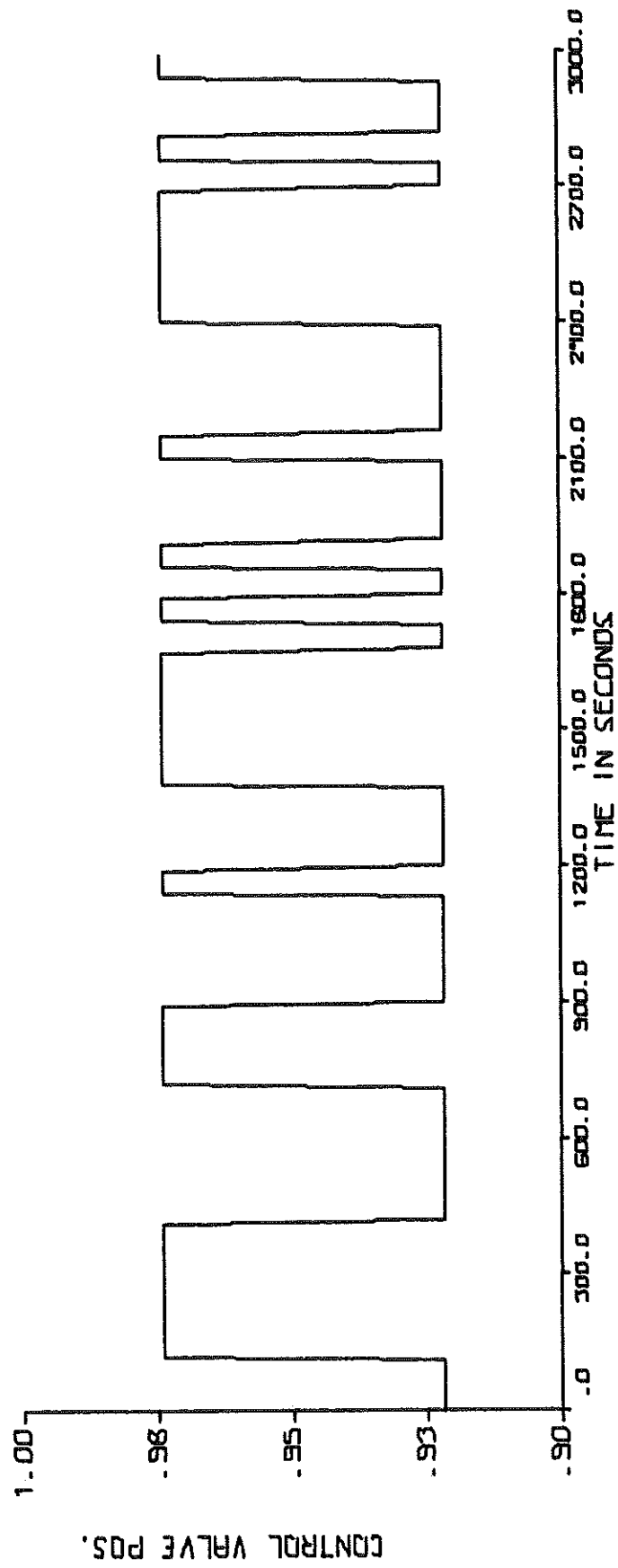


DIAGRAM 2. EXP. 1.05

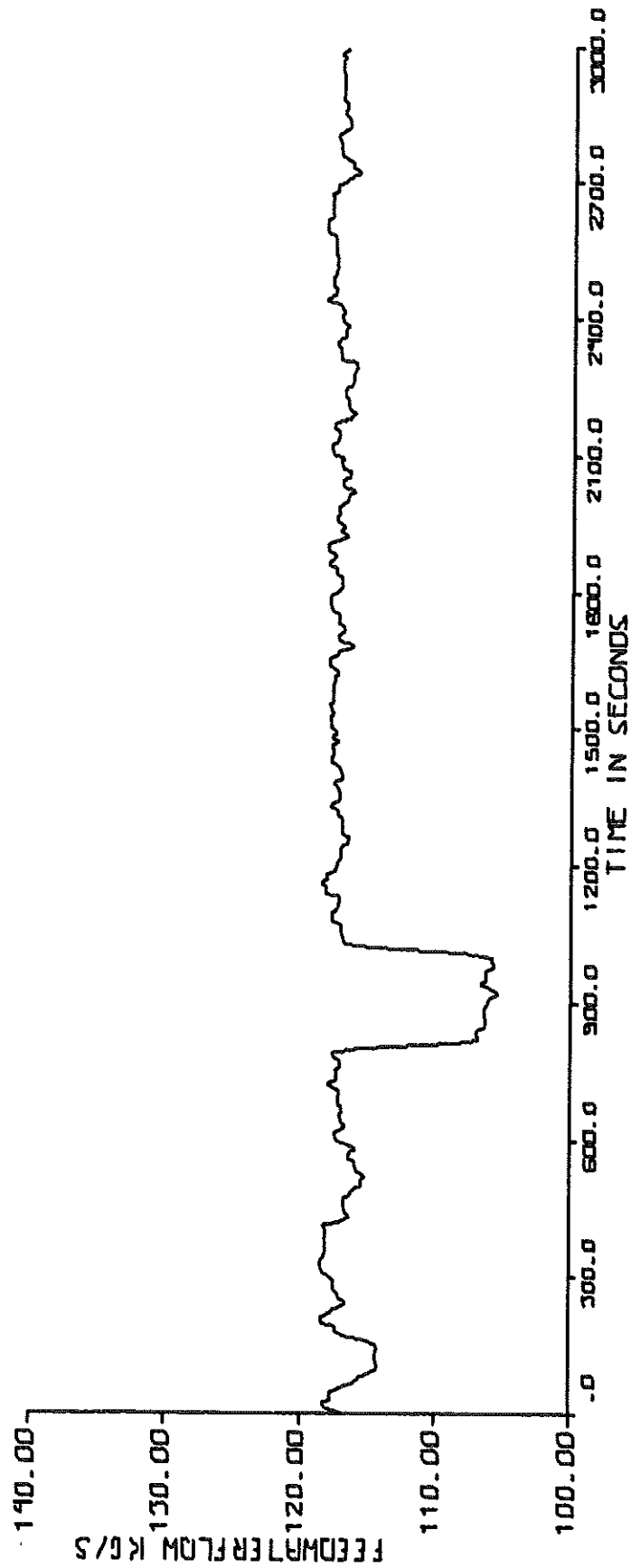


DIAGRAM 3. EXP. 1.05

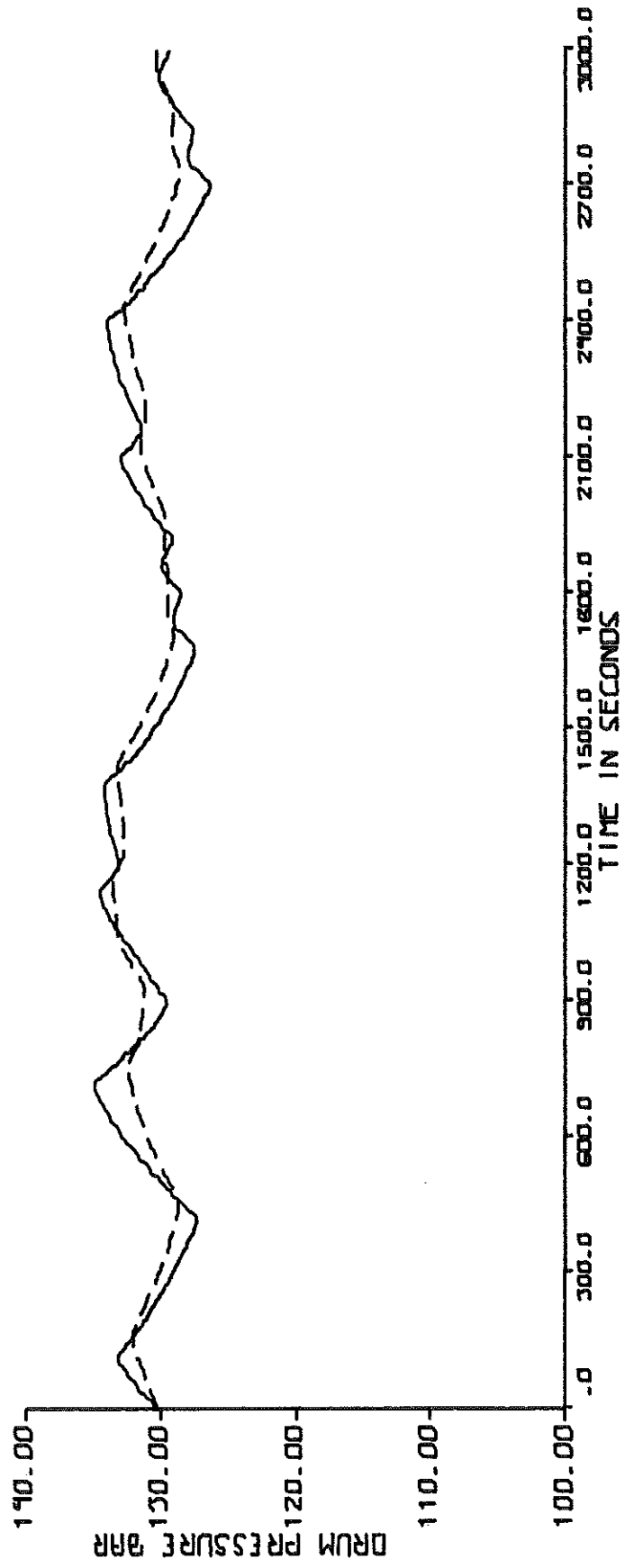


DIAGRAM 4: EXP. 1.05

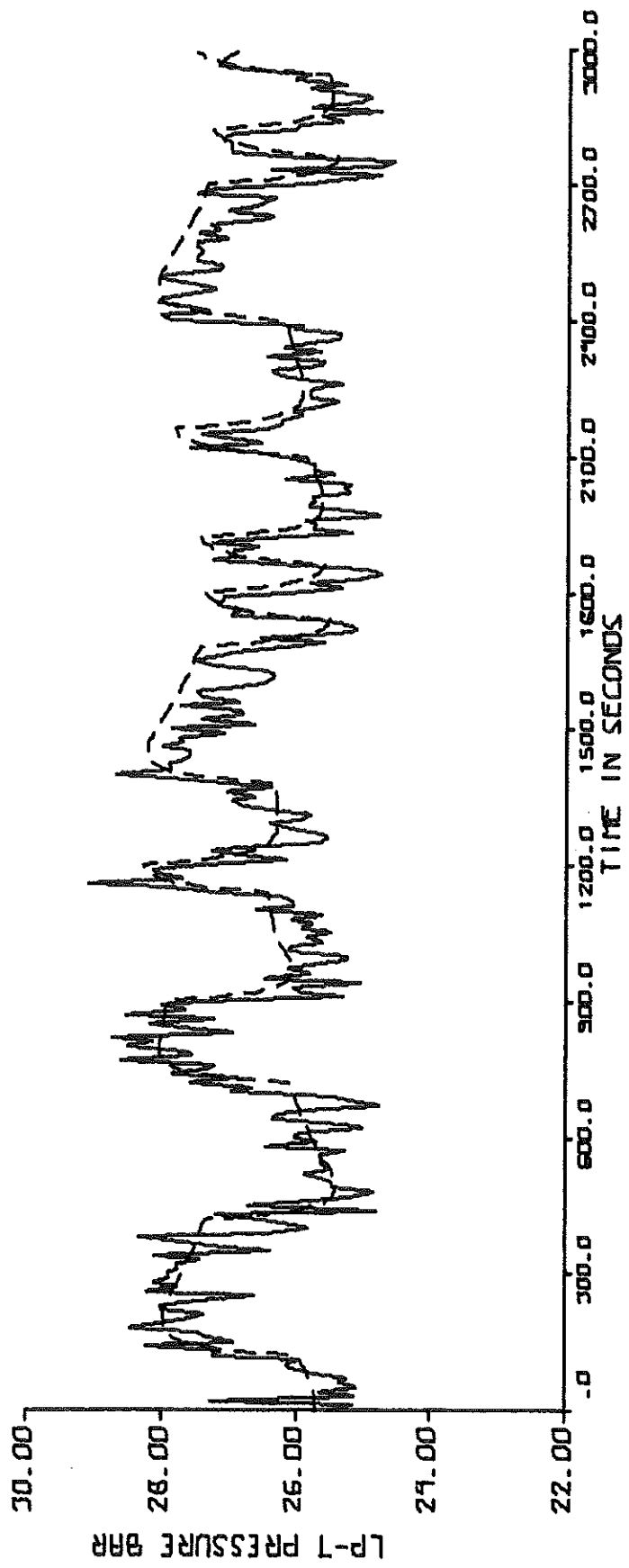


DIAGRAM 5 EXP. 1.05

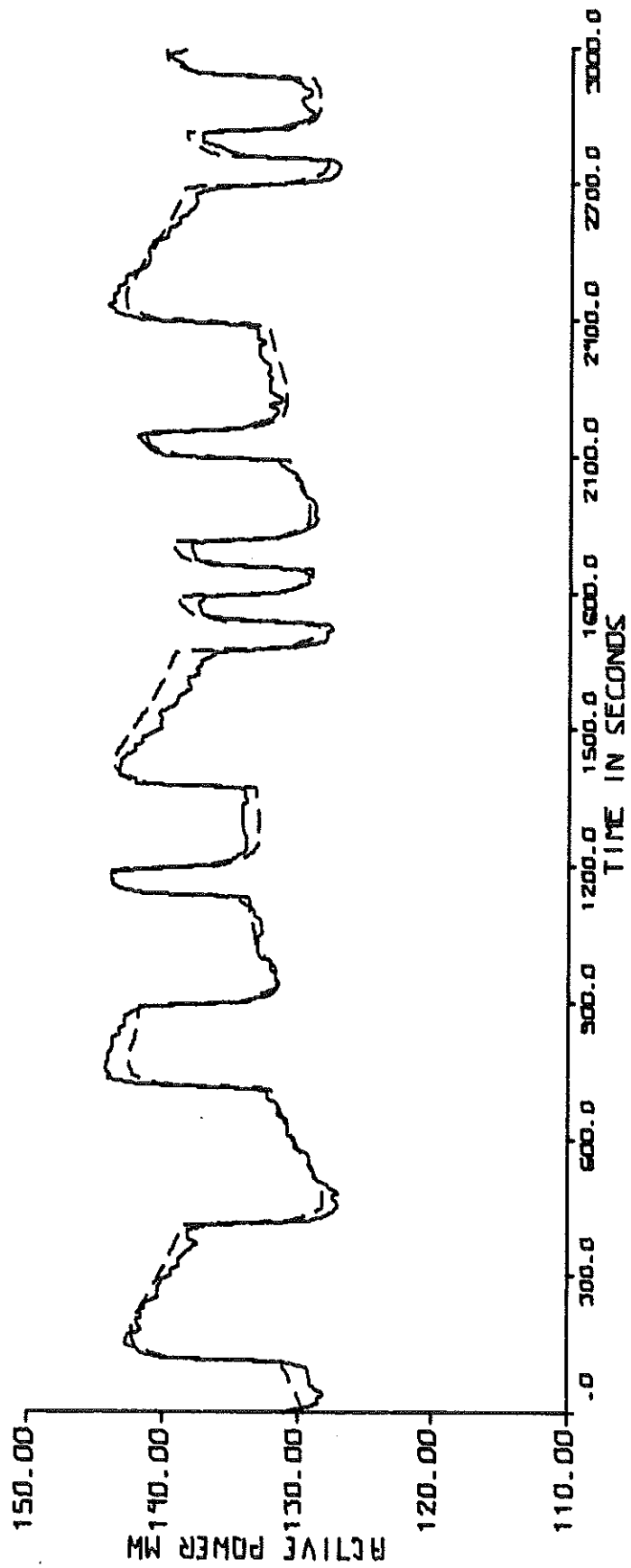


DIAGRAM 6. EXP. 1.05

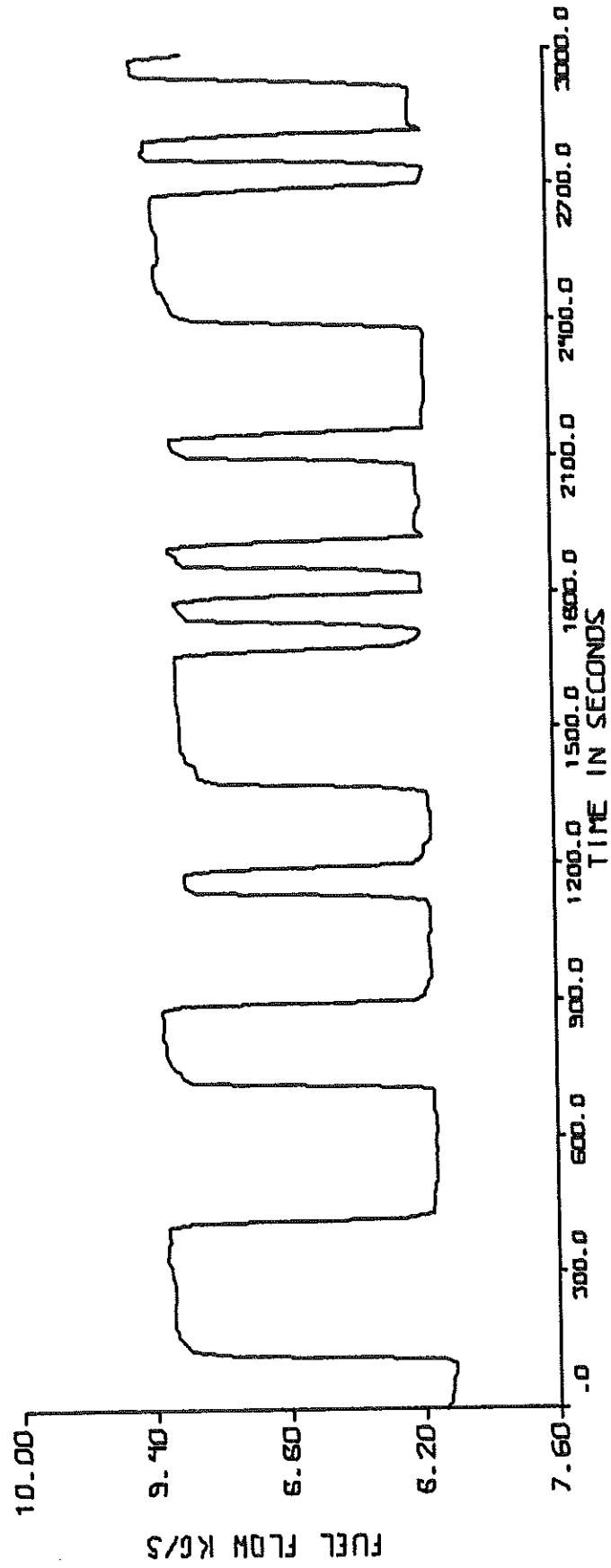


DIAGRAM 7. EXP. 2.01

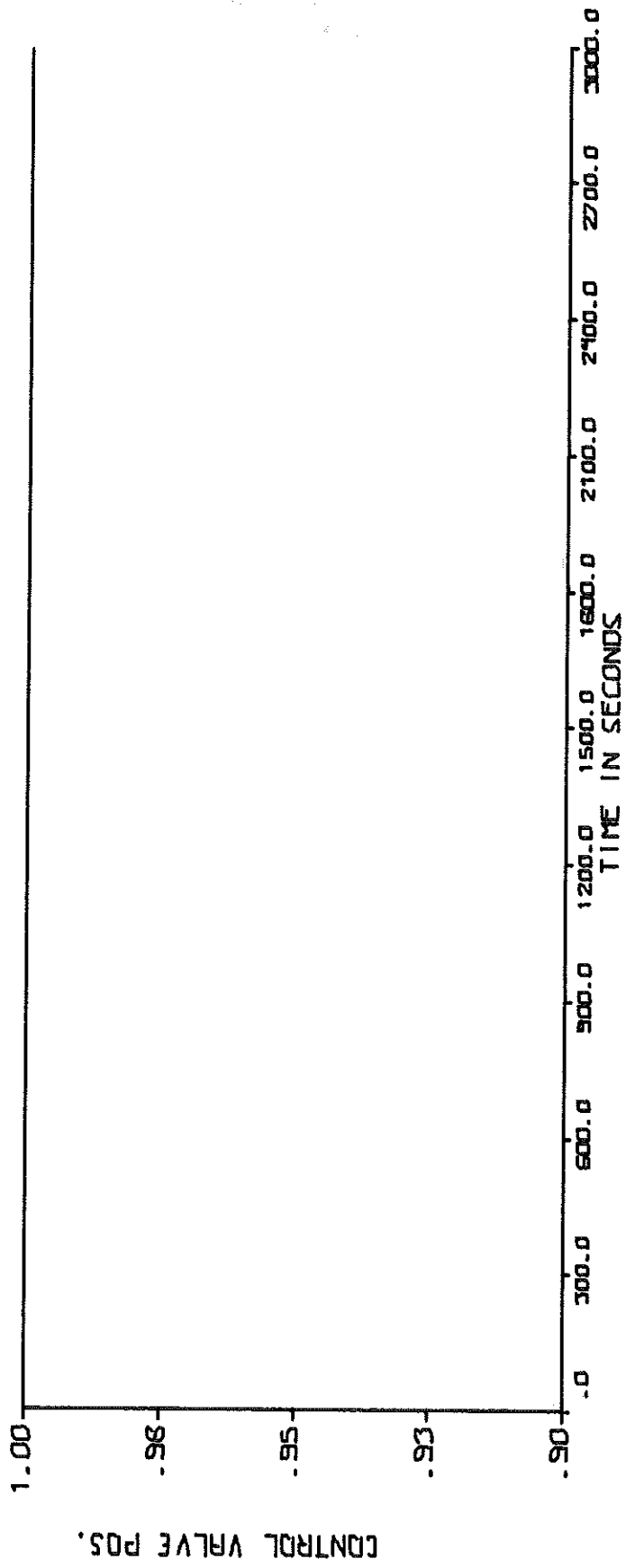


DIAGRAM 8. EXP. 2.01

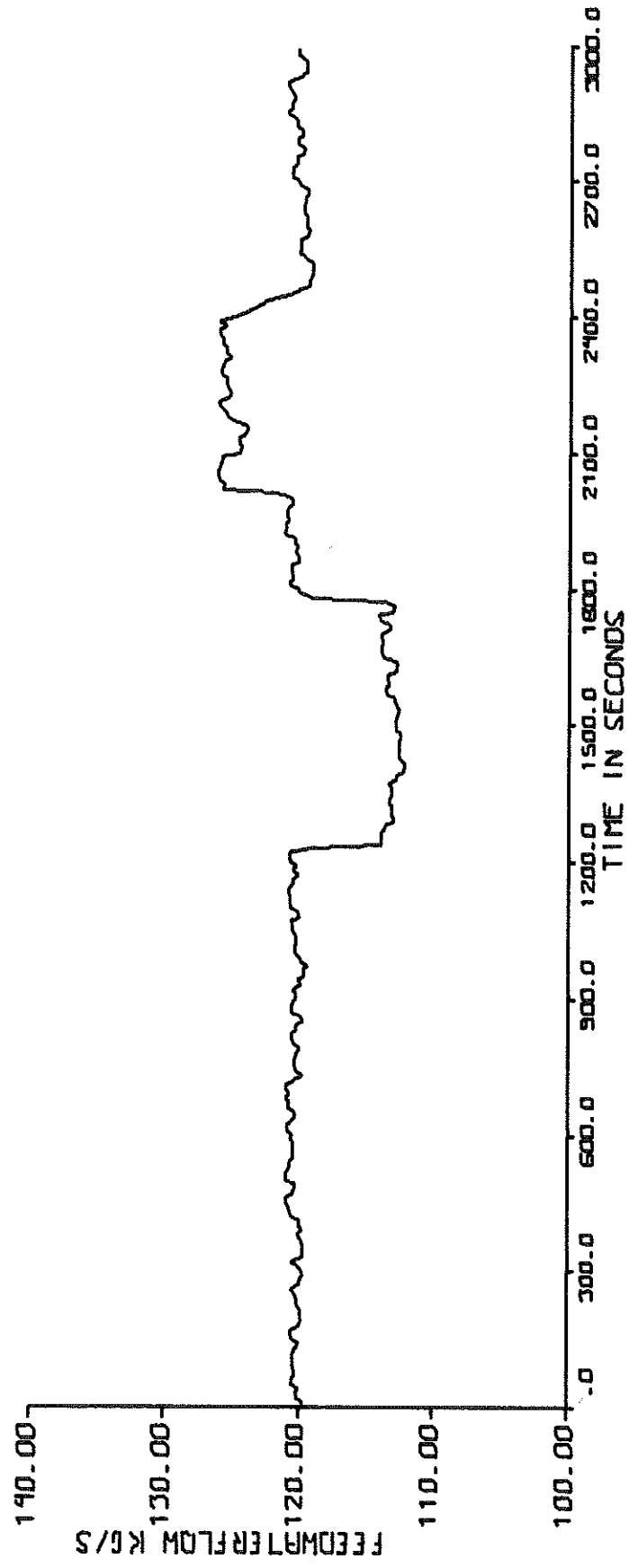


DIAGRAM 9. EXP 2.01

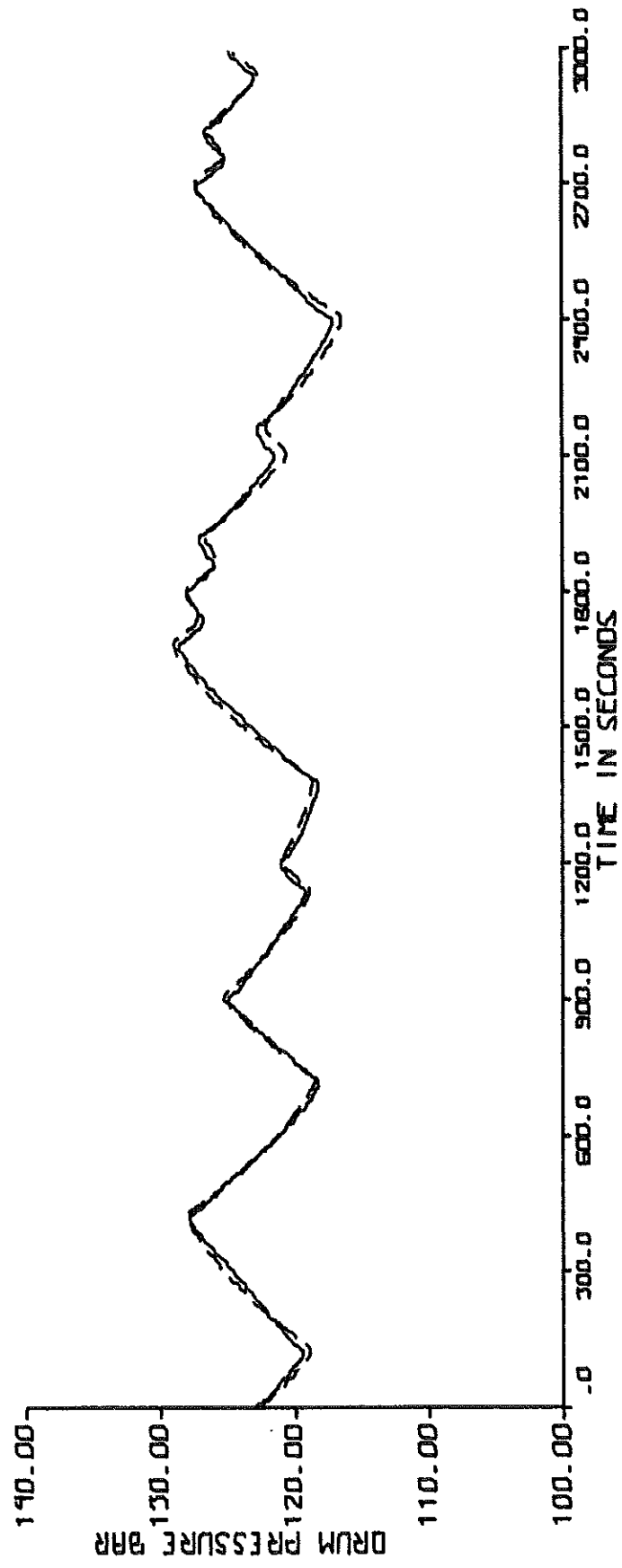


DIAGRAM 10. EXP. 2.01

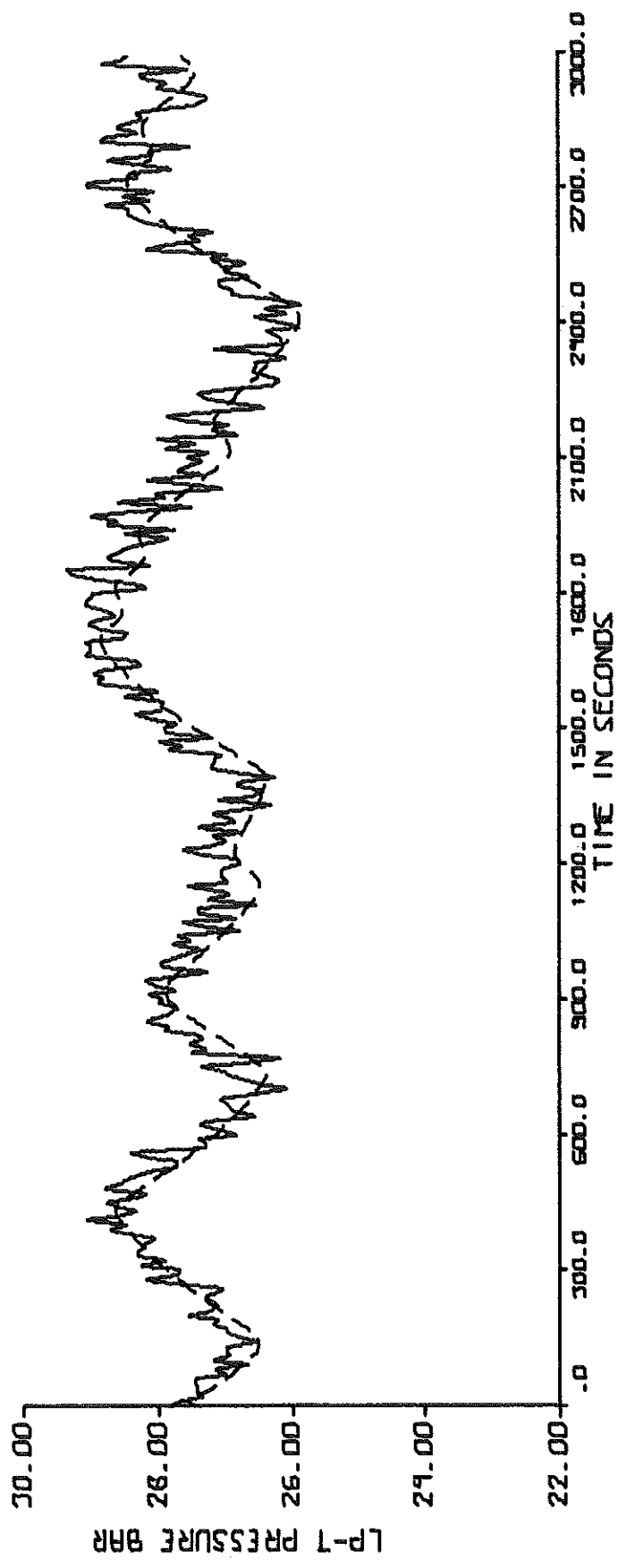


DIAGRAM 11. EXP. 2.01

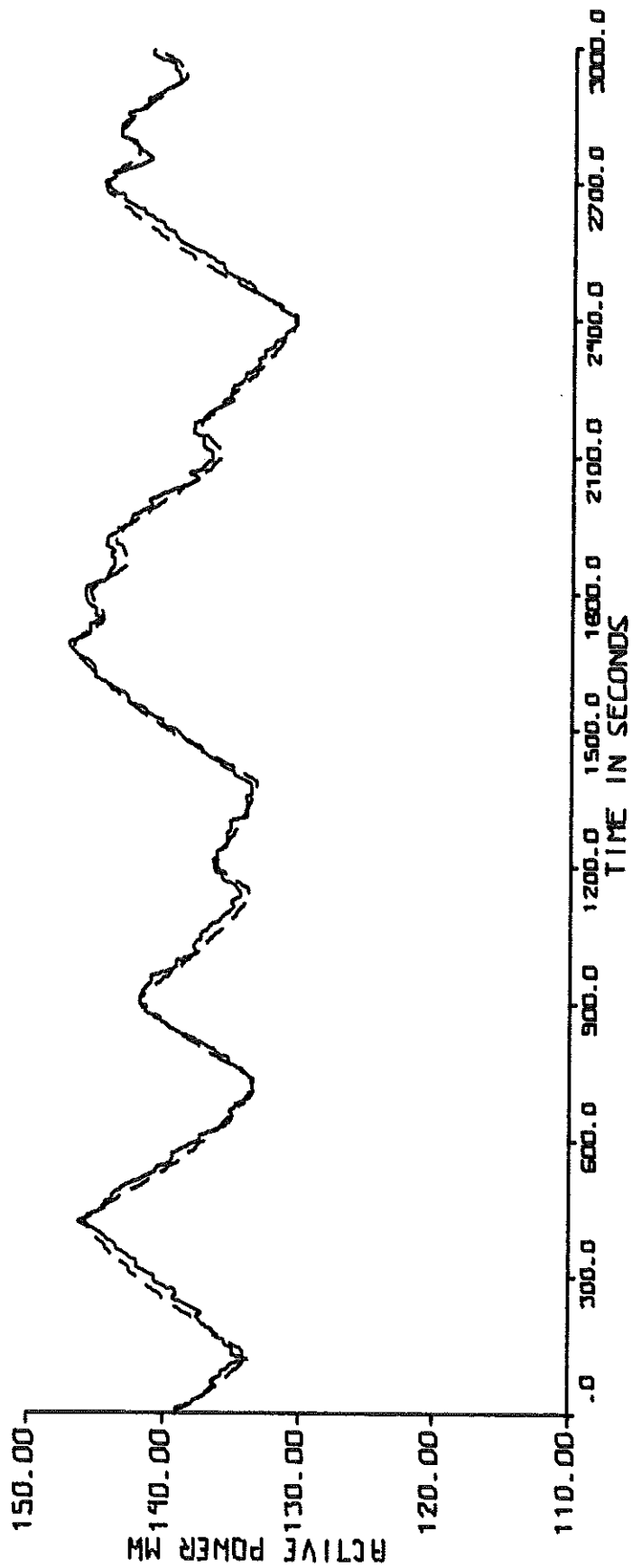


DIAGRAM 12. EXP. 2.01

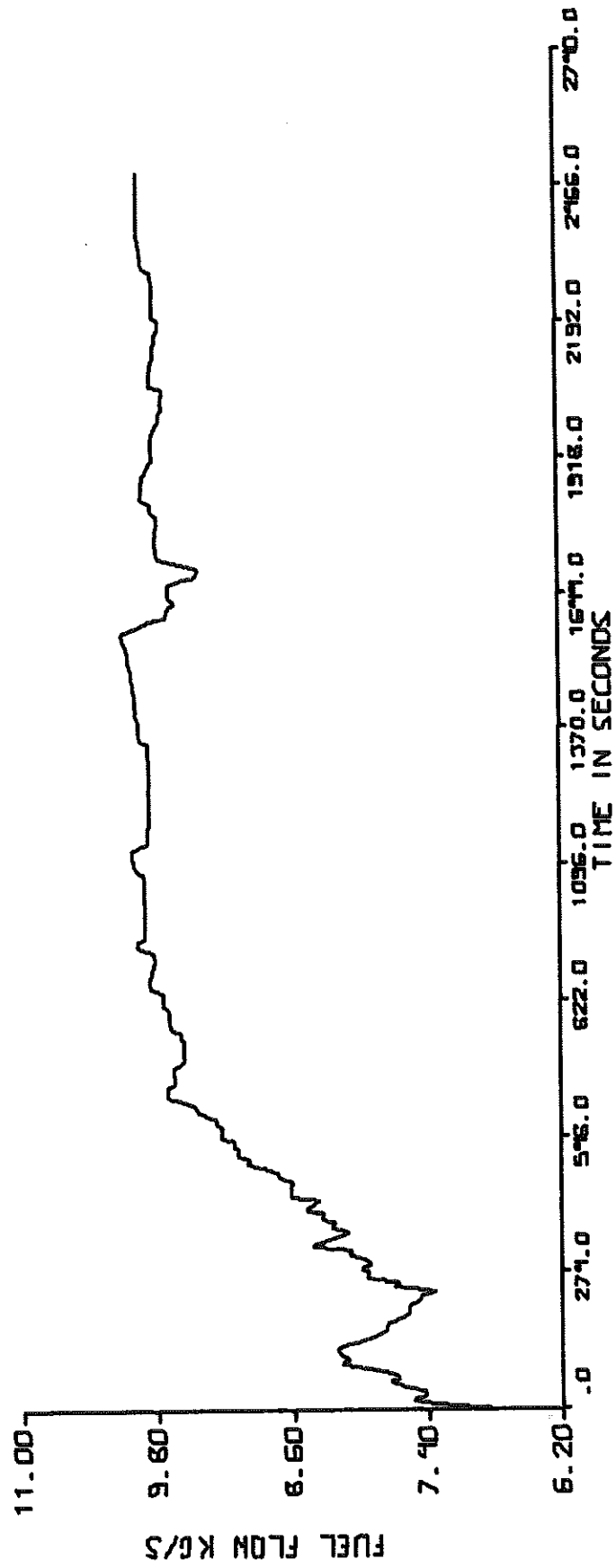


DIAGRAM 13 EXP. 5.27

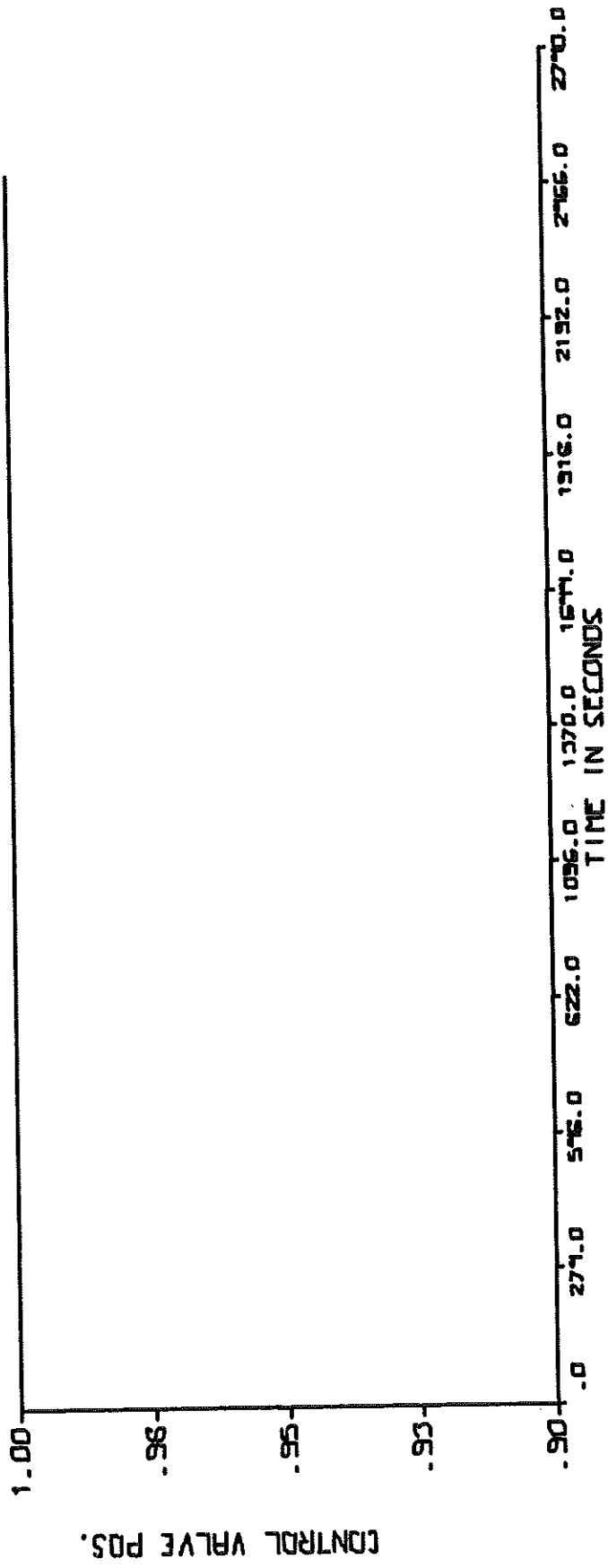


DIAGRAM 14 EXP. 5.27

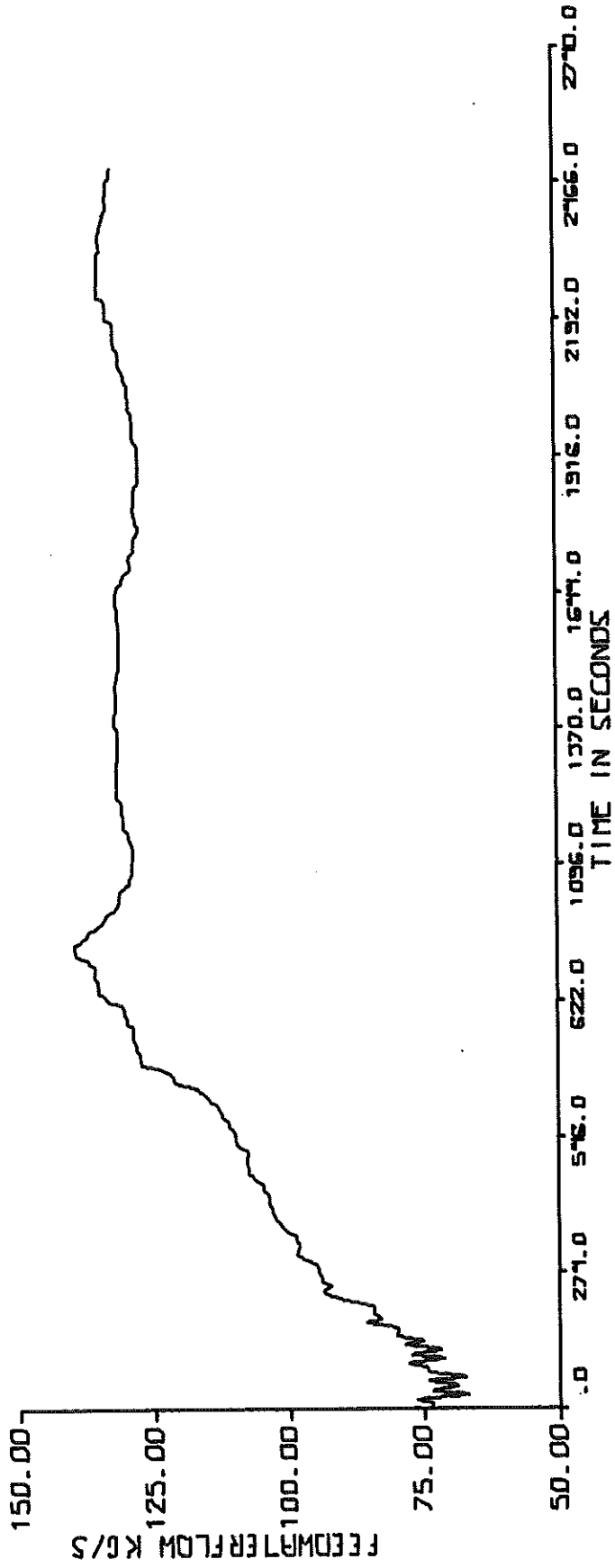


DIAGRAM 15 EXP. 5.27

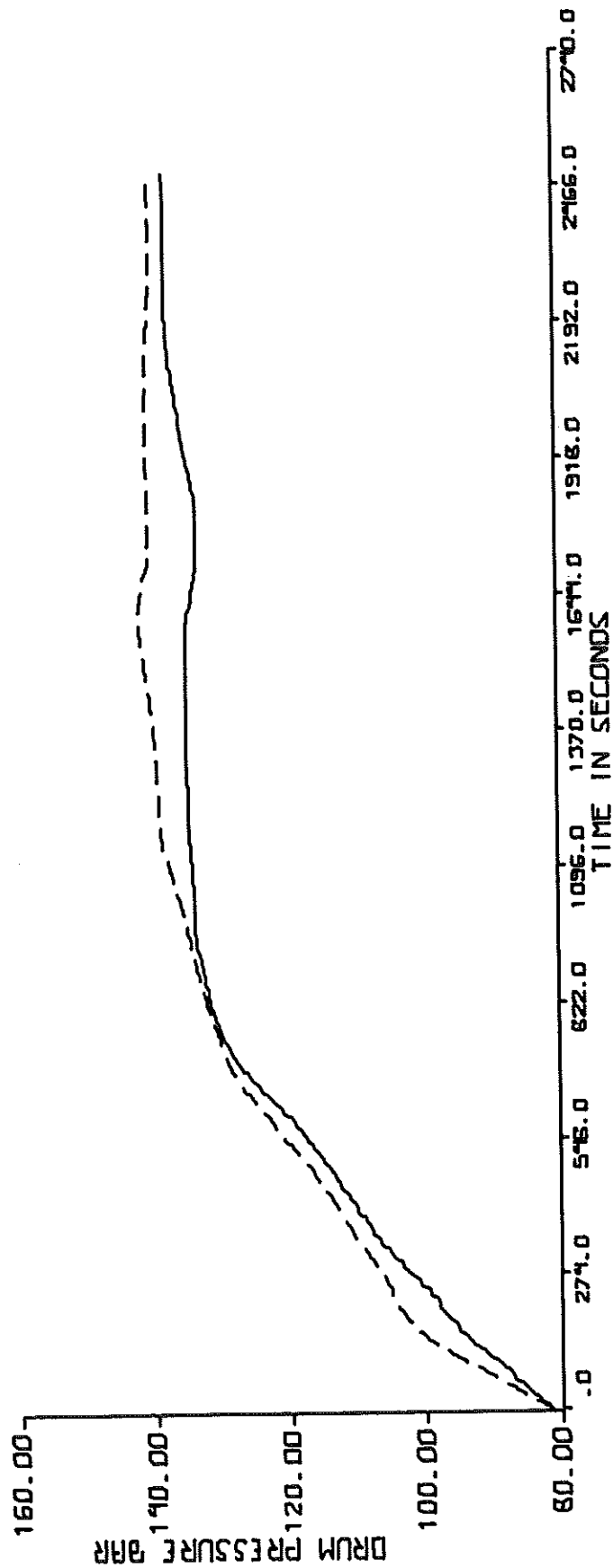


DIAGRAM 16 EXP. 5.27

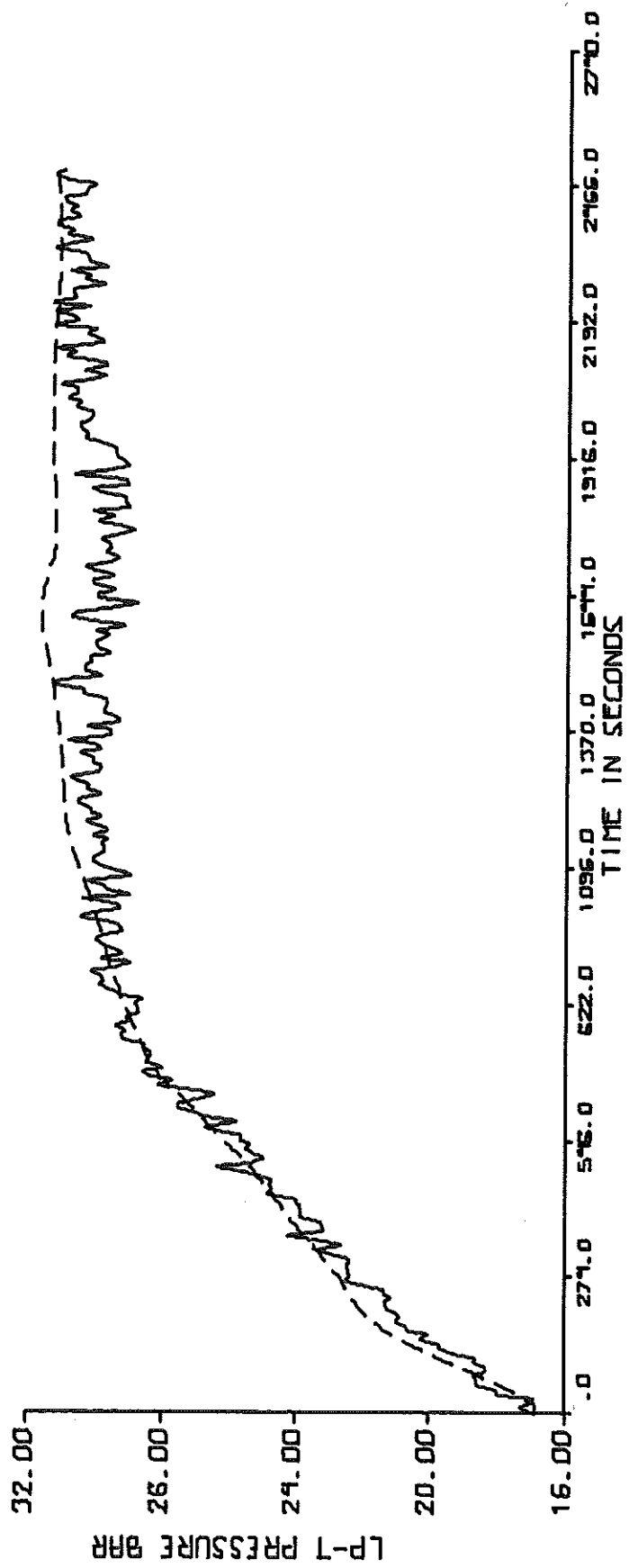


DIAGRAM 17 EXP. 5.27

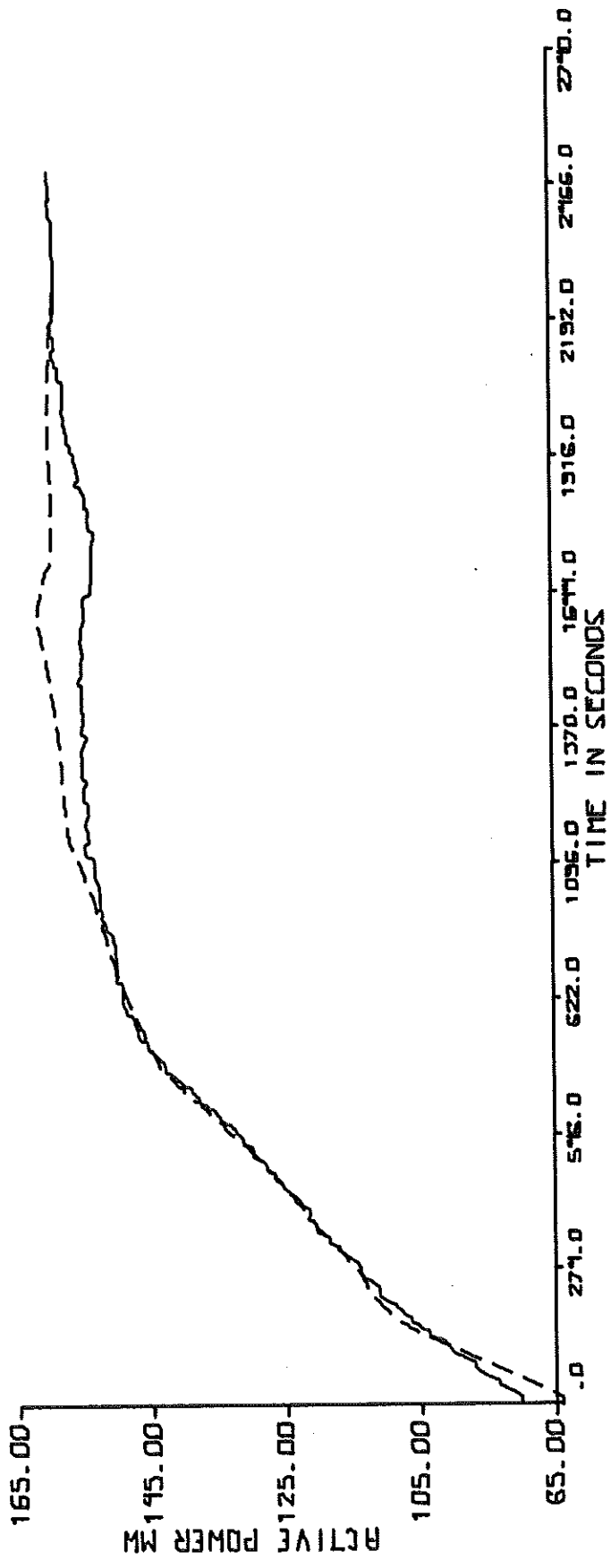


DIAGRAM 18 EXP. 5.27

APPENDIX I

```

SUBROUTINE USER1A
DIMENSION UDATA(10,401),YMDATA(12,401),XINNOM(6),ANOM(12),A(12),
* U(10),X(6),F(6),Y(12),YM(12)
DIMENSION QX(6),QA(12),QXX(6,6),QXA(6,12),QAA(12,12),FX(6,6),
* FA(6,12),FXX(6,6,6),FXA(6,6,12),FAA(6,12,12)
COMMON/USER1/NX,NA,NU,NY,TO,TF,NMP,TSAMP,NRK,H,ITERMX,NPRINT,
* GAMMA1,GAMMA2,ETAX,ETAA,EPSIL,XINNOM,ANOM,UDATA,YMDATA
COMMON/USER2/TI,Q,A,U,X,F,YM,Y,QX,QA,QXX,QXA,QAA,FX,FA,FXX,FXA,FAA

```

```
C
C   TEST OF PEST
C
C   ENTRY INIT
C
C   NX=4
C   NA=10
C   NU=6
C   NY=6
C
C   T0=0.
C   TF=3000.
C   NMP=300
C   TSAMP=10.
C   NRK=4
C   H=2.5
C   ITERMX=15
C   NPRINT=1
C   GAMMA1=0.2
C   GAMMA2=2.0
C   ETAX=0.1
C   ETAA=1.
C   EPSIL=1.0
C
C   XINNOM(1)=130.27
C   XINNOM(2)=25.680
C   XINNOM(3)=122.27
C   XINNOM(4)=27.735
C
C   ANOM(1)=4.4931
C   ANOM(2)=1.4
C   ANOM(3)=0.07
C   ANOM(4)=0.6
C   ANOM(5)=0.8
C   ANOM(6)=0.56096
C   ANOM(7)=1.2149
C   ANOM(8)=0.62541
C   ANOM(9)=8.1812
C   ANOM(10)=1.1726
C
C   S SKALFAKTOR FÖR RESP. PARAMETER
C
C   S1=1.0E04
C   S2=1.0E-03
C   S6=1.0E03
C   S7=-1.0E03
C   S8=1.0E03
C   S9=1.0
C   S10=-1.0E03
C
C   A1=15.3
C   B2=3.6
C
C   A7=0.27*3.6
C   A8=346.
C   A9=1.43
C   A10=4.57
C   A11=933.
C   A12=4.14
C   A13=2347.
C   A14=2.42
C   A15=2.73
C   A16=3566.
```

A17=1.06
 A18=3567.
 A19=1.04
 B21=0.001
 A22=0.22
 A23=2343.

C

NC=358

100 FORMAT (8F10.3)

READ 100, (UDATA(1, J), J=1, NC)
 READ 100, (UDATA(2, J), J=1, NC)
 READ 100, (UDATA(3, J), J=1, NC)
 READ 100, (UDATA(4, J), J=1, NC)
 READ 100, (UDATA(5, J), J=1, NC)
 READ 100, (UDATA(6, J), J=1, NC)
 READ 100, (YMDATA(1, J), J=1, NC)
 READ 100, (YMDATA(2, J), J=1, NC)
 READ 100, (YMDATA(3, J), J=1, NC)
 READ 100, (YMDATA(4, J), J=1, NC)
 READ 100, (YMDATA(5, J), J=1, NC)
 READ 100, (YMDATA(6, J), J=1, NC)
 RETURN

C

C

ENTRY LOSS

C

C

QL105=A1*X(2)/B2
 QH105=(S7*A(7)+S8*A(8)*U(2)+S9*A(9)*X(1))/B2
 PHT105=A7*QH105
 TEH105=A8-A9*PHT105+A10*X(2)
 HDV105=A11+A12*X(1)
 HEH105=A13+A14*TEH105-A15*X(2)
 HFL105=A16-A17*X(2)
 HFH105=A18-A19*PHT105

C

QL201=A1*X(4)/B2
 QH201=(S10*A(10)+S8*A(8)*U(5)+S9*A(9)*X(3))/B2
 PHT201=A7*QH201
 TEH201=A8-A9*PHT201+A10*X(4)
 HDV201=A11+A12*X(3)
 HEH201=A13+A14*TEH201-A15*X(4)
 HFL201=A16-A17*X(4)
 HFH201=A18-A19*PHT201

C

PEL105=(A(4)*QL105*(HFL105-A23)+A(5)*QH105*(HFH105-HEH105))*B21
 PEL201=(A(4)*QL201*(HFL201-A23)+A(5)*QH201*(HFH201-HEH201))*B21

C

Q=(YM(1)-X(1))**2+(YM(2)-X(2))**2+(YM(3)-PEL105)**2
 * +(YM(4)-X(3))**2+(YM(5)-X(4))**2+(YM(6)-PEL201)**2
 RETURN

C

C

ENTRY SYSTEM

C

C

QL105=A1*X(2)/B2
 QH105=(S7*A(7)+S8*A(8)*U(2)+S9*A(9)*X(1))/B2
 PHT105=A7*QH105
 TEH105=A8-A9*PHT105+A10*X(2)
 HDV105=A11+A12*X(1)
 HEH105=A13+A14*TEH105-A15*X(2)
 HFL105=A16-A17*X(2)
 HFH105=A18-A19*PHT105

```

C
QL201=A1*X(4)/B2
QH201=(S10*A(10)+S8*A(8)*U(5)+S9*A(9)*X(3))/B2
PHT201=A7*QH201
TEH201=A8-A9*PHT201+A10*X(4)
HDV201=A11+A12*X(3)
HEH201=A13+A14*TEH201-A15*X(4)
HFL201=A16-A17*X(4)
HFH201=A18-A19*PHT201

```

```

C
C
C
EKV. FÖR EXP. 105

```

```

C
F(1)=(U(3)*A(6)*S6+U(1)*A(1)*S1+QH105*(HEH105-HFH105+HDV105)-
* QL105*HFL105-HDV105*U(3))*(A(2)*S2*B21)

```

```

C
F(2)=(A22*PHT105-X(2))*A(3)

```

```

C
C
C
EKV. FÖR EXP. 201

```

```

C
F(3)=(U(6)*A(6)*S6+U(4)*A(1)*S1+QH201*(HEH201-HFH201+HDV201)-
* QL201*HFL201-HDV201*U(6))*(A(2)*S2*B21)

```

```

C
F(4)=(A22*PHT201-X(4))*A(3)

```

```

C
RETURN

```

```

C
C
ENTRY OUTPUT

```

```

C
QL105=A1*X(2)/B2
QH105=(S7*A(7)+S8*A(8)*U(2)+S9*A(9)*X(1))/B2
PHT105=A7*QH105
TEH105=A8-A9*PHT105+A10*X(2)
HDV105=A11+A12*X(1)
HEH105=A13+A14*TEH105-A15*X(2)
HFL105=A16-A17*X(2)
HFH105=A18-A19*PHT105

```

```

C
QL201=A1*X(4)/B2
QH201=(S10*A(10)+S8*A(8)*U(5)+S9*A(9)*X(3))/B2
PHT201=A7*QH201
TEH201=A8-A9*PHT201+A10*X(4)
HDV201=A11+A12*X(3)
HEH201=A13+A14*TEH201-A15*X(4)
HFL201=A16-A17*X(4)
HFH201=A18-A19*PHT201

```

```

C
PEL105=(A(4)*QL105*(HFL105-A23)+A(5)*QH105*(HFH105-HEH105))*B21
PEL201=(A(4)*QL201*(HFL201-A23)+A(5)*QH201*(HFH201-HEH201))*B21

```

```

C
Y(1)=X(1)
TRYCK I DOM (BAR)

```

```

C
Y(2)=X(2)
TRYCK I MELLANÖVERHETTARE (BAR)

```

```

C
Y(3)=PEL105
EL.-EFFEKT UT (MW)

```

```

C
Y(4)=X(3)

```



```

C   TRYCK I DOM (BAR)
C
C   Y(5)=X(4)
C   TRYCK I MELLANÖVERHETTARE (BAR)
C
C   Y(6)=PEL201
C   EL.=EFFEKT UT (MW)
C
C   RETURN
C
C   ENTRY PDERF
C
C
C   QL105=A1*X(2)/B2
C   QH105=(S7*A(7)+S8*A(8)*U(2)+S9*A(9)*X(1))/B2
C   PHT105=A7*QH105
C   TEH105=A8-A9*PHT105+A10*X(2)
C   HDV105=A11+A12*X(1)
C   HEH105=A13+A14*TEH105-A15*X(2)
C   HFL105=A16-A17*X(2)
C   HFH105=A18-A19*PHT105
C
C   QL201=A1*X(4)/B2
C   QH201=(S10*A(10)+S8*A(8)*U(5)+S9*A(9)*X(3))/B2
C   PHT201=A7*QH201
C   TEH201=A8-A9*PHT201+A10*X(4)
C   HDV201=A11+A12*X(3)
C   HEH201=A13+A14*TEH201-A15*X(4)
C   HFL201=A16-A17*X(4)
C   HFH201=A18-A19*PHT201
C   DQH105=S9*A(9)/B2
C   DQH201=S9*A(9)/B2
C
C   FX(1,1)=(DQH105*(HEH105-HFH105+HDV105)+QH105*(A14*(-A9)*A7*DQH105
* +A19*A7*DQH105+A12)-A12*U(3))*(S2*A(2)*B21)
C   FX(3,3)=(DQH201*(HEH201-HFH201+HDV201)+QH201*(A14*(-A9)*A7*DQH201
* +A19*A7*DQH201+A12)-A12*U(6))*(S2*A(2)*B21)
C   FX(1,2)=(QH105*(A14*A10-A15)-(A1/B2)*HFL105+QL105*A17)
* *(S2*A(2)*B21)
C   FX(3,4)=(QH201*(A14*A10-A15)-(A1/B2)*HFL201+QL201*A17)
* *(S2*A(2)*B21)
C   FX(2,1)=A22*A7*DQH105*A(3)
C   FX(4,3)=A22*A7*DQH201*A(3)
C   FX(2,2)=-A(3)
C   FX(4,4)=-A(3)
C
C   FXX(1,1,1)= DQH105*(A14*(-A9)*A7*DQH105+A19*A7*DQH105+A12)*2.
* *(S2*A(2)*B21)
C   FXX(3,3,3)= DQH201*(A14*(-A9)*A7*DQH201+A19*A7*DQH201+A12)*2.
* *(S2*A(2)*B21)
C   FXX(1,2,1)=(DQH105*(A14*A10-A15))*(S2*A(2)*B21)
C   FXX(3,4,3)=(DQH201*(A14*A10-A15))*(S2*A(2)*B21)
C   FXX(1,2,2)=(2.*(A1/B2)*A17)*(S2*A(2)*B21)
C   FXX(3,4,4)=(2.*(A1/B2)*A17)*(S2*A(2)*B21)
C
C   FA(1,1)=S1*U(1)*(S2*A(2)*B21)
C   FA(3,1)=S1*U(4)*(S2*A(2)*B21)
C   FA(1,2)=(U(3)*S6*A(6)+U(1)*S1*A(1)+QH105*(HEH105-HFH105+HDV105)
* -QL105*HFL105-HDV105*U(3))*(S2*B21)
C   FA(3,2)=(U(6)*S6*A(6)+U(4)*S1*A(1)+QH201*(HEH201-HFH201+HDV201)
* -QL201*HFL201-HDV201*U(6))*(S2*B21)
C   FA(2,3)=(A22*PHT105-X(2))
C   FA(4,3)=(A22*PHT201-X(4))

```

$$\begin{aligned}
FA(1,6) &= U(3) * S2 * A(2) * B21 * S6 \\
FA(3,6) &= U(6) * S2 * A(2) * B21 * S6 \\
FA(1,7) &= ((S7/B2) * (HEH105 - HFH105 + HDV105) + DQH105 * (A14 * (-A9) * A7 * \\
&* (S7/B2) - (-A19) * A7 * (S7/B2))) * (A(2) * S2 * B21) \\
FA(1,8) &= ((S8 * U(2)/B2) * (HEH105 - HFH105 + HDV105) + QH105 * (A14 * (-A9) * A7 * \\
&* (S8 * U(2)/B2) - (-A19) * A7 * (S8 * U(2)/B2))) * (A(2) * S2 * B21) \\
FA(1,9) &= ((S9 * X(1)/B2) * (HEH105 - HFH105 + HDV105) + QH105 * (A14 * (-A9) * A7 * \\
&* (S9 * X(1)/B2) - (-A19) * A7 * (S9 * X(1)/B2))) * (A(2) * S2 * B21) \\
FA(3,10) &= ((S10/B2) * (HEH201 - HFH201 + HDV201) + QH201 * (A14 * (-A9) * A7 * \\
&* (S10/B2) - (-A19) * A7 * (S10/B2))) * (A(2) * S2 * B21) \\
FA(3,8) &= ((S8 * U(5)/B2) * (HEH201 - HFH201 + HDV201) + QH201 * (A14 * (-A9) * \\
&* A7 * (S8 * U(5)/B2) - (-A19) * A7 * (S8 * U(5)/B2))) * (A(2) * S2 * B21) \\
FA(3,9) &= ((S9 * X(3)/B2) * (HEH201 - HFH201 + HDV201) + QH201 * (A14 * (-A9) * \\
&* A7 * (S9 * X(3)/B2) - (-A19) * A7 * (S9 * X(3)/B2))) * (A(2) * S2 * B21) \\
FA(2,7) &= A22 * A7 * (S7/B2) * A(3) \\
FA(2,8) &= A22 * A7 * (S8 * U(2)/B2) * A(3) \\
FA(2,9) &= A22 * A7 * (S9 * X(1)/B2) * A(3) \\
FA(4,10) &= A22 * A7 * (S10/B2) * A(3) \\
FA(4,8) &= A22 * A7 * (S8 * U(5)/B2) * A(3) \\
FA(4,9) &= A22 * A7 * (S9 * X(3)/B2) * A(3)
\end{aligned}$$

C

$$\begin{aligned}
FAA(1,2,1) &= U(1) * B21 * S2 * S1 \\
FAA(3,2,1) &= U(4) * B21 * S2 * S1 \\
FAA(1,6,2) &= U(3) * B21 * S2 * S6 \\
FAA(3,6,2) &= U(6) * B21 * S2 * S6 \\
FAA(1,2,7) &= FA(1,7) / A(2) \\
FAA(1,2,8) &= FA(1,8) / A(2) \\
FAA(1,2,9) &= FA(1,9) / A(2) \\
FAA(3,2,10) &= FA(3,10) / A(2) \\
FAA(3,2,8) &= FA(3,8) / A(2) \\
FAA(3,2,9) &= FA(3,9) / A(2) \\
FAA(2,3,7) &= FA(2,7) / A(3) \\
FAA(2,3,8) &= FA(2,8) / A(3) \\
FAA(2,3,9) &= FA(2,9) / A(3) \\
FAA(4,3,10) &= FA(4,10) / A(3) \\
FAA(4,3,8) &= FA(4,8) / A(3) \\
FAA(4,3,9) &= FA(4,9) / A(3)
\end{aligned}$$

C

$$\begin{aligned}
FXA(1,1,2) &= (DQH105 * (HEH105 - HFH105 + HDV105) + QH105 * (A14 * (-A9) * A7 \\
&* * DQH105 + A19 * A7 * DQH105 + A12) - A12 * U(3)) * B21 * S2 \\
FXA(3,3,2) &= (DQH201 * (HEH201 - HFH201 + HDV201) + QH201 * (A14 * (-A9) * A7 \\
&* * DQH201 + A19 * A7 * DQH201 + A12) - A12 * U(6)) * B21 * S2 \\
FXA(1,2,2) &= (QH105 * (A14 * A10 - A15) - (A1/B2) * (HFL105 + QL105 * A17)) * B21 * S2 \\
FXA(3,4,2) &= (QH201 * (A14 * A10 - A15) - (A1/B2) * (HFL201 + QL201 * A17)) * B21 * S2 \\
FXA(2,1,3) &= (A22 * A7 * DQH105) \\
FXA(4,3,3) &= (A22 * A7 * DQH201) \\
FXA(2,2,3) &= 1. \\
FXA(4,4,3) &= -1. \\
FXA(1,1,7) &= (DQH105 * (A14 * (-A9) * A7 * (S7/B2) - (-A19) * A7 * (S7/B2)) \\
&* + (S7/B2) * (A14 * (-A9) * A7 * DQH105 + A19 * A7 * DQH105 + A12)) * (S2 * A(2) * B21) \\
FXA(1,1,8) &= (DQH105 * (A14 * (-A9) * A7 * (S8 * U(2)/B2) - (-A19) * A7 * \\
&* (S8 * U(2)/B2)) + (S8 * U(2)/B2) * (A14 * (-A9) * A7 * DQH105 + A19 * A7 * DQH105 \\
&* + A12)) * (S2 * A(2) * B21) \\
FXA(1,1,9) &= (((S9/B2) * (HEH105 - HFH105 + HDV105) + DQH105 * (A14 * (-A9) * A7 \\
&* * (S9 * X(1)/B2) - (-A19) * A7 * (S9 * X(1)/B2))) + ((S9 * X(1)/B2) * \\
&* (A14 * (-A9) * A7 * DQH105 + A19 * A7 * DQH105 + A12) + QH105 * (A14 * (-A9) * A7 * \\
&* (S9/B2) + A19 * A7 * (S9/B2)))) * (S2 * A(2) * B21) \\
FXA(3,3,10) &= (DQH201 * (A14 * (-A9) * A7 * (S10/B2) - (-A19) * A7 * (S10/B2)) \\
&* + (S10/B2) * (A14 * (-A9) * A7 * DQH201 + A19 * A7 * DQH201 + A12)) * (S2 * A(2) * B21) \\
FXA(3,3,8) &= (DQH201 * (A14 * (-A9) * A7 * (S8 * U(5)/B2) - (-A19) * A7 * \\
&* (S8 * U(5)/B2)) + (S8 * U(5)/B2) * (A14 * (-A9) * A7 * DQH201 + A19 * A7 * DQH201 \\
&* + A12)) * (S2 * A(2) * B21) \\
FXA(3,3,9) &= (((S9/B2) * (HEH201 - HFH201 + HDV201) + DQH201 * (A14 * (-A9) * A7 \\
&* * (S9 * X(3)/B2) - (-A19) * A7 * (S9 * X(3)/B2))) + ((S9 * X(3)/B2) *
\end{aligned}$$

```

* (A14*(-A9)*A7*DQH201+A19*A7*DQH201+A12)*DQH201*(A14*(-A9)*A7*
* (S9/B2)+A19*A7*(S9/B2)))*(S2*A(2)*B21)
FXA(1,2,7)=((S7/B2)*(A14*A10-A15))*(S2*A(2)*B21)
FXA(1,2,8)=((S8*U(2)/B2)*(A14*A10-A15))*(S2*A(2)*B21)
FXA(1,2,9)=((S9*X(1)/B2)*(A14*A10-A15))*(S2*A(2)*B21)
FXA(3,4,10)=((S10/B2)*(A14*A10-A15))*(S2*A(2)*B21)
FXA(3,4,8)=((S8*U(5)/B2)*(A14*A10-A15))*(S2*A(2)*B21)
FXA(3,4,9)=((S9*X(3)/B2)*(A14*A10-A15))*(S2*A(2)*B21)
FXA(2,1,9)=A22*A7*(S9/B2)*A(3)
FXA(4,3,9)=A22*A7*(S9/B2)*A(3)
RETURN

```

C
C
C
C

ENTRY PDERQ

```

QL105=A1*X(2)/B2
QH105=(S7*A(7)+S8*A(8)*U(2)+S9*A(9)*X(1))/B2
PHT105=A7*QH105
TEH105=A8-A9*PHT105+A10*X(2)
HDV105=A11+A12*X(1)
HEH105=A13+A14*TEH105-A15*X(2)
HFL105=A16-A17*X(2)
HFH105=A18-A19*PHT105

```

C

```

QL201=A1*X(4)/B2
QH201=(S10*A(10)+S8*A(8)*U(5)+S9*A(9)*X(3))/B2
PHT201=A7*QH201
TEH201=A8-A9*PHT201+A10*X(4)
HDV201=A11+A12*X(3)
HEH201=A13+A14*TEH201-A15*X(4)
HFL201=A16-A17*X(4)
HFH201=A18-A19*PHT201

```

C

```

DQH105=S9*A(9)/B2
DQH201=S9*A(9)/B2
PEL105=(A(4)*QL105*(HFL105-A23)+A(5)*QH105*(HFH105-HEH105))*B21
PEL201=(A(4)*QL201*(HFL201-A23)+A(5)*QH201*(HFH201-HEH201))*B21
DP1105=A(5)*(DQH105*(HFH105-HEH105)-QH105*(A14*(-A9)*A7*DQH105
* +A19*A7*DQH105))*B21
DP1201=A(5)*(DQH201*(HFH201-HEH201)-QH201*(A14*(-A9)*A7*DQH201
* +A19*A7*DQH201))*B21
DP2105=(A(4)*((A1/B2)*(HFL105-A23)+QL105*(-A17))-A(5)*QH105*(A10
* *A14-A15))*B21
DP2201=(A(4)*((A1/B2)*(HFL201-A23)+QL201*(-A17))-A(5)*QH201*(A10
* *A14-A15))*B21

```

C

```

QX(1)=-2.*(YM(1)-X(1))-2.*(YM(3)-PEL105)*DP1105
QX(2)=-2.*(YM(2)-X(2))-2.*(YM(3)-PEL105)*DP2105
QX(3)=-2.*(YM(4)-X(3))-2.*(YM(6)-PEL201)*DP1201
QX(4)=-2.*(YM(5)-X(4))-2.*(YM(6)-PEL201)*DP2201

```

C

```

QA(4)=-2.*(YM(3)-PEL105)*QL105*(HFL105-A23)*B21
* -2.*(YM(6)-PEL201)*QL201*(HFL201-A23)*B21
QA(5)=-2.*(YM(3)-PEL105)*QH105*(HFH105-HEH105)*B21
* -2.*(YM(6)-PEL201)*QH201*(HFH201-HEH201)*B21
QA(7)=-2.*(YM(3)-PEL105)*A(5)*((S7/B2)*(HFH105-HEH105)+QH105*
* ((-A19)*A7*(S7/B2)-A14*(-A9)*A7*(S7/B2)))*B21
QA(10)=-2.*(YM(6)-PEL201)*A(5)*((S10/B2)*(HFH201-HEH201)+QH201*
* ((-A19)*A7*(S10/B2)-A14*(-A9)*A7*(S10/B2)))*B21
QA(8)=-2.*(YM(3)-PEL105)*A(5)*((S8*U(2)/B2)*(HFH105-HEH105)+
* QH105*((-A19)*A7*(S8*U(2)/B2)-A14*(-A9)*A7*
* (S8*U(2)/B2)))*B21
* -2.*(YM(6)-PEL201)*A(5)*((S8*U(5)/B2)*(HFH201-HEH201)+

```

* QH201*((-A19)*A7*(S8*U(5)/B2)-A14*(-A9)*A7*
 * (S8*U(5)/B2)))*B21
 QA(9)=-2.*(YM(3)-PEL105)*A(5)*((S9*X(1)/B2)*(HFH105-HEH105)+
 * QH105*((-A19)*A7*(S9*X(1)/B2)-A14*(-A9)*A7*
 * (S9*X(1)/B2)))*B21
 * -2.*(YM(6)-PEL201)*A(5)*((S9*X(3)/B2)*(HFH201-HEH201))+
 * QH201*((-A19)*A7*(S9*X(3)/B2)-A14*(-A9)*A7*
 * (S9*X(3)/B2)))*B21

C

QXA(1,4)=-2.*(-DP1105)*QL105*(HFL105-A23)*B21
 QXA(3,4)=-2.*(-DP1201)*QL201*(HFL201-A23)*B21
 QXA(2,4)=-2.*((-DP2105)*QL105*(HFL105-A23)+(YM(3)-PEL105)*
 * ((A1/B2)*(HFL105-A23)+QL105*(-A17)))*B21
 QXA(4,4)=-2.*((-DP2201)*QL201*(HFL201-A23)+(YM(6)-PEL201)*
 * ((A1/B2)*(HFL201-A23)+QL201*(-A17)))*B21
 QXA(1,5)=2.*(DP1105*QH105*(HFH105-HEH105)+(YM(3)-PEL105)
 * *(DQH105*(HEH105-HFH105)+ QH105*(A14*(-A9)*A7*DQH105+
 * (-A19)*A7*DQH105))*B21
 QXA(3,5)=2.*(DP1201*QH201*(HFH201-HEH201)+(YM(6)-PEL201)
 * *(DQH201*(HEH201-HFH201)+ QH201*(A14*(-A9)*A7*DQH201+
 * (-A19)*A7*DQH201))*B21
 QXA(2,5)=2.*(DP2105*QH105*(HFH105-HEH105)+(YM(3)-PEL105)*QH105
 * *(A14*A10-A15))*B21
 QXA(4,5)=2.*(DP2201*QH201*(HFH201-HEH201)+(YM(6)-PEL201)*QH201
 * *(A14*A10-A15))*B21
 QXA(1,7)=-2.*(YM(3)-PEL105)*A(5)*(DQH105*((-A19)*A7*(S7/B2)
 * -A14*(-A9)*A7*(S7/B2))- (S7/B2)
 * *(A14*(-A9)*A7*DQH105+A19*A7*DQH105))*B21+2.*A(5)*((S7/B2)
 * *(HFH105-HEH105)+QH105*((-A19)*A7*(S7/B2)
 * -A14*(-A9)*A7*(S7/B2)))*B21*DP1105
 QXA(1,8)=-2.*(YM(3)-PEL105)*A(5)*(DQH105*((-A19)*A7*(S8*U(2)/B2)
 * -A14*(-A9)*A7*(S8*U(2)/B2))- (S8*U(2)/B2)
 * *(A14*(-A9)*A7*DQH105+A19*A7*DQH105))*B21+2.*A(5)*((S8*U(2)/B2)
 * *(HFH105-HEH105)+QH105*((-A19)*A7*(S8*U(2)/B2)
 * -A14*(-A9)*A7*(S8*U(2)/B2)))*B21*DP1105
 QXA(1,9)=-2.*(YM(3)-PEL105)*A(5)*(DQH105*((-A19)*A7*(S9*X(1)/B2)
 * -A14*(-A9)*A7*(S9*X(1)/B2))- (S9*X(1)/B2)
 * *(A14*(-A9)*A7*DQH105+A19*A7*DQH105))*B21+2.*A(5)*((S9*X(1)/B2)
 * *(HFH105-HEH105)+QH105*((-A19)*A7*(S9*X(1)/B2)
 * -A14*(-A9)*A7*(S9*X(1)/B2)))*B21*DP1105
 QXA(2,7)=-2.*(YM(3)-PEL105)*A(5)*(-S7/B2)
 * *(A10*A14-A15)*B21)+2.*DP2105*A(5)*((S7/B2)
 * *(HFH105-HEH105)+QH105*((-A19)*A7*(S7/B2)
 * -A14*(-A9)*A7*(S7/B2)))*B21
 QXA(2,8)=-2.*(YM(3)-PEL105)*A(5)*(-S8*U(2)/B2)
 * *(A10*A14-A15)*B21)+2.*DP2105*A(5)*((S8*U(2)/B2)
 * *(HFH105-HEH105)+QH105*((-A19)*A7*(S8*U(2)/B2)
 * -A14*(-A9)*A7*(S8*U(2)/B2)))*B21
 QXA(2,9)=-2.*(YM(3)-PEL105)*A(5)*(-S9*X(1)/B2)
 * *(A10*A14-A15)*B21)+2.*DP2105*A(5)*((S9*X(1)/B2)
 * *(HFH105-HEH105)+QH105*((-A19)*A7*(S9*X(1)/B2)
 * -A14*(-A9)*A7*(S9*X(1)/B2)))*B21
 QXA(3,10)=-2.*(YM(6)-PEL201)*A(5)*(DQH201*((-A19)*A7*(S10/B2)
 * -A14*(-A9)*A7*(S10/B2))- (S10/B2)
 * *(A14*(-A9)*A7*DQH201+A19*A7*DQH201))*B21+2.*A(5)*((S10/B2)
 * *(HFH201-HEH201)+QH201*((-A19)*A7*(S10/B2)
 * -A14*(-A9)*A7*(S10/B2)))*B21*DP1105
 QXA(3,8)=-2.*(YM(6)-PEL201)*A(5)*(DQH201*((-A19)*A7*(S8*U(5)/B2)
 * -A14*(-A9)*A7*(S8*U(5)/B2))- (S8*U(5)/B2)
 * *(A14*(-A9)*A7*DQH201+A19*A7*DQH201))*B21+2.*A(5)*((S8*U(5)/B2)
 * *(HFH201-HEH201)+QH201*((-A19)*A7*(S8*U(5)/B2)
 * -A14*(-A9)*A7*(S8*U(5)/B2)))*B21*DP1201
 QXA(3,9)=-2.*(YM(6)-PEL201)*A(5)*(DQH201*((-A19)*A7*(S9*X(3)/B2)
 * -A14*(-A9)*A7*(S9*X(3)/B2))- (S9*X(3)/B2)

$$\begin{aligned}
& * * (A14 * (-A9) * A7 * DOH201 + A19 * A7 * DOH201) * B21 + 2 * A(5) * ((S9 * X(3) / B2) \\
& * * (HFH201 - HEH201) + QH201 * ((-A19) * A7 * (S9 * X(3) / B2) \\
& * -A14 * (-A9) * (S9 * X(3) / B2)) * B21 * DP1201 \\
& QXA(4, 10) = -2 * (YM(6) - PEL201) * (A(5) * (-S10 / B2) \\
& * * (A10 * A14 - A15) * B21) + 2 * DP2201 * A(5) * ((S10 / B2) \\
& * * (HFH201 - HEH201) + QH201 * ((-A19) * A7 * (S10 / B2) \\
& * -A14 * (-A9) * A7 * (S10 / B2)) * B21 \\
& QXA(4, 8) = -2 * (YM(6) - PEL201) * (A(5) * (-S8 * U(5) / B2) \\
& * * (A10 * A14 - A15) * B21) + 2 * DP2201 * A(5) * ((S8 * U(5) / B2) \\
& * * (HFH201 - HEH201) + QH201 * ((-A19) * A7 * (S8 * U(5) / B2) \\
& * -A14 * (-A9) * A7 * (S8 * U(5) / B2)) * B21 \\
& QXA(4, 9) = -2 * (YM(6) - PEL201) * (A(5) * (-S9 * X(3) / B2) \\
& * * (A10 * A14 - A15) * B21) + 2 * DP2201 * A(5) * ((S9 * X(3) / B2) \\
& * * (HFH201 - HEH201) + QH201 * ((-A19) * A7 * (S9 * X(3) / B2) \\
& * -A14 * (-A9) * A7 * (S9 * X(3) / B2)) * B21
\end{aligned}$$

C

$$\begin{aligned}
& QAA(7, 4) = 2 * (A(5) * ((S7 / B2) * (HFH105 - HEH105) + QH105 * ((-A19) * A7 * \\
& * (S7 / B2) - A14 * (-A9) * A7 * (S7 / B2))) * B21 * QL105 * (HFL105 - A23) * B21 \\
& QAA(10, 4) = 2 * (A(5) * ((S10 / B2) * (HFH201 - HEH201) + QH201 * ((-A19) * A7 * \\
& * (S10 / B2) - A14 * (-A9) * A7 * (S10 / B2))) * B21 * Q1201 * (HFL201 - A23) * B21 \\
& QAA(8, 4) = 2 * (A(5) * ((S8 * U(2) / B2) * (HFH105 - HEH105) + QH105 * ((-A19) * A7 * \\
& * (S8 * U(2) / B2) - A14 * (-A9) * A7 * (S8 * U(2) / B2))) * B21 * QL105 * (HFL105 - A23) \\
& * * B21 + 2 * (A(5) * ((S8 * U(5) / B2) * (HFH201 - HEH201) + QH201 * ((-A19) * A7 * \\
& * (S8 * U(5) / B2) - A14 * (-A9) * A7 * (S8 * U(5) / B2))) * B21 * QL201 * \\
& * (HFL201 - A23) * B21 \\
& QAA(9, 4) = 2 * (A(5) * ((S9 * X(1) / B2) * (HFH105 - HEH105) + QH105 * ((-A19) * A7 * \\
& * (S9 * X(1) / B2) - A14 * (-A9) * A7 * (S9 * X(1) / B2))) * B21 * QL105 * (HFL105 - A23) \\
& * * B21 + 2 * (A(5) * ((S9 * X(3) / B2) * (HFH201 - HEH201) + QH201 * ((-A19) * A7 * \\
& * (S9 * X(3) / B2) - A14 * (-A9) * A7 * (S9 * X(3) / B2))) * B21 * QL201 * \\
& * (HFL201 - A23) * B21 \\
& QAA(8, 5) = 2 * (A(5) * (QH105 * ((-A19) * A7 * (S8 * U(2) / B2) - A14 * (-A9) * A7 * \\
& * (S8 * U(2) / B2)) + (S8 * U(2) / B2) * (HFH105 - HEH105)) * B21 * QH105 * (HFH105 - \\
& * HEH105) * B21 - 2 * (YM(3) - PEL105) * ((S8 * U(2) / B2) * (HFH105 - HEH105) \\
& * + QH105 * ((-A19) * A7 * (S8 * U(2) / B2) - A14 * (-A9) * A7 * (S8 * U(2) / B2))) * B21 \\
& * + 2 * (A(5) * (QH201 * ((-A19) * A7 * (S8 * U(5) / B2) - A14 * (-A9) * A7 * \\
& * (S8 * U(5) / B2)) + (S8 * U(5) / B2) * (HFH201 - HEH201)) * B21 * QH201 * (HFH201 - \\
& * HEH201) * B21 - 2 * (YM(6) - PEL201) * ((S8 * U(5) / B2) * (HFH201 - HEH201) \\
& * + QH201 * ((-A19) * A7 * (S8 * U(5) / B2) - A14 * (-A9) * A7 * (S8 * U(5) / B2))) * B21 \\
& QAA(9, 5) = 2 * (A(5) * (QH105 * ((-A19) * A7 * (S9 * X(1) / B2) - A14 * (-A9) * A7 * \\
& * (S9 * X(1) / B2)) + (S9 * X(1) / B2) * (HFH105 - HEH105)) * B21 * QH105 * (HFH105 - \\
& * HEH105) * B21 - 2 * (YM(3) - PEL105) * ((S9 * X(1) / B2) * (HFH105 - HEH105) \\
& * + QH105 * ((-A19) * A7 * (S9 * X(1) / B2) - A14 * (-A9) * A7 * (S9 * X(1) / B2))) * B21 \\
& * + 2 * (A(5) * (QH201 * ((-A19) * A7 * (S9 * X(3) / B2) - A14 * (-A9) * A7 * \\
& * (S9 * X(3) / B2)) + (S9 * X(3) / B2) * (HFH201 - HEH201)) * B21 * QH201 * (HFH201 - \\
& * HEH201) * B21 - 2 * (YM(6) - PEL201) * ((S9 * X(3) / B2) * (HFH201 - HEH201) \\
& * + QH201 * ((-A19) * A7 * (S9 * X(3) / B2) - A14 * (-A9) * A7 * (S9 * X(3) / B2))) * B21 \\
& QAA(7, 5) = 2 * (A(5) * (QH105 * ((-A19) * A7 * (S7 / B2) - A14 * (-A9) * A7 * \\
& * (S7 / B2)) + (S7 / B2) * (HFH105 - HEH105)) * B21 * QH105 * (HFH105 - HEH105) * \\
& * B21 - 2 * (YM(3) - PEL105) * ((S7 / B2) * (HFH105 - HEH105) + QH105 * ((-A19) * A7 * \\
& * (S7 / B2) - A14 * (-A9) * A7 * (S7 / B2))) * B21 \\
& QAA(10, 5) = 2 * (A(5) * (QH201 * ((-A19) * A7 * (S10 / B2) - A14 * (-A9) * A7 * \\
& * (S10 / B2)) + (S7 / B2) * (HFH201 - HEH201)) * B21 * QH201 * (HFH201 - HEH201) * \\
& * B21 - 2 * (YM(6) - PEL201) * ((S10 / B2) * (HFH201 - HEH201) + QH201 * ((-A19) * A7 * \\
& * (S10 / B2) - A14 * (-A9) * A7 * (S10 / B2))) * B21 \\
& QAA(4, 4) = +2 * (-QL105 * (HFL105 - A23) * B21) ** 2 \\
& * + 2 * (-QL201 * (HFL201 - A23) * B21) ** 2 \\
& QAA(5, 5) = +2 * (QH105 * (HFH105 - HEH105) * B21) ** 2 \\
& * + 2 * (QH201 * (HFH201 - HEH201) * B21) ** 2 \\
& QAA(5, 4) = -2 * (-QH105 * (HFH105 - HEH105) * B21) * QL105 * (HFL105 - A23) * B21 \\
& * - 2 * (-QH201 * (HFH201 - HEH201) * B21) * QL201 * (HFL201 - A23) * B21 \\
& QAA(7, 7) = 2 * (((S7 / B2) * (HFH105 - HEH105) + QH105 * ((-A19) * A7 * (S7 / B2) - \\
& * A14 * (-A9) * A7 * (S7 / B2))) * B21) ** 2 \\
& * - B21 * 2 * (YM(3) - PEL105) * A(5) * ((S7 / B2) * ((-A19) \\
& * * A7 * (S7 / B2) - A14 * (-A9) * A7 * (S7 / B2)))
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned} QAA(8,7) &= 2. * (A(5) * ((S8*U(2)/B2) * (HFH105 - HEH105) + QH105 * ((-A19) * A7 * \\ &* (S8*U(2)/B2) - A14 * (-A9) * A7 * (S8*U(2)/B2))) * B21) * (A(5) * ((S7/B2) * \\ &* (HFH105 - HEH105) + QH105 * ((-A19) * A7 * (S7/B2) - A14 * (-A9) * A7 * (S7/B2))) * \\ &* B21) - 2. * (YM(3) - PEL105) * ((S7/B2) * A(5) * ((-A19) * A7 * (S8*U(2)/B2) - A14 \\ &* (-A9) * A7 * (S8*U(2)/B2))) + (S8*U(2)/B2) * ((-A19) * A7 * (S7/B2) \\ &* -A14 * (-A9) * A7 * (S7/B2))) * B21 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} QAA(8,8) &= 2. * (A(5) * ((S8*U(2)/B2) * (HFH105 - HEH105) + QH105 * ((-A19) * A7 \\ &* (S8*U(2)/B2) - A14 * (-A9) * A7 * (S8*U(2)/B2))) * B21) * * 2 \\ &* -2. * (YM(3) - PEL105) * (A(5) * ((S8*U(2)/B2) * ((-A19) * A7 * (S8*U(2)/B2) - \\ &* A14 * (-A9) * A7 * (S8*U(2)/B2))) * B21) * * 2) \\ &* + 2. * (A(5) * ((S8*U(5)/B2) * (HFH201 - HEH201) + QH201 * ((-A19) * A7 \\ &* (S8*U(5)/B2) - A14 * (-A9) * A7 * (S8*U(5)/B2))) * B21) * * 2 \\ &* -2. * (YM(6) - PEL201) * (A(5) * ((S8*U(5)/B2) * ((-A19) * A7 * (S8*U(5)/B2) - \\ &* A14 * (-A9) * A7 * (S8*U(5)/B2))) * B21) * * 2) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} QAA(9,7) &= 2. * (A(5) * ((S9*X(1)/B2) * (HFH105 - HEH105) + QH105 * ((-A19) * A7 * \\ &* (S9*X(1)/B2) - A14 * (-A9) * A7 * (S9*X(1)/B2))) * B21) * (A(5) * ((S7/B2) * \\ &* (HFH105 - HEH105) + QH105 * ((-A19) * A7 * (S7/B2) - A14 * (-A9) * A7 * (S7/B2))) * \\ &* B21) - 2. * (YM(3) - PEL105) * ((S7/B2) * ((-A19) * A7 * (S9*X(1)/B2) - A14 * \\ &* (-A9) * A7 * (S9*X(1)/B2))) * A(5) + (S9*X(1)/B2) * ((-A19) * A7 * (S7/B2) \\ &* -A14 * (-A9) * A7 * (S7/B2))) * B21 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} QAA(9,8) &= 2. * (A(5) * ((S8*U(2)/B2) * (HFH105 - HEH105) + QH105 * ((-A19) * A7 * \\ &* (S8*U(2)/B2) - A14 * (-A9) * A7 * (S8*U(2)/B2))) * B21) * (A(5) * ((S9*X(1)/B2) * \\ &* (HFH105 - HEH105) + QH105 * ((-A19) * A7 * (S9*X(1)/B2) - A14 * (-A9) * A7 * \\ &* (S9*X(1)/B2))) * B21) - 2. * (YM(3) - PEL105) * ((S9*X(1)/B2) * ((-A19) * A7 * \\ &* (S8*U(2)/B2) - A14 * (-A9) * A7 * (S8*U(2)/B2))) * A(5) + (S8*U(2)/B2) * \\ &* ((-A19) * A7 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} &* (S9*X(1)/B2) - A14 * (-A9) * A7 * (S9*X(1)/B2))) * B21 \\ &* + 2. * (A(5) * ((S8*U(5)/B2) * (HFH201 - HEH201) + QH201 * ((-A19) * A7 * \\ &* (S8*U(5)/B2) - A14 * (-A9) * A7 * (S8*U(5)/B2))) * B21) * (A(5) * ((S9*X(3)/B2) * \\ &* (HFH201 - HEH201) + QH201 * ((-A19) * A7 * (S9*X(3)/B2) - A14 * (-A9) * A7 * \\ &* (S9*X(3)/B2))) * B21) - 2. * (YM(6) - PEL201) * ((S9*X(3)/B2) * A(5) * \\ &* ((-A19) * A7 * \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} &* (S8*U(5)/B2) - A14 * (-A9) * A7 * (S8*U(5)/B2))) + (S8*U(5)/B2) * ((-A19) * A7 \\ &* (S9*X(3)/B2) - A14 * (-A9) * A7 * (S9*X(3)/B2))) * B21 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} QAA(9,9) &= 2. * (A(5) * ((S9*X(1)/B2) * (HFH105 - HEH105) + QH105 * ((-A19) * A7 \\ &* (S9*X(1)/B2) - A14 * (-A9) * A7 * (S9*X(1)/B2))) * B21) * * 2 \\ &* -2. * (YM(3) - PEL105) * (A(5) * ((S9*X(1)/B2) * ((-A19) * A7 * (S9*X(1)/B2) - \\ &* A14 * (-A9) * A7 * (S9*X(1)/B2))) * B21) * * 2) \\ &* + 2. * (A(5) * ((S9*X(3)/B2) * (HFH201 - HEH201) + QH201 * ((-A19) * A7 \\ &* (S9*X(3)/B2) - A14 * (-A9) * A7 * (S9*X(3)/B2))) * B21) * * 2 \\ &* -2. * (YM(6) - PEL201) * (A(5) * ((S9*X(3)/B2) * ((-A19) * A7 * (S9*X(3)/B2) - \\ &* A14 * (-A9) * A7 * (S9*X(3)/B2))) * B21) * * 2) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} QAA(10,8) &= 2. * (A(5) * ((S8*U(5)/B2) * (HFH201 - HEH201) + QH201 * ((-A19) * A7 * \\ &* (S8*U(5)/B2) - A14 * (-A9) * A7 * (S8*U(5)/B2))) * B21) * (A(5) * ((S10/B2) * \\ &* (HFH201 - HEH201) + QH201 * ((-A19) * A7 * (S10/B2) - A14 * (-A9) * A7 * (S10/B2))) \\ &* * B21) - 2. * (YM(6) - PEL201) * A(5) * \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} &* ((S10/B2) * ((-A19) * A7 * (S8*U(5)/B2) - A14 * \\ &* (-A9) * A7 * (S8*U(5)/B2))) + (S8*U(5)/B2) * ((-A19) * A7 * (S10/B2) \\ &* -A14 * (-A9) * A7 * (S10/B2))) * B21 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} QAA(10,9) &= 2. * (A(5) * ((S9*X(3)/B2) * (HFH201 - HEH201) + QH201 * ((-A19) * A7 * \\ &* (S9*X(3)/B2) - A14 * (-A9) * A7 * (S9*X(3)/B2))) * B21) * (A(5) * ((S10/B2) * \\ &* (HFH201 - HEH201) + QH201 * ((-A19) * A7 * (S10/B2) - A14 * (-A9) * A7 * (S10/B2))) \\ &* * B21) - 2. * (YM(6) - PEL201) * A(5) \\ &* ((S10/B2) * ((-A19) * A7 * (S9*X(3)/B2) - A14 * \\ &* (-A9) * A7 * (S9*X(3)/B2))) + (S9*X(3)/B2) * ((-A19) * A7 * (S10/B2) \\ &* -A14 * (-A9) * A7 * (S10/B2))) * B21 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} QAA(10,10) &= 2. * ((S10/B2) * (HFH201 - HEH201) + QH201 * ((-A19) * A7 \\ &* (S10/B2) - A14 * (-A9) * A7 * (S10/B2))) * B21) * * 2 \\ &* -B21 * 2. * (YM(6) - PEL201) * A(5) * \\ &* ((S10/B2) * ((-A19) * A7 * (S10/B2) - A14 * (-A9) * A7 * (S10/B2))) \end{aligned}$$

c

$$QXX(1,1) = 2. + 2. * (DP1105 * * 2 + (YM(3) - PEL105) * A(5) * 2. * (DQH105 * (A14 \\ * (-A9) * A7 * DQH105 + A19 * A7 * DQH105))) * B21)$$

$$QXX(3,3) = 2. + 2. * (DP1201 * * 2 + (YM(6) - PEL201) * A(5) * 2. * (DQH201 * (A14$$

```
* *(-A9)*A7*DQH201+A19*A7*DQH201))*B21)
QXX(2,1)=2.*DP2105*DP1105+2.*(YM(3)-PEL105)*A(5)*DQH105*(A14*A10-
* A15)*B21
QXX(4,3)=2.*DP2201*DP1201+2.*(YM(6)-PEL201)*A(5)*DQH201*(A14*A10-
* A15)*B21
QXX(2,2)=2.+2.*DP2105**2-2.*(YM(3)-PEL105)*A(4)*((A1/B2)*(-A17)
* *2.)*B21
QXX(4,4)=2.+2.*DP2201**2-2.*(YM(6)-PEL201)*A(4)*((A1/B2)*(-A17)
* *2.)*B21
```

C

RETURN

C

END

C

C

COMPILATION: NO DIAGNOSTICS.