



LUND UNIVERSITY

Dead Beat reglering av värmestaven

Holst, Jan

1972

Document Version:
Förlagets slutgiltiga version

[Link to publication](#)

Citation for published version (APA):
Holst, J. (1972). *Dead Beat reglering av värmestaven*. (Technical Reports TFRT-7043). Department of Automatic Control, Lund Institute of Technology (LTH).

Total number of authors:
1

General rights

Unless other specific re-use rights are stated the following general rights apply:
Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.

- Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
- You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain
- You may freely distribute the URL identifying the publication in the public portal

Read more about Creative commons licenses: <https://creativecommons.org/licenses/>

Take down policy

If you believe that this document breaches copyright please contact us providing details, and we will remove access to the work immediately and investigate your claim.

LUND UNIVERSITY

PO Box 117
221 00 Lund
+46 46-222 00 00

DEAD BEAT REGLERING AV VÄRMESTAVEN

J. HOLST

Report 7206 (C) december 1972
Lund Institute of Technology
Division of Automatic Control

DEAD BEAT REGLERING AV VÄRMESTAVEN.

J. Holst

SAMMANFATTNING.

I denna rapport redovisas resultaten av ett antal dead beat II experiment på värmestaven. Processen beskrives dels med en differensapproximation av andra eller fjärde ordningen, dels med en ML-identifierad modell, vilken också är av fjärde ordningen. Experimenten har utförts med samplingsintervallen 60 och 120 sek. Man finner att regulatorer baserade på de båda fjärdeordningsmodellerna förmår styra systemets utsignaltill önskad nivå på den tid som teorin anger för båda samplingsintervallen, medan det återkopplade systemet med andraordningsregulatorn blir instabilt då man arbetar med det kortare samplingsintervallet.

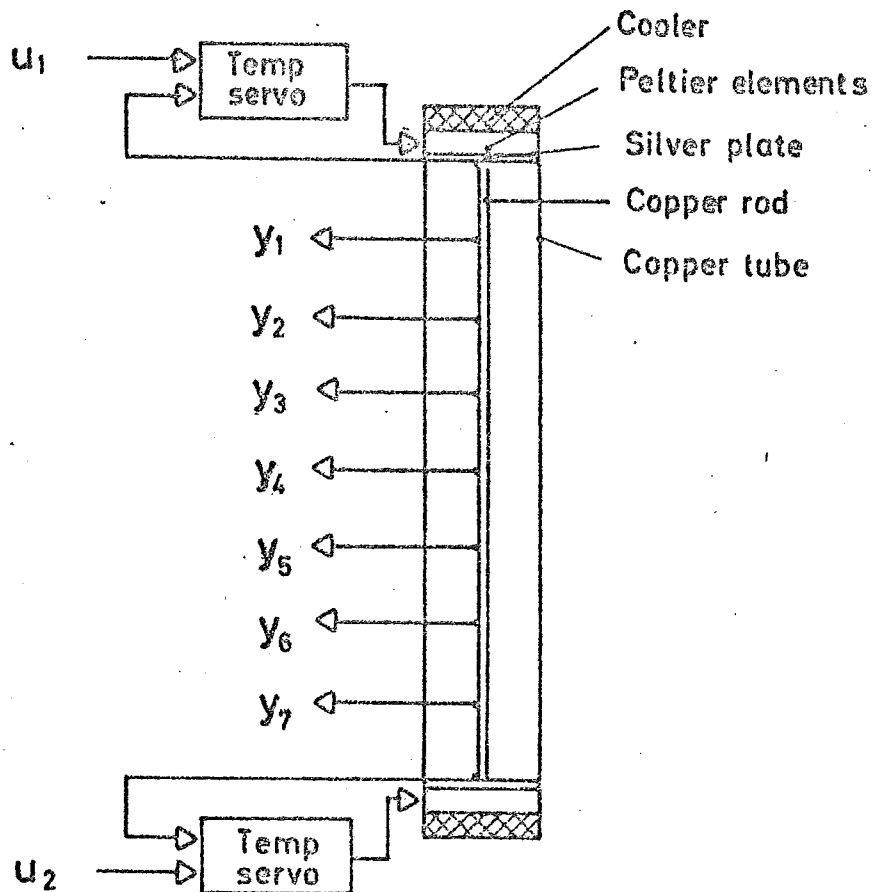
INNEHÅLLSFÖRTECKNING.

	<u>Sida</u>
1. INLEDNING	1
2. DEAD BEAT REGLERING	4
2.1. Dead beat I reglering	4
2.2. Dead beat II reglering	5
2.2.1. Regulatorbestämning	5
2.2.2. Tidsfördröjning i regulatorn	9
3. MODELLER FÖR DEN FYSIKALISKA PROCESSEN	11
3.1. Ändligtdimensionella representationer av processen	13
3.1.1. Approximation i överförings- funktionen	13
3.1.2. Approximation i differential- ekvationen	14
4. PROGRAMMERING	16
4.1. Programmering för dead beat II	16
4.1.1. Sampling av det kontinuerliga systemet	16
4.1.2. Beräkning av regulatorn	17
4.1.3. Regulatorrutiner	17
4.1.4. Bestämning av regulatorns ini- tialtillstånd givet gamla in- och utsignaler	19
4.2. Programmering för dead beat I	20
5. STYREXPERIMENT	21
5.1. Allmänna experimentvillkor	21
5.2. Styrexperiment med 120 sek samplings- intervall	22
5.3. Styrexperiment med 60 sek samplings- intervall	25
6. PLANER FÖR FORTSÄTTA EXPERIMENT	30
7. REFERENSER	31
APPENDIX 1: Systemmodeller och dead beat II regulatorer	
APPENDIX 2: Programlistningar	

1. INLEDNING.

I denna rapport kommer realtidsstyrning på dator med dead beat regulator av en värmediffusionsprocess att behandlas.

Denna består av en rak, homogen kopparstav, innesluten i ett hölje av koppar, vilket i sin tur är värmeisolerat. Stav och hölje står i termisk kontakt varför man får ett så gott som endimensionellt värmefflöde i staven. För att kunna styra dess temperatur har till båda ändarna anslutits ett Peltierelement. Längs staven finns möjlighet att mäta temperaturen i nio ekvidistanta punkter, av vilka två ligger i ändytorna. Ett blockschema för processen ges i figur 1.1.



Figur 1.1 - Ett blockschema för värmestaven.

Till datorn kan man alltså ta in nio mätsignaler, av vilka sju kan betraktas som systemets utsignaler och från datorn kan man ställa ut två styrsignaler, en till vardera Peltierelementet. Mellan den stationära temperaturen hos Peltierelementet eller temperaturen i mät-punkten på staven T ($^{\circ}\text{C}$) och in- resp. utspänningen u (V) råder sambandet

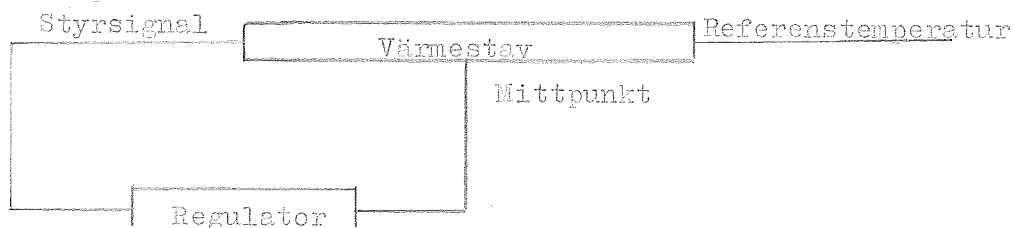
$$u = K (T - 25),$$

där $K = 1 \text{ V}/^{\circ}\text{C}$. Kylvattentemperaturen tjänstgör som referenstemperatur ($= 25^{\circ}\text{C}$) och processen arbetar i intervallet $20^{\circ}\text{C} - 30^{\circ}\text{C}$. En detaljerad beskrivning av processen ges i [4] och [5].

Processen regleras med en dead beat regulator, dvs vi strävar efter att styra processens temperatur i vissa punkter, processens tillstånd, (dead beat I) eller dess utsignal (dead beat II) till ett uppgivet värde så fort som möjligt [8].

Ett antal dead beat II experiment har utförts. Regulatorn har kodats i FORTRAN och implementerats på EDP-15 under operativsystemet KM-15.

I rapporten kommer först teorin för dead beat reglering att kort presenteras, kapitel 2. Olika matematiska beskrivningar av den fysikaliska processen tas upp till behandling i kapitel tre. Utgående från värmeledningsekvationen presenteras ett antal sätt att överföra dess oändligtdimensionella beskrivning till ändligt antal dimensioner.



Figur 1.2 - Blockschema för de gjorda experimenten.

I kapitel fyra avhandlas programmeringsbehov och skrivna program. De gjorda dead beat II experimenten presenteras i kapitel fem. Vid dessa har stavens högra ände hållits på referenstemperatur, processens insignal har varit temperaturen i vänstra ändpunkten och mittpunktstemperaturen dess utsignal. En principskiss av experimentorganisationen ges i figur 1.2.

Planer och riktlinjer för fortsatta experiment behandlas i kapitel sex, och slutligen ges i appendix 1 de använda modellerna för staven liksom också de använda regulatorerna och i appendix 2 en del programlistningar.

2. DEAD BEAT REGLERING.

I detta kapitel kommer de båda dead beat regulatorerna att kort presenteras. Avsnitt 2.1 ger dead beat I regulatorn och 2.2 dead beat II regulatorn.

Vi kan betrakta dead beat II regulatorn som en minimal varians regulator då störningen på systemet modelleras med vitt brus. Utgående från detta behandlas i 2.2 också fallet då vi söker minimera variansen för utsignalen kring ett tidsberoende referensvärde. I 2.2 behandlas dessutom dead beat II regulatorn för det fall att regulatorn innehåller någon tidsfördröjning.

2.1. Dead beat I reglering.

Betrakta ett system på tillståndsform

$$\begin{aligned}x(t+1) &= \phi x(t) + \Gamma u(t) \quad ; \quad t=0,1,2\dots \\x(0) &= x_0 \neq 0\end{aligned}$$

där tillståndet $x(t)$ är en n -vektor medan vi antar att styrvariabeln $u(t)$ är en skalär. Dead beat I problemet är då:

Bestäm en styrlag $u(t) = f(x(t))$, sådan att $x(t) = 0$ för minsta möjliga t .

Problemet löses i [8] och man finner att styrlagen

$$u(t) = - (1 \ 0 \ \dots \ 0) (\phi^{-1}\Gamma \ \phi^{-2}\Gamma \ \dots \ \phi^{-n}\Gamma)^{-1} x(t)$$

för systemets tillstånd från ett godtyckligt tillstånd x_0 till noll på högst n steg under förutsättning att ϕ har invers och att systemet är styrbart, dvs $(\phi^{n-1}\Gamma \dots \Gamma)$ är regulär.

Är inte samtliga tillståndsvariabler mätbara måste de icke mätbara variablerna rekonstrueras ur de gjorda mätningarna. Tiden innan tillståndet blir noll ökar då med lika många tidssteg, som antalet tillståndsvariabler som skall rekonstrueras.

2.2. Dead beat II reglering

2.2.1. Regulatorbestämning

Vid dead beat II reglering beskriver vi processen med insignal-utsignal sambandet

$$A^x(q^{-1})y(t) = B^x(q^{-1})q^{-k}u(t) \quad \dots(2:1)$$

där vi har

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

$$B^x(q^{-1}) = b_0 + b_1q^{-1} + \dots + b_nq^{-n}$$

n är systemets ordning, k tidsfördröjningen i processen och q förskjutningsoperatoren, dvs $qy(t) = y(t+1)$.

Vi önskar bestämma $u(t)$ så att utsignalen blir noll så fort som möjligt. Eftersom det finns en ren tidsfördröjning på k steg i processen blir k en undre gräns för snabbheten. I [8] visas att om processen är minimumfas - dvs $B(q) = q^n B^x(q^{-1})$ har alla nollställen immanför enhetscirkeln - och om man känner $n-1$ gamla utsignalvärden och $n+k-1$ gamla insignalvärden kan man nollställa utsignalen efter k steg med regulatoren

$$u(t) = -\frac{G^x}{B^x F^x} y(t) \quad \dots(2:2)$$

där G^x och F^x bestämmas ur identiteten

$$1 = A^x F^x + q^{-k} G^x \quad \dots(2:3)$$

med

$$F^x = F_{k-1}^x(q^{-1}) = 1 + f_1q^{-1} + \dots + f_{k-1}q^{-k+1}$$

$$G^x = G_{n-1}^x(q^{-1}) = g_0 + g_1q^{-1} + \dots + g_{n-1}q^{-n+1}$$

Denna regulator kan också ses som en minimal varians regulator för systemet

$$A^x(q^{-1})y(t) = B^x(q^{-1})q^{-k}u(t) + \lambda C^x(q^{-1})e(t) \quad \dots(2:4)$$

där vi har A^x , B^x , n och k som ovan och (allmänt)

$$C^x(q^{-1}) = 1 + c_1q^{-1} + \dots + c_nq^{-n}$$

med $C^x(q^{-1})$ speciellt valt till 1. $e(t)$, $t = 0, 1, \dots$ är en följd lika fördelade oberoende $N(0, 1)$ stokastiska variabler, jfr [7]. I [7] ges också en metod att gå förbi kravet på minimumfas hos systemet.

Önskar man i stället styra processen (2:4) så att variansen för $(y(t) - y_{ref}(t))$, där $y_{ref}(t)$ är en deterministisk referenssignal, minimeras, får man på samma sätt som i [7]

$$y(t+k) - y_{ref}(t+k) = \lambda F^x e(t+k) + \frac{B^x F^x}{C^x} u(t) + \frac{G^x}{C^x} y(t) - y_{ref}(t+k),$$

där vi använt identiteten

$$C^x = A^x F^x_{k-1} + q^{-k} G^x_{n-1}$$

i stället för (2:3). Antar vi nu att systemet är minimumfas får vi

$$E(y(t+k) - y_{ref}(t+k))^2 = \lambda^2 E(F^x e(t+k))^2 + E(\frac{B^x F^x}{C^x} u(t) + \frac{G^x}{C^x} y(t) - y_{ref}(t+k))^2,$$

där den blandade termen försvinner eftersom $e(t+k), \dots, e(t+1)$ är oberoende av $y(t), y(t-1), \dots$ och $u(t), u(t-1), \dots$.

Följaktligen har vi

$$E(y(t+k) - y_{ref}(t+k))^2 \leq \lambda^2 E(F^x e(t+k))^2,$$

där likhet inträffar för insignalen

$$u(t) = - \frac{G^x}{B^x F^x} y(t) + \frac{G^x}{B^x F^x} y_{\text{ref}}(t+k), \text{ dvs}$$

$$u(t) - \frac{A^x}{B^x} y_{\text{ref}}(t+k) = - \frac{G^x}{B^x F^x} (y(t) - y_{\text{ref}}(t)) \quad \dots (2:5)$$

Man ser alltså att $u_{\text{ref}}(t) = A^x/B^x y_{\text{ref}}(t+k)$ genereras av ett dynamiskt system med B som karakteristiskt polynom. Tidsfördröjningen i processen (2:4) visar sig i att man måste känna referensutsignalen k steg framåt i tiden för att kunna bestämma u_{ref} .

Antag nu att systemet inte är minimumfas. Inför, på samma sätt som i [7] identiteten

$$C^x = A^x F_{n2+k-1}^x + q^{-k} B2^x G_{n-1}^x \quad \dots (2:6)$$

där $B^x = B1^x \cdot B2^x$ och $B2(q) = q^{n2} B2^x(q^{-1})$ har sina nollställen utanför eller på enhetscirkeln, medan $B1(q) = q^{n1} B1^x(q^{-1})$ har sina nollställen innanför enhetscirkeln. F_{n2+k-1}^x och G_{n-1}^x definieras som ovan. F_{n2+k-1}^x har alltså gradtalet $n2+k-1$.

Söker vi variansen för $y(t+k) - y_{\text{ref}}(t+k)$ blir resultatet

$$\begin{aligned} E(y(t+k) - y_{\text{ref}}(t+k))^2 &= E(\lambda F^x e(t+k))^2 + \\ &+ E(\frac{B^x F^x}{C^x} u(t) - \frac{A^x F^x}{C^x} y_{\text{ref}}(t+k) + \frac{B2^x G^x}{C^x} (y(t) - y_{\text{ref}}(t)))^2 + \\ &+ 2E((\lambda F^x e(t+k)) (\frac{B^x F^x}{C^x} u(t) - \frac{A^x F^x}{C^x} y_{\text{ref}}(t+k) + \\ &\quad + \frac{B2^x G^x}{C^x} (y(t) - y_{\text{ref}}(t)))). \end{aligned}$$

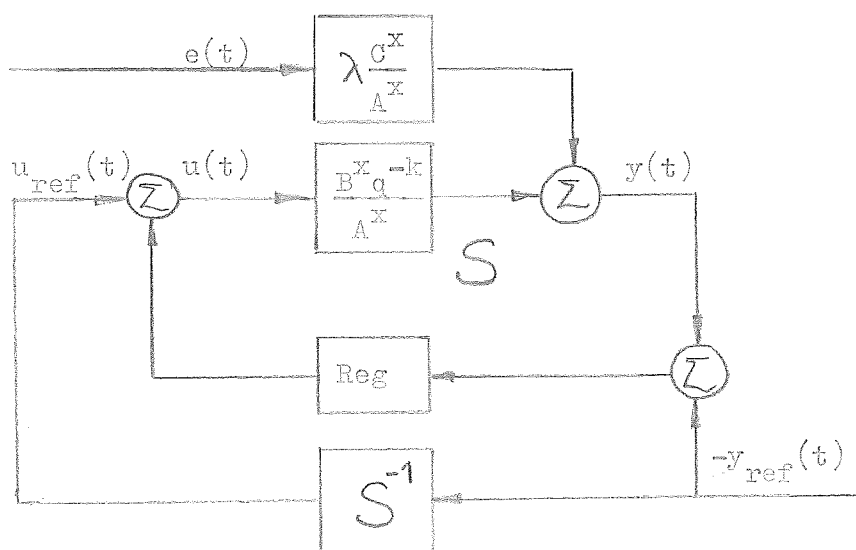
Vi noterar att produkttermen inte försvinner eftersom $F_{n2+k-1}^x(q^{-1})$ har gradtalet $n2+k-1$. Ett sätt att komma vidare, utan att göra anspråk på minimal varians, är att välja $u(t)$ så att såväl produkttermen som den kvadratiske termen innehållande $u(t)$ försvinner. Varians och insignal blir då (jämför [7])

$$E(y(t+k) - y_{\text{ref}}(t+k))^2 = \lambda^2 E(F_{n2+k-1}^x e(t+k))^2$$

$$u(t) - \frac{A^x}{B^x} y_{\text{ref}}(t+k) = - \frac{G^x}{B1^x F^x} (y(t) - y_{\text{ref}}(t+k)) \dots (2:7)$$

Vid behandlingen av icke-minimumfas fallet i [7] och [8] visas att en regulator med detta utseende ger ett asymptotiskt stabilt återkopplat system då $y_{\text{ref}}(t) \equiv 0$.

Figur 2.1 visar ett blockschema för det återkopplade systemet.



Figur 2.1 - Blockschema för det återkopplade systemet.

Genererandet av insignalreferensen kräver alltså för det första, att vi känner utsignalreferensen k steg framåt i tiden för att kompensera för tidsfördröjningen i processen. För det andra innebär bestämmandet av u_{ref} att vi skall finna en insignal, som när den sändes genom systemet, med lämpliga initialtillstånd, reproducerar $y_{\text{ref}}(t)$. Observera att vi måste beräkna $u_{\text{ref}}(t)$ i reell tid. Vi behöver alltså kunna invertera systemet. Emellertid, om $B(q)$ är ickeminimumfas kommer det inverterade systemet att vara instabilt. I figur 2.1 ovan existerar alltså inte S^{-1} .

Man kan då tänka sig att på något sätt approximera systemets invers, vilket t.ex. kan innebära att man begränsar sig till vissa typer av referensutsignaler. Väljer vi att enbart studera lågfrekventa signaler kan vi som approximativ systeminvers använda det inverterade värdet av statistiska förstärkningen. En referensinsignal

$$u_{\text{ref}} = \frac{1}{K} y_{\text{ref}}$$

där K är systemets statiska förstärkning ger, i stationaritet, utsignalen

$$y = K \frac{1}{K} y_{\text{ref}} = y_{\text{ref}}$$

Har vi slutligen inte noll som referensnivå för utsignalen utan ett konstant värde skilt från noll kommer vår insignal att bli exakt lika med utsignalreferensen dividerad med statiska förstärkningen. Vi kommer då inte i kontakt med inversionsproblemet. Formlerna (2:5) och (2:7) övergår i

$$u(t) - \frac{A^x(1)}{B^x(1)} y_{\text{ref}} = \text{Reg} (y(t) - y_{\text{ref}}(t)) \quad \dots(2:8)$$

$$\text{Reg} = - \frac{G^x}{B^x P^x} \quad \text{om } B \text{ är minimumfas}$$

$$\text{Reg} = - \frac{G^x}{B1^x P^x} \quad \text{om } B \text{ är ickenminimumfas.}$$

2.2.2. Tidsfördröjning i regulatorn.

I samtliga givna dead beat II regulatorer gäller

$$u(t) = f (y(t)).$$

En sådan regulator kan man använda då beräkningstiden är kort i förhållande till samplingsintervallet och då man har möjlighet att sätta ut signalen så snart den beräknats. Vill man i stället ha

$$u(t) = f (y(t-1))$$

kommer man enkelt fram till detta genom att göra en dead beat II regulator för systemet

$$A^x y(t) = B^x q^{-k-1} u_1(t),$$

vilket speciellt innebär att identiteten, ur vilken vi bestämmer F^x och G^x blir (minimumfas) .

$$1 = A \frac{B^x}{F_k^x} + q^{-k-1} G_{n-1}^x.$$

Vi får då

$$u_1(t) = f (y(t))$$

och sätter vi $u(t) = u_1(t-1)$, blir resultatet

$$u(t) = u_1(t-1) = -q^{-1} \frac{G^x}{B^x F_k^x} y(t).$$

Resonemanget här påverkas inte av systemets minimumfas-
ickeminimumfas egenskaper.

3. MODELLER FÖR DEN FYSIKALISKA PROCESSEN.

Vi antar att värmestaven är isolerad så att värmeledningen i radiell led är noll. Då får vi ett endimensionellt värmeledningsproblem, vilket kan beskrivas med värmeledningsekvationen

$$\rho c \frac{\partial}{\partial t} u(t, x) = \frac{\partial}{\partial x} \left(k \frac{\partial}{\partial x} u(t, x) \right)$$

$$u(t, x) = T(t, x) - T_0.$$

Här är $T(t, x)$ temperaturen i punkten x vid tiden t och T_0 omgivningens temperatur, vilken antas konstant. k , c och ρ är koppars värmeledningsförmåga, specifika värme resp. densitet.

Om vi antar att $k = k(u)$ endast varierar i ringa omfattning i det aktuella temperaturintervallet får vi

$$\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} = \frac{1}{a^2} \frac{\partial u}{\partial t} \quad ; \quad a^2 = \frac{k}{\rho c} \quad \text{koppars diffusionskonstant}$$

Normerar vi tiden med faktorn $\tau = l^2/a^2$, där l är stavens längd, till $t' = t/\tau$ övergår ekvationen i

$$\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} = \frac{1}{l^2} \frac{\partial u}{\partial t'}, \quad \dots (3:1)$$

vilken alltså inte innehåller några materialkonstanter.

Om vi antar att randvärderna ges av

$$u(t', 0) = u_1(t')$$

$$u(t', l) = 0$$

samt begynnelsevärdet av

$$u(0, x) = 0 \quad \forall x \in [0, l]$$

finner vi efter Laplacetransformering av randvillkor och differentialekvation överföringsfunktionen

$$G(s', x) = \frac{\sinh \frac{1-x}{1} \sqrt{s'}}{\sinh \sqrt{s'}}$$

från temperaturen i stavens vänstra ände till temperaturen i punkten x . Med residualkalkyl (t.ex.) visar man att överföringsfunktionen kan skrivas (se [2], [5], [10])

$$G(s', x) = 2\pi \sum_{k=1}^{\infty} (-)^{k+1} k \frac{\sin \frac{1-x}{1} \pi k}{s' + \pi^2 k^2} \quad 0 \leq x \leq 1 .$$

Går vi tillbaka till verklig tid t blir överföringsfunktionen

$$G(s, x) = 2\pi \sum_{k=1}^{\infty} (-)^{k+1} k \frac{1}{\tau} \frac{\sin \frac{1-x}{1} \pi k}{s + \pi^2 k^2 / \tau} \quad 0 \leq x \leq 1 .$$

Då vi är intresserade av att mäta temperaturen i stavens mittpunkt få vi överföringsfunktionen från stavens vänstra ände till mittpunkten

$$G(s, 1/2) = 2\pi \sum_{k=1}^{\infty} (-)^{k+1} k \frac{1}{\tau} \frac{\sin \frac{\pi}{2} k}{s + \pi^2 k^2 / \tau}$$

dvs hälften av stavens moder är ej observerbara eftersom $\sin \pi n = 0$ för heltalsvärden på n . Vi får alltså

$$G(s, 1/2) = \sum_{k=0}^{\infty} \frac{2 (-)^k}{(2k+1)\pi} \frac{1}{\frac{s \tau}{\pi^2 (2k+1)^2} + 1} . \quad \dots (3:2)$$

Den exakta överföringsfunktionen från ändpunkt till mittpunkt har alltså oändligt många poler i vänstra halvplanet.

3.1. Ändligtdimensionella representationer av processen.

För att kunna reglera processen måste vi kunna approximera dess oändligtdimensionella beskrivning med en ändligtdimensionell modell. Detta kan göras på åtminstone två sätt, endera genom att man approximerar överföringsfunktionen, vilket behandlas i 3.1.1., eller genom att man approximerar i differentialekvation, se 3.1.2.

I appendix 1 ges de använda modellerna.

3.1.1. Approximation i överföringsfunktionen

Önskar man approximera i överföringsfunktionen är den kanske enklaste varianten att avsluta summeringen av (3:2) efter ett ändligt antal termer och uppskatta resttermen med en konstant. Väljer man att söka bibehålla den exakta modellens egenskaper för låga frekvenser kommer man därmed också att få en sämre beskrivning av systemets snabba moder. Detta betyder att man t.ex. för ett stegsvar får en god approximation i slutet men en sämre i början av steget. Man kan t.ex. visa att det approximerade stegsvaret inte börjar i nollan (se [10]).

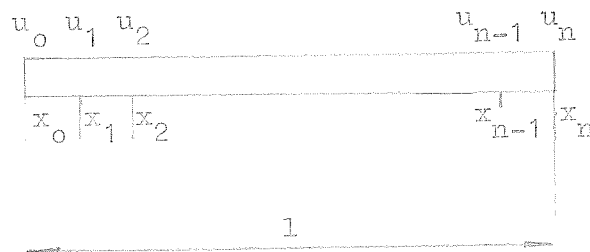
Gör man en identifiering av stavens dynamik, t.ex. med ML-metoder, kan man som resultat få en approximation av stavens överföringsfunktion med ett ändligt antal termer. En sådan modell ges i [6] (och i appendix 1) Den sampelade modell, vilken ligger bakom denna kontinuerliga ger residualer av storleksordningen 0.0005°C . Samplingsintervallet var 10 sekunder. Då detta vid dead beat experimenten är betydligt större, kan man vänta sig att denna modell väl beskriver de snabbaste moder, vi då kan se.

3.1.2. Approximation i differentialekvationen

I den ursprungliga partiella differentialekvationen (3:1)

$$\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} = \frac{1}{l^2} \frac{\partial u}{\partial t'}$$

gör vi en differensapproximation av andraderivatan efter x . Härvid indelas staven i n lika stora intervall med längden $h = l/n$ och vi betraktar enbart temperaturen i gitterpunkterna x_i , $i=0, \dots, n$. Inför nu $u_i(t) = u(t, x_i)$.



Figur 3.1 - Indelning av staven.

Gör man nu en central differensapproximation av x -derivatan får man i punkten x_i

$$\left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} \right)_{x_i} = \frac{u_{i+1} - 2u_i + u_{i-1}}{h^2},$$

varför värmeledningsekvationen övergår i systemet av ordinära differentialekvationer

$$\frac{du_i}{dt'} = n^2 (u_{i+1} - 2u_i + u_{i-1}); \quad i=1, \dots, (n-1)$$

Detta system kan vi representera på tillståndsform. Vi betraktar u_i , $i=1, \dots, (n-1)$ som systemets tillstånd, ändpunktstemperaturerna, u_0 och u_n , är systemets insignaler och stavens mittpunktstemperatur är dess utsignal. Vi skriver då

$$\frac{d}{dt'} \begin{bmatrix} u_1 \\ u_2 \\ \vdots \\ u_{n-1} \end{bmatrix} = n^2 \begin{bmatrix} -2 & 1 & 0 & \dots & 0 \\ 1 & -2 & 1 & 0 & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ 0 & \vdots & \vdots & \vdots & -2 & \vdots \end{bmatrix} \begin{bmatrix} u_1 \\ u_2 \\ \vdots \\ u_{n-1} \end{bmatrix} + n^2 \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 0 \\ \vdots & \vdots \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} u_0 \\ u_n \end{bmatrix}$$

$$y = \begin{bmatrix} 0 & \dots & 1 & \dots & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} u_1 \\ \vdots \\ u_{n-1} \end{bmatrix}$$

Överföringsfunktionen $G_n(s')$ från ena ändpunkten till mittpunkten hämtas från [10] till

$$G_4(s') = \frac{16^2}{(s'+9.38)(s'+54.62)}$$

$$G_8(s') = \frac{64^4}{(s'+9.74)(s'+79.01)(s'+176.90)(s'+246.26)}$$

Det är bara jämna n som är intressanta eftersom vi vill mäta stavens mittpunktstemperatur. Överföringsfunktionen är av ordning $n/2$ när vi har delat staven i n delar. Orsaken till detta är att bara varannan mod är observerbar, se ovan. Vi ser också att, till skillnad från den första approximationen i överföringsfunktionen, justeras läget av det approximerade systemets poler beroende på hur tät indelning man väljer att arbeta med.

4. PROGRAMMERING.

För att kunna utföra dead beat II experimenten på värmestaven måste man först sampla de givna kontinuerliga modellerna, därefter bilda dead beat regulatorerna och till sist formulera själva regulatorrutinen. Dessa olika deluppgifter behandlas i 4.1.1., 4.1.2. och 4.1.3.. Programbehovet för dead beat I behandlas i 4.2..

4.1. Programmering för dead beat II.

4.1.1. Sampling av det kontinuerliga systemet.

De kontinuerliga modeller för värmestaven, man här har att utgå från är alla givna som överföringsfunktioner från temperaturen i ena ändpunkten till temperaturen i stavens mittpunkt. Eftersom dead beat II regulatorn beräknas utgående från pulsöverföringsoperatorm för det samplade systemet behöves därför en rutin för att bilda denna utgående från det kontinuerliga systemets överföringsfunktion.

I rutinen HOFQ göres en representation av det kontinuerliga systemet på tillståndsform, varefter systemet samplas. Det så erhållna systemet överföres därefter på kanonisk form för att ge pulsöverföringsoperatorm.

Denna metod har fördelen att lätt klara av såväl multipla poler som komplexa sådana. Nackdelen med metoden är att den är numeriskt känslig beroende på den numeriska känsligheten hos companionrepresentationen av ett dynamiskt system.

Inget göres i rutinen för att undersöka det resulterande systemets styr- eller observerbarhetsegenskaper. Ej heller göres något för att undersöka det resulterande systemets stabilitet. Kommentarerhuvud ges i appendix 2.

Se också [9].

4.1.2. Beräkning av regulatorn.

Beräkning av dead beat II regulatorn utgående från systemets pulsöverföringsoperator kräver datorrutiner för polynombehandling. Man behöver således kunna göra stabilitetstest liksom polynompartitionering för att klara av minimumfas - icke minimumfas problemen. Man måste kunna lösa identiteten och göra polynommultiplikation för att beräkna regulatorn. Dessa rutiner liksom en on-line minimalvarians regulator har skrivits tillsammans med Ulf Borisson. En utförligare redovisning finns i [1].

4.1.3. Regulatorrutiner.

Regulatorn är implementerad på PDP-15 under operativsystemet KM-15. Under detta system finns ett program LOGGER, som gör det möjligt att periodiskt läsa av maskinens ingångar och sätta ut signaler till dess utgångar. Programmet är interaktivt och arbetar på fråga-svar basis. Användaren måste skriva fyra egna subrutiner, av vilka en tar in användarens egna data, LOGGS1, en annan utgör själva regulatorn, LOGGS2, en tredje avslutar datainsamlingen, LOGGS3, och slutligen en fjärde konverterar data till fysikaliska enheter. Listningar av egna program för dead beat II reglering finns i appendix 2. Vid de gjorda experimenten har det ursprungliga datakonverteringsprogrammet kunnat användas.

Programmet, där egna data specificeras, LOGGS1, är också interaktivt och skrivet på fråga-svar basis. Man har möjlighet att vid fel hoppa tillbaka till rutinens början. För kontroll av indata före experimentstarten skrives dessa ut på radskrivare.

Såväl en snabb som en långsam regulator, LOGGS2, har skrivits. I båda rutinerna representeras det dynamiska regulatorsystemet på observerbar kanonisk form.

Då den snabba regulatorn användes beräknas en ny styrsignal till processen utan att hänsyn tas till tidsfördröjningen i regulatorn. Styrsignalen sättes sedan ut vid nästa maskinsamplingsstillfälle. För att göra detta måste alltså periodtiden för loggprogrammet vara mycket kortare än samplingsintervallet vid processbeskrivningen.

I den långsamma regulatorn sättes inte den nya styrsignalen förrän vid nästa processamplingsstillfälle. Eftersom man vid varje maskinsamplingsstillfälle får nya data är det alltså intressant, i första hand i samband med den snabba regulatorn men även i den långsamma, att kunna spara endast relevanta data, då man annars riskerar att snabbt fylla skivan. Av denna anledning måste vid varje maskinsamplingsstillfälle antalet variabler som skall sparas specificeras.

Ytterligare två speciella egenskaper hos rutinerna skall nämnas. För det första kan man inte sätta ut mer än 5 V till staven, även om den beräknade styrsignalen blir större än 5 V. Detta kan man ta hänsyn till i regulatorn genom att justera tillståndet x_1 , som tillsammans med direktberoendet av insignalen ger utsignalen från regulatorsystemet, så att denna blir precis plus eller minus fem volt, och därefter uppdatera hela tillståndsvektorn.

För det andra, en förutsättning för att utsignalförändringen skall ske på k steg är att man känner regulatorsystemets tillståndsvektor då man börjar reglera. Gör man inte detta måste man i samband med regleringen också rekonstruera systemets tillstånd varför den nödvändiga tiden för att nå det nya värdet ökar med antalet tillstånd att rekonstruera. (En beräkning av regulatorns initialtillstånd då man känner gamla in- och utsignaler finns i 4.1.4.) I regulatorrutinerna kan båda fallen behandlas.

4.1.4. Bestämning av regulatorns initialtillstånd
givet gamla in- och utsignaler.

Processen är alltså given på observerbar form, dvs vi har

$$\begin{aligned} x(t+1) &= \begin{bmatrix} -a_1 & 1 & 0 & \dots & 0 \\ \vdots & & & & \\ -a_n & \dots & & & 0 \end{bmatrix} x(t) + \begin{bmatrix} b_1 \\ \vdots \\ b_n \end{bmatrix} u(t) \\ y(t+k) &= \begin{bmatrix} 1 & 0 & \dots & & 0 \end{bmatrix} x(t) + d u(t) \end{aligned}$$

Här är $k=0$ för den snabba regulatorn och $k=1$ för den långsamma. Endast $k=0$ och $k=1$ är alltså intressanta i detta sammanhang. Antag att vi vill bestämma $x(t+k)$ utgående från mätningar av ut- och insignal.

Vi har alltså

$$x_1(t) = y(t+k) - d u(t). \quad \dots(4:1)$$

Systemekvationen ger

$$\begin{aligned} x_{n-r}(t) &= -a_{n-r} x_1(t-1) + x_{n-r+1}(t-1) + b_{n-r} u(t-1) = \\ &= -a_{n-r} x_1(t-1) - a_{n-r+1} x_1(t-2) + x_{n-r+2}(t-2) + \\ &\quad + b_{n-r+1} u(t-2) + b_{n-r} u(t-1) = \dots = \\ &= -a_{n-r} x_1(t-1) - \dots - a_n x_1(t-r-1) + \\ &\quad + b_{n-r} u(t-1) + \dots + b_n u(t-r-1) \end{aligned}$$

Utnyttjar man här (4:1) får man, för $r = 0, \dots, n-2$

$$x_{n-r}(t) = \sum_{p=0}^r (-a_{n-p} y(t+k-r+p-1) + d a_{n-p} u(t-r+p-1) + b_{n-p} u(t-r+p-1))$$

Önskar man bestämma $x(t+1)$ får man iterera på systemekvationen en gång.

4.2. Programmering för dead beat I.

Liksom i dead beat II fallet måste systemet samplas, en dead beat I regulator beräknas och regulatorrutinen formuleras.

Sampling och beräkning av regulator under styrbarhets- test göres i ett program för UNIVAC 1108. Dead beat I regulatorer LOGGS1 och LOGGS2 för processen har skrivits men eftersom endast dead beat II experiment hittills utförts på värmestaven måste de skrivna regulatorerna betraktas som preliminära.

5. STYREXPERIMENT.

Ett tiotal experiment med långsam dead beat II reglering av värmestaven har gjorts. Syftet har i samtliga fall varit att lyfta stavens mittpunktstemperatur från noll (dvs. referenstemperatur, vilken härefter betraktas som noll) till ett värde skilt från noll. I tabell 5:1 sammanfattas de experiment, som bedömts vara intressanta.

Exp. nr	Reg. nr	Modell		Tsamp (sek)	Start- och Slutvärde		Känt initialvärde
1	R _A ¹²⁰	Teor	2	120	0.0	0.5	Nej
2	R _B ¹²⁰	Teor	4	120	0.0	0.5	Nej
3	R _C ¹²⁰	Id	4	120	0.0	0.5	Nej
4	R _A ¹²⁰	Teor	2	120	0.0	0.5	Ja
5	R _B ¹²⁰	Teor	4	120	0.0	0.5	Ja
6	R _C ¹²⁰	Id	4	120	0.0	0.5	Ja
7	R _A ⁶⁰	Teor	2	60	0.0	0.2	Ja
8	R _B ⁶⁰	Teor	4	60	0.0	0.2	Ja
9	R _C ⁶⁰	Id	4	60	0.0	0.2	Ja

Tabell 5:1 - Tabell över gjorda dead beat II experiment. I appendix 1 ges de olika regulatorerna.

5.1. Allmänna experimentvillkor.

Det värde på koppars diffusionskonstant, som använts är $1.17 \text{ m}^2/\text{sek}$, vilket erhöles genom strukturidentifiering på värmestaven utnyttjande två insignaler och mittpunktstemperaturen som utsignal. En närmare beskrivning av bakomliggande experiment liksom också av strukturidentifieringar på värmestaven då flera utsignaler använts för att bestämma diffusionskonstanten ges i [3].

Eftersom referensnivån för utsignalen inte är noll krävs det en insignal skild från noll för att hålla utsignalen på referenstemperatur. Vi vet att stavens stationära temperaturprofil är linjär varför vi alltså enkelt kan fastlägga att referensinsignalen måste vara dubbelt så stor som referensnivån för mittpunktstemperaturen.

Naturligtvis kan vi också utgå från (2:8). Då finner vi att eftersom systemets statiska förstärkning är $\frac{1}{2}$ blir $u_{\text{ref}} = 2 y_{\text{ref}}$, där y_{ref} alltså är konstant skild från noll.

Signalerna ut från maskinen sätts i intervallet +10 V till -10 V, signalerna in till maskinen kan digitaliseras i intervallet +10 V till -10 V eller +1 V till -1 V.

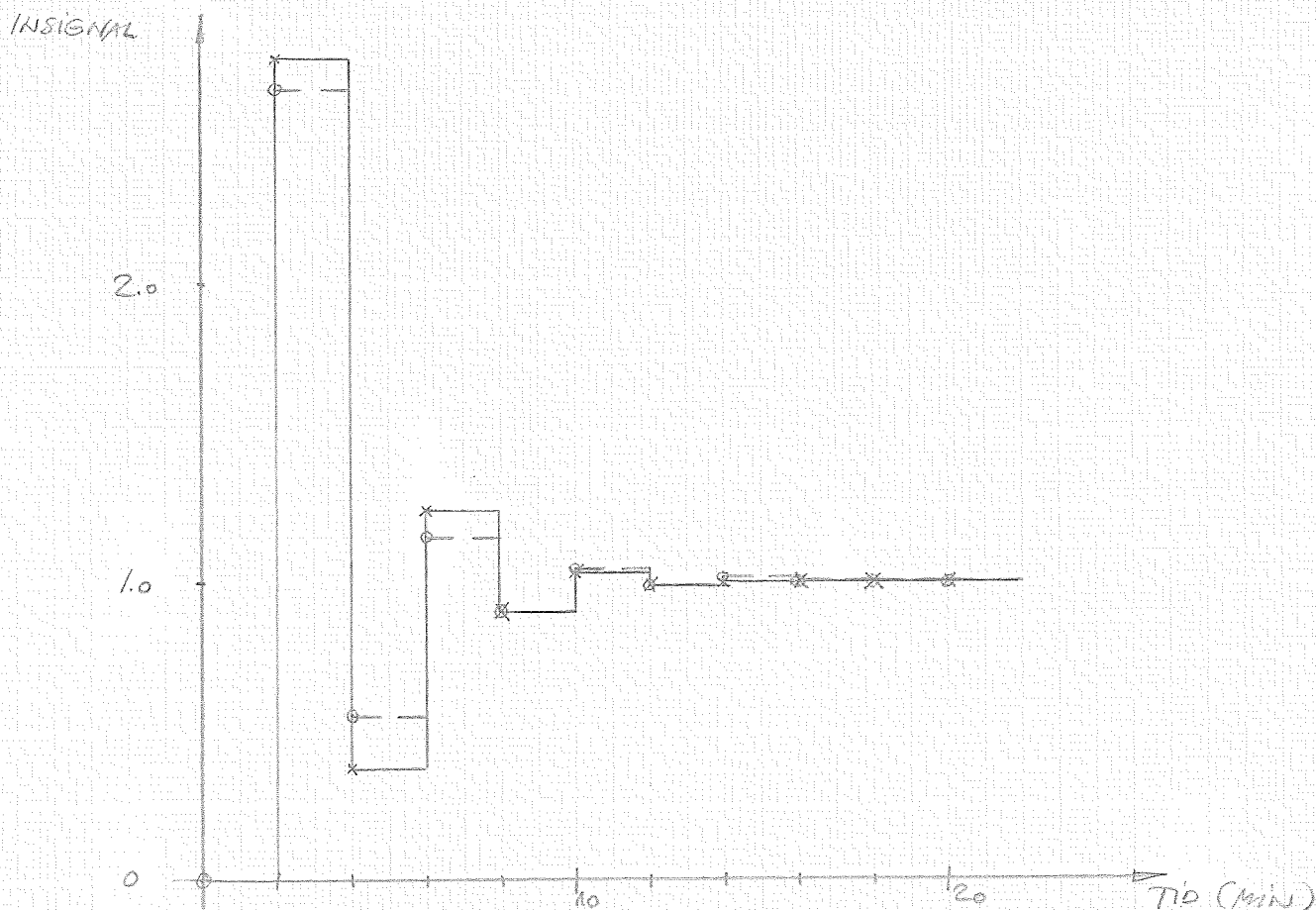
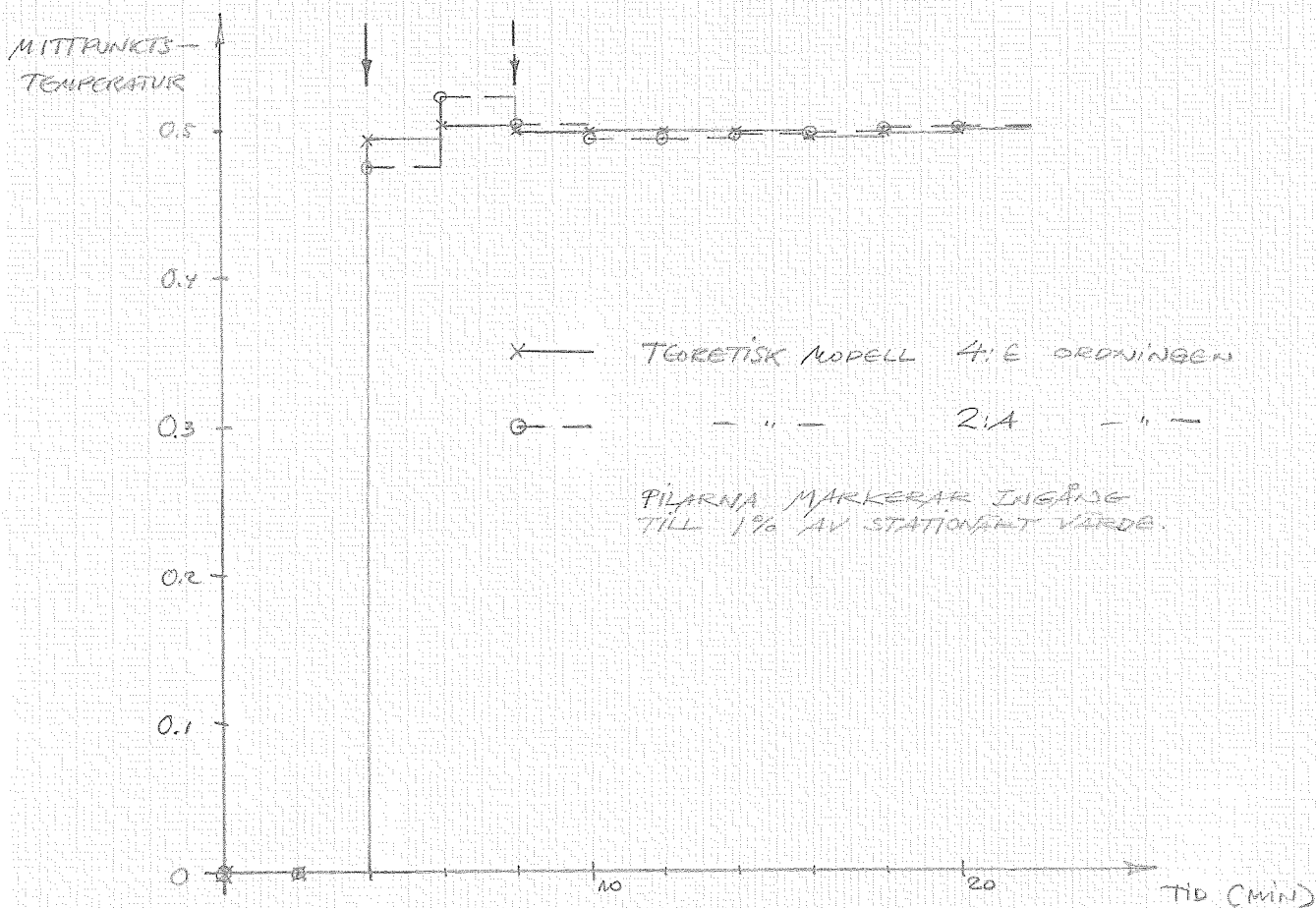
I samtliga fall är antalet delningspunkter 1024. Detta medför att vi får ett kvantiseringfel på 20 mV vid det större mätområdet och 2 mV vid det mindre, vilket i sin tur, tillsammans med mindre lyckade nollpunktsjusteringar, kan få till effekt att det stationära värdet på in- och utsignalerna ibland inte antar exakt det önskade värdet.

5.2. Styrexperiment med 120 sek samplingsintervall.

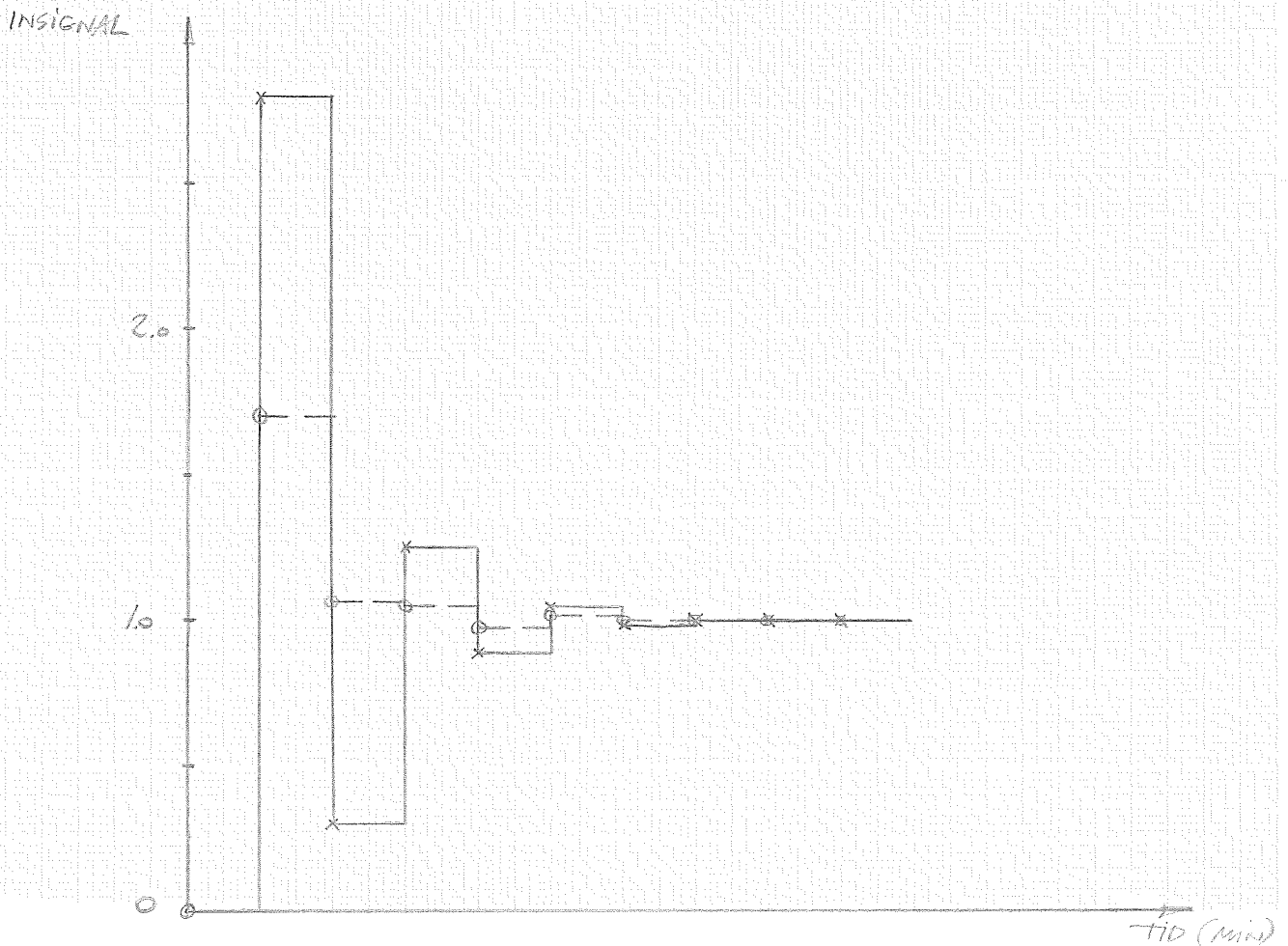
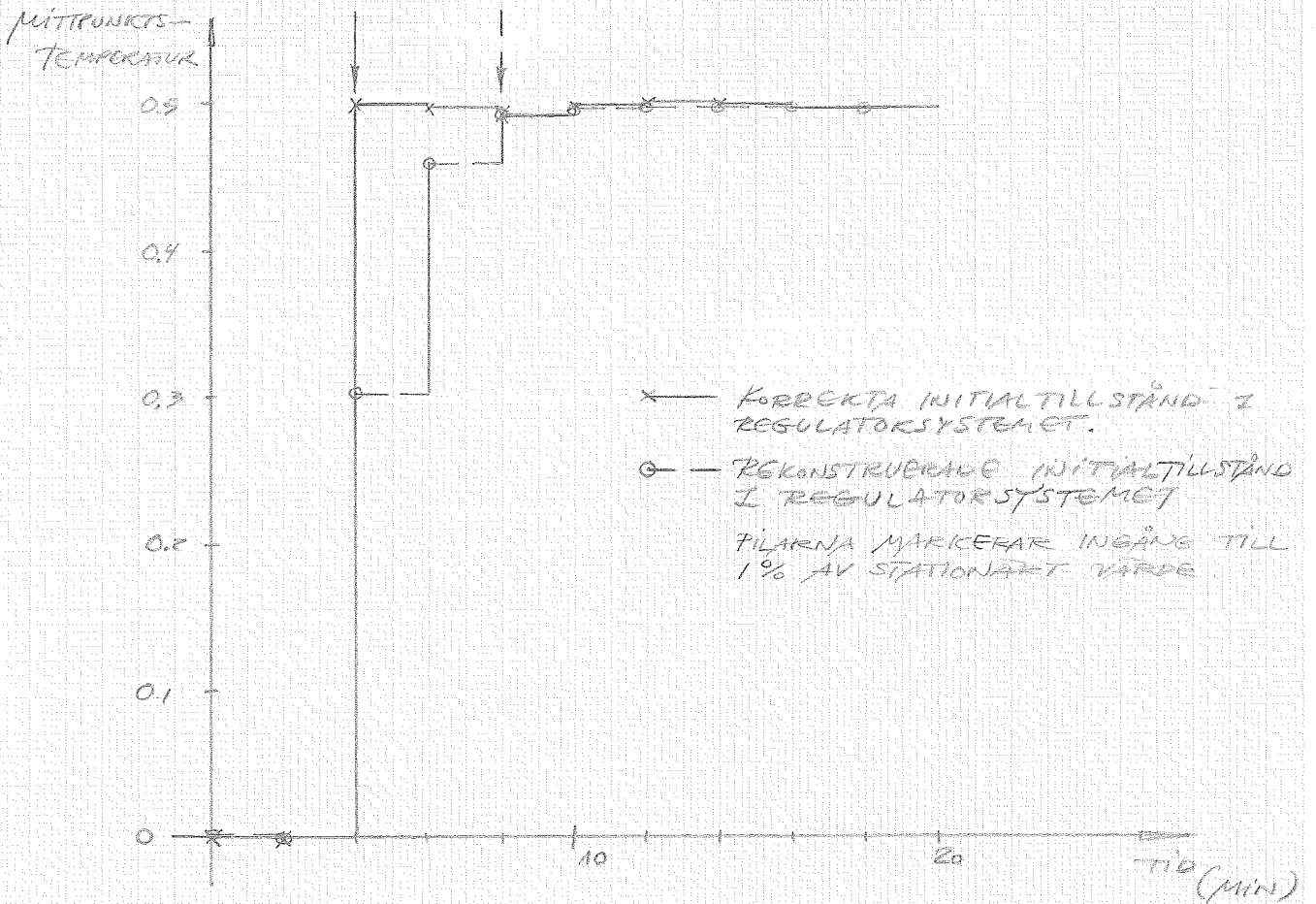
Samtliga modeller för staven är för detta samplingsintervall minimumfas, vilket betyder att de på två tidssteg skall höja utsignaltemperaturen till önskat värde, under förutsättning att man har korrekt initialtillstånd i regulatorn.

En jämförelse mellan de använda regulatorerna, visar att man med de båda fjärdeordningssystemen väl klarar av problemet (figur 5:1 för den teoretiska modellen och 5:2 för den identifierade modellen). Den enklare teoretiska modellen av andra ordningen ger så småningom ingång till korrekt värde, men ligger efter två samplingsintervall ungefär 5% fel (jämför figur 5:1).

Teoretiska modeller för staven. Samplingstid 120 sek. Korrekta initialtillstånd i regulatorn.



Identifierad modell för sta-
ven. Samplingstid 120 sek.



Är regulatorns initialtillstånd inte det korrekta behöver man mäta n stycken in- och utsignaler, där n är regulatorsystemets ordning, för att kunna rekonstruera tillståndet. Därefter är man redo för korrekt dead beat reglering. Det åtgår alltså fyra samplingsintervall för den enklare teoretiska modellen och sex samplingsintervall för de båda övriga modellerna för att nå önskat värde.

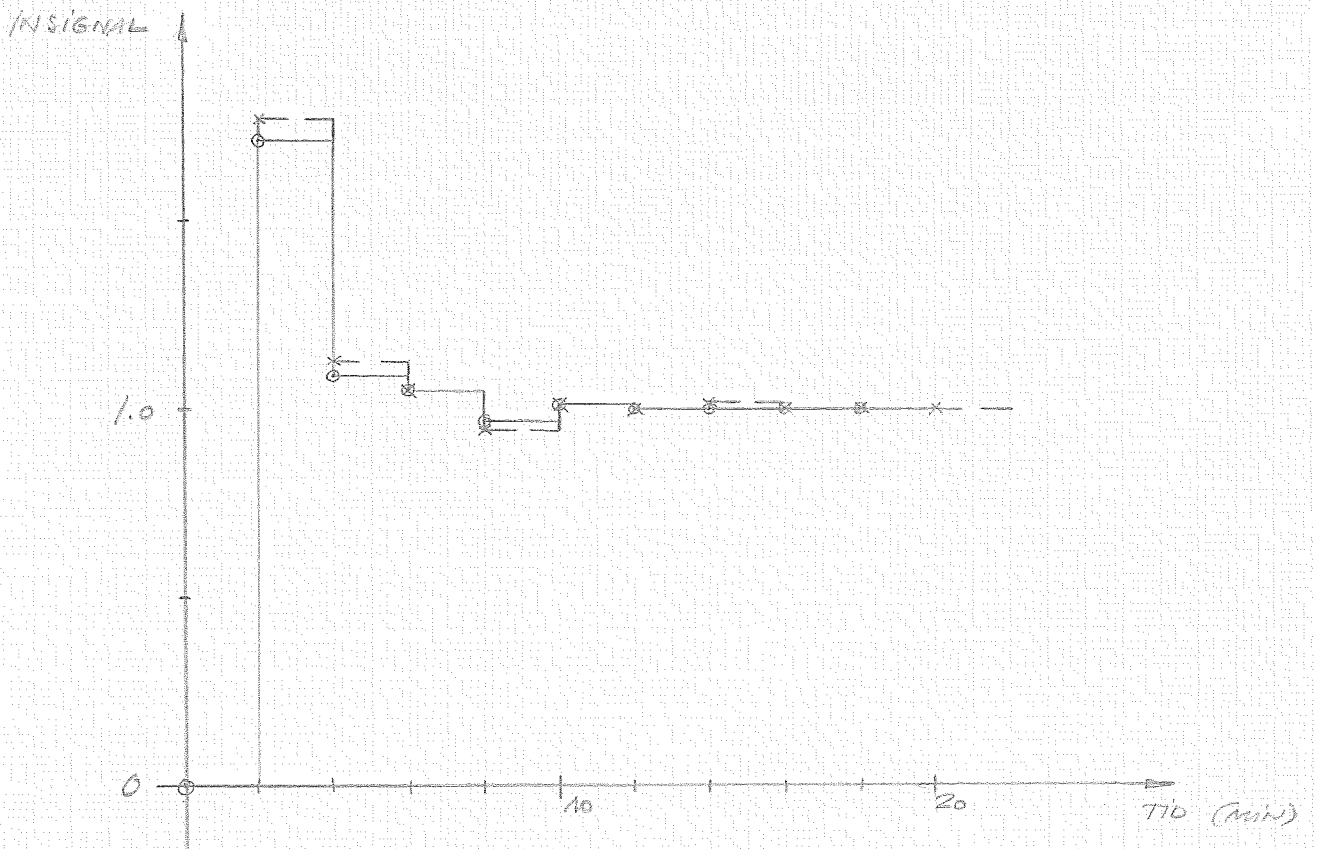
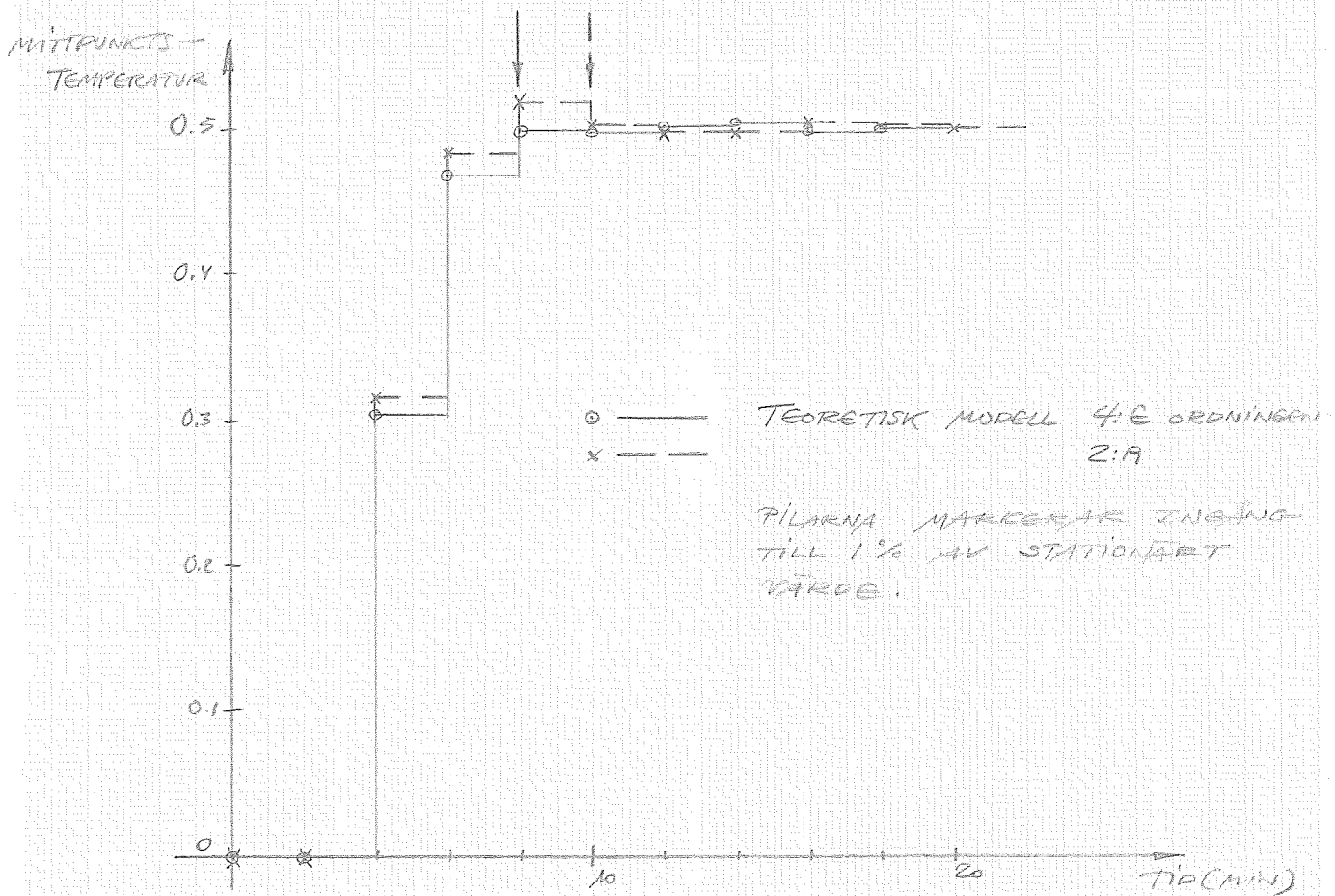
Vid de gjorda experimenten har emellertid inte initialtillståndet beräknats efter två resp. fyra tidssteg, utan regleringen har utförts som om det varit korrekt. Dess värde har härvid varit noll.

Också här ser vi att den enklare teoretiska modellen ligger några procent fel (figur 5:3). De båda fjärdeordningsregulatorerna, vilka alltså har minst sex samplingsintervall på sig når emellertid redan efter fyra steg det rätta värdet. Orsaken är att vi samplar så långsamt att några poler i modellen för staven hamnar mycket nära origo, vilket i sin tur gör att två av regulatorns tillstånd få mycket liten inverkan på dess utsignal, jämför appendix 1. Men vi har ju icke desto mindre utgått från en bättre beskrivning av stavens dynamik, vilket gör att dessa fjärdeordningsregulatorer, som alltså ser ut nästan som andraordningsregulatorer, uppför sig bättre än regulatorn baserad på andraordningsmodellen.

5.3. Styrexperiment med 60 sek samplingsintervall.

De samplade modeller för staven, som vi får för detta samplingsintervall då vi utgår från en fjärde ordningens kontinuerlig modell, är båda *ickeminimumfas* modeller, dvs B-polynomet har ett nollställe utanför enhetscirkeln. Detta kan vi se som ett den samplade modellens uttryck för att stavens stegsvar har alla derivator noll i origo. (För våra approximationer gäller i detta avseende att den teoretiska modellen med n indelningar

Teoretiska modeller för staven.
 Samplingstid 120 sek.
 Initialtillståndet noll i
 regulatorn.



har all derivator med ordning mindre än $n/2$ lika med noll. Den ML-identifierade modellens första och andra derivator är ej exakt noll för $t = 0$ utan $-0.707 \cdot 10^{-3} \text{ } ^\circ\text{C}/\text{sek}$ resp. $0.431 \cdot 10^{-3} \text{ } ^\circ\text{C}/(\text{sek})^2$ (dvs även den kontinuerliga modellen är ickeminimumfas)).

Har man korrekta initialtillstånd i regulatorm, något som varit fallet vid alla de gjorda styrexperimenten med detta processamplingsintervall, gäller således enligt teorin att utsignalen på tre steg skall nå önskat värde.

Andra ordningens differensmodell är även med detta samplingsintervall minimumfas.

Experimenten visar att modellen av andra ordningen inte tillräckligt bra beskriver staven för att man skall kunna basera en dead beat regulator på den för detta samplingsintervall, (figur 5:5). Det över regulatorm återkopplade systemet blir instabilt.

Är emellertid modellen för staven av fjärde ordningen ger motsvarande regulator en ingång till korrekt värde, (figur 5:4). Man ser också att regulatorn baserad på differensapproximationsmodellen ger ett något sämre beteende hos utsignalen än regulatorn från den identifierade modellen. Det kan vara intressant att notera, att om vi återkopplar den identifierade modellen, som ju på ett bra sätt tycks beskriva stavens dynamik, med regulatorn baserad på andraordningsmodellen får det återkopplade systemet en pol utanför enhetscirkeln (-1.07).

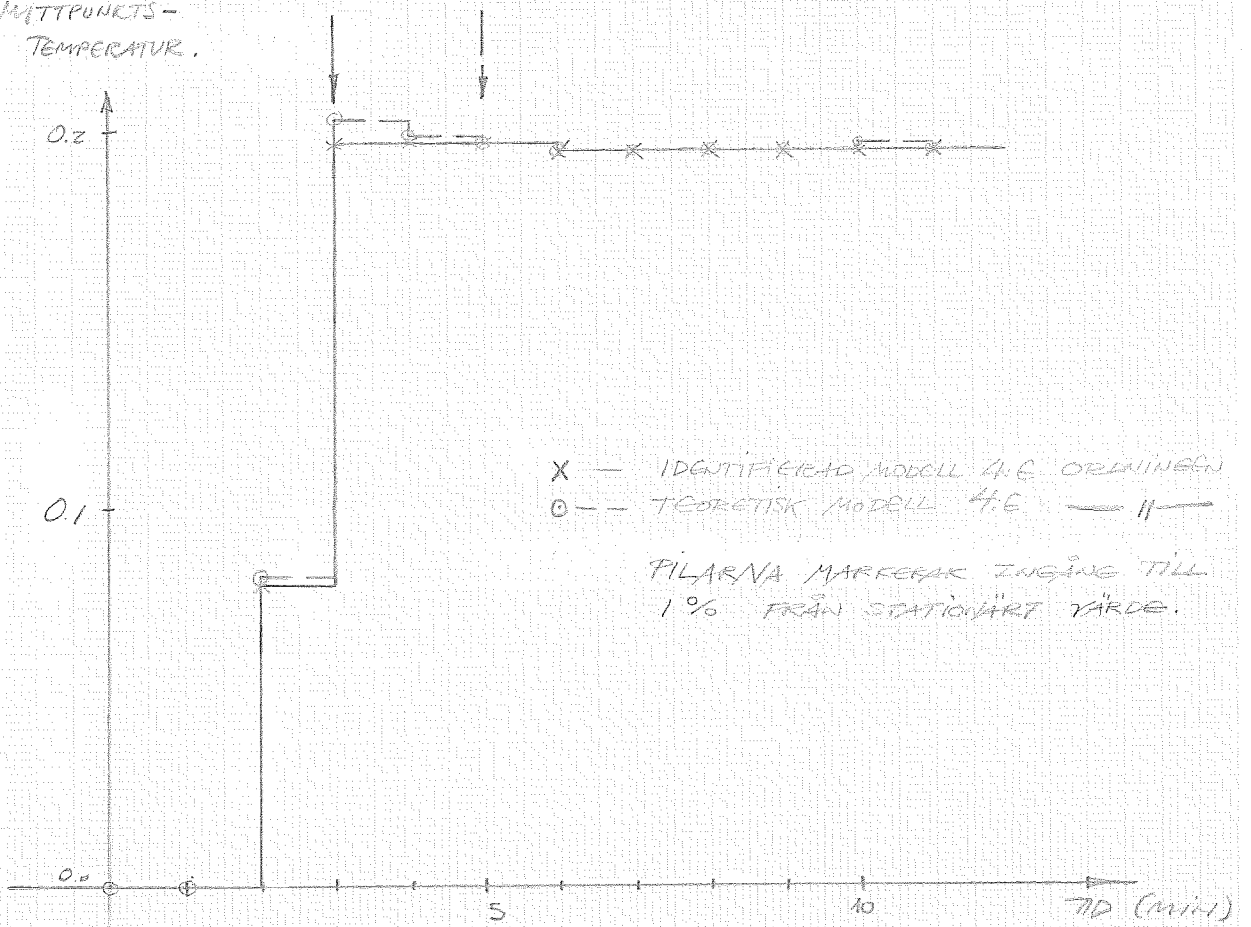
För att ytterligare belysa skillnaden mellan regulatorerna, kan man jämföra modellernas stegsvar efter en eller två minuter med ett uppmätt stegsvar, se tabell 5:2. Man ser att den enklare teoretiska modellen vid 60 sek sampling ligger mycket högre än staven medan man vid 120 sek sampling har en mycket mindre, och tydligen tolerabel, differens.

	Teoretisk modell (ordning)		Identifierad modell	Värmestaven
	2	4		
60 sek	0.07946	0.06365	0.05386	0.05518
120 sek	0.1872	0.1811	0.1770	0.1783

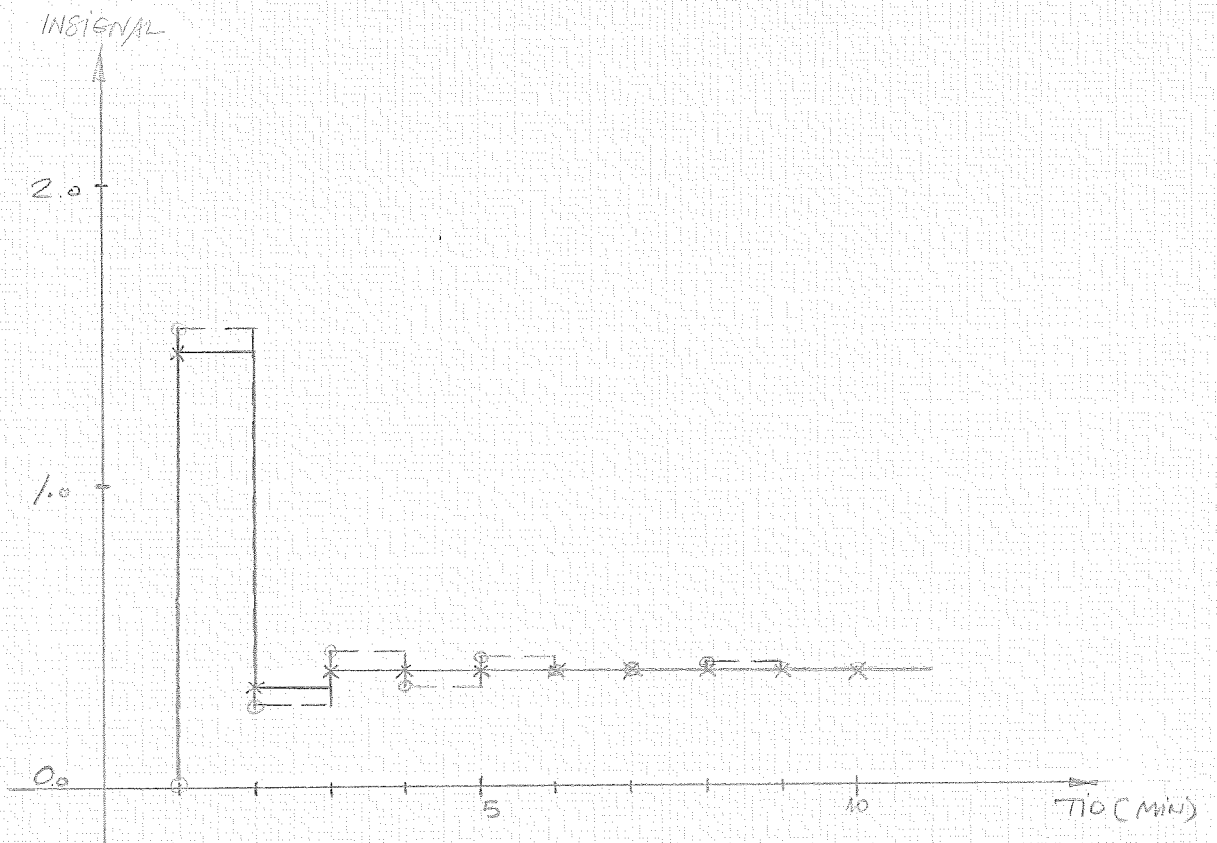
Tabell 5:2 - Stegsvarets värde i °C för de olika modellerna och för värmestaven efter 60 och 120 sekunder.

Fjärdeordningsmodeller för staven. Samplingtid 60 sek. Korrekta initialvärden i regulatorn.

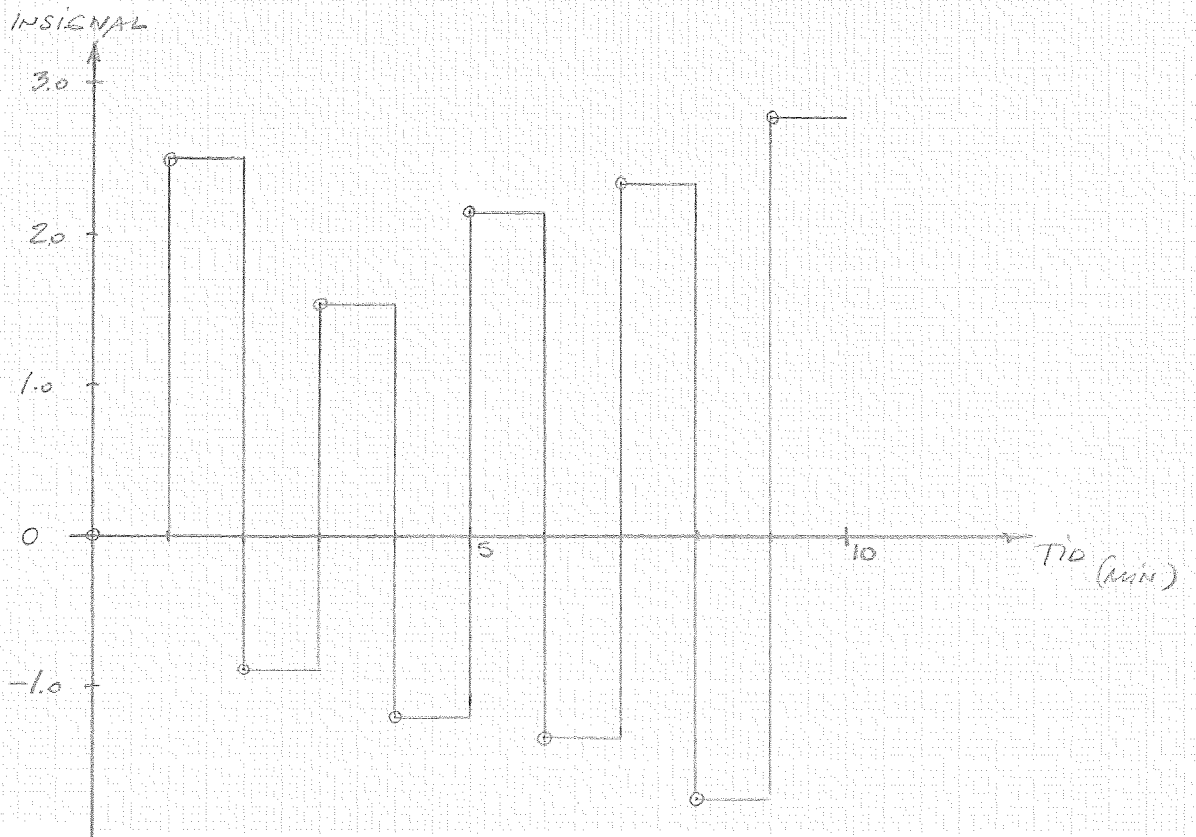
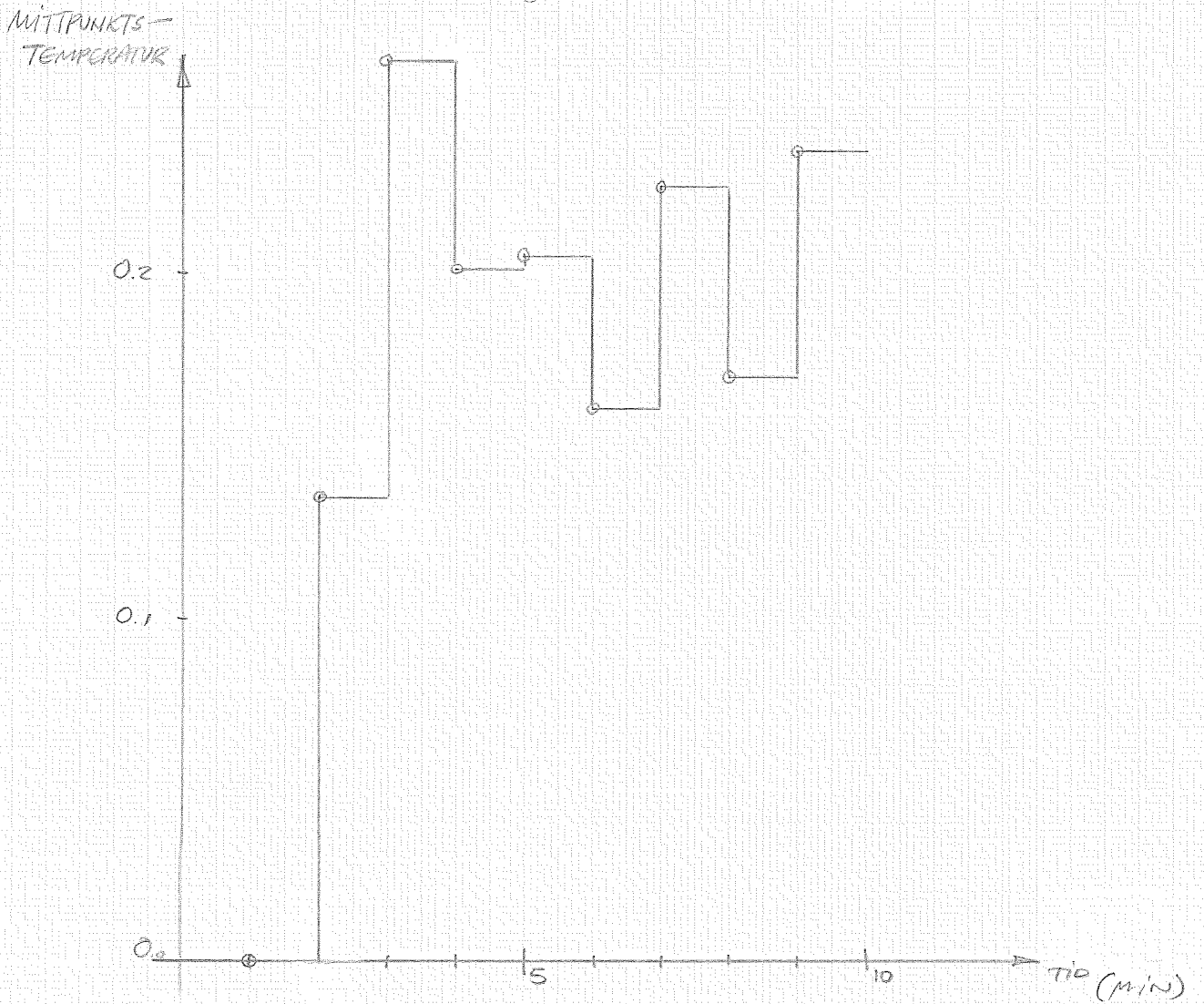
MITTPUNKTS-TEMPERATUR.



INSIGNAL



Andraordningsmodell för staven. Samplingstid 60 sek. Korrekta initialvärden i regulatorn.



6. PLANER FÖR FORTSATT EXPERIMENT.

Ytterligare experiment på värmestaven skall utföras under operativsystemet RSX-15. I första hand skall därför existerande regulatorer anpassas till detta system.

Det finns en hel del intressanta dead beat I experiment att göra, där det gäller att ställa in temperaturprofiler av varierande struktur t.ex. linjära, N-formade osv, för varierande komplexitet hos modellen.

I dead beat II fallet finns en mängd intressanta problem (en del av dessa kan naturligtvis också tas upp i samband med dead beat I reglering), som berör t.ex.

- kvaliteten hos modellen (modellordning, diffusionskonstant)
- snabbhet (Givet en viss modell för staven. Hur snabbt kan man styra processen med en regulator baserad på denna modell? Hur hänger kravet på regulatorns komplexitet samman med kravet på snabbhet och med styrningens tidshorisont?)
- störningar (Hur påverkas resultatet om man stör processen t.ex. med brus eller med ett steg i den ände av staven som under de gjorda experimenten legat på referenstemperatur?)
- begränsningar på insignalen till processen
- tidsvariabel referenssignal
- skillnaden mellan snabb och långsam reglering (Ger den snabba och den långsamma regulatorn samma kvalitativa resultat?).

7. REFERENSER.

- 1 Borisson, U., Holst, J.: "Real Time Computing II. Minimal Variance Control on Process Computer.", Rapport 7108(B), Sept. 1971, Institutionen för Reglerteknik, Lunds Tekniska Högskola.
- 2 Ekstrand, B., Larsson L.-E.: "Studium av System för Temperaturreglering.", Rapport RE-6, Okt. 1966, Institutionen för Reglerteknik, Lunds Tekniska Högskola.
- 3 Glad, T., Holst, J.: "Strukturidentifiering på värmestaven.", Juli 1971, Institutionen för Reglerteknik, Lunds Tekniska Högskola.
- 4 Leden, B.: "Linear Temperature Scales from One Thermistor Reciprocal Networks", Rapport 7009, Okt. 1970, Institutionen för Reglerteknik, Lunds Tekniska Högskola.
- 5 Leden, B.: "The Design of a One Dimensional Heat Diffusion Process", Rapport 7010, Dec 1970, Institutionen för Reglerteknik, Lunds Tekniska Högskola.
- 6 Leden, B.: "Identification of Dynamics of a One Dimensional Heat Diffusion Process.", Rapport 7121, Nov. 1971, Institutionen för Reglerteknik, Lunds Tekniska Högskola.
- 7 Åström, K.J.: "Introduction to Stochastic Control Theory", 1970, Academic Press.
- 8 Åström, K.J.: "Samplade System", TLTH/VBV.
- 9 Programmerarhandbok för PDP-15, Institutionen för Reglerteknik, Lunds Tekniska Högskola.
- 10 Laboration nr 2 för AK: "Temperaturreglering av Värmestav", Institutionen för Reglerteknik, Lunds Tekniska Högskola.

APPENDIX 1.

De kontinuerliga modeller för värmestaven, som använts har varit

$$\begin{aligned}
 A/ \quad G_4 &= \frac{0.854598 \cdot 10^{-4}}{(s+5.41956 \cdot 10^{-3})(s+3.15582 \cdot 10^{-2})} \\
 B/ \quad G_8 &= \frac{1.86966 \cdot 10^{-6}}{(s+5.62756 \cdot 10^{-3})(s+4.56502 \cdot 10^{-2})(s+1.02209 \cdot 10^{-1})} \quad \times \\
 &\quad \times \frac{1}{(s+1.42284 \cdot 10^{-1})} \\
 C/ \quad G_I &= \frac{-0.104647 \cdot 10^{-1}}{s+0.188188} + \frac{0.288299 \cdot 10^{-1}}{s+0.100996} - \frac{0.227550 \cdot 10^{-1}}{s+0.612956 \cdot 10^{-1}} + \\
 &\quad + \frac{0.368244 \cdot 10^{-2}}{s+0.581403 \cdot 10^{-2}}
 \end{aligned}$$

Motsvarande samplade system blir med 60 sekunders samplingsintervall

$$\begin{aligned}
 A_{60}/ \quad H_A^{60} &= \frac{0.794628 \cdot 10^{-1} q^{-1} + 0.383634 \cdot 10^{-1} q^{-2}}{1 - 0.872947 q^{-1} + 0.108754 q^{-2}} \\
 B_{60}/ \quad H_B^{60} &= \frac{0.636521 \cdot 10^{-1} q^{-1} + 0.677635 \cdot 10^{-1} q^{-2} +}{1 - 0.780444 q^{-1} + 0.479550 \cdot 10^{-1} q^{-2} -} \\
 &\quad + \frac{0.240276 \cdot 10^{-2} q^{-3} + 0.177966 \cdot 10^{-5} q^{-4}}{- 0.109488 \cdot 10^{-3} q^{-3} + 0.196782 \cdot 10^{-7} q^{-4}} \\
 C_{60}/ \quad H_I^{60} &= \frac{0.538587 \cdot 10^{-1} q^{-1} + 0.836256 \cdot 10^{-1} q^{-2} +}{1 - 0.733132 q^{-1} + 0.195508 \cdot 10^{-1} q^{-2} -} \\
 &\quad + \frac{0.340701 \cdot 10^{-2} q^{-3} + 0.225951 \cdot 10^{-5} q^{-4}}{- 0.418867 \cdot 10^{-4} q^{-3} + 0.491410 \cdot 10^{-9} q^{-4}} \quad ,
 \end{aligned}$$

vilket ger dead beat II regulatorerna (med tidsfördröjningen $k=2$)

$$\begin{aligned}
 R_A^{60}/ \quad x(t+1) &= \begin{bmatrix} -1.35573 & 1 \\ -0.421445 & 0 \end{bmatrix} x(t) + \begin{bmatrix} 12.3405 \\ 3.46480 \end{bmatrix} u(t) \\
 y(t+1) &= \begin{bmatrix} 1 & 0 \end{bmatrix} x(t) - 8.22124 u(t)
 \end{aligned}$$

$$R_B^{60} / \quad x(t+1) = \begin{bmatrix} -0.817141 & 1 & 0 & 0 \\ -0.359750 & 0 & 1 & 0 \\ -0.121711 & 10^{-1} & 0 & 0 \\ -0.900558 & 10^{-5} & 0 & 0 \end{bmatrix} x(t) + \begin{bmatrix} 3.19526 \\ 1.29968 \\ 0.439697 & 10^{-1} \\ 0.325485 & 10^{-4} \end{bmatrix} u(t)$$

$$y(t+1) = [1 \ 0 \ 0 \ 0] x(t) - 3.61426 u(t)$$

$$R_C^{60} / \quad x(t+1) = \begin{bmatrix} -0.774984 & 1 & 0 & 0 \\ -0.383767 & 0 & 1 & 0 \\ -0.147963 & 10^{-1} & 0 & 0 \\ -0.980361 & 10^{-5} & 0 & 0 \end{bmatrix} x(t) + \begin{bmatrix} 2.45701 \\ 1.17463 \\ 0.452954 & 10^{-1} \\ 0.300115 & 10^{-4} \end{bmatrix} u(t)$$

$$y(t+1) = [1 \ 0 \ 0 \ 0] x(t) - 3.06127 u(t)$$

På samma sätt får vi för 120 sekunders samplingsintervall

$$A_{120} / \quad H_A^{120} = \frac{0.187193 q^{-1} + 0.463033 10^{-1} q^{-2}}{1 - 0.544529 q^{-1} + 0.118274 10^{-1} q^{-1}}$$

$$B_{120} / \quad H_B^{120} = \frac{0.181092 q^{-1} + 0.634743 10^{-1} q^{-2} +}{1 - 0.513183 q^{-1} + 0.212884 10^{-2} q^{-2} -}$$

$$+ 0.124354 10^{-3} q^{-3} + 0.234433 10^{-9} q^{-4}$$

$$- 0.101792 10^{-7} q^{-3} - 0.212053 10^{-11} q^{-4}$$

$$C_{120} / \quad H_C^{120} = \frac{0.176970 q^{-1} + 0.699072 10^{-1} q^{-2} +}{1 - 0.498382 q^{-1} + 0.320831 10^{-3} q^{-2} -}$$

$$+ 0.720078 10^{-4} q^{-3} + 0.943753 10^{-10} q^{-4}$$

$$- 0.178850 10^{-8} q^{-3} + 0.145318 10^{-12} q^{-4} ,$$

vilket ger dead beat II regulatorerna (med tidsfördröjningen $k=2$)

$$R_A^{120} / \quad x(t+1) = \begin{bmatrix} -0.791884 & 1 \\ -0.134692 & 0 \end{bmatrix} x(t) + \begin{bmatrix} 1.23871 \\ 0.204841 \end{bmatrix} u(t)$$

$$y(t+1) = [1 \ 0] x(t) - 1.52080 u(t)$$

$$R_B^{120} / \quad x(t+1) = \begin{bmatrix} -0.863692 & 1 & 0 & 0 \\ -0.180562 & 0 & 1 & 0 \\ -0.352400 & 10^{-3} & 0 & 0 \\ -0.664342 & 10^{-9} & 0 & 0 \end{bmatrix} x(t) + \begin{bmatrix} 1.25192 \\ 0.260463 \\ 0.508342 & 10^{-3} \\ 0.958324 & 10^{-9} \end{bmatrix} u(t)$$

$$y(t+1) = [1 \ 0 \ 0 \ 0] x(t) - 1.44252 u(t)$$

$$R_C^{120} / \quad x(t+1) = \begin{bmatrix} -0.893405 & 1 & 0 & 0 \\ -0.197279 & 0 & 1 & 0 \\ -0.202789 & 10^{-3} & 0 & 0 \\ -0.265779 & 10^{-9} & 0 & 0 \end{bmatrix} x(t) + \begin{bmatrix} 1.25321 \\ 0.276532 \\ 0.284254 & 10^{-3} \\ 0.372550 & 10^{-9} \end{bmatrix} u(t)$$

$$y(t+1) = [1 \ 0 \ 0 \ 0] x(t) - 1.40173 u(t)$$

I samtliga ovanstående modeller har värdet på diffusionskonstanten för koppar varit $1.17 \text{ m}^2/\text{sek}$, se ovan kap 5.2..

Man observerar att regulatorerna är av ordning n , där n är processmodellens ordning, och inte av ordning $n+k-1=n+1$. Orsaken till detta är att B-polynomet har ett nollställe i origo, dvs

$$B(q) = b_0 q^n + \dots + b_{n-1} q.$$

Detta gör att karakteristiska polynomet till regulator-systemet också har ett nollställe i origo. Då man bestämmer $-$ vektorn i regulatorsystemet finner man att även motsvarande täljarpolynom i regulatorns pulsöverföringsoperator får ett sådant nollställe. Regulatorsystemet har alltså en icke styr- eller observerbar mod i nollan.

APPENDIX 2

PROGRAMLISTNINGAR

Program för dead beat I.

SUBROUTINE LOGGS2

USED FOR DEAD-BEAT I CONTROL OF HEAT-ROD.

OUTPUT IS GIVEN AT ONCE
(=ONE MASHINESAMPLINGINTERVAL AFTER INPUT).

AUTHOR JHO 71-01-15

SUBROUTINES REQUIRED:

SCAPRO

MCNODI

IT IS ASSUMED THAT AIVALU(1) CORRESPONDS TO
THE LEFT END OF THE ROD AND SO ON.
THIS IMPLIES THAT STATE I IS RECORDED IN AIVALU(I+1)

INTEGER AIVALU,AOVALU
LOGICAL VARJE,KNOWN
LOGICAL LIVALU,LOVALU,STEADY,PRINT,
1COSAMP,SINGBU,XTINT,LOGG,CORITE
DIMENSION IRANGE(16),MODE(16),
1LCONLI(18),LCONLO(18),LCONAI(16),LCONAO(8),
1LIVALU(18),LOVALU(18),AIVALU(16),AOVALU(8)
COMMON IRANGE,MODE,
1LIVALU,LOVALU,AIVALU,AOVALU,
1LCONLI,LCONLO,LCONAI,LCONAO,
1NUCHLI,NUCHLO,NUCHAI,NUCHAO,
1NUVALI,NUVALO,NUVAAI,NUVAO,
1NASA,NUWRLI,NUWRL0,NUWRAI,NUWRAO,NUWROW,
1NUSAM,LSAMP,IH,IM,IT,DT,
1STEADY,PRINT,COSAMP,SINGBU,XTINT,LOGG,CORITE
COMMON /SLASK/ ISLASK(1024)
COMMON /SLASK/ NX,FL(7),X(7),X0(7),IDSTRB,HEIGHT,SCALE,IBEG,
1VARJE,ITSAMP,ISIDE,IALLOW,KNOWN,IADJ,IFI,IDUMMY(968)

OBSERVE THAT IN THIS VERSION WE PRESUME THAT
NO RECONSTRUCTION IS NEEDED.

IF(STEADY) GO TO 50
IF(IADJ.NE.0) GO TO 10
IFI=ITSAMP
GO TO (1,2,3), IDSTRB

CORRESPONDS TO VARIOUS KINDS OF DISTURBANCIES.

AOVALU(2)=0
GO TO 3
AOVALU(2)=HEIGHT
IF(AOVALU(2).GT.256) AOVALU(2)=256
IF(AOVALU(2).LT.(-256)) AOVALU(2)=-256
IADJ=1

WRITE ON THE DISK OR NOT.

NUWRAI=9
NUWRAO=2
IF(IFI.EQ.ITSAMP/2.OR,IFI.EQ.ITSAMP-1.OR,IFI.EQ.ITSAMP) GO TO 20
NUWRAI=0
NUWRAO=0

STRAIGHT THROUGH OR NOT

```
20     IF (IFI-ITSAMP) 30,40,40
C
30     IFI=IFI+1
     IF (IDSTRB.EQ.3.AND.VARJE) GO TO 47
     GO TO 100

C
C     INPUT,COUNTING AND OUTPUT
C
40     IFI=1
     DO 31 I=1,NX
31     X(I)=AIVALU(I+1)-IFIX(XO(I))
     AOVALU(1)=SCAPRO(FL(1),1,X(1),1,NX)
     IF (AOVALU(1).GT.256) AOVALU(1)=256
     IF (AOVALU(1).LT.(-256))AOVALU(1)=-256

C
     IF (IDSTRB.NE.3) GO TO 100

C
C     STOCHASTIC DISTURBANCE.
C
47     CALL MCNODI(IBEG,GAUSS)
     AOVALU(2)=SCALE*GAUSS*51.2
     GO TO 100

C
C     CONTROL OF STEADY STATE.
C
50     MDISK=0
     DO 52 I=1,NX
52     MDISK=MAXD(MDISK,(AIVALU(I+1)-IFIX(X(I))))
     IF (MDISK.GT.IALLOW) GO TO 100

C
     STEADY=,FALSE.

C
100    CONTINUE
     RETURN
     END
```

Program för dead beat II.

SUBROUTINE LOGGS1

USED FOR DEAD-BEAT 2 CONTROL OF HEATROD

AUTHOR JH 1970-10-18

REVISED 1971-07-22

SUBROUTINES REQUIRED

ATTLP6

VERIT

FF(RTTFF)

POLIN(RTTFF)

SYSUT(MXOUT)

PTI

DBSSK

GRAN

INTEGER AIVALU, AOVALU

LOGICAL VARJE, THEOR, JUST, VERIT, RECON

LOGICAL LIVALU, LOVALU, STEADY, PRINT,

1COSAMP, SINGBU, XTINT, LOGG, CORITE

DIMENSION IRANGE(16), MODE(16),

1LCONLI(18), LCONLO(18), LCONAI(16), LCONAO(8),

1LIVALU(18), LOVALU(18), AIVALU(16), AOVALU(8)

COMMON IRANGE, MODE,

1LIVALU, LOVALU, AIVALU, AOVALU,

1LCONLI, LCONLO, LCONAI, LCONAO,

1NUCHLI, NUCHLO, NUCHAI, NUCHAO,

1NUVALI, NUVALO, NUVAAL, NUVAAD,

1NASA, NUWRLI, NUWRLO, NUWRAI, NUWRAO, NUWROW,

1NUSAM, LSAMP, IH, IM, IT, DT,

1STEADY, PRINT, COSAMP, SINGBU, XTINT, LOGG, CORITE

COMMON /SLASK/

1 DUM14(256),

5 NX, NU, A(8), B(8,1), D(1), X(8), U(1), UOLD(9), YOLD(9), DETT,

5 IDSTR, HEIGHT, SCALE, IBEG, VARJE,

5 MD, TOPP, ITEST, ISIDE, IGOAL, GOALIN, JUST, RECON, IADJ, ITSAMP, IFI,

5 DUM5(8),

6 F01(6), F02(6), F03(6), F04(6), F05(6), F06(6),

6 F07(6), F08(6), F09(6), F10(6), F11(6),

7 F12(6), F13(6), F14(6),

7 EXC(1,8), EXD(1,1), TEMP, H, LTSAMP, TTOPP, GOAL, THEOR, NROD,

7 NY, I, IDUM67(43),

7 T1(2), T2(2), F00(3),

8 EXA(8,8)

DATA TA, TB, TD /1HA, 1HB, 1HD/

DEFINE A RETURN ADDRESS

WRITE(6, 3000)

READ(8, 3001)

INPUT OF FORMATS

CALL PTI

THIS IS THE RETURN POINT

```

C
CALL CNTRLP
C
C
C
999  PUT A(1) TO DETT TO ZERO
      A(1)=0.
      CALL MOVE(A(1),A(2),88)
C
      NUWRLI=0
      NUWRLO=0
      NUWROW=0
      NUWRAI=9
      NUWRAO=2
      AOVALU(1)=0
      AOVALU(2)=0
C
C
C
      REGULATOR SYSTEM
C
      CALL FF(TEMP,F01)
      NX=TEMP
      NU=1
      NY=1
C
      CALL POLIN(A,NX,TA)
      CALL POLIN(X,NX,TB)
      DO 10 I=1,NX
10    B(I,1)=X(I)
C
      CALL POLIN(D,NU,TD)
      X(1)=0.
      CALL MOVE(X(1),X(2),14)
      WRITE(6,1000)
      RECON=VERIT(T1)
C
C
C
      SPECIFICATION OF DISTURBANCE
C
      CALL FF(TEMP,F03)
      IDSTR=TEMP
C
      VARJE=.FALSE.
C
      GO TO (15,12,13), IDSTR
C
12    CALL FF(H,F04)
      HEIGHT=H*51.2
      AOVALU(2)=GRAN(HEIGHT)
      GO TO 15
C
13    CALL FF(SCALE,F05)
      CALL FF(TEMP,F06)
      IBEG=TEMP
      WRITE(6,1001)
      VARJE=VERIT(T1)
C
C
C
      EXPERIMENTAL ARRANGEMENT
C
15    CALL FF(TEMP,F07)
      LTSAMP=TEMP
      ITSAMP=FLOAT(LTSAMP)*1000./FLOAT(LSAMP)+0.1
      CALL FF(TEMP,F08)
      MD=TEMP
C
      WRITE(6,1002)
      JUST=VERIT(T1)

```

```

C
C
IF(.NOT. STEADY) GO TO 20
C
CALL FF(TTOPP,F09)
TOPP=TTOPP*51.2
ISIDE=2
WRITE(6,1003)
IF(.NOT. VERIT(T2)) ISIDE=1
AQUALU(ISIDE)=TOPP
IF(IRANGE(MD).EQ.1) TOPP=TOPP*10.
ITEST=45.*TOPP/100.
NUWRAO=0
NUWRAI=0
C
C
BEATGOAL
C
C
20 CALL FF(GOAL,F12)
IGOAL=SIGN(ABS(GOAL*512./FLOAT(IRANGE(MD)))+0.5,GOAL)
GOALIN=2*IGOAL*IRANGE(MD)/10
C
C
CORRECT THE B- AND D-MATRIXES FOR THE TWO POSSIBLE
INPUT RANGES.
C
C
IF(IRANGE(MD).EQ.10) GO TO 30
C
D(1)=D(1)/10.
DO 25 I=1,NX
25 B(I,1)=B(I,1)/10.
C
30 DETT=D(1)
C
C
DOCUMENTATION
C
C
INPUT OF HEADING
C
WRITE(6,1004)
READ(8,2000)
C
WRITE(6,1005)
THEOR=VERIT(T1)
CALL FF(TEMP,F14)
NROD=TEMP
C
C
PRINTINGS
C
CALL ATTLP6(2)
C
WRITE(6,2000)
C
IF(THEOR) GO TO 41
WRITE(6,2001)NROD
GO TO 42
C
41 WRITE(6,2002) NROD
42 WRITE(6,2003) NX,NU,NY
C
EXA(1,1)=0
CALL MOVE(EXA(1,1),EXA(2,1),62)
EXC(1,1)=0
CALL MOVE(EXC(1,1),EXC(1,2),16)
DO 45 I=1,NX
45 EXA(1,1)=-A(I)
EXA(1,2)=1.
EXA(2,3)=1.

```

```

C      EXA(3,4)=1.
C      EXC(1,1)=1.
C      EXD(1,1)=DETT
C      CALL SYSUT(EXA,B,EXC,EXD,NX,NU,NY)
C      GO TO (51,52,53), IDSTR
51     WRITE(6,2004)
      GO TO 55
C
52     WRITE(6,2005) H
      GO TO 55
C
53     WRITE(6,2006) SCALE,IBEG
      IF(.NOT. VARJE) GO TO 54
      WRITE(6,2007)
      GO TO 55
54     WRITE(6,2008)
C
55     WRITE(6,2009) LTSAMP
      WRITE(6,2016) NUSAM,ITSAMP
C
      WRITE(6,2018) GOAL
      IF(.NOT. STEADY) GO TO 60
C
      WRITE(6,2013) TTOPP
      I=MOD(ISIDE,2)+1
      WRITE(6,2014) T2(I)
      GO TO 61
C
60     WRITE(6,2010)
61     IF(JUST) GO TO 62
      WRITE(6,2011)
      GO TO 63
62     WRITE(6,2012)
C
63     IF(RECON) GO TO 64
      WRITE(6,2015)
      GO TO 80
64     WRITE(6,2017)
C
80     IADJ=0
      CALL ATTLP6(1)
C
      WRITE(6,1006)
      IF(.NOT. VERIT(T1)) GO TO 999
C
      RETURN
C
1000   FORMAT(53H ARE THE STATES IN THE REGULATOR TO BE RECONSTRUCTED?)
1001   FORMAT(40H MCNODI-CALL AT EVERY MASHIN SAMP.-INT.?)
1002   FORMAT(41H ARE THE X-VALUES TO BE CORRECTED FOR THE,
116H LIMITED OUTPUT?)
1003   FORMAT(40H ON WHICH END OF THE ROD IS THE RAISING ,
119HSTEP TO BE APPLIED?)
1004   FORMAT(33H WRITE DOWN THE HEADING OF OUTPUT,
125H (NOT MORE THAN ONE LINE))
1005   FORMAT(37H IS THE MODEL OF THE ROD THEORETICAL?)
1006   FORMAT(29H CAN WE START THE EXPERIMENT?)
C
2000   FORMAT(36H
136H

```

```
2001  FORMAT(52H THE MODEL OF THE ROD IS OBTAINED BY IDENTIFICATION./
      11H+,51X,13H MODEL ORDER: ,13//)
2002  FORMAT(29H A THEORITICAL MODEL OF ORDER,13,
      121H IS USED FOR THE ROD.//)
2003  FORMAT(26H REGULATOR PARAMETERS: NX=,12,5H ;NU=,12,
      15H ;NY=,12///18H REGULATOR SYSTEM: )
2004  FORMAT(//17H1NO DISTURBANCIES//)
2005  FORMAT(//29H1STEP DISTURBANCE      HEIGHT:F7.2//)
2006  FORMAT(//35H1STOCHASTIC DISTURBANCE      LAMBDA: ,F7.2/
      135H STARTING VALUE FOR MCNODI      IBEG: ,17)
2007  FORMAT(43H MCNODI-CALL AT EVERY MASHIN SAMPLING EVENT//)
2008  FORMAT(44H MCNODI-CALL AT EVERY PROCESS SAMPLING EVENT//)
2009  FORMAT(15H SAMPLING TIME: ,14,5H SEC.)
2010  FORMAT(47H THE PROCESS IS NOT STARTING WITH STEADY=.TRUE.//)
2011  FORMAT(44H THE X-VALUES ARE NOT CORRECTED FOR THE LIMI,
      111HTED OUTPUT.)
2012  FORMAT(51H THE X-VALUES ARE CORRECTED FOR THE LIMITED OUTPUT.)
2013  FORMAT(42H THE PROCESS IS WAITING WITH STEADY=.TRUE.,
      132H IN THE BEGINNING OF EXPERIMENT./
      221H INITIAL STEP HEIGHT: ,F7.2)
2014  FORMAT(20H STEP IS APPLIED ON ,A5,17H SIDE OF THE ROD.//)
2015  FORMAT(47H THE STATES IN THE REGULATOR SYSTEM ARE NOT REC,
      111HONSTRUCTED.)
2016  FORMAT(26H THE EXPERIMENT GOES OVER ,15,20H SAMPLING INTERVALS./
      137H NUMBER OF MASHIN SAMPLING EVENTS PER,
      224H PROCESS SAMPLING EVENT: ,14//)
2017  FORMAT(54H THE STATES IN THE REGULATOR SYSTEM ARE RECONSTRUCTED.)
2018  FORMAT(26H THE MIDPOINT IS TO BE ON ,F7.2,3H V,//)
C
3000  FORMAT(/43H THIS IS THE CONVERSATIONAL ROUTINE LOGGS1./
      157H A CTRL P ON THE TELETYPE WILL TAKE YOU BACK TO THE FIRST/
      237H SENTENCE AFTER THE PAPER-TAPE INPUT.//
      332H TO START STRIKE THE RETURN KEY.)
3001  FORMAT(11)
C
      END
```


SUBROUTINE LOGGS2

USED FOR DEAD-BEAT2 CONTROL OF HEAT-ROD
THE OUTPUT IS GIVEN ONE (LARGE) SAMPLING INTERVAL AFTER
THE INPUT

AUTHOR JH 1970-10-18

REVISED 71-07-22

SUBROUTINES REQUIRED:

MCNODI

OBSY

GRAN

DSKUT

INTEGER AIVALU, AOVALU

LOGICAL VARJE, JUST, RECON
LOGICAL LIVALU, LOVALU, STEADY, PRINT,
1COSAMP, SINGBU, XTINT, LOGG, CORITE

DIMENSION IRANGE(16), MODE(16),
1LCONLI(18), LCONLO(18), LCONAI(16), LCONAO(8),
1LIVALU(18), LOVALU(18), AIVALU(16), AOVALU(8)

COMMON IRANGE, MODE,
1LIVALU, LOVALU, AIVALU, AOVALU,
1LCONLI, LCONLO, LCONAI, LCONAO,
1NUCHLI, NUCHLO, NUCHAI, NUCHAO,
1NUVALI, NUVALO, NUVAAI, NUVAO,
1NASA, NUWRLI, NUWRLO, NUWRAI, NUWRAO, NUWROW,
1NUSAM, LSAMP, IH, IM, IT, DT,
1STEADY, PRINT, COSAMP, SINGBU, XTINT, LOGG, CORITE

COMMON /SLASK/
1 DUM14(256),
5 NX, NU, A(8), B(8,1), D(1), X(8), U(1), UOLD(9), YOLD(9), DETT,
5 IDSTR, HEIGHT, SCALE, IBEG, VARJE,
5 MD, TOPP, ITEST, ISIDE, IGOAL, GOALIN, JUST, RECON, IADJ, ITSAMP, IFI,
5 Y, DUM5(7),
6 DUM67(128),
8 DUM8(53), X0(8), GAUSS, UNY, K, NK1

IF(IADJ.NE.0) GO TO 4
IFI=ITSAMP
ITSAMP=ITSAMP-1
IADJ=1

IF(RECON) GO TO 5
GO TO 40

IF(STEADY) GO TO 50

CALL DSKUT(NUWRAI, NUWRAO, IFI, ITSAMP)

IF(IFI-ITSAMP) 20, 15, 10

INPUT

IFI=0
U(1)=AIVALU(MD)-IGOAL
IF(VARJE) GO TO 17
GO TO 44

```

C
C   COUNTING AND OUTPUT
C
15  DO 14 I=1,NX
14  X0(I)=X(I)
    CALL OBSY(A,B,D,X,U,Y,NX,NU)
    AVALU(1)=GRAN(Y+GOALIN)
C
    IF(.NOT.JUST.OR.IABS(AVALU(1)).NE.256) GO TO 16
    X(1)=FLOAT(AVALU(1))-SCAPRO(D(1),1,U(1),1,NU)-GOALIN
C
    DO 13 I =2,NX
13  X(I)=X0(I)
C
    CALL OBSY(A,B,D,X,U,Y,NX,NU)
    AVALU(1)=GRAN(Y+GOALIN)
C
16  IF(IDSTR-3) 44,17,17
C
C   IF THE DISTURBANCE IS STOCHASTIC
C
17  CALL MCNODI (IBEG,GAUSS)
    AVALU(2)=GRAN(SCALE*GAUSS*51.2)
    GO TO 44
C
40  CALL DSKUT(NUWRAI,NUWRAO,IFI,ITSAMP)
C
45  IF(IFI-ITSAMP) 44,44,47
C
C   CONTINUE COUNTING
C
44  IFI=IFI+1
    GO TO 100
C
C   INPUT AND TEST OF STEADY STATE
C
47  IFI=1
    CALL MOVE(UOLD(1),UOLD(2),-NX-NX)
    CALL MOVE(YOLD(1),YOLD(2),-NX-NX)
    UOLD(1)=AIVALU(MD)-IGOAL
    YOLD(1)=FLOAT(AVALU(1))-GOALIN
    X(1)=YOLD(1)-DETT*UOLD(2)
C
    IF(IADJ.GT.NX+3) GO TO 50
    IADJ=IADJ+1
    GO TO 100
C
C
C   STEADY STATE OR NOT
C
50  IF(IABS(IEST)-IABS(AIVALU(MD))) 55,55,100
C
55  STEADY=.FALSE.
    NUWRAI=9
    NUWRAO=2
C
    IF(RECON) GO TO 100
    RECON=.TRUE.
C
    DO 60 K=2,NX
    NK1=NX-K+1
60  X(K)=DETT*SCAPRO(A(K),1,UOLD(3),1,NK1)
    1  +SCAPRO(B(K,1),1,UOLD(3),1,NK1)
    2  -SCAPRO(A(K),1,YOLD(2),1,NK1)

```

C

U(1)=UOLD(2)
CALL OBSY(A,B,D,X,U,Y,NX,NU)

C

U(1)=UOLD(1)

C

100

CONTINUE
RETURN
END

SUBROUTINE LOGGS2

USED FOR DEAD-BEAT2 CONTROL OF HEAT-ROD
 OUTPUT IS GIVEN AT ONCE
 (=ONE MASHINE-SAMPLINGINTERVAL AFTER INPUT)

AUTHOR JH 1970-10-18

REVISED 71-09-02

SUBROUTINES REQUIRED:

MCNODI

OBSY

GRAN

DSKUT

INTEGER AIVALU, AOVALU

LOGICAL VARJE, JUST, RECON
 LOGICAL LIVALU, LOVALU, STEADY, PRINT,
 1COSAMP, SINGBU, XTINT, LOGG, CORITE

DIMENSION IRANGE(16), MODE(16),
 1LCONLI(18), LCONLO(18), LCONAI(16), LCONAO(8),
 1LIVALU(18), LOVALU(18), AIVALU(16), AOVALU(8)

COMMON IRANGE, MODE,
 1LIVALU, LOVALU, AIVALU, AOVALU,
 1LCONLI, LCONLO, LCONAI, LCONAO,
 1NUCHLI, NUCHLO, NUCHAI, NUCAO,
 1NUVALI, NUVALO, NUVAI, NUVAO,
 1NASA, NUWRLI, NUWRLO, NUWRAI, NUWRAO, NUWROW,
 1NUSAM, LSAMP, IH, IM, IT, DT,
 1STEADY, PRINT, COSAMP, SINGBU, XTINT, LOGG, CORITE

COMMON /SLASK/
 1 DUM14(256),
 5 NX, NU, A(8), B(8,1), D(1), X(8), U(1), UOLD(9), YOLD(9), DETT,
 5 IDSTR, HEIGHT, SCALE, IBEG, VARJE,
 5 MD, TOPP, ITEST, ISIDE, IGOAL, GOALIN, JUST, RECON, IADJ, ITSAMP, IFI,
 5 Y, DUM5(7),
 6 DUM67(128),
 8 DUM8(53), X0(8), GAUSS, UNY, K, NK1

IF(IADJ.NE.0) GO TO 4
 IFI=ITSAMP
 IADJ=1

IF(RECON) GO TO 5
 GO TO 40

IF(STEADY) GO TO 50

CALL DSKUT(NUWRAI, NUWRAO, IFI, ITSAMP)

IF(IFI-ITSAMP) 10, 20, 20

IFI=IFI+1
 IF(VARJE) GO TO 17
 GO TO 100

INPUT, COUNTING AND OUTPUT

IFI=1

```

C      U(1)=AIVALU(MD)-IGOAL
C 21      DO 14 I=1,NX
C 14      X0(I)=X(I)
C
C      CALL OBSY(A,B,D,X,U,Y,NX,NU)
C      AVALU(1)=GRAN(Y+GOALIN)
C
C      IF(.NOT.JUST.OR.IABS(AVALU(1)).NE.256) GO TO 16
C      X(1)=FLOAT(AVALU(1))-SCAPRO(D(1),1,U(1),1,NU)-GOALIN
C
C      DO 13 I=2,NX
C 13      X(I)=X0(I)
C
C      CALL OBSY(A,B,D,X,U,Y,NX,NU)
C      AVALU(1)=GRAN(Y+GOALIN)
C
C      IF(IDSTR.NE.3) GO TO 100
C
C      IF THE DISTURBANCE IS STOCHASTIC
C
C 17      CALL MCNODI(1BEG,GAUSS)
C      AVALU(2)=GRAN(SCALE*GAUSS*51.2)
C      GO TO 100
C
C 40      CALL DSKUT(NUWRAI,NUWRAO,IFI,ITSAMP)
C
C 45      IF(IFI-ITSAMP) 44,47,47
C
C      CONTINUE COUNTING
C
C 44      IFI=IFI+1
C      GO TO 100
C
C      INPUT AND TEST OF STEADY STATE
C
C 47      IFI=1
C      CALL MOVE(UOLD(1),UOLD(2),-NX-NX)
C      CALL MOVE(YOLD(1),YOLD(2),-NX-NX)
C      UOLD(1)=AIVALU(MD)-IGOAL
C      YOLD(1)=FLOAT(AVALU(1))-GOALIN
C      X(1)=YOLD(2)-DETT*UOLD(2)
C
C      IF(IADJ.GT.NX+3) GO TO 50
C      IADJ=IADJ+1
C      GO TO 100
C
C      STEADY STATE OR NOT
C
C 50      IF(IABS(ITEST)-IABS(AIVALU(MD))) 55,55,100
C
C 55      STEADY=.FALSE.
C      NUWRAI=9
C      NUWRAO=2
C
C      IF(RECON) GO TO 100
C      RECON=.TRUE.
C
C      DO 60 K=2,NX
C      NK1=NX-K+1
C 60      X(K)=DETT*SCAPRO(A(K),1,UOLD(3),1,NK1)
C          1 +SCAPRO(B(K,1),1,UOLD(3),1,NK1)
C          2 -SCAPRO(A(K),1,YOLD(3),1,NK1)
C
C

```

U(1)=UOLD(2)
CALL OBSY(A,B,D,X,U,Y,NX,NU)

U(1)=UOLD(1)

GO TO 21

CONTINUE
RETURN
END

C
C
100

C
C
C
C

```
SUBROUTINE LOGGS3  
USED FOR DEAD-BEAT CONTROL OF HEAT-ROD
```

```
AUTHOR JH 1970-10-18
```

```
INTEGER AIVALU,AOVALU  
LOGICAL LIVALU,LOVALU,STEADY,PRINT,  
1COSAMP,SINGBU,XTINT,LOGG,CORITE  
DIMENSION IRANGE(16),MODE(16),  
1LCONLI(18),LCONLO(18),LCONAI(16),LCONAO(8),  
1LIVALU(18),LOVALU(18),AIVALU(16),AOVALU(8)  
COMMON IRANGE,MODE,  
1LIVALU,LOVALU,AIVALU,AOVALU,  
1LCONLI,LCONLO,LCONAI,LCONAO,  
1NUCHLI,NUCHLO,NUCHAI,NUCHAO,  
1NUVALI,NUVALO,NUVAAI,NUVA AO,  
1NASA,NUWRLI,NUWRLO,NUWRAI,NUWRAO,NUWROW,  
1NUSAM,LSAMP,IH,IM,IT,DT,  
1STEADY,PRINT,COSAMP,SINGBU,XTINT,LOGG,CORITE  
COMMON/SLASK/ IDUMMY(1024)
```

C

```
AOVALU(1)=0  
AOVALU(2)=0  
CALL DAC  
RETURN  
END
```

BLOCK DATA

FOR INITIALIZATION OF COMMON /SLASK/

THIS SUBPROGRAM IS CALLED DBSSK ON DECTAPE 3.4

JHO 1971-07-30

COMMON /SLASK/

1 DUM16(384),

7 DUM(57),T1(2),T2(2),F00(3),

8 DUM8(64)

DATA F00(1),F00(2),F00(3) /5HHOW M,5HANY T,5HAPES?/

DATA T1(1),T1(2)/3HYES,2HNO/,T2(1),T2(2)/5HRIGHT,4HLEFT/

END


```
001          SUBROUTINE POLIN(A,N,T)
002          C
003          C      THIS SUBROUTINE REEDS A POLYNOMIAL FROM THE TELETYPE
004          C      ASSUMING THAT THE POLYNOMIAL IS WRITTEN IN FREE FORMAT.
005          C
006          C      AUTHORS: JAN HOLST AND ULF BORISSON 1971-03-09
007          C      REVISED: JAN HOLST 1972-06-18
008          C
009          C      A -POLYNOMIAL TO BE READ.
010          C      N -NUMBER OF COEFFICIENTS.
011          C      T -HOLLERITH CONSTANT CONTAINING THE NAME OF THE POLYNOMIAL
012          C          (MAX TWO LETTERS).
013          C
014          C
015          C      SUBROUTINES REQUIRED
016          C          RTTFF
017          C
018          C
019          C      DIMENSION A(1)
020          C
021          C      1      WRITE(9,1000) T
022          C
023          C      I=1
024          C      DO 10 J=1,N
025          C      10      A(J)=RTTFF(I)
026          C
027          C      RETURN
028          C
029          C      1000  FORMAT(/7H ENTER ,A2,11H-POLYNOMIAL)
030          C
031          C      END
```

```

001          LOGICAL FUNCTION VERIT(TEXTIN)
002          C
003          C      TO PRINT OUT THE TWO POSSIBLE ANSWERS TO A QUESTION
004          C      PROPOSED JUST BEFORE THE CALL.
005          C
006          C      AUTHOR: JAN HOLST 1971-07-27
007          C      REVISED: JAN HOLST 1972-06-18
008          C
009          C      TEXTIN-A VECTOR WITH TWO ELEMENTS CONTAINING THE
010          C      TWO POSSIBLE ANSWERS.
011          C      EACH ELEMENT MUST BE A HOLLERITH CONSTANT
012          C      OF MAX 5 LETTERS.
013          C
014          C      VERIT -IS RETURNED .TRUE. IF THE ANSWER IS TEXTIN(1),
015          C      AND .FALSE. IF THE ANSWER IS TEXTIN(2).
016          C
017          C      OBSERVE THAT THE ROUTINE IS NOT LEFT UNTIL THE GIVEN
018          C      ANSWER EQUALS TEXTIN(1) OR TEXTIN(2).
019          C
020          C      SUBROUTINES REQUIRED
021          C      NONE
022          C
023          C      DIMENSION TEXTIN(2)
024          C      DATA IALTM/-6144/
025          C
026          C
027          10  WRITE (9,1000) TEXTIN,IALTM
028          VERIT=.TRUE.
029          READ(8,100) ANSWER
030          IF(ANSWER.EQ.TEXTIN(1)) RETURN
031          VERIT=.FALSE.
032          IF(ANSWER.EQ.TEXTIN(2)) RETURN
033          GO TO 10
034          C
035          100  FORMAT(A5)
036          1000 FORMAT(8H ANSWER ,A5,4H OR ,A5,1H: ,A1)
037          END

```


SUBROUTINE PTI

FOR INPUT OF THE FORMATS IN LOGGS1 AND TLOGS2
 THE FORMATS ARE WRITTEN ON PAPER-TAPE.
 (PTI=PAPER-TAPE INPUT)

JHO 1971-07-30

SUBROUTINES REQUIRED

FF(RTTFF)
 POLIN(RTTFF)
 VERIT

LOGICAL VERIT

COMMON /SLASK/

1 DUM15(320),
 6 FMT(120),
 7 DUMM,T1(2),T2(2),F00(3),
 8 IDUMMY(59),IFORM(20),FORM(20),TEMP,KI,KE,KEND,NT,I,J,L

DATA TFORM/2HF0/

FMT(1)=0

CALL MOVE(FMT(1),FMT(2),238)

CALL FF(TEMP,F00)

NT=TEMP

WRITE(6,1000)

CALL POLIN(FORM,NT,TFORM)

DO 10 I=1,NT

IFORM(I)=FORM(I)

KI=1

DO 20 I=1,NT

WRITE(6,1001)

IF(.NOT. VERIT(T1)) PAUSE 0011

KTEMP=KI+6*IFORM(I)

KE=KTEMP-3

DO 11 J=KI,KE,6

KEND=J+5

READ(5,100) (FMT(L),L=J,KEND)

KI=KTEMP

RETURN

FORMAT(6A5)

FORMAT(/29H HOW MANY PRINTINGS PER TAPE?)

FORMAT(/25H PAPER-TAPE READER READY?)

END

```
C      SUBROUTINE MXOUT(A,N1,N2)
C      FOR OUTPUT OF REAL MATRIX A(N1,N2)
C      JHO 1971-08-02
C      SUBROUTINES REQUIRED
C          NONE
C      DIMENSION A(1,1)
C
C      DO 10 J=1,N2,5
C      JEND=MIN0(J+4,N2)
C      WRITE(6,100) (K,K=J,JEND)
C      WRITE(6,99)
C
C      DO 10 I=1,N1,5
C      IEND=MIN0(I+4,N1)
C      DO 11 N=I,IEND
C      WRITE(6,101) N,(A(N,K),K=J,JEND)
C      WRITE(6,102)
C
C      RETURN
C
C      99  FORMAT(4H ROW)
C      100 FORMAT(/11H      COLUMN ,5X,12,4(18X,12))
C      101 FORMAT(1X,13,5(6X,G14.6))
C      102 FORMAT(///)
C
C      END
```



```
      SUBROUTINE DSKUT(NIN,NUT,IFI,ITS)
```

```
      TO FACILIAE THE CODE
```

```
      JHO 1971-07-21
```

```
      NIN=9
```

```
      NUT=2
```

```
      IF(IFI.EQ.ITS/2.OR.  
1     IFI.EQ.ITS-1.OR.  
2     IFI.EQ.ITS .OR.  
3     IFI.EQ.ITS+1      ) RETURN
```

```
      NIN=0
```

```
      NUT=0
```

```
      RETURN
```

```
      END
```

C
C
C
C
C
C

FUNCTION GRAN(Y)

LIMITER FOR THE OUTPUT TO HEATROD.

AUTHOR JHO 1971-09-07

SUBROUTINES REQUIRED
NONE

GRAN=SIGN(AMIN1(ABS(Y)+0.5,256.),Y)
RETURN
END