LUND UNIVERSITY

Dead-Beat styrning av en värmediffusionsprocess

Andersson, G; Arvinius, R; Aspenäs, B; Bodelius, L; Feltberg, K G; Foisack, P; Landberg, K; Lavemark, O; Persson, B; Paulsson, R

1974

Document Version:
Förlagets slutgiltiga version

Link to publication

Citation for published version (APA):
Andersson, G., Arvinius, R., Aspenäs, B., Bodelius, L., Feltberg, K. G., Foisack, P., Landberg, K., Lavemark, O., Persson, B., & Paulsson, R. (1974). *Dead-Beat styrning av en värmediffusionsprocess.* (Technical Reports TFRT-7069). Report / Department of Automatic Control, Lund Institute of Technology (LTH).

Total number of authors:
10

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 STYRNING AV EN VÄRME-DIFFUSIONSPROCESS

G. ANDERSSON
R. ARVINIUS
B. ASPENÄS
L. BODELIUS
K.G. FELTBERG
P. FOISACK
K. LANDBERG
O. LAVEMARK
B. PERSSON
R. PAULSSON

Rapport 7421(C) Juli 1974
Inst.för Reglerteknik
Lunds Tekniska Högskola

SYSTEMTEKNIK PROJEKTARBETE V.T. 1974

DEAD-BEAT STYRNING AV EN VÄRME-DIFFUSIONSPROCESS

G. Andersson
R. Arvinius
B. Aspenäs
L. Bodelius
K. G. Feltborg
P. Foisack
K. Landberg
O. Lavemark
B. Persson
R. Paulsson

Handledare: B. Leden

Rapport 7421 (C) Juli 1974
Inst. för Reglerteknik
Lunds Tekniska Högskola

INNEHÅLLSFÖRTECKNING

1. Inledning 1

2. Värme - Diffusionsprocessen 2
   2.1 Den experimentella processen 2
   2.2 Matematisk modell för processen 3

3. Allmänt om Dead-beat styrlagar 6
   3.1 Tidsvariabla styrlagar 6
   3.2 Tidsinvarianta styrlagar 6

4. Simuleringar och experimentella resultat för Värme - Diffusionsprocessen 12
   4.1 Beräkning av tidsvariabla styrlagar (Grupp 1) 12
   4.2 Beräkning av tidsinvarianter styrlagar (Grupp 2) 31
   4.3 Experimentella resultat vid implementering av Dead-Beat styrlagar under RSX (Grupp 3) 47
   4.4 Beskrivning av kommandostyrt program (Grupp 3) 54

Appendix

1. Inledning

I ämnet reglerteknik - systemteknik på LTH ingår inga konventionella laborationer. I stället utföres ett obligatoriskt projektarbete i ett antal projektgrupper. De olika grupperna arbetar enskilt med var sin del av ett problem. Som hjälpmedel vid beräkningarna finnes institutionens processdator PDP-15.

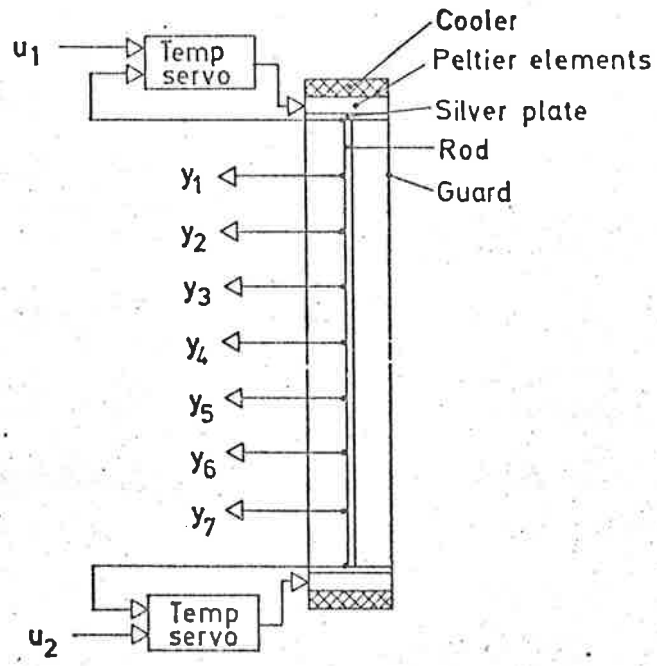
Det aktuella projektarbetet går ut på följande: En endimensionell värme diffusionsprocess skall styras på ett sådant sätt att processens profil på så få samplingsintervall som möjligt antar ett på förhand föreskrivet värde.

Allmänna förutsättningar: Systemet är linjärt diskret och tidsinvariant. Det är dessutom styrbart. Den strategi som allmänt utnyttjas i ovannämnda system är den s.k. deadbeat strategin.

2. VÄRME - DIFFUSIONSPROCESSEN

2.1 Den experimentella processen.

Den experimentella processen är schematiserad i Figur 2.1.



Figur 2.1 - Schematisk figur över Värme-Diffusionsprocessen.

Staven, som är tillverkad av koppar, är 1.4 cm i diameter samt 45 cm lång. Dessa dimensioner gör att staven kan betraktas som endimensionell. Avståndet mellan temperaturgivaren är ℓ = 5.625 cm

(2.1)

En cylindrisk mantel, också tillverkad av koppar, användes för att reducera värmeförlusterna till omgivningen. Staven är placerad i centrum av manteln och silverplattor med hög värmeledningsförmåga förbinder ändytorna på staven och manteln termiskt. Värmekällorna utgöres av Peltier-element.

Dessa fördelar värmet likformigt över silverplattorna. Kylarna användes för att upprätthålla en konstant temperatur på ena sidan av Peltier-elementen. Manteln omgives av en konventionell värmeisolering.

Stavens ändtemperatur styres m h a servon från insignalerna u_1, u_2. Termistortemperaturgivare avkänner temperaturen i 7 ekvidistanta punkter på staven. Termistorerna är monterade i små hål, borrade i staven, och är i god termisk kontakt med staven. Temperaturgivaren omvandlar resistansvariationen hos termistorerna till utsignaler y_1, y_2,..., y_7. Servona och temperaturgivarna är konstruerade så att temperaturen $T^{\circ}C$ svarar mot en spänning v V, varvid

$$v = T - 25 \qquad (2.2)$$

Processens arbetsområde är $20^{\circ}C$ - $30^{\circ}C$.

2.2 Matematisk modell för processen.

Vår avsikt är att härleda en modell på tillståndsform, som beskriver den experimentella processen. Staven antages vara så tunn att temperaturen, i alla punkter på en tvärsnittsyta, kan antages vara konstant. Därmed specificeras temperaturen $\theta = \theta(z,t)$ av tiden t och avståndet z längs staven. Stavens termiska egenskaper betecknas κ, ρ, c, k, där κ är temperaturledningstalet, ρ är tätheten, c är specifika värmet samt $k = \rho c K$ är värmeledningstalet.

Antager vi att staven har små radiella värmeförluster till manteln beskrives värmeledningen i staven av ekvationen

$$\frac{\partial \theta}{\partial t} + \mu\theta = \kappa \frac{\partial^2 \theta}{\partial z^2} \qquad 0<z<L \qquad (2.3)$$

$$\theta(0,t) = \theta_1(t)$$

$$\theta(L,t) = \theta_2(t)$$

där μ betecknar stavens ytvärmeförlustkoefficient. Denna konstant tar hänsyn till värmeförlusten p g a konvektion, ledning och strålning.

Den aktuella staven är tillverkad av kommersiell koppar. De båda konstanterna κ, μ är bestämda på experimentell basis, varvid följande värden erhållits

$$\kappa = 1.159 \pm 0.001 \text{ cm}^2/\text{sek}$$

$$\mu = 0.36\ 10^{-4} \pm 0.01\ 10^{-4} \text{ 1/sek} \qquad (2.4)$$

Modellen av Diffusionsprocessen (2.3) kan representeras med ett ändligt antal ordinära differentialekvationer, om den partiella derivatan i z-led approximeras med en differensformel. Användes central approximation finner vi

$$\left.\frac{\partial^2\theta}{\partial z^2}\right|_{i,j} \approx \frac{1}{h_z^2}\left(\theta_{i-1,j} - 2\theta_{i,j} + \theta_{i+1,j}\right) \quad i = 1,2,\ldots,n-1 \qquad (2.5)$$

där $\theta_{i,j}$ är temperaturen i den i:te punkten vid tidpunkten j, n anger antalet indelningspunkter samt $h_z = L/n$.

Inför tillståndsvektorn (temperatur i n-1 ekvidistanta punkter på staven).

$$x = \begin{bmatrix} \theta_{1,j} \\ \theta_{2,j} \\ \vdots \\ \theta_{n-1,j} \end{bmatrix} \qquad (2.6)$$

och insignalvektorn (stavens ändtemperaturer)

$$u = \begin{bmatrix} \theta_{0,j} \\ \theta_{n,j} \end{bmatrix} \qquad (2.7)$$

Då utgör systemet

$$\dot{x} = \begin{bmatrix} -a & b & 0 & & \\ b & -a & b & 0 & \\ 0 & & & & 0 \\ & 0 & b & -a & b \\ & & 0 & b & -a \end{bmatrix} x + \begin{bmatrix} b & 0 \\ 0 & 0 \\ \vdots & \vdots \\ 0 & 0 \\ 0 & b \end{bmatrix} u \qquad (2.8)$$

med

$$\begin{cases} a = 2\kappa/h_z^2 + \mu \\ b = \kappa/h_z^2 \end{cases}$$

en approximation till modellen (2.3). I själva verket kan man visa att skillnaden mellan stegsvaren för modellen (2.3) och (2.8) är mindre än $0.007^{\circ}C$ i stavens mittpunkt för alla tider, då ett enhetssteg påtvingas stavens ena ändtemperatur och den andra ändtemperaturen hålles konstant.

3. Allmänt om dead beat-styrlagar

Deadbeatstrategin ger en styrlag som är antingen tidsvariabel eller tidsinvariant.

3.1 Tidsvariabel styrlag

För att få fram en tidsvariabel styrlag sökes en optimal lösning till optimeringsproblemet

$$V(x,t)= \min_{u(t),\, u(t+1),\ldots u(N-1)} x^T(N)Q_0x(N)$$

Då flera lösningar existerar väljes den lösning $u(t)$ som har minimal norm. Man erhåller en sekvens av styrlagar $L(t)$, där $t= t_o, t_o+1, \ldots, N-1$

3.2 Tidsinvariant styrlag

För att få fram en tidsinvariant styrlag sökes en lösning till optimeringsproblemet

$$V(x_o,t_{db})= \min_{u(t_{db}),\, u(t_{db}+1),\ldots u(N-1)} x^T(N)Q_0x(N)$$

där t_{db} är det stösta heltalet sådant att $V(x,t_{db})= 0$.

Projektarbetet är centrerat kring följande två teorem, vilka beskriver hur de tidsvariabla och de tidsinvarianta styrlagarna genereras.

Teorem 1.

Låt systemet

$$x(t+1) = \Phi x(t) + \Gamma u(t)$$

och kriteriefunktionen

$$V(x,t) = \min_{u(t),u(t+1),\ldots,u(N-1)} x^T(N)Q_0x(N) \ , \quad Q_0>0$$

vara givna. Den entydiga lösningen med minimal norm, som minimerar kriteriefunktionen gives av

$$u_{opt}(t) = L(t)x(t)$$

där

$$L(t) = -(\Gamma^T S(t+1)\Gamma)^+ \Gamma^T S(t+1)\Phi$$

och S(t) gives av den rekursiva ekvationen

$$S(t) = \Phi^T S(t+1)\Phi - \Phi^T S(t+1)\Gamma(\Gamma^T S(t+1)\Gamma)^+ \Gamma^T S(t+1)\Phi$$

$$= (\Phi+\Gamma L(t))^T S(t+1)\Phi$$

$$= (\Phi+\Gamma L(t))^T S(t+1)(\Phi+\Gamma L(t))$$

$$S(N) = Q_0$$

Det minimala värdet på kriteriefunktionen vid tidpunkten $t = t_0$ gives av $V(x,t_0) = x^T(t_0)S(t_0)x(t_0)$. Dessutom, om u är en annan lösning som minimerar kriteriefunktionen så gäller $\| u(t)\| \geq \| u_{opt}(t)\|$, $t = t_0, t_0+1,\ldots,N-1$.

För att ej i onödan komplicera utsagan i teorem 2, antages systemmatriserna Φ,Γ i (3.1) uppfylla Φ reguljär samt rk Γ = m. Detta gäller för vår process och är i allmänna fallet ej någon väsentlig inskränkning. Det bör påpekas att matrisen Φ är reguljär, om det diskreta systemet har erhållits genom sampling av ett kontinuerligt system med rationell överföringsfunktion. Vidare innebär villkoret rk Γ<m att systemet (3.1) innehåller insignaler, som ej bidrager till systemets styrbarhet. Dessa kan därför utelämnas, varvid ett system erhålles, där kolonnerna i matrisen Γ är linjärt oberoende.

Med styrbarhetsindex ν för systemet (3.1) avses det minsta positiva heltal för vilket matrisen

$$W_\nu = [\Gamma, \Phi\Gamma, \ldots, \Phi^{\nu-1}\Gamma] \qquad (3.4)$$

har rangen n. Då matrisen Φ är reguljär gäller

$$R[\Gamma, \Phi\Gamma, \ldots, \Phi^{\nu-1}\Gamma] = R[\Phi^{-1}\Gamma, \Phi^{-2}\Gamma, \ldots, \Phi^{-\nu}\Gamma] = R^n \qquad (3.5)$$

Därmed är det möjligt att plocka ut n linjärt oberoende vektorer ur kolonnrummet $\{\Phi^{-1}\Gamma, \Phi^{-2}\Gamma, \ldots, \Phi^{-\nu}\Gamma\}$, vilka genererar R^n. Den väsentliga restriktionen vid valet av dessa vektorer är att ingen vektor av formen $\Phi^{-j}\gamma_k$ väljes, såvida inte alla lägre potenser av Φ gånger γ_k har valts.

Proceduren nedan beskriver valet av de n linjärt oberoende vektorerna i $\{\Phi^{-1}\Gamma, \Phi^{-2}\Gamma, \ldots, \Phi^{-\nu}\Gamma\}$.

- Välj samtliga vektorer $\Phi^{-1}\Gamma$.
- Välj en vektor $\Phi^{-2}\gamma_k$. Om vektorn är linjärt oberoende av vektorerna $\Phi^{-1}\Gamma$ acceptera den, i annat fall utelämna den.
- I varje steg av proceduren välj en ny vektor $\Phi^{-j}\gamma_k$, där alla potenser av Φ gånger γ_k redan tidigare har valts. Om den nya vektorn är linjärt oberoende av de tidigare valda vektorerna acceptera den, i annat fall utelämna den.
- Proceduren avslutas då n linjärt oberoende vektorer plockats ut.

De genom proceduren erhållna vektorerna ordnas i en matris

$$\bar{W}_\nu = [\Phi^{-1}\Gamma(1), \Phi^{-2}\Gamma(2), \ldots, \Phi^{-\nu}\Gamma(\nu)] \qquad (3.6)$$

där

$$\Gamma^{(1)} = \Gamma \; ; \; \text{rk } \Gamma^{(1)} = m$$

$$\Gamma^{(k)} = [\gamma_{\ell_1}, \gamma_{\ell_2}, \ldots, \gamma_{\ell_k}]; \; \text{rk } \Gamma^{(k)} = r_k \, , \quad k = 2,3,\ldots, \nu \tag{3.7}$$

Konstruktionen ovan implicerar

$$R(\Gamma^{(\nu)}) \subset R(\Gamma^{(\nu-1)}) \subset \ldots \subset R(\Gamma^{(1)}) = R(\Gamma) \tag{3.8}$$

Vi är nu mogna för att angiva teorem 2.

Teorem 2.

Givet det styrbara systemet

$$x(t+1) = \Phi x(t) + \Gamma u(t)$$

där Φ är reguljär, rk Γ = m och ν är styrbarhetsindex. Låt L vara en n x n matrix sådan att

$$L[\Phi^{-1}\Gamma^{(1)}, \Phi^{-2}\Gamma^{(2)}, \ldots, \Phi^{-\nu}\Gamma^{(\nu)}] = -[I_m, 0_{r_1}, \ldots, 0_{r_\nu}]$$

där

matrisen $[\Phi^{-1}\Gamma^{(1)}, \Phi^{-2}\Gamma^{(2)}, \ldots, \Phi^{-\nu}\Gamma^{(\nu)}]$ innehåller n linjärt oberoende kolonner sådana att

$$\Gamma^{(1)} = \Gamma \; ; \quad \text{rk } \Gamma^{(1)} = m$$

$$\Gamma^{(k)} = [\gamma_{\ell_1}, \gamma_{\ell_2}, \ldots, \gamma_{\ell_k}] \; ; \; \text{rk } \Gamma^{(k)} = r_k \; , \; k = 2,3,\ldots,\nu$$

$$R(\Gamma^{(\nu)}) \subset R(\Gamma^{(\nu-1)}) \subset \ldots \subset R(\Gamma^{(1)}) = R(\Gamma)$$

Då utgör L en dead-beat strategi

$$(\Phi + \Gamma L)^{\nu} x_0 = 0 \quad \forall x_0 \in R^n$$

4. SIMULERING OCH EXPERIMENTELLA RESULTAT FÖR VÄRME - DIFFUSIONS PROCESSEN

4.1 Beräkning av tidsvariabla styrlagar (Grupp 1)

En dead-beatstrategi innebär val av insignaler, så att alla tillståndsvariabler på så kort tid som möjligt antar värdet noll oberoende av initialtillståndet. Systemet (2.8) samplas med intervallet T och övergår i

$$x(t+T) = \Phi x + \Gamma u$$

Genom återkoppling från samtliga tillstånd så att $u = Lx$ fås

$$x(t+T) = (\Phi+\Gamma L)x$$

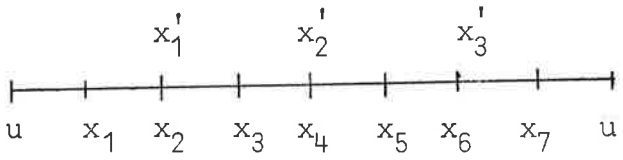
Man kan visa, att det med 7 tillståndsvariabler och 2 insignaler är möjligt att i 4 steg styra tillståndet till noll oberoende av x(0). Vid tidsvariabla strategier ändras styrlagen i varje steg. Problemet består alltså i att finna fyra L sådana att

$$x(t+4T) = (\Phi+\Gamma L1)(\Phi+\Gamma L2)\ldots(\Phi+\Gamma L4)x(0) = 0 \quad \forall x(0)$$

Uppgift:

1. Beräkning av d.b.-strategi för värme - diffusionsprocessen då samplingsintervallet T = 60 sekunder och sluttillstånden straffas lika, d.v.s. Q = I.
2. Beräkning enligt 1 då sluttillståndet i ändarna av staven straffas hårdare än det i mitten.
3. Som i 2 då mittpunkternas sluttillstånd straffas hårdare än ändpunkternas.
4. Beräkning av d.b.-strategi då T = 40 sekunder och $Q_o = I$.

5. Beräkning av d.b.-strategi då N = 3, T = 60 och Q_o = I.



Av figuren framgår, att de nya tillstånden x' motsvarar de tidigare på så sätt att $x_1' = x_2$, $x_2' = x_4$, $x_3' = x_6$ och att alla avstånd fördubblats.

Resultat:

Med användande av syntespaketet Synpac erhölls följande[x] (initialtillståndet $x^T(0)$ är genomgående (1,1,..1):

1. N = 7, T = 60, Q_o = I

   Systemet samplades med T = 60 varvid Φ och Γ sid 16 erhölls. De successiva värdena på S och L samt egenvärdena för (Φ+ΓL) = E visas på sidorna 17 och 18. Efter 3 steg har S antagit värden 10^{-10}, varför ett fjärde steg är överflödigt. Beräkningen av x(4T) och x(5T) gjordes genom upprepning av proceduren: $u(3T) = L_3x(3T)$, $x(4T) = (\Phi+\Gamma L_3)x(3T)$, $u(4T) = L_2x(4T)$ etc. Tillståndet efter 3 steg har alltså bildat ett nytt initialtillstånd, som utsatts för samma styrstrategi som det ursprungliga, x(o). Tillståndsvariablernas och insignalernas värden vid tidpunkterna t = 0,T,2T... har lagts som kolonner i matrisen TRAJ och plottats. Eftersom systemet är symmetriskt (samma insignal i båda ändar) erhålls $x_1 = x_7$, $x_2 = x_6$, $x_3 = x_5$, så att diagrammet (sid 19) visar 4 trajektorier och 1 insignal.

2. Q_o ändrades på sätt som framgår av sidan 20. Man ser, att L_3 föga avviker från motsvarande värden då Q_o = I, medan L_2 och i synnerhet L1 uppvisar större differens. Insignalerna för samtliga steg är också ungefär de samma.

---

x) S och L har indicerats så, att de först erhållna värdena kallats S1 och L1, nästa S2 och L2 osv.

Det är vidare intressant att jämföra tillståndsvariablerna x_1 och x_2 å ena sidan med x_3 och x_4 å den andra. Efter t = 2T steg är differensen liten, men för t = 3T steget åstadkommer straffet av ytterändarnas tillstånd att dessa antar värden 10^{-4} gånger värdena i mitten av staven, vilket överensstämmer med förhållandet mellan motsvarande element i Q_o. S_3 är fortfarande tillräckligt liten. Plottning av trajektorier och insignal visas på sid 22.

3. Straffmatrisen ändrades åter, se sid 23, och det omvända förhållandet mellan mitt- och ändpunkter kan nu konstateras. Lägg också märke till hur värdena i mitten rör sig bort från noll för t = 4T steget. Plot på sid 25.

4. T = 40 sekunder, Q_o = I, N = 7.

   Φ och Γ visas på sid 26. Den kortare tid, som insignalerna nu fick påverka staven i varje samplingsintervall resulterade i att värdena i S3 är 10^3 gånger de tidigare erhållna. Ett ytterligare steg motiveras dock ej. Lägg märke till att insignalen i steg 1 är approximativt dubbelt så stor som motsvarande signal under 1. Plot på sid 28.

5. N = 3, T = 60 Q_o = I.

   Man erhåller nya matriser A och B, vilka visas på sid 29. Systemet styrs till noll i två steg. Av intresse är en jämförelse med resultaten i 1. Eftersom endast två steg erfordras blir den första insignalen större än i 1. Man får härigenom en kraftigare förändring av samtliga tillstånd i första steget. Plottning av trajektorier och insignaler visas på sid 30.

1. $N = 7$, $T = 60$, $Q_o = I$

A

-0.732962E-01	0.366301E-01	0.000000	0,000000	0,000000	0.000000	0,000000
0,366301E-01	-0.732962E-01	0.366301E-01	0,000000	0,000000	0.000000	0,000000
0.000000	0.366301E-01	-0.732962E-01	0,366301E-01	0,000000	0.000000	0.000000
0.000000	0,000000	0.366301E-01	-0,732962E-01	0,366301E-01	0.000000	0,000000
0.000000	0,000000	0.000000	0,366301E-01	-0,732962E-01	0,366301E-01	0,000000
0.000000	0,000000	0.000000	0,000000	0.366301E-01	-0.732962E-01	0.366301E-01
0,000000	0,000000	0.000000	0,000000	0,000000	0,366301E-01	-0,732962E-01

B

0	0
0	0
0	0
0	0
0	0
0.366301E-01	0.366301E-01

FI

0.783254E-01	0.107308	0.885001E-01	0.535437E-01	0.256701E-01	0.101415E-01	0.319076E-02
0.107308	0.166825	0.160852	0.114170	0.636852E-01	0.288609E-01	0.101415E-01
0.885001E-01	0.160852	0.192496	0.170994	0.117361	0.636852E-01	0.256701E-01
0.535437E-01	0.114170	0.170994	0.195686	0.170994	0.114170	0.535437E-01
0.256701E-01	0.636852E-01	0.117361	0.170994	0.192496	0.160852	0.885001E-01
0.101415E-01	0.288609E-01	0.636852E-01	0.114170	0.160852	0.166825	0.107308
0.319076E-02	0.101415E-01	0.256701E-01	0.535437E-01	0.885001E-01	0.107308	0.783254E-01

GAM

0.630410	0.171197E-02
0.339764	0.661639E-02
0.156761	0.216688E-01
0.624126E-01	0.624126E-01
0.216688E-01	0.156761
0.661639E-02	0.339764
0.171197E-02	0.630410

S1

0.900403E-02	0.175843E-01	0.230736E-01	0.230083E-01	0.179674E-01	0.109584E-01	0.476655E-02
0.175843E-01	0.350083E-01	0.472148E-01	0.485957E-01	0.391972E-01	0.246274E-01	0.109584E-01
0.230736E-01	0.472148E-01	0.661705E-01	0.711439E-01	0.599631E-01	0.391972E-01	0.179674E-01
0.230083E-01	0.485957E-01	0.711439E-01	0.803506E-01	0.711439E-01	0.485957E-01	0.230083E-01
0.179674E-01	0.391972E-01	0.599631E-01	0.711439E-01	0.661705E-01	0.472148E-01	0.230736E-01
0.109584E-01	0.246274E-01	0.391972E-01	0.485957E-01	0.472148E-01	0.350083E-01	0.175843E-01
0.476655E-02	0.109584E-01	0.179674E-01	0.230083E-01	0.230736E-01	0.175843E-01	0.900403E-02

L1

-0.190623	-0.290123	-0.280787	-0.207652	-0.124404	-0.609946E-01	-0.226612E-01
-0.226612E-01	-0.609946E-01	-0.124404	-0.207652	-0.280787	-0.290123	-0.190623

S2

0.996508E-05	0.216881E-04	0.326149E-04	0.371755E-04	0.324814E-04	0.215192E-04	0.985949E-05
0.216881E-04	0.472199E-04	0.710451E-04	0.810236E-04	0.708316E-04	0.469496E-04	0.215192E-04
0.326149E-04	0.710451E-04	0.106961E-03	0.122071E-03	0.106792E-03	0.708316E-04	0.324814E-04
0.371755E-04	0.810236E-04	0.122071E-03	0.139426E-03	0.122071E-03	0.810236E-04	0.371755E-04
0.324814E-04	0.708316E-04	0.106792E-03	0.122071E-03	0.106961E-03	0.710452E-04	0.326149E-04
0.215192E-04	0.469496E-04	0.708316E-04	0.810236E-04	0.710452E-04	0.472199E-04	0.216881E-04
0.985949E-05	0.215192E-04	0.324814E-04	0.371755E-04	0.326149E-04	0.216881E-04	0.996508E-05

L2

-0.318192	-0.542233	-0.615437	-0.542294	-0.382670	-0.214428	-0.873754E-01
-0.873756E-01	-0.214428	-0.382670	-0.542294	-0.615438	-0.542234	-0.318192

S3

0.442355E-11	0.964805E-11	0.145441E-10	0.166123E-10	0.145347E-10	0.963590E-11	0.441587E-11
0.964919E-11	0.210455E-10	0.317254E-10	0.362367E-10	0.317047E-10	0.210190E-10	0.963244E-11
0.145479E-10	0.317297E-10	0.478315E-10	0.546331E-10	0.478008E-10	0.316903E-10	0.145228E-10
0.166185E-10	0.362459E-10	0.546396E-10	0.624098E-10	0.546056E-10	0.362021E-10	0.165907E-10
0.145414E-10	0.317157E-10	0.478108E-10	0.546105E-10	0.477824E-10	0.316791E-10	0.145181E-10
0.964068E-11	0.210270E-10	0.316982E-10	0.362070E-10	0.316806E-10	0.210042E-10	0.962612E-11
0.441804E-11	0.963614E-11	0.145266E-10	0.165931E-10	0.145190E-10	0.962632E-11	0.441177E-11

L3

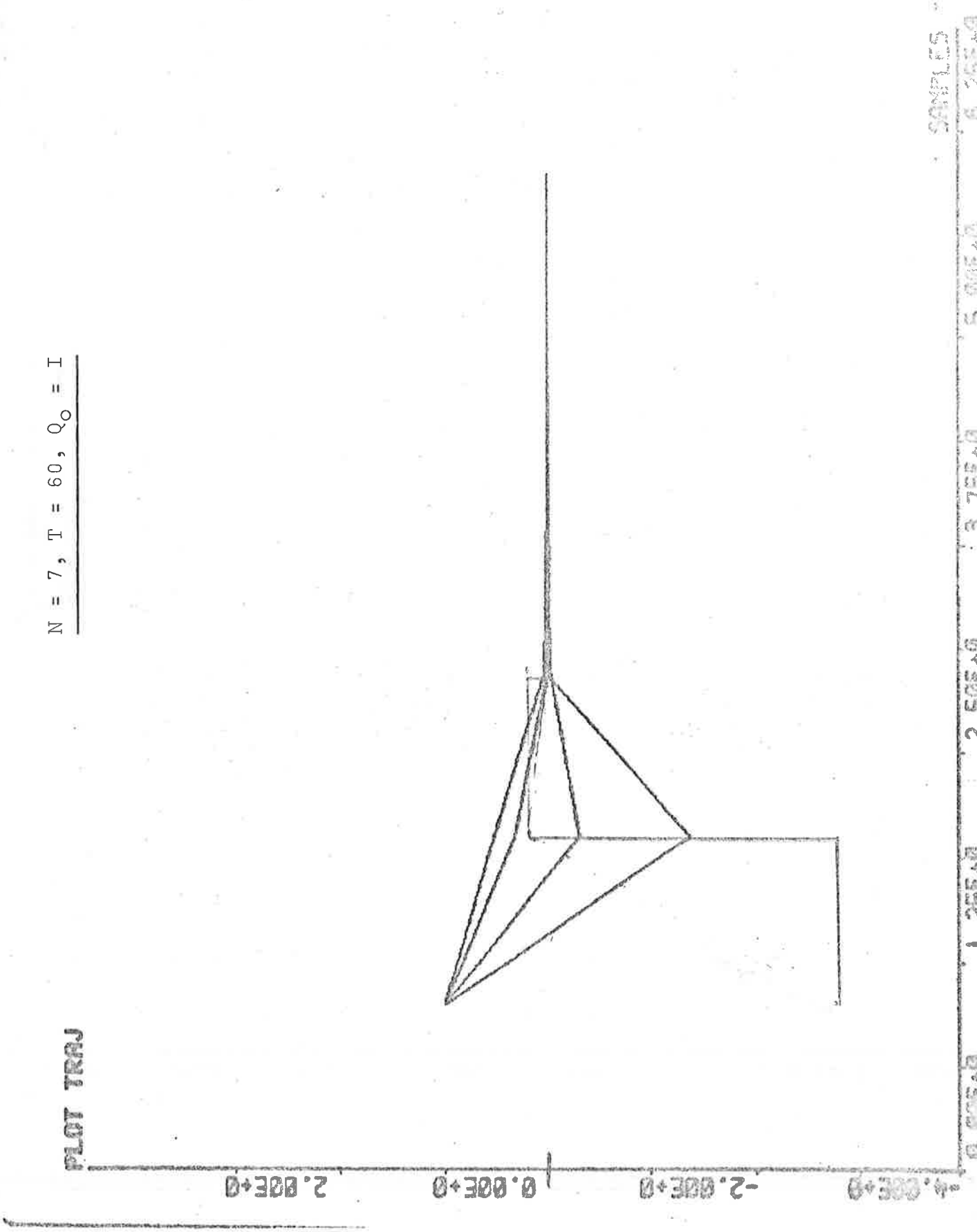
-0.323220	-0.552655	-0.630079	-0.557678	-0.394969	-0.221886	-0.905507E-01
-0.905504E-01	-0.221887	-0.394968	-0.557680	-0.630078	-0.552655	-0.323220

EGENVÄRDEN

$E1 = \Phi + \Gamma L1$		$E3 = \Phi + \Gamma L3$		$E2 = \Phi + \Gamma L2$	
0.413605	0.000000	-0.862457E-03	0.000000	0.181304E-01	0.000000
0.141179E-01	0.000000	-0.279359E-03	0.275808E-03	0.365025E-03	0.000000
0.830278E-01	0.000000	-0.279359E-03	-0.275808E-03	0.246533E-02	0.000000
0.885516E-08	0.000000	0.355292E-03	0.697984E-03	-0.605976E-04	0.000000
0.214874E-02	0.000000	0.355292E-03	-0.697984E-03	0.649214E-04	0.000000
0.362290E-03	0.000000	0.551397E-03	0.303142E-03	-0.692400E-04	0.000000
-0.590584E-08	0.000000	0.551397E-03	-0.303142E-03	0.713676E-04	0.000000

TRAJEKTORIER OCH INSIGNAL

$x_1 = x_7$	$x_2 = x_6$	$x_3 = x_5$	x_4	$U_1 = U_2$	t
1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	-2.77104	0
-1.38495	-0.307992	0.325120	0.527206	0.184331	T
0.327977E-01	-0.258906E-01	-0.349623E-02	0.187252E-01	-0.376300E-03	2T
-0.171269E-05	0.815488E-05	-0.174359E-04	0.220092E-04	0.218151E-08	3T
0.555187E-08	-0.959826E-08	-0.605592E-08	0.198648E-07	0.933748E-09	4T
0.199051E-09	-0.160782E-09	-0.322870E-10	0.129954E-09	0.000000	5T


PLOT TRAJ
-4.000E+0
-2.000E+0
0.000E+0
2.000E+0
0.000E+0
1.250E+0
2.500E+0
3.750E+0
5.000E+0
6.250E+0
SAMPLES

N = 7, T = 60, Q_o = I

2. $N = 7, T = 60, Q_o = I$

Q0

10000.0	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
0.000000	10000.0	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
0.000000	0.000000	1.00000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
0.000000	0.000000	0.000000	1.00000	0.000000	0.000000	0.000000
0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	1.00000	0.000000	0.000000
0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	10000.0	0.000000
0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	10000.0

L1

-0.167367	-0.242413	-0.215292	-0.141267	-0.733212E-01	-0.309517E-01	-0.101155E-01
-0.101155E-01	-0.309517E-01	-0.733212E-01	-0.141267	-0.215292	-0.242413	-0.167367

L2

-0.300581	-0.504815	-0.560955	-0.482427	-0.332299	-0.182213	-0.730173E-01
-0.730173E-01	-0.182213	-0.332299	-0.482427	-0.560955	-0.504815	-0.300581

L3

-0.323562	-0.553414	-0.631234	-0.559023	-0.396170	-0.222695	-0.909309E-01
-0.901213E-01	-0.220936	-0.393521	-0.556002	-0.628585	-0.551654	-0.322753

S3

-0.293818E-11	-0.620154E-11	-0.893555E-11	-0.967414E-11	-0.799094E-11	-0.500997E-11	-0.219322E-11
-0.625952E-11	-0.132073E-10	-0.190199E-10	-0.205768E-10	-0.169802E-10	-0.106347E-10	-0.465126E-11
-0.915444E-11	-0.193075E-10	-0.277868E-10	-0.300325E-10	-0.247514E-10	-0.154794E-10	-0.676153E-11
-0.101257E-10	-0.213476E-10	-0.307022E-10	-0.331491E-10	-0.272806E-10	-0.170331E-10	-0.742907E-11
-0.859378E-11	-0.181118E-10	-0.260323E-10	-0.280781E-10	-0.230736E-10	-0.143816E-10	-0.626255E-11
-0.554928E-11	-0.116925E-10	-0.167972E-10	-0.181008E-10	-0.148546E-10	-0.924370E-11	-0.401901E-11
-0.249385E-11	-0.525385E-11	-0.754499E-11	-0.812509E-11	-0.666105E-11	-0.413967E-11	-0.179759E-11

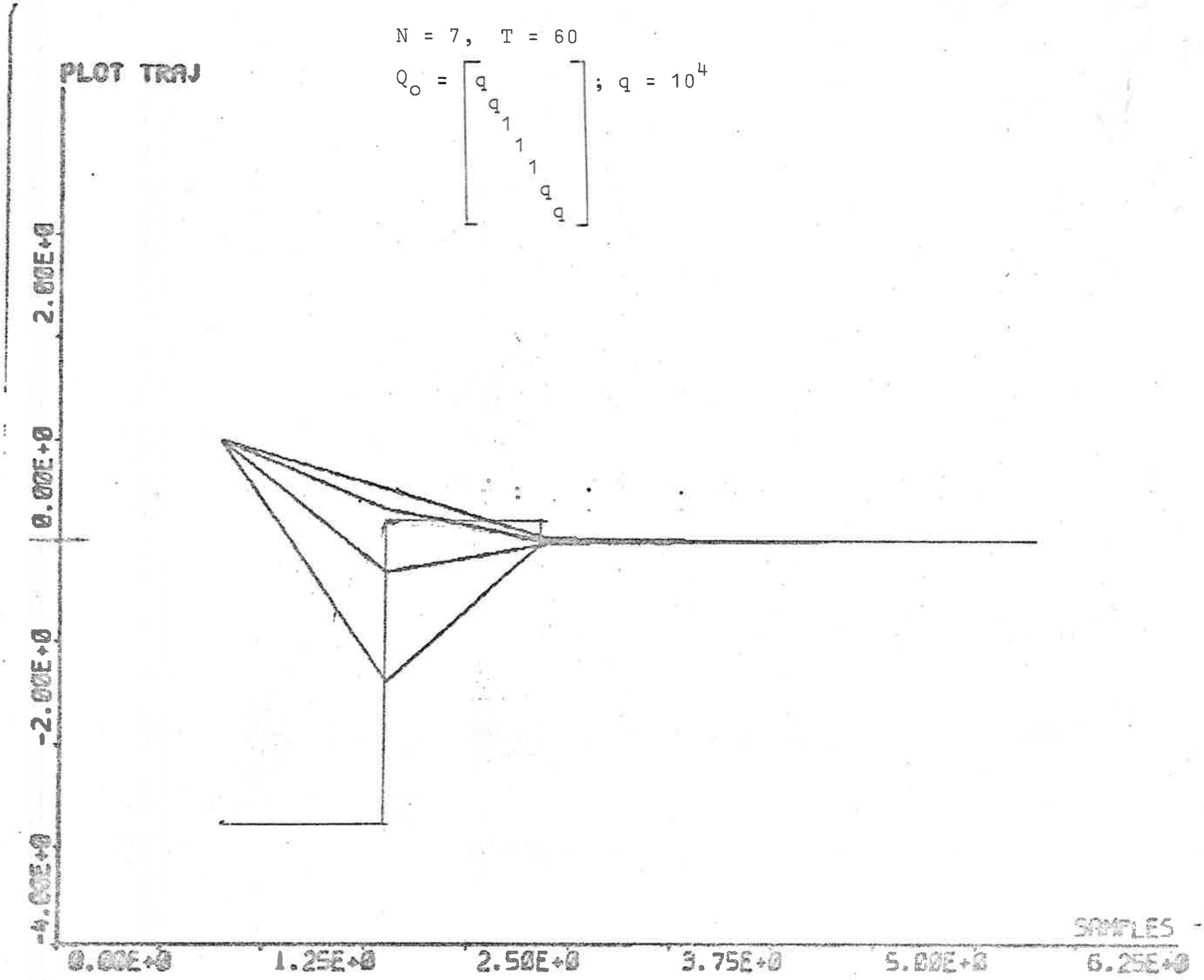
TRAJEKTORIER OCH INSIGNAL

Traj

$x_1 = x_7$	$x_2 = x_6$	$x_3 = x_5$	x_4	$U_1 = U_2$	t
1.00000	1,00000	1.00000	1,00000	-2,77703	0
-1.38872	-0.309977	0.324343	0.527298	0,185644	T
0.331163E-01	-0,261248E-01	-0.372884E-02	0,188240E-01	-0.361298E-03	2T
-0.477623E-09	0,142619E-08	-0.241175E-04	0.239002E-04	0.832323E-05	3T
0.398487E-05	0.681552E-06	-0.102492E-05	-0,131322E-05	-0,493616E-06	4T
-0.866507E-07	0.688253E-07	0.880615E-08	-0.486043E-07	0,000000	5T

$N = 7, \quad T = 60$

$$Q_o = \begin{bmatrix} q & & & & & \\ & q & & & & \\ & & 1 & & & \\ & & & 1 & & \\ & & & & q & \\ & & & & & q \end{bmatrix}; \quad q = 10^4$$



3 . $\dot{N} = 7$, $T = 60$, $Q_o = I$

Q0

1.00000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
0.000000	1.00000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
0.000000	0.000000	10000.0	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
0.000000	0.000000	0.000000	10000.0	0.000000	0.000000	0.000000
0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	10000.0	0.000000	0.000000
0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	1.00000	0.000000
0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	1.00000

L1

-0.573150	-1.04353	-1.24333	-1.07689	-0.688303	-0.325671	-0.108914
-0.108914	-0.325671	-0.688303	-1.07689	-1.24333	-1.04353	-0.573150

L2

-0.340938	-0.590760	-0.686388	-0.620462	-0.448447	-0.256407	-0.106030
-0.106031	-0.256409	-0.448450	-0.620466	-0.686392	-0.590762	-0.340940

L3

-0.323635	-0.553539	-0.631403	-0.559208	-0.396297	-0.222799	-0.909643E-01
-0.908805E-01	-0.222625	-0.396087	-0.558941	-0.631193	-0.553365	-0.323551

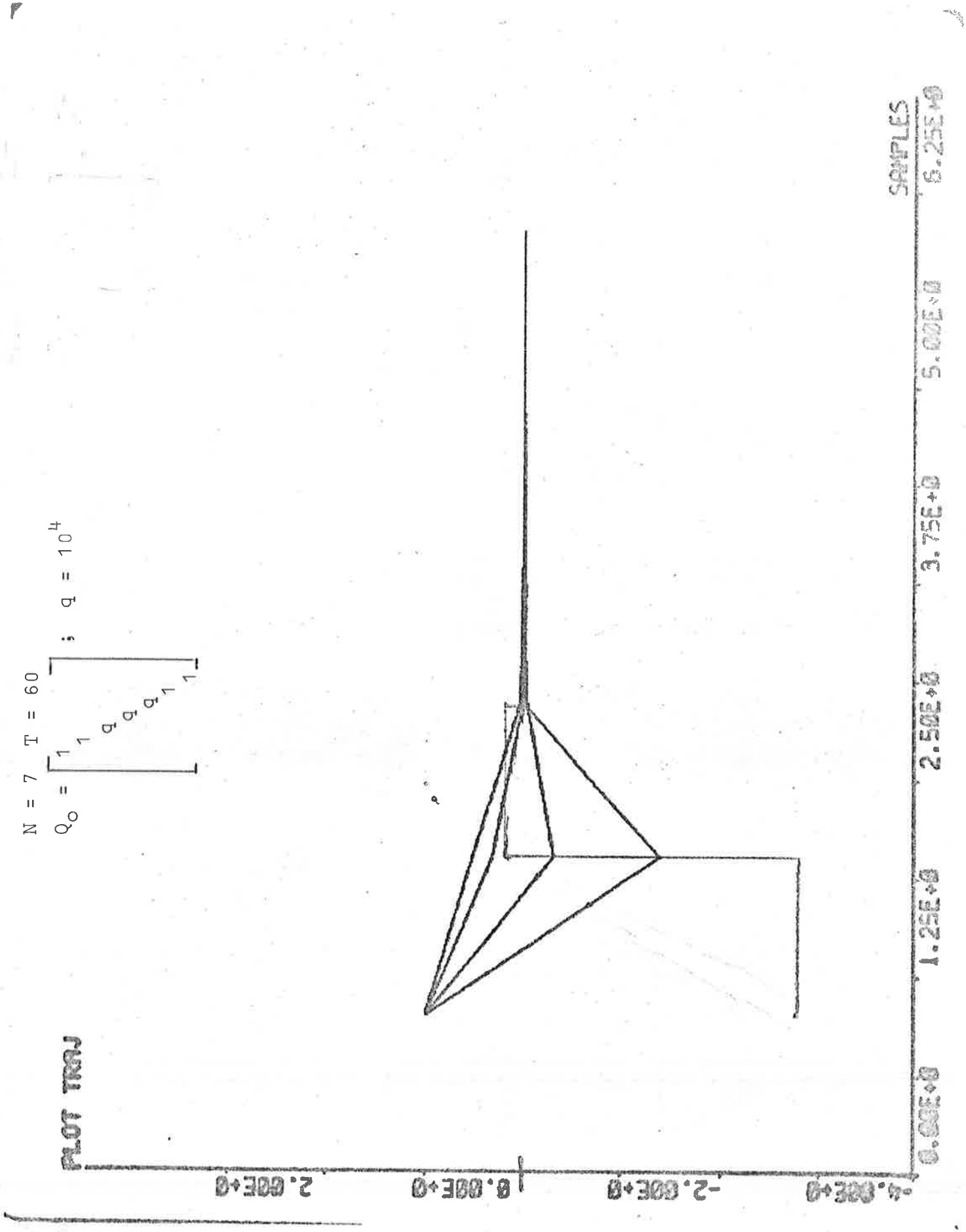
S3

0.408888E-10	0.891426E-10	0.134360E-09	0.153510E-09	0.134408E-09	0.892080E-10	0.409304E-10
0.890606E-10	0.194189E-09	0.292738E-09	0.334514E-09	0.292928E-09	0.194433E-09	0.892105E-10
0.134070E-09	0.292370E-09	0.440827E-09	0.503838E-09	0.441290E-09	0.292949E-09	0.134421E-09
0.152964E-09	0.333613E-09	0.503101E-09	0.575138E-09	0.503855E-09	0.334550E-09	0.153530E-09
0.133738E-09	0.291704E-09	0.439960E-09	0.503050E-09	0.440803E-09	0.292753E-09	0.134373E-09
0.886358E-10	0.193332E-09	0.291614E-09	0.333477E-09	0.292271E-09	0.194154E-09	0.891350E-10
0.406186E-10	0.885955E-10	0.133637E-09	0.152834E-09	0.133969E-09	0.890125E-10	0.408728E-10

TRAJEKTORIER OCH INSIGNAL

Traj

$x_1 = x_7$	$x_2 = x_6$	$x_3 = x_5$	x_4	$U_1 = U_2$	t
1.00000	1.00000	1,00000	1.00000	-2.77785	0
-1,38926	-0.310341	0.323932	0,526431	0,189367	T
0.351874E-01	-0,254392E-01	-0,406050E-02	0,178910E-01	-0.624539E-03	2T
-0.186462E-04	0.722000E-04	-0,736337E-08	0,387800E-09	-0,480896E-04	3T
-0,234487E-04	-0,474640E-05	0.544424E-05	0,839129E-05	0,313245E-05	4T
0,580873E-06	-0,420099E-06	-0,666425E-07	0,294870E-06	0.000000	5T


PLOT TRAJ
N = 7 T = 60
$Q_o = \begin{bmatrix} 1 & & & & \\ & 1 & & & \\ & & q & & \\ & & & q & \\ & & & & q \end{bmatrix}$; $q = 10^4$
SAMPLES
0.000E+0
1.250E+0
2.500E+0
3.750E+0
5.000E+0
6.250E+0
-4.000E+0
-2.000E+0
0.000E+0
2.000E+0

4. $N = 7, T = 40, Q_o = I$

F1

0.135065	0.151324	0.953585E-01	0.423204E-01	0.145115E-01	0.404743E-02	0.919465E-03
0.151324	0.230423	0.193645	0.109870	0.463679E-01	0.154310E-01	0.404743E-02
0.953585E-01	0.193645	0.244935	0.197692	0.110789	0.463679E-01	0.145115E-01
0.423204E-01	0.109870	0.197692	0.245854	0.197692	0.109870	0.423204E-01
0.145115E-01	0.463679E-01	0.110789	0.197692	0.244935	0.193645	0.953585E-01
0.404743E-02	0.154310E-01	0.463679E-01	0.109870	0.193645	0.230423	0.151324
0.919465E-03	0.404743E-02	0.145115E-01	0.423204E-01	0.953585E-01	0.151324	0.135065

GAM

0.555268	0.276536E-03
0.246146	0.147281E-02
0.885910E-01	0.671796E-02
0.264812E-01	0.264812E-01
0.671796E-02	0.885910E-01
0.147281E-02	0.246146
0.276536E-03	0.555268

L1

-0.322874	-0.426585	-0.339306	-0.199955	-0.940012E-01	-0.357552E-01	-0.102513E-01
-0.102513E-01	-0.357552E-01	-0.940012E-01	-0.199955	-0.339306	-0.426585	-0.322874

L2

-0.569381	-0.980574	-1.10982	-0.945301	-0.615467	-0.299530	-0.100895
-0.100895	-0.299530	-0.615467	-0.945301	-1.10982	-0.980574	-0.569381

L3

-0.597155	-1.04912	-1.21671	-1.05791	-0.697473	-0.341217	-0.115048
-0.115051	-0.341222	-0.697482	-1.05792	-1.21672	-1.04913	-0.597158

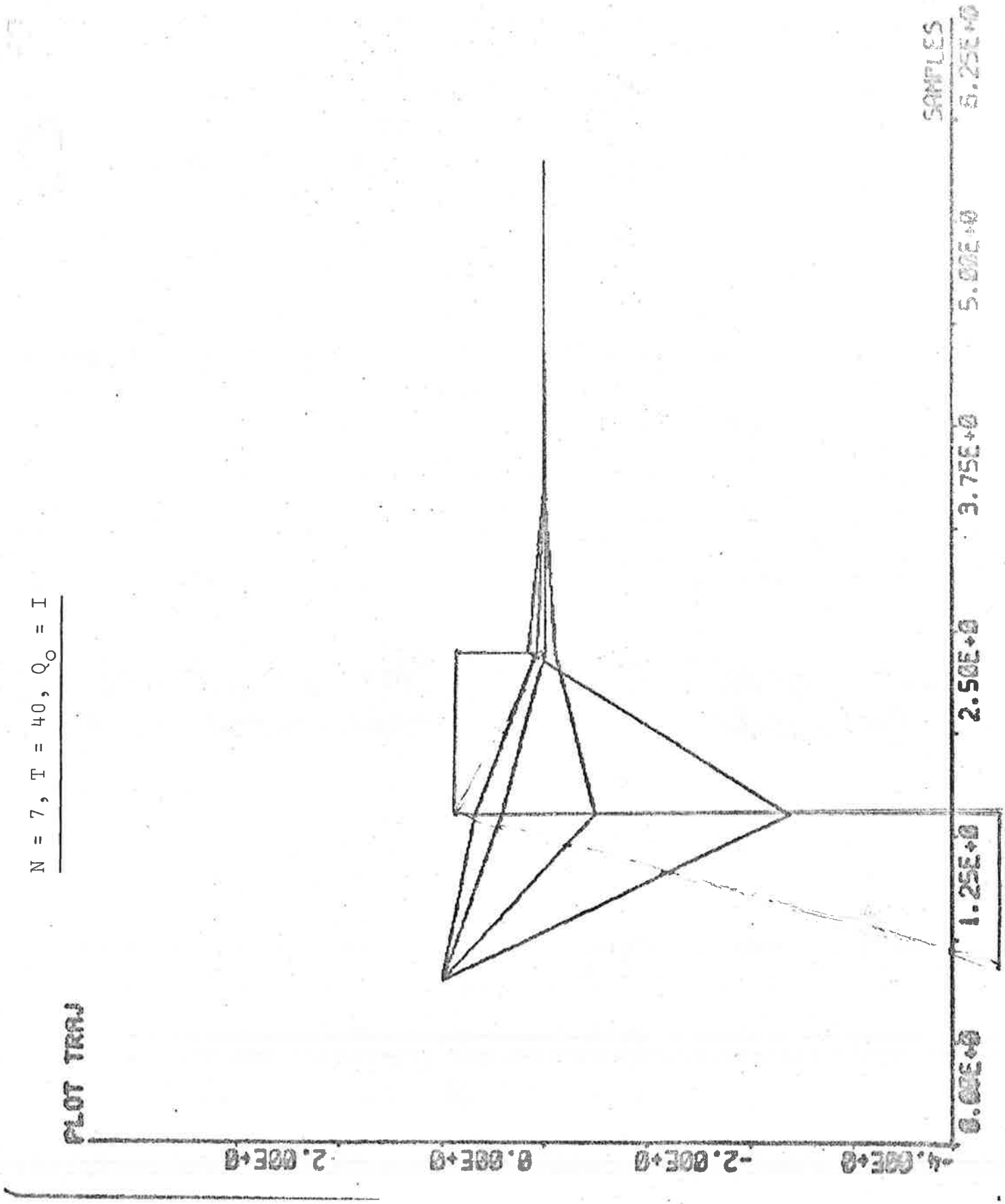
S3

0.212091E-08	0.561686E-08	0.969561E-08	0.115989E-07	0.969559E-08	0.561683E-08	0.212088E-08
0.561685E-08	0.148753E-07	0.256772E-07	0.307178E-07	0.256773E-07	0.148753E-07	0.561685E-08
0.969557E-08	0.256772E-07	0.443231E-07	0.530241E-07	0.443234E-07	0.256774E-07	0.969567E-08
0.115988E-07	0.307177E-07	0.530239E-07	0.634331E-07	0.530244E-07	0.307180E-07	0.115990E-07
0.969553E-08	0.256771E-07	0.443230E-07	0.530241E-07	0.443233E-07	0.256773E-07	0.969564E-08
0.561679E-08	0.148752E-07	0.256771E-07	0.307178E-07	0.256772E-07	0.148753E-07	0.561684E-08
0.212087E-08	0.561680E-08	0.969556E-08	0.115989E-07	0.969559E-08	0.561683E-08	0.212089E-08

TRAJEKTORIER OCH INSIGNAL

Traj

$x_1 = x_7$	$x_2 = x_4$	$x_3 = x_5$	x_4	$U_1 = U_2$	t
1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	-5.07464	0
-2.37564	-0.505469	0.419641	0.676853	0.875564	T
0.159580	-0.101488	-0.157975E-01	0.665484E-01	-0.126997E-01	2T
-0.425338E-04	0.218316E-03	-0.499372E-03	0.648214E-03	-0.306670E-05	3T
-0.100161E-05	-0.233287E-05	-0.206441E-05	0.612389E-05	0.143112E-05	4T
0.328716E-06	-0.197511E-06	-0.574219E-07	0.167540E-06	0.000000	5T


PLOT TRAJ
N = 7, T = 40, Q_o = I
SAMPLES
0.0E+0
1.25E+0
2.50E+0
3.75E+0
5.00E+0
6.25E+0
-4.00E+0
-2.00E+0
0.00E+0
2.00E+0

A 5. N = 7, T = 60, Q_o = I

-0.183511E-01	0.915753E-02	0.000000
0.915753E-02	-0.183511E-01	0.915753E-02
0.000000	0.915753E-02	-0.183511E-01

B

0.915753E-02	0.000000
0.000000	0.000000
0.000000	0.915753E-02

FI

0.385287	0.201651	0.527699E-01
0.201651	0.438057	0.201651
0.527699E-01	0.201651	0.385287

GAM

0.345831	0.127439E-01
0.783078E-01	0.783078E-01
0.127439E-01	0.345831

L1

-1.16891	-0.756961	-0.170615
-0.170615	-0.756960	-1.16891

L2

-0.894374	-1.49867	-0.894374
-0.894374	-1.49867	-0.894374

S2

0.925420E-11	0.305492E-10	0.924142E-11
0.305589E-10	0.100878E-09	0.305167E-10
0.925420E-11	0.305492E-10	0.924142E-11

EGENVÄRDEN TILL $\Phi+\Gamma L$

E1 = Φ + ΓL1

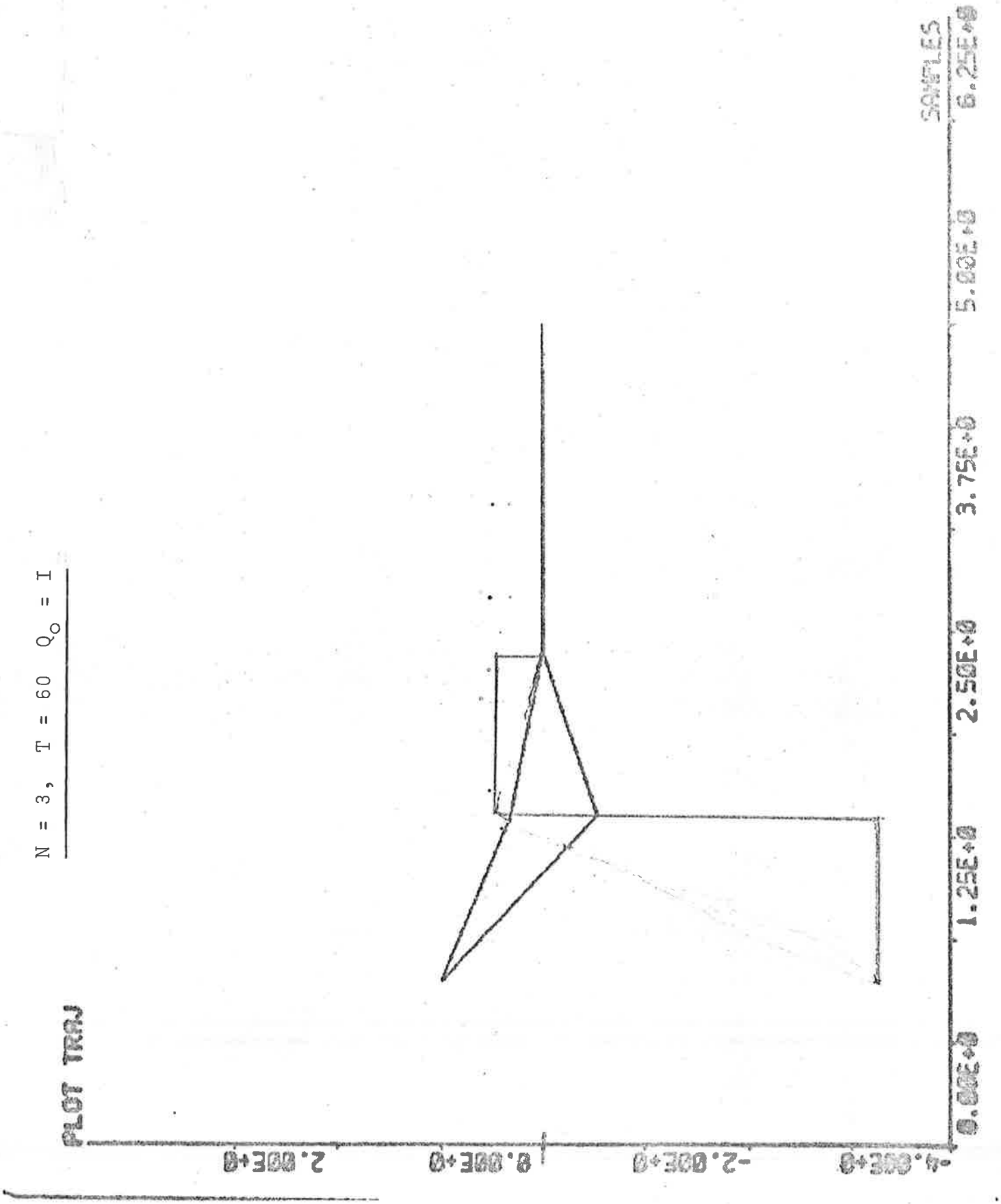
-0.161722E-07	0.000000
0.277245	0.000000
0.181145E-07	0.000000

E2 = Φ + ΓL2

-0.493537E-04	0.000000
0.493548E-04	0.000000
0.332517	0.000000

Traj

x_1	x_2	x_3	U_1	U_2
1.00000	1.00000	1.00000	-3.28742	-3.28742
-0.539076	0.326498	-0.539076	0.474957	0.474957
0.716091E-08	-0.194632E-09	-0.112250E-07	-0.347321E-08	0.262996E-08
0.353536E-08	-0.289836E-09	-0.257827E-08	0.000000	0.000000
-0.433122E-16	-0.171711E-16	-0.212961E-16	0.000000	0.000000


N = 3, T = 60 Q_o = I
PLOT TRAJ
SAMPLES
0.00E+0
1.25E+0
2.50E+0
3.75E+0
5.00E+0
6.25E+0
-4.00E+0
-2.00E+0
0.00E+0
2.00E+0

4.2 Beräkning av tidsinvarianta dead-beat styrlagar (Grupp 2).

Vi använde den kontinuerliga modellen beskriven i avsnitt 2 för att ställa upp systemmatriserna A och B. Beräkningarna utfördes i SYNPAC V2A.

Vi samplade systemet $\dot{x} = Ax + Bu$ och erhöll en diskret modell $x(t+1) = Fi \cdot x(t) + Gamma \cdot u(t)$. Matriserna A, B, Fi, och Gamma återfinns på sid 32, 33, 38, 43. Teorem 2 användes för att beräkna en dead-beatstyrlag där n = 7 och Tsamp = 40, 60 sek samt n = 3 och Tsamp = 60. Kommentar till de tre fallen ges nedan.

Tsamp=60
n=7

Typiskt för en dead-beat strategi är att matrisen Fi + Gamma•L har samtliga egenvärden $\lambda = 0$. Numeriska besvärligheter medför att ett av egenvärdena blir signifikant skilt från noll. Trajektorier och insignaler för det dead-beat återkopplade systemet visas i fig. 1 på sid 37.

Tsamp=40
n=7

I detta fall ligger samtliga egenvärdena med acceptabel noggrannhet i noll ($|\lambda| \leq 0.1\ 10^{-8}$). Trajektorier och insignaler för det dead-beat återkopplade systemet visas i fig. 2 på sid 42.

Tsamp=60
n=3

Samtliga egenvärden är lika med noll ($|\lambda| \leq 0.2\ 10^{-7}$). Trajektorier och insignaler för det dead-beat återkopplade systemet visas i fig. 3 på sid 46.

systemmatriserna A och B för den kontinuerliga modellen av värmestaven.

A

-0.732962E-01	0.366301E-01	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
0.366301E-01	-0.732962E-01	0.366301E-01	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
0.000000	0.366301E-01	-0.732962E-01	0.366301E-01	0.000000	0.000000	0.000000
0.000000	0.000000	0.366301E-01	-0.732962E-01	0.366301E-01	0.000000	0.000000
0.000000	0.000000	0.000000	0.366301E-01	-0.732962E-01	0.366301E-01	0.000000
0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.366301E-01	-0.732962E-01	0.366301E-01
0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.366301E-01	-0.732962E-01

B

0.366301E-01	0.000000
0.000000	0.000000
0.000000	0.000000
0.000000	0.000000
0.000000	0.000000
0.000000	0.000000
0.000000	0.366301E-01

n=7 Tsamp=60 sekunder

systemmatriserna Fi och Gamma för den diskreta modellen av värmestaven

FI

0.783254E-01	0.107308	0.885001E-01	0.535437E-01	0.256701E-01	0.101415E-01	0.319076E-02
0.107308	0.166825	0.160852	0.114170	0.636852E-01	0.288609E-01	0.101415E-01
0.885001E-01	0.160852	0.192496	0.170994	0.117361	0.636852E-01	0.256701E-01
0.535437E-01	0.114170	0.170994	0.195686	0.170994	0.114170	0.535437E-01
0.256701E-01	0.636852E-01	0.117361	0.170994	0.192496	0.160852	0.885001E-01
0.101415E-01	0.288609E-01	0.636852E-01	0.114170	0.160852	0.166825	0.107308
0.319076E-02	0.101415E-01	0.256701E-01	0.535437E-01	0.885001E-01	0.107308	0.783254E-01

GAM

0.630410	0.171197E-02
0.339764	0.661639E-02
0.156761	0.216688E-01
0.624126E-01	0.624126E-01
0.216688E-01	0.156761
0.661639E-02	0.339764
0.171197E-02	0.630410

matrisen L i vår dead-beatstyrlag

L

-0.328653	-0.564501	-0.647930	-0.578064	-0.412803	-0.233711	-0.959708E-01
-0.899907E-01	-0.220658	-0.393104	-0.555537	-0.628196	-0.551403	-0.322645

matrisen Psi=Fi + Gamma · L

PSI

-0.129015	-0.248936	-0.320634	-0.311825	-0.235640	-0.138136	-0.578625E-01
-0.495159E-02	-0.264319E-01	-0.618923E-01	-0.859111E-01	-0.807270E-01	-0.541941E-01	-0.246008E-01
0.350300E-01	0.675787E-01	0.824072E-01	0.683375E-01	0.390372E-01	0.151000E-01	0.363430E-02
0.274151E-01	0.651664E-01	0.106020	0.124935	0.106022	0.651692E-01	0.274168E-01
0.444157E-02	0.168625E-01	0.416976E-01	0.713807E-01	0.850738E-01	0.693491E-01	0.358423E-01
-0.226087E-01	-0.498457E-01	-0.741646E-01	-0.784063E-01	-0.553178E-01	-0.220680E-01	-0.294981E-02
-0.541029E-01	-0.129930	-0.223256	-0.297662	-0.308227	-0.240702	-0.125237

matrisen Psi:s egenvärden

EVAL

-0.105541E-01	0.000000
-0.704613E-04	0.130026E-03
-0.704613E-04	-0.130026E-03
0.106247E-03	0.186601E-03
0.106247E-03	-0.186601E-03
0.165306E-04	0.000000
0.130452E-03	0.000000

trajektorier

X0

1.00000
1.00000
1.00000
1.00000
1.00000
1.00000
1.00000

X1

-1.44205
-0.338709
0.311125
0.522145
0.324648
-0.305361
-1.37912

X2

0.532680E-01
-0.237528E-01
-0.903322E-02
0.133221E-01
-0.486036E-02
-0.216799E-01
0.432965E-01

X3

-0.582391E-03
0.280796E-03
0.670455E-04
-0.121947E-03
0.452181E-04
0.224641E-03
-0.450395E-03

X4

0.614039E-05
-0.295568E-05
-0.713480E-06
0.129019E-05
-0.478523E-06
-0.237051E-05
0.475348E-05

X5

-0.648069E-07
0.311949E-07
0.753028E-08
-0.136171E-07
0.505046E-08
0.250189E-07
-0.501693E-07

X6

0.683983E-09
-0.329236E-09
-0.794755E-10
0.143717E-09
-0.533033E-10
-0.264054E-09
0.529495E-09

insignaler

U0

-2.86163
-2.76153

U1

0.231420
0.201533

U2

-0.302834E-02
-0.236412E-02

U3

0.320048E-04
0.248846E-04

U4

-0.337746E-06
-0.262637E-06

U5

0.356463E-08
0.277192E-08

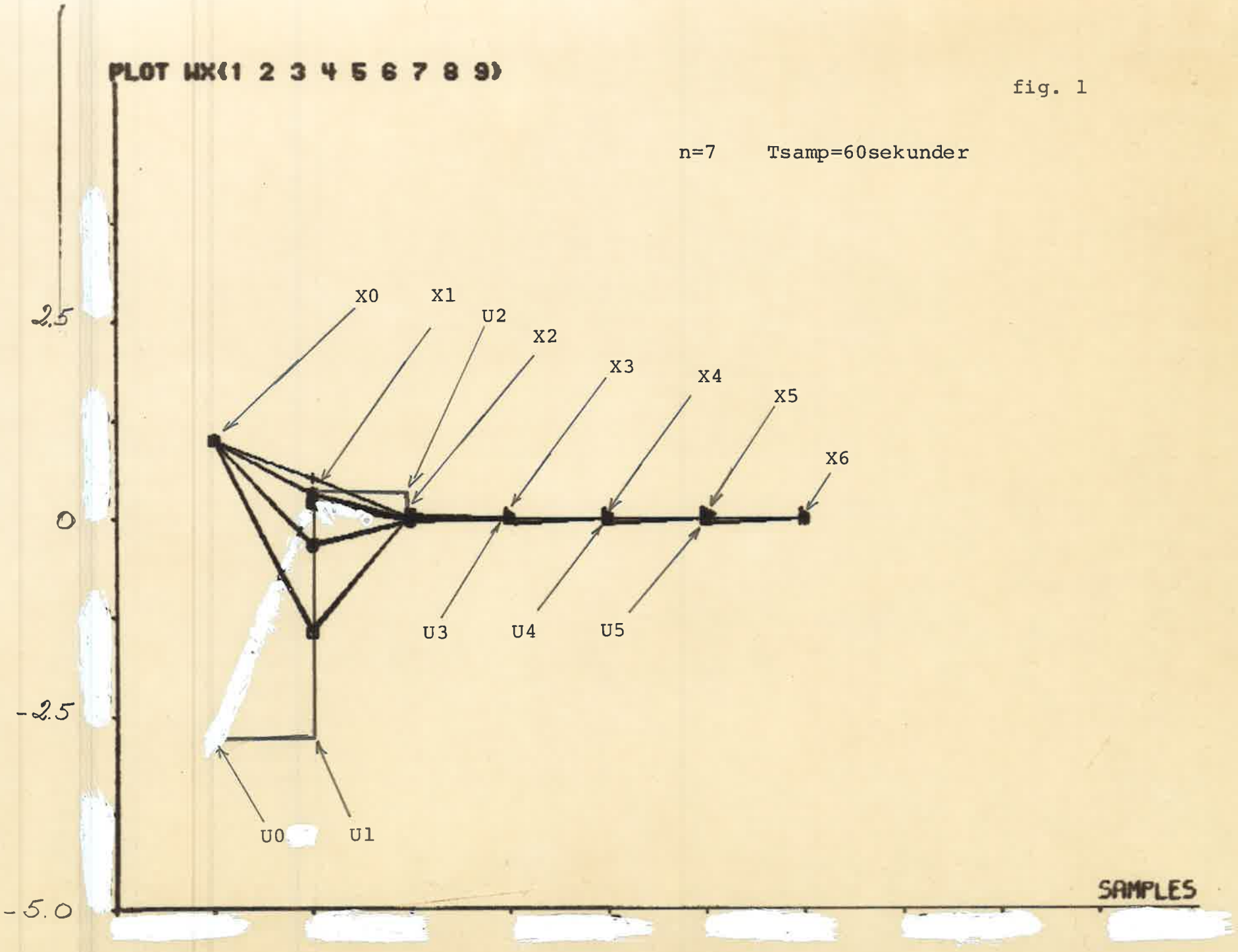


fig. 1

n=7 Tsamp=60sekunder

n=7 Tsamp=40 sekunder

systemmatriserna Fi och Gamma för den

diskreta modellen av systemet

0.135065	0.151324	0.953585E-01	0.423204E-01	0.145115E-01	0.404743E-02	0.919465E-03
0.151324	0.230423	0.193645	0.109870	0.463679E-01	0.154310E-01	0.404743E-02
0.953585E-01	0.193645	0.244935	0.197692	0.110789	0.463679E-01	0.145115E-01
0.423204E-01	0.109870	0.197692	0.245854	0.197692	0.109870	0.423204E-01
0.145115E-01	0.463679E-01	0.110789	0.197692	0.244935	0.193645	0.953585E-01
0.404743E-02	0.154310E-01	0.463679E-01	0.109870	0.193645	0.230423	0.151324
0.919465E-03	0.404743E-02	0.145115E-01	0.423204E-01	0.953585E-01	0.151324	0.135065

38

GAM

0.555268	0.276536E-03
0.246146	0.147281E-02
0.885910E-01	0.671796E-02
0.264812E-01	0.264812E-01
0.671796E-02	0.885910E-01
0.147281E-02	0.246146
0.276536E-03	0.555268

matrisen L i vår dead-beatstyrlag

L

-0.613446	-1.09227	-1.29119	-1.14700	-0.771947	-0.384361	-0.131340
-0.101596	-0.305588	-0.635971	-0.984329	-1.15521	-1.01349	-0.583701

matrisen Psi=Fi+Gamma · L

0.134858E-04	0.357159E-04	0.616555E-04	0.737619E-04	0.616587E-04	0.357201E-04	0.134883E-04
-0.413675E-05	-0.109554E-04	-0.189108E-04	-0.226235E-04	-0.189118E-04	-0.109563E-04	-0.413718E-05
0.133084E-05	0.352269E-05	0.607399E-05	0.725981E-05	0.606520E-05	0.351185E-05	0.132472E-05
-0.625826E-06	-0.165512E-05	-0.284709E-05	-0.339364E-05	-0.282725E-05	-0.163183E-05	-0.613170E-06

matrisen Psi:s egenvärden

EVAL

-0.104412E-08	0.114966E-07
-0.104412E-08	-0.114966E-07
0.467480E-08	0.129212E-08
0.467480E-08	-0.129212E-08
0.207657E-11	0.000000
0.866489E-10	0.000000
0.862116E-10	0.000000

trajektorier

X0

1.00000
1.00000
1.00000
1.00000
1.00000
1.00000
1.00000

X1-

-2.57374
-0.592886
0.390002
0.675208
0.443355
-0.433442
-2.21207

X2

0.221693
-0.108632
-0.350821E-01
0.634245E-01
-0.991667E-03
-0.902982E-01
0.123192

X3

-0.158479E-02
0.146111E-02
-0.776504E-03
0.295486E-03
-0.906318E-04
0.290895E-04
-0.135947E-04

X4

0.115630E-06
-0.110110E-06
0.550499E-07
-0.169655E-07
0.741291E-08
-0.660389E-08
0.446947E-09

X5

0.499848E-09
-0.192638E-09
-0.124461E-09
0.158733E-09
-0.109802E-10
-0.210165E-09
0.318025E-09

X6

-0.643720E-11
0.482818E-11
-0.149387E-11
-0.166459E-13
-0.183608E-12
0.106140E-11
-0.140068E-11

U0

-5.43155
-4.77989

U1

1.06330
0.748316

U2

-0.254991E-01
-0.869097E-02

U3

0.100518E-03
0.641053E-06

U4

-0.552615E-08
0.145895E-08

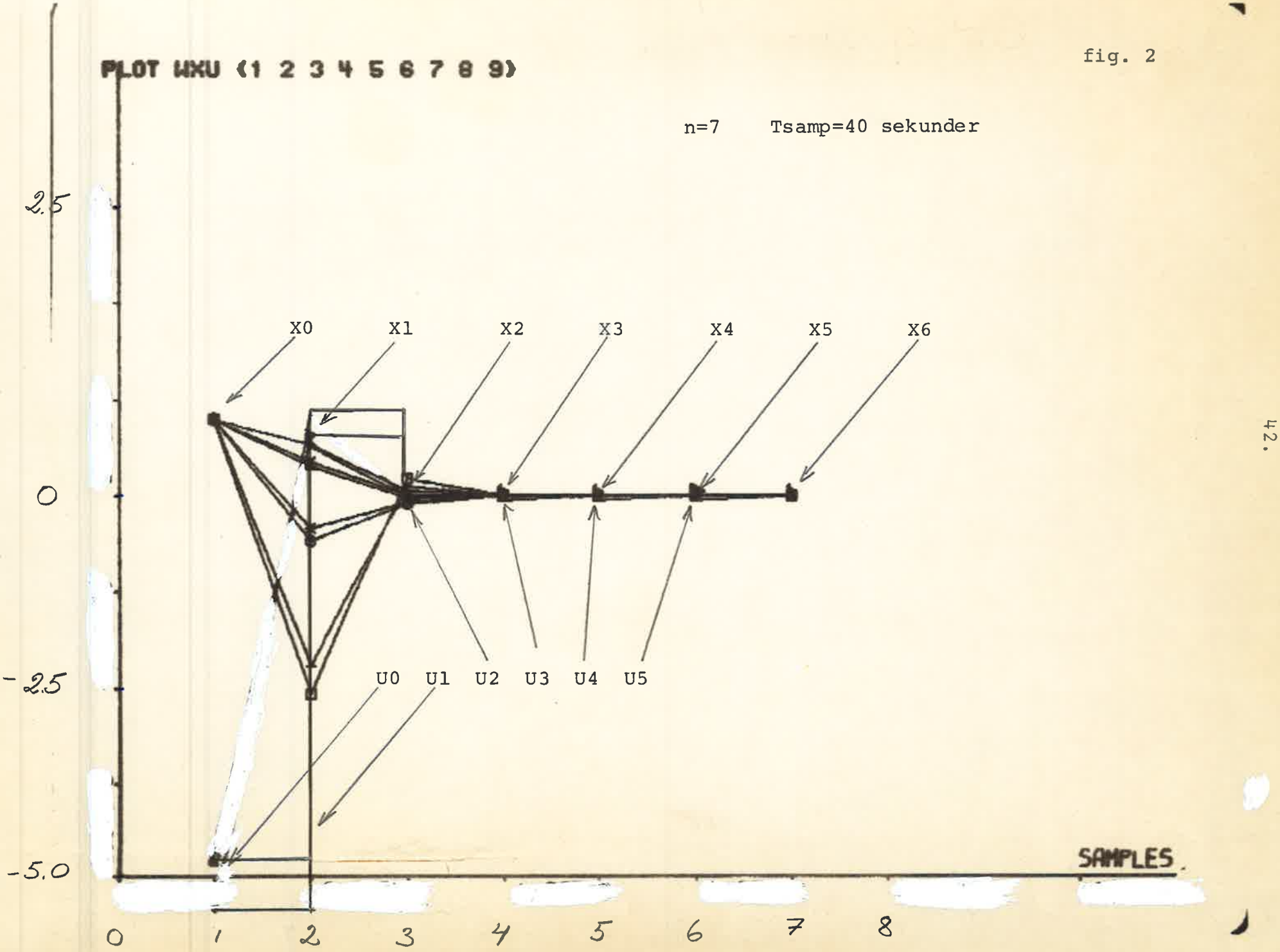
U5

-0.700957E-10
-0.289528E-10

U6

0.540918E-12
0.989690E-13

fig. 2


PLOT WXU (1 2 3 4 5 6 7 8 9)
n=7 Tsamp=40 sekunder
2.5
0
-2.5
-5.0
X0 X1 X2 X3 X4 X5 X6
U0 U1 U2 U3 U4 U5
SAMPLES
0 1 2 3 4 5 6 7 8

systemmatrisrna A och B för den kontinuerliga

modellen av värmestaven

N=3 SAMP=60 SEC.

A

-0.183511E-01	0.915753E-02	0.000000
0.915753E-02	-0.183511E-01	0.915753E-02
0.000000	0.915753E-02	-0.183511E-01

B

0.915753E-02	0.000000
0.000000	0.000000
0.000000	0.915753E-02

systemmatriserna Fi och Gamma för den diskreta modellen av systemet

FI

0.385287	0.201651	0.527699E-01
0.201651	0.438057	0.201651
0.527699E-01	0.201651	0.385287

GAM

0.345831	0.127439E-01
0.783078E-01	0.783078E-01
0.127439E-01	0.345831

matrisen L i vår dead-beatstyrlag

L

-1.66291	-2.38825	-0.664622
-0.125835	-0.609091	-1.12413

matrisen Psi:s egenvärden (Psi=Fi + Gamma · L)

EVAL

-0.151642E-07	0.510423E-04
-0.151642E-07	-0.510423E-04
-0.646261E-08	0.000000

trajektorier

X0

1.00000
1.00000
1.00000

X1

-1.01485

0.326498
-0.633059E-01

X2

0.169102E-07
-0.761031E-08
0.275253E-08

insignaler

U0

-5.43155
-4.77989

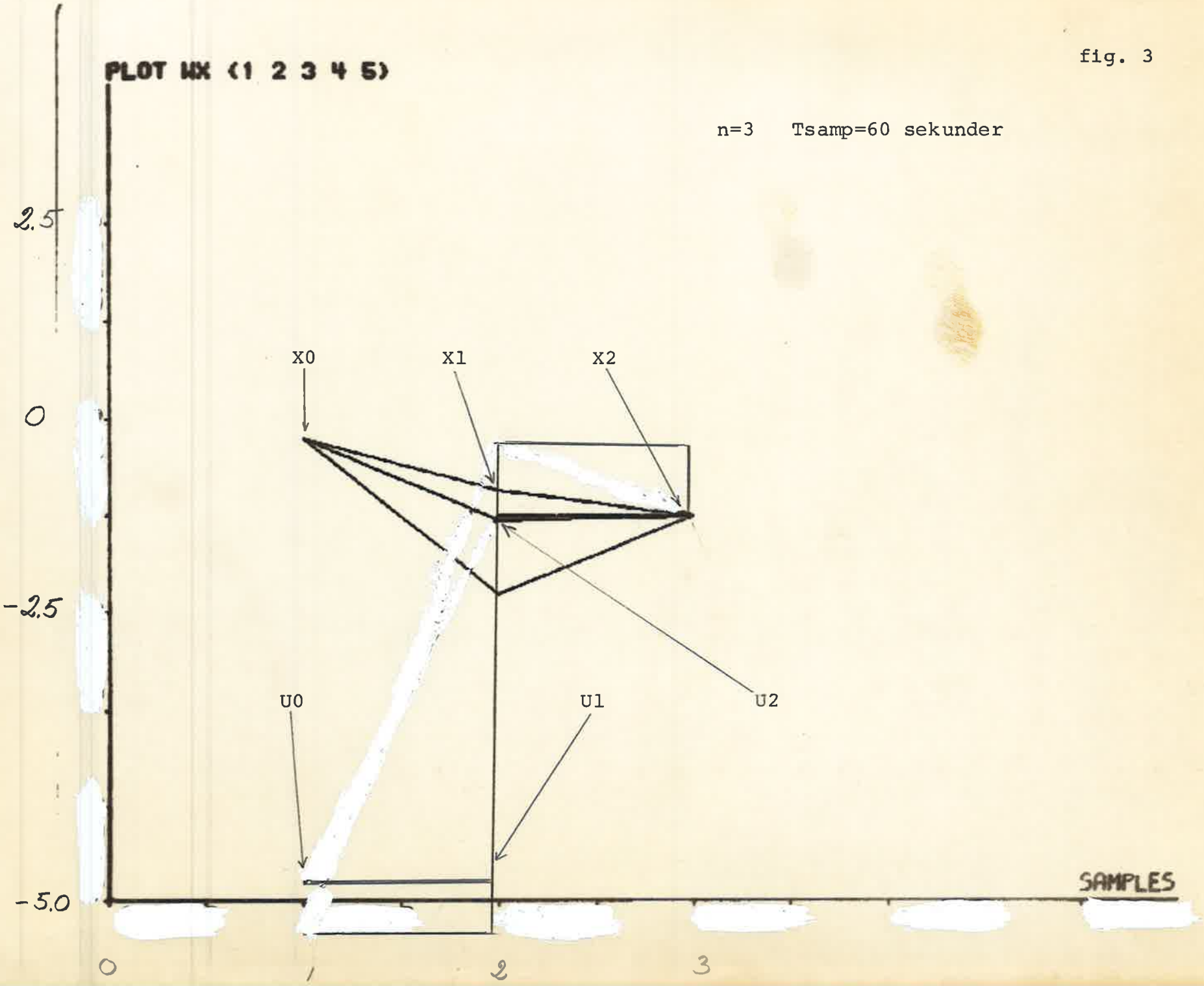
U1

0.949914
0.394793E-07

U2

-0.117743E-07
-0.586721E-09

fig. 3


PLOT WX (1 2 3 4 5)
n=3 Tsamp=60 sekunder
2.5
0
-2.5
-5.0
X0
X1
X2
U0
U1
U2
SAMPLES
0
1
2
3

4.3 Experimentella resultat vid implementering av deadbeat styrlagar under RSX (Grupp 3).

Den uppgift som har ålagts grupp 3 är att implementera tidsvariabel resp tidsinvariant strategi i processdatorn för att styra värme-diffusionsprocessen. Meningen är att de båda andra grupperna skall räkna ut respektive styrlagar. Stavens slutprofil skall vara konstant 25^{0}C, medan initialprofilen varierar. Profilens och insignalernas värde i samplingsögonblicket skall lagras. Utskrift av dessa värden skall ske på radskrivaren efter slutfört experiment. Resultatet av körning med de två styrlagar som beräknats av grupp 1, 2 framgår av figur 1 och 2. Dessa resultat skall jämföras med simuleringar gjorda av grupp 1, 2.

BEAT EXPERIMENT
****

AMPLING-PERIOD = 60.00 SEC

UMBER OF STATES = 7

FEEDBACK MATRIX (n= 7, T_{samp} = 60 sek, Q_o = I)

L 1	-0.323218	-0.552653	-0.630075	-0.557677	-0.394966	-0.221885	-0.090550
	-0.090552	-0.221889	-0.394971	-0.557682	-0.630080	-0.552657	-0.323220
L 2	-0.318192	-0.542233	-0.615438	-0.542294	-0.382670	-0.214428	-0.087376
	-0.087376	-0.214428	-0.382670	-0.542294	-0.615438	-0.542233	-0.318192
L 3	-0.190623	-0.290123	-0.280787	-0.207652	-0.124404	-0.060995	-0.022661
	-0.022661	-0.060995	-0.124404	-0.207652	-0.280787	-0.290123	-0.190623

PROFILE OF DIFFUSION PROCESS
****

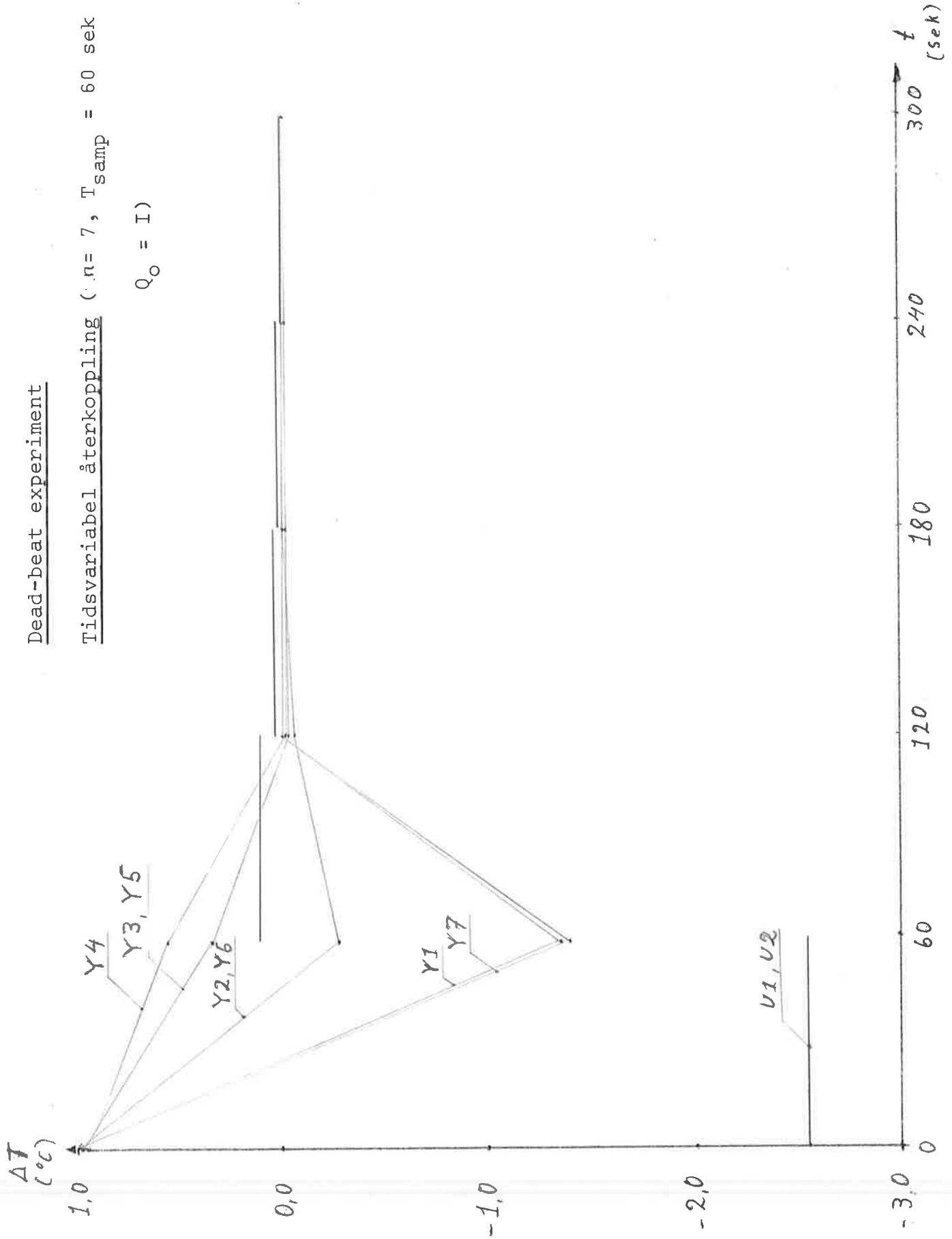
INITIAL PROFILE U1 = 1.00 U2 = 1.00

TIME	U1	U2	Y1	Y2	Y3	Y4	Y5	Y6	Y7	YE1	YE2
0.00	-2.54	-2.56	0.94	0.92	0.92	0.92	0.92	0.94	0.96	-1.00	-1.00
60.00	0.10	0.10	-1.35	-0.27	0.35	0.57	0.35	-0.27	-1.39	2.56	2.66
120.00	0.04	0.04	0.00	-0.06	-0.04	-0.02	-0.04	-0.06	0.00	-0.14	-0.14
180.00	0.02	0.02	0.00	0.00	-0.02	-0.02	-0.02	0.00	0.00	-0.06	-0.06
240.00	0.02	0.02	-0.02	0.00	-0.02	-0.02	0.00	0.00	0.00	-0.02	-0.02
300.00	0.00	0.00	-0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-0.02	-0.02

Dead-beat experiment

Tidsvariabel återkoppling (n= 7, T_{samp} = 60 sek

Q_o = I)



DEAD-BEAT EXPERIMENT
****

SAMPLING PERIOD = 60.00 SEC

NUMBER OF STATES = 7

FEEDBACK MATRIX (n= 7, T_{samp} = 60)

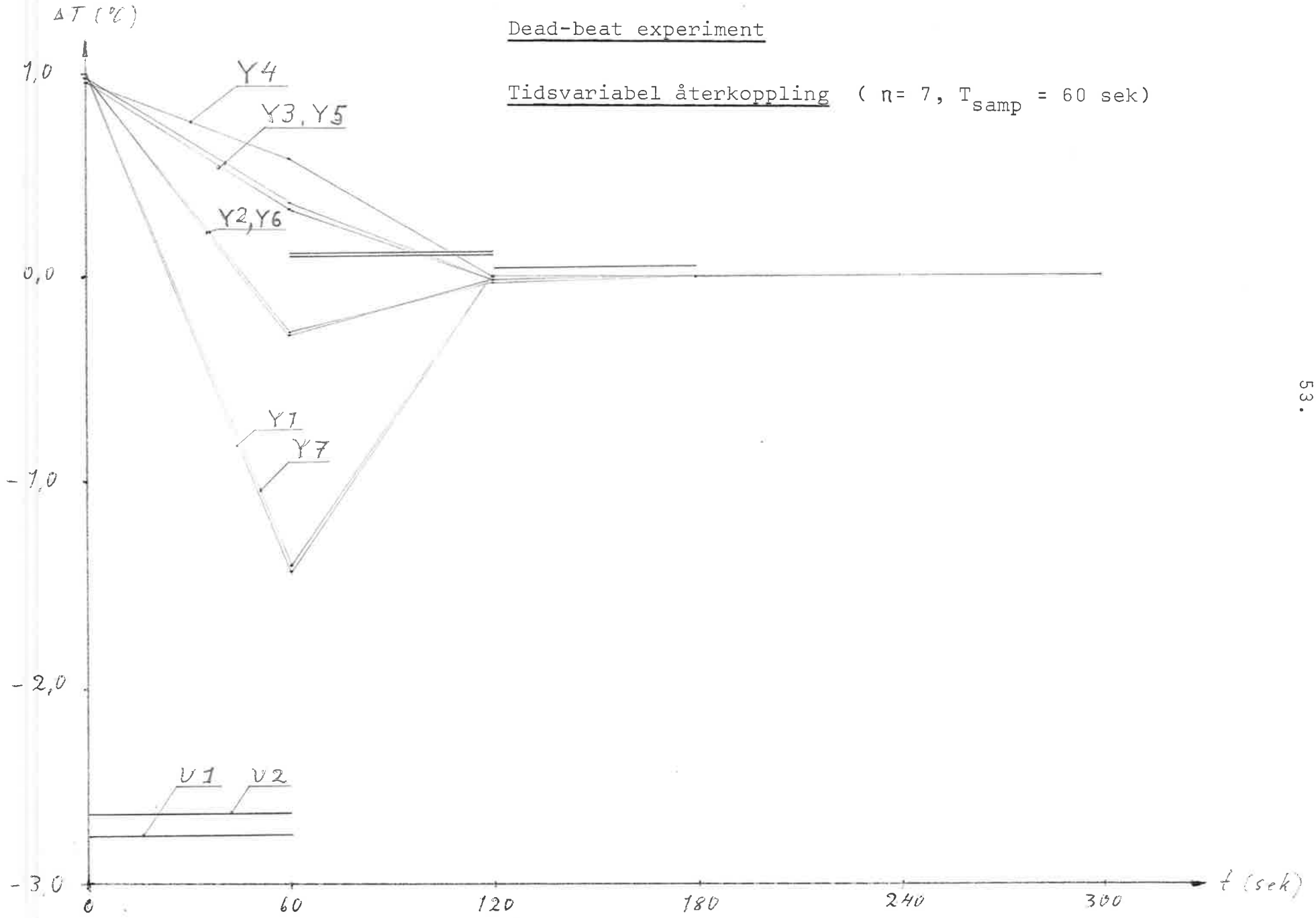
L 1

-0.328653	-0.564501	-0.647930	-0.578064	-0.412803	-0.233711	-0.095971
-0.089991	-0.220658	-0.393104	-0.555537	-0.628196	-0.551403	-0.322645

PROFILE OF DIFFUSION PROCESS
****

INITIAL PROFILE U1= 1.00 U2= 1.00

TIME	U1	U2	Y1	Y2	Y3	Y4	Y5	Y6	Y7	YE1	YE2
0.00	-2.75	-2.66	0.94	0.96	0.94	0.94	0.96	0.94	0.96	-1.00	-1.00
60.00	0.12	0.10	-1.46	-0.29	0.33	0.59	0.37	-0.27	-1.45	2.79	2.77
120.00	0.08	0.08	0.00	-0.02	-0.02	0.00	-0.02	-0.04	0.00	-0.16	-0.12
180.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-0.10	-0.06
240.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
300.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00



Dead-beat experiment

Tidsvariabel återkoppling (n= 7, T_{samp} = 60 sek)

4.4. BESKRIVNING AV KOMMANDOSTYRT PROGRAM

Vi har skrivit ett kommandostyrt program DEAD BEAT (DB) med subrutiner EXEC,INIT,FBCK,RDMTX,PRINT, som styr värmestavens profil (temperaturavvikelse från 25°C) till noll med hjälp av styrlagar från grupp 1 och 2.

RDMTX

RDMTX läser in samplingsintervallets längd och den (de) styrlagar som respektive grupp lagt upp på deck-tape. Först sker inläsning av filhuvud som innehåller information om NR (antal rader),NC (antal kollonner),NZ (antal insignaler) och ITICK som anger samplingsintervallets längd i enheten TICK (1 TICK = 20 msek).Då parametrarna NR och NC är tillgängliga,är det möjligt att läsa in aktuell styrlag.

FBCK

FBCK bestämmer vilken styrlag som skall läsas in och använder subrutinen RDMTX för inläsning.

Kommandot lyder:

FBCK FNAME , där FNAME = aktuellt filnamn

INIT

Subrutinen INIT läser i fritt format initialprofilen med hjälp av subrutinerna RLINE och RIFF.Utställning av initialprofilen sker med subrutinen ALIO.

Kommandot lyder:

INIT NUSA U1 U2 , där { NUSA = antal samplingsintervall; U1 = insignal till processen; U2 = - " - }

EXEC

Subrutinen utför själva regleringen och lagrar processens tillstånd i RTCOM efter varje samplingsintervall.Exekvering av huvudprogrammet avbryter vid subrutinanrop CALL WAITFR.(IEV1) Exekveringen påbörjas först sedan ALIO läst in de analoga

signalerna (värmestavens temperaturprofil) och satt IEV1=1. Då huvudloopen i programmet EXEC genomlupits på nytt,avbryts exekveringen igen vid subrutinanrop CALL WAITFR. (IEV1) Kontrollen lämnas till ALIO,vilken ställer ut de beräknade styrlagarna. Detta mönster upprepas NUSA gånger.

Kommandot lyder :

EXEC

PRINT Subrutinen PRINT gör att vi erhåller utskrift på radskrivare av insignaler och stavens profil för varje samplingstillfälle.

Kommandot lyder:

PRINT

Huvudprogram DEAD BEAT med subrutiner EXEC,INIT,RDMTX,FBCK och PRINT finns listat i Appendix.

```
C       TASK DR
C
C
        DIMENSION COM(6)
C
        COMMON /CMD/ IP,IND,BUFF(16)
        COMMON /PAR/ NUSA,UI(2)
        COMMON /FBK/ NR,NC,NZ,ITICK,F(15,15)
        COMMON /IOCOM/ ISYSA(25),IOA(26),MPXA(40),ICOMVA(45),
       *IFLOVA(48),IUSER(72)
        COMMON /RTCOM/ IO(512)
C
        DATA COM/4HINIT,4HFBCK,4HAXIS,4HEXEC,5HPRINT,4HSTOP/
C
C       READ A COMMAND FROM TT1
C
        LUI=38
        LUO=39
 2      IERR=0
C
        CALL RLINE(LUO,LUI,BUFF,1)
        IP=1
        CALL RIFF(IP,RRES,IRES,IND)
        IF(IND-1)8,4,8
C
 4      DO 6 I=1,6
        IF(RRES.EQ.COM(I)) GO TO(10,20,30,40,50,60),I
 6      CONTINUE
C
 8      IERR=1
        GO TO 90
C
C       INIT
C
 10     CALL INIT(IERR)
        IF(IERR.EQ.0) GO TO 2
        GO TO 90
C
C       FBCK
C
 20     CALL FBCK(IERR)
        IF(IERR.EQ.0) GO TO 2
        GO TO 90
C
C       AXIS
C
  30    GO TO 90
C
C       EXEC
C
 40     CALL RIFF(IP,RRES,IRES,IND)
        IF(IND.EQ.7) GO TO 42
        IERR=3
        GO TO 90
 42     CALL EXEC
        GO TO 2
C
C       PRINT
C
 50     CALL RIFF(IP,RRES,IRES,IND)
        IF(IND.EQ.7) GO TO 52
        IERR=3
        GO TO 90
```

```
 52   CALL PRINT
      GO TO 2
C
C     STOP
C
 60   CALL EXIT
C
C     ERROR CHECK
C
 90   NERR=9
      DO 92 I=1,NERR
      IF(I.EQ.IERR) GO TO(101,102,103,104,105,106,107,108,109),I
 92   CONTINUE
      GO TO 2
C
C
 101  WRITE(LUO,201)
      GO TO 2
 102  WRITE(LUO,202)
      GO TO 2
 103  WRITE(LUO,203)
      GO TO 2
 104  WRITE(LUO,204)
      GO TO 2
 105  WRITE(LUO,205)
      GO TO 2
 106  WRITE(LUO,206)
      GO TO 2
 107  WRITE(LUO,207)
      GO TO 2
 108  WRITE(LUO,208)
      GO TO 2
 109  WRITE(LUO,209)
      GO TO 2
C
C
 201  FORMAT(16H ILLEGAL COMMAND)
 202  FORMAT(18H TOO FEW ARGUMENTS)
 203  FORMAT(19H TOO MANY ARGUMENTS)
 204  FORMAT(12H BAD INTEGER)
 205  FORMAT(11H BAD NUMBER)
 206  FORMAT(14H BAD FILE NAME)
 207  FORMAT(35H UNCORRECT VALUE OF SAMPLING POINTS)
 208  FORMAT(26H UNCORRECT INITIAL PROFILE)
 209  FORMAT(15H FILE NOT FOUND)
C
C
      END
```

```
      SUBROUTINE INIT(IERR)
C
C
      DIMENSION U(2)
C
      COMMON /CMD/ IP,IND,BUFF(16)
      COMMON /PAR/ NUSA,UI(2)
      COMMON /IOCOM/ ISYSA(25),IOA(26),MPXA(40),ICOMVA(45),
     *IFLOVA(48),IUSER(72)
C
      EQUIVALENCE (U(1),IFLOVA(33)),(NVAI,ISYSA(5)),(NVAO,ISYSA(6))
C
C
      NVAI=9
      NVAO=2
      IERR=0
      CALL RIFF(IP,RRES,IRES,IND)
      IF(IND-3)60,10,60
   10 IF(IRES.LT.1.OR.IRES.GT.46) GO TO 65
      NUSA=IRES
C
      CALL RIFF(IP,RRES,IRES,IND)
      IF(IND-4)70,20,70
   20 IF(ABS(RRES)-5.)30,30,75
   30 UI(1)=RRES
C
      CALL RIFF(IP,RRES,IRES,IND)
      IF(IND-4)70,40,70
   40 IF(ABS(RRES)-5.)50,50,75
   50 UI(2)=RRES
C
      CALL RIFF(IP,RRES,IRES,IND)
      IF(IND-7)80,55,80
   55 U(1)=UI(1)
      U(2)=UI(2)
      CALL REQST(4HALIO,150)
      RETURN
C
   60 IF(IND-7)62,100,62
   62 IERR=4
      RETURN
C
   65 IERR=7
      RETURN
C
   70 IF(IND-7)72,100,72
   72 IERR=5
      RETURN
C
   75 IERR=8
      RETURN
C
   80 IERR=3
      RETURN
C
  100 IERR=2
      RETURN
C
      END
```

```
      SUBROUTINE FBCK(IERR)
C
C
      COMMON /CMD/ IP,IND,BUFF(16)
      COMMON /FBK/ NR,NC,NZ,ITICK,F(15,15)
C
C     READ ARGUMENTS
C
      CALL RIFF(IP,RRES,IRES,IND)
      IF(IND-1)30,10,30
 10   FNAME=RRES
C
      CALL RIFF(IP,RRES,IRES,IND)
      IF(IND.EQ.7) GO TO 15
      IERR=3
      RETURN
C
C     READS A FEEDBACK MATRIX FROM DT1
C
 15   LUN=33
      CALL RDMTX(FNAME,LUN,F,NR,NC,NZ,ITICK,IERR)
      IF(IERR)22,20,22
C
 20   RETURN
C
 22   IERR=9
      RETURN
C
 30   IF(IND-7)34,32,34
 32   IERR=2
      RETURN
C
 34   IERR=6
      RETURN
C
      END
```

```
      SUBROUTINE RDMTX(FNAME,LUN,A,NR,NC,NZ,ITICK,IERR)
C
C
      DIMENSION KODE(10),A(1,1)
C
      IERR=0
C
      CALL SEEK(LUN,FNAME,3HBIN,IEV)
      CALL WAITFR(IEV)
      IF(IEV.LT.0) GO TO 20
C
      READ(LUN)(KODE(I),I=1,10)
      NR=KODE(1)
      NC=KODE(2)
      NZ=KODE(3)
      ITICK=KODE(4)
      DO 10 I=1,NR
 10   READ(LUN)(A(I,J),J=1,NC)
C
      CALL CLOSE(LUN,FNAME,3HBIN,IEV)
      CALL WAITFR(IEV)
      IF(IEV.LT.0) GO TO 20
      RETURN
C
 20   IERR=1
      RETURN
C
      END
```

```
      SUBROUTINE EXEC(IERR)
C
      DIMENSION IT(4),U(2),Y(9)
C
      COMMON /PAR/ NUSA,UI(2)
      COMMON /FBK/ NR,NC,NZ,ITICK,F(15,15)
      COMMON /IOCOM/ ISYSA(25),IOA(26),MPXA(40),ICOMVA(45),
     *IFLOVA(48),IUSER(72)
      COMMON /RTCOM/ IO(512)
C
      EQUIVALENCE (IEV1,ICOMVA(41)),(U(1),IFLOVA(33)),(Y(1),IFLOVA(1))
C
      DATA IT/10,1,0,1/
C
C     INITIATE
C
      NE=2
      NS=0
      IC1=0
      IC2=0
      NC1=NC+NE
      NC2=NC1+NZ
      IEV1=0
      IT(3)=ITICK
C
 4    CALL FIX(4HALIO)
      CALL RUN(4HALIO,IT,150)
C
 8    CALL WAITFR(IEV1)
      IEV1=0
C
C     COMPUTE OUTPUTS OF  DEAD-BEAT REGULATOR
C     AND STORE PROCESS INPUTS AND OUTPUTS IN RTCOM
C
 10   DO 12 I=1,NZ
      I1=IC1+I
 12   U(I)=SCAPRO(F(I1,1),15,Y(1),1,NC)
C
      DO 20 I=1,NZ
      I1=IC2+I
 20   IO(I1)=51.2*U(I)+SIGN(0.005,U(I))
      DO 22 I=1,NC1
      I1=I+IC2+NZ
 22   IO(I1)=51.2*Y(I)+SIGN(0.005,Y(I))
C
C     INCREMENT COUNTERS
C
      NS=NS+1
      IC1=IC1+NZ
      IC2=IC2+NC2
      IF(IC1.EQ.NR)IC1=0
C
C     READY
C
      IF(NS-NUSA)8,40,40
 40   CALL UNFIX(4HALIO)
      CALL CANCEL(4HALIO)
C
      RETURN
C
      END
```

```
      SUBROUTINE PRINT
C
C
      DIMENSION RIO(11)
C
      COMMON /PAR/ NUSA,UI(2)
      COMMON /FBK/ NR,NC,NZ,ITICK,F(15,15)
      COMMON /RTCOM/ IO(512)
C
      LUO=36
      SEC=ITICK/50
      WRITE(LUO,10)SEC,NC
   10 FORMAT(21H1DEAD-BEAT EXPERIMENT/1X,20(1H*)////
     *1X,17HSAMPLING-PERIOD =,F7.2,4H SEC///
     *1X,18HNUMBER OF STATES =,I2////
     *1X,15HFEEDBACK MATRIX)
C
C     PRINT FEEDBACK MATRIX
C
      NL=NR/NZ
      J1=1
      J2=NZ
      J3=NC+NZ+2
      DO 30 I=1,NL
      WRITE(LUO,40)I
      DO 20 J=J1,J2
   20 WRITE(LUO,50) (F(J,K),K=1,NC)
      J1=J1+NZ
   30 J2=J2+NZ
   40 FORMAT(//4X,1HL,I2)
   50 FORMAT(1X,8F15.6)
C
      WRITE(LUO,70)
   70 FORMAT(1H1,28HPROFILE OF DIFFUSION PROCESS/
     *1X,28(1H*)////)
      WRITE(LUO,80)UI
   80 FORMAT(9X,15HINITIAL PROFILE,4X,4HU1 =,F5.2,
     *4X,4HU2 =,F5.2//)
      WRITE(LUO,90)
   90 FORMAT(1X,8H   TIME ,8H      U1 ,8H      U2 ,8H      Y1 ,
     *8H      Y2 ,8H      Y3 ,8H      Y4 ,8H      Y5 ,8H      Y6 ,
     *8H      Y7 ,8H     YE1 ,8H     YE2 /)
C
C     PRINT DEAD-BEAT RESULTS
C
      TID=0
      K=0
   95 DO 100 J=1,J3
      K=K+1
  100 RIO(J)=IO(K)/51.2
      WRITE(LUO,110)TID,RIO
      TID=TID+SEC
      IF(K/J3.LT.NUSA) GO TO 95
  110 FORMAT(1X,12F8.2)
C
      RETURN
C
      END
```