

DUALA REGULATORER

H. ABRAMOWICZ
K-J. STYMNE

RE-159 Juni 1975
Inst. för Reglerteknik
Lunds Tekniska Högskola

DUALA REGULATORER

Författare

H. Abramowicz

K-J Stymne

Handledare

J. Sternby

L. Ljung

INNEHÅLLSFÖRTECKNING

Abstract	1
Sammanfattning	2
Kap. 1 Inledning	3
Kap. 2 Beskrivning av system, kriterier och styrlagar	5
Kap. 2.1 STURE	5
Kap. 2.1.1 STURE med glömskefaktor	7
Kap. 2.1.2 STURE med extra insignal	7
Kap. 2.2 Minimalvariansregulator	8
Kap. 2.3 Den aktivt suboptimala duala styrlagen	9
Kap. 3 Resultat	12
Kap. 3.1 Minimalvariansregulator	12
Kap. 3.2 Konstanta parametrar	15
Kap. 3.3 Tidsvariabla parametrar	18
Systemens utseende i samlat skick	23
Tabeller	24
Diagram	30
Simuleringar	41
Kap. 4 Slutsatser	50
Kap. 5 Referenser	51

1.

ABSTRACT

Our task has been to compare the ability of three different regulators to control some single-input single-output systems with unknown parameters. The regulators were a minimal variance regulator, the Self-Tuning REGulator STURE and an active suboptimally dual regulator.

No simulations with the minimal variance regulator are shown since it turned out that it performs as STURE on systems with constant parameters and it does not work at all on systems with time-varying parameters (one time-delay).

On systems with constant parameters STURE and the active suboptimal regulator gave almost identical losses in stationarity (\approx the loss with a minimal variance regulator for known parameters), but it seems as if STURE converges quicker.

These two regulators gave approximately the same loss also on systems with time-varying parameters except when the b-parameter, i.e. the gain, could change sign. In these cases the system became unstable when controlled by STURE, while the active suboptimal regulator managed to control.

Our results seem to indicate that if is only if the gain may change sign that it pays to use a more complex regulator than STURE.

SAMMANFATTNING

Vår uppgift var att jämföra tre olika regulatorers förmåga att styra några system med okända parametrar och en insignal och en utsignal. De tre regulatorerna var en minimalvariansregulator, den självinställande regulatorn STURE och en aktiv suboptimalt dual regulator.

Inga simuleringar med minimalvariansregulatorn redovisas eftersom det visade sig att den fungerar ungefär som STURE på system med konstanta parametrar, men fungerar inte alls på system med tidsvariabla parametrar (en tidsfördröjning).

För system med konstanta parametrar gav STURE och den aktiva suboptimala regulatorn nästan identiska förluster i stationaritet (\approx förlusten med minimalvariansregulator och kända parametrar), men STURE tycks konvergera snabbare.

Även för system med tidsvariabla parametrar gav de båda regulatorerna ungefär samma resultat, utom då b-parametern, d.v.s. förstärkningen, skiftade tecken. För sådana system gav STURE ett instabilt slutet system, medan den aktiva suboptimala regulatorn klarade regleringen.

Våra resultat tyder alltså på att det endast är om förstärkningen kan byta tecken som det lönar sig att välja en mer komplicerad regulator än STURE.

1 INLEDNING

Regulatorer för styrning av system med kända och konstanta parametrar har använts sedan lång tid.

Reglering av system med okända konstanta resp. tidsvariabla parametrar har varit föremål för intensiv forskning. Ibland har man funnit det lämpligt att använda adaptiv styrning, så att regulatorn ges förmågan att kunna anpassa sina parametrar efter processen. En modell av processen uppdateras hela tiden och används samtidigt för styrningen (jfr. fig 1.1).

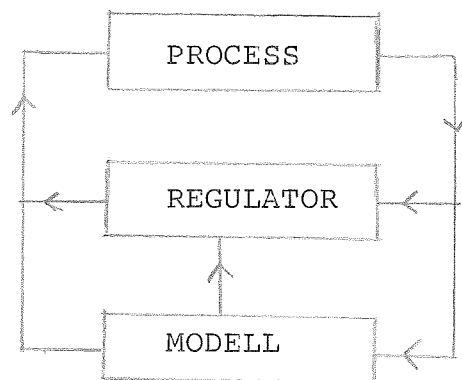


fig. 1.1

Ett sätt att angripa problemet har varit "open-loop feedback control", se tex. Tse, Athans (1972). Denna metod tar visserligen hänsyn till osäkerheten i parameterskattningarna, men kunskapen om att skattningarna kommer att förbättras genom nya mätningar används ej.

Den adaptiva styrningen har således två uppgifter, dels att skatta processens eller regulatorns parametrar, dels att styra systemet. Ofta leder det till en motsättning mellan styrning och estimering, och det är dessutom svårt att finna den optimala lösningen. För vissa speciella fall har man dock funnit en sådan, men i allmänhet är man tvingad till approximationer, som leder till en suboptimal lösning.

Vår uppgift har varit att undersöka några olika regulatorers förmåga att styra vissa givna system, varav en del tidsvariabla.

De regulatorer vi har undersökt är STURE, minimalvari-ansregulator och en aktivt suboptimal styrlag.

STURE (Wittenmark, 73, : A Self-Tuning REgulator) liksom minimalvari-ansregulatorn bygger på minimering av variansen hos utsignalen. Med hjälp av minsta-kvadratmetoden skattas parametrarna, för STURE dock ej c-parametern, vilka sedan används som om de vore de rätta, i en förlustfunktion.

Även hos den suboptimalt duala styrlagen (Wittenmark, B.; 1975, :An active Suboptimal Regulator) skattas parametrarna med minsta-kvadratmetoden. Skattningarna används sedan för att minimera en förlustfunktion, som jämfört med de tidigare är modifierad.

De olika systemena, kriterierna och styrlagarna finns beskrivet i kapitel 2. I kapitel 3 jämförs de olika regulatorerna både i stationärt och transient tillstånd. I detta kapitel finns också tabeller, diagram och simuleringar. Slutsatserna finns formulerade i kapitel 4 och under kapitel 5 hittas referenserna.

2 BESKRIVNING AV SYSTEM, KRITERIER OCH STYRLAGAR

De system vi använt vid jämförelsen är tidsdiskreta av första ordningen med en insignal och en utsignal.

Systemen har följande utseende

$$y(t) + ay(t-1) = bu(t-1) + e(t) + ce(t-1) \quad (2.1)$$

Parametrarna a , b och c har dels givits konstanta värden, dels fått variera långsamt i sinusform. e är vitt normalfördelat brus med medelvärde 0 och varians 1.

Det man egentligen vill minimera är förlustfunktionen

$$E \left\{ \frac{1}{N} \sum_{t=1}^N y(t)^2 \right\} \quad (2.2)$$

både för litet och stort N , där E betyder det förväntade värdet. Detta kriterium kommer också att användas vid jämförelsen mellan olika regulatorer.

Lösningen till (2.2) är emellertid svår att finna, varför man måste göra olika approximationer.

2.1 STURE

STURE (Self-Tuning REGulator) är huvudsakligen utarbetad vid institutionen för reglerteknik vid Lunds Tekniska Högskola, BW(1973).

Metoden är avsedd för linjära system, som kan beskrivas med modellen

$$y(t+k+1) + a_1 y(t) + \dots + a_n y(t-n) = b_0 u(t) + b_1 u(t-1) + \dots + b_n u(t-n) + \varepsilon(t+k+1)$$

där $\varepsilon(t+k+1)$ är prediktionsfelet vid prediktion $k+1$ steg framåt från tiden t .

Idén är nu att uppskatta parametrarna i modellen och använda de skattade parametrarna i stället för de verkliga.

Identifieringen av parametrarna sker med minsta-kvadratmetoden, se BW (1973), som minimerar

$$\sum_{k=0}^{\infty} \varepsilon(t+k+1)^2, \quad \text{där } \varepsilon \text{ fås ur modellen}$$

I vårt fall blir modellen

$$y(t+1) + ay(t) = bu(t) + \varepsilon(t+1) \quad (2.3)$$

Det kan noteras att inget försök görs att skatta c-parametern, utan bruset sammanfattas i termen $\varepsilon(t+1)$. Parametern b förutsättes känd, varför endast a-parametern skattas.

Förlustfunktionen som används är en modifiering av (2.2), så att minimeringen sker i varje steg:

$$E\{(y(t) - y_r)^2\} \quad (2.4)$$

Åström - Wittenmark (1971) har visat att om parametrarna är kända får man samma styrlag för de två förlustfunktionerna. Minimalvariansstyrlagen får utseendet

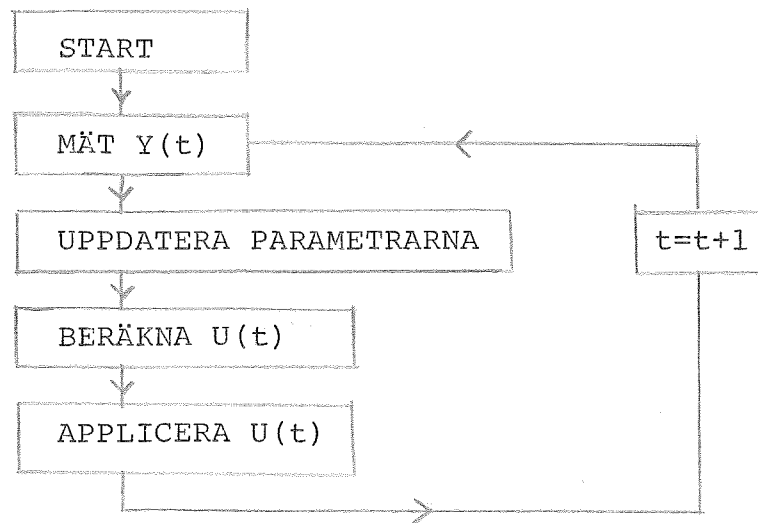
$$u(t) = -\frac{a}{b} y(t) \quad (2.5)$$

Man kan visa att om parameterskattningen konvergerar så gäller

$$\hat{a} \rightarrow a - c$$

Den resulterande styrlagen kommer därmed att konvergera mot minimalvariansstyrlagen, även om systemet har en c-parameter.

Ett överskådligt sätt att beskriva metoden är med flödeschema:



2.1.1 STURE med glömskefaktor

Om parametrarna varierar med tiden, måste STURE modifieras så att regulatorn kan följa parametrarnas variationer. Detta kan åstadkommas med en sk. glömskefaktor som införs i förlustfunktionen enligt

$$V(t) = \sum_{n=0}^t \lambda^{t-n} \varepsilon(n)^2 \quad (2.6)$$

Den nya förlustfunktionen ger större vikt åt senare värden än de tidigare. Ju mindre λ är, desto fler värden glömmar man. Minimeringen av förlustfunktionen uppnås nu genom att $P(t+1)$ divideras med λ se BW (1973).

2.1.2 STURE med extra insignal

Trots glömskefaktor hos STURE blir estimeringen ibland dålig. Med en extra insignal kan man vänta sig en bättre skattning och därmed förhoppningsvis en bättre styrning. Genom att en extra insignal pålagges ökar ju signalnivåerna så att bruset får mindre inverkan.

Som extra insignal valde vi

$$u_{\text{extra}} = k(-1)^t, \quad (2.7)$$

där k är en konstant, som väljes så att förlusten blir så liten som möjligt.

2.2 Minimalvariansregulator

Metoden bygger på minimering av utsignalens varians, vilket för kända parametrar finns beskrivet i Åström: Stokastiska System(1971).

Styrlagen blir i vårt fall

$$u = \frac{a-c}{b_0} y(t)$$

Har man okända parametrar skattas dessa, i vårt fall med minsta-kvadratmetoden, varefter skattningarna används i styrlagen, som om de vore de korrekta parametervärdena. Till skillnad mot STURE skattas här även c-parametern.

Samma förlustfunktion som för STURE används, nämligen (2.4).

I likhet med STURE kan glömskefaktor liksom extra insignal införas för att förbättra skattningarna av de tidsvariabla parametrarna.

2.3 The Active Suboptimal Dual Controller

B. Wittenmark har konstruerat en aktivt dual suboptimal regulator se BW (1975).

Den förlustfunktion som används är

$$V = E \left\{ (y(t) - y_r)^2 + \alpha f(P(t+1)) \right\} \quad (2.8)$$

Symbolen E betecknar liksom i fortsättningen det betingade väntevärdet, givet mätningarna upp till tiden $t-1$.

$E \left\{ (y(t) - y_r)^2 \right\}$ är den omedelbara förlusten. Termen $E \left\{ f(P(t+1)) \right\}$ finns med för att förbättra parameterskattningarna.

Funktionen f antages vara monotont växande och minst två gånger deriverbar. Ett sätt att välja f är tex. spåret av matrisen $P(t+1)$. Genom att använda förlustfunktionen ovan erhålles en kompromiss mellan kravet på en god styrning och en god skattning hos insignalen.

Man ser att styrlagen ej är optimal då den inte minimerar förlustfunktionen

$$V = E \left\{ \frac{1}{N} \sum_{t=0}^{N-1} (y(t) - y_r)^2 \right\}$$

Parameteridentifieringen sker som tidigare med minsta-kvadratmetoden.

Inför vektorerna $x(t)$, $\theta(t)$, där

$$x(t) = (a(t) \quad b(t))^T$$

$$\theta(t) = (-y(t-1) \quad u(t-1))$$

Vi antar att systemet beskrives med ekv.

$$x(t+1) = \Phi x(t) + v(t) \quad (2.9)$$

$$y(t) = \theta(t)x(t) + e(t), \quad (2.10)$$

där Φ är en känd matris och $v(t)$, $t=0,1,2..$ är en sekvens av oberoende lika fördelade gaussiska stokastiska variabler med variansmatrisen R_1 och medelvärdet 0. $e(t)$ är vitt normalfördelat brus med medelvärdet 0 och variansen 1. Det antas att $e(t)$ och $v(t)$ är oberoende stokastiska processer.

Den rekursiva identifieringen ges av

$$\hat{x}(t+1) = \Phi x(t) + K(t)(y(t) - \Theta(t)x(t)) \quad (2.11)$$

$$K(t) = \Phi P(t) \Theta(t)^T (\Theta(t) P(t) \Theta(t)^T + \sigma^2)^{-1} \quad (2.12)$$

$$P(t+1) = (\Phi - K(t) \Theta(t)) P(t) \Phi^T + R_1 \quad (2.13)$$

där $\hat{x}(t)$ innehåller skattningarna av systemets parametrar och $P(t)$ är kovariansmatrisen för parameterskattningarna.

Standardformler för normalfördelade variabler ger

$$E\{(y(t) - y_r)^2\} = (\Theta(t)\hat{x}(t) - y_r)^2 + \Theta(t)P(t)\Theta(t)^T + \sigma^2$$

ty,

$$E\{y(t)\} = \Theta(t)\hat{x}(t)$$

och kovariansen

$$\text{cov}(y(t), y(t)) = \Theta(t)P(t)\Theta(t)^T + \sigma^2$$

Förlustfunktionen skall minimeras med avseende på $u(t-1)$. Man får, eftersom $f(P(t+1))$ är deterministisk, då alla utsignaler tom, $y(t-1)$ är givna

$$\begin{aligned} \min_{u(t-1)} V &= \min_{u(t-1)} \{E\{(y(t) - y_r)^2 + \alpha f(P(t+1))\}\} = \\ &= \min_{u(t-1)} \{E(y(t) - y_r)^2 + \alpha f(P(t+1))\} = \\ &= \min_{u(t-1)} \left\{ (\Theta(t)\hat{x}(t) - y_r)^2 + \Theta(t)P(t)\Theta(t)^T + \sigma^2 + \right. \\ &\quad \left. + \alpha f(\Phi P(t) \Phi^T + R_1 - \Phi P(t) \Theta(t)^T (\Theta(t)P(t)\Theta(t)^T + \sigma^2)^{-1} \right. \\ &\quad \left. + \Theta(t)P(t)\Phi^T \right\} \end{aligned} \quad (2.14)$$

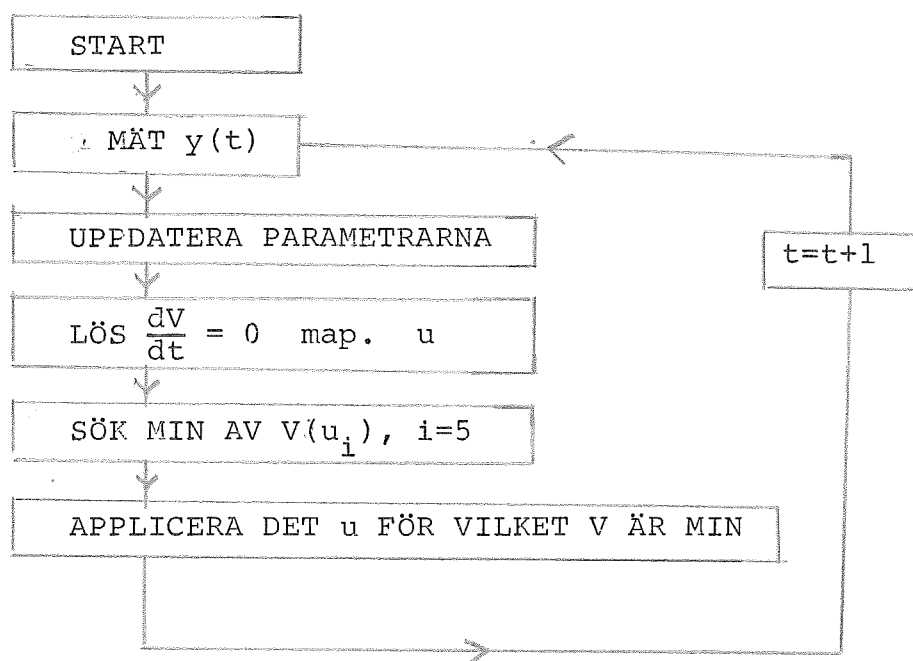
där $u(t-1)$ kommer in via $\Theta(t)$.

Det är inte möjligt att erhålla ett analytiskt uttryck på $u(t-1)$, däremot kan man med numeriska metoder minimera förlustfunktionen V map. u .

Minimeringen underlättas om funktionen f är linjär. Vi har använt f lika med spåret av $P(t+1)$. Konstanten α får man välja själv. Valet verkar inte vara speciellt kritiskt. Vi har använt värden mellan 0.25 och 1.0.

Vid minimeringen utnyttjades en subrutin för att finna nollställen till förlustfunktionens derivata.

Regleringen kan beskrivas med hjälp av flödesschema



3 RESULTAT

3.1 Minimalvariansregulator

Vid simulering av systemen med minimalvariansregulator, dvs. med skattning av både a- och c-parametrarna, visade det sig att regleringen blev mycket dålig. Detta kan emellertid förklaras teoretiskt på följande sätt.

Systemet följer ekvationen

$$y(t+1) + a(t)y(t) = b(t)u(t) + e(t+1) + c(t)e(t)$$

Med beteckningen $\varphi(t)^T = (-y(t) \quad \xi(t))$ och $\theta(t) = (\hat{a}(t) \quad \hat{c}(t))$

fås modellen

$$y(t+1) = \theta(t)\varphi(t) + b(t)u(t) + \xi(t+1),$$

där $\xi(t)$ är en skattning av bruset som fås ur

$$\xi(t) = y(t) - b(t-1)u(t-1) - \hat{c}(t-1)\varphi(t-1)$$

I detta uttryck sätts styrlagen

$$u(t) = (\hat{a}(t) - \hat{c}(t))y(t) / b(t), \quad \text{in och man erhåller}$$

$$\begin{aligned} \xi(t) &= y(t) - (\hat{a}(t-1) - \hat{c}(t-1))y(t-1) + \hat{a}(t-1)y(t-1) - \\ &\quad - \hat{c}(t-1)\xi(t-1) = \\ &= y(t) + \hat{c}(t-1)y(t-1) - \hat{c}(t-1)\xi(t-1), \quad \text{dvs} \end{aligned}$$

$$\xi(t) + \hat{c}(t-1)\xi(t-1) = y(t) + \hat{c}(t-1)y(t-1)$$

vilket innebär att

$$\xi(t) \equiv y(t), \quad \text{eftersom man vid uppstarten}$$

sätter $\xi(0) = y(0)$ eller 1.0.

Detta innebär att $\varphi(t)^T = (-1 \quad 1)y(t)$.

Om denna φ -vektor insättes i ekvationen för variansen P erhålles

$$P_{11}(t+1) = 1 \wedge \left[P_{11}(t) - \frac{(P_{12}(t) - P_{11}(t))^2 y(t)^2}{1 + (P_{11}(t) + P_{22}(t) - 2P_{12}(t)) y(t)^2} \right]$$

$$P_{12}(t+1) = 1/\lambda \left\{ P_{12}(t) - \frac{(P_{12}(t) - P_{11}(t))(P_{22}(t) - P_{12}(t))y(t)^2}{1 + (P_{11}(t) + P_{22}(t) - 2P_{12}(t))y(t)^2} \right.$$

$$P_{22}(t+1) = 1/\lambda \left\{ P_{22}(t) - \frac{(P_{22}(t) - P_{12}(t))^2 y(t)^2}{1 + (P_{11}(t) + P_{22}(t) - 2P_{12}(t))y(t)^2} \right.$$

där λ är glömskefaktorn.

Man ser att P_{12} strävar mot den minsta av P_{11} och P_{22} , medan P_{11} och P_{22} avtar tills $P_{11} = P_{22} = P_{12}$. I praktiska fall visade det sig att P-matrisen på detta sätt blev singular mycket snabbt. När detta väl inträffat övergår P-ekvationerna i

$$P(t+1) = P(t)/\lambda$$

För $\lambda = 1$ innebär detta bara att parameterestimatens aldrig konvergerar, men om λ är mindre än ett kommer P växa successivt och så småningom ge numeriska problem.

För parameterestimatens har vi ekvationerna

$$\hat{a}(t+1) = \hat{a}(t) + k_a(t) (y(t+1) - b(t)u(t) - \hat{\theta}(t)\varphi(t))$$

$$\hat{c}(t+1) = \hat{c}(t) + k_c(t) (y(t+1) - b(t)u(t) - \hat{\theta}(t)\varphi(t))$$

med
$$k_a(t) = \frac{(P_{12}(t) - P_{11}(t))y(t)}{1 + (P_{11}(t) + P_{22}(t) - 2P_{12}(t))y(t)^2}$$

$$k_b(t) = \frac{(P_{22}(t) - P_{12}(t))y(t)}{1 + (P_{11}(t) + P_{22}(t) - 2P_{12}(t))y(t)^2}$$

Om man startar med $P_{11} = P_{22}$ så kommer detta att alltid gälla och man erhåller

$$\hat{a}(t+1) + \hat{c}(t+1) = \hat{a}(t) + \hat{c}(t),$$

vilket alltid kommer att gälla.

De båda parameterestimaterna blir alltså linjärt beroende.

För andra startvärden på P kommer parametrarna att svänga in sig mot ett sådant linjärt beroende (jfr. P-ekv.).

Det visade sig dock att för $\lambda = 1$, så konverger $\hat{a} - \hat{c}$ mot det rätta värdet, så att regleringen fungerar i alla fall.

Eftersom vi är intresserade av att styra system med tidsvariabla parametrar måste lamda emellertid vara mindre än ett för att kunna följa variationerna. För lamda mindre än ett växer P vilket innebär att beräkningen av k_a och k_b till slut ej blir numeriskt noggranna. Detta stör parameterskattningen så kraftigt att regulatorn tex. kan ge ett instabilt slutet system.

Man bör alltså ej skatta både a och c för att sedan använda minimalvariansstrategi om systemet enbart innehåller en tidsfördröjning. Inga simuleringar redovisas därför med denna reglering.

3.2 Konstanta parametrar

Vi utgår hela tiden från det allmänna systemet

$$-y(t)+ay(t-1)=bu(t-1)+e(t)+ce(t-1)$$

Systemen med de olika värdena på a, b, c har simulerats på en PDP-15 dator tillsammans med regulatorerna, över 1500 steg.

3.2.1 Exempel 1

I det första exemplet sätts parametrarna till

$$a=-0.95 \quad b=1.0 \quad c=0.0$$

Insvängningsförloppet sker något snabbare för STURE än för den aktiva regulatorn. Förlusten per steg blev för STURE för de 50 första stegen 1.365 medan det för den aktiva uppgick till 1.760. Fortfarande efter 100 steg hade STURE mindre förlust, nämligen 1.005 medan den aktiva blev 1.470.

Stationärt blev däremot skillnaden obetydlig; över 1001 steg erhöles för STURE förlusten 1.044 medan den aktiva gav en förlust på 1.042.

STURE simulerades också med extra insignal, men gav dock större förlust än utan. För $u_{extra}=0.2(-1)^t$ erhöles den minsta förlusten med en extra insignal, som efter 50 steg uppgick till 1.368 och efter 100 steg 1.002. I stationärt tillstånd dvs. 1001 steg blev förlusten per steg 1.089. Se också tabell 1.

3.2.2 Exempel 2

Samma system som i exempel 1 simulerades men med c-parameter alltså

$$a=-0.95 \quad b=1.0 \quad c=-0.5$$

STURE gav efter 50 steg en medelförlust av 1.616, medan den aktiva gav lägre förlust 1.289. Fortfarande efter 100 steg hade den aktiva mindre förlust, nämligen 0.966 jämfört med STURE:s 1.146.

I stationärt tillstånd däremot gav de båda regulatorerna samma förlust 1.043.

Precis som i förra exemplet försämrades STURE av en extra insignal i stationärt tillstånd. Den lägsta förlusten som erhöles med extra insignal $u_{extra}=0.2(-1)^t$ blev 1.063.

Däremot fick STURE bättre transienta egenskaper med extra insignal. Se tabell 1 och diagram 1.

3.2.3 Exempel 3

Även ett system där b är större än ett undersöktes

$$a=-0.95 \quad b=1.5 \quad c=0.0$$

Transient var den duala något bättre än STURE 1.330 resp. 1.365 efter 50 steg. Efter 100 steg var skillnaden ungefär densamma så att den duala regulatorn hade en medelförlust av 0.975, medan STURE:s var 1.005.

I stationärt tillstånd gav båda regulatorerna nästan samma förlust, nämligen 1.045 för den duala resp. 1.044 för STURE. Liksom tidigare försämrades STURE:s egenskaper av en extra insignal så att förlusten i stationaritet blev för den bästa extra insignalen 1.142. Även transient blev förlusten något högre. Se vidare tabell 1.

3.2.4 Exempel 4

Det förra systemet simulerades även med c -parameter, således

$$a=-0.95 \quad b=1.5 \quad c=-0.5$$

Den duala regulatorn gav här transient mindre förlust än STURE. Efter 50 steg var STURE:s förlust 1.616 medan den duala hade 1.300. Vid 100 steg hade skillnaden minskat så att STURE gav en medelförlust av 1.146, medan den dualas förlust blev 0.978.

I stationaritet erhöles samma förlust för de båda regulatorerna, nämligen 1.043.

Också här blir STURE sämre med extra insignal i stationärt tillstånd. Däremot blir det något bättre transient.

Se tabell 2 och diagram 2. Diagram 2 visar hur förlusten varierar med extra insignal i stationärt tillstånd. Att det ej blir bättre med glömskefaktor ses i diagram 3.

Se även simuleringarna 1 och 2.

3.2.5 Exempel 5

Vi testade också ett instabilt system nämligen

$$a=-1.5 \quad b=1.0 \quad c=0.0$$

STURE var här överlägset den duala regulatorn i transient tillstånd. Efter 50 steg gav STURE en förlust av 1.341, medan den dualas förlust var ($\alpha=0.5$) 11.676. Fortfarande efter 100 steg var skillnaden mycket stor till STURE:s förlust, nämligen 0.993 jämfört med den dualas 6.160.

I stationärt tillstånd gav däremot den duala regulatorn något mindre förlust 1.042 mot STURE:s 1.044.

Som tidigare blev STURE sämre med extra insignal så att den bästa med extra insignal gav stationärt en förlust av 1.089. Genom att variera framför $f(P(t+1))$ kunde man endast obetydligt minska den höga förlusten initialt. Se vidare tabell 2.

3.2.6 Exempel 6

Det instabila systemet kördes också med c-parameter nämligen

$$a=-1.5 \quad b=1.0 \quad c=-0.5$$

Även här var STURE överlägset den duala regulatorn transient. Efter 50 steg hade STURE en förlust av 1.543, medan den duala hade den höga förlusten 17.348. Vid 100 steg var skillnaden fortfarande mycket stor. STURE:s förlust var 1.107, medan den duala gav en förlust av 9.058.

I stationärt tillstånd utjämnades dock skillnaden mellan regulatorerna så att STURE hade en förlust av 1.043, medan den dualas var 1.046.

STURE kördes också med extra insignal, men gav högre förlust stationärt. Transient blev den däremot något mindre. Se också tabell 2.

3.3 Tidsvariabla parametrar

Här användes glömskefaktor för STURE och $R_1 \neq 0$ för den aktivt duala vid identifieringen.

3.3.1 Parameter a varierar

Systemets utseende är

$$a=0.9+0.09\sin 0.005t \quad b=1.0 \quad c=0.0$$

Parametern a passerar ej 1.0 men kommer nära stabilitetsgränsen 1.0.

STURE blev stationärt något sämre än den duala regulatorn, men däremot bättre transient. Efter 50 steg gav STURE (=1.0) en förlust av 1.429 medan den duala gav 3.020. Då ytterligare 50 steg hade simulerats blev förlusten för STURE 1.041 medan den duala fortfarande gav en högre förlust 2.302.

I stationärt tillstånd blev förlusten för den duala regulatorn 1.046 medan STURE gav 1.050. Se även tabell 3.

Det visade sig, att även för de tidsvariabla systemen blev förlusten mindre utan extra insignal än med (ett undantag). I fortsättningen användes därför ej extra insignal för STURE.

3.3.2 Parameter a varierar

Även här varierar a-parametern men hamnar utanför stabilitetsgränsen.

$$a=-0.95+1.0\sin 0.005t \quad b=1.0 \quad c=0.0$$

Den duala regulatorn var något bättre i det transienta tillståndet än STURE. Efter 50 steg hade den duala en förlust av 1.358, medan STURE:s förlust var 1.403. Då 100 steg hade avverkats gick den dualas förlust ner till 0.989, medan STURE:s blev 1.038.

I stationärt tillstånd blev förlusten för den duala regulatorn 1.269, medan STURE blev bättre 1.080.

Det gäller att välja glömskefaktor och R_1 rätt, ty i annat fall kan förlusten mer än fördubblas. Se vidare tabell 3.

3.3.3 Parameter a varierar

Systemets parametrar är här

$$a=0.9+0.09\sin 0.005t \quad b=1.0 \quad c=-0.5$$

STURE blev bättre än den duala regulatorn i transient tillstånd. Efter 50 steg gav den duala regulatorn en förlust av 3.184, medan STURE:s var 1.563. Vid 100 steg minskades skillnaden mellan regulatorerna så att den dualas förlust var 1.924, medan STURE gav en förlust av 1.116.

I stationärt tillstånd blev skillnaden avsevärt mindre, nämligen 1.068 för den duala resp. 1.050 för STURE.

Hur STURE:s förlust varierar med glömskefaktor ses i diagram 4. Se också tabell 3 och diagrammen 5 och 6, samt simuleringarna 3 och 4.

3.3.4 Parameter a varierar

Även det instabila systemet testades med c-parameter skild från noll

$$a=-0.95 + 1.0\sin 0.005t \quad b=1.0 \quad c=-0.5$$

STURE blev här bättre i stationärt tillstånd men sämre i transient.

Efter 50 steg hade den duala en förlust av 1.242, medan STURE:s var 1.674. Då ytterligare 50 steg hade gått minskade den dualas förlust till 0.950, medan STURE:s gick ner till 1.190.

I stationärt tillstånd blev den dualas förlust 1.217, medan det för STURE uppgick till 1.081. Även här är det viktigt att välja R_1 rätt så att inte förlusten ökar starkt. Se tabell 3.

3.3.5 Parameter b varierar

Vi testade också system där a-parametern var konstant, men b-parametern varierar.

Det första var

$$a=-0.95 \quad b=1.0+0.9\sin 0.005t \quad c=0.0$$

Parametern b passerar ej noll, men hamnar nära.

STURE:s transienta förluster blev lägre än den dualas, nämligen efter 50 steg 1.482 mot 1.591.

Fortfarande efter 100 steg var STURE:s förluster mindre än den dualas 1.096 resp. 1.160.

I stationärt tillstånd däremot gav STURE något större förluste än den duala regulatorn 1.160 resp. 1.113.

Se vidare tabell 4.

3.3.6 Parameter b varierar

Vi testade också ett system där b-parametern byter tecken

$$a=-0.95 \quad b=0.2 + 1.0\sin 0.005t \quad c=0.0$$

Det visade sig att medan STURE initialt gav små förluster 1.530 och 1.117 efter 50 resp. 100 steg, blev den senare instabil. Vid teckenväxlingen visar skattningen, nämligen fel tecken, varför det istället för att korrigera avvikelsen förstärker denna.

Den duala regulatorn klarade däremot teckenväxlingen fint och initialt blev ej heller förlusten så hög 3.158 och 2.620 efter 50 resp. 100 steg.

I stationärt tillstånd erhöles förlusten till 1.553.

Se vidare tabell 4.

3.3.7 Parameter b varierar

Systemet i avsnitt 3.3.5 testades också med c-parameter skild från noll

$$a=-0.95 \quad b=1.0 + 0.9\sin 0.005t \quad c=-0.5$$

Den duala regulatorn gav mindre förluster transient än STURE. Efter 50 steg 1.285 för den duala resp. 1.705 för STURE. Vid 100 steg hade den duala en förlust av 0.970, medan STURE:s förlust blev 1.204.

I stationärt tillstånd gav STURE en förlust av 1.099, medan den duala regulatorn gav en större förlust 1.612. För den duala regulatorn var valet av R_1 relativt kritiskt. Se vidare tabell 4 och diagram 7 och 8.

3.3.8 Parameter b varierar

Det systemet som STURE ej klarade av att reglera testades

med c-parameter skild från noll.

$$a=-0.95 \quad b=0.2 + 1.0\sin 0.005t \quad c=-0.5$$

Parameter b växlar alltså tecken.

Liksom tidigare klarade ej STURE av regleringen även om den transient gav små förluster.

Den duala regulatorn klarade däremot teckenväxlingarna bättre och efter 50 steg erhöles en förlust av 1.437. Då 100 steg hade förflutit minskade faktiskt medelförlusten till 1.047 för att i stationärt tillstånd åter öka till 1.485. Jämfört med fallet $c=0.0$ erhöles alltså för den duala regulatorn en något mindre förlust. Se vidare tabell 4.

3.3.9 Både parameter a och b varieras

Nu varieras både a- och b-parametrarna samtidigt. Det första systemet som simulerades var

$$a=0.9 + 0.09\sin 0.005t \quad b=1.0 + 0.9\sin 0.005t \quad c=0.0$$

Här sker ingen teckenväxling varken för a- eller b-parametern.

Den duala regulatorn uppvisade transient högre förluster än STURE. Efter 50 steg blev förlusten för STURE 1.518 och för den duala 2.844. Då ytterligare 50 steg hade gått sjönk förlusterna något så det för STURE gav 1.098 och för den duala 2.094.

I stationärt tillstånd blev dock den duala något bättre med en medelförlust av 1.125, medan STURE hade 1.132.

Se i övrigt tabell 5 och diagrammen 9, 10, 11 samt simuleringarna 5, 6 och 7.

3.3.10 Både parameter a och b varieras

Ett system där b-parametern växlar tecken, medan a-parametern hela tiden håller sig positiv undersöktes också.

$$a=0.9 + 0.09\sin 0.005t \quad b=0.2 + 1.0\sin 0.005t \quad c=0.0$$

Som i tidigare exempel klarar STURE inte teckenväxlingen utan man erhåller instabilitet, den här gången dock tidigare.

Den duala regulatorn klarar regleringen bättre, visserligen med lite höga transienta förluster. Efter 50 steg 4.110 och då ytterligare 50 steg hade gått 2.389.

I stationärt tillstånd sjönk förlusten till 1.585. Man kunde märka att förlusten ökade vid teckenväxlingen hos b-parametern, men regulatorn lärde sig efter 30-40 steg att teckenväxling hade skett, varefter skattningen snabbt åter blev bättre.

Se i övrigt tabell 5 och simuleringarna 8,9.

3.3.11 Både parameter a och b varieras

Det stabila systemet med både a- och b-parametrarna varierande simulerades också med c-parameter skild från noll. Systemets utseende

$$a=0.9 + 0.09\sin 0.005t \quad b=1.0 + 0.9\sin 0.005t \quad c=-0.5$$

Parametern b växlar ej tecken.

STURE:s förluster var initialt mindre än den duala regulatorns. Efter 50 steg hade STURE en förlust av 1.746, medan den duala gav en förlust av 3.208. Förlusten sjönk då 100 steg hade avverkats till 1.253 och 1.945 för STURE resp. den duala.

I stationärt tillstånd klarade sig STURE med mindre förlust än den duala 1.205 resp. 1.255.

Se i övrigt tabell 5.

3.3.12 Både parameter a och b varieras

Systemet i vilket b-parametern växlade tecken testades också med c-parameter skild från noll.

$$a=0.9 + 0.09\sin 0.005t \quad b=0.2 + 1.0\sin 0.005t \quad c=-0.5$$

Som tidigare blir systemet med STURE instabilt pga. teckenväxlingen.

Den duala klarar däremot regleringen, men med högre förluster än utan c-parametrar.

Initialt erhöles efter 50 steg en förlust av 6.092 och efter ytterligare 50 steg 3.405.

Stationärt blev förlusten 1.619 per steg.

Se vidare tabell 5.

Systemens utseende i de efterföljande tabellerna:

Konstanta parametrar:

SYSTEM 1	$a=-1,5$	$b=1,0$	$c=0,0$
System 2	$a=-0,95$	$b=1,0$	$c=0,0$
SYSTEM 3	$a=-0,95$	$b=1,5$	$c=0,0$
SYSTEM 4	$a=-1,5$	$b=1,0$	$c=-0,5$
SYSTEM 5	$a=-0,95$	$b=1,0$	$c=-0,5$
System 6	$a=-0,95$	$b=1,5$	$c=-0,5$

a varierar, b konstant:

SYSTEM 7	$a=0,90+0,09\sin0,005t$	$b=1,0$	$c=0,0$
SYSTEM 8	$a=-0,95+1,0\sin0,005t$	$b=1,0$	$c=0,0$
SYSTEM 9	$a=0,90+0,09\sin0,005t$	$b=1,0$	$c=-0,5$
SYSTEM 10	$a=-0,95+1,0\sin0,005t$	$b=1,0$	$c=-0,5$

a konstant, b varierar:

SYSTEM 11	$a=-0,95$	$b=1,0+0,9\sin0,005t$	$c=0,0$
SYSTEM 12	$a=-0,95$	$b=0,2+1,0\sin0,005t$	$c=0,0$
SYSTEM 13	$a=-0,95$	$b=1,0+0,9\sin0,005t$	$c=-0,5$
SYSTEM 14	$a=-0,95$	$b=0,2+1,0\sin0,005t$	$c=-0,5$

Både a och b varierar

SYSTEM 15	$a=0,9+0,09\sin0,005t$		$c=0,0$
	$b=1,0+0,9\sin0,005t$		
SYSTEM 16	$a=0,9+0,09\sin0,005t$		$c=0,0$
	$b=0,2+1,0\sin0,005t$		
SYSTEM 17	$a=0,9+0,09\sin0,005t$		$c=-0,5$
	$b=1,0+0,9\sin0,005t$		
SYSTEM 18	$a=0,9+0,09\sin0,005t$		$c=-0,5$
	$b=0,2+1,0\sin0,005t$		

FÖRLUST PER STEG

SYSTEM 1	$\frac{1}{50} \sum_{t=1}^{50} y(t)^2$	$\frac{1}{100} \sum_{t=1}^{100} y(t)^2$	$\frac{1}{100} \sum_{t=500}^{1500} y(t)^2$
STURE ($\lambda=1.0$)			
$u_{\text{extra}}=0.0$	1.341	0.993	1.044
$u_{\text{extra}}=0.2$	1.348	0.991	1.089
DUALT ($R_1=0.0$)			
$\alpha=0.25$	11.540	6.092	1.043
$\alpha=0.5$	11.676	6.160	1.042
$\alpha=1.0$	11.466	6.056	1.043
SYSTEM 2			
STURE ($\lambda=1.0$)			
$u_{\text{extra}}=0.0$	1.365	1.005	1.044
$u_{\text{extra}}=0.2$	1.368	1.002	1.089
DUALT ($R_1=0.0$)			
$\alpha=0.5$	1.760	1.470	1.042
SYSTEM 3			
STURE ($\lambda=1.0$)			
$u_{\text{extra}}=0.0$	1.365	1.005	1.044
$u_{\text{extra}}=0.2$	1.410	1.037	1.142
DUALT ($R_1=0.0$)			
$\alpha=0.5$	1.330	0.975	1.045

Tabell 1: Förlusten per steg för några system med konstanta parametrar och $c=0.0$.

FÖRLUST PER STEG

SYSTEM 4	$\frac{1}{50} \sum_{t=1}^{50} y(t)^2$	$\frac{1}{100} \sum_{t=1}^{100} y(t)^2$	$\frac{1}{1001} \sum_{t=500}^{1500} y(t)^2$
STURE ($\lambda=1.0$)			
$u_{\text{extra}}=0.0$	1.543	1.107	1.043
$u_{\text{extra}}=0.2$	1.513	1.083	1.063
DUALT ($R_1=0.0$)			
$\alpha=0.5$	17.348	9.058	1.046
SYSTEM 5			
STURE ($\lambda=1.0$)			
$u_{\text{extra}}=0.0$	1.616	1.146	1.043
$u_{\text{extra}}=0.2$	1.560	1.109	1.063
DUALT ($R_1=0.0$)			
$\alpha=0.5$	1.289	0.966	1.043
SYSTEM 6			
STURE ($\lambda=1.0$)			
$u_{\text{extra}}=0.0$	1.616	1.146	1.043
$u_{\text{extra}}=0.2$	1.560	1.113	1.088
$u_{\text{extra}}=0.4$	1.704	1.240	1.237
DUALT ($R_1=0.0$)			
$\alpha=0.5$	1.300	0.978	1.043

Tabell 2: Förlusten per steg för system med konstanta parameterar och $c=-0.5$.

FÖRLUST PER STEG

SYSTEM 7	$\frac{1}{50} \sum_{t=1}^{50} Y(t)^2$	$\frac{1}{100} \sum_{t=1}^{100} Y(t)^2$	$\frac{1}{100} \sum_{t=1}^{500} Y(t)^2$
STURE $u_{ex}=0.0$			
$\lambda = 1.0$	1.429	1.041	1.050
$\lambda = 0.99$	1.434	1.043	1.051
DUALT $\alpha = 0.5$			
$R_1 = 0.25 \cdot 10^{-3}$	3.020	2.302	1.046
SYSTEM 8			
STURE $u_{ex}=0.0$			
$\lambda = 1.0$	1.389	1.046	2.791
$\lambda = 0.96$	1.403	1.038	1.080
DUALT $\alpha = 0.5$			
$R_1 = 0.25 \cdot 10^{-4}$	1.342	0.985	1.675
$R_1 = 0.25 \cdot 10^{-3}$	1.358	0.989	1.269
$R_1 = 0.28 \cdot 10^{-2}$	1.456	1.039	2.226
SYSTEM 9			
STURE $u_{ex}=0.0$			
$\lambda = 1.0$	1.557	1.115	1.053
$\lambda = 0.99$	1.563	1.116	1.050
DUALT $\alpha = 0.5$			
$R_1 = 0.25 \cdot 10^{-3}$	3.184	1.924	1.068
STURE $u_{ex}=0.0$			

Tabell 3: Förlusten per steg för system där a varierar och b är konstant.

FORTSÄTTNING TABELL 3

SYSTEM 10	$\frac{1}{50} \sum_{t=1}^{50} y(t)^2$	$\frac{1}{100} \sum_{t=1}^{100} y(t)^2$	$\frac{1}{1001} \sum_{t=500}^{1500} y(t)^2$
STURE $u_{ex}=0.0$			
$\lambda = 1.0$	1.666	1.224	3.430
$\lambda = 0.96$	1.674	1.190	1.081
DUALT $\alpha = 0.5$			
$R_1 = 0.25 \cdot 10^{-3}$	1.224	0.942	1.617
$R_1 = 0.25 \cdot 10^{-4}$	1.220	0.940	2.387
$R_1 = 0.25 \cdot 10^{-2}$	1.242	0.950	1.217

FÖRLUST PER STEG

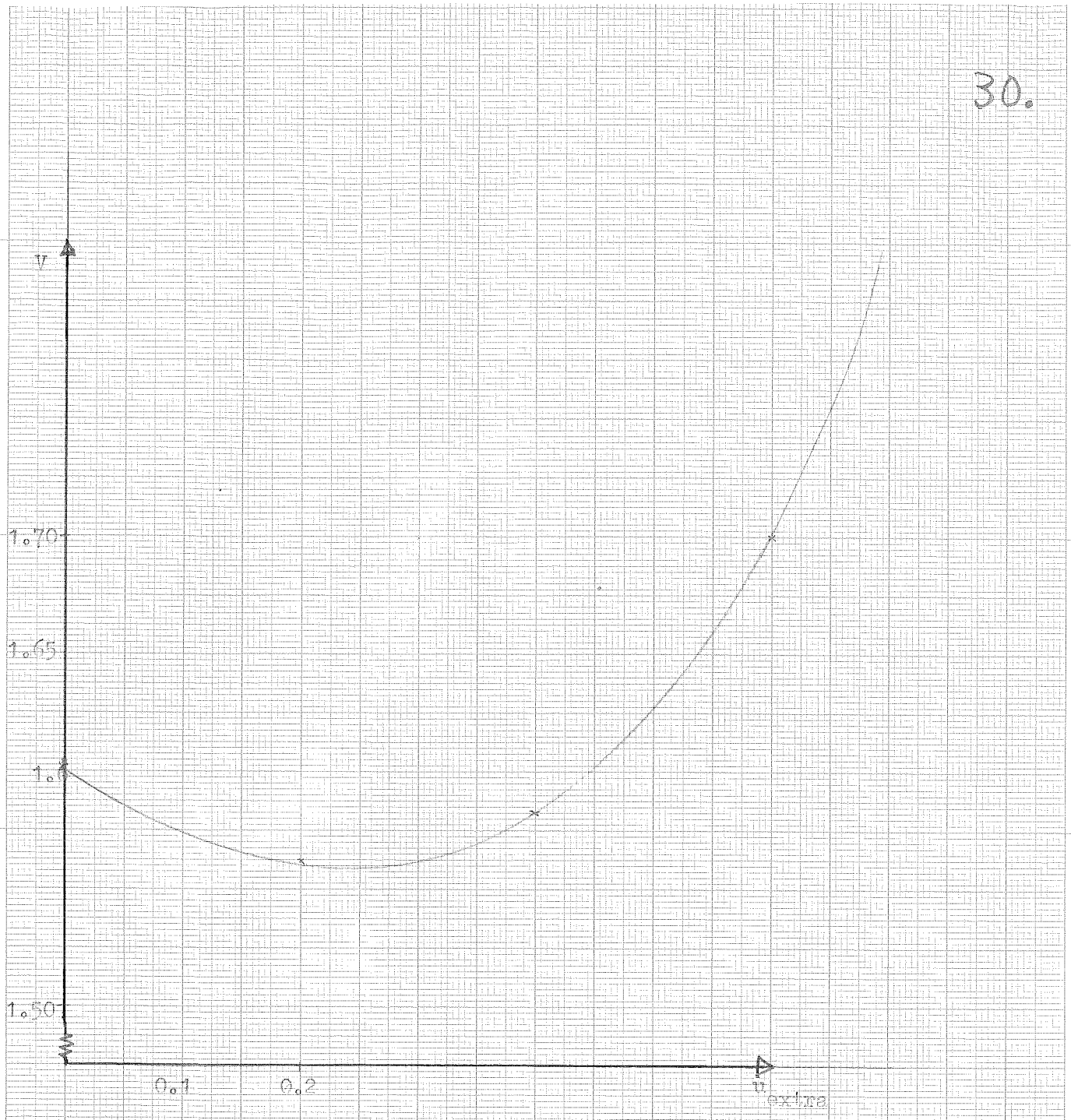
SYSTEM	$\frac{1}{50} \sum_{t=1}^{50} y(t)^2$	$\frac{1}{100} \sum_{t=1}^{100} y(t)^2$	$\frac{1}{1001} \sum_{t=500}^{1500} y(t)^2$
SYSTEM 11			
STURE $u_{ex}=0.0$			
$\lambda = 1.0$	1.392	1.037	2.147
$\lambda = 0.89$	1.482	1.096	1.160
DUALT $\alpha = 0.5$			
$R_1 = 0.25 \cdot 10^{-3}$	1.591	1.277	1.113
SYSTEM 12			
STURE $u_{ex}=0.0$			
$\lambda = 0.97$	1.530	1.117	instabilt
DUALT $\alpha = 0.5$			
$R_1 = 0.25 \cdot 10^{-3}$	3.158	2.620	1.553
SYSTEM 13			
STURE $u_{ex}=0.0$			
$\lambda = 1.0$	1.667	1.190	1.266
$\lambda = 0.94$	1.705	1.204	1.099
DUALT $\alpha = 0.5$			
$R_1 = 0.25 \cdot 10^{-3}$	1.285	0.970	1.612
SYSTEM 14			
STURE $u_{ex}=0.0$			
$\lambda = 0.97$	1.910	1.321	instabilt
DUALT $\alpha = 0.5$			
$R_1 = 0.25 \cdot 10^{-3}$	1.437	1.047	1.485

Tabell 4: Förlusten per steg för system där a är konstant och b varierar.

FÖRLUST PER STEG

SYSTEM	$\frac{1}{50} \sum_{t=1}^{50} y(t)^2$	$\frac{1}{100} \sum_{t=1}^{100} y(t)^2$	$\frac{1}{1001} \sum_{t=500}^{1500} y(t)^2$
SYSTEM 15			
STURE $u_{ex}=0.0$			
$\lambda=0.92$	1.518	1.098	1.132
DUALT $\alpha=0.5$			
$R_1=0.25 \cdot 10^{-3}$	2.844	2.094	1.125
SYSTEM 16			
STURE	instabilt	instabilt	instabilt
DUALT $\alpha=0.5$			
$R_1=0.25 \cdot 10^{-3}$	6.092	3.405	1.619
$R_1=0.25 \cdot 10^{-2}$	6.484	3.597	2.867
SYSTEM 17			
STURE $u_{ex}=0.0$			
$\lambda=0.86$	1.746	1.253	1.205
DUALT $\alpha=0.5$			
$R_1=0.25 \cdot 10^{-3}$	3.208	1.945	1.255
$R_1=0.25 \cdot 10^{-2}$	3.396	2.039	13.250
$R_1=0.25 \cdot 10^{-4}$	3.170	1.934	1.348
SYSTEM 18			
STURE	instabilt	---	---
DUALT $\alpha=0.5$			
$R_1=0.25 \cdot 10^{-3}$	6.092	3.405	1.619
$R_1=0.25 \cdot 10^{-2}$	6.484	3.597	2.867

Tabell 5: Förlust per steg för system där både a och b varierar.



73 25 01 - 514 A4 - 1 x 1 mm

ESSELTE ©
4441

	$V = f(u_{\text{extra}}) \quad V = \frac{1}{50} \sum_{t=1}^{50} y(t)^2$	Diagram 1.
	$a = -0.95$ $b = 1.0$ $\phi = -0.5$	System 5
	$\lambda = 1.0$	avd. 3.2.2

Förlusten som funktion av extra insignal i transient tillstånd, för STURE.

$V=f(u_{extra})$ stationärt

konstanta parametrar

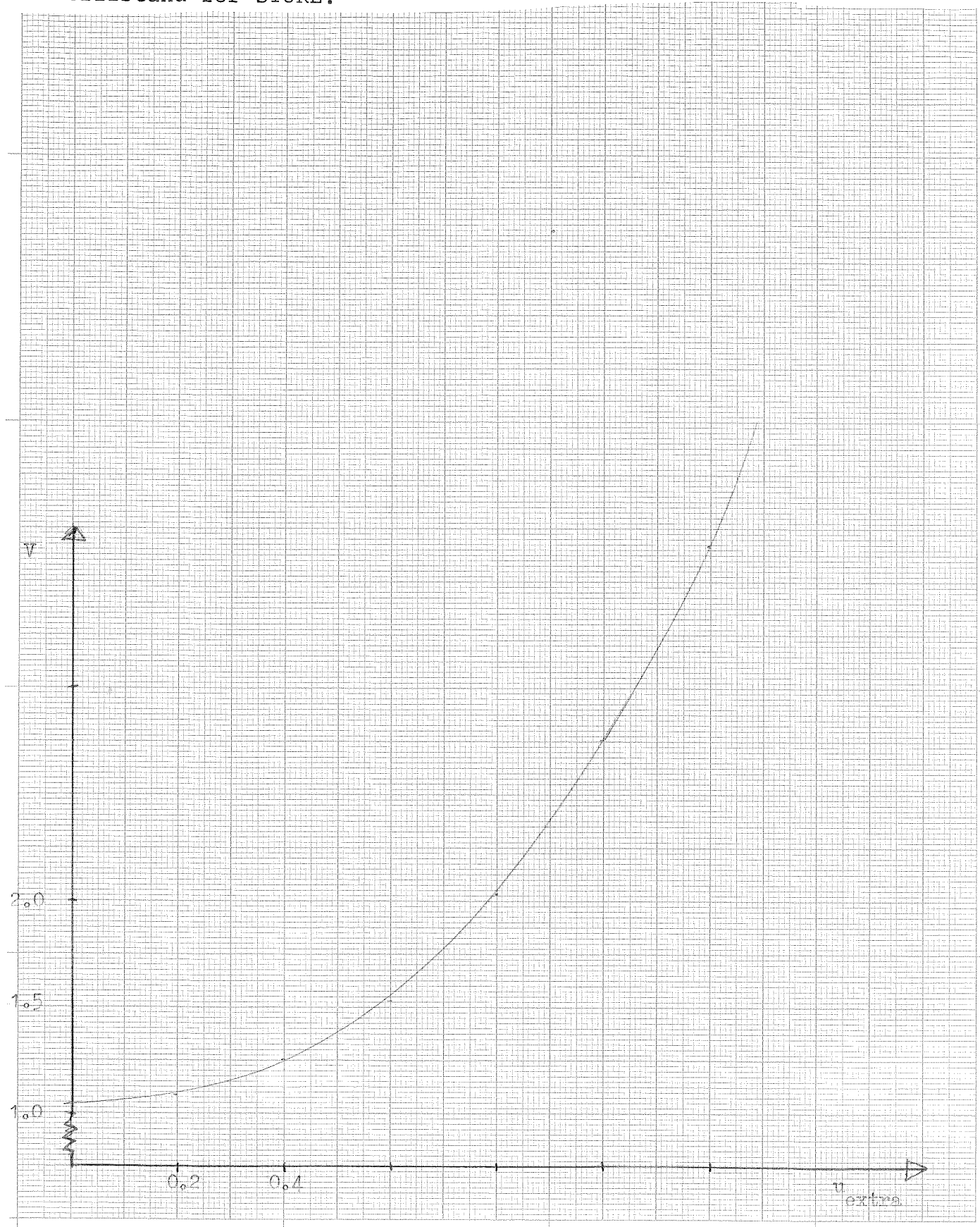
Diagram 2

System 6

avd. 3.2.4

$a=0.95$
 $b=1.5$
 $c=0.5$ $\lambda=1.0$

Förlusten som funktion av extra insignal i stationärt tillstånd för STURE.



$V=f(\lambda)$

stationärt

Diagram 3

System 6

avd. 3.2.4

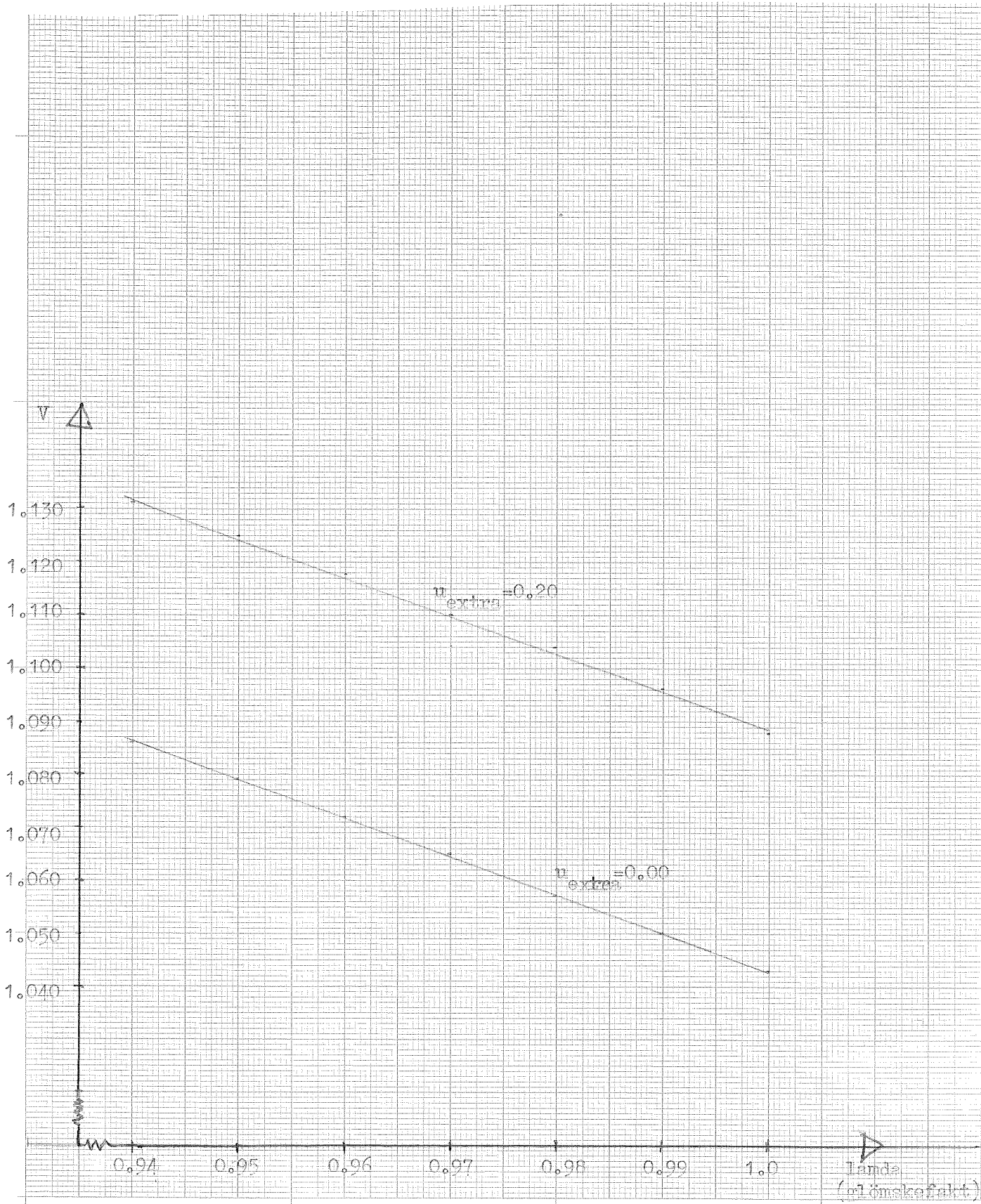
Konstanta parametrar

$a=0.95$

$b=1.5$

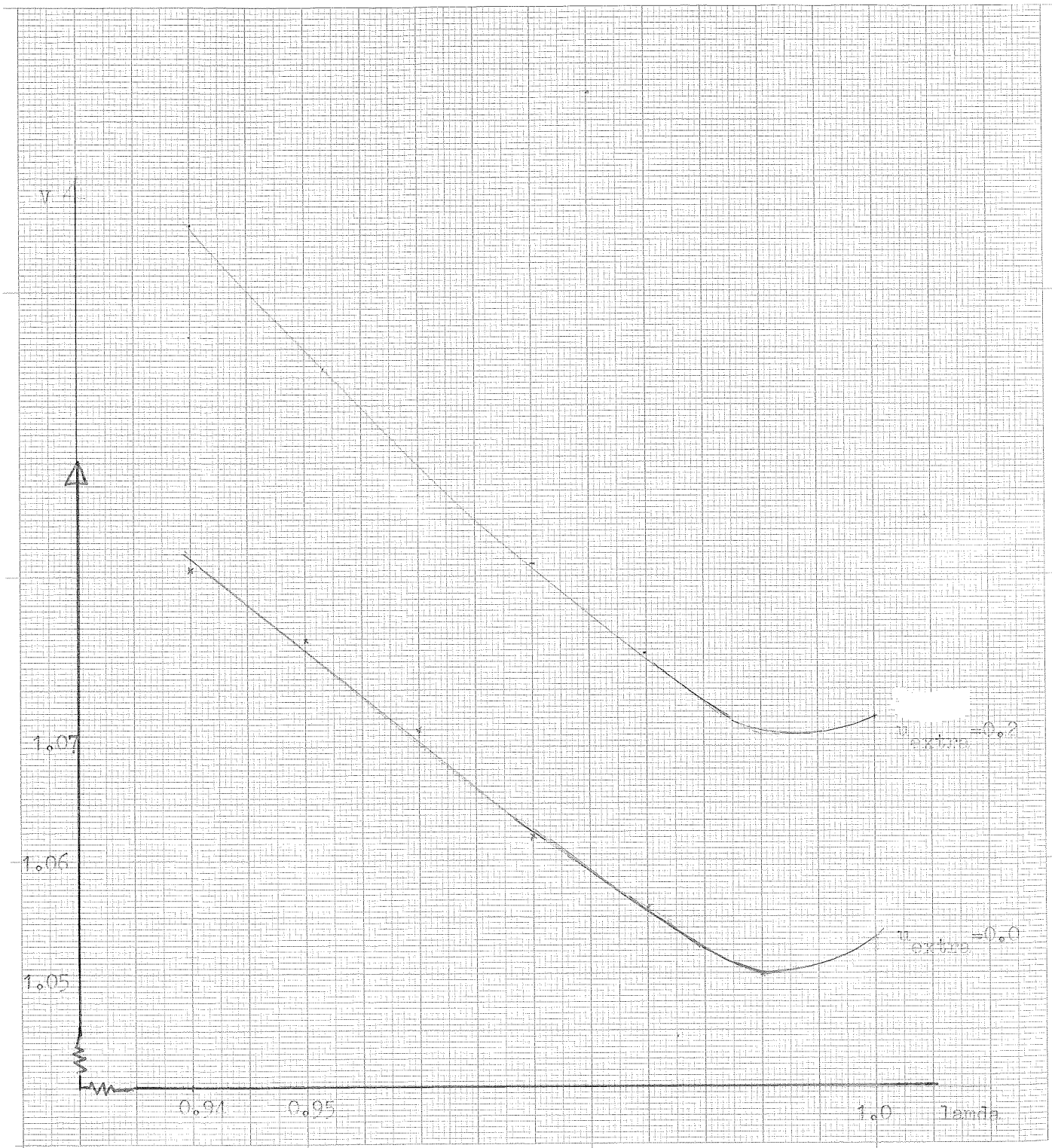
$c=0.5$

Förlusten som funktion av glömskefaktorn med och utan extra insignal för STURE.



	$V=f(\lambda)$	stationärt	33.
	a varierar	$a=0.9+0.09\sin(0.005t)$	Diagram 4
	b konst	$b=1.0$	System 9
		$\rho=0.5$	avd. 3.3.3

Förlusten som funktion av glömskefaktorn med och utan extra insignal för STURE.



$V=f(u_{\text{extra}})$ stationärt

$$a=0.9+0.09\sin 0.005t$$

$$b=1.0$$

$$c=0.5$$

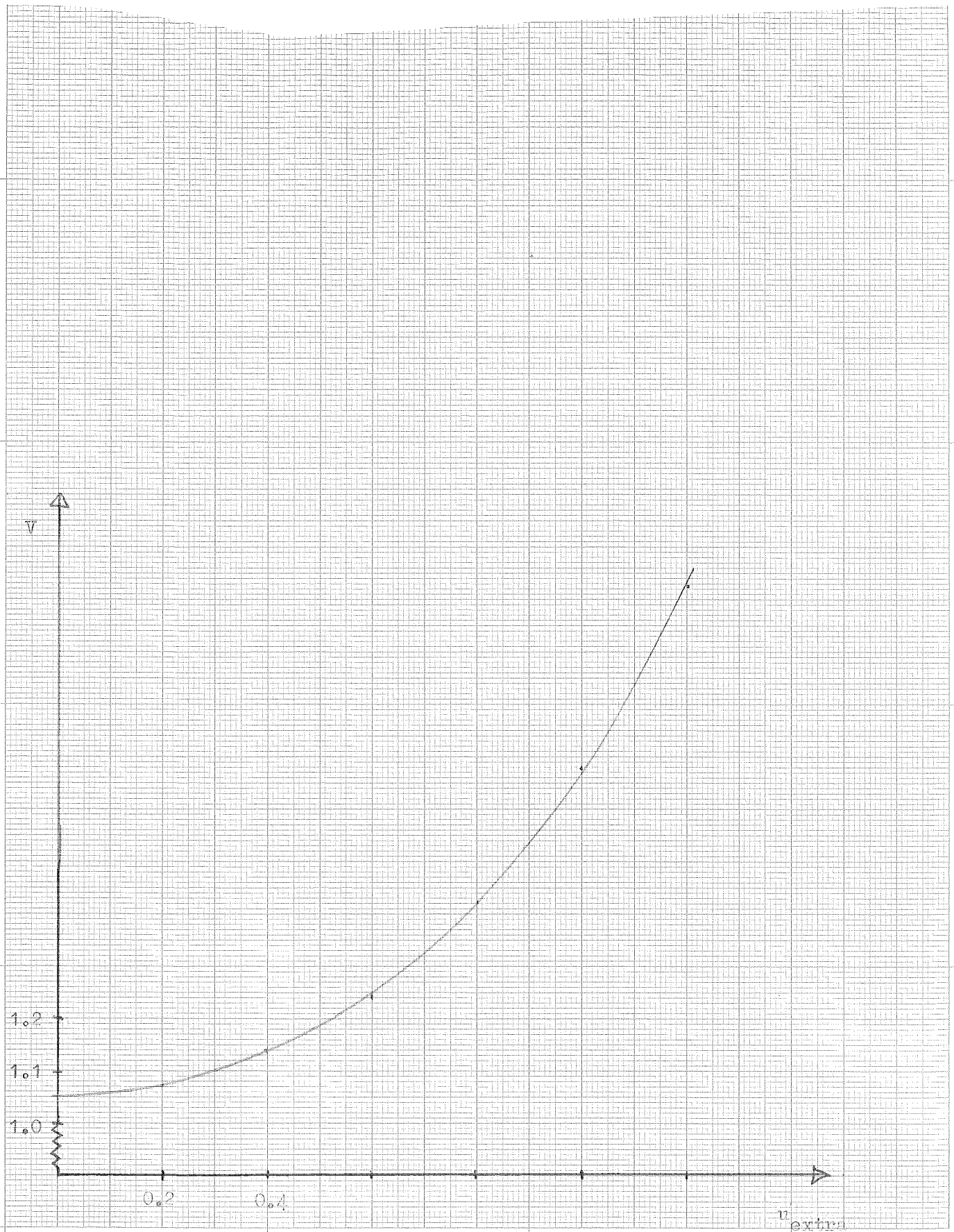
$$\lambda=0.99$$

Diagram 5

System 9

avd. 3.3.3

Förlusten som funktion av extra insignal för STURE.



$$V=f(u_{\text{extra}})$$

$$V=\frac{1}{50} \sum_{t=1}^{50} y(t)^2$$

$$a=0.9+0.09\sin 0.005t$$

$$b=1.0$$

$$c=-0.5$$

$$\lambda=0.99$$

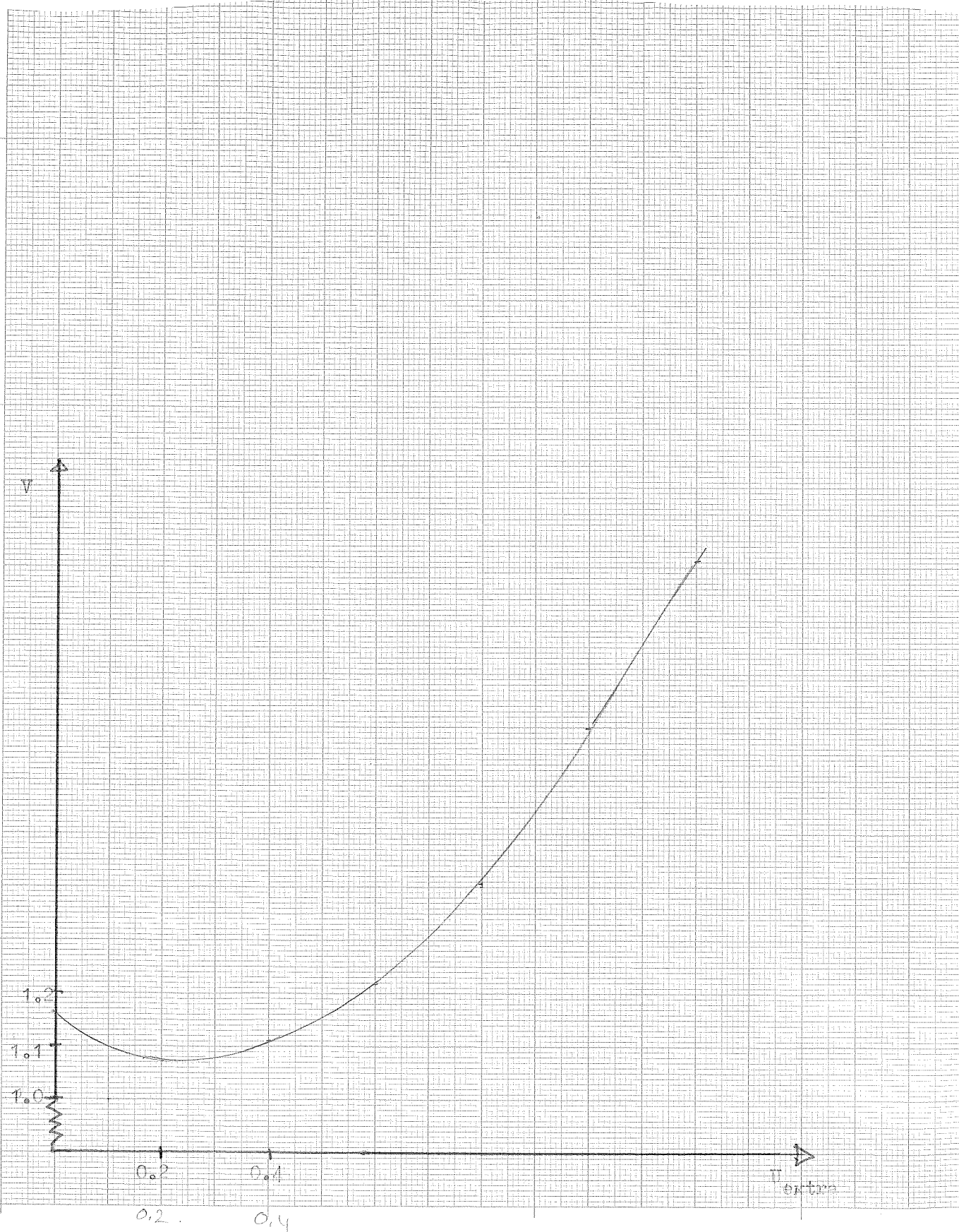
35.

Diagram 6

System 9

avd. 3.3.3

Förlusten som funktion av extra insignal i transient tillstånd för STURE.



$$V=f(\text{extra})$$

$$V=\sum_{t=1}^{50} y(t)^2$$

Diagram 7

System 13

avd. 3.3.7

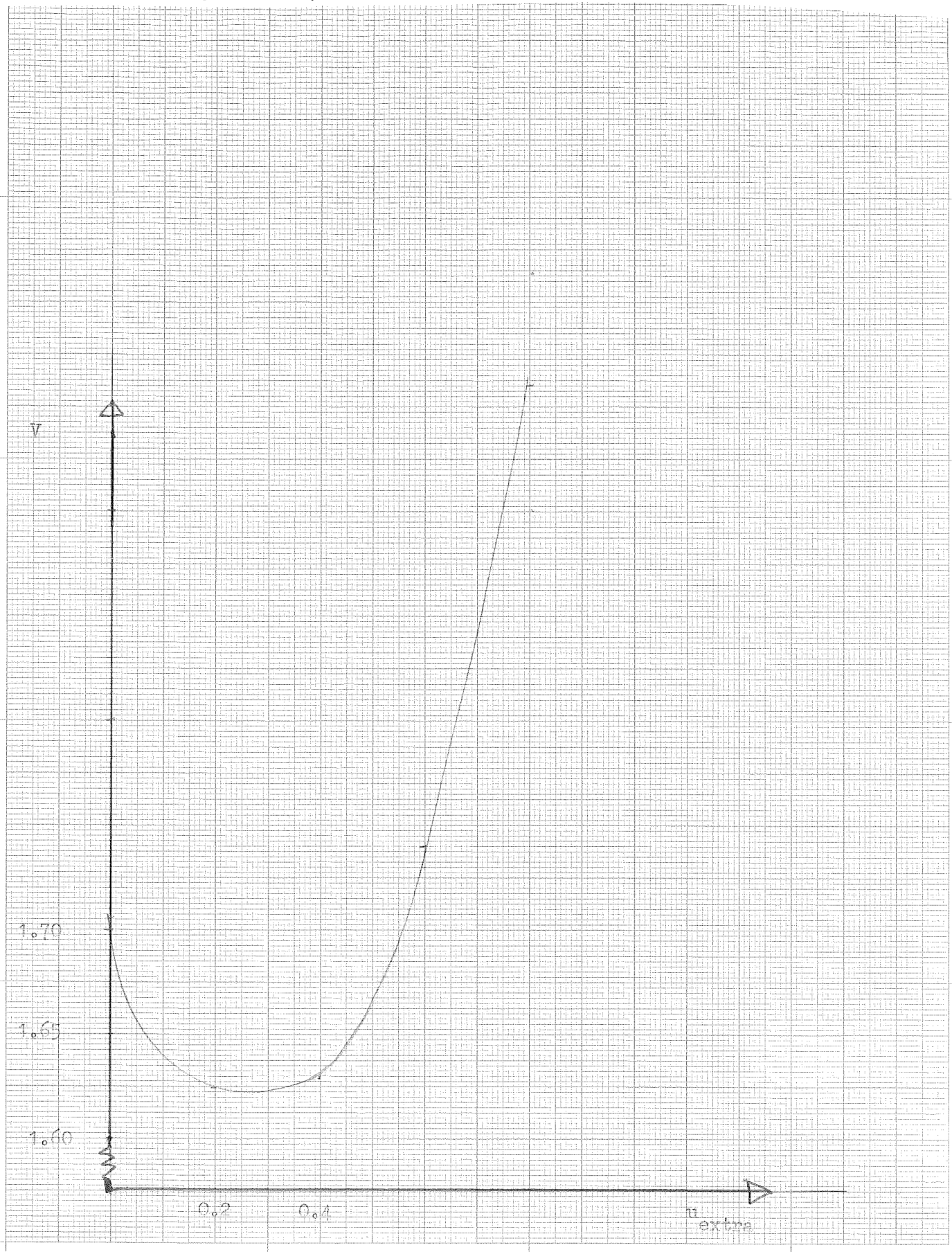
$$a=-0.95$$

$$b=1.0+0.9\sin(0.005t)$$

$$c=-0.5$$

$$\lambda \text{ and } \mu = 0.94$$

Förlusten som funktion av extra insignal i transient tillstånd för STURE.



V=f(lamda)

stationärt

Diagram 8

System 13

avd. 3.3.7

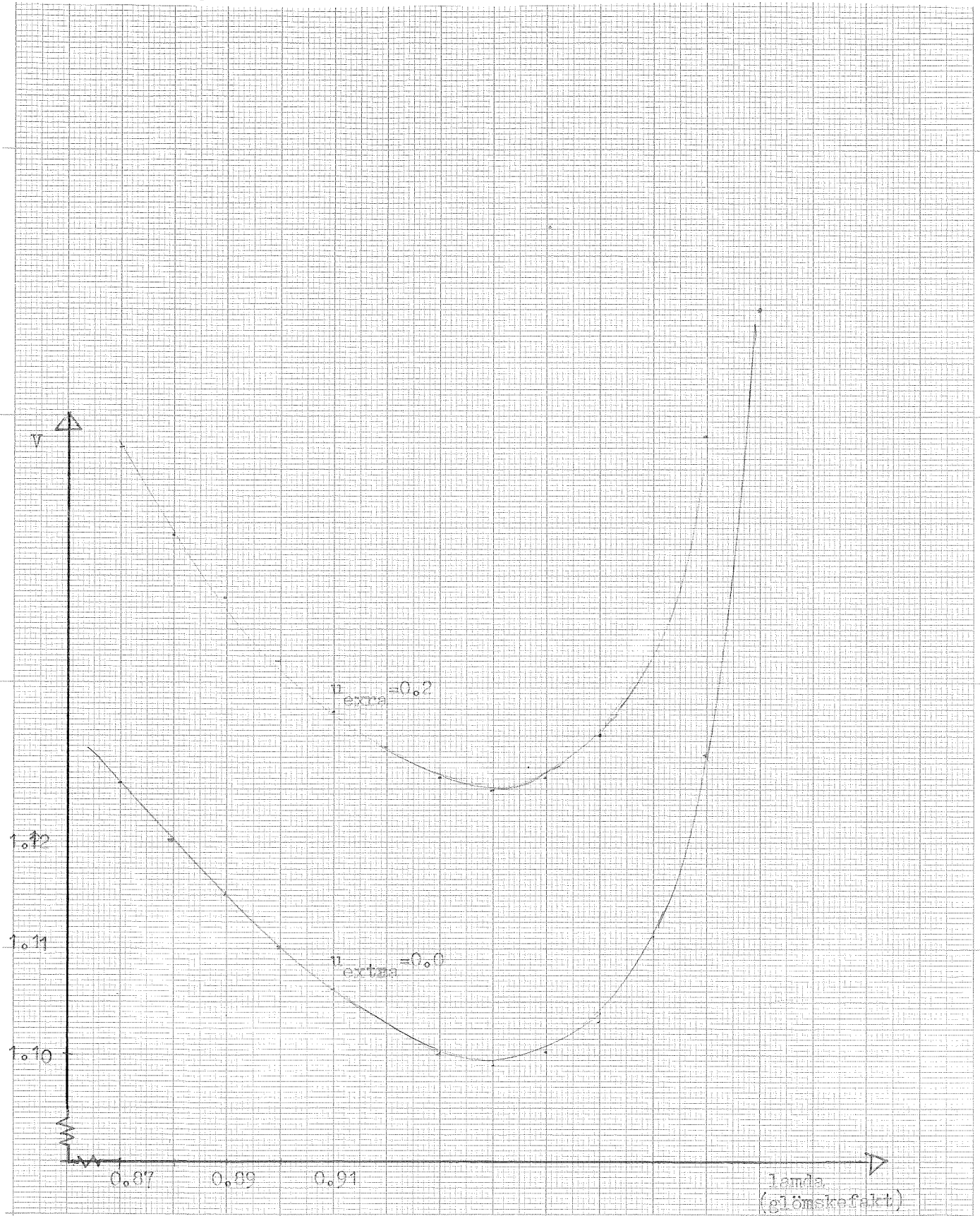
a varierar konstant
b konst varierar

$$a = -0.95$$

$$b = 1.0 + 0.9 \sin(0.005 t)$$

$$c = 0.5$$

Förlusten som funktion av glömskefaktorn, med och utan extra insignal, för STURE.



$V=f(\lambda)$ stationärt

$$a=0.9+0.09\sin 0.005t$$

$$b=1.0+0.9\sin 0.005t$$

$$c=0.0$$

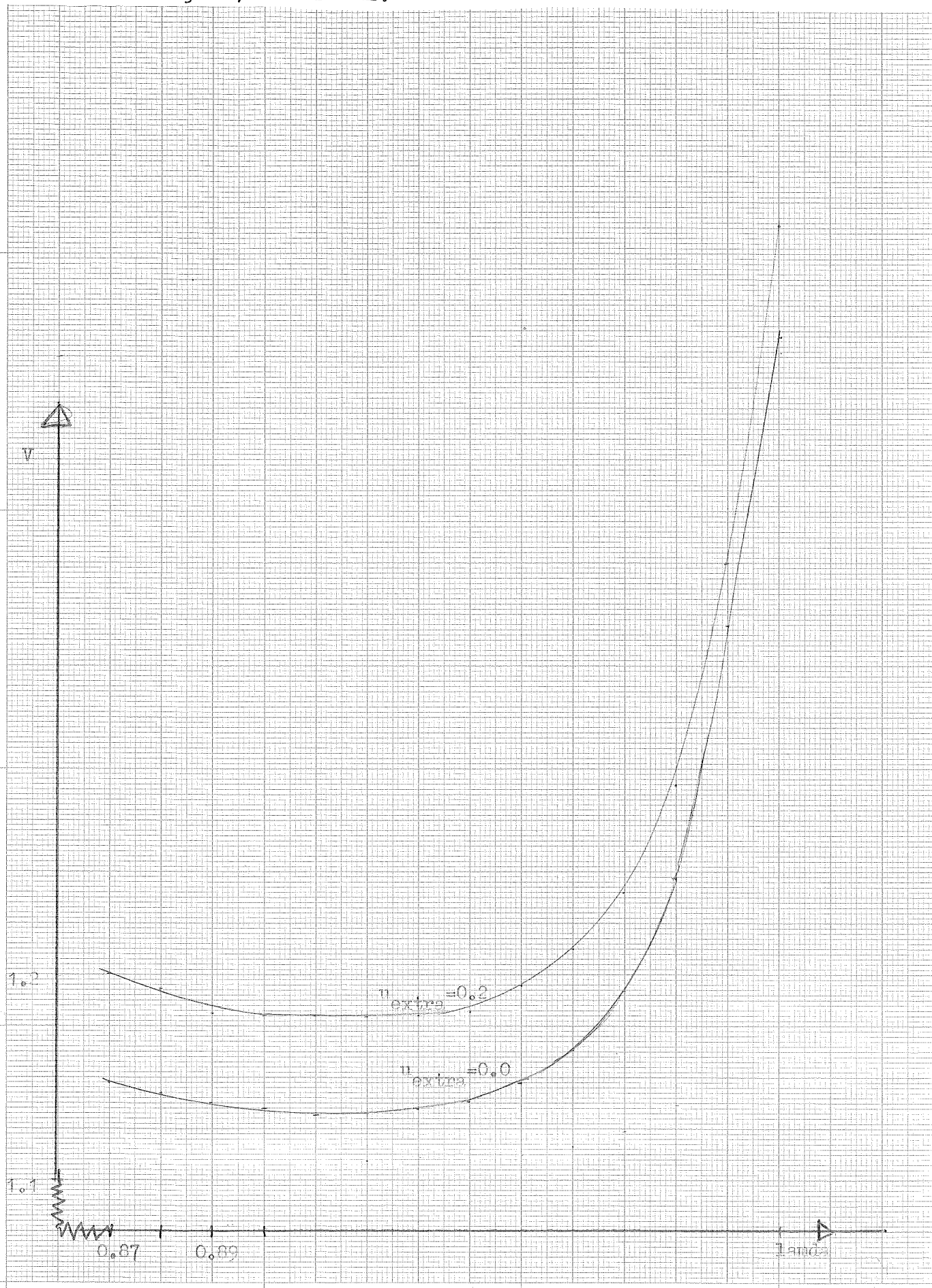
38.

Diagram 9

System 15

avd. 3.3.9

Förlusten som funktion av glömskefaktorn, med och utan extra insignal, för STURE.



73 25 01 - 514 A4 - 1 x 1 mm

$$V_{4f}(u_{extra}) \quad V = \frac{1}{50} \sum_{t=1}^{50} y(t)^2$$

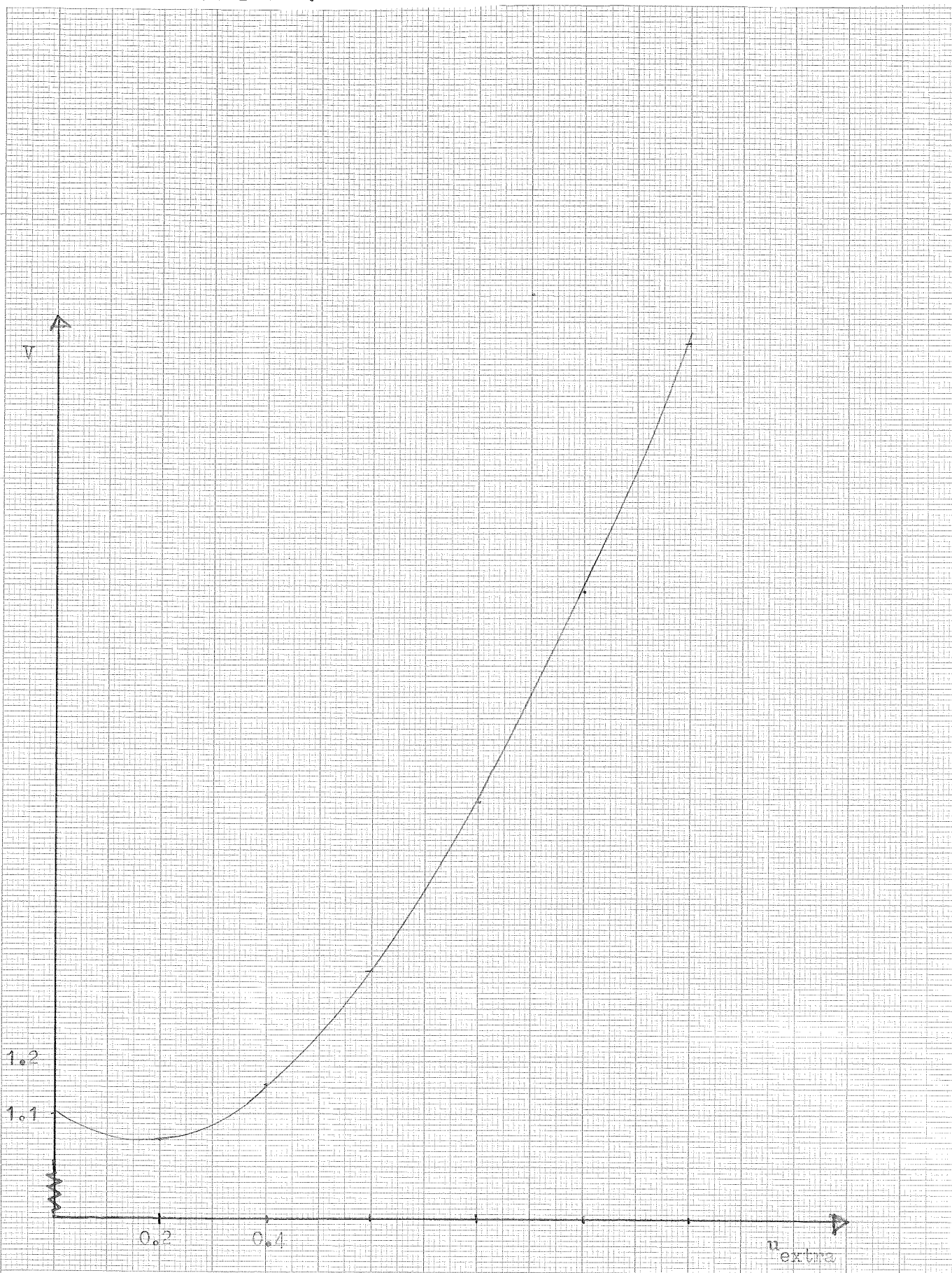
$$a = 0.9 + 0.09 \sin 0.005t$$

$$b = 1.0 + 0.9 \sin 0.005t$$

$$c = 0.0$$

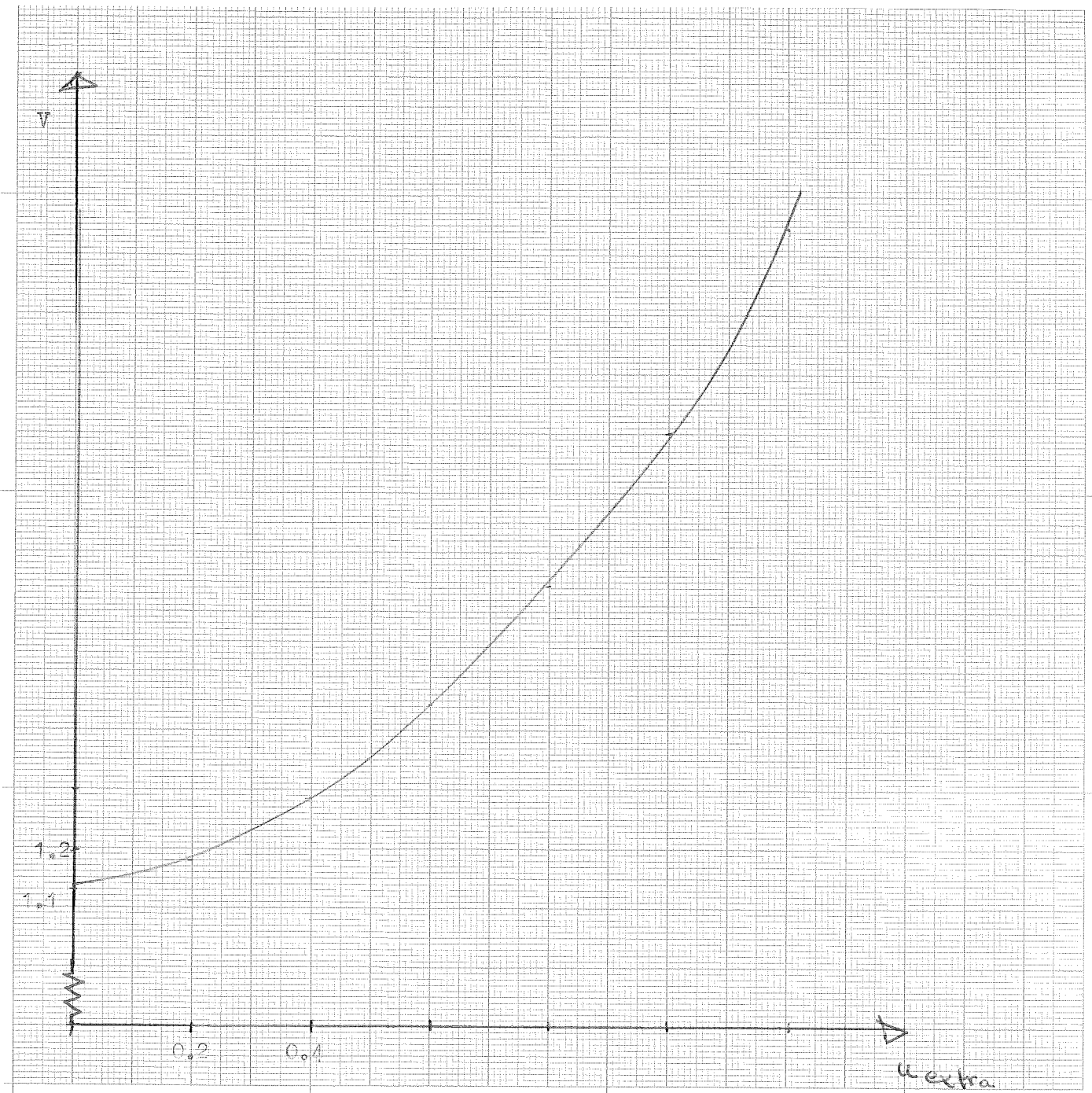
$$\lambda = 0.92$$

Förlusten som funktion av extra insignal i transient tillstånd för STURE.



$V=f(u_{\text{extra}})$ stationärt $a=0.9+0.09\sin 0.005t$ $b=1.0+0.9\sin 0.005t$ $c=0.0$ $\lambda=0.22$	40.
	Diagram 11
	System 15
	avd. 3.3.9

Förlusten som funktion av extra insignal i stationärt tillstånd för STURE.

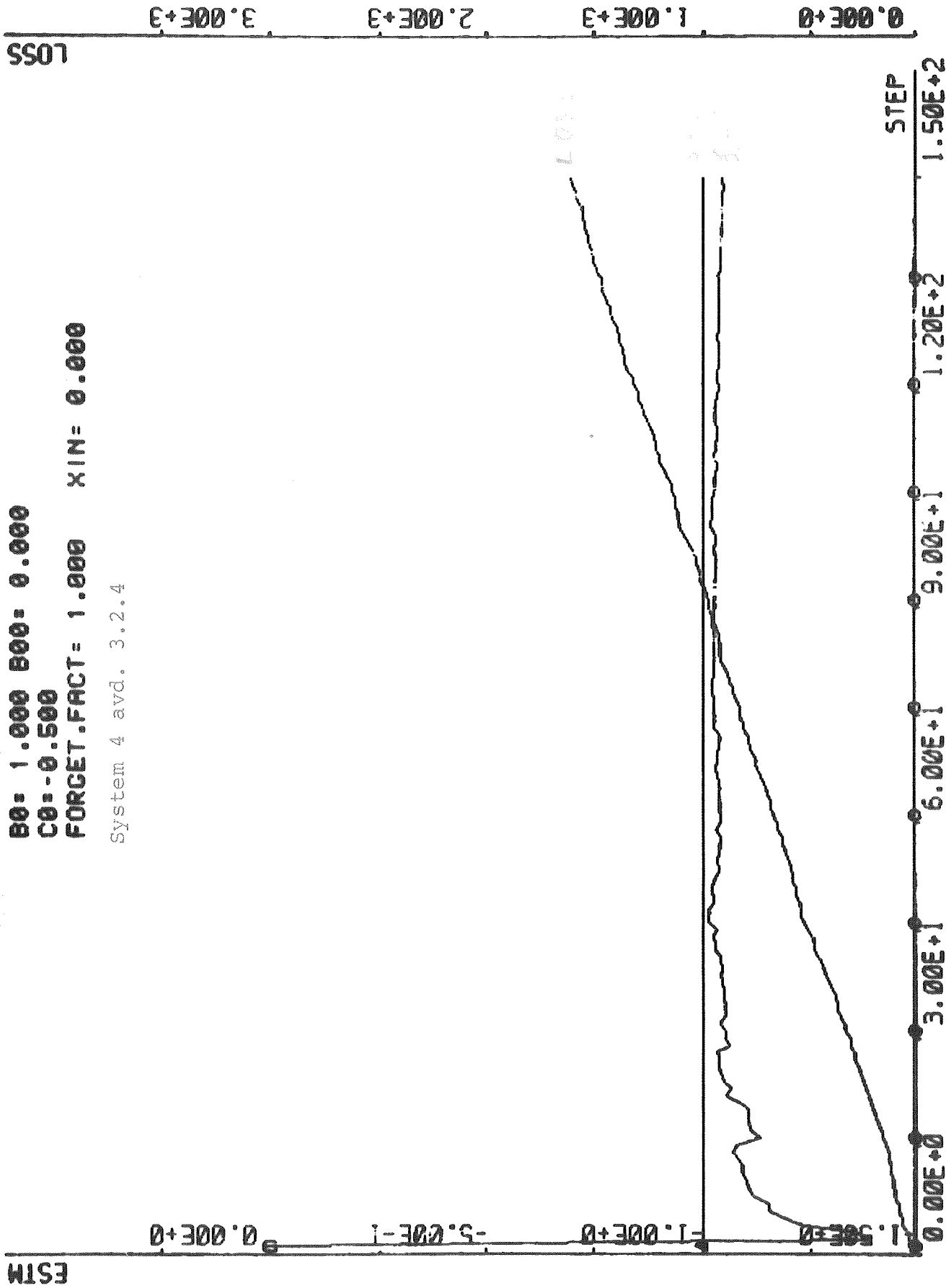


73 25 01 - 514 A4 - 1 x 1 mm

SIMULERING 1

STURE
 PARAM. A0: -1.500 A00: 0.000
 B0: 1.000 B00: 0.000
 C0: -0.500
 FORGET.FACT= 1.000 XIN= 0.000

System 4 avd. 3.2.4



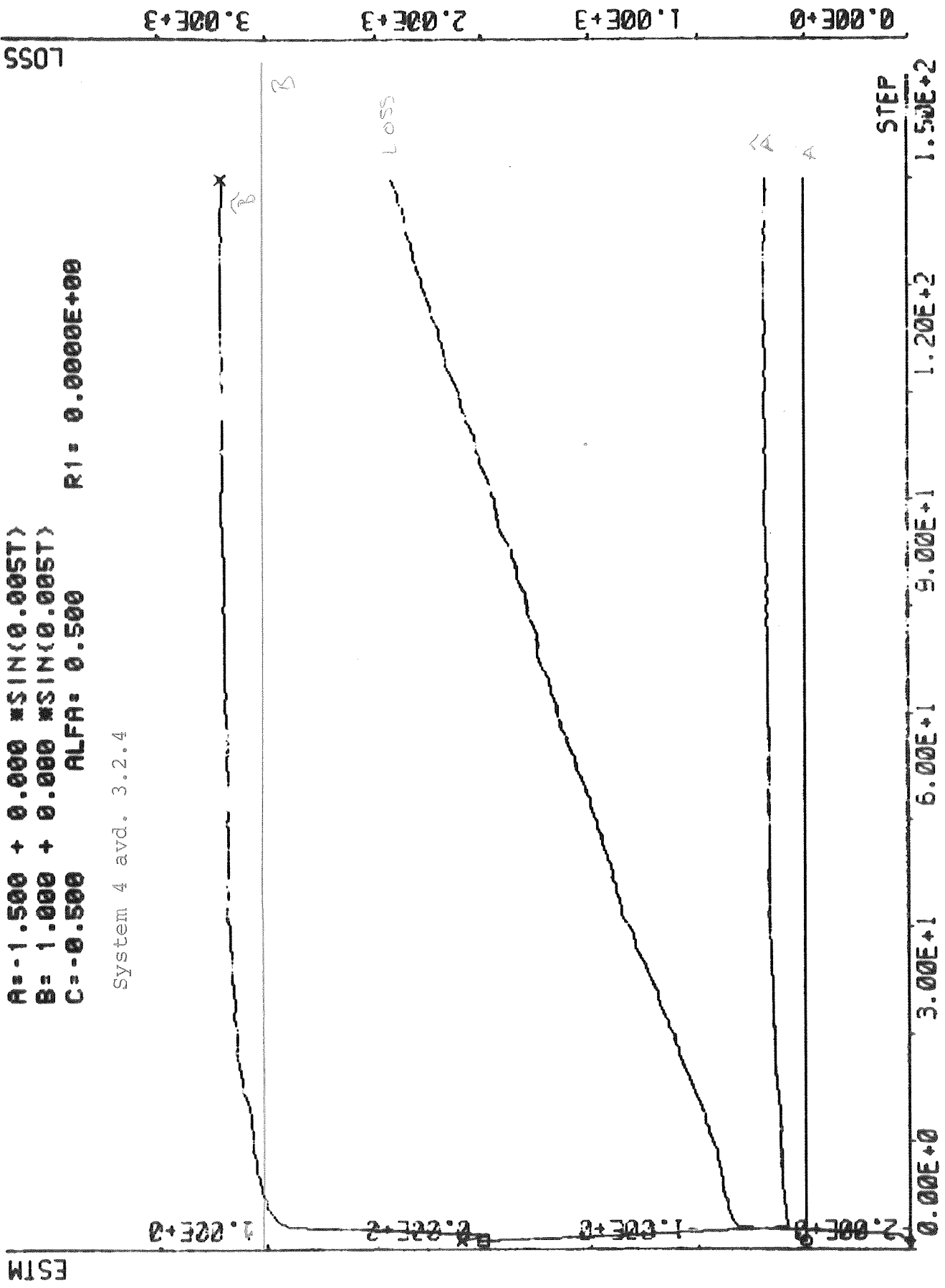
THE ACTIVE SUBOPTIMAL DUAL CONTROLLER

A = -1.500 + 0.000 * SIN(0.005T)

B = 1.000 + 0.000 * SIN(0.005T)

C = -0.500 ALFA = 0.500 R1 = 0.0000E+00

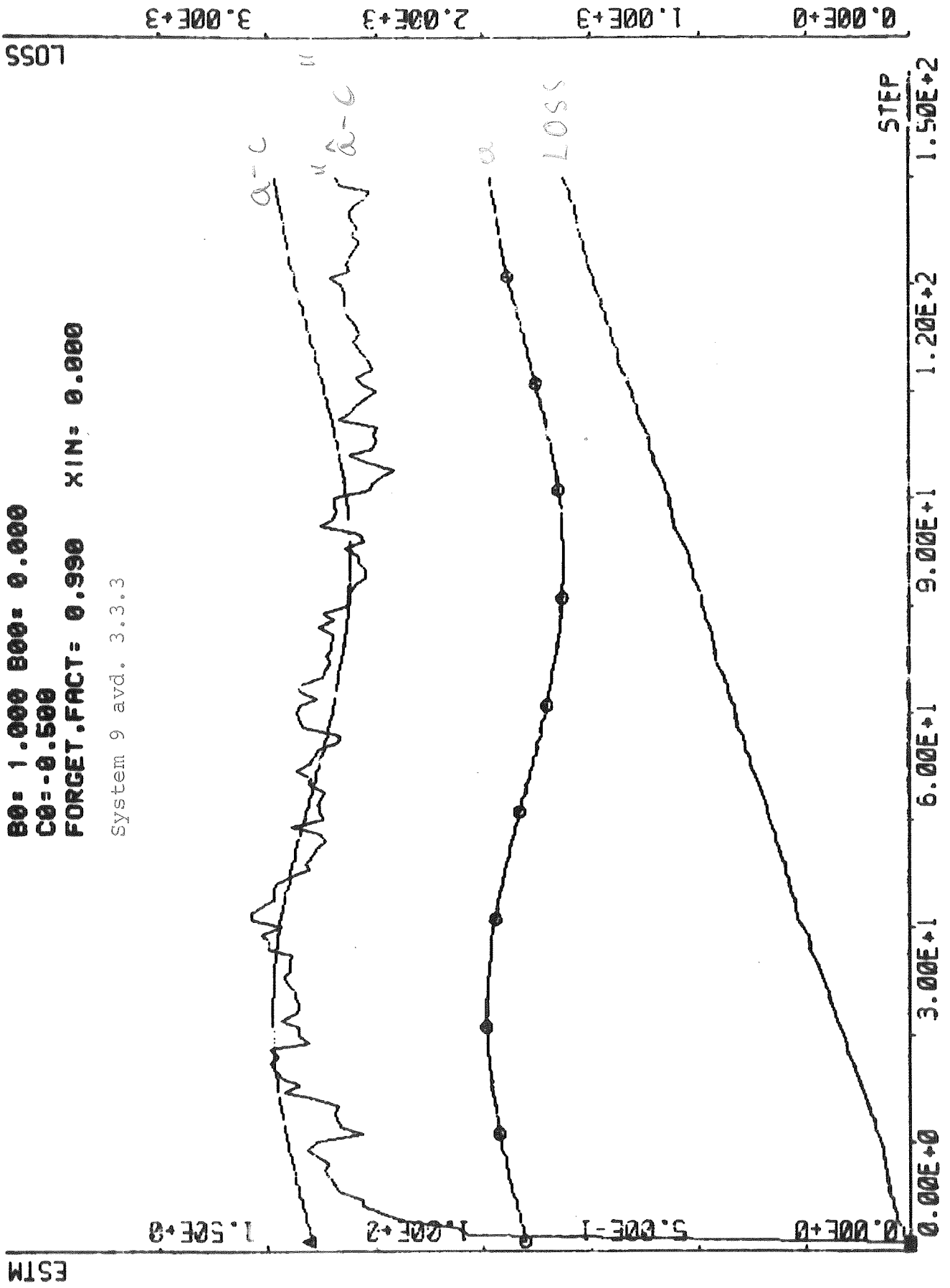
System 4 avd. 3.2.4



SIMULERING 3

STURE VARIABLE PARAM. A0= 0.900 A00= 0.090
B0= 1.000 B00= 0.000
C0=-0.500
FORGET.FACT= 0.990 XIN= 0.000

System 9 avd. 3.3.3



THE ACTIVE SUBOPTIMAL DUAL CONTROLLER

$$A = 0.900 + 0.090 \cdot \text{MSIN}(0.005T)$$

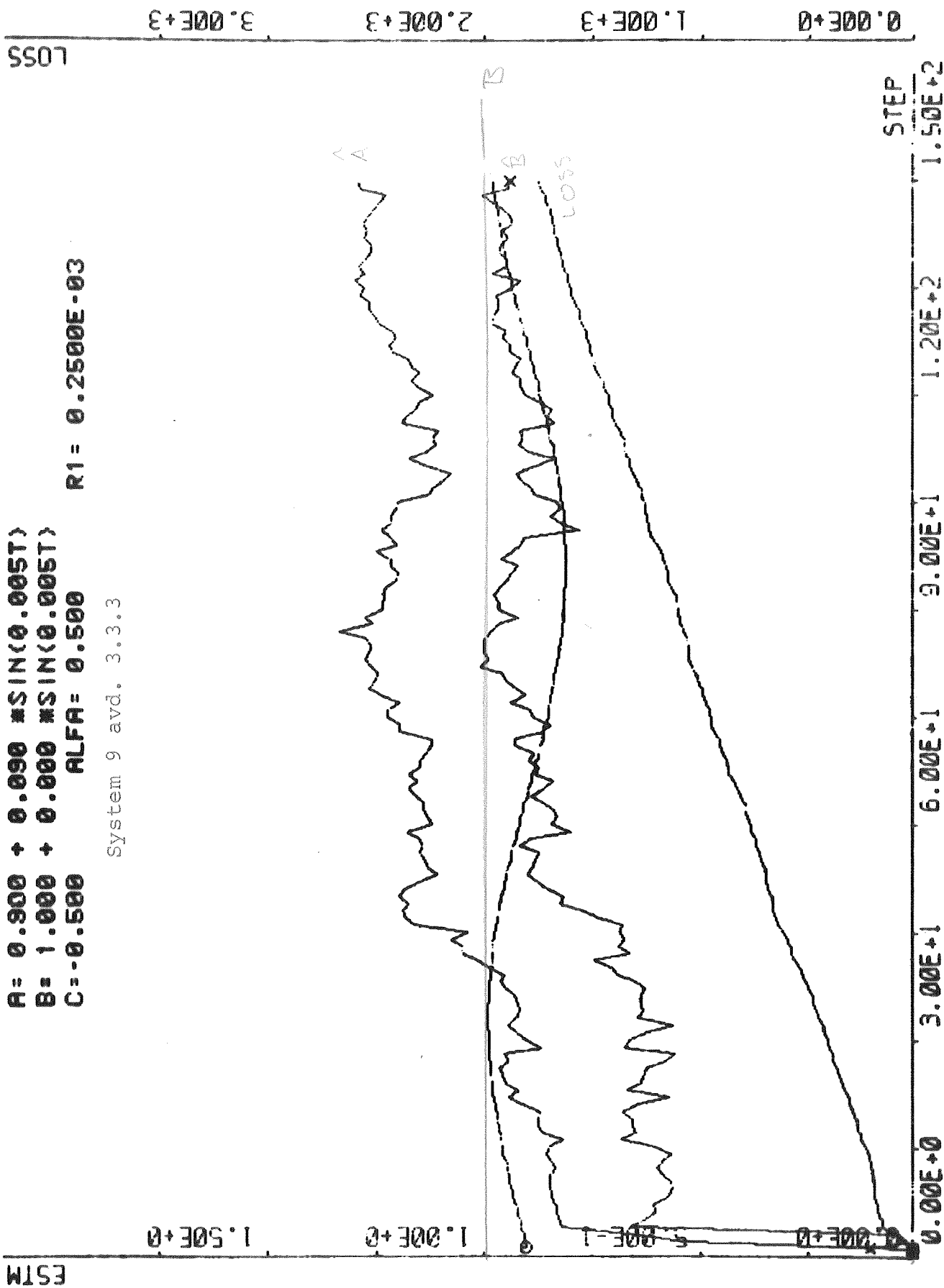
$$B = 1.000 + 0.000 \cdot \text{MSIN}(0.005T)$$

$$C = -0.500$$

$$\text{ALFA} = 0.500$$

$$R1 = 0.2500E-03$$

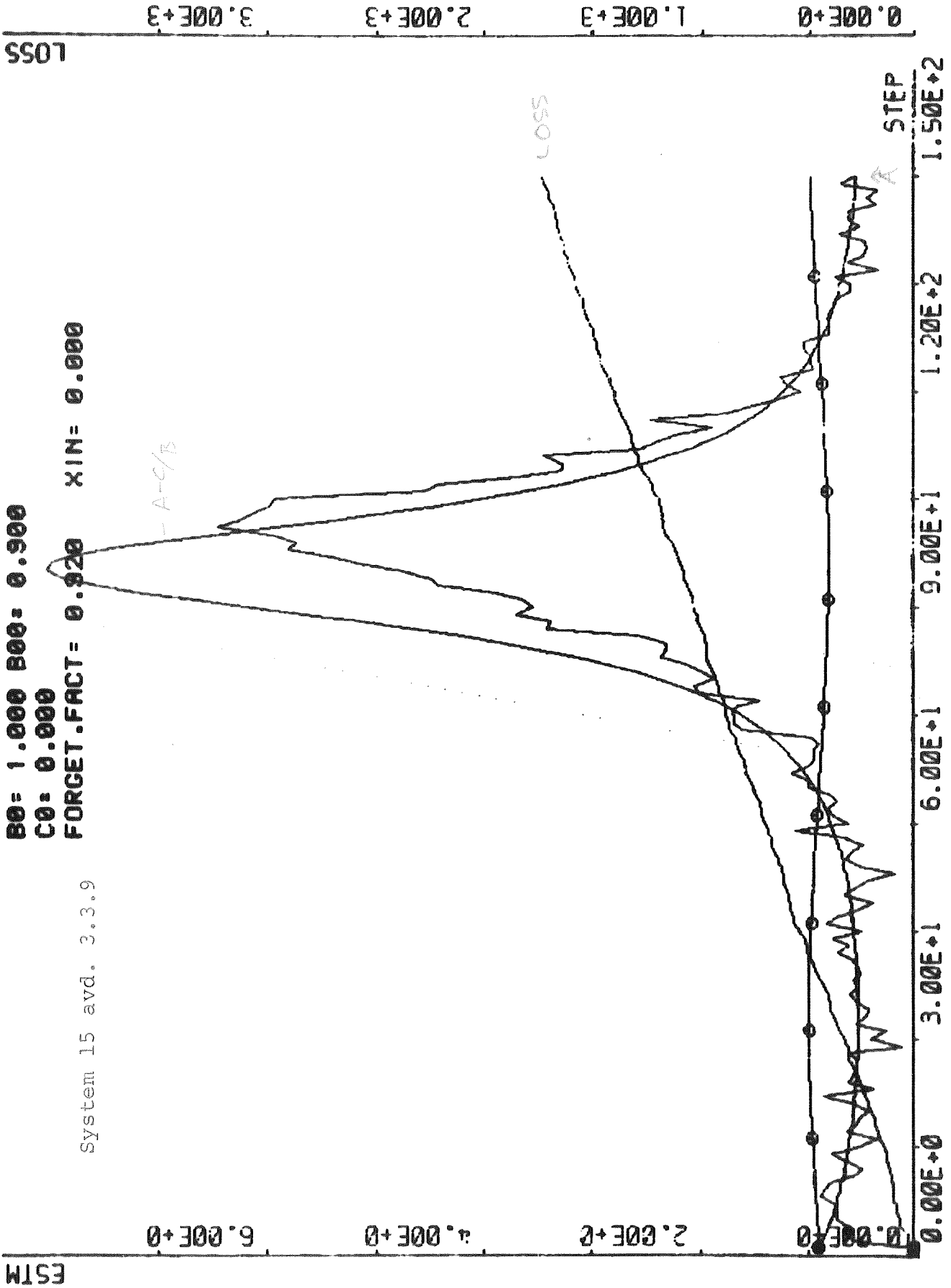
System 9 avd. 3.3.3



SIMULERING 5

STURE VARIABLE PARAM. A0= 0.900 A00= 0.090
B0= 1.000 B00= 0.900
C0= 0.000
FORGET.FACT= 0.920 XIN= 0.000

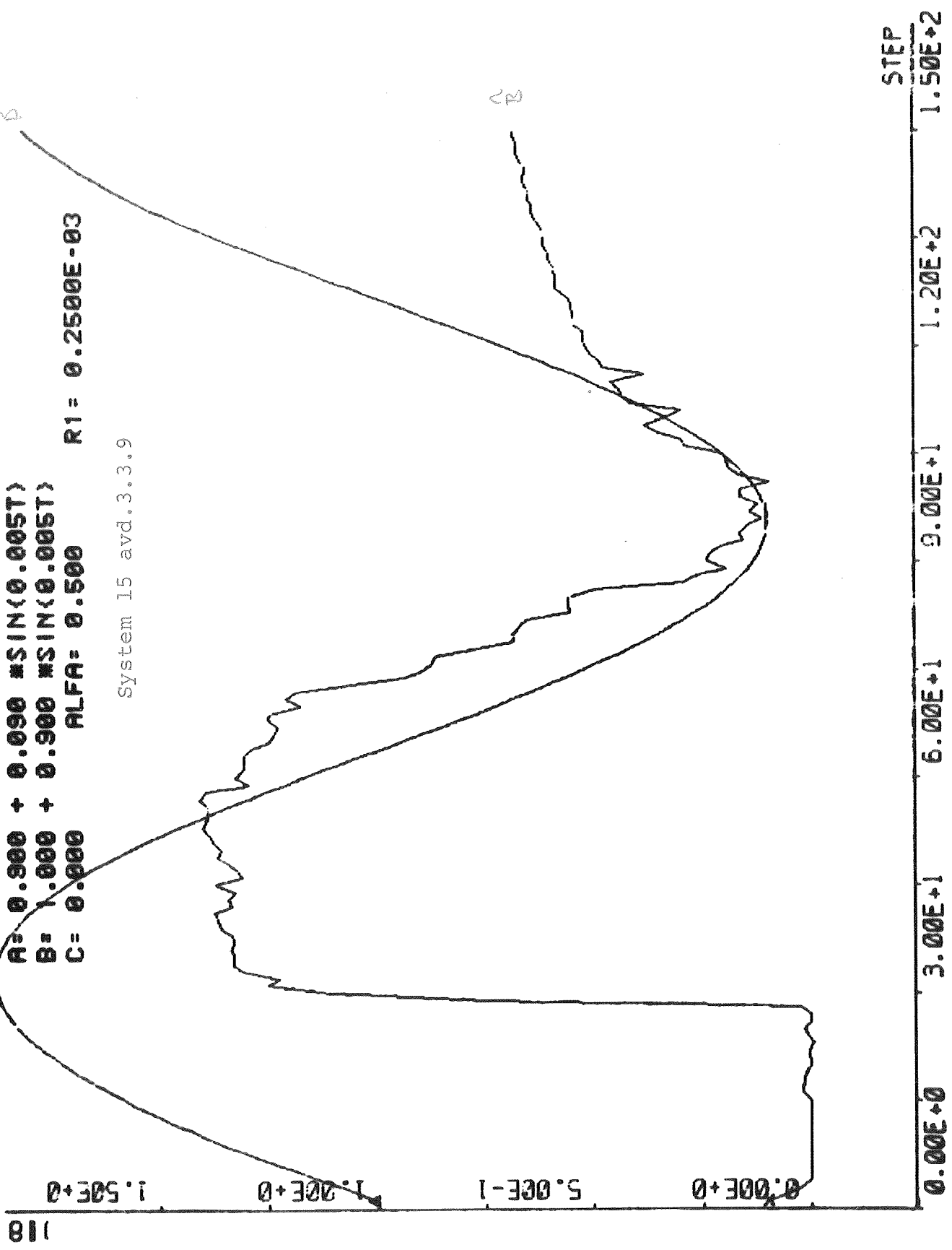
System 15 avd. 3.3.9



THE ACTIVE SUBOPTIMAL DUAL CONTROLLER

A= 0.900 + 0.090 *SIN(0.005T)
B= 1.000 + 0.900 *SIN(0.005T)
C= 0.000 ALFA= 0.500 R1= 0.2500E-03

System 15 avd.3.3.9



STEP
0.00E+0 3.00E+1 6.00E+1 9.00E+1 1.20E+2 1.50E+2

THE ACTIVE SUBOPTIMAL DUAL CONTROLLER

A = 0.900 + 0.090 * SIN(0.005T)

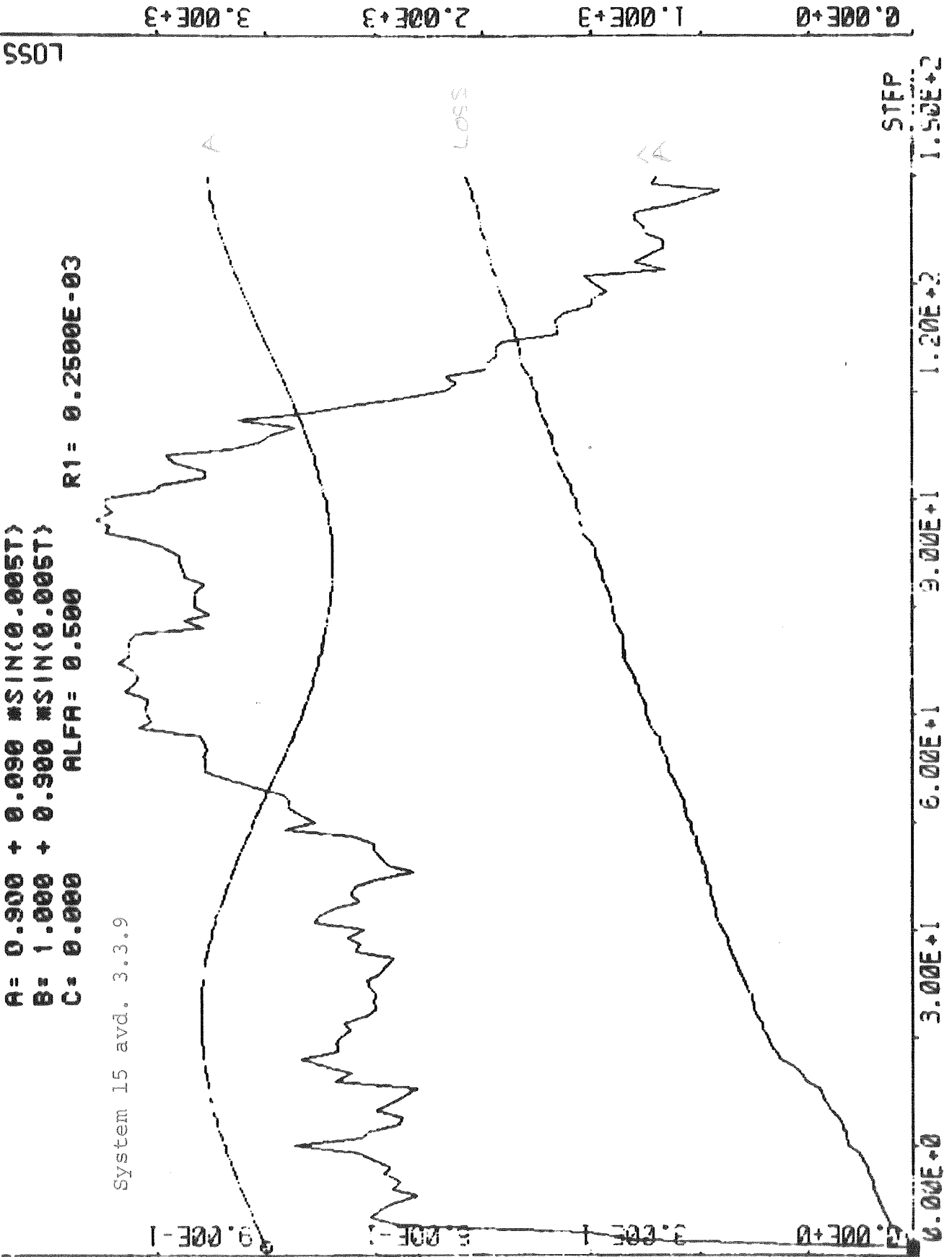
B = 1.000 + 0.900 * SIN(0.005T)

C = 0.000

ALFA = 0.500

R1 = 0.2500E-03

System 15 avd. 3.3.9

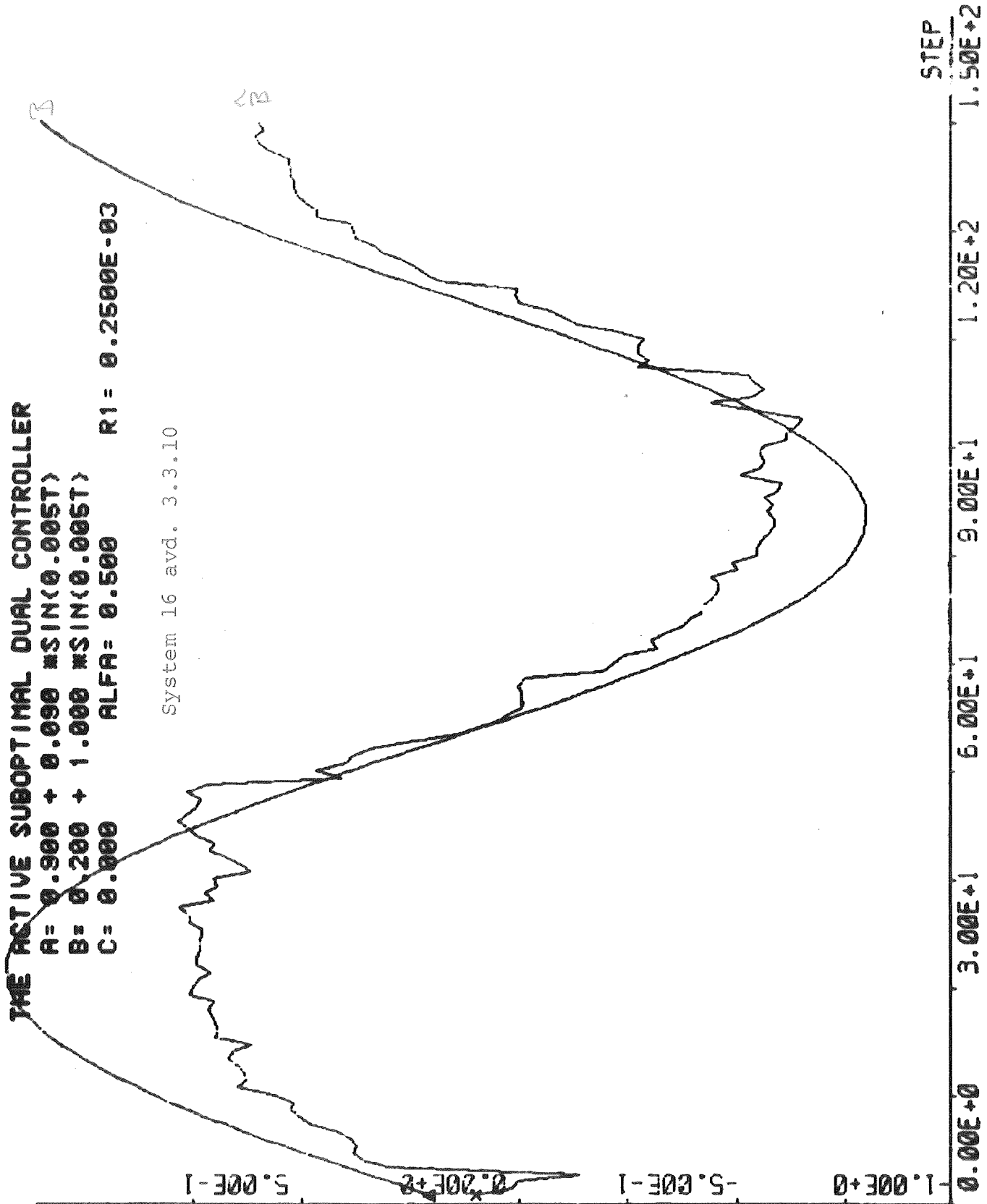


THE ACTIVE SUBOPTIMAL DUAL CONTROLLER

A = 0.900 + 0.090 * SIN(0.005T)
B = 0.200 + 1.000 * SIN(0.005T)
C = 0.000

ALFA = 0.500 R1 = 0.2500E-03

System 16 avd. 3.3.10



THE ACTIVE SUBOPTIMAL DUAL CONTROLLER

A = 0.900 + 0.090 * SIN(0.005T)

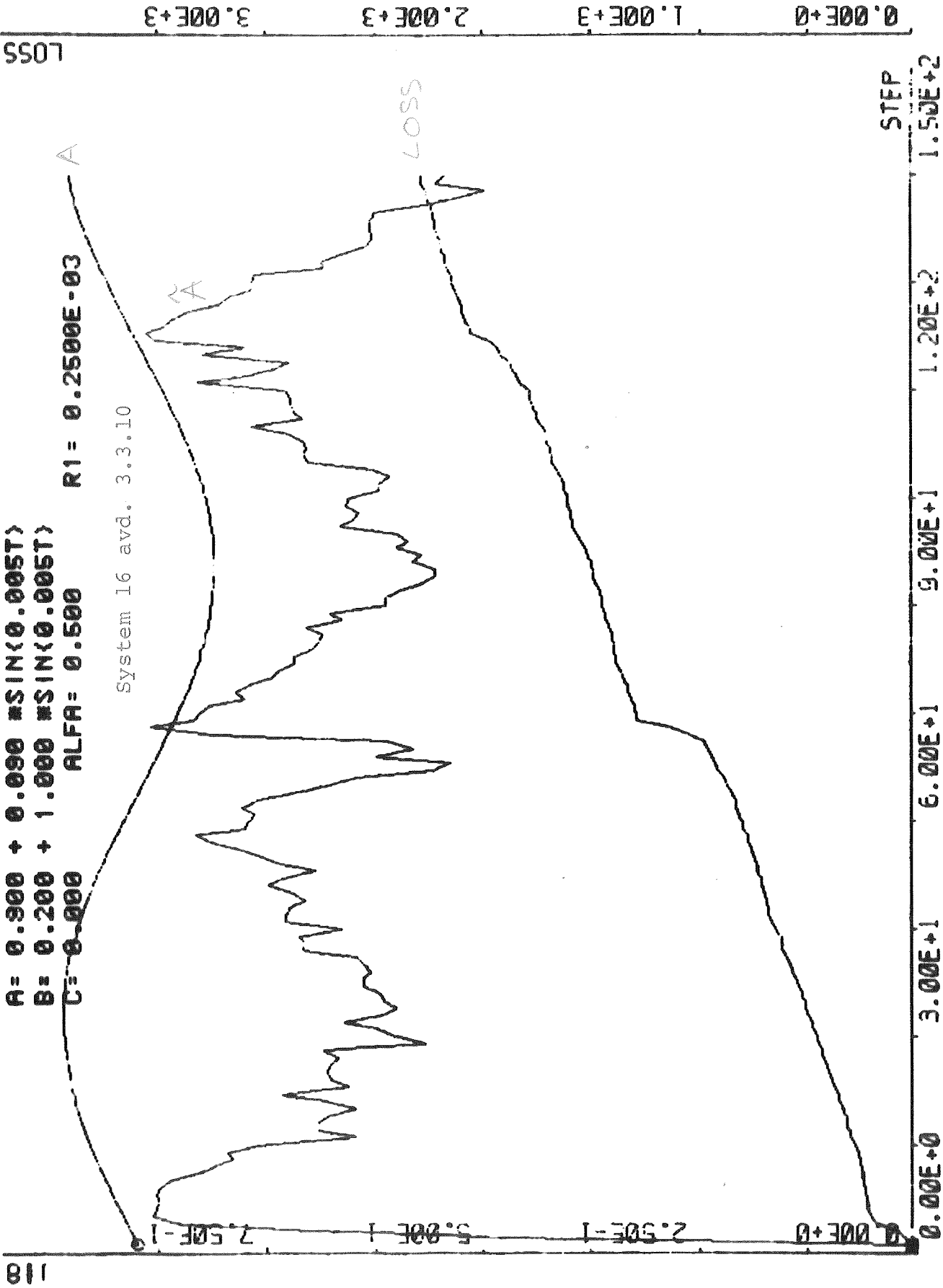
B = 0.200 + 1.000 * SIN(0.005T)

C = 0.000

ALFA = 0.500

R1 = 0.2500E-03

System 16 avd. 3.3.10



STEP

0.00E+0 3.00E+1 6.00E+1 9.00E+1 1.20E+2 1.50E+2

4 SLUTSATSER

Minimalvariansreglering med de verkliga a- och c-parametrarna ersatta av de skattade fungerar ej på system med en tidsfördröjning om man vill ha en glömskefaktor mindre än 1. Med glömskefaktorn lika med ett fungerar denna regulator ungefär som STURE.

Då systemets parametrar är konstanta visar STURE mycket goda egenskaper. Med tidsvariabla parametrar ger STURE ett gott uppträdande så länge som b-parametern ej växlar tecken. I det senare fallet blir STURE instabilt, vilket inte kan förhindras med en glömskefaktor.

En extra insignal försämrar STURE:s egenskaper även då man styr tidsvariabla system. Däremot kan insvängningsförloppet i vissa fall påskyndas med extra insignal. Detta kan emellertid oftast även uppnås med en glömskefaktor som är mindre än ett.

Den aktivt duala regulatorn är överlägsen STURE då b-parametern passerar noll, men visar överlag sämre transienta egenskaper än STURE. Jämfört med STURE, synes valet av R_1 vara mer kritiskt för den duala regulatorn än vad valet av glömskefaktor är för STURE.

I stationaritet är de båda regulatorerna i stort sett likvärdiga.

Den duala regulatorn tar dock mer tid i anspråk för beräkningarna än vad STURE gör.

5 REFERENSER

1. Åström K-J, Wittenmark B.: Problems of Identification and Control, Journal of Mathematical Analysis and Applications, Vol. 34, p 90-113.
2. Tse, E., Athans, M.: Adaptive Stochastic Control for a Class of Linear Systems, IEEE T-AC, 17, No. 1 Febr. 1972, p 38-51.
3. Wittenmark, B.: A Self-Tuning Regulator, Division of Automatic Control, Lund Institute of Technology, Report 7311, April 1973.
4. Wittenmark, B.: An active Suboptimal Regulator, To Appear in ACTA.
5. Åström, K-J : Reglerteknik Stokastiska System TLTH/VBV 1971.