IDENTIFIERING AV ÅTERKOPPLADE SYSTEM

FOLKE ELVGREN
LARS KRANTZ

RE-142 augusti 1974
Inst.för Reglerteknik
Lunds Tekniska Högskola

IDENTIFIERING AV ÅTERKOPPLADE SYSTEM

Examensarbete vid Institutionen för
Reglerteknik, Lunds Tekniska Högskola, VT 1974

Folke Elvgren
Lars Krantz

Handledare:
I.Gustavsson
L.Ljung
T.Söderström

ABSTRACT

The achievable accuracy of models derived by identification depends on a number of factors, e.g. the conditions during the experiments.
The accuracy is studied by simulation for a number of different experiments: open loop experiments with different types of input signals and closed loop experiments with different types of regulators.
For this purpose a special simulation program has been written.

SAMMANFATTNING

Den modellnoggrannhet som kan uppnås med identifiering beror bl.a. på under vilka betingelser de experimentella data tagits fram. Genom simuleringar studeras noggrannheten för ett antal olika experimentbetingelser. Experiment med återkopplade system med olika typer av regulatorer och open loop experiment med olika typer av insignaler jämföres.
För detta ändamål har ett speciellt datasimuleringsprogram framtagits.

INNEHÅLLSFÖRTECKNING

1. Inledning

Ett vanligt förekommande problem inom reglertekniken är att identifiera ett system. (Se Fig. 1.1)
Det innebär att man försöker bestämma en matematisk modell för systemet med hjälp av mätningar **av** ut- och insignaler. Man använder då ofta tidsdiskreta modeller.

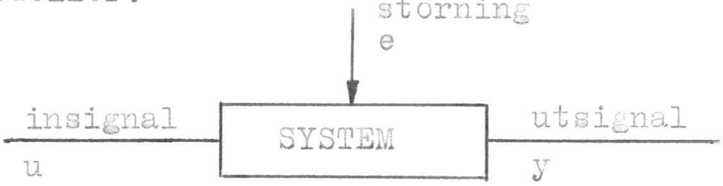


Fig. 1.1 System i open loop.
e är yttre störningar.

Ofta måste identifieringen ske då systemet är återkopplat. (Se Fig.1.2).

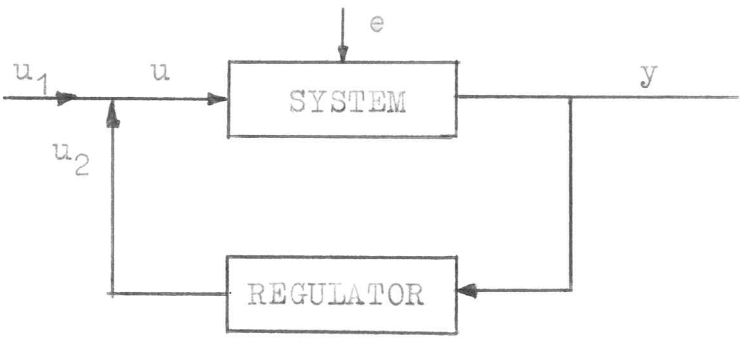


Fig. 1.2 Återkopplat system (closed loop).
e är yttre störningar.

Anledningen till det kan vara:
Systemet är instabilt utan regulator.
Systemet är en process som av ekonomiska och/eller tekniska skäl inte kan användas i open loop-experiment.
Systemet är oupplösligt förbundet med återkopplingen.

Återkopplingen kan vara alltifrån helt känd till helt obestämd. I vissa fall kan man för att underlätta identifieringen påverka återkopplingen inom vissa gränser och/eller införa en yttre insignal, u_1.

I denna skrift presenteras ett FORTRAN-program, skrivet för en processdator PDP-15, som genererar in- och utsignaler till ett tidsdiskret återkopplat system som störs av N(0,1)-fördelat vitt brus. Programmet ger möjlighet att välja bland flera typer av återkopplingar och yttre insignaler.

Ovan nämnda program utnyttjas tillsammans med ett identifieringsprogram IDPAC (Se 3.2) för att genom simulering undersöka hur återkopplingar och eventuella yttre insignaler påverkar identifierbarheten och noggrannheten för ett första och ett andra ordningens tidsdiskret system. Dessutom undersöks systemen i open loop.

De mått på noggrannheten som används är determinanten av informationsmatrisen och skattningarna på osäkerheterna i de skattade parametrarna. (Se vidare 4.2).

Resultaten jämförs med befintlig teori.

2. Befintlig teori.

För utförligare behandling av nedanstående problem hänvisas till Gustavsson-Ljung-Söderström (1974). (förkortat G-L-S).

2.1 Översikt

Många processer som man önskar bestämma genom identifieringsexperiment, arbetar normalt i ett slutet reglersystem.

Ofta är det omöjligt eller i alla fall icke önskvärt med identifiering i open loop (utan regulator), beroende på att öppna systemet är instabilt, reglerloopar som inte kan brytas upp (ekonomiska och biologiska system är ofta sådana) eller att detta inte kan tillåtas av säkerhets- eller produktionsskäl.

Frågan om när det är möjligt att identifiera under closed loop och hur man skall bära sig åt kommer att behandlas. De resultat som presenteras gäller asymptotiskt (oändligt långa experiment). I praktiken är man inte bara intresserad av om ett system är identifierbart utan även av med vilken noggrannhet detta kan göras.

2.2 Konfiguration

Följande slutna system kommer att användas i analysen.

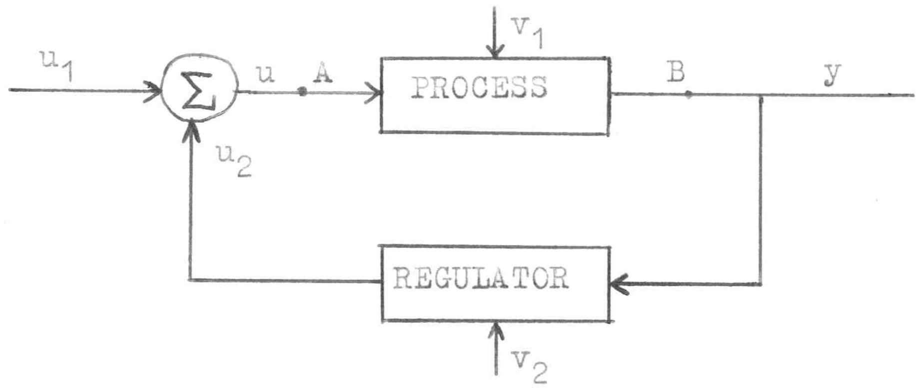


Fig. 2.2.1 u är insignal till processen (mätbar)
y " utsignal "
u_1 är extra insignal (mätbar)
u_2 är återkopplade signalen
v_1, v_2 är störningar (ej mätbara)

I alla av oss använda tillämpningar är $v_2=0$, men är ändå med i analysen fullständighetens skull.

Det är bekvämt att skilja på några olika fall

1. $u_2=0$ vilket är samma sak som open loop.

2. $u_1 \neq 0$ och/eller $v_2 \neq 0$ dvs yttre insignal eller en störkälla i regulatorn.

3. $u_1=0$, $v_2=0$
   a) olinjär regulator.
   b) tidsvariabel regulator.
   c) linjär, tidsinvariant regulator.

Identifieringsproblem uppkommer speciellt i fall 3, då regulatorn är linjär och tidsinvariant.

2.3 Modeller

Linjära, multivariabla, tidsinvarianta, samplade (tidsdiskreta) system med regulator kommer att betraktas. Vektordifferensekvationer kommer att användas. Systemet S ser ut enligt följande

$$A_S(q^{-1})y(t) = B_S(q^{-1})u(t) + C_S(q^{-1})e(t) \ . \ ^{\otimes}$$

Identifieringsproblemet är att bestämma de okända elementen i A, B, C. För att göra detta, samlas dessa element i en parametervektor θ. Modellen av systemet blir då

$$A_M(q^{-1},\theta)y(t) = B_M(q^{-1},\theta)u(t) + C_M(q^{-1},\theta)\varepsilon(t)$$

Modellen betecknas $M(\theta)$. Parametervektorn θ skall sedan väljas så att $M(\theta)$ i någon mening beskriver systemet S.

Man kan räkna ut prediktionen av $y(t+1)$ baserad på $y(t), u(t), y(t-1), \ldots\ldots$. Denna betecknas med $\hat{y}(t+1|t{:}S)$. Optimala prediktionsfelet fås då till

$$y(t+1) - \hat{y}(t+1|t{:}S) = e(t+1)$$

Analogt blir prediktionsfelet för modellen

$$y(t+1) - \hat{y}(t+1|t{:}M(\theta)) = \varepsilon(t+1,M(\theta))$$

$\otimes$, q^{-1} är skiftoperatorn. Ex. $q^{-1}y(t)=y(t-1)$.

2.4 Identifieringsteknik

Många olika identifieringsmetoder existerar, en överblick ges i Åström and Eykhoff (1971).

De metoder som har använts är minsta kvadratmetoden (MK) och maximum likelihood metoden (ML), som båda är av typen minimering av någon funktion av prediktionsfelet. **MK fås då $C_M=1$.**
Man använder ML och MK metoderna rättfram på samma sätt som för öppet system. Dvs insignal-utsignaldata samlas in och bearbetas utan att återkopplingen beaktas på något sätt.

För ML gäller att

$V_N(\theta;S,M) = \det Q_N(\theta;S,M)$ där

$$Q_N(\theta;S,M) = \frac{1}{N}\sum_{t=0}^{N-1} \varepsilon(t+1,M(\theta))\varepsilon^T(t+1,M(\theta)) =$$

$$= \frac{1}{N}\sum_{t=0}^{N-1} \left(y(t+1) - y(t+1|t;M(\theta)) \right)\left(y(t+1) - y(t+1|t;M(\theta)) \right)^T$$

minimeras över modellerna M och ger estimatet θ_N och modellen $M(\theta_N)$.
Kovariansmatrisen estimeras som $\hat{\Lambda} = Q_N(\theta_N;S,M)$.
Man kan visa att ML ger korrekt resultat för återkopplade system om någon annan metod gör det. Detsamma gäller för MK om $C_S=1$.

2.5 När är identifiering av återkopplade system möjlig?

En av förutsättningarna för att identifiering av ett system i open loop skall vara möjlig är att insignalen är "persistently exciting", (X) vilket innebär att insignalen måste vara tillräckligt komplex för att excitera systemets alla moder. Man kan visa , se G-L-S, att något ~~motsvarande~~ gäller för identifiering i closed loop.

(X), Se Åström and Bohlin (1965). Signalen $u(t)$ säges vara persistently exciting av ordning n om $\lim_{N\to\infty} \frac{1}{N}\sum_{t=1}^{N} u(t)u^T(t+k) = R(k)$ existerar, $0\leq k\leq n$, där $R(k)$ är en $n_u | n_u$ matris, och Toeplitz block matrisen R av dimensionen $n | n_u$ genererad av $R(k)$ är positivt definit.

Man kan identifiera dynamiken hos en process från mätningar i punkterna A och B (se Fig. 2.2.1) i följande fall.

1) Man använder en extra insignal u_1, (som är persistently exciting) som kan väljas av den som utför experimentet.

2) Regulatorn är olinjär. Detta kan antingen vara [illegible] fallet (t.ex. mättning) eller **kan** man under experimentet ersätter regulatorn med en olinjär sådan.

3) Regulatorn är tidsvariabel. Ett enkelt sätt är att skifta mellan olika konstanta, linjära regulatorer. Dessa kan vara enkla t.ex. P-regulatorer. Nödvändigt antal regulatorer är endast beroende på antalet in- och utsignalerenligt $\nu = 1 + n_u/n_y$, där n_u= antalet insignaler och n_y= antalet utsignaler. För system med lika många in- som utsignaler behövs alltså bara två regulatorer.

4) Regulatorn är linjär och tidsinvariant men av tillräckligt hög ordning. (Se 2.6 för single input-single output fallet).

5) Extra icke-degenererat brus adderas till i regulatorn. Dvs $v_2 \neq 0$ och oberoende av v_1 och u(t) i Fig. 2.2.1.

2.6 Nödvändiga och tillräckliga villkor för identifierbarhet för single input-single output system med linjär, tidsinvariant återkoppling.

För utförligare behandling se G-L-S.

Systemet S antages givet enligt

$$A(q^{-1})y(t) = q^{-k}B(q^{-1})u(t) + C(q^{-1})e(t)$$

där

$$A(z^{-1}) = 1 + a_1 z^{-1} + \dots\dots + a_{n_a} z^{-n_a} \qquad a_{n_a} \neq 0$$

$$B(z^{-1}) = \qquad b_1 z^{-1} + \dots\dots + b_{nb} z^{-n_b} \qquad b_{n_b} \neq 0 \text{ }, b_1 \neq 0$$

$$C(z^{-1}) = 1 + c_1 z^{-1} + \ldots\ldots + c_{n_c} z^{-n_c} \qquad c_{n_c} \neq 0$$

$k \geq 0 \quad n_a \geq 0 \quad n_b \geq 1 \quad n_c \geq 0$

Polynomen A, B och C har ingen gemensam faktor.

Återkopplingen ges av

$$F(q^{-1})u(t) = G(q^{-1})y(t)$$

där

$$F(z^{-1}) = 1 + f_1 z^{-1} + \ldots\ldots + f_{n_f} z^{-n_f} \qquad f_{n_f} \neq 0$$

$$G(z^{-1}) = g_0 + g_1 z^{-1} + \ldots\ldots + g_{n_g} z^{-n_g} \qquad g_{n_g} \neq 0$$

Några av de första koefficienterna i G får vara noll, men F och G får ej ha gemensamma faktorer.

För modellen M gäller motsvarande system med $\hat{k}$, $\hat{n}_a$, $\hat{n}_b$, $\hat{n}_c$ istället för k, n_a, n_b, n_c (ovan).

$$\hat{A}(q^{-1})y(t) = q^{-\hat{k}}\hat{B}(q^{-1})u(t) + \hat{C}(q^{-1})\varepsilon(t)$$

$\hat{k} \geq 0$, $\hat{n}_a \geq 0$, $\hat{n}_b \geq 1$, $\hat{n}_c \geq 0$

Nödvändigt är att $\hat{k} \leq k$ och att $n^* = \min(\hat{n}_a - n_a, \hat{n}_b + \hat{k} - n_b - k, \hat{n}_c - n_c) \geq 0$ (2.6.1).

för att det överhuvudtaget skall gå.

Man kan lösa ut y(t) som funktion av e(t) enligt följande

$$y(t) = \frac{CF}{AF - q^{-k}BG}\, e(t) \ .$$

Polynomet $AF - z^{-k}BG$ behöver inte vara av grad $\max(n_a + n_f, k + n_b + n_g)$, ty några av de sista koefficienterna kan vara noll. Antag att det sanna gradtalet är $\max(n_a + n_f, k + n_b + n_g) - r$. Antag vidare att $AF - z^{-k}BG$ och CF har exakt n_p gemensamma faktorer.

Teorem 9.1 i G-L-S ger nu villkor **för identifierbarhet.**

Systemet S, modellen M och återkopplingen är givna enligt tidigare. Vidare gäller (2.6.1). Låt identifieringsmetoden vara ML.

i) Om villkoret $\max(n_f-n_b,\ n_g+k-n_a) - n_p \geq 0$ icke är uppfyllt, så finns det ingen modellstruktur M sådan att systemet är identifierbart. Om det är uppfyllt finns det åtminstone en modell så att systemet är identifierbart. En sådan modell är $\hat{n}_a=n_a$ $\hat{n}_b=n_b$ $\hat{n}_c=n_c$ $\hat{k}=k$.

ii) Ett nödvändigt och tillräckligt villkor för systemidentifierbarhet SI, dvs den estimerade modellen och systemet har samma in-utsignal-samband och samma bruskarakteristik, är

$$[\hat{n}_a+\hat{n}_b+\hat{n}_c] - \max[n_f+\max(\hat{n}_a+n_c, n_a+\hat{n}_c-r),\ n_g+$$
$$+\max(\hat{k}+\hat{n}_b+n_c, k+n_b+\hat{n}_c-r)] + n_p \leq \min[\hat{n}_a-n_a,$$
$$\hat{n}_b+\hat{k}-n_b-k, \hat{n}_c-n_c].$$

iii) Ett nödvändigt och tillräckligt villkor för parameteridentifierbarhet PI, dvs parametrarna kan konsistent estimeras, är

$$[\hat{n}_a+\hat{n}_b+\hat{n}_c] - \max[n_f+\max(\hat{n}_a+n_c, n_a+\hat{n}_c-r),\ n_g+$$
$$\max(\hat{k}+\hat{n}_b+n_c, k+n_b+\hat{n}_c-r)] \leq 0$$

$$\min(\hat{n}_a-n_a, \hat{n}_b+\hat{k}-n_b-k, \hat{n}_c-n_c) = 0$$

Som tidigare nämnts finns bevis och utförligare behandling i Gustavsson-Ljung-Söderström (1974).

3. Använda datorprogram.

I avsnitt 3.1 redogöres för det program som producerar in och utsignaler för ett återkopplat system. I avsnitt 3.2 beskrives det identifieringsprogram som användes för att bestämma det öppna systemet ur dessa in och ut-signaler.

3.1 Simuleringsprogram

Man önskar generera insignal u och utsignal y för ett tidsdiskret, från utsignalen återkopplat system S med brus e och eventuellt yttre insignal u_1. För detta ändamål har ett FORTRAN-program GENA skrivits. I detta avsnitt redogöres för vilka möjligheter GENA ger att välja system S, brus, återkoppling och yttre insignal. En beskrivning av programmets struktur, en listning av GENA med tillhörande subroutiner samt ett exempel på en körning med GENA med tillhörande radskrivarutskrift finns i APPENDIX.

Det öppna systemet S.

S:s utseende framgår av fig 3.1.1. Att identifiera S är ekvivalent med att bestämma parametrarna i polynomen A, B och C och talet k.

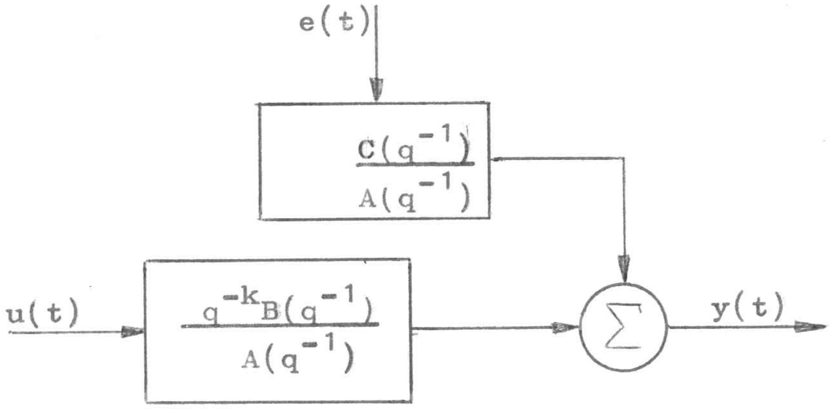


fig 3.1.1. Systemet S. e(t) är N(0,1) vitt brus.

$$A(q^{-1})=a_0+a_1q^{-1}+a_2q^{-2}+\ldots+a_{na}q^{-na} \qquad na\leq 9$$

$$B(q^{-1})=b_0+b_1q^{-1}+b_2q^{-2}+\ldots+b_{nb}q^{-nb} \qquad nb\leq 9$$

$$C(q^{-1})=c_0+c_1q^{-1}+c_2q^{-2}+\ldots+c_{nc}q^{-nc} \qquad nc\leq 9$$

Talet k är ett heltal ≥ 0.

Om samplingsintervallet förutsätts = 1 blir

$$a_0y(t)=-a_1y(t-1)-a_2y(t-2)-\ldots-a_{na}y(t-na)+$$
$$+b_0u(t-k)+b_1u(t-1-k)+\ldots+b_{nb}u(t-nb-k)+$$
$$+c_0e(t)+c_1e(t-1)+\ldots+c_{nc}e(t-nc)$$

Linjär, eventuellt tidsvariabel återkoppling utan yttre insignal.

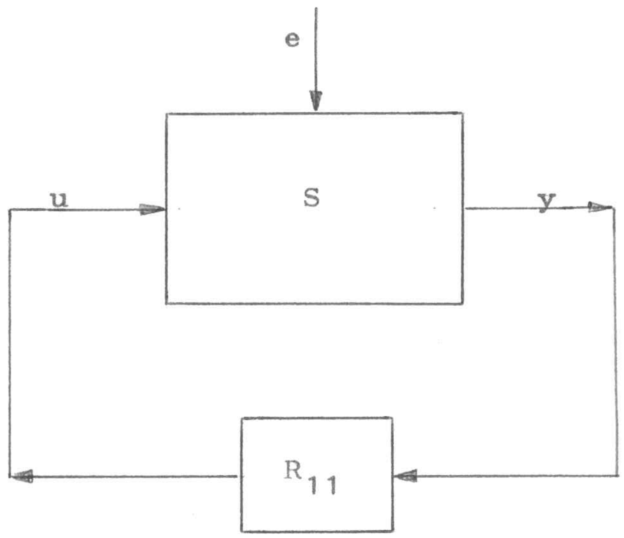


Fig 3.1.2. Blockschema över återkopplat system. Regulatorn R_{11} är linjär och konstant eller styckvis konstant.

Regulatorn R_{11} beskrives av polynomen F och G.

$$F(q^{-1})=f_0+f_1q^{-1}+...+f_{nf}q^{-nf} \qquad nf \leqslant 9$$

$$G(q^{-1})=g_0+g_1q^{-1}+...+g_{ng}q^{-ng} \qquad ng \leqslant 9$$

Om samplingsintervallet förutsätts = 1 blir då

$$f_0u(t)=-f_1u(t-1)-f_2u(t-2)-...-f_{nf}u(t-nf)+$$

$$+g_0y(t)+g_1y(t-1)+...+g_{ng}y(t-ng)$$

Om så önskas kan en eller två av koefficienterna i ovanstående polynom varieras enligt fig 3.1.3 eller fig 3.1.4. Om två koefficienter varieras så måste de varieras samtidigt.

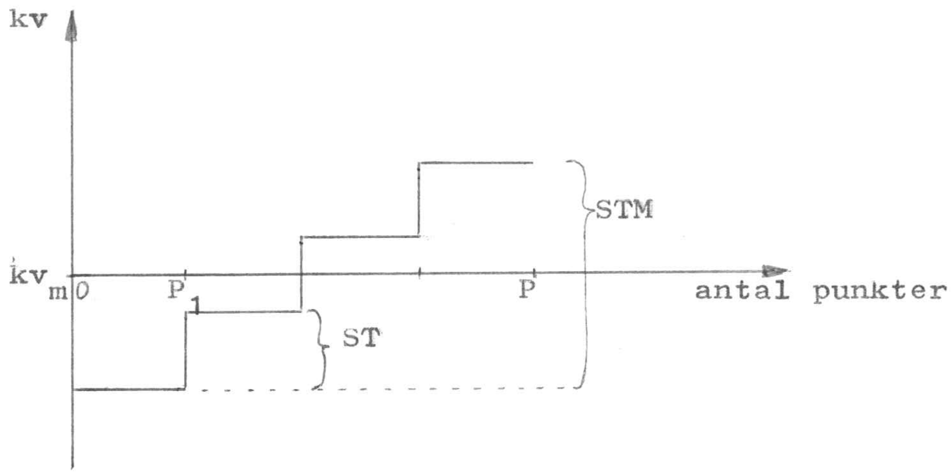


Fig 3.1.3

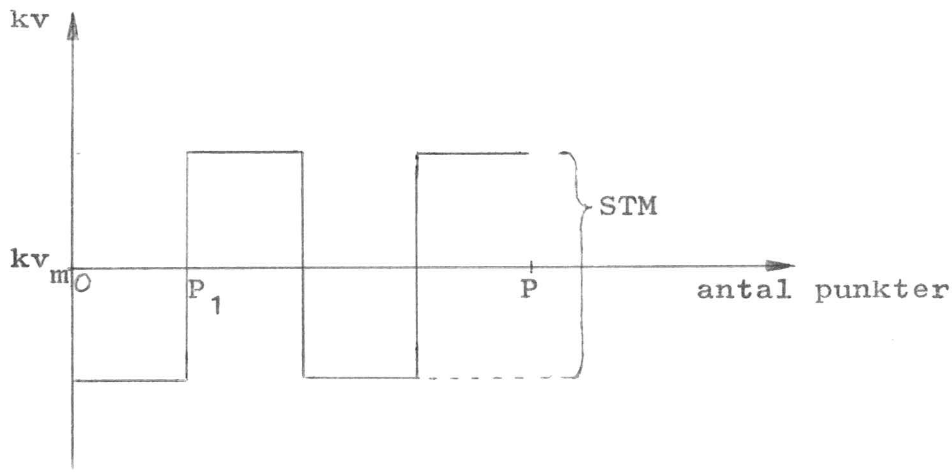


Fig 3.1.4

Förklarande text till fig 3.1.3 och fig 3.1.4.

P är totala antalet samplingspunkter under en realisering.
P/P_1 är ett valfritt heltal ≥ 1.
($P/P_1 = 1 \Rightarrow$ konstant regulator.)
kv är värdet på någon av koefficienterna i F eller G-polynomet. kv_m är ett valfritt "mittvärde".
STM är skillnaden mellen största och minsta koefficientvärdet under en realisering.

ST i fig 3.1.3 är $\frac{STM}{P/P_1 - 1}$. ($P/P_1 \geq 2$)

Linjär, eventuellt tidsvariabel återkoppling med yttre insignal.

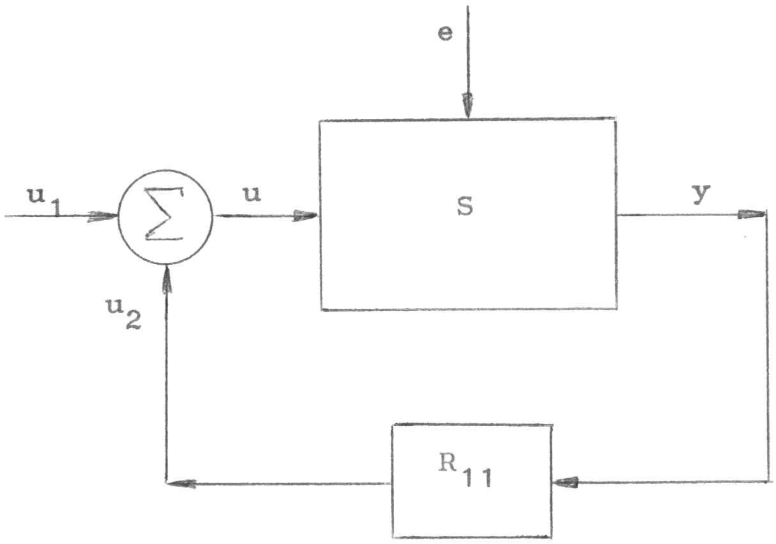


Fig 3.1.5. Blocschema över återkopplat system med yttre insignal. Regulatorn R_{11} är linjär och konstant eller styckvis konstant.

Regulatorn R_{11} är identisk med R_{11} i fig 3.1.2. Den yttre insignalen u_1 är valfri. Den kan skalas med en valfri amplitudfaktor.

Olinjär, konstant regulator utan yttre insignal.

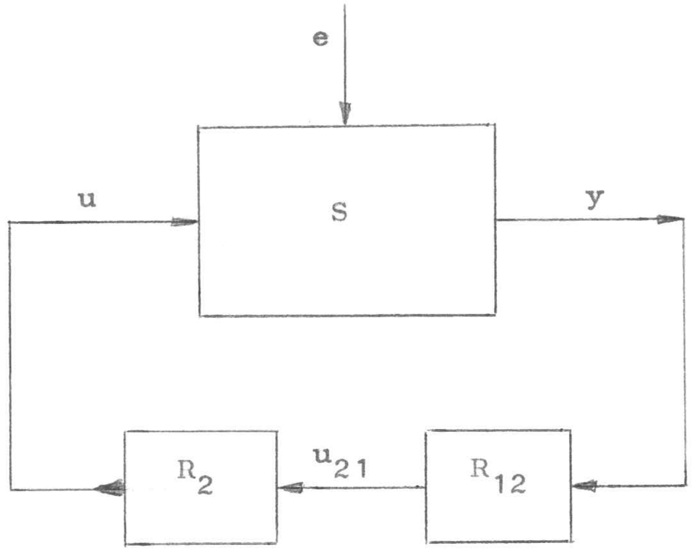


Fig 3.1.6. Blockschema över återkopplat system. Regulatorerna R_{12} och R_2 är konstanta och eventuellt olinjära.

Regulatorn R_{12} beskrivs av polynomen F och G och av exponenterna $expf_i$ och $expg_j$.

$$F(q^{-1})=f_0+f_1q^{-1}+\ldots+f_{nf}q^{-nf} \qquad nf\leq 9$$

$$G(q^{-1})=g_0+g_1q^{-1}+\ldots+g_{ng}q^{-ng} \qquad ng\leq 9$$

$expf_i$ är valfria heltal $\qquad 1\leq i\leq 9$

$expg_j$ är valfria heltal $\qquad 0\leq j\leq 9$

Om samplingsintervallet förutsätts = 1 blir

$$f_0u_{21}(t)=-f_1(u_{21}(t-1))^{expf_1}-\ldots-f_{nf}(u_{21}(t-nf))^{exp_{nf}}+$$

$$+g_0(y(t))^{expg_0}+\ldots+g_{ng}(y(t-ng))^{expg_{ng}}$$

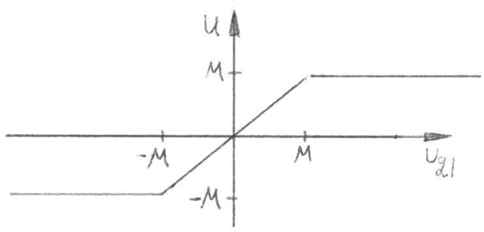
Regulatorn R_2 väljes till ett av alternativen 1/ till 5/.

1/ $u=u_{21}$ (Används vanligen då R_{12} är olinjär.)

2/ Exponentiering. $u=\frac{u_{21}}{|u_{21}|}\cdot|u_{21}|^{exp}$.

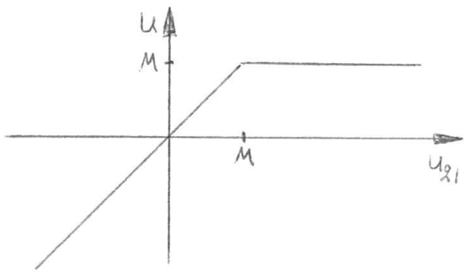
exp är ett valfritt reellt tal.

3/ Mättning.



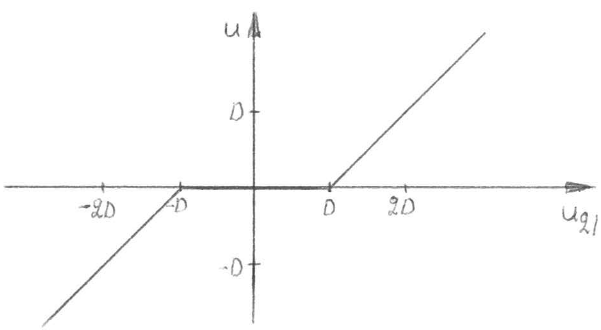
M är ett valfritt positivt reellt tal.

4/ Begränsning av u.



M är ett valfritt reellt tal.

5/ Dödzon.



D är ett valfritt positivt reellt tal.

3.2 Identifieringsmetod

Vi använder ett identifieringsprogram IDPAC som utvecklats av institutionen för reglerteknik vid LTH. Nedan följer en kortfattad beskrivning av den del av IDPAC vi utnyttjat. För en utförligare beskrivning hänvisas till "IDPAC user's guide", Gustavsson-Selander-Wieslander (1973).

En maximum likelihood skattning (ML-skattning) av parametrarna i modellen

$$A(q^{-1})y(t) = B(q^{-1})u(t) + C(q^{-1})e(t)$$

fås genom att minimera en förlustfunktion

$$V(\theta) = \tfrac{1}{2}\Sigma\varepsilon^2(t) \qquad \text{där}$$

$$C(q^{-1})\varepsilon(t) = A(q^{-1})y(t) - B(q^{-1})u(t) \quad \text{och}$$

$$\theta = (a_1,a_2,\ldots,a_n,b_1,b_2,\ldots,b_n,c_1,c_2,\ldots,c_n)$$

Minimeringen av $V(\theta)$ göres iterativt. Vi använder dock bara det första steget i iterationen och får därmed en minsta-kvadrat-skattning (MK-skattning) av parametrarna i A- och B-polynomet. MK-skattningarna ger alltså ingen skattning av $c_1,c_2,\ldots,c_n$. Detta orsakar inga svårigheter då vi hela tiden sätter $C(q^{-1}) = 1$. Det enda undantaget från detta är den i avsnitt 5 beskrivna undersökningen där $C(q^{-1})$ är $1.0 + c_1q^{-1}$, $c_1 \neq 0$. Då använder vi ML-skattning.

IDPAC ger ett skattat värde på de sökta parametrarna. Till varje skattning ges också en skattad osäkerhet i form av en standardavvikelse. Programmet skriver även ut egenvärdena till informationsmatrisen J som är inversen till kovariansmatrisen $\mathrm{cov}(\hat{\theta})$.

$$\mathrm{cov}(\hat{\theta}) = \begin{bmatrix} \mathrm{cov}(\hat{a}_1,\hat{a}_1)\ldots\mathrm{cov}(\hat{a}_1,\hat{a}_n)\ldots\ldots\mathrm{cov}(\hat{a}_1,\hat{c}_1)\ldots\mathrm{cov}(\hat{a}_1,\hat{c}_n) \\ \mathrm{cov}(\hat{a}_2,\hat{a}_1)\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \\ \cdot \\ \mathrm{cov}(\hat{c}_n,\hat{a}_1)\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\mathrm{cov}(\hat{c}_n,\hat{c}_n) \end{bmatrix}$$

Ur IDPAC fås också utsignalvariansen Ey^2.

De mått på noggrannheten vi använder är kvadraten på de skattade parametrarnas skattade osäkerheter och determinanten av informationsmatrisen J (detJ).

4. Resultat

4.1 Översikt och allmänna förutsättningar

I avsnitt 4.2 behandlas de sätt som används för att utvärdera identifieringsförsöken. Avsnitt 4.3-4.7 innehåller resultat från identifieringarna av ett första och ett andra ordningens system som återkopplats på olika sätt. I avsnitt 4.5 har vi även en yttre insignal. Resultaten av identifieringarna jämförs med teorin. En inbördes jämförelse av regulatorer utföres också. I avsnitt 4.8 görs sedan en sammanfattning.

Varje punkt i avsnitt 4.3-4.7 är resultat från en realisering med 2000 data. För några regulatorer har det även körts ända upp till 8 olika realiseringar. Det visar sig då att realiseringarna inbördes kan skilja sig ganska mycket, men att de realiseringar där exakt samma brus använts är inbördes väl jämförbara. Medelvärdet av de skattade parametrarna vid flera realiseringar av samma konfiguration ligger nära det rätta värdet, vilket är att vänta då metoden vi använder skall ge skattningar utan bias.

För vissa återkopplingar av andra ordningens system, blir sambandet mellan detJ och varianserna av $\hat{a}_1$ och $\hat{b}_1$ inte vad man väntar sig med ledning av övriga försök. Detta kan antas bero på numeriska problem.

Då vi hela tiden känner till polynomens ordningstal och antalet tidsfördröjningar sätter vi alltid modellens ordningstal lika med systemets. I praktiska fall tillkommer givetvis ofta problemet att man inte känner systemets ordningstal. Detta problem beaktas inte alls.

Det första ordningens system som vi hela tiden använder är

$$A(q^{-1})y(t) = B(q^{-1})u(t) + C(q^{-1})e(t)$$

där

$A(q^{-1}) = 1.0 - 0.8q^{-1}$

$B(q^{-1}) = \quad 1.0q^{-1}$

$C(q^{-1}) = 1.0$

Det andra ordningens system vi hela tiden använder är

$A(q^{-1})y(t) = B(q^{-1})u(t) + C(q^{-1})e(t)$

där

$A(q^{-1}) = 1.0 - 1.5q^{-1} + 0.7q^{-2}$

$B(q^{-1}) = \quad 1.0q^{-1} + 0.5q^{-2}$

$C(q^{-1}) = 1.0$

där y(t) är utsignal och u(t) är insignal och e(t) normalfördelat vitt brus.

Minimal variansregulatorn för de båda systemen har enligt gängse mönster räknats ut till

1:a ordningens system	$F(q^{-1}) = 1.0$
	$G(q^{-1}) = -0.8$
2:a ordningens system	$F(q^{-1}) = 1.0 + 0.5q^{-1}$
	$G(q^{-1}) = -1.5 + 0.7q^{-1}$

4.2 Noggrannhet

Den identifieringsmetod som används, för de i detta kapitlet beskrivna försöken, är minsta kvadratmetoden.

De mått på identifieringsnoggrannheten som används är:

a) Determinanten av informationsmatrisen (detJ)(X), som är inversen av kovariansmatrisen.

b) Den skattade osäkerheten i skattningen av $\hat{a}_1$ (Var$\hat{a}_1$)(X).

c) Den skattade osäkerheten i skattningen av $\hat{b}_1$ (Var$\hat{b}_1$)(X).

Skattningarna av varianserna av skattningarna på a_2 och b_2 är i förekommande fall utelämnade, då de ganska väl överensstämmer med tendenserna hos Var$\hat{a}_1$ och Var$\hat{b}_1$.

Då man försöker identifiera system är man av naturliga skäl intresserad av låg utsignalvarians. Emellertid gäller att ju mindre utsignalvariansen är desto mindre information om systemet finns det gömd i in- och utsignaler. För att inte få ett mått bara på identifieringsnoggrannheten utan även på det pris man får betala i form av utsignalvarians, plottas hela tiden noggrannheten som funktion av utsignalvariansen (Ey^2)(X).

Då man undersöker olika metoder för identifiering i closed loop, är man intresserad dels av att jämföra metoderna inbördes och dels av om det kan finnas bättre metoder. Av dessa anledningar har den teoretiska "bästa"-kurvan för detJ som funktion av Ey^2 beräknats för första ordningens system. **Man kan visa att den ges av $\det J = Ey^2(Ey^2-1)$.**

De varianser av $\hat{a}_1$ och $\hat{b}_1$ som erhålles då detJ optimeras (enl.ovan) blir

$$\mathrm{Var}\hat{a}_1 = \frac{a_1^2 Ey^2 + (Ey^2-1)}{N \cdot Ey^2(Ey^2-1)}$$

N= antalet punkter per realisering.

$$\mathrm{Var}\hat{b}_1 = \frac{b_1^2}{(Ey^2-1)N}$$

(X) De inom parentes angivna beteckningarna används i diagrammen.

Observera att då man optimerar variansen $\hat{a}_1$ och variansen $\hat{b}_1$ erhålles något bättre värden än de ovan nämnda. Detta kan också konstateras i en del diagram, där man får punkter som är bättre än de två funktionssambanden ovan.

4.3 Konstant linjär regulator

Villkoret för identifierbarhet är
$\max(n_f-n_b, n_g+k-n_a) - n_p \geq 0$.
Man kan lätt visa att t.ex. minimalvariansregulatorn inte ger identifierbarhet, då ordningstalet i regulatorn för detta fall är för litet.
Något som kan kullkasta identifieringsförsök är att kanske $n_p \neq 0$ dvs man får gemensamma faktorer mellan CF och $AF-z^{-k}BG$, vilket vi har råkat ut för på grund av obetänksamhet. **Detta studeras närmare i kapitel 5.**

Första ordningens system.

13 olika regulatorer, varav 5 är körda med 8 realiseringar, har studerats.

Andra ordningens system.

11 olika regulatorer, varav 5 är körda med 8 realiseringar, har studerats.

Slutsatser för första och andra ordningens system.

Då regulatorer av samma ordning jämföres, finner man att de regulatorer som mest liknar minimalvariansregulatorn är bäst. Det kan också konstateras att ökad komplexitet ofta ger bättre resultat. Observera dock att enbart hög komplexitet inte behöver innebära goda resultat.

Som illustration följer ett diagram över körningarna på första och ett på andra ordningens system med detJ som funktion av Ey^2. (Se diagram 4.3.1-2).
Vidare bifogas ett diagram över Ey^2 som funktion av g_0 när regulatorn hos första ordningens system är
$F = 1.0$, $G = g_0 + 0.5q^{-1}$. (Se diagram 4.3.3).
g_0 varieras kring värdet -0.8 (vilket är minimalvariansregulatorn då ingen q^{-1}-term finns).
Stabilitetsområdet är $-1.3 \leq g_0 \leq -0.3$.

Tabellhuvud till diagram 4.3.1-2.

Konstant regulator.

Första ordningens system. (X)

Bet.	f_o	f_1	f_2	g_o	g_1	g_2
△1	1.0			-1.2	0.5	
△2	"			-1.0	"	
△3	"			-0.8	"	
△4	"			-0.35	"	
△5	"			-0.6	"	
△6	"	0.5		-0.4	0.3	
△7	"			-0.8	0.3	0.5
△8	"	0.8		-0.8	-0.5	
△9	"	"		-0.8	-0.8	
△10	"	0.5		-0.8	-0.5	
△11	"	"		-1.2	-0.5	

Andra ordningens system.

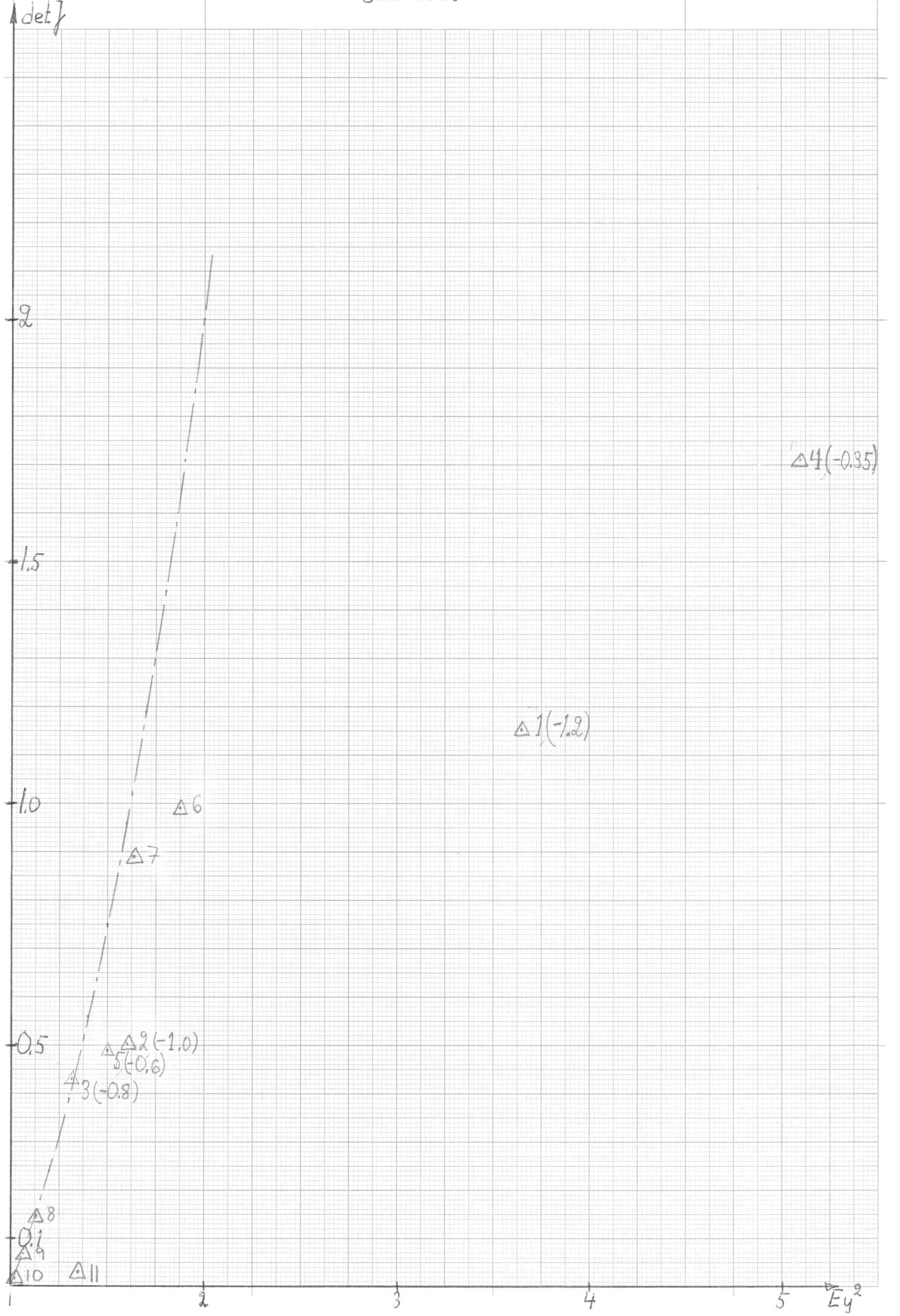
Beteckningarna är samma som ovan.

△1	"	0.5		-1.0	0.7	-0.5
△2	"	"		-1.5	"	"
△3	"	"		-0.5	"	-0.3
△4	"	"	0.4	-1.0	"	-0.5
△5	"	"	"	-0.5	"	"
△6	"	"	"	"	"	-0.3
△7	"			-1.0	0.5	0.3
△8	"			-0.8	"	-0.4

(X), Streckprickad—·—·— linje betyder teoretiska "bästa-kurvan".

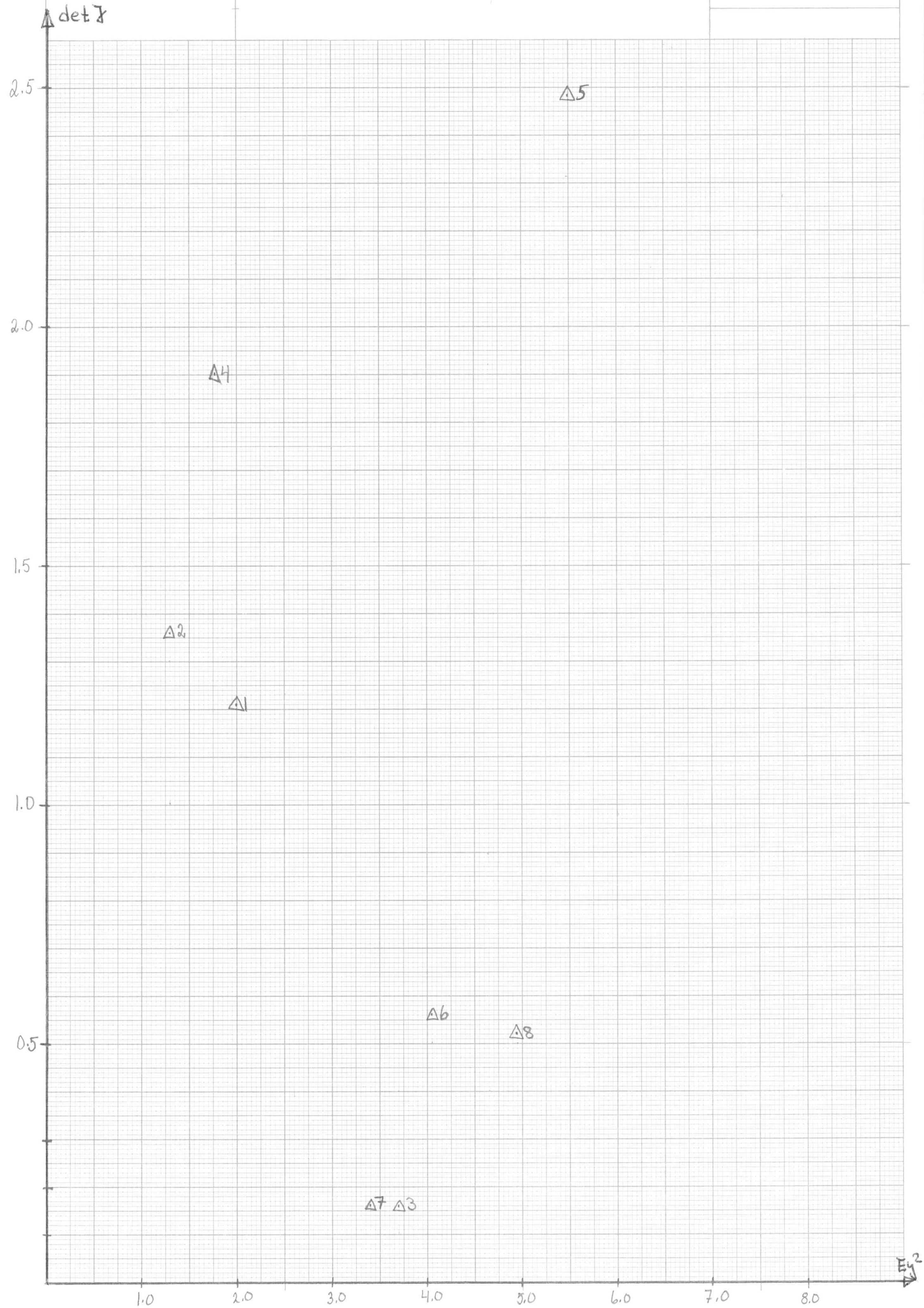
Första ordningens system.
Ev markeringar är g_o.
Konstant regulator.

Diagram 4.3.1



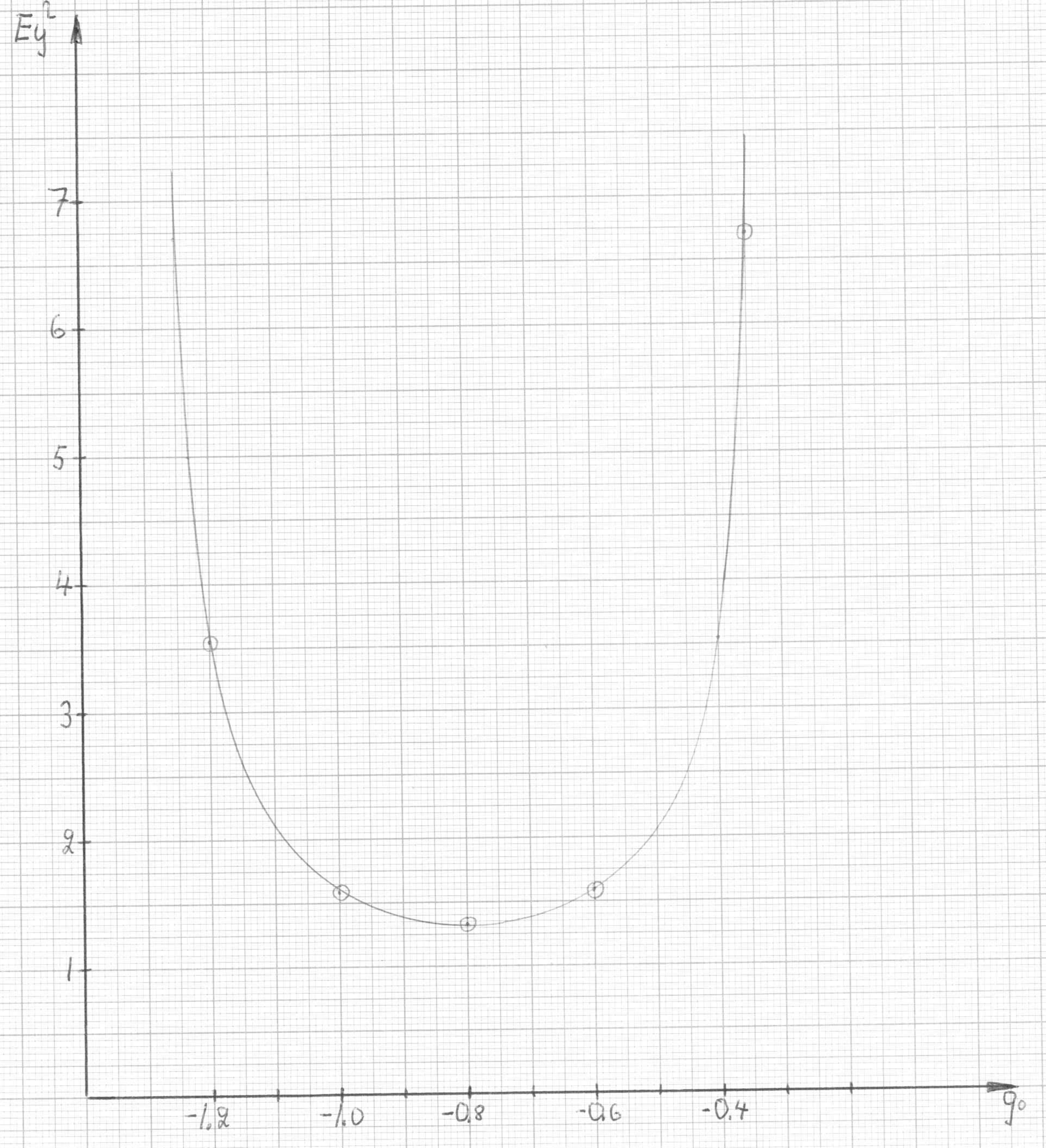
Andra ordningens system.
Konstant regulator.

Diagram 4.3.2



Första ordningens system.
Ey^2 som funktion av g_o.

Diagram 4.3.3



4.4 Linjär tidsvariabel regulator

Då regulatorn är tidsvariabel finns inga krav på ordningen i regulatorn.

Styckvis konstanta regulatorer har använts.
Koefficient g_o har varierats enligt någon av figurerna Fig. 4.4.1-3.

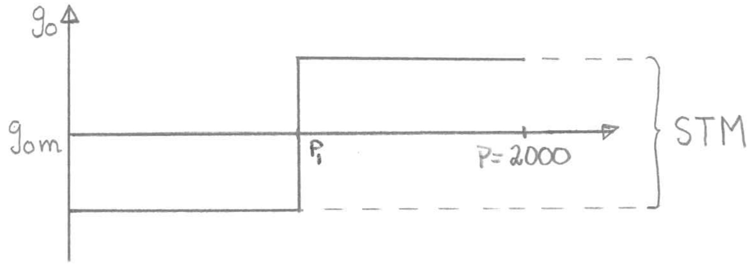
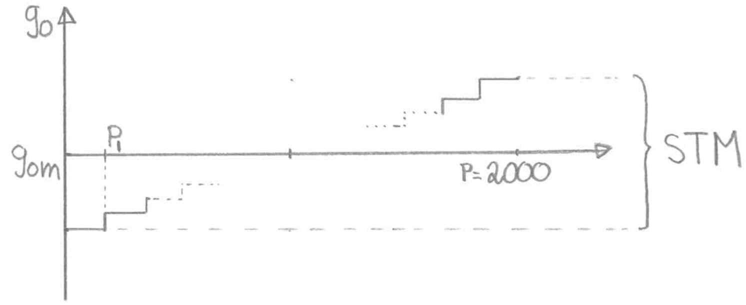
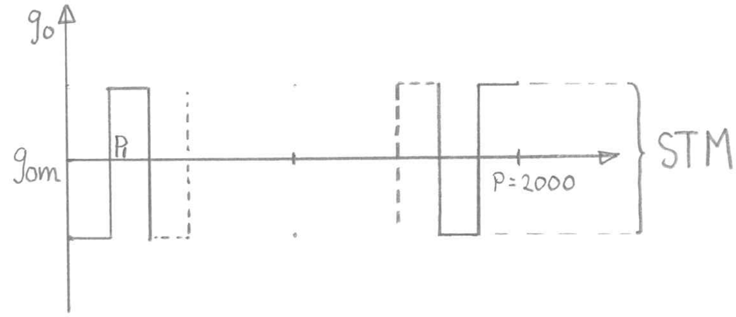


Fig. 4.4.1



P_1= 200 resp. 20

Fig 4.4.2



P_1= 200 resp. 20

Fig 4.4.3

Första ordningens system.

Totalt 29 körningar har gjorts där g_{om}, STM, och P_1 varierats enligt figurerna 4.4.1-3.

Vi undersöker endast en regulator av typen F=1.0 och $G=g_o$. Stabilitetsområdet för det slutna systemet är $-1.8 \leq g_o \leq 0.2$. De flesta körningarna har skett med $g_{om}=-0.8$, alltså variationer kring minimalvariansregulatorn. Även $g_{om} \neq -0.8$ har dock undersökts.

Då $g_{om}=-0.8$ hamnar man alltid på den optimala kurvan. (Se diagram 4.4.1-3).
Variationer enligt Fig. 4.4.1 och 4.4.3 ger för samma STM samma utsignalvarians Ey^2. Körningar med regulator enligt Fig.4.4.1 och 2 ger som resultat att variansen Ey^2 ökar med ökande P_1. För alla tre typerna gäller att utsignalvariansen Ey^2 och därmed identifieringsnoggrannheten ökar då STM ökar.
Sammanfattningsvis säges att noggrannheten blir bäst då g_o varieras i stora steg. Man vinner dock inget på att ändra många gånger.

Då $g_{om}\neq-0.8$ hamnar en del varianter på optimala kurvan medan andra hamnar betydligt sämre. Då man hoppar nära minimalvariansregulatorn, $g_{om}=-0.85$, blir resultatet nästan identiskt med det för hopp kring $g_{om}=-0.8$. Då g_{om} ligger långt från minimalvariansregulatorn blir noggrannheten dålig.

Andra ordningens system.

Totalt 21 körningar har gjorts där g_{om}, STM och P_1 varierats enligt 4.4.1 och 4.4.3. I fall 4.4.3 har P_1 varit lika med 200.
Två regulatorer har undersökts, dels minimalvariansregulatorn $F= 1.0+0.5q^{-1}$, $G= g_o+0.7q^{-1}$ där g_o varieras i intervallet $-2.5\leq g_o\leq-0.5$ och dels $F= 1.0$ och $G= g_o$ där $-0.6\leq g_o\leq 0.1$.
Kring minimalvariansregulatorn har endast regulatortyp 4.4.1 använts, medan för den sistnämnda även regulatortyp 4.4.3 har använts.
Kring min. var. reg. har både symmetriska och osymmetriska variationer gjorts, och man kan liksom för första ordningens system konstatera att symmetriska hopp är bättre.
En regulator av typen $F= 1.0+0.5q^{-1}$, $G= g_o+0.7q^{-1}$ är alltid betydligt bättre än en av typen $F= 1.0$ och $G= g_o$. Detta gäller även om man inte hoppar kring minimalvariansregulatorn utan gör osymmetriska hopp. (Se diagram 4.4.4-5).

Slutsats.

Då man identifierar med styckvis konstant regulator bör man bemöda sig om att hamna kring minimalvariansregulatorn då detta ger det bästa resultatet. Man vinner ingenting i noggrannhet på att använda mer komplicerade ändringar än ett steg.

Tabellhuvud till diagram 4.4.1-3.

Första ordningens system.[X]

Styckvis konstant regulator.

Bet.	Regulatortyp	STM	f_o	g_{omitt}
⊡10	1	1.4	1.0	-0.8
⊡11	1	1.6	"	"
⊡12	1	1.8	"	"
⊡13	2	1.4	"	"
⊡14	2	1.8	"	"
⊡15	1	1.9	"	"
⊡16	2	"	"	"
☒1	3	1.4	"	"
☒2	3	1.6	"	"
☒3	3	1.8	"	"
☒4	4	"	"	"
⊡20	1	0.8	"	-1.35
⊡21	1	0.8	"	-1.0
⊡22	1	1.4	"	"
⊡23	1	"	"	-0.85
⊡24	1	"	"	-0.6

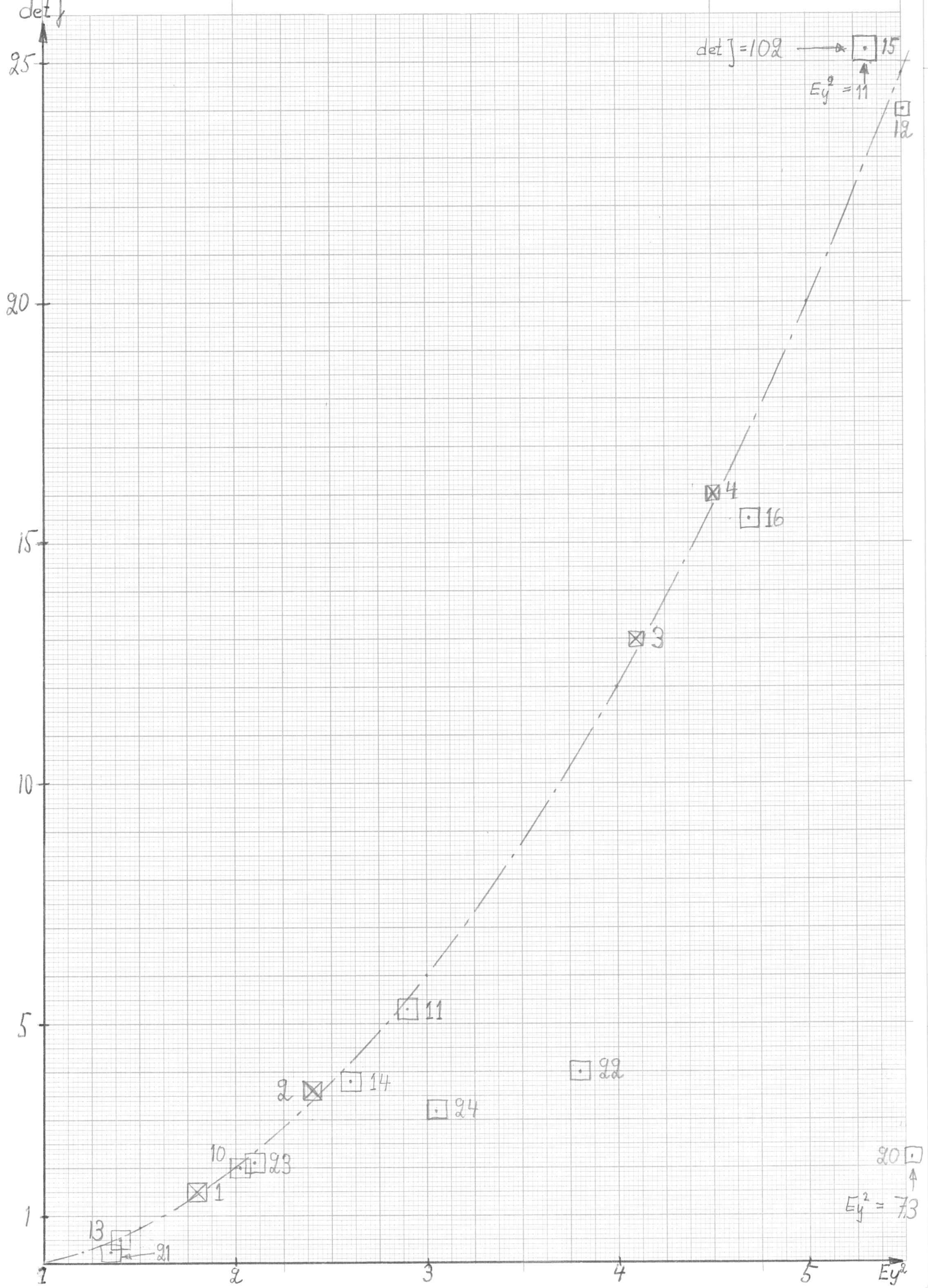
Regulatortyp

1	Se Fig.	4.4.1	$P/P_1=2$	(ett steg)
2	"	4.4.2	$P/P_1=10$	
3	"	4.4.3	"	
4	"	"	$P/P_1=100$	

X, Streckprickad linje —·—·— betyder teoretiska "bästa-kurvan".

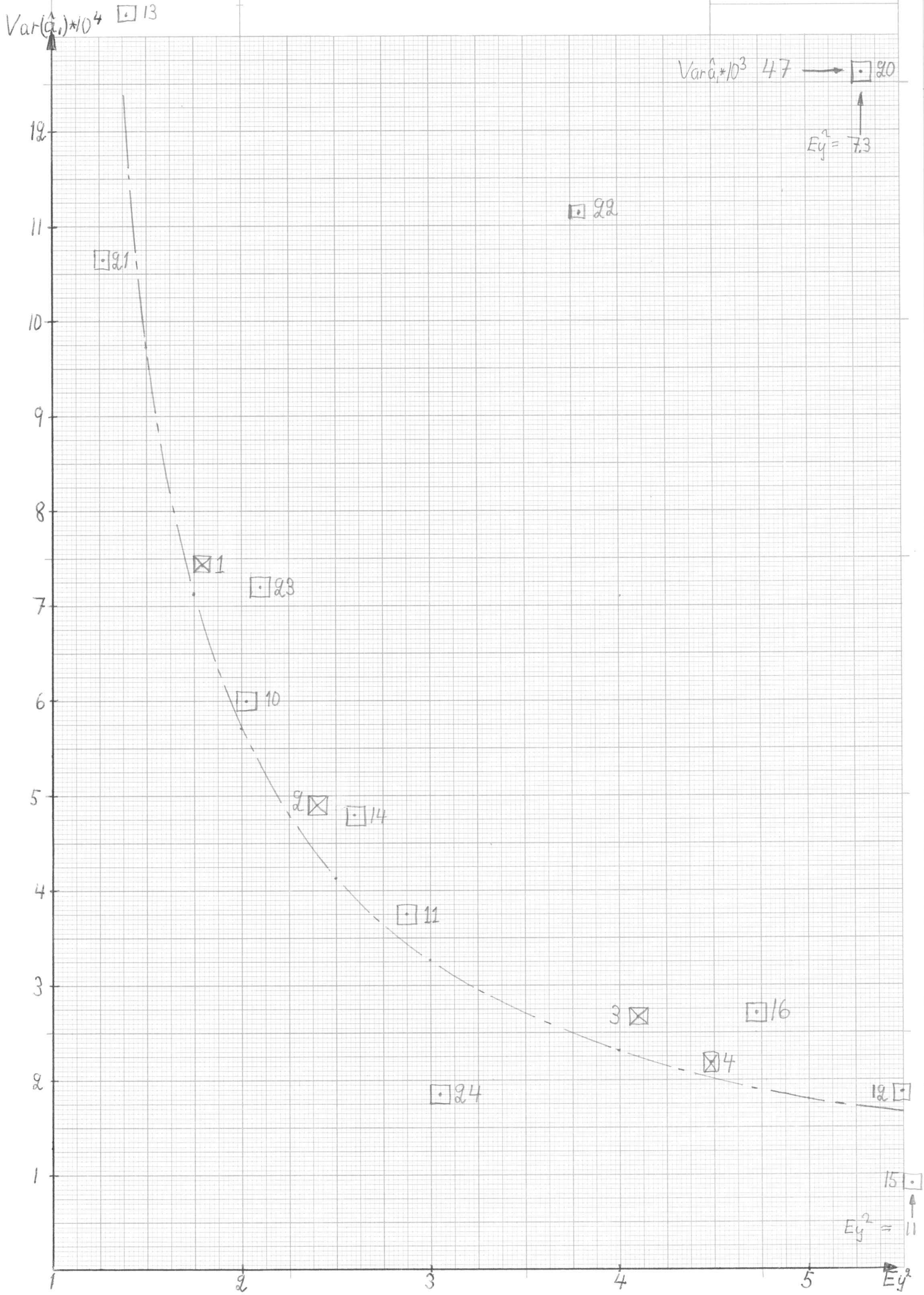
Första ordningens system.
Styckvis konstant regulator.

Diagram 4.4.1



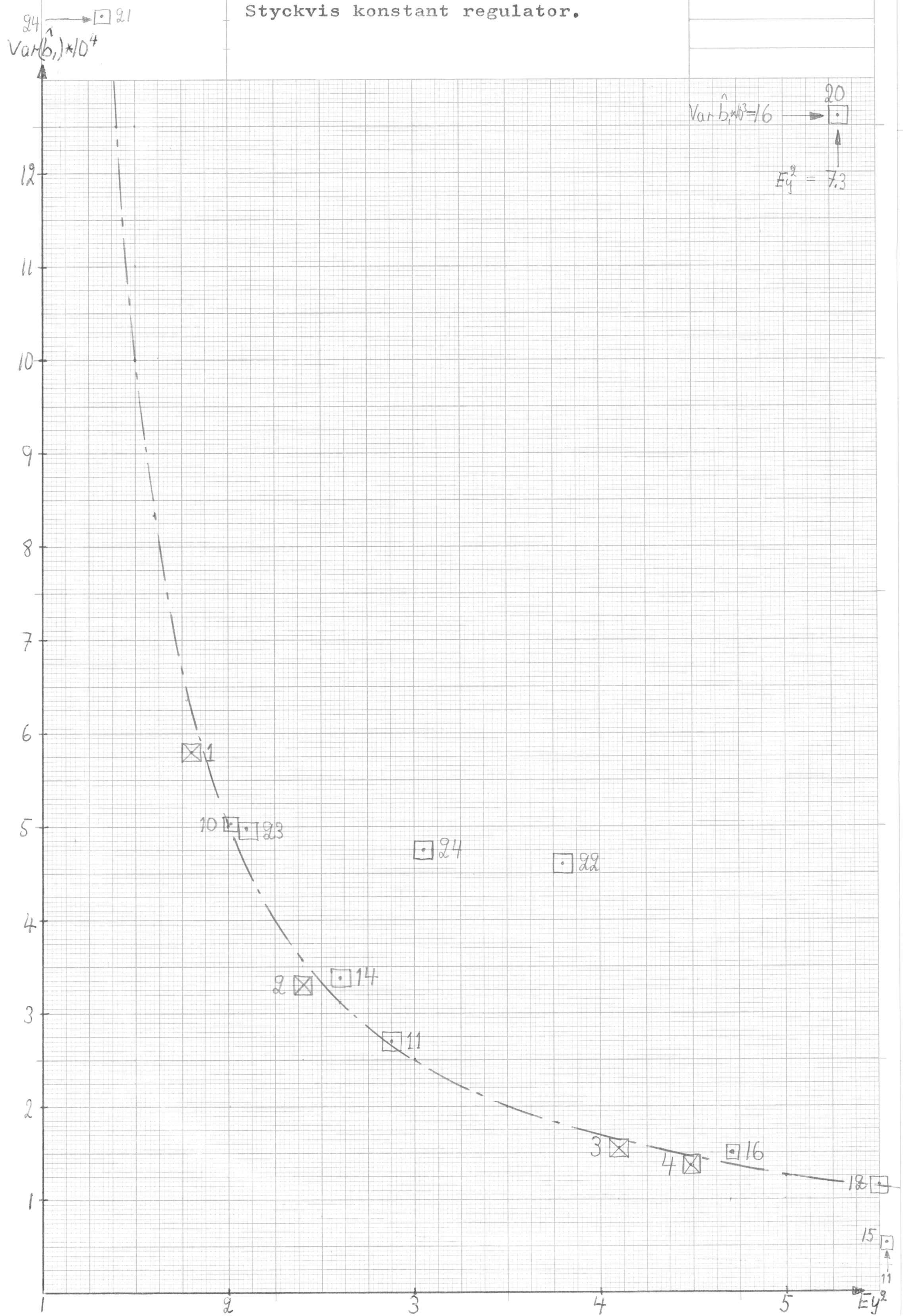
Första ordningens system.
Styckvis konstant regulator.

Diagram 4.4.2



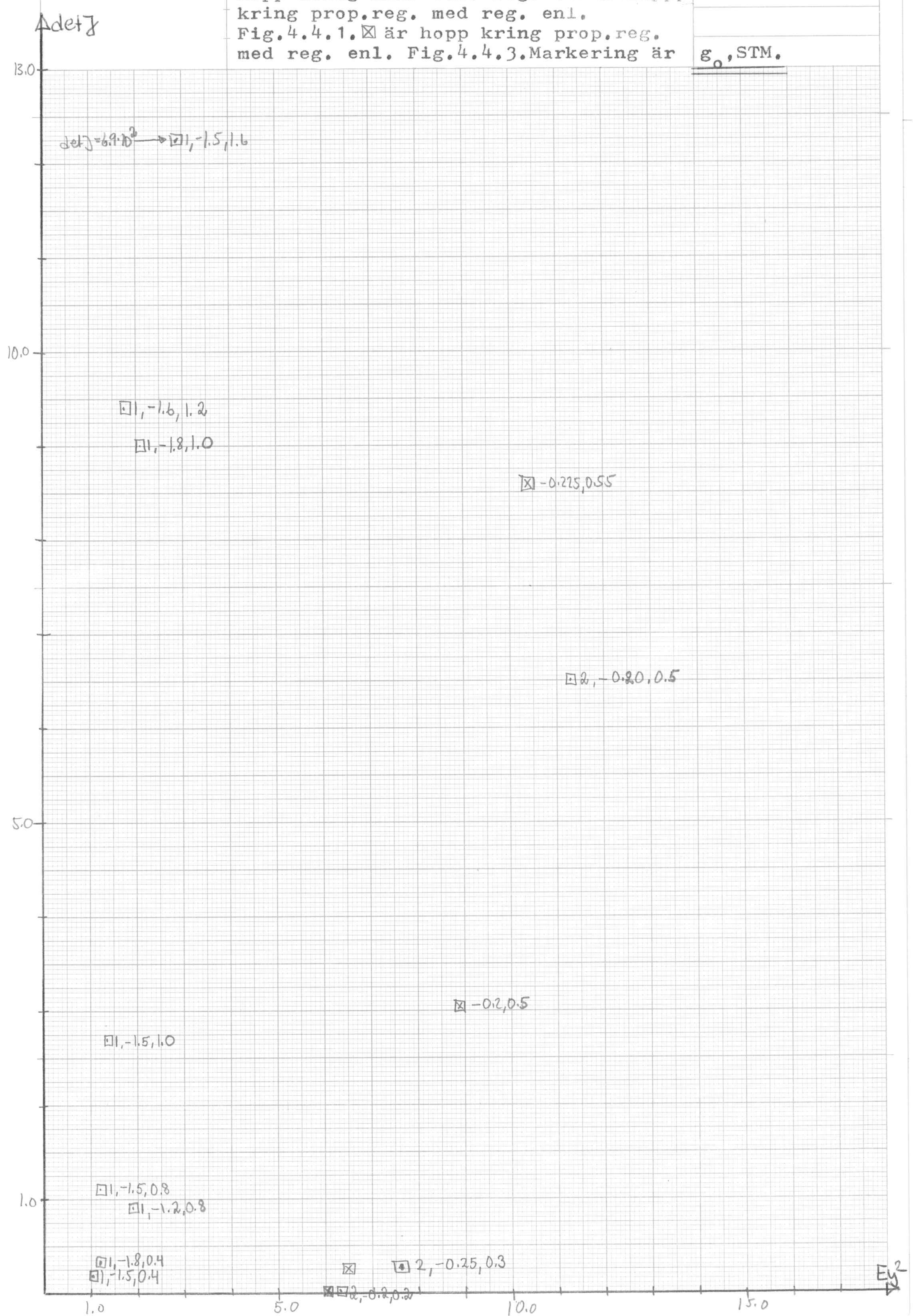
Första ordningens system.
Styckvis konstant regulator.

Diagram 4.4.3



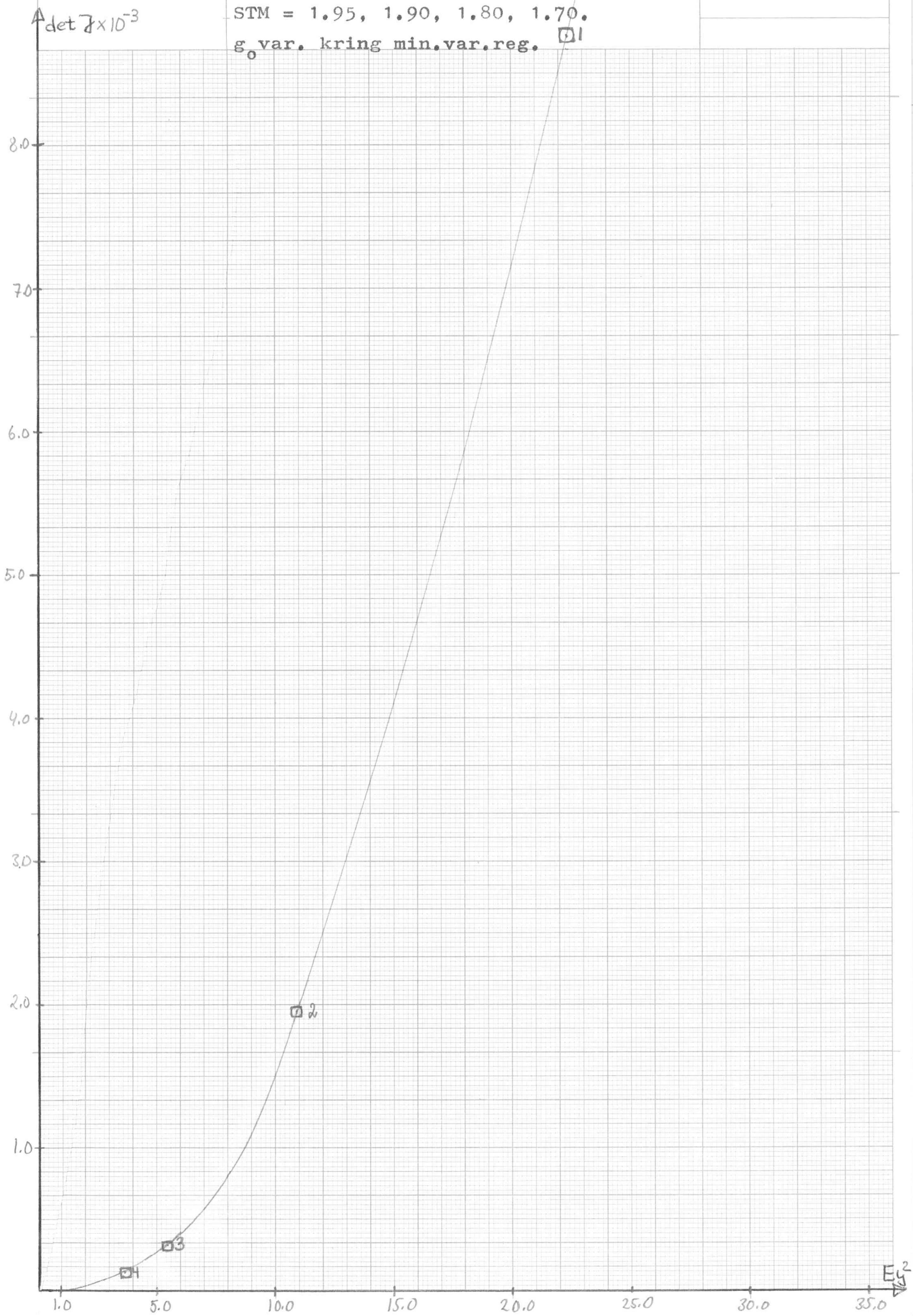
Andra ordningens system. ⊡1 betyder hopp kring min. var. reg. och ⊡2 hopp kring prop.reg. med reg. enl. Fig.4.4.1. ⊠ är hopp kring prop.reg. med reg. enl. Fig.4.4.3. Markering är g_o, STM.

Diagram 4.4.4



Andra ordningens system. Var. enl. Fig.4.4.1. Index 1,2,3,4 betyder STM = 1.95, 1.90, 1.80, 1.70. g_o var. kring min.var.reg.

Diagram 4.4.5



4.5 Yttre insignal

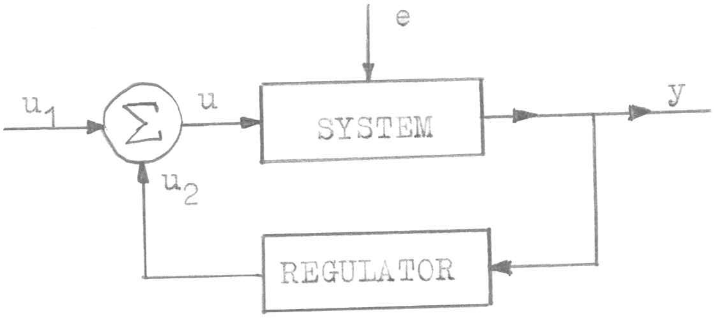


Fig 4.5.1 Återkopplat system med yttre insignal.

Då man använder sig av en yttre insignal (persistently exciting) så ställs inga krav på regulatorns ordningstal utan man uppnår identifierbarhet under alla omständigheter.

Använda yttre insignaler är:

PRBS (Pseudo Random Binary Sequence)
PRBS 10 (PRBS utdragen 10 gånger)
NORM (normalfördelat brus N(0,1))
NORM1 X (filtrerat brus enligt NORM1= $\frac{1 - 0.8q^{-1}}{1+0.6897q^{-1}}$NORM, σ_e=1.3)

NORM2 (" NORM2= $\frac{1}{1 + 0.3q^{-1}}$NORM)

NORM3 (" NORM3= $\frac{1}{1+q^{-1}+0.25q^{-1}}$NORM)

SRTW 0.2 (Sequential Random Telegraph Wave, med sannolikheten 0.2 för ändring av tillstånd)

Dessa insignaler har skalats med olika amplituder.

Första ordningens system.

Körningarna har skett med regulator F=1.0, G=g_0 där g_0 varieras inom stabilitetsområdet för det återkopplade systemet ($-1.8 \leq g_0 \leq 0.2$).
46 st olika kombinationer av g_0, amplitud och insignal har studerats.

X, Optimal insignal i open loop för vårt första ordningens system.

Med g_o nära minimalvariansregulatorn ($-1.2 \leq g_o \leq -0.4$) ger alla insignaler resultat nära de optimala. Ju närmare g_o ligger -0.8 desto närmare optimala kurvan hamnar man. (Se diagram 4.5.1[X]).
Med de undersökningar vi har gjort kan vi inte peka ut någon speciellt bra eller dålig insignal. Däremot är valet av g_o viktigt. Det visar sig att man för samma regulator ofta kan få liknande resultat för olika insignaler genom att skala dessa olika.

Andra ordningens system.

Körningarna har skett med regulatorerna a) $F=1.0$, $G=g_o$ ($-0.6 \leq g_o \leq 0.1$) och b) $F=1.0 + 0.5q^{-1}$, $G=g_o + 0.7q^{-1}$ ($-2.5 \leq g_o \leq -0.5$).
62 olika kombinationer av g_o, amplitud och insignal har studerats.

Körningar kring minimalvariansregulatorn ger betydligt bättre resultat än en regulator av typ a), som ger väldigt stora utsignalvarianser Ey^2. (Se diagram 4.5.2). Då man använder sig av en regulator av typ b) bör g_o väljas till -1.5 som ger minimalvariansregulatorn. Då uppnås bäst resultat. Även jämfört med de andra metoderna i avsnitt 4 är noggrannheten mycket god. För att variera utsignalvariansen Ey^2 varieras amplituden hos den yttre insignalen. Skillnaden mellan tre insignaler visas i diagram 4.5.3.

Slutsats:

För de system och insignaler som har undersökts ger minimalvariansregulatorn bäst resultat. Detta gäller både första och andra ordningens system.

X, I diagram 4.5.1 har bara ritats in punkter på ena sidan om -0.8 då de båda sidorna överensstämmer ganska väl.

Tabellhuvud till diagram 4.5.1-3.

Första (X) och andra ordningens system.

	Bet.	Insignal
+el.X	1	PRBS
"	2	PRBS 10
"	3	NORM
"	4	NORM1
"	5	NORM2
"	6	NORM3
"	7	SRTW 0.2

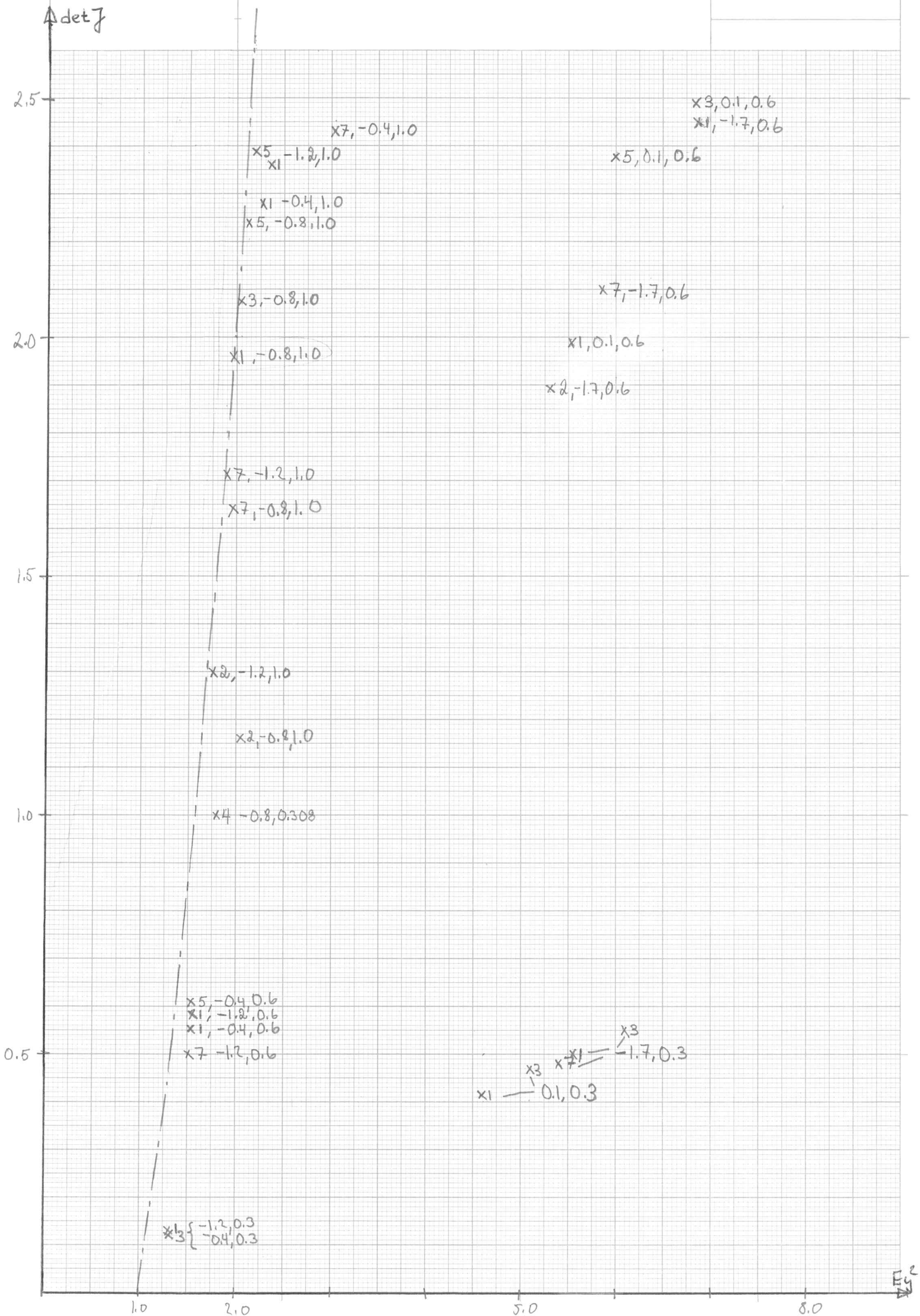
\+ betyder att den proportionella regulatorn använts och
X " " "minimalvariansregulatorn" " .

Markeringarna i diagrammen är om inte annat anges
Bet., g_o, amplitud.
Ex. X,-1.5,1.0.

(X), streckprickad linje —·—·— betyder teoretiska "bästa-kurvan".

Diagram 4.5.1

Första ordningens sytem.



Andra ordningens system.

Diagram 4.5.2

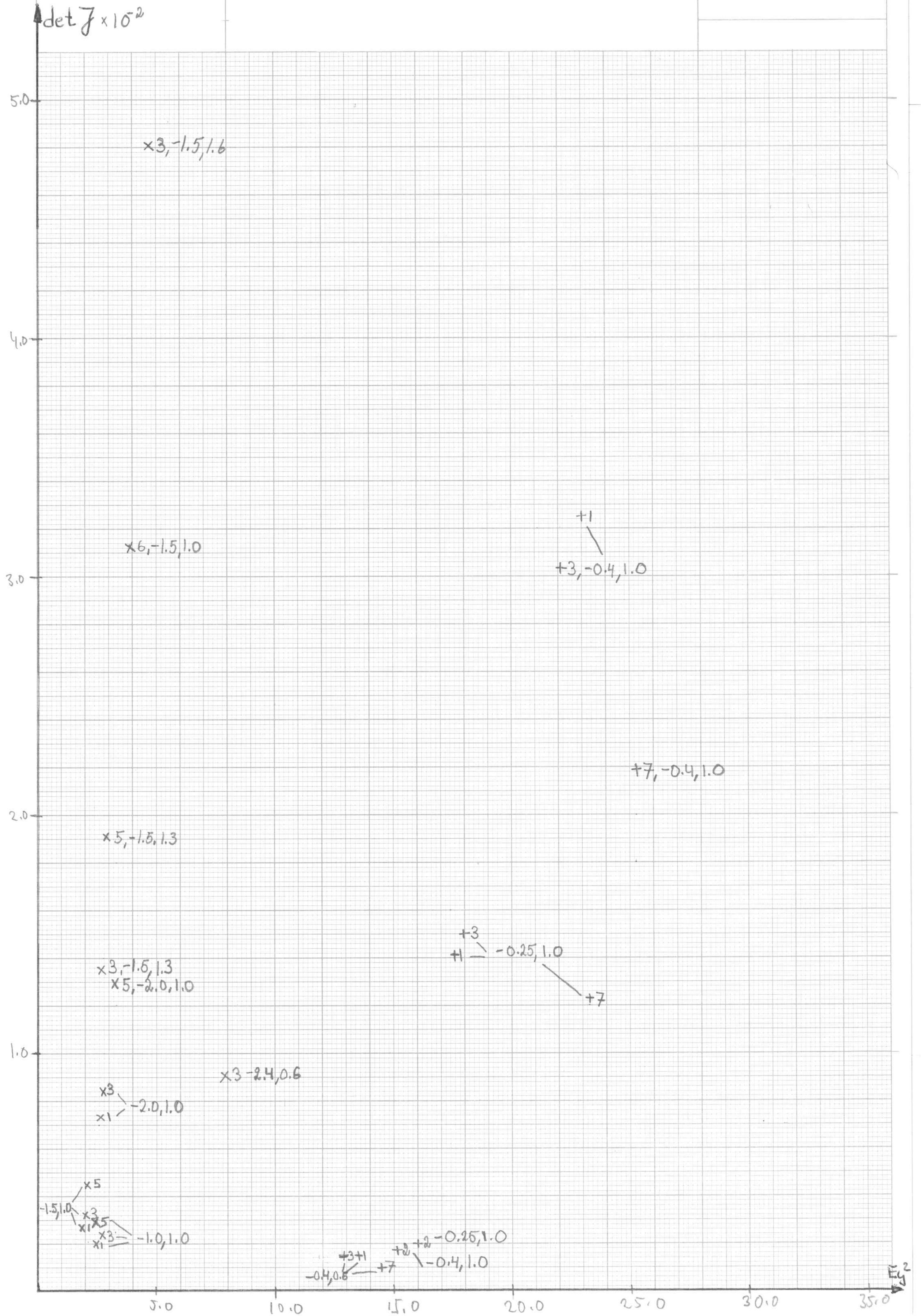
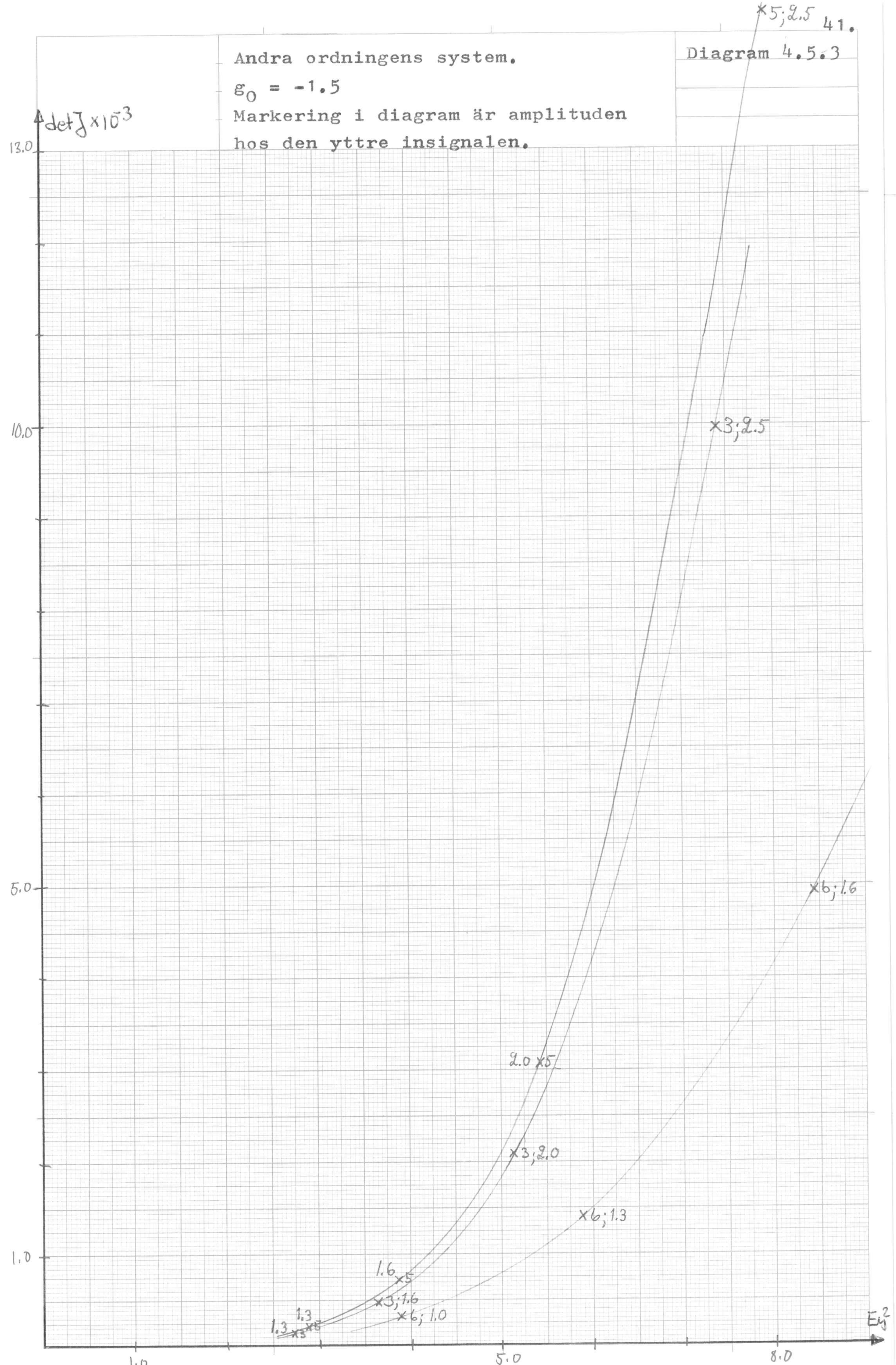


Diagram 4.5.3

Andra ordningens system.

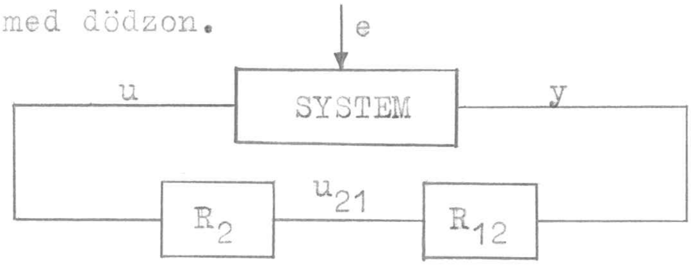
$g_0 = -1.5$

Markering i diagram är amplituden hos den yttre insignalen.



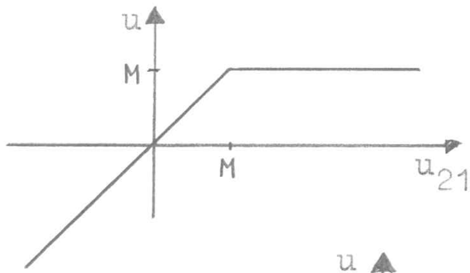
4.6 Olinjär regulator

Alla typer av olinjära regulatorer ger i princip identifierbarhet. Naturligtvis måste regulatorn i någon mening vara tillräckligt olinjär. Detta belyses i försöken med dödzon.

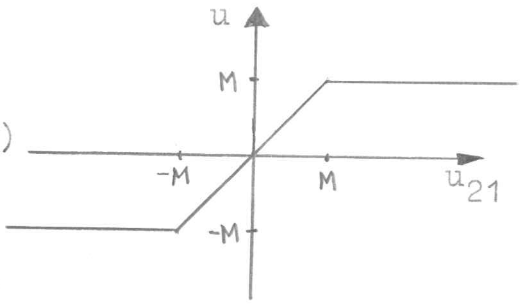


R_{12} är en konstnat linjär regulator.
Olinjäriteten ligger i regulatorn R_2 och är av någon av följande typer.

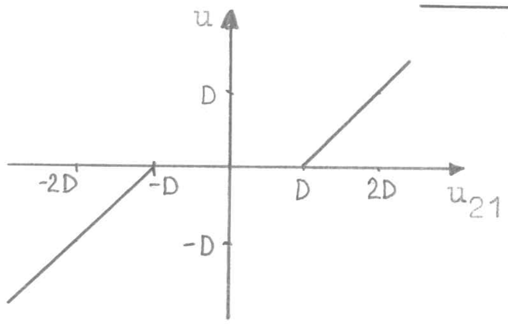
a) Begränsning av u.



b) Begränsning av $|u|$. (Mättning)



c) Dödzon.



d) Exponentiering. $u = \frac{u_{21}}{|u_{21}|} \cdot |u_{21}|^{\exp} = \mathrm{sign}(u_{21}) \cdot |u_{21}|^{\exp}$

Första ordningens system.

Regulatorn R_{12} är av typen F= 1.0 och G= g_o. Utan R_2 är stabilitetsområdet som tidigare $-1.8 \leq g_o \leq 0.2$ men då vi inför en olinjäritet kan det återkopplade systemet vara stabilt även för g_o utanför nämnda område.

Begränsning av u. (Olinjäritet av typ a)).

58 olika kombinationer av g_0 och begränsningar har undersökts.
Ju mer negativ g_0 är desto bättre resultat uppnås.(Se diagram 4.6.1-4.6.2a,b).
Vad som endast delvis framgår ur diagrammen är att det finns en bästa begränsning.
Ex1. För g_0=-1.5 ligger denna någonstans mellan 0.6 och 1.0.
Ex2. För g_0=-3.0 och begränsning 2.0 fås detJ=25.53 och Ey^2=5.6 vilket ligger på den optimala kurvan.

För vissa kombinationer av g_0 och u_{max} hamnar man på eller mycket nära den optimala kurvan. (Se t.ex. Ex.2 ovan).

Begränsning på |u|. (Mättning, typ b)).

Vi har undersökt 41 olika kombinationer av g_0 och $|u|_{max}$.

För alla g_0 vi har undersökt fås bästa resultat med en begränsning vald till 1.0. Dessa överensstämmer med de optimala.
För kraftiga begränsningar t.ex. 0.1 fås mycket dåliga estimeringar. För inte fullt så kraftiga begränsningar som den optimala t.ex. 2.0 kan goda estimeringar fås om man kan tolerera stora utsignalvarianser. (Se diagram 4.6.3).
Vi har även undersökt hur ofta begränsningarna träder i kraft. Vi har som väntat konstaterat att ett litet antal begränsningar ger dålig noggrannhet. Även då man begränsar väldigt ofta (>95%) fås dålig noggrannhet.
Något annat samband har vi inte funnit.

Dödzon. (Typ c)).

Vi har undersökt 20 olika kombinationer av g_0 (inom stabilitetsområdet) och dödzonens storlek.

Vi konstaterar genomgående dålig noggrannhet. Punkterna ligger hela tiden klart under den optimala kurvan.
Små dödzoner ger mycket dålig noggrannhet, då regulatorn

i dessa fall blir nästan linjär.
Stora dödzoner ger också mycket dåliga resultat ty då blir insignalen mycket liten eller noll.

Exponentiering. (Typ d)).

Tolv olika g_o har undersökts för exponenter lika med $\frac{1}{2}$ och tre för exponenten lika med -1.

Med exponenten lika med $\frac{1}{2}$ hittar man ett bästa $g_o=-0.8$, som ger minimalvariansregulatorn.
Detta bästa värde ligger på den optimala kurvan. (Se diagram 4.6.4).
Observera att systemet är stabilt även då $g_o \leq -1.8$.

Med exponenten lika med -1 fås oacceptabla utsignalvarianser, men extremt goda estimeringar.

Andra ordningens system.

Regulatorn R_{12} är antingen av typen F=1.0 och $G=g_o$ eller typen $F=1.0+0.5q^{-1}$ och $G=g_o+0.7q^{-1}$. Utan R_2 är stabilitetsområdena som tidigare $(-0.6 \leq g_o \leq 0.1)$ respektive $(-2.5 \leq g_o \leq -0.5)$.
Då vi enbart kört med begränsning på $|u|$ (typ b)) har vi även gått utanför dessa.
Totalt har 47 körningar gjorts med olika g_o och $|u|_{max}$.

Den mer komplexa regulatorn ger bättre estimeringar överlag. (Se diagram 4.6.5-7).

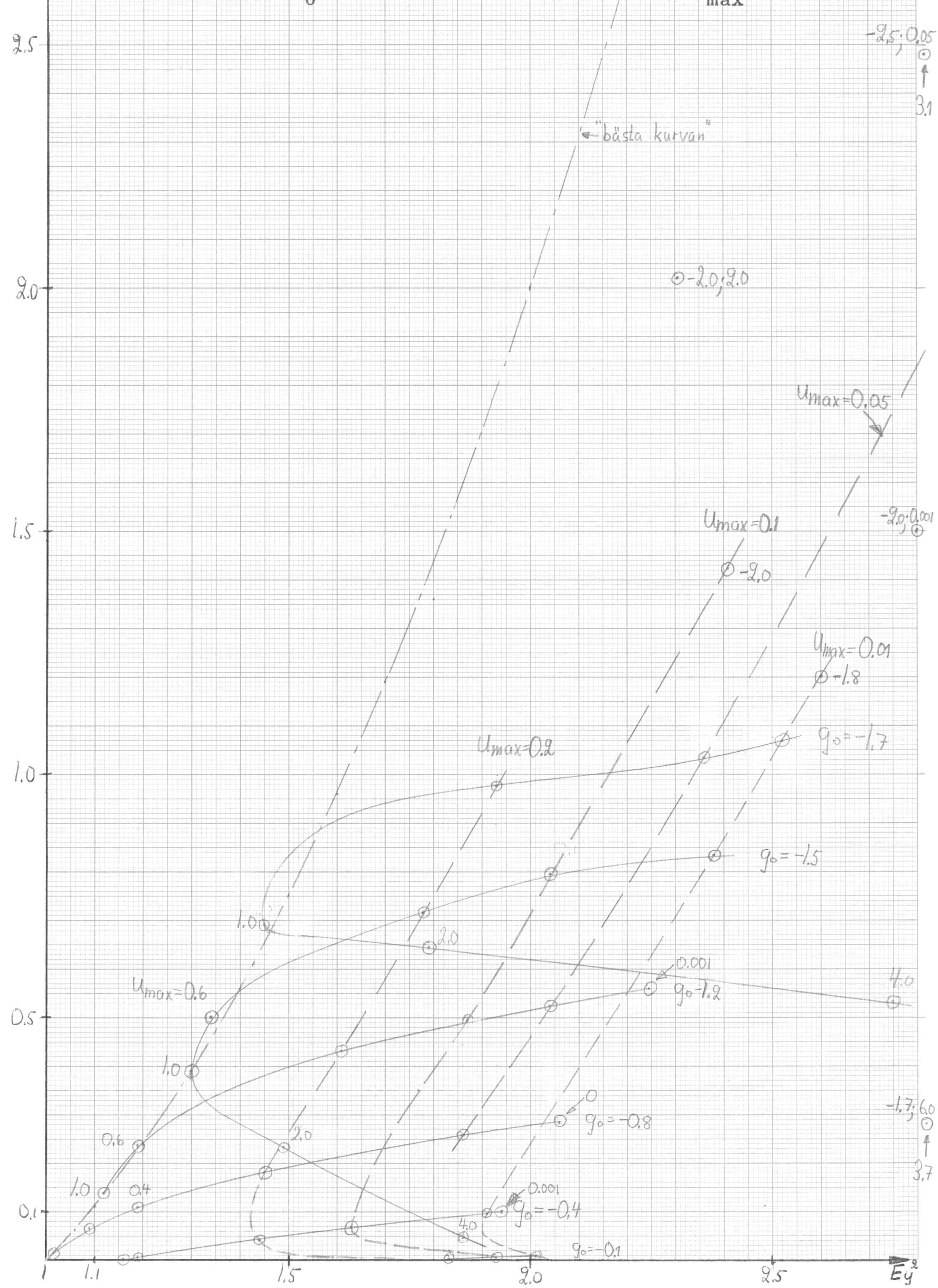
Vi vågar inte peka ut någon bästa begränsning.
Det visar sig dock att små begränsningar (0.1, 0.5) är mycket än begränsningar ≥ 1.0.
För den komplexa regulatorn ger, som framgår ur diagrammen, g_o utanfor stabilitetsområdet (på negativa sidan) bäst estimeringar. Detta betalas med högre utsignalvarians Ey^2. Detta gäller även den proportionella regulatorn.

Även här har vi undersökt hur ofta man begränsar och resultaten överensstämmer med första ordningens.

Första ordningens system.

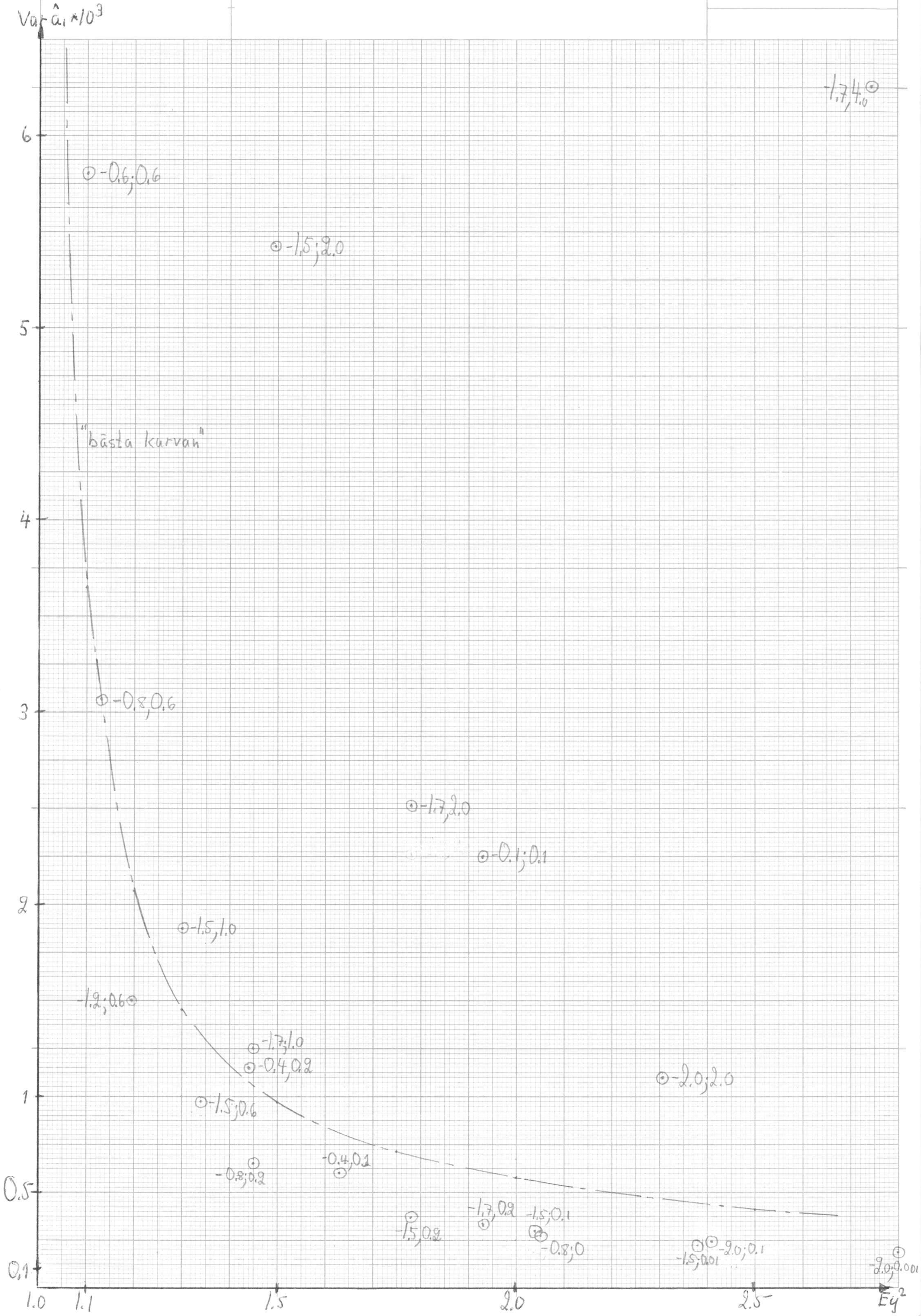
Markering i diagram är u_{max} och då två markeringar g_o;max u. Annars är samma g_o sammanbundna och likaså samma u_{max}.

Diagram 4.6.1



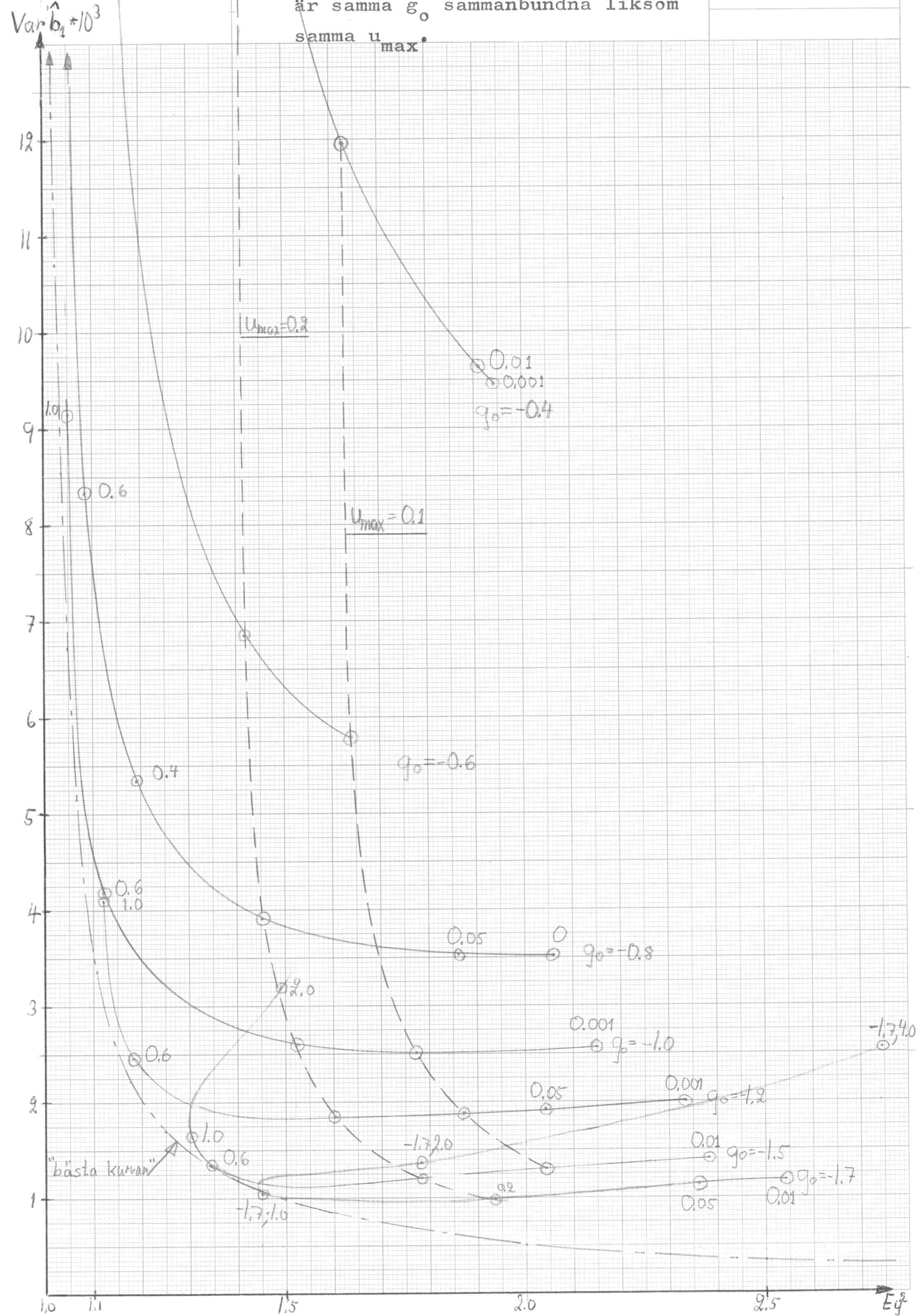
Första ordningens system.
Markeringar i diagram är g_o;u_{max}.

Diagram 4.6.2a



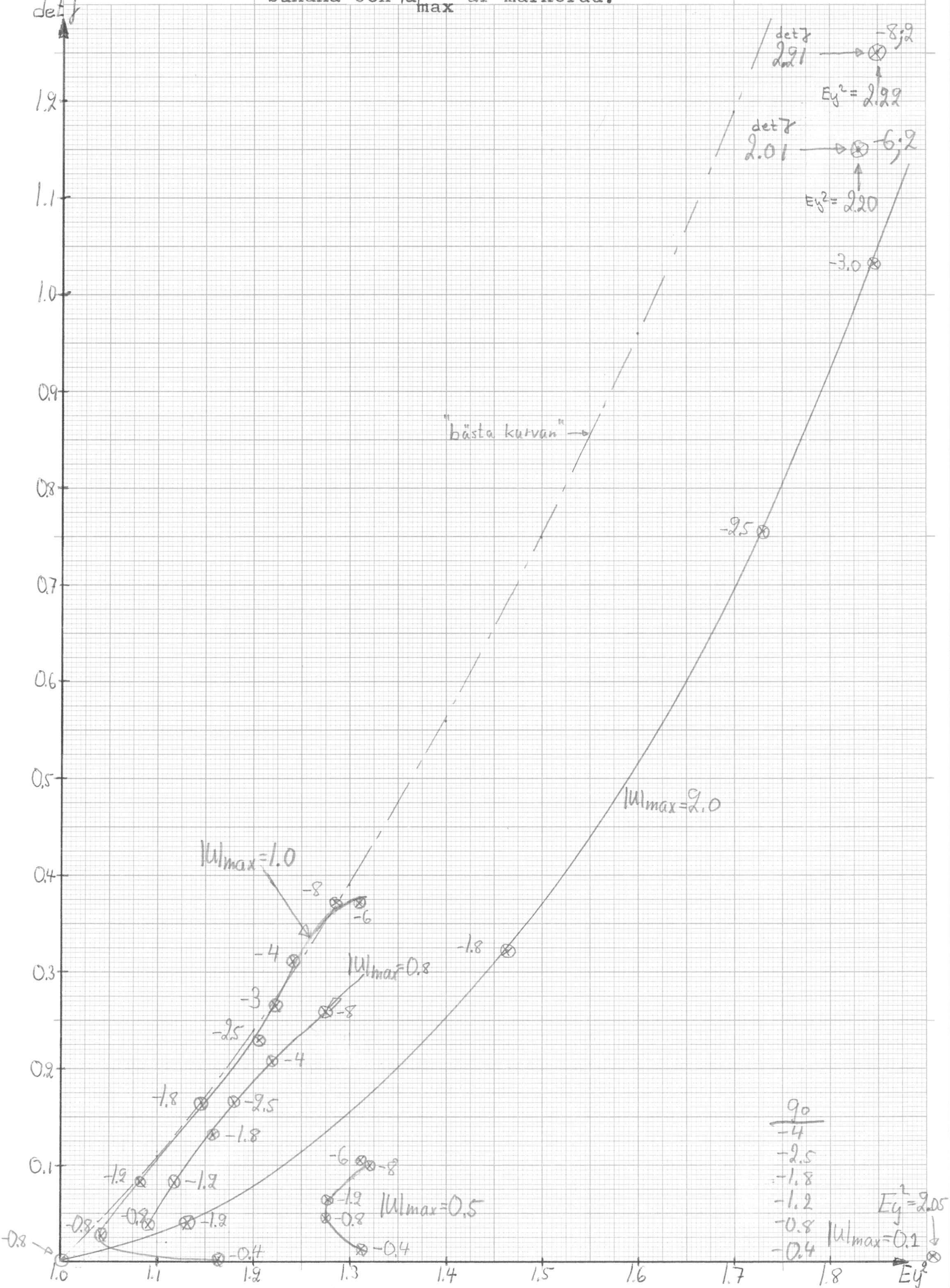
Första ordningens system.
Markering i diagram är u_{max}. F.ö. är samma g_o sammanbundna liksom samma u_{max}.

Diagram 4.6.2b



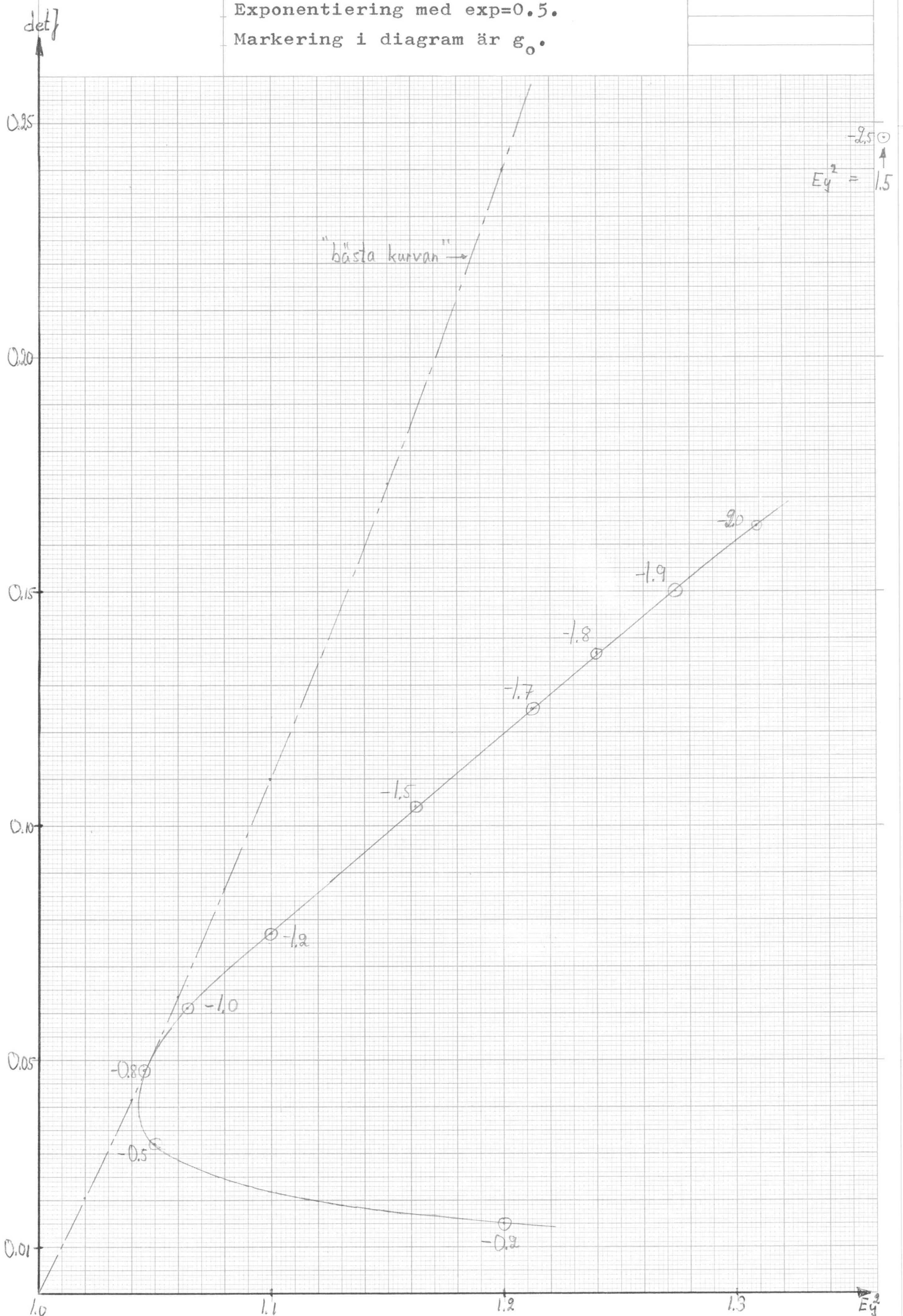
Första ordningens system.
Markering i diagrammet är g_o.
Punkter med samma $|u|_{max}$ är sammanbundna och $|u|_{max}$ är markerad.

Diagram 4.6.3



Första ordningens system.
Exponentiering med exp=0.5.
Markering i diagram är g_o.

Diagram 4.6.4



SIS 732501 · 514 A4 · 1 x 1 mm

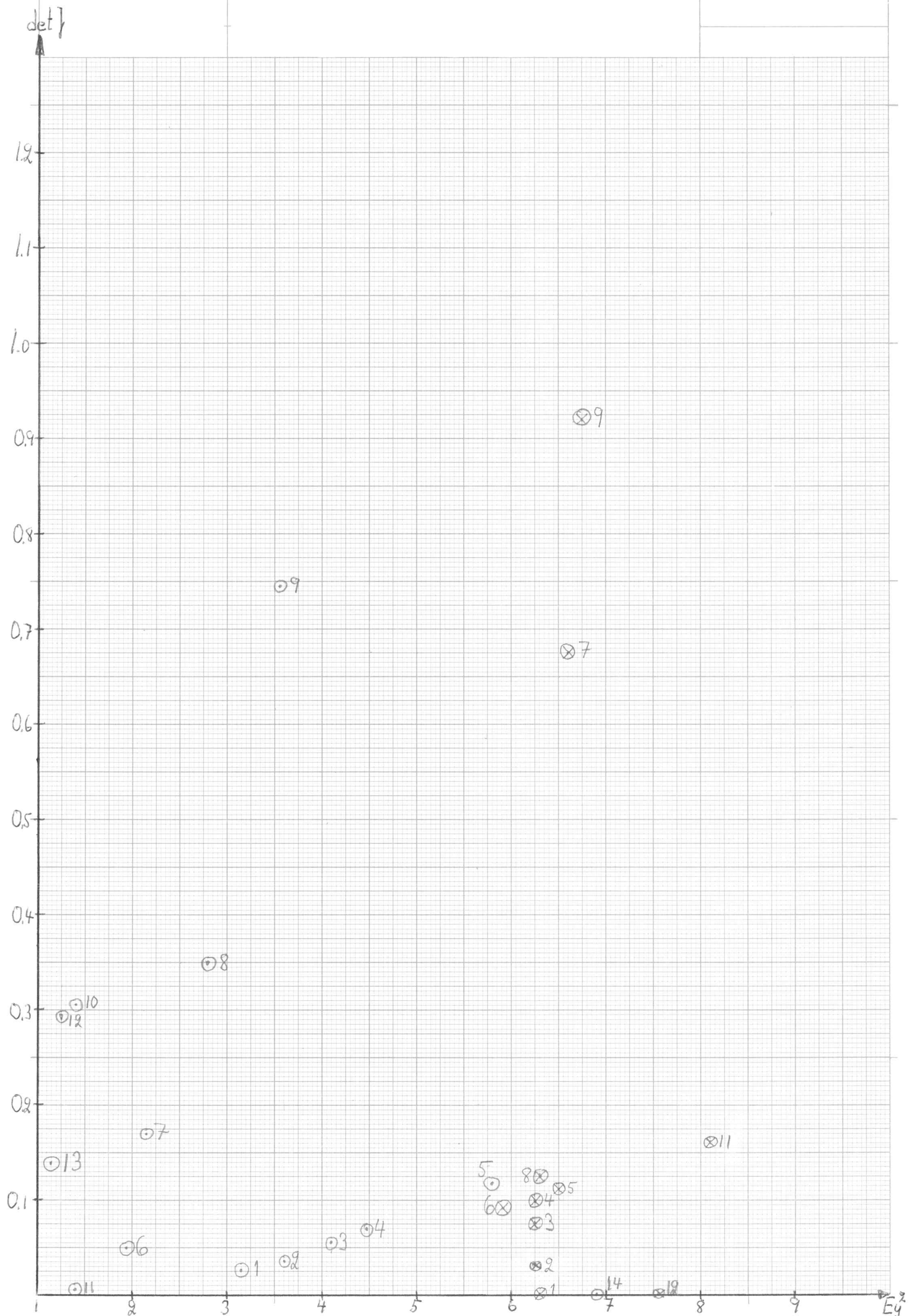
Tabellhuvud till diagrammen 4.6.5-7.

Andra ordningens sytem.
Mättning.

$F = 1.0,\ G = g_0$			$F = 1.0 + 0.5q^{-1},\ G = g_o + 0.7q^{-1}$		
Bet.	Mättning	g_o	Bet.	Mättning	g_o
⊗1	0.5	-0.1	⊙1	0.5	-1.0
⊗2	"	-0.5	⊙2	"	-1.5
⊗3	"	-1.0	⊙3	"	-2.0
⊗4	"	-2.0	⊙4	"	-2.4
⊗5	"	-4.0	⊙5	"	-6.0
⊗6	0.8	-0.5	⊙6	1.0	-1.0
⊗7	"	-2.0	⊙7	"	-1.5
⊗8	1.0	-0.5	⊙8	"	-2.0
⊗9	"	-1.0	⊙9	"	-2.4
⊗10	"	-2.0	⊙10	2.0	-1.5
⊗11	2.0	-0.5	⊙11	2.5	-1.0
⊗12	0.1	"	⊙12	"	-1.5
			⊙13	3.0	-1.5
			⊙14	0.1	-1.5

Andra ordningens system.

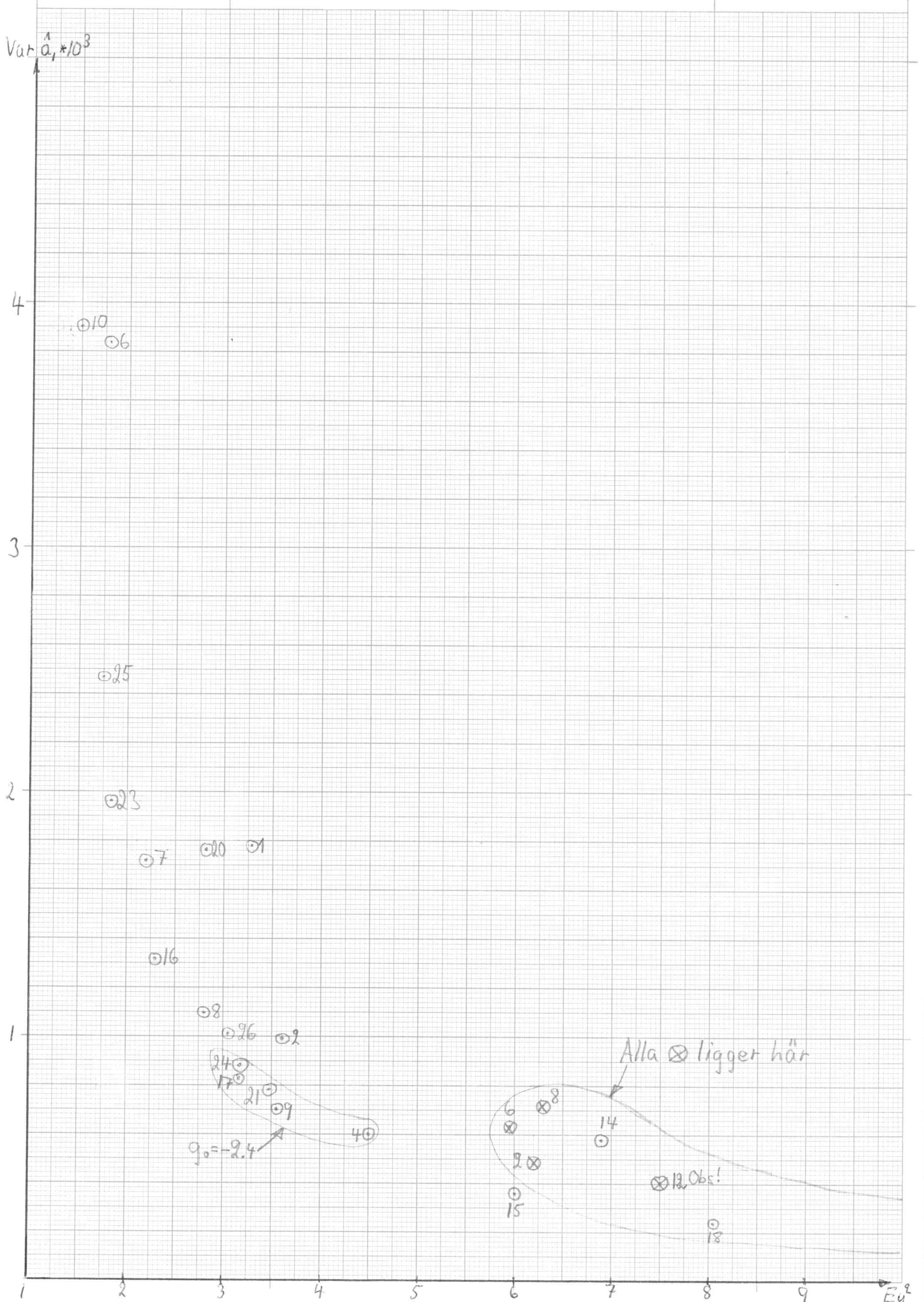
Diagram 4.6.5



⊙11

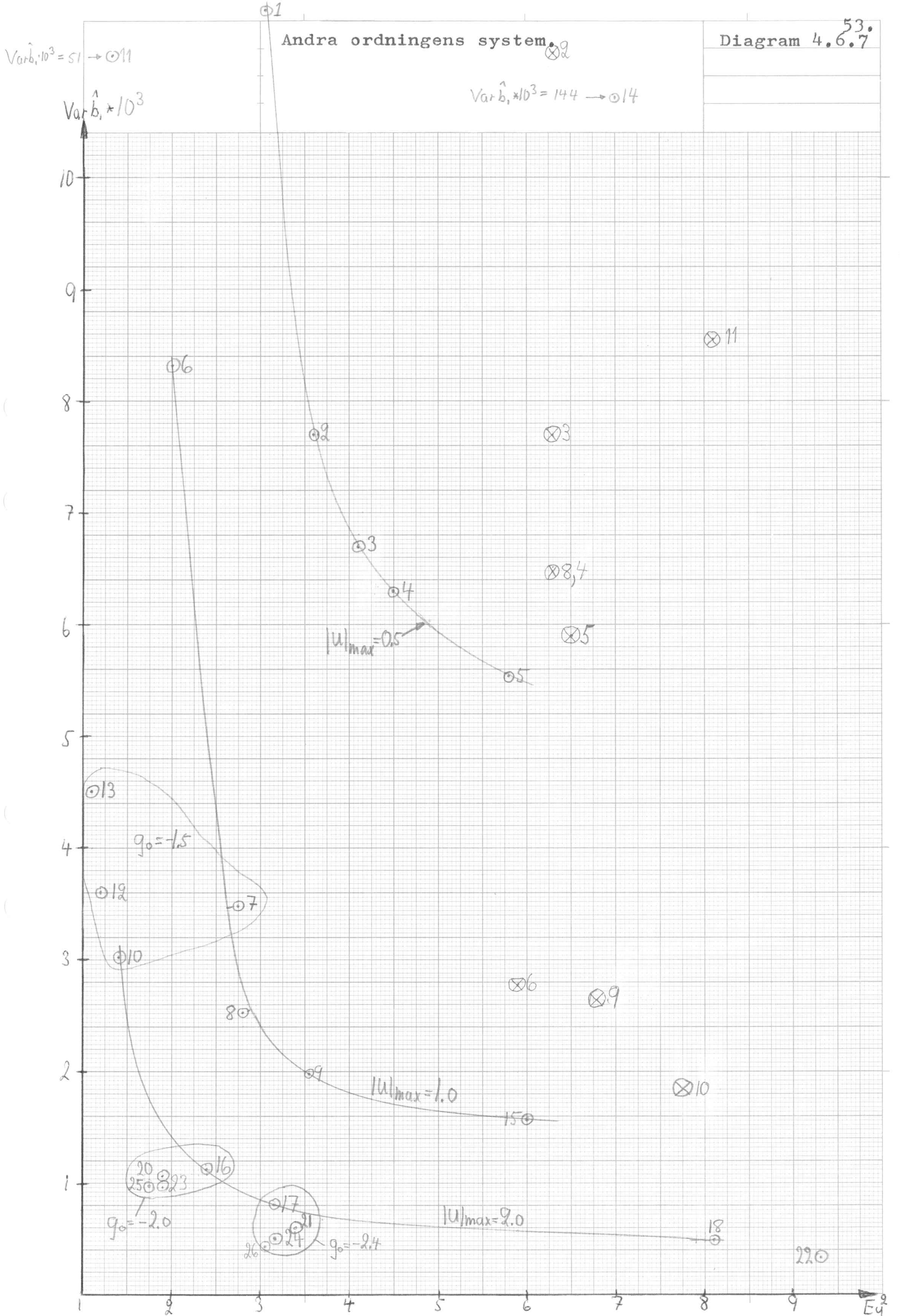
Andra ordningens system.

Diagram 4.6.6

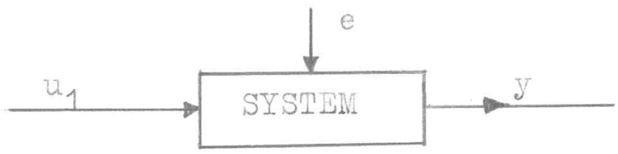


Andra ordningens system.

Diagram 4.6.7



4.7 Open loop



Ett antal insignaler har körts genom de två systemen för att få jämförande estimeringar i open loop.

Följande insignaler har använts:

PRBS
PRBS 10
NORM
NORM1 — Se tidigare förtydliganden under
NORM2 — avsnitt 4.5.
NORM3
SRTW 0.2

Då insignalen är lika med noll erhålles minsta utsignalvarians. Denna har teoretiskt beräknats till 2.78 för första ordningens system och till 8.50 för andra ordningens system.

Resultaten kan utläsas ur sammanställningsdiagrammen enligt 4.8.

4.8 Sammanfattning av avsnitten 4.3-4.7

För att få en överblick över de resultat som erhållits i avsnitt 4.3-4.7 har några intressanta punkter från varje försöksserie utvalts och plottats i några sammanställningsdiagram. (Se diagram 4.8.0-2 för första ordningen och 4.8.3-6 för andra ordningen).

Både för konstant återkoppling, konstant återkoppling kombinerad med yttre insignal, styckvis konstant återkoppling och olinjär återkoppling (undantaget dödzon) kan resultat nära de optimala uppnås.

För konstant återkoppling utan insignal bör man välja minimalvariansregulatorn "utbyggd" med termer så att villkoret för identifierbarhet är uppfyllt.

För konstant återkoppling med insignal bör man välja minimalvariansregulatorn och t.ex. någon av de insignaler vi undersökt här.

För styckvis konstant återkoppling bör man variera regulatorn symmetriskt kring minimalvariansregulatorn. Ett steg är en enkel och bra variationstyp.

Ett sätt att få bra resultat då man arbetar med någon eller några av ovanstående metoder är att dela upp identifieringen i två steg. Ett där man skaffar sig en approximativ modell av systemet. Ur denna räknar man fram en"minimalvariansregulator" som sedan används i steg två.

För olinjär återkoppling kan man inte dra några generella slutsatser. För de enskilda olinjäriteterna kan dock vissa tendenser observeras.
De båda försöken med begränsning visar att begränsningen är viktig. Dödzon är direkt dålig. De få försök som gjorts med exponentiering tyder på att minimalvariansregulatorn är bra.

Tabellhuvud till diagram 4.8.0-2.

Första ordningens system. Sammanställningsdiagram.

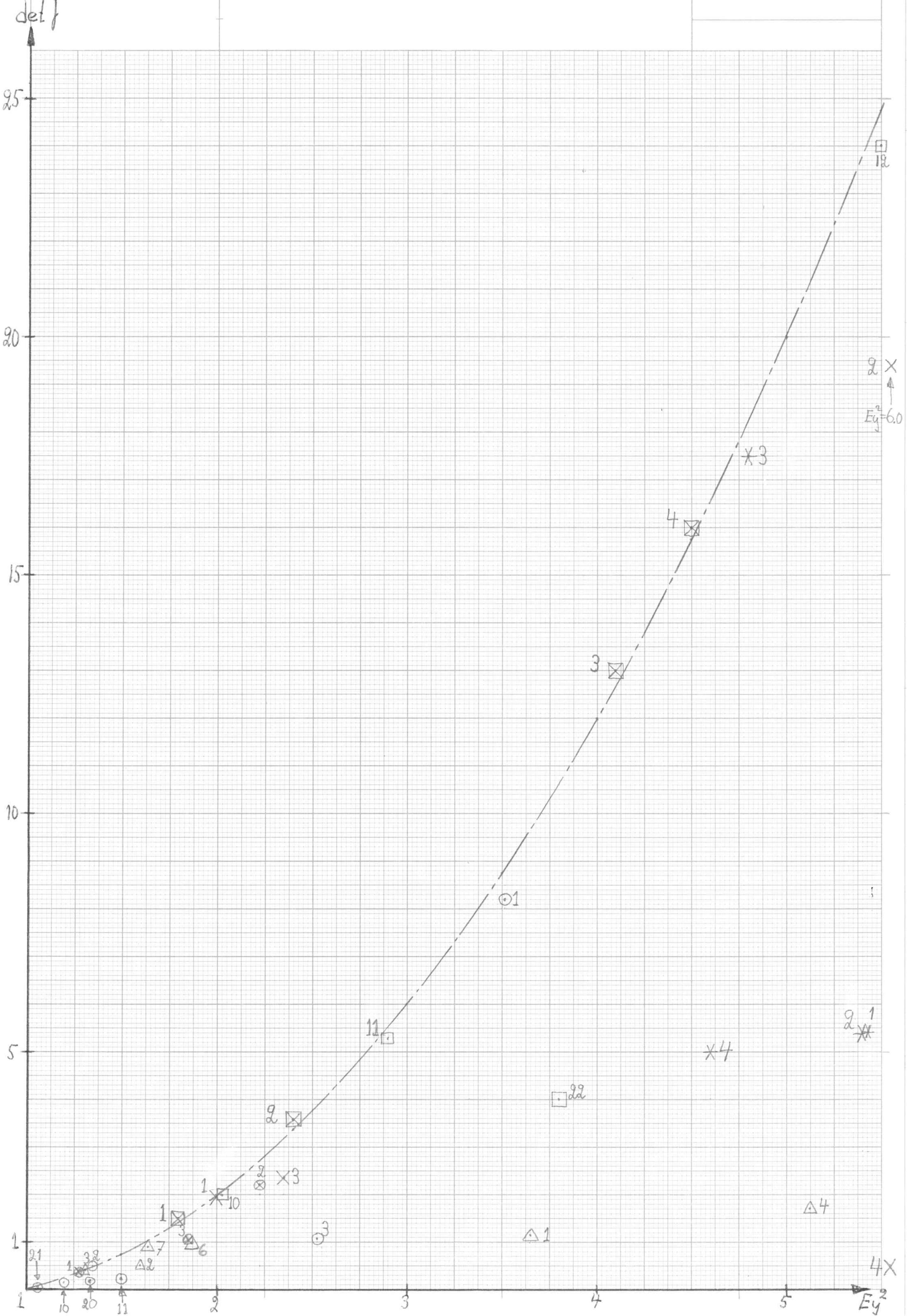
Streckprickade —·—· linjen är teoretiska "bästa-kurvan".

Bet.	Regulatortyp etc.			f_o	g_o
	Linjär, konstant				
	f_1	g_1	g_2		
△1		0.5		1.0	-1.2
△2		"		"	-1.0
△3		"		"	-0.8
△4		"		"	-0.35
△6	0.5	0.3		"	-0.4
△7		"	0.5	"	-0.8
	Linjär, styckvis konstant				
	Regulatortyp		STM		
⊡10	1	se 4.4	1.4	"	-0.8
⊡11	1	"	1.6	"	"
⊡12	1	"	1.8	"	"
⊡22	1	"	1.4	"	-1.0
⊠1	3	"	"	"	-0.8
⊠2	3	"	1.6	"	"
⊠3	3	"	1.8	"	"
⊠4	4	"	"	"	"
	Yttre insignal				
	typ		ampl.		
×1	NORM		1.0	"	-0.8
×2	NORM1		"	"	-0.4
×3	PRBS		"	"	-1.2
×4	NORM		0.3	"	-1.7
	Begränsning av u				
	u_{max}				
⊙1	2.0			"	-2.5
⊙2	0.6			"	-1.5
⊙3	0.01			"	-1.7
	Begränsning av $\lvert u \rvert$				
	$\lvert u \rvert_{max}$				
⊗1	1.0			"	-8.0
⊗2	2.0			"	"
⊗3	"			"	-3.0
	Exponentiering				
	exp				
⊙10	0.5			"	-1,7
⊙11	"			"	-2.5
	Dödzon				
	dödzon(D)				
⊙20	0.8			"	-1.7
⊙21	0.5			"	-1.2
	Open loop	insignal			
✳1		PRBS			
✳2		NORM			
✳3		NORM1 skalad 0.77 dvs $\sigma_e = 1.0$			
✳4		NORM2			

Första ordningens system.

Sammanställningsdiagram.

Diagram 4.8.0

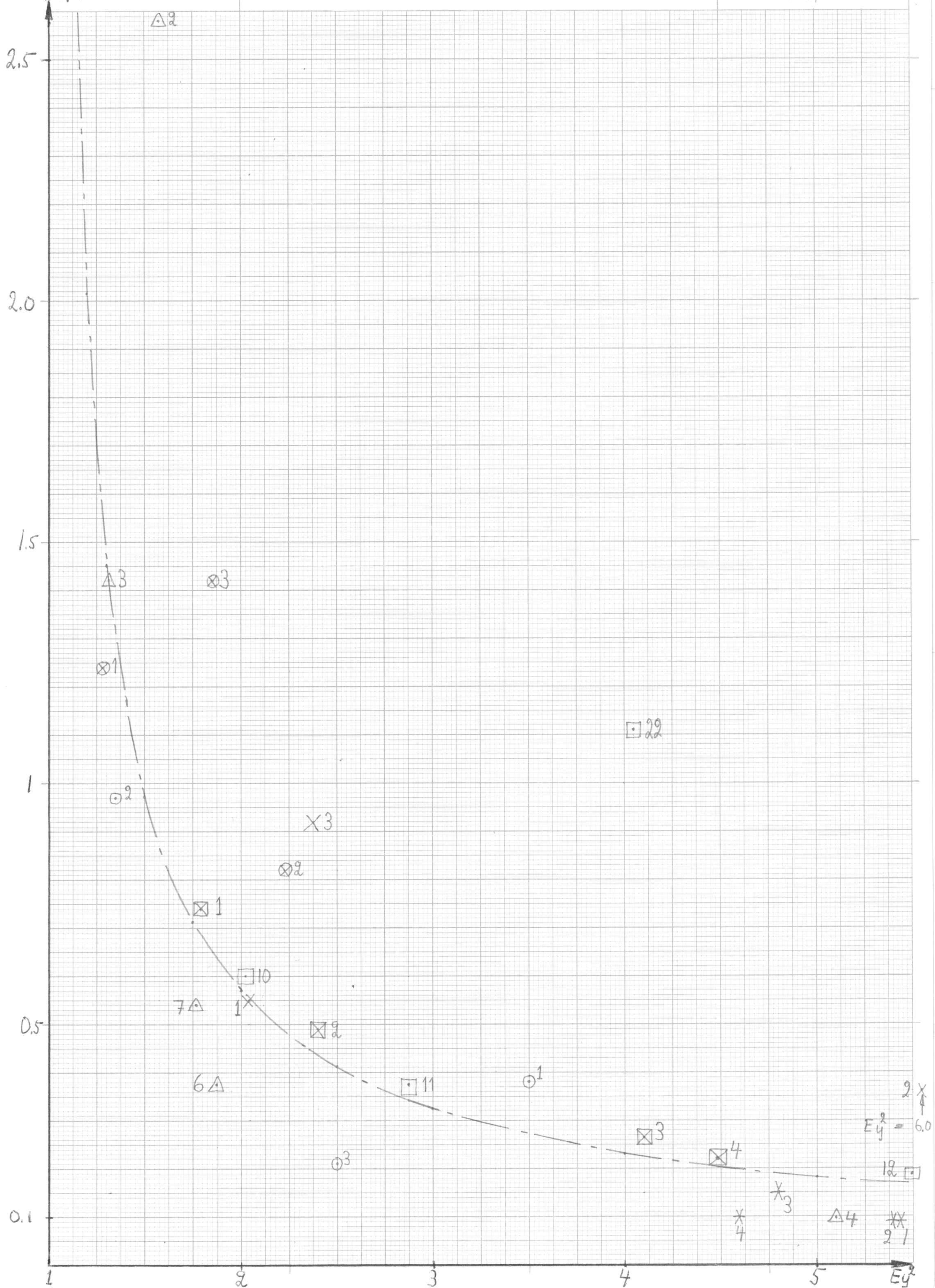


SIS 732501 · 514 A4 · 1 x 1 mm

Första ordningens system.

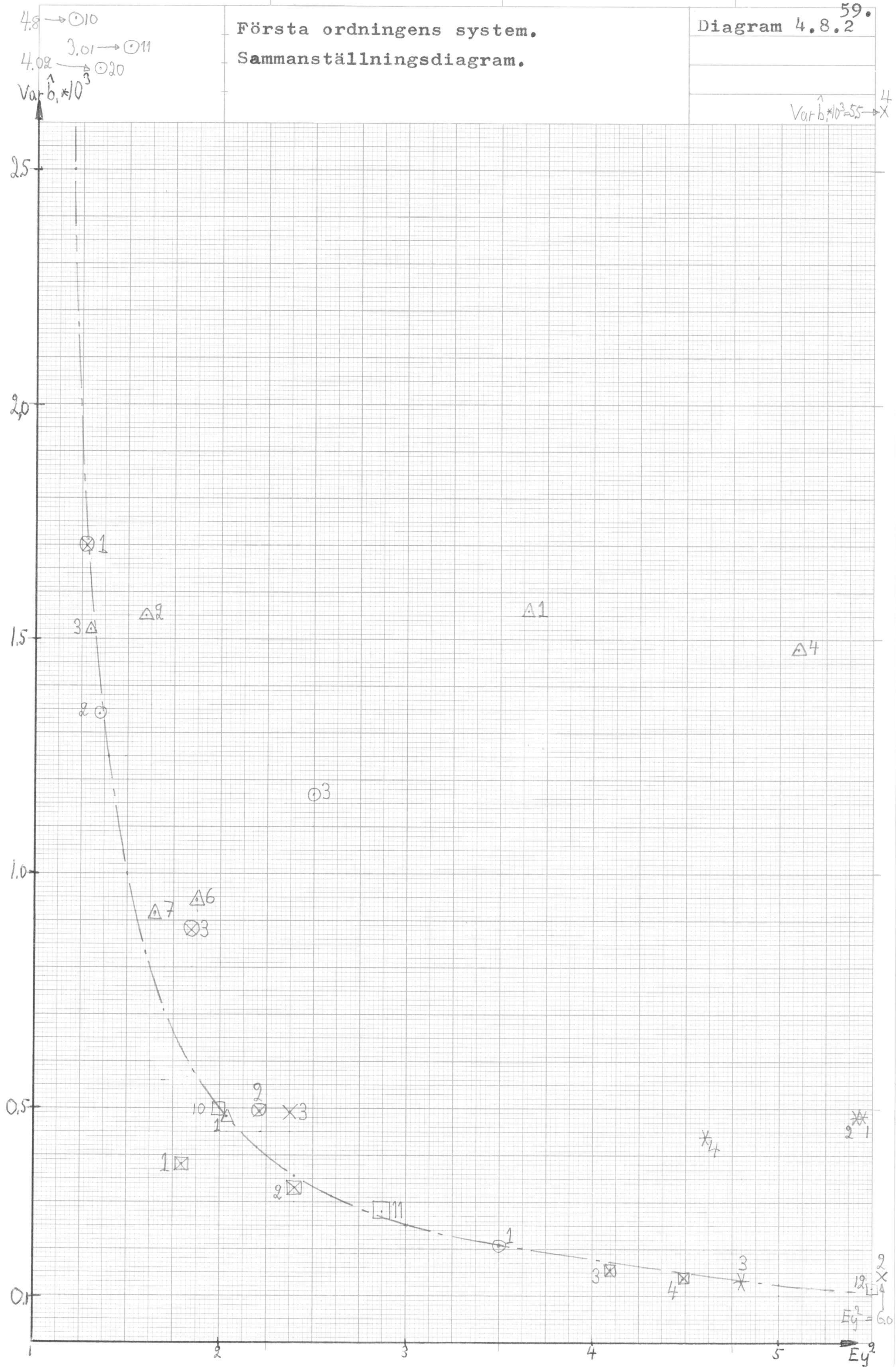
Sammanställningsdiagram.

Diagram 4.8.1



Första ordningens system.
Sammanställningsdiagram.

Diagram 4.8.2

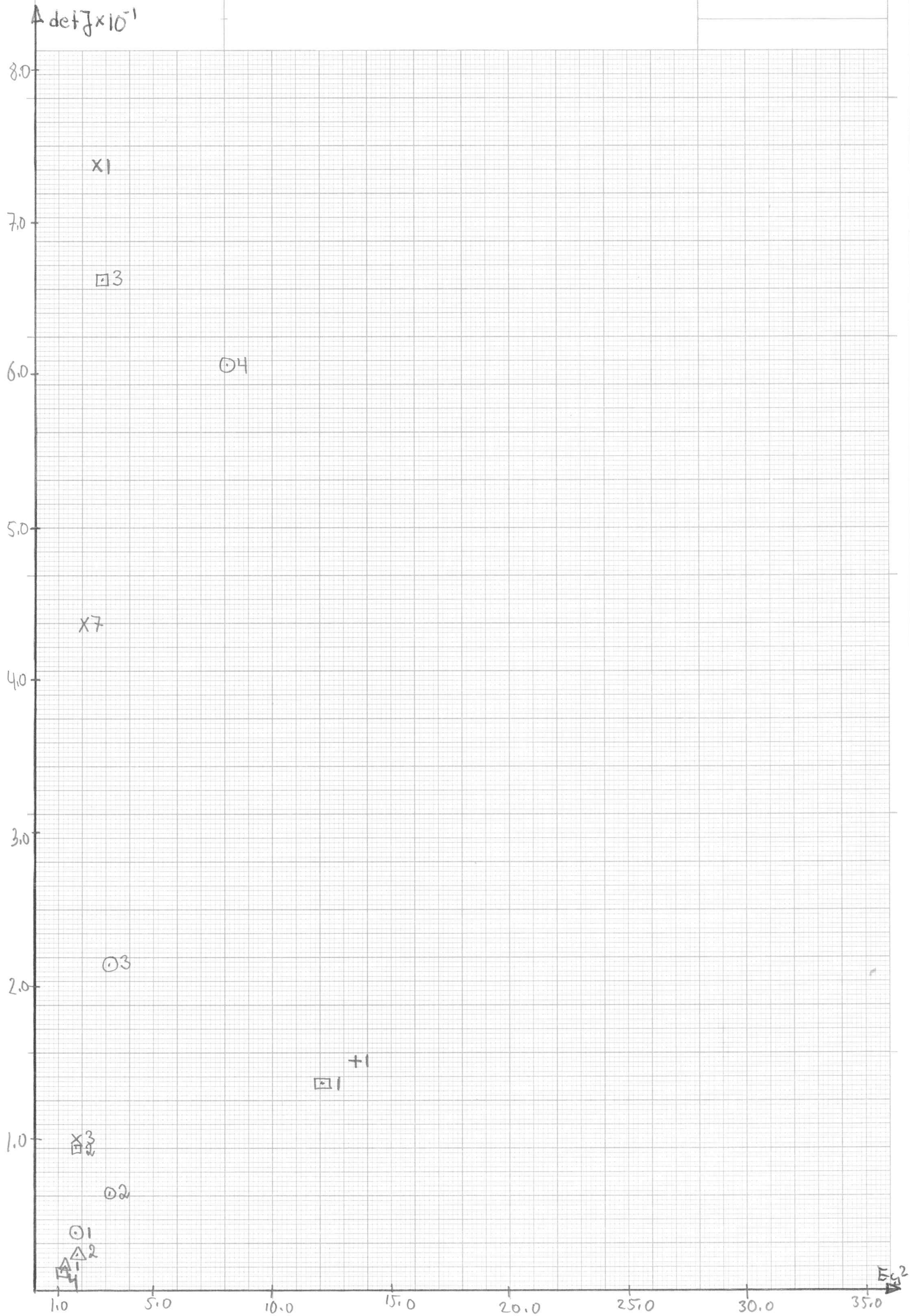


<u>Tabellhuvud för diagram 4.8.3-6.</u>
(Sammanställningsdiagram)
<u>Andra ordningens system.</u>

Bet.	Regulatortyp etc.			f_o	f_1	f_2	g_o	g_1	g_2	från diagram.
△1	konstant, linjär			1.0	0.5		-1.5	0.7	-0.5	4.3.2
△2	"			"	"	0.4	-1.0	"	"	"
△3	"			"	"	"	-1.5	"	"	"
	styckvis konstant med ett steg.									
⊡1	"	STM=0.55		"			-0.23			4.4.4-5
⊡2	"		1.2	"	"		-1.6	"		"
⊡3	"		1.6	"	"		-1.5	"		"
⊡4	"		0.8	"	"		-1.5	"		"
	yttre insignal									
	typ		amplitud							
+1	PRBS	"	0.6	"			-0.4			4.5.2-3
+2	"	"	1.0	"			-0.4			"
X1	"	"	"	"	"		-2.0			"
X2	"	"	"	"	"		-2.4			"
X3	NORM	"	0.6	"	"		-2.0			"
X4	"	"	1.0	"	"		"			"
X5	"	"	"	"	"		-2.4			"
X6	"	"	1.6	"	"		-1.5			"
X7	NORM2	"	1.0	"	"		"			"
X8	"	"	"	"	"		-2.0			"
X9	"	"	1.6	"	"		-1.5			"
X10	NORM3	"	1.0	"	"		"			"
	begränsning av $\|u\|_{max}$									
	(mättning)		M							
⊙1		"	3.0	"	"		-2.0			4.6.5-7
⊙2		"	2.0	"	"		-2.4			"
⊙3		"	3.0	"	"		"			"
⊙4		"	2.0	"	"		-4.0			"
⊙5		"	"	"	"		-6.0			"
⊙6		"	2.5	"	"		-4.0			"
	open loop insignal									
✱1		"	NORM							
✱2		"	NORM1							
✱3		"	NORM2							
✱4		"	NORM3							
✱5		"	PRBS							

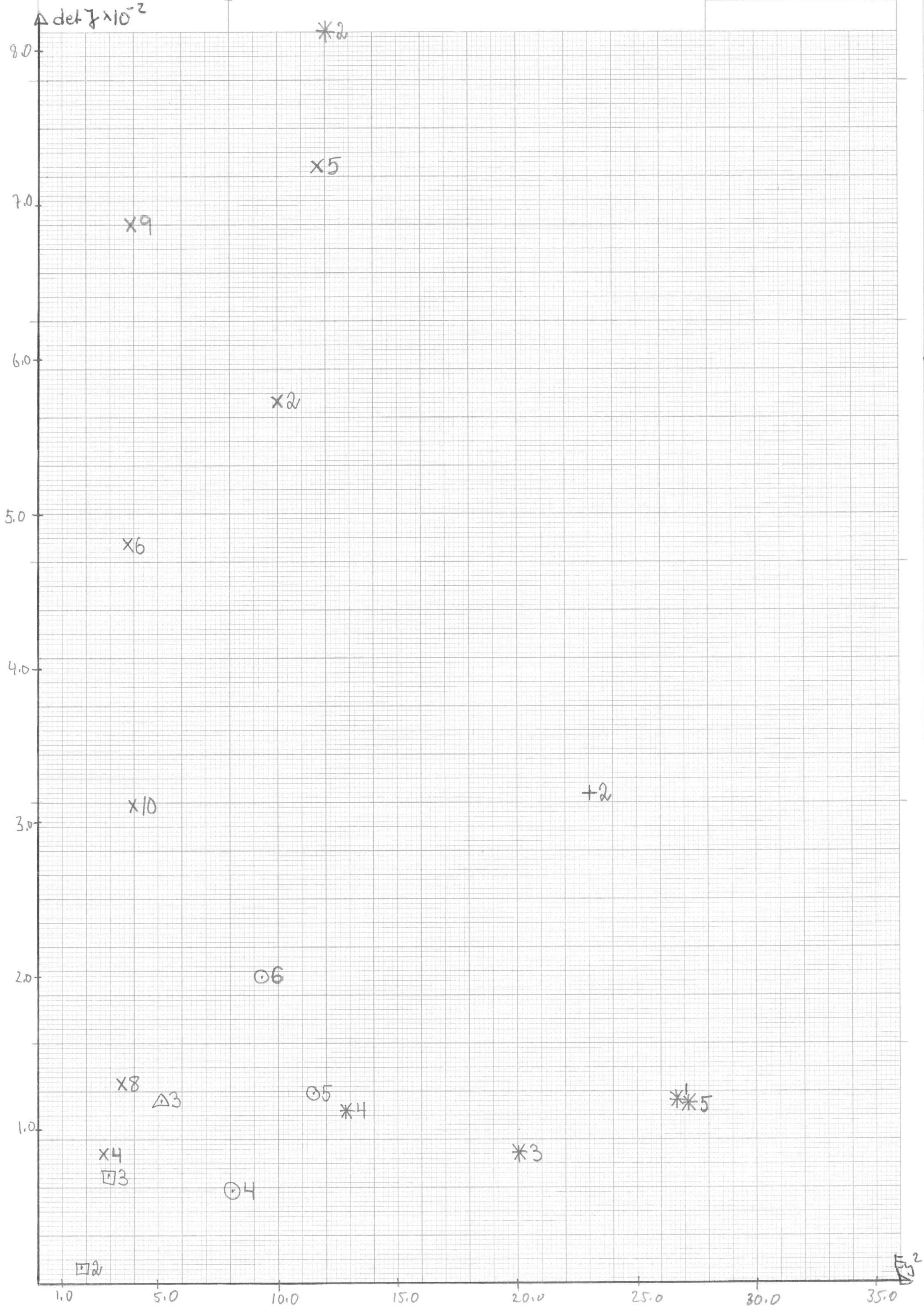
Sammanställningsdiagram.
Andra ordningens system.

Diagram 4.8.3



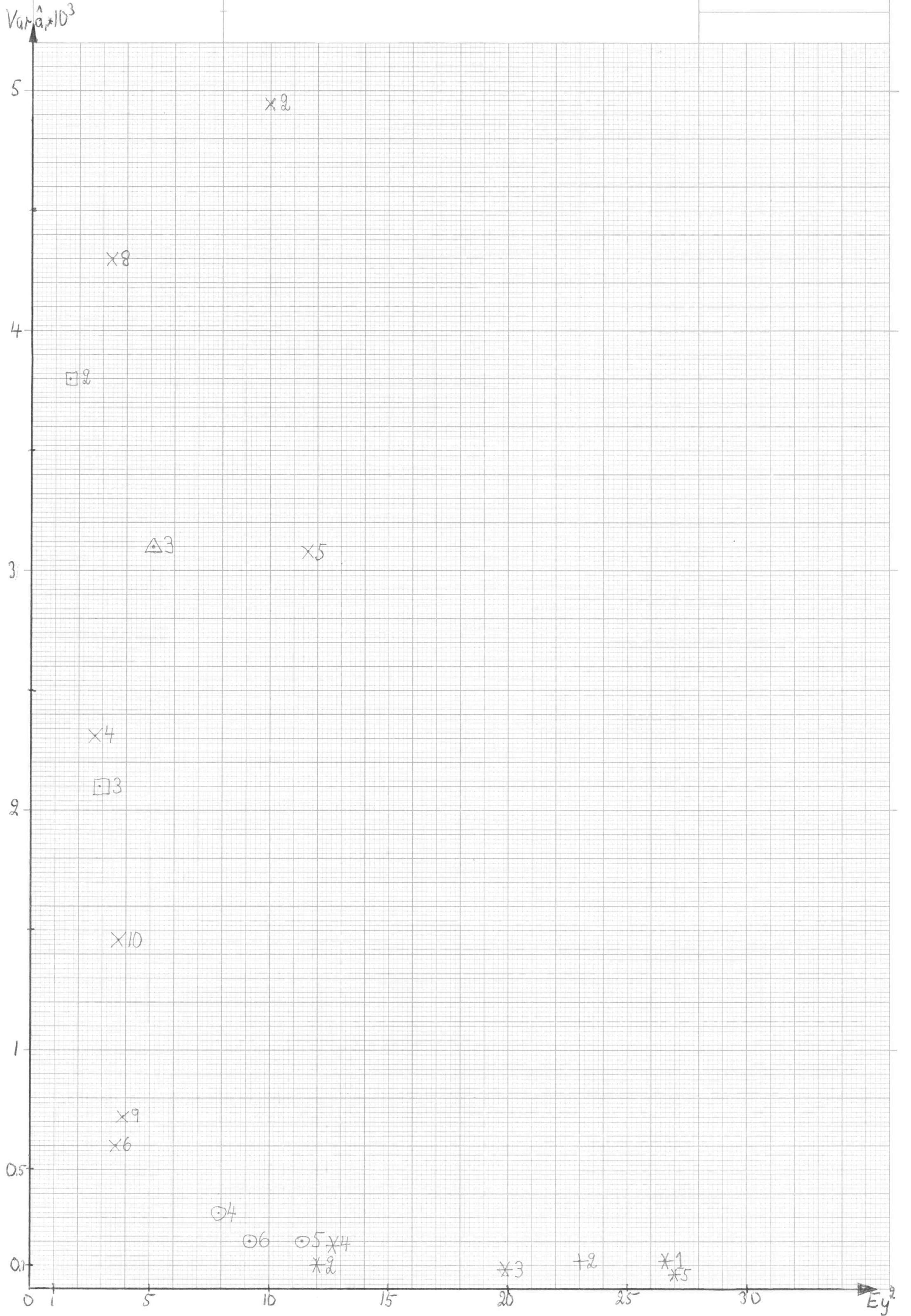
Sammanställningsdiagram.
Andra ordningens system.

Diagram 4.8.4



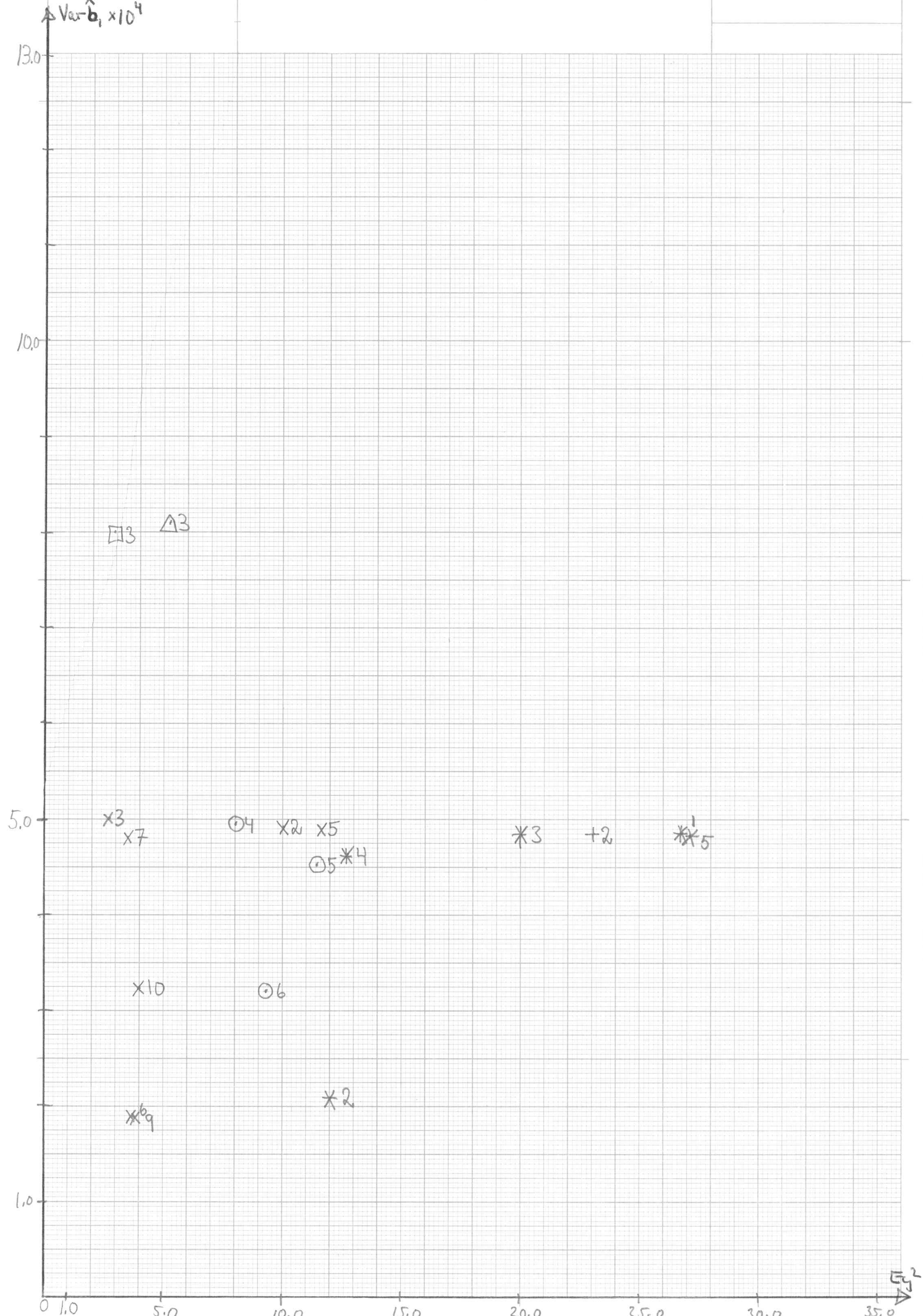
Sammanställningsdiagram.
Andra ordningens system.

Diagram 4.8.5



Sammanställningsdiagram.
Andra ordningens system.

Diagram 48.6



5. Inverkan av gemensamma faktorer

Det återkopplade systemet

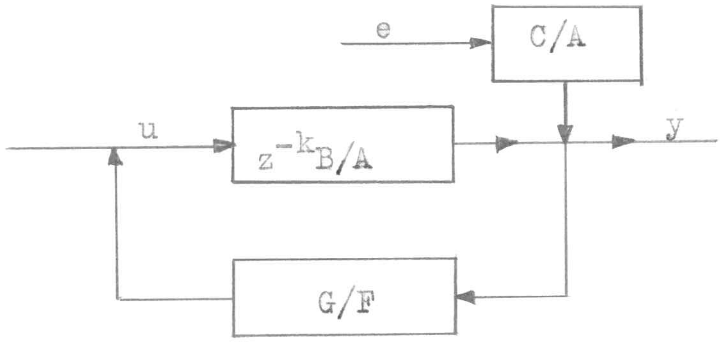


Fig. 5.1 Återkopplat system.

betraktas.

Där

$A = 1.0 - 0.8q^{-1}$
$B = 1.0q^{-1}$
$C = 1.0 + c_1 \cdot q^{-1}$
$F = 1.0$
$G = -0.8 + 0.5q^{-1}$
$k = 0$

Kravet på identifierbarhet är $\max(n_f - n_b, n_g + k - n_a) - n_p \geq 0$.
Ovanstående återkopplade system är alltså identifierbart då $n_p = 0$, där n_p är antalet gemensamma faktorer mellan polynomen $AF - z^{-k}BG$ och CF.

$$\left(y(t) = \frac{CF}{AF - z^{-k}BG}\, e(t)\right)$$

För att undersöka hur identifieringsnoggrannheten beror av C-polynomet har olika c_1 i intervallet $-0.9 \leq c_1 \leq 0.9$ undersökts.
I diagram 5.1 redovisas det J, som är ett mått på noggrannheten, som funktion av c_1. Ur detta diagram kan man utläsa att systemet inte är identifierbart för $c_1 \approx \pm 0.7$.

Teoretiskt fås:

$$AF - z^{-k}BG = 1.0 - 0.8q^{-1} - 1.0q^{-1}(-0.8 + 0.5q^{-1}) =$$

$$= 1.0 - 0.5q^{-2} = (1 + 1/\sqrt{2}\, q^{-1})(1 - 1/\sqrt{2}\, q^{-1}).$$

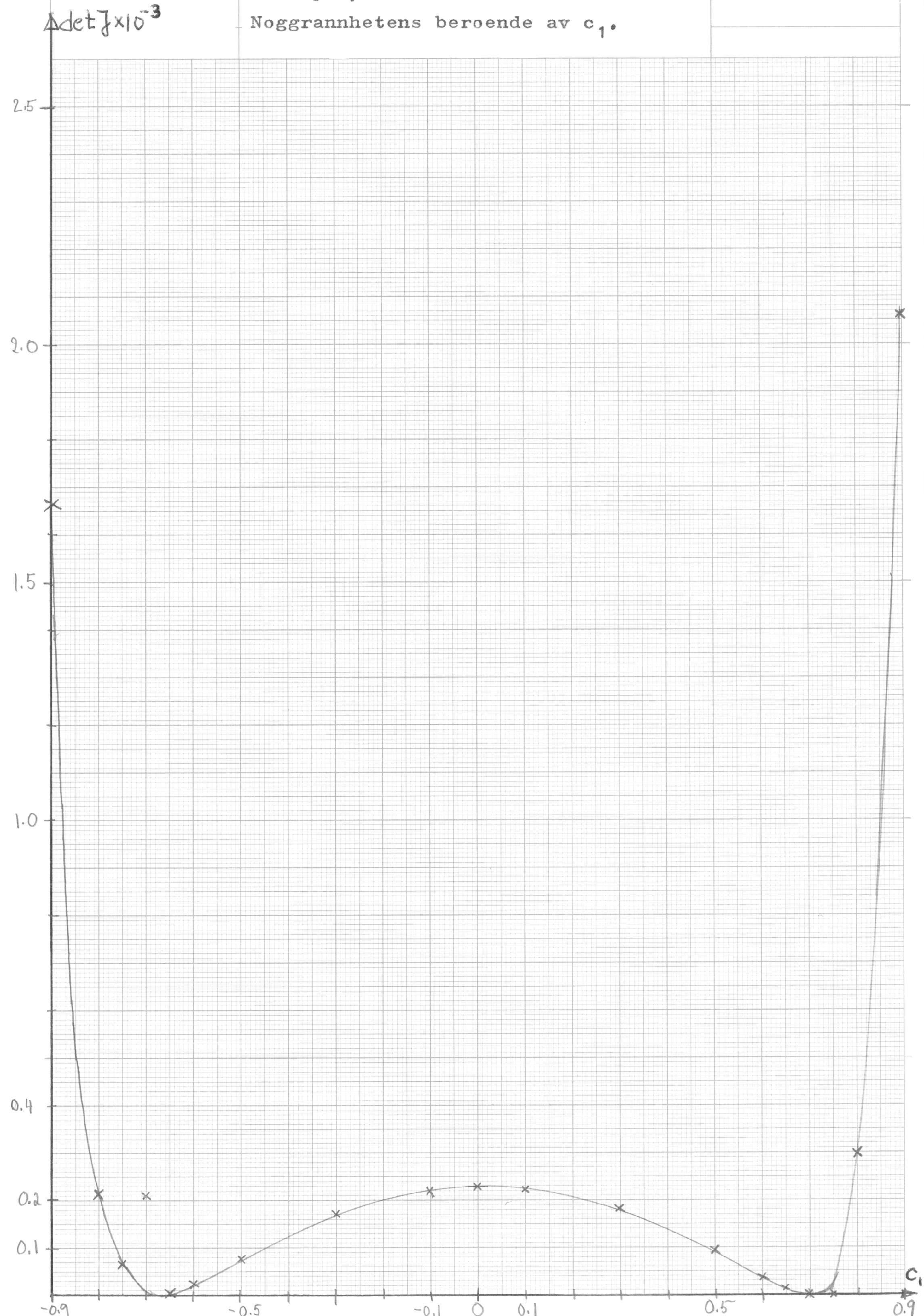
$$CF = 1.0 + c_1 \cdot q^{-1}$$

Då $c_1 = \pm 1/\sqrt{2}$, (0.707) fås gemensamma faktorer.

Vid dålig noggrannhet (dvs i närheten av $|c_1| \approx 0.7$) kan man få punkter som skiljer sig från det förväntade värdet. Detta bottnar i att informationsmatrisen då är nästan singulär vilket ger inverteringsproblem för IDPAC.

Första ordningens system med varierande C-polynom.
Noggrannhetens beroende av c_1.

Diagram 5.1



REFERENSER

Åström, K.J and Bohlin T. (1965)
Numerical identification of linear dynamic systems from normal operating records. Paper at the IFAC Symp. on Theory of self-adaptive control systems, Teddington, England. Also in Theory of Self-Adaptive Control Systems (ed. P. Hammond), Plenum Press, New York (1966)

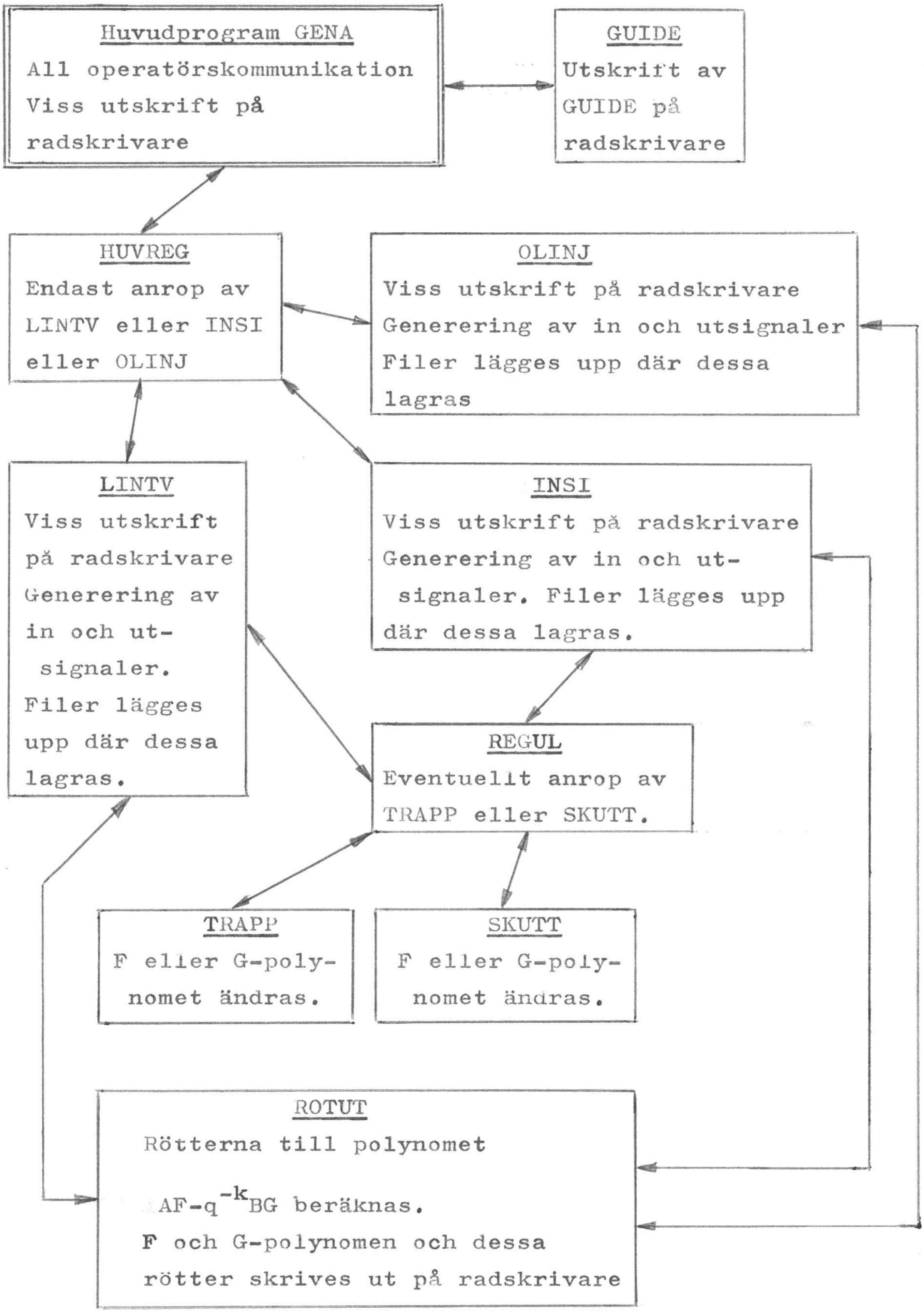
Åström, K.J. and Eykhoff, P. (1971)
System identification - a survey. Automatica, Vol. 7, No. 2, pp 123-162

Gustavsson, I. and Ljung, L. and Söderström, T. (1974)
Identification of linear, multivariable process dynamics using closed loop experiments.
Report 7401 January 1974, Lund Institute of Technology, Division of Automatic Control

Gustavsson, I. and Selander, S. and Wieslander, J. (1973)
IDPAC users guide
Report 7331 October 1973, Lund Institute of Technology, Division of Automatic Control

APPENDIX

Blockschema över simuleringsprogrammet.



Listning av huvudprogram och subrutiner.


```
C       HUVUDPROGRAM GENA
C
C
        DIMENSION D(8),PO(3),POFFE(11)
        COMMON LU2,A(10),B(10),C(10),F(10),G(10),AF(10),BG(10),
       CPOLY(10),AR(10),ZR(10),ZI(10),LL(10),
       CUOLD(10),YOLD(10),EOLD(10),IX(10),Z(2)
        COMMON /SUBPAR/ IM,NSLING,NAPPS,FNAMN,IK,IL,II,JJ,STM1,
       CSTM2,K,NA,NB,NF,NG,NA1,NB1,NC1,NF1,NG1,IT,LU4,I1,I2,AM,KK
        COMMON /INSOL/ FILNM,AMPL,LU5,IGEN,LFU(10),LGY(10),
       CLOL,OLLE,NSNA
        DATA FEL/1HF/
        DATA EJ/3HNEJ/,AJA/2HJA/
        DATA D(1),D(2),D(3),D(4),D(5),D(6),D(7),D(8)/
       C4HDAT1,4HDAT2,4HDAT3,4HDAT4,4HDAT5,4HDAT6,4HDAT7,4HDAT8/
        DATA PO/1HF,1HG,1HI/,POFFE/1H0,1H1,1H2,1H3,1H4,1H5,
       C1H6,1H7,1H8,1H9,5HNGET10/
C
C       FIXVÄRDEN
C
        IC=1
C
        LU1=10
C       10=DISPLAY (TV)
C
        LU2=6
C       6=RADSKRIVARE
C
        LU3=8
C       8=TELETYPE
C
C       STARTVÄRDEN
C
        LYD=0
        IGEN=0
C
        WRITE(LU1,1001)
1001    FORMAT('10M DU INTE AER VAEL FORTROGEN MED
       C INNEBORDEN AV ALLA MINA '/' KOMMANDON,VILL JAG
       C VARMT REKOMMENDERA MIN GUIDE,'/' SOM UTSKRIVES
       C GRATIS PA RADSKRIVAREN OM DU SKRIVER JA.'/' OM
       C GUIDE EJ ONSKAS SA SKRIV NEJ.'//20X,'LYCKA
       C TILL10  GENA.')
        READ(LU3,1085) GUI
        IF(GUI.EQ.AJA) CALL GUIDE
1       WRITE(LU1,2000)
2000    FORMAT(////' REGEL: KOMMANDON GIVNA PA SAMMA
       C RAD'/'  SKRIVES I EN FOLJD MED BLANKTECKEN MELLAN,'/
       C' OM INGET ANNAT ANGES.'///' SKRIV JA
       C NAER "REGEL" AER UPPFATTAD.')
        READ(LU3,1085)OK
        IF(OK.NE.AJA) GO TO 1
        WRITE(LU1,2090)
2090    FORMAT(///' SKRIV DATUM.  AA MM DD'//
       C' SKRIV TID.  TT MM')
        MAA=IRTTFF(IC)
        MMM=IRTTFF(IC)
        MDD=IRTTFF(IC)
        KTT=IRTTFF(IC)
        KMM=IRTTFF(IC)
C
C       SKRIV VÄRDEN PA IT, LU4,  NA ,NB,NC,NF,NG OCH K
C
```

```
5       WRITE(LU1,1011)
1011  FORMAT('1SKRIV STARTVAERDE IT FOR MCNODI(IT,E)
     C SOM LEVERERAR BRUS.'/' IT AER ETT UDDA HELTAL.
     C VANLIGEN AER IT=19.'//
     C' SKRIV VAR DU VILL LAGRA DATA. 1=DK, 4=DT2.')
      IT=IRTTFF(IC)
      LU4=IRTTFF(IC)
      ITS=IT
      WRITE(LU1,1010)
1010  FORMAT(/' SKRIV  NA  NB  NC  NF  NG  K')
      NA=IRTTFF(IC)
      NB=IRTTFF(IC)
      NC=IRTTFF(IC)
      NF=IRTTFF(IC)
      NG=IRTTFF(IC)
      K=IRTTFF(IC)
C
      NA1=NA+1
      NB1=NB+1
      NC1=NC+1
      NF1=NF+1
      NG1=NG+1
C
C     INLÄSNING AV POLYNOMEN
C
      WRITE(LU1,1020)
      DO 15 I=1,NA1
15    A(I)=RTTFF(IC)
      WRITE(LU1,1030)
      DO 20 I=1,NB1
20    B(I)=RTTFF(IC)
      WRITE(LU1,1040)
      DO 25 I=1,NC1
25    C(I)=RTTFF(IC)
      WRITE(LU1,1050)
      DO 30 I=1,NF1
30    F(I)=RTTFF(IC)
      WRITE(LU1,1060)
      DO 35 I=1,NG1
35    G(I)=RTTFF(IC)
1020  FORMAT(/' SKRIV A-POLYNOMET')
1030  FORMAT(/' SKRIV B-POLYNOMET')
1040  FORMAT(/' SKRIV C-POLYNOMET')
1050  FORMAT(/' SKRIV F-POLYNOMET')
1060  FORMAT(/' SKRIV G-POLYNOMET')
C
C     VÄLJ ANTAL REALISERINGAR, REGULATORTYP OCH DYLIKT
C
      WRITE(LU1,1065)
1065  FORMAT(//' SKRIV ANTAL REALISERINGAR')
      NL=IRTTFF(IC)
C
C     HÄR SÄTTES BÅDA REGULATORERNA TILL KONST
C
      IK=1
      IL=1
      I1=3
      I2=3
      II=11
      JJ=11
      WRITE(LU1,1070)
1070  FORMAT(/' SKRIV FOR LINTV 1  FOR INSI 2 FOR OLINJ 3 '
     C/16X,'(VID FELSKRIVNING: SKRIV -1 OCH BORJA OM.)')
      IM=IRTTFF(IC)
```

```
      IF(IM.LT.0) GO TO 5
      GO TO (40,39,50),IM
39    WRITE(LU1,1079)
1079  FORMAT('1SKRIV VAR INSIGNALEN SKALL HAEMTAS.'/
     C6X,' 1=DK, 3=DT1, 4=DT2.')
      LU5=IRTTFF(IC)
      WRITE(LU1,1080)
1080  FORMAT(/' SKRIV FILNAMNET PAA INSIGNALEN:
     CPRBS,SINUS,NORM ETC.'/
     C' OCH AMPLITUDFAKTOR: VANLIGEN 1.0')
      READ(LU3,1085)FILNM
1085  FORMAT(A5)
      AMPL=RTTFF(IC)
40    WRITE(LU1,1090)
1090  FORMAT(/' SKRIV ANTAL REGULATORER PER REALISERING OCH ANTAL
     CPUNKTER PER REGULATOR ')
      NSLING=IRTTFF(IC)
      NAPPS=IRTTFF(IC)
      GO TO 38
37    WRITE(LU3,3021)
38    WRITE(LU1,1110)
1110  FORMAT(/' HUR MANGA KOEFFICIENTER VILL VI ANDRA
     C? 0,1 ELLER 2')
      IKK=IRTTFF(IC)
      IF(IKK.LT.0.OR.IKK.GT.2) GO TO 37
      IF (IKK-1) 80,70,60
60    WRITE(LU1,1120)
1120  FORMAT(/' SKRIV 1 OM F SKALL ANDRAS OCH 2 OM G
     C  OCH SEDAN VILKEN KOEFFICIENT. ')
      I1=IRTTFF(IC)
      III=IRTTFF(IC)
      II=III+1
      WRITE(LU1,1140)
1140  FORMAT(' SKRIV REGULATORNUMMER,  2=TRAPP , 3=SKUTT OCH MAX
     CSTEPBREDD ')
      IK=IRTTFF(IC)
      STM1=RTTFF(IC)
70    WRITE(LU1,1120)
      I2=IRTTFF(IC)
      JJJ=IRTTFF(IC)
      JJ=JJJ+1
      WRITE(LU1,1140)
      IL=IRTTFF(IC)
      STM2=RTTFF(IC)
80    NSNA=NSLING*NAPPS
      GO TO 59
C
50    WRITE(LU1,1139)
1139  FORMAT('1SKRIV ANTAL PUNKTER PER REALISERING.')
      NSNA=IRTTFF(IC)
C
C     ETTSTÄLLNING AV LFU OCH LGY SOM ANVÄNDES SOM EXPONENTER
C     I SUBROUTINE OLINJ.
C
      DO 51 LFG=1,10
      LFU(LFG)=1
51    LGY(LFG)=1
C
C     NEDAN TILLDELAS OM SÅ ÖNSKAS LFU OCH LGY
C     VÄRDEN SKILDA FRÅN ETT.
C
      WRITE(LU1,1141)
1141  FORMAT(/' U(T)=G0*Y(T)+G1*Y(T-1)-F1*U(T-1)+...')
52    WRITE(LU1,1142)
```

```
1142  FORMAT(' OM DU VILL HA U(T-K)**LEXP SAA SKRIV K.
     C  K=(1,2,3,...)'/
     C' NAER DU AER KLAR SKRIV 11.'/
     C' SKRIV LEXP. LEXP=(ALLA HELTAL).')
      JUJ=IRTTFF(IC)
      IF(JUJ.GE.11) GO TO 53
      LFU(JUJ+1)=IRTTFF(IC)
      GO TO 52
53    WRITE(LU1,1141)
54    WRITE(LU1,1143)
1143  FORMAT(' OM DU VILL HA Y(T-K)**LEXP SAA SKRIV K.
     C  K=(0,1,2,..)'/
     C' NAER DU AER KLAR SKRIV 11.'/
     C' SKRIV LEXP. LEXP=(ALLA HELTAL).')
      JYJ=IRTTFF(IC)
      IF(JYJ.GE.11) GO TO 55
      LGY(JYJ+1)=IRTTFF(IC)
      GO TO 54
C
56    WRITE(LU3,3021)
55    WRITE(LU1,1144)
1144  FORMAT('1U SOM BERAEKNATS MHA FU=GY SKALL PASSERA
     C ETT SYSTEM'/' AV NAAGON AV FOLJANDE TYPER:')
      WRITE(LU1,1145)
1145  FORMAT(//4X,'SKRIV 1 OM U=U'//4X,'SKRIV 2 OM U=(U/ABS(U))
     C*ABS(U)**EXP'
     C/8X,'SKRIV EXP'//4X,'SKRIV 3 OM ABS(U) HAR MAXVAERDE'
     C/8X,'SKRIV MAXVAERDET'//4X,'SKRIV 4 OM U HAR MAXVAERDE'
     C/8X,'SKRIV MAXVAERDET'//4X,'SKRIV 5 OM U=0 OM ABS(U)
     C MINDRE AEN DEADZON'/8X,'SKRIV DEADZON')
      LOL=IRTTFF(IC)
      IF(LOL.EQ.1) GO TO 57
      IF(LOL.LT.2.OR.LOL.GT.5) GO TO 56
      OLLE=RTTFF(IC)
57    WRITE(LU1,2099)
2099  FORMAT(/' VILL DU GENERERA U OCH Y AEVEN OM
     C ABSROT > ELLER = 1?'/' SVARA JA ELLER NEJ.')
      READ(LU3,1085) ABNJ
      IF(ABNJ.EQ.AJA) IGEN=1
C
59    WRITE(LU1,2100)
2100  FORMAT('1VILL DU HA FOLJANDE UTSKRIVET EFTER
     C SYSTEM- OCH REGULATORBESKRIVNINGEN?'//
     C' SVARA JA ELLER NEJ.')
      WRITE(LU1,2101)
2101  FORMAT(/' ',60('-')//5X,'2'/' E(Y) =',17X,'DET(J)='//
     C' VAR(A1)=',15X,'VAR(B1)=')
      IF(MAX0(NA1,NB1).GT.2) WRITE(LU1,2102)
2102  FORMAT(/' VAR(A2)=',15X,'VAR(B2)=')
      READ(LU3,1085) TAB
C
58    WRITE(LU2,2200) MAA,MMM,MDD,KTT,KMM
2200  FORMAT(1H1,10X,'DATUM: ',I2,'-',I2,'-',I2,
     C'.    TID: ',I2,':',I2,'.'//)
      WRITE(LU2,1151)NL,NSNA
1151  FORMAT(1X,I2,14H REALISERINGAR
     C' AV NEDANSTÅENDE SYSTEM .'
     C/1X,I4,'  PUNKTER PER REALISERING.')
      DO 81 I=1,10
81    LL(I)=I-1
      WRITE(LU2,1152)(LL(I),I=1,10)
1152  FORMAT(///1X,5HINDEX,5XI1,9(8XI1))
      WRITE(LU2,1153)(A(I),I=1,NA1)
      WRITE(LU2,1154)(B(I),I=1,NB1)
```

```
      WRITE(LU2,1155)(C(I),I=1,NC1)
      WRITE(LU2,1156)K
1153  FORMAT(1X,5HA-POL,10F9.3)
1154  FORMAT(1X,5HB-POL,10F9.3)
1155  FORMAT(1X,5HC-POL,10F9.3)
1156  FORMAT(1X,5HTAL K,I3)
C
C     NOLLSTÄLLNING
C
      DO 10 I=1,10
      POLY(I)=0
      AR(I)=0
      AF(I)=0
10    BG(I)=0
C
      WRITE(LU1,1157)
1157  FORMAT('1VILL DU HA AUTOMATISK FILNAMNSTILLDELNING?'
     C/' SVARA JA ELLER NEJ.'/'0OM DU SKRIVIT FEL OVAN
     C OCH INTE VILL KORA NAGON REALISERING
     C SA SKRIV NEJ.'/)
      READ(LU3,1158)SV
1158  FORMAT(A3)
      IF(SV.EQ.EJ) GO TO 87
86    WRITE(LU1,1159)
1159  FORMAT('0FILNAMNEN BLIR DATX.'/
     C4X,'X=1+KF,2+KF,3+KF,... . MAX X AER 8.'/
     C'0SKRIV KF.')
      KF=IRITFF(IC)
      IF(KF+NL.GT.8) GO TO 86
C
87    DO 90 KK=1,NL
      IF(SV.EQ.EJ) GO TO 88
      FNAMN=D(KK+KF)
      GO TO 89
88    WRITE(LU1,1160)
1160  FORMAT('  SKRIV FILNAMN. (VID FELSKRIVNING: SKRIV F
     C OCH RAETTA.)')
      READ(LU3,1170)FNAMN
1170  FORMAT(A5)
      IF (FNAMN.EQ.FEL) GO TO 97
89    CALL HUVREG(IM)
      IF(IGEN.EQ.1) GO TO 91
      IF (AM.LT.1) GO TO 91
      WRITE(LU1,1171)
1171  FORMAT('1ABSROT > ELLER = 1 ')
      GO TO 98
91    IF(TAB.EQ.AJA.AND.KK.EQ.NL) GO TO 92
      GO TO 90
92    WRITE(LU2,2101)
      IF(MAX0(NA1,NB1).GT.2) WRITE(LU2,2102)
90    CONTINUE
C
97    WRITE(LU1,3000)
3000  FORMAT(1H1)
98    WRITE(LU1,3010) PO(I2),POFFE(JJ),PO(I1),POFFE(II)
3010  FORMAT(/' VAELJ ETT ELLER FLERA AV ALTERNATIVEN
     C NEDAN.'/' O B S. SLA "RETURN" EFTER ALTNR.'/
     C' DET SISTA VALET SKALL VARA 1,2,3 ELLER 13.'//
     C4X,'ALTNR   A L T E R N A T I V'//
     C6X,' 1      STOP'/
     C6X,' 2      BORJA OM HELT'/
     C6X,' 3      GENERERA U OCH Y'/
     C6X,' 4      AENDRA F ELLER G-POLYNOMET ENLIGT INSTRUKTION
     C NEDAN'/6X,' 5      SKRIV STM2. ANVAENDS TILL ',A1,A5/
```

```
     C6X,' 6     SKRIV LOL'/
     C6X,' 7     SKRIV OLLE'/
     C6X,' 8     SKRIV ANTAL REALISERINGAR'/
     C6X,' 9     SKRIV NSLING OCH NAPPS'/
     C6X,'10     SKRIV NAMNET PA INSIGNALEN'/
     C6X,'11     SKRIV INSIGNALENS AMPLITUD'/
     C6X,'12     SURPRISE'/
     C6X,'13     GENERERA U OCH Y AEVEN OM ABSROT
     C > ELLER = 1'/
     C6X,'14     SKRIV VAR DATA SKALL LAGRAS. 1=DK, 4=DT2'/
     C6X,'15     SKRIV STM1. ANVAENDS TILL ',A1,A5/
     C6X,'16     SKRIV STARTVAERDE PA IT FOR MCNODI(IT,E)'/
     C6X,'17     SKRIV VAR INSIGNALEN HAEMTAS. 1=DK,3=DT1,4=DT2')
C
      IT=ITS
      IGEN=0
      LABAN=0
      GO TO 96
99    WRITE(LU3,3011)
3011  FORMAT(' VAELJ')
96    NR=IRTTFF(IC)
      GO TO(100,5,58,101,102,103,104,105,106,107,108,
     C109,110,111,112,113,114),NR
101   IF(LABAN.EQ.0) WRITE(LU1,3020)NF,NG
3020  FORMAT(/' AENDRA KOEFFICIENT FX ELLER GZ.'/
     C ' FX: SKRIV 1,SLA RETURN,SKRIV X OCH FX. MAX X
     C AER ',I1/' GZ: SKRIV 2, SLA RETURN, SKRIV Z OCH
     C GZ. MAX Z AER ',I1)
      LABAN=1
      LXZ=IRTTFF(IC)
      IF(LXZ.EQ.1) GO TO 200
      IF(LXZ.EQ.2) GO TO 201
      WRITE(LU3,3021)
3021  FORMAT(' ???')
      GO TO 99
200   KOE=IRTTFF(IC)
      F(KOE+1)=RTTFF(IC)
      GO TO 99
201   KOE=IRTTFF(IC)
      G(KOE+1)=RTTFF(IC)
      GO TO 99
102   IF(IKK.EQ.0) WRITE(LU3,3050) POFFE(3)
      IF(IKK.EQ.0) GO TO 99
      STM2=RTTFF(IC)
      GO TO 99
103   LOL=IRTTFF(IC)
      GO TO 99
104   OLLE=RTTFF(IC)
      GO TO 99
105   NL=IRTTFF(IC)
      GO TO 99
106   NSLING=IRTTFF(IC)
      NAPPS=IRTTFF(IC)
      NSNA=NSLING*NAPPS
      GO TO 99
107   READ(LU3,1085)FILNM
      GO TO 99
108   AMPL=RTTFF(IC)
      GO TO 99
C
109   IF(IM.LT.3) GO TO 151
      IF(JUJ.NE.11.OR.JYJ.NE.11)  LFU(1)=0
      IF(LFU(1).NE.1.AND.LFU(1).NE.LFU1) LFU(1)=0
      LFU(1)=LFU(1)+1
```

```
      LFU1=LFU(1)
      GO TO(150,151,152),LFU1
150   WRITE(LU2,3030)
3030  FORMAT(/'1OPERATöREN FöLJER INTE MINA
     C INSTRUKTIONER.'//39X,'GENA')
      IF(LYD.EQ.1) GO TO 140
      WRITE(LU3,3031)
3031  FORMAT(/' LYD,ANNARS BLIR DU UTSPARKAD.'//
     C26X,'GENA')
      LYD=1
      GO TO 99
140   WRITE(LU3,3032)
3032  FORMAT(/' JAG VARNADE DIG.'//13X,'GENA')
      GO TO 100
151   WRITE(LU3,3033)
3033  FORMAT(/' BUU10')
      GO TO 99
152   WRITE(LU3,3034)
3034  FORMAT(/' RYSLIGT VAD DU AER NYFIKEN')
      LFU(1)=1
      GO TO 99
C
110   IGEN=1
      IF(IM.EQ.3) GO TO 58
      WRITE(LU1,3040)
3040  FORMAT(/' FOR ATT GENERERA TROTS ATT ABSROT
     C STORRE AEN 1'/' SKALL DU NATURLIGTVIS GENERERA
     C MED "OLINJ".')
      IGEN=0
      GO TO 99
111   LU4=IRTTFF(IC)
      GO TO 99
112   IF(IKK.NE.2) GO TO 205
      STM1=RTTFF(IC)
      GO TO 99
205   WRITE(LU3,3050) POFFE(2)
3050  FORMAT(/' VAD ANVAENDER DU STM',A1,' TILL?'/
     C' SE "ALTERNATIV"10')
      GO TO 99
113   IT=IRTTFF(IC)
      ITS=IT
      GO TO 99
114   LU5=IRTTFF(IC)
      GO TO 99
100   STOP
      END
```

```
      SUBROUTINE GUIDE
      COMMON LU2
      WRITE(LU2,100)
100   FORMAT(21X,'GUIDE TILL GENA'/20X,'*',16(1H*)/////
     C' DU KOMMER ATT FÅ TVÅ TILLFÄLLEN ATT '/' REPARE
     CRA FELSKRIVNINGAR INNAN U OCH Y GENERERAS.'/////
     C' GUIDEN SKALL ANVÄNDAS SOM BREDVIDLÄSNING DÅ DU
     C KÖR GENA.'//////' MED DATA MENAS FILER MED U OCH
     C Y.'/////10X,'-1',8X,'-K',3X,'-1',10X,'-1'/'  (1)
     C  A(Q   )*Y(T)=Q  B(Q   )*U(T)+C(Q   )*E(T)'//10X,
     C'-1',10X,'-1'/'  (2)  F(Q   )*U(T)=G(Q   )*Y(T)'//
     C' NA NB NC NF NG ÄR GRADTALEN PÅ POLYNOMEN I (1)
     C OCH (2).'/' K FRAMGÅR UR (1).'///' "SKRIV A-POLY
     CNOMET" BETYDER ATT DU SKA SKRIVA A  A  ... A  .'
     C/48X,'0  1        NA')
      WRITE(LU2,110)
110   FORMAT(////' OM DU VÄLJER NL STYCKEN REALISERINGAR
     C '/' SÅ LÄGGES NL FILER MED U OCH Y UPP.'//////' LIN
     CTV ',48X,'UTAN')
      WRITE(LU2,500)
500   FORMAT(1H+,6X,'ÄR EN SUBROUTINE SOM GER ETT ÅTERKOPP
     CLAT SYSTEM')
      WRITE(LU2,120)
120   FORMAT(7X,'YTTRE INSIGNAL OCH MED KONSTANT ELLER
     C '/7X,'STYCKVIS KONSTANT ,LINJÄR REGULATOR.')
      WRITE(LU2,130)
130   FORMAT(//' INSI',50X,'MED')
      WRITE(LU2,500)
      WRITE(LU2,120)
      WRITE(LU2,140)
140   FORMAT(//' OLINJ',49X,'UTAN')
      WRITE(LU2,500)
      WRITE(LU2,150)
150   FORMAT(7X,'YTTRE INSIGNAL OCH MED KONSTANT,
     COLINJÄR REGULATOR.')
      WRITE(LU2,160)
160   FORMAT('1LINTV OCH INSI'///' VÄRDET PÅ DEN ELLER
     C DE KOEFFICIENTER DU VILL ÄNDRA'/' SKALL VARA "MITT
     CVÄRDET".'//' ABSOLUTBELOPPET AV "MAX STEPPBREDD"
     C ÄR AVSTÅNDET MELLAN STÖRSTA OCH '/' MINSTA VÄRDET
     C PÅ KOEFFICIENTEN UNDER EN REALISERING.'/' "MAX
     C STEPPBREDD"=STM.'///' OM ANTAL REGULATORER PER
     C REALISERING=3 SÅ GER'//'   TRAPP:'/18X,'----',
     C18X,'----'/14X,'----',6X,'<="MITTVÄRDET"=>',6X,'----'
     C/10X,'----',34X,'----'/13X,'STM>0',25X,'STM<0'//
     C'    SKUTT:'/10X,'----',4X,'----',22X,'----'
     C/23X,'<="MITTVÄRDET"=>'/14X,'----'22X,'----'
     C,4X,'----'/13X,'STM>0',25X,'STM<0')
      WRITE(LU2,170)
170   FORMAT(////' FÖRKLARINGAR TILL NÅGRA ALTERNATIV'//
     C' ALTNR'/' 5,15    STM1 OCH STM2 ÄR "MAX STEPP
     CBREDD"'//' 6',7X,'LOL ANGER TYP AV OLINJARITET.'//
     C11X,'1 => U=U'/11X,'2 => EXPONENTIERING'/11X,
     C'3 => BEGRÄNSNING PÅ U'/11X,'4 => BEGRÄNSNING
     CPÅ ABS(U)'/11X,'5 => DÖDZON'//' 7',7X,'OLLE
     C BETYDER EXPONENT,BEGRÄNSNING ELLER
     C DÖDZON BEROENDE PÅ LOL'//' 9',7X,'NSLING=ANTAL
     C REGULATORER PER REALISERING'/
     C9X,'NAPPS=ANTAL PUNKTER PER REGULATOR'/9X,'OM
     C KONSTANT REGULATOR SÅ SKRIV 1'/8X,' OCH ÖNSKAT ANTAL
     C PUNKTER PER REALISERING'//' 16',6X,'OM ANNAT
     C STARTVÄRDE PÅ IT ÄN DET DU SENAST SKREV'/
     C8X,' ÖNSKAS, SÅ SKRIV DET NYA STARTVÄRDET.')
      RETURN
      END
```

```
      SUBROUTINE LINTV
      LOGICAL LOG
      DIMENSION PO(2),SU(3)
      COMMON LU2,A(10),B(10),C(10),F(10),G(10),AF(10),BG(10),
     CPOLY(10),AR(10),ZR(10),ZI(10),
     CLL(10),UOLD(10),YOLD(10),EOLD(10),IX(10),Z(2)
      COMMON /SUBPAR/ IM,NSLING,NAPPS,FNAMN,IK,IL,II,JJ,STM1,
     CSTM2,K,NA,NB,NF,NG,NA1,NB1,NC1,NF1,NG1,IT,LU4,I1,I2,AM,KK
      DATA PO/1HF,1HG/,SU(2)/5HTRAPP/,SU(3)/5HSKUTT/
      DO 10 L=1,10
      YOLD(L)=0
      UOLD(L)=0
      EOLD(L)=0
10    CONTINUE
C
C     BEGYNNELSEREGULATORN SPARAS
C
      GO TO (400,500,800),I1
400   Q1=F(II)
      GO TO 800
500   Q1=G(II)
800   GO TO (600,700,850),I2
600   Q2=F(JJ)
      GO TO 850
700   Q2=G(JJ)
C
850   IF(KK.GT.1) GO TO 900
      WRITE(LU2,2000)
2000  FORMAT(///' INGEN YTTRE INSIGNAL. '///' LINJÄR REGULATOR. ')
      IF(IK.NE.1.OR.IL.NE.1) GO TO 1010
      WRITE(LU2,2010)
2010  FORMAT(//' KONSTANT REGULATOR. ')
      GO TO 900
1010  WRITE(LU2,2020)
2020  FORMAT(//' VARIERANDE REGULATOR. ')
      WRITE(LU2,2030) NSLING,NAPPS
2030  FORMAT(10X,'REGULATORN ÄR KONSTANT I ',I4,' INTERVALL'/10X,
     C'MED ',I5,' PUNKTER I VARJE.')
      IF(IK.EQ.1) GO TO 1020
      III=II-1
      WRITE(LU2,2040)PO(I1),III,SU(IK),PO(I1),III,STM1
2040  FORMAT(/10X,A1,I1,' VARIERAS MED SUBROUTINE ',
     CA5,'.'/10X,'SKILLNADEN MELLAN ',A1,I1,':S
     C STÖRSTA OCH MINSTA VÄRDE'/10X,'UNDER
     C REALISERINGEN ÄR ',F6.3,'.')
1020  JJJ=JJ-1
      WRITE(LU2,2040)PO(I2),JJJ,SU(IL),PO(I2),JJJ,STM2
C
900   IX(1)=NSLING*NAPPS
      IX(2)=2
      IX(4)=50
      CALL FILES('ENTER',LU4,IX,FNAMN,'BIN',LOG)
C
      DO 200 I=1,NSLING
      CALL REGUL(IK,NSLING,I,I1,II,STM1)
      CALL REGUL(IL,NSLING,I,I2,JJ,STM2)
      IF (KK-1) 15,15,16
15    IF (IK.EQ.2.OR.IL.EQ.2) GO TO 17
      IF (I.GT.2) GO TO 16
17    CALL ROTUT(NF1,NG1,NA,NB,NF,NG,AM,K)
C
C     OM SYSTEMET ÄR INSTABILT BLIR VI UTSPARKADE
C
```

```
      IF (AM.GE.1.) GO TO 300
16    DO 100  J1=1,NAPPS
      CALL MCNODI(IT,E)
C
C     ETT NYTT Y BERAKNAS
C
      Y=0
      IF (NA1.EQ.1) GO TO 21
      DO 20 J=2,NA1
20    Y=Y-A(J)*YOLD(J)
21    DO 30 J=1,NB1
30    Y=Y+B(J)*UOLD(J+K)
      IF (NC1.EQ.1) GO TO 40
      DO 60 J=2,NC1
60    Y=Y+C(J)*EOLD(J)
40    Y=Y+E
C
C     ETT NYTT U BERÄKNAS
C
      U=0
      IF (NF1.EQ.1) GO TO 71
      DO 70 J=2,NF1
70    U=U-F(J)*UOLD(J)
71    IF (NG1.EQ.1) GO TO 81
      DO 80 J=2,NG1
80    U=U+G(J)*YOLD(J)
81    U=U+G(1)*Y
      DO 90 J=1,8
      L=11-J
      YOLD(L)=YOLD(L-1)
      UOLD(L)=UOLD(L-1)
90    EOLD(L)=EOLD(L-1)
      YOLD(2)=Y
      UOLD(2)=U
      EOLD(2)=E
C
C     NU STOPPAR VI IN ETT NYTT Y OCH ETT NYTT U I FNAMN
C
      Z(1)=U
      Z(2)=Y
100   CALL FILDAT('WRITE',LU4,Z,2)
200   CONTINUE
300   CALL FILES('CLOSE',LU4,IX,FNAMN,'BIN',LOG)
C
C     REGULATORN SÄTTES TILL BEGYNNELSEREGULATORN
C
      GO TO (401,501,801),I1
401   F(II)=Q1
      GO TO 801
501   G(II)=Q1
801   GO TO (601,701,901),I2
601   F(JJ)=Q2
      GO TO 901
701   G(JJ)=Q2
C
901   CONTINUE
      RETURN
      END
```

```
      SUBROUTINE INSI
      LOGICAL LOG
      DIMENSION PO(2),SU(3)
      COMMON LU2,A(10),B(10),C(10),F(10),G(10),AF(10),BG(10),
     CPOLY(10),AR(10),ZR(10),ZI(10),
     CLL(10),UOLD(10),YOLD(10),EOLD(10),IX(10),Z(2)
      COMMON /SUBPAR/ IM,NSLING,NAPPS,FNAMN,IK,IL,II,JJ,STM1,
     CSTM2,K,NA,NB,NF,NG,NA1,NB1,NC1,NF1,NG1,IT,LU4,I1,I2,AM,KK
      COMMON /INSOL/ FILNM,AMPL,LU5
      DATA PO/1HF,1HG/,SU(2)/5HTRAPP/,SU(3)/5HSKUTT/
C
      DO 10 L=1,10
      YOLD(L)=0
      UOLD(L)=0
      EOLD(L)=0
10    CONTINUE
C
C     BEGYNNELSEREGULATORN SPARAS
C
      GO TO (400,500,800),I1
400   Q1=F(II)
      GO TO 800
500   Q1=G(II)
800   GO TO (600,700,850),I2
600   Q2=F(JJ)
      GO TO 850
700   Q2=G(JJ)
C
850   IF(KK.GT.1) GO TO 900
      WRITE(LU2,2000)FILNM,AMPL
2000  FORMAT(/' YTTRE INSIGNAL. '/10X,'MED FÖLJANDE
     C UTSEENDE '/10X,A5,' MED AMPLITUDFAKTOR',F6.2///
     C' LINJÄR REGULATOR.')
      IF(IK.NE.1.OR.IL.NE.1) GO TO 1010
      WRITE(LU2,2010)
2010  FORMAT(//' KONSTANT REGULATOR. ')
      GO TO 900
1010  WRITE(LU2,2020)
2020  FORMAT(//' VARIERANDE REGULATOR.')
      WRITE(LU2,2030) NSLING,NAPPS
2030  FORMAT(10X,'REGULATORN ÄR KONSTANT I ',I4,' INTERVALL'/10X,
     C'MED ',I5,' PUNKTER I VARJE.')
      IF(IK.EQ.1) GO TO 1020
      III=II-1
      WRITE(LU2,2040)PO(I1),III,SU(IK),PO(I1),III,STM1
2040  FORMAT(/10X,A1,I1,' VARIERAS MED SUBROUTINE ',
     CA5,'.'/10X,'SKILLNADEN MELLAN ',A1,I1,':S
     C STÖRSTA OCH MINSTA VÄRDE'/10X,'UNDER
     C REALISERINGEN ÄR',F6.3,'.')
1020  JJJ=JJ-1
      WRITE(LU2,2040)PO(I2),JJJ,SU(IL),PO(I2),JJJ,STM2
C
900   IX(1)=NSLING*NAPPS
      IX(2)=2
      IX(4)=50
      CALL FILES('ENTER',LU4,IX,FNAMN,'BIN',LOG)
      CALL FILES('SEEK',LU5,IX,FILNM,'BIN',LOG)
C
      DO 200 I=1,NSLING
      CALL REGUL(IK,NSLING,I,I1,II,STM1)
      CALL REGUL(IL,NSLING,I,I2,JJ,STM2)
      IF (KK-1) 15,15,16
15    IF (IK.EQ.2.OR.IL.EQ.2) GO TO 17
```

```
      IF (I.GT.2) GO TO 16
17    CALL ROTUT(NF1,NG1,NA,NB,NF,NG,AM,K)
C
C     OM SYSTEMET AR INSTABILT BLIR VI UTSPARKADE
C
      IF (AM.GE.1.) GO TO 300
16    DO 100  J1=1,NAPPS
      CALL MCNODI(IT,E)
C
C     ETT NYTT Y BERÄKNAS
C
      Y=0
      IF (NA1.EQ.1) GO TO 21
      DO 20 J=2,NA1
20    Y=Y-A(J)*YOLD(J)
21    DO 30 J=1,NB1
30    Y=Y+B(J)*UOLD(J+K)
      IF (NC1.EQ.1) GO TO 40
      DO 60 J=2,NC1
60    Y=Y+C(J)*EOLD(J)
40    Y=Y+E
C
C     ETT NYTT U BERÄKNAS
C
      U=0
      CALL FILDAT('READ',LU5,Z,1)
      U1=Z(1)*AMPL
      IF (NF1.EQ.1) GO TO 71
      DO 70 J=2,NF1
70    U=U-F(J)*UOLD(J)
71    IF (NG1.EQ.1) GO TO 81
      DO 80 J=2,NG1
80    U=U+G(J)*YOLD(J)
81    U=U+G(1)*Y+U1
      DO 90 J=1,8
      L=11-J
      YOLD(L)=YOLD(L-1)
      UOLD(L)=UOLD(L-1)
90    EOLD(L)=EOLD(L-1)
      YOLD(2)=Y
      UOLD(2)=U
      EOLD(2)=E
C
C     NU STOPPAR VI IN ETT NYTT Y OCH ETT NYTT U I FNAMN
C
      Z(1)=U
      Z(2)=Y
100   CALL FILDAT('WRITE',LU4,Z,2)
200   CONTINUE
300   CALL FILES('CLOSE',LU5,IX,FILNM,'BIN',LOG)
      CALL FILES('CLOSE',LU4,IX,FNAMN,'BIN',LOG)
C
C     REGULATORN SÄTTES TILL BEGYNNELSEREGULATORN
C
      GO TO (401,501,801),I1
401   F(II)=Q1
      GO TO 801
501   G(II)=Q1
801   GO TO (601,701,901),I2
601   F(JJ)=Q2
      GO TO 901
701   G(JJ)=Q2
C
901   CONTINUE
      RETURN
      END
```

```
      SUBROUTINE OLINJ
      LOGICAL LOG
      COMMON LU2,A(10),B(10),C(10),F(10),G(10),AF(10),BG(10),
     CPOLY(10),AR(10),ZR(10),ZI(10),LL(10),
     CUOLD(10),YOLD(10),EOLD(10),IX(10),Z(2)
      COMMON /SUBPAR/ IM,NSLING,NAPPS,FNAMN,IK,IL,II,JJ,STM1,
     CSTM2,K,NA,NB,NF,NG,NA1,NB1,NC1,NF1,NG1,IT,LU4,I1,I2,AM,KK
      COMMON /INSOL/ FILNM,AMPL,LU5,IGEN,LFU(10),LGY(10),LOL,OLLE,NSNA
      DO 10 L=1,10
      YOLD(L)=0.
      UOLD(L)=0.
10    EOLD(L)=0.
      BA=0.
      SA=NSNA
C
C     UTSKRIFT PÅ RADSKRIVARE
C
      IF(KK.GT.1) GO TO 900
      WRITE(LU2,2000)
2000  FORMAT(///' INGEN YITRE INSIGNAL.'///' OLINJÄR REGULATOR.')
      WRITE(LU2,2100)(G(N),LL(N),LGY(N),N=1,NG1)
2100  FORMAT(10X,'U(T)=',5(F6.3,'*Y(T-',I1,')**',I2,'+')
     C/15X,5('+',F6.3,'*Y(T-',I1,')**',I2))
      IF(NF1.EQ.1) GO TO 401
      WRITE(LU2,2101)(F(N),LL(N),LFU(N),N=2,NF1)
2101  FORMAT(32X,4('-',F6.3,'*U(T-',I1,')**',I2)
     C/15X,5('-',F6.3,'*U(T-',I1,')**',I2))
401   WRITE(LU2,2102)
2102  FORMAT(/10X,'U(T) BERÄKNAT SOM OVAN PASSERAR ETT SYSTEM'/
     C9X' SOM GER DET SLUILIGA U:ET ENL NEDAN.'/)
      GO TO(402,403,404,405,406),LOL
402   WRITE(LU2,2112)
2112  FORMAT(10X,'U=U')
      GO TO 420
403   WRITE(LU2,2103)OLLE
2103  FORMAT(27X,F7.4/10X,'U=U/ABS(U)*(ABS(U))')
      GO TO 420
404   WRITE(LU2,2104)OLLE
2104  FORMAT(10X,'ABS(U) HAR MAXVÄRDET ',F7.4)
      GO TO 420
405   WRITE(LU2,2106) OLLE
2106  FORMAT(10X,'U HAR MAXVAERDET ',F7.4)
      GO TO 420
406   WRITE(LU2,2105)OLLE,OLLE
2105  FORMAT(10X,'DöDZON. U=0 OM ABS(U) MINDRE ÄN ',F7.4)
420   WRITE(LU2,2010)
2010  FORMAT(//' KONSTANT REGULATOR.')
C
      CALL ROTUT(NF1,NG1,NA,NB,NF,NG,AM,K)
      IF(IGEN.NE.1.AND.AM.GE.1) GO TO 300
      IF(IGEN.EQ.1.AND.AM.GE.1) WRITE(LU2,2020)
2020  FORMAT(//13X,'VI KöR TROTS ATT ABSROT > ELLER = 1'//)
900   IX(1)=NSNA
      IX(2)=2
      IX(4)=50
      CALL FILES('ENTER',LU4,IX,FNAMN,'BIN',LOG)
      DO 100 J1=1,NSNA
      CALL MCNODI(IT,E)
C
C     ETT NYTT Y BERÄKNAS
C
      Y=0
      IF(NA1.EQ.1) GO TO 21
```

```
      DO 20 J=2,NA1
20    Y=Y-A(J)*YOLD(J)
21    DO 30 J=1,NB1
30    Y=Y+B(J)*UOLD(J+K)
      IF(NF1.EQ.1) GO TO 40
      DO 60 J=2,NC1
60    Y=Y+C(J)*EOLD(J)
40    Y=Y+E
C
C     ETT NYTT U BERÄKNAS
C
      U=0
      IF(NF1.EQ.1) GO TO 71
      DO 70 J=2,NF1
70    U=U-F(J)*UOLD(J)**LFU(J)
71    IF(NG1.EQ.1) GO TO 81
      DO 80 J=2,NG1
80    U=U+G(J)*YOLD(J)**LGY(J)
81    U=U+G(1)*Y**LGY(1)
C
C     F*U=G*Y GER ETT U SOM PASSERAR ETT SYSTEM ENLIGT NEDAN.
C
      GO TO(700,600,601,602,603),LOL
600   U=(U/ABS(U))*ABS(U)**OLLE
      GO TO 700
601   IF(ABS(U).GT.OLLE) BA=BA+1.
      IF(ABS(U).GT.OLLE) U=U/ABS(U)*OLLE
      GO TO 700
602   IF(U.GT.OLLE) BA=BA+1
      IF(U.GT.OLLE) U=OLLE
      GO TO 700
603   U=U/ABS(U)*DIM(ABS(U),OLLE)
C
700   DO 90 J=1,8
      L=11-J
      YOLD(L)=YOLD(L-1)
      UOLD(L)=UOLD(L-1)
90    EOLD(L)=EOLD(L-1)
      YOLD(2)=Y
      UOLD(2)=U
      EOLD(2)=E
C
C     NU STOPPAR VI IN ETT NYTT Y OCH ETT NYTT U I FNAMN
C
      Z(1)=U
      Z(2)=Y
100   CALL FILDAT('WRITE',LU4,Z,2)
C
C
      CALL FILES('CLOSE',LU4,IX,FNAMN,'BIN',LOG)
      PROC=BA/SA*100.
      IF(LOL.EQ.3.OR.LOL.EQ.4) WRITE(LU2,2030)KK,PROC
2030  FORMAT(/' REALISERING ',I2,': VID ',F5.1,'% AV
     C TIDPUNKTERNA')
      IF(LOL.EQ.3) WRITE(LU2,2031) OLLE
2031  FORMAT(17X,'BEGRÄNSAS ABS(U) TILL ',F7.4,'.')
      IF(LOL.EQ.4) WRITE(LU2,2032) OLLE
2032  FORMAT(17X,'BEGRÄNSAS U TILL ',F7.4,'.')
300   CONTINUE
      RETURN
      END
```

```
      SUBROUTINE HUVREG(IM)
      GO TO (10,20,30,40),IM
10    CALL LINTV
      RETURN
20    CALL INSI
      RETURN
30    CALL OLINJ
      RETURN
40    RETURN
      RETURN
      END
```

```
      SUBROUTINE REGUL(IKL,NSLING,I,INR,IJ,STM)
      COMMON A(10),B(10),C(10),F(10),G(10)
      GO TO (10,20,30,40),IKL
10    RETURN
20    GO TO (21,22),INR
21    CALL TRAPP(NSLING,I,F,IJ,STM)
      RETURN
22    CALL TRAPP(NSLING,I,G,IJ,STM)
      RETURN
30    GO TO (31,32),INR
31    CALL SKUTT(I,F,IJ,STM)
      RETURN
32    CALL SKUTT(I,G,IJ,STM)
      RETURN
40    RETURN
      END
```

```
      SUBROUTINE TRAPP(NSLING,I,S,IS,STM)
      DIMENSION S(1)
      SLING=NSLING
      ST=STM/(SLING-1.0)
      IF(I.EQ.1) S(IS)=S(IS)-STM/2.0
      IF(I.EQ.1) GO TO 10
      S(IS)=S(IS)+ST
10    CONTINUE
      RETURN
      END
```

```
      SUBROUTINE SKUTT(I,S,IS,STM)
      DIMENSION S(1)
      IF(I.EQ.1) S(IS)=S(IS)-STM/2.0
      IF (I/2*2.EQ.I) GO TO 10
      S(IS)=S(IS)+STM
      RETURN
10    S(IS)=S(IS)-STM
      RETURN
      END
```

```
      SUBROUTINE ROTUT(NF1,NG1,NA,NB,NF,NG,AM,K)
      COMMON LU2,A(10),B(10),C(10),F(10),G(10),AF(10),BG(10),
     CPOLY(10),AR(10),ZR(10),ZI(10)
      CALL POLMU(A,F,NA,NF,AF)
      CALL POLMU(B,G,NB,NG,BG)
      NAF=NA+NF
      NBG=NB+NG
      N=MAX0(NAF,NBG+K)
      IF (K) 19,19,17
17    DO 18 M=1,K
18    POLY(M)=AF(M)
19    L=K+1
      NN=N+1
      DO 20 M=L,NN
20    POLY(M)=AF(M)-BG(M-K)
      DO 21 M=1,9
21    AR(M)=POLY(M+1)
      CALL ROT(AR,AR,ZR,ZI,N,1,0,1.0E-5)
      DO 22 M=1,N
      AM=SQRT(ZR(M)**2+ZI(M)**2)
      IF (AM.GE.1.) GO TO 25
22    CONTINUE
25    WRITE(LU2,100)(F(M),M=1,NF1)
      WRITE(LU2,101)(G(M),M=1,NG1)
      WRITE(LU2,102)
      WRITE(LU2,103)(ZR(M),ZI(M),M=1,N)
100   FORMAT(////' F-POL ',10F9.3)
101   FORMAT(' G-POL ',10F9.3)
102   FORMAT('0      R ö T T E R TILL AF-BG.'/)
103   FORMAT(2(6X,'RE',F9.5,3X,'IM',F9.5))
      RETURN
      END
```

Exempel på körning med GENA.

Ej understruken text skrives i vanliga fall på display.
Understruken text skrives av GENA på teletype.
Inramad text skrives av operatören.

$A DK -5

$GLOAD

LOADER V12A
>←GENA

OM DU INTE AER VAEL FORTROGEN MED INNEBORDEN AV ALLA MINA
KOMMANDON,VILL JAG VARMT REKOMMENDERA MIN GUIDE,
SOM UTSKRIVES GRATIS PA RADSKRIVAREN OM DU SKRIVER JA.
OM GUIDE EJ ONSKAS SA SKRIV NEJ.

LYCKA TILL! GENA.

JA

(Kommentar: GUIDE TILL GENA finns på sidorna 91 och 92.)

REGEL: KOMMANDON GIVNA PA SAMMA RAD
SKRIVES I EN FOLJD MED BLANKTECKEN MELLAN,
OM INGET ANNAT ANGES.

SKRIV JA NAER "REGEL" AER UPPFATTAD.
JA

SKRIV DATUM. AA MM DD

SKRIV TID. TT MM

#74 7 7
#8 20

```
SKRIV STARTVAERDE IT FOR MCNODI(IT,E) SOM LEVERERAR BRUS.
IT AER ETT UDDA HELTAL. VANLIGEN AER IT=19.

SKRIV VAR DU VILL LAGRA DATA. 1=DK, 4=DT2.
#19
#1


SKRIV  NA  NB  NC  NF  NG  K
#2 2 2 1 1 Ø


SKRIV A-POLYNOMET
#1 -1.5 Ø.7


SKRIV B-POLYNOMET
#Ø 1 Ø.5


SKRIV C-POLYNOMET
#1


SKRIV F-POLYNOMET
#1 Ø.5


SKRIV G-POLYNOMET
#-1.5 Ø.7



SKRIV ANTAL REALISERINGAR
#2


SKRIV FOR LINTV 1  FOR INSI 2  FOR OLINJ 3
                    (VID FELSKRIVNING: SKRIV -1 OCH PORJA OM.)

#3




SKRIV ANTAL PUNKTER PER REALISERING.
#500


U(T)=GØ*Y(T)+G1*Y(T-1)-F1*U(T-1)+...
OM DU VILL HA U(T-K)**LEXP SAA SKRIV K.  K=(1,2,3,...)
NAER DU AER KLAR SKRIV 11.
SKRIV LEXP. LEXP=(ALLA HELTAL).
#11


U(T)=GØ*Y(T)+G1*Y(T-1)-F1*U(T-1)+...
OM DU VILL HA Y(T-K)**LEXP SAA SKRIV K.  K=(Ø,1,2,..)
NAER DU AER KLAR SKRIV 11.
SKRIV LEXP. LEXP=(ALLA HELTAL).
#11
```

```
U SOM BERAEKNATS MHA FU=GY SKALL PASSERA ETT SYSTEM
AV NAAGON AV FOLJANDE TYPER:

    SKRIV 1 OM U=U

    SKRIV 2 OM U=(U/ABS(U))*ABS(U)**EXP
        SKRIV EXP

    SKRIV 3 OM ABS(U) HAR MAXVAERDE
        SKRIV MAXVAERDET

    SKRIV 4 OM U HAR MAXVAERDE
        SKRIV MAXVAERDET

    SKRIV 5 OM U=Ø OM ABS(U) MINDRE AEN DEADZON
        SKRIV DEADZON
#3
#1.25

VILL DU GENERERA U OCH Y AEVEN OM ABSROT > ELLER = 1?
SVARA JA ELLER NEJ.
JA

VILL DU HA FOLJANDE UTSKRIVET EFTER SYSTEM- OCH

REGULATORBESKRIVNINGEN?

SVARA JA ELLER NEJ.
--------------------------------------------------------------

      2
E(Y)  =                          DET(J)=

VAR(A1)=                         VAR(B1)=

VAR(A2)=                         VAR(B2)=
JA

VILL DU HA AUTOMATISK FILNAMNSTILLDELNING?
SVARA JA ELLER NEJ.

OM DU SKRIVIT FEL OVAN OCH INTE VILL KORA NAGON REALISERING SA

SKRIV NEJ.

JA

FILNAMNEN BLIR DATX.
   X=1+KF,2+KF,3+KF,.... . MAX X AER 8.

SKRIV KF.
#0
```

(Kommentar: Nu genereras u och y. Tillhörande radskrivarutskrift finns på sidan 93.)

```
VAELJ ETT ELLER FLERA AV ALTERNATIVEN NEDAN.
O B S! SLA "RETURN" EFTER ALTNR.
DET SISTA VALET SKALL VARA 1,2,3 ELLER 13.

   ALTNR   A L T E R N A T I V

     1     STOP
     2     BORJA OM HELT
     3     GENERERA U OCH Y
     4     AENDRA F ELLER G-POLYNOMET ENLIGT INSTRUKTION NEDAN
     5     SKRIV STM2. ANVAENDS TILL INGET!
     6     SKRIV LOL
     7     SKRIV OLLE
     8     SKRIV ANTAL REALISERINGAR
     9     SKRIV NSLING OCH NAPPS
    10     SKRIV NAMNET PA INSIGNALEN
    11     SKRIV INSIGNALENS AMPLITUD
    12     SURPRISE
    13     GENERERA U OCH Y AEVEN OM ABSROT > ELLER = 1
    14     SKRIV VAR DATA SKALL LAGRAS. 1=DK, 4=DT2
    15     SKRIV STM1. ANVAENDS TILL INGET!
    16     SKRIV STARTVAERDE PA IT FOR MCNODI(IT,E)
    17     SKRIV VAR INSIGNALEN HAEMTAS. 1=DK,3=DT1,4=DT2
#4


AENDRA KOEFFICIENT FX ELLER GZ.
FX: SKRIV 1,SLA RETURN,SKRIV X OCH FX. MAX X AER 1
GZ: SKRIV 2, SLA RETURN, SKRIV Z OCH  GZ. MAX Z AER 1
#1
#1 0.75

VAELJ
#8
#1

VAELJ
#13


VILL DU HA AUTOMATISK FILNAMNSTILLDELNING?
SVARA JA ELLER NEJ.

OM DU SKRIVIT FEL OVAN OCH INTE VILL KORA NAGON REALISERING SA
SKRIV NEJ.

NEJ

 SKRIV FILNAMN. (VID FELSKRIVNING: SKRIV F OCH RAETTA.)
DAT3
```

(Kommentar: Nu genereras u och y. Tillhörande radskrivarutskrift finns på sidan 94.)

```
VAELJ ETT ELLER FLERA AV ALTERNATIVEN NEDAN.
O B S! SLA "RETURN" EFTER ALTNR.
DET SISTA VALET SKALL VARA 1,2,3 ELLER 13.

   ALTNR    A L T E R N A T I V

      1     STOP
      2     BORJA OM HELT
      3     GENERERA U OCH Y
      4     AENDRA F ELLER G-POLYNOMET ENLIGT INSTRUKTION NEDAN
      5     SKRIV STM2. ANVAENDS TILL INGET!
      6     SKRIV LOL
      7     SKRIV OLLE
      8     SKRIV ANTAL REALISERINGAR
      9     SKRIV NSLING OCH NAPPS
     10     SKRIV NAMNET PA INSIGNALEN
     11     SKRIV INSIGNALENS AMPLITUD
     12     SURPRISE
     13     GENERERA U OCH Y AEVEN OM ABSROT > ELLER = 1
     14     SKRIV VAR DATA SKALL LAGRAS. 1=DK, 4=DT2
     15     SKRIV STM1. ANVAENDS TILL INGET!
     16     SKRIV STARTVAERDE PA IT FOR MCNODI(IT,E)
     17     SKRIV VAR INSIGNALEN H@EMTAS. 1=DK,3=DT1,4=DT2
#1

STOP 000000

DOS-15 V1A
```

GUIDE TILL GENA
****

DU KOMMER ATT FÅ TVÅ TILLFÄLLEN ATT
REPARERA FELSKRIVNINGAR INNAN U OCH Y GENERERAS.

GUIDEN SKALL ANVÄNDAS SOM BREDVIDLÄSNING DÅ DU KÖR GENA.

MED DATA MENAS FILER MED U OCH Y.

(1) $A(Q^{-1})*Y(T)=Q^{-K}B(Q^{-1})*U(T)+C(Q^{-1})*E(T)$

(2) $F(Q^{-1})*U(T)=G(Q^{-1})*Y(T)$

NA NB NC NF NG ÄR GRADTALEN PÅ POLYNOMEN I (1) OCH (2).
K FRAMGÅR UR (1).

"SKRIV A-POLYNOMET" BETYDER ATT DU SKA SKRIVA A_0 A_1 ... A_{NA} .

OM DU VÄLJER NL STYCKEN REALISERINGAR
SÅ LÄGGES NL FILER MED U OCH Y UPP.

LINTV ÄR EN SUBROUTINE SOM GER ETT ÅTERKOPPLAT SYSTEM UTAN
YTTRE INSIGNAL OCH MED KONSTANT ELLER
STYCKVIS KONSTANT ,LINJÄR REGULATOR.

INSI ÄR EN SUBROUTINE SOM GER ETT ÅTERKOPPLAT SYSTEM MED
YTTRE INSIGNAL OCH MED KONSTANT ELLER
STYCKVIS KONSTANT ,LINJÄR REGULATOR.

OLINJ ÄR EN SUBROUTINE SOM GER ETT ÅTERKOPPLAT SYSTEM UTAN
YTTRE INSIGNAL OCH MED KONSTANT,OLINJÄR REGULATOR.

LINTV OCH INSI

VÄRDET PÅ DEN ELLER DE KOEFFICIENTER DU VILL ÄNDRA
SKALL VARA "MITTVÄRDET".

ABSOLUTBELOPPET AV "MAX STEPPBREDD" ÄR AVSTÅNDET MELLAN STÖRSTA OCH
MINSTA VÄRDET PÅ KOEFFICIENTEN UNDER EN REALISERING.
"MAX STEPPBREDD"=STM.

OM ANTAL REGULATORER PER REALISERING=3 SÅ GER

```
  TRAPP:
                       ----                        ----
                  ----        <="MITTVÄRDET"=>          ----
             ----                                            ----
                 STM>0                              STM<0

  SKUTT:
             ----      ----                             ----
                             <="MITTVÄRDET"=>
                  ----                             ----      ----
                 STM>0                              STM<0
```

FÖRKLARINGAR TILL NÅGRA ALTERNATIV

ALTNR

5,15 STM1 OCH STM2 ÄR "MAX STEPPBREDD"

6 LOL ANGER TYP AV OLINJARITET.

1 => U=U
2 => EXPONENTIERING
3 => BEGRÄNSNING PÅ U
4 => BEGRÄNSNING PÅ ABS(U)
5 => DÖDZON

7 OLLE BETYDER EXPONENT,BEGRÄNSNING ELLER DÖDZON BEROENDE PÅ LOL

9 NSLING=ANTAL REGULATORER PER REALISERING
NAPPS=ANTAL PUNKTER PER REGULATOR
OM KONSTANT REGULATOR SÅ SKRIV 1
OCH ÖNSKAT ANTAL PUNKTER PER REALISERING

16 OM ANNAT STARTVÄRDE PÅ IT ÄN DET DU SENAST SKREV
ÖNSKAS, SÅ SKRIV DET NYA STARTVÄRDET.

DATUM: 74- 7- 7. TID: 8:20.

2 REALISERINGAR AV NEDANSTÅENDE SYSTEM .
500 PUNKTER PER REALISERING.

INDEX	0	1	2	3	4	5	6
A-POL	1.000	-1.500	0.700				
B-POL	0.000	1.000	0.500				
C-POL	1.000						
TAL K	0						

INGEN YTTRE INSIGNAL.

OLINJÄR REGULATOR.

U(T)=-1.500*Y(T-0)** 1+ 0.700*Y(T-1)** 1+
- 0.500*U(T-1)** 1-

U(T) BERÄKNAT SOM OVAN PASSERAR ETT SYSTEM
SOM GER DET SLUTLIGA U:ET ENL NEDAN.

ABS(U) HAR MAXVÄRDET 1.2500

KONSTANT REGULATOR.

F-POL	1.000	0.500
G-POL	-1.500	0.700

R Ö T T E R TILL AF-BG.

RE -0.00000 IM 0.00000 RE 0.00000 IM 0.00000
RE -0.50000 IM 0.00000 RE

REALISERING 1: VID 50.2% AV TIDPUNKTERNA
BEGRÄNSAS ABS(U) TILL 1.2500.

REALISERING 2: VID 50.4% AV TIDPUNKTERNA
BEGRÄNSAS ABS(U) TILL 1.2500.

$E(Y^2)$ = DET(J)=

VAR(A1)= VAR(B1)=

VAR(A2)= VAR(B2)=

DATUM: 74- 7- 7. TID: 8:20.

1 REALISERINGAR AV NEDANSTÅENDE SYSTEM .
500 PUNKTER PER REALISERING.

INDEX	0	1	2	3	4	5	6
A-POL	1.000	-1.500	0.700				
B-POL	0.000	1.000	0.500				
C-POL	1.000						
TAL K	0						

INGEN YTTRE INSIGNAL.

OLINJÄR REGULATOR.

U(T)=-1.500*Y(T-0)** 1+ 0.700*Y(T-1)** 1+
- 0.750*U(T-1)** 1-

U(T) BERÄKNAT SOM OVAN PASSERAR ETT SYSTEM
SOM GER DET SLUTLIGA U:ET ENL NEDAN.

ABS(U) HAR MAXVÄRDET 1.2500

KONSTANT REGULATOR.

F-POL	1.000	0.750
G-POL	-1.500	0.700

R Ö T T E R TILL AF-BG.

RE 0.21956 IM 0.31458 RE 0.21956 IM -0.31458
RE -1.18912 IM 0.00000 RE

VI KÖR TROTS ATT ABSROT > ELLER = 1

REALISERING 1: VID 49.8% AV TIDPUNKTERNA
BEGRÄNSAS ABS(U) TILL 1.2500.

$E(Y^2)$ = DET(J)=

VAR(A1)= VAR(B1)=

VAR(A2)= VAR(B2)=