

JÄMFÖRELSE GENOM ANALOGISIMULERING MELLAN  
MANUELL STYRNING OCH NÅGRA ADAPTIVA  
SYSTEM VID VARIABEL KRETSFÖRSTÄRKNING

ULF BORISSON

Rapport RE - 27 maj 1968

JÄMFÖRELSE GENOM ANALOGISIMULERING MELLAN  
MANUELL STYRNING OCH NÅGRA ADAPTIVA SYSTEM  
VID VARIABEL KRETSFÖRSTÄRKNING.

Examensarbete i reglerteknik VT 1968

av

Ulf Borisson

INNEHÅLLSFÖRTECKNING.

I. SAMMANDRAG.

II. MANUELL STYRNING.

1. Undersökningens syfte.
2. Styrning med registrering av felets variation.  
Uppkoppling A.
  - 2.1 Beskrivning av försöket.
  - 2.2 Resultat av styrningen.
    - 2.2.1 K är konstant.
    - 2.2.2 K varierar stegvis.
    - 2.2.3 K varierar exponentiellt.
    - 2.2.4 K varierar sinusformigt.
3. Styrning med registrering av tidsintegralen av felets kvadrat.  
Uppkoppling B och C.
  - 3.1 Beskrivning av försöket.
  - 3.2 Styrning under kort tid.
  - 3.3 Styrning under lång tid.
4. Sammanfattning.

III. YOUNGS METOD.

1. Allmän beskrivning.
2. Realisering på analogmaskin.
3. Tillämpning i adaptivt system.
4. Sammanfattning.

IV. DIREKTA METODEN.

1. Allmän beskrivning.
2. Tillämpning i adaptivt system.
3. Sammanfattning.

V. S O C ( Self - Organizing Control ) .

1. Allmän beskrivning.
2. Praktisk tillämpning.
3. Sammanfattning.

VI. MINNEAPOLIS - HONEYWELLS METOD.

VII. DIAGRAM.

## I. SAMMANDRAG.

Först beskrives en serie försök med manuell styrning av ett system med varierande förstärkningsparameter och olika insignaler. Sedan redogöres för några olika metoder att åstadkomma adaptiva reglersystem. Vidare har jämförelser gjorts mellan den manuella styrningen och de senare försöken.

Den manuella styrningen behandlas i kapitel II. Försöken tillgick så, att en operatör fick se felsignalens storlek på ett oscilloskop. Med en styrspak skickade han in lämpliga signaler i systemet, så att felet höll sig så nära noll som möjligt. Det visade sig att han ganska lätt kunde anpassa sig efter en varierande förstärkningsparameter. Om insignalens frekvens ökades, blev systemet svårare att styra.

I kapitel III undersökes Youngs metod för parameterbestämning. Man bildar en felfunktion, som antar värdet noll endast då de beräknade parametervärdena överensstämmer med de verkliga. Principen tillämpas sedan i ett adaptivt system. Ibland följde metoden parametervariationerna ganska ojämnt. Den kan vidare endast användas i långsamt varierande system.

Den direkta metoden behandlas i kapitel IV. Om ett system har överföringsfunktionen

$$\frac{Y}{U} = K \frac{f(s)}{g(s)}$$

så kan den varierande förstärkningsparameteren  $K$  bestämmas ur

$$K = \frac{g(s) Y}{f(s) U}$$

Detta är grundprincipen. Metoden kunde följa den undersökta  $K$ -variationen ganska väl. Det är emellertid en begränsning att insignalen inte får ligga nära noll.

SOC, Self-Organizing Control, beskrives i kapitel V. Det som skiljer denna metod från ett konventionellt system, i vilket man använder

ett relä för styrningen, är den s.k. PSV-enheten. Utgående ifrån beräkningar grundade på sannolikhetssteori adderar man här högfrekvent brus till systemsignalen. Härigenom får man dels en "mjuk" omslagskaraktistik hos reläet och dels en minskning av systemets känslighet för yttre störningar. Metoden är emellertid främst avsedd för det fall då störningarna är högfrekventa.

Det visade sig att ingen av de tre sist nämnda metoderna gav lika bra resultat som den manuella styrningen. Däremot har R. Sogndal, LTH, undersökt en metod utarbetad av Minneapolis-Honeywell. Denna gav resultat som låg i samma klass som de från den manuella styrningen. Den behandlas i kapitel VI. Systemet utnyttjar ett relä för styrningen. Med en "gain-changer" anpassas utsignalen från reläet efter felsignalens storlek.

Kapitel VII utgör en sammanställning av de diagram som upptagits med hjälp av analogmaskin.

## II. MANUELL STYRNING.

### 1. Undersökningens syfte.

Det ligger nära till hands att ställa följande frågor:

- Hur svårt är det att styra ett system, vars förstärkningsparameter varierar mellan olika gränser?
- Hur påverkas styrningen av olika typer av insignaler och störningar?
- Hur inverkar det på styrningen om förstärkningsparametern får variera på olika sätt, t.ex. sinusformigt eller exponentiellt?
- Hur stor skillnad är det mellan att styra ett stabilt och ett instabilt system?
- Hur bra resultat ger den manuella styrningen jämfört med olika adaptiva system?

Syftet med undersökningen var att med utgångspunkt från dessa frågor göra ett närmare studium av systemet med överföringsfunktionen

$$G_o = \frac{K}{s(s+1)^2} .$$

Systemets karakteristiska ekvation är

$$s(s+1)^2 + K = 0$$

dvs.

$$s^3 + 2s^2 + s + K = 0 .$$

Enligt Hurwitz teorem är systemet stabilt om

$$\left\{ \begin{array}{l} \left| \begin{array}{cc} 2 & K \\ 1 & 1 \end{array} \right| > 0 \\ K > 0 \end{array} \right.$$

vilket är ekvivalent med att

$$0 < K < 2 .$$

2. Styrning med registrering av felets variation.

Uppkoppling A.

2.1 Beskrivning av försöket.

Den principiella uppkopplingen framgår av nedanstående figur.

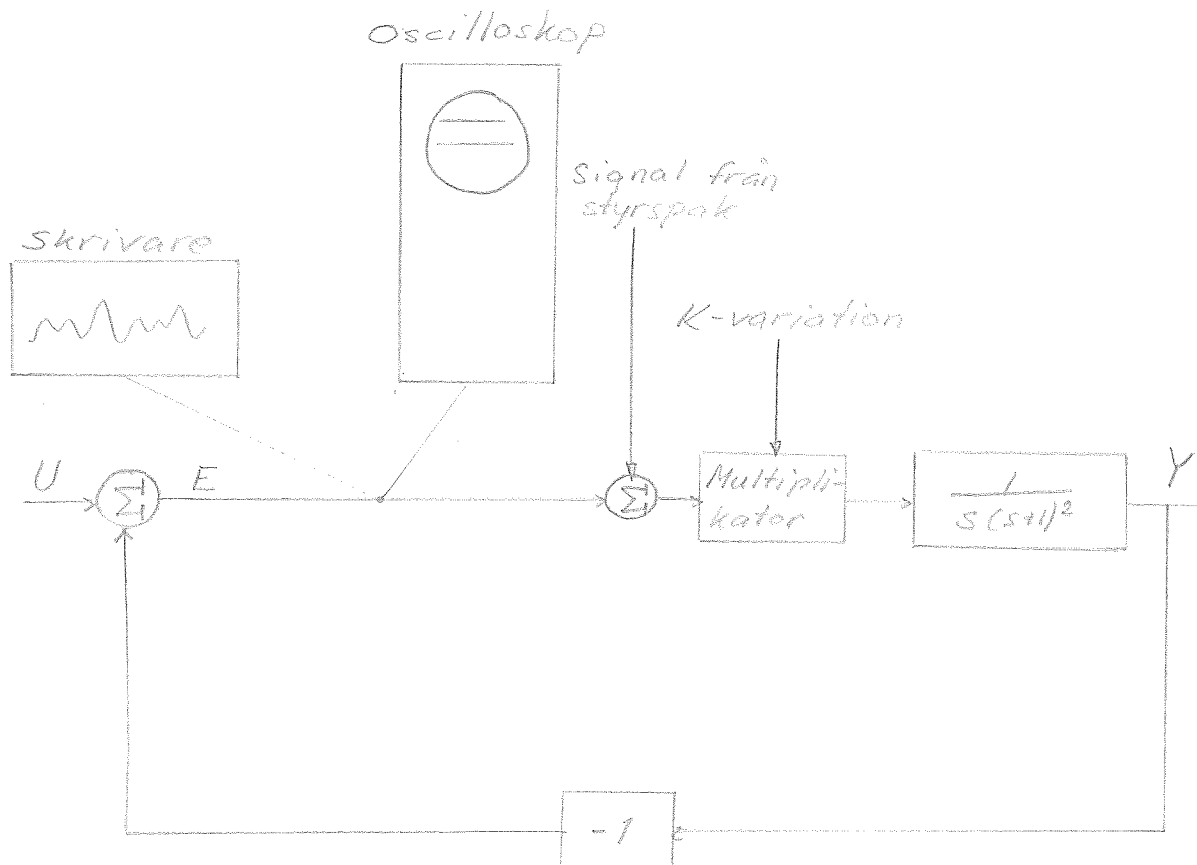


fig. 2.1.a

Uppkoppling A.

Felet registrerades på ett dubbelstråleoscilloskop och på en skrivare. Den ena strålen fick generera en fix nollinje. Den andra visade felets amplitud. Operatören iakttog felets storlek på oscilloskopet och skulle med styrspaken hela tiden ge en lämplig signal, så att den rörliga linjen sammanföll med den fixa.

I uppkoppling A går signalen  $E(s)$  direkt in i systemet. Vid instabilitet kommer denna signal att bli stor. Detta får simulera en störning, som verkar på systemet. Den variabla förstärkningen  $K$  realiserades genom att systemets signal multiplicerades med en variabel signal.

Styrspaken gav en utspänning som var proportionell mot spakens utslag. En fjäder, som hela tiden ville föra spaken till nollläget, hade inmonterats. Detta underlättade styrningen. Fullt utslag motsvarade en viss spänning,  $V_0$ .  $V_0$  sattes lika med 50 volt. Det lämpligaste värdet beror på operatörens eget tycke och styrteknik. Ett litet värde på  $V_0$  medför stora utslag med spaken. Ofta ändrades emellertid felsignalen ganska snabbt, och då kunde det bli obekvämt att hela tiden behöva göra stora utslag. Med ett större värde på  $V_0$  är det lättare att snabbt byta polaritet på styrsignalerna. Det är emellertid inte heller bra att ha ett alltför stort värde på  $V_0$ . Ibland kunde det nämligen dyka upp ett stort fel på oscilloskopskärmen, och då ville operatören minska det så snabbt som möjligt, varför han "drog spaken i botten". Oftast höll han den där alltför länge. Felet bytte då tecken och blev ännu större än tidigare, och operatören kunde mycket lätt förlora kontrollen över styrningen.

Som insignaler användes steg och brus. Den i analogmaskinen inbyggda brusgeneratoren ger normalfördelat brus inom frekvensområdet 0 - 35 Hz, vilket betyder att vinkelhastigheten  $\omega$  varierar mellan 0 och 220 rad/s. För att kunna använda bruset vid styrningsförsöken måste det filtreras. Med ett filter av nedanstående typ erhöles en effektiv bortfiltrering av de höga frekvenserna.

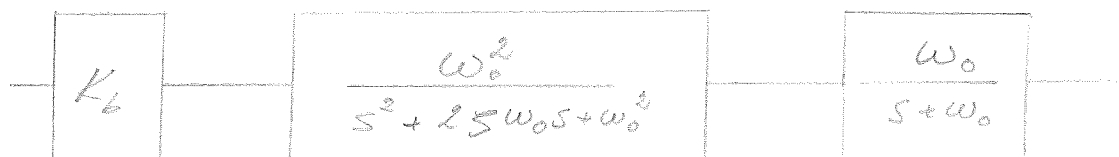


fig. 2.1.b

Lågpasfilter för filtrering av bruset.

$K_b$  är en potentiometer, som användes för att hålla brusets maximala



amplitud ungefär konstant när  $\omega_c$  varierades.  $\xi$  sattes lika med 0,4. På  $\omega_c$  valdes värdena 1 och 3 rad/s.  $K_b$  sattes lika med 1 för bruset med  $\omega_c = 1$  rad/s. (Se diagram 1a.) Ur diagrammen 1b, c och 2 framgår att  $K_b = 0,65$  är ett lämpligt värde för det snabbare bruset.

Innan de egentliga undersökningarna påbörjades företogs en serie träningspass för att undvika en del av den störande inverkan som operatörens inlärningsförmåga innebar.

## 2.2 Resultat av styrningen.

### 2.2.1 K är konstant.

Först gjordes några inledande försök i vilka K fick anta några olika konstanta värden. I diagram 3a visas felets utseende för  $K=2$  då inga styrgrepp företogs. Insignalen är ett steg på 5 volt. Förstärkningsparametern ligger alltså precis på gränsen mellan stabilitet och instabilitet. Som väntat erhålles ett oscillerande fel med konstant amplitud. Kan nu detta fel minskas med manuell styrning? Av diagram 3b framgår att felet kan nedbringas betydligt. Ungefär 6 sek efter det att steget lagts på har operatören lyckats få kontroll över systemet. Felet håller sig i fortsättningen ganska nära nollinjen.

I diagram 3c visas felets variation då  $K=3$ . Systemet är instabilt, och följaktligen ökar felets amplitud hela tiden. Kan även denna större felvariation styras ned mot nollinjen? Diagram 3d visar att detta inte innebär några problem.

I de nu beskrivna experimenten har signalen varit ett steg. I diagram 4 visas motsvarande undersökningar med det långsamma bruset som insignal. En jämförelse mellan diagrammen 3b och 4b visar tydligt att den oregelbundna signalen medför större fel i operatörens styrning.

I diagram 5 har det snabba bruset använts som insignal. Mellan 65 och 70 sek efter start i diagram 5b tycks operatören ha gjort en miss. Vid  $t=65$  sek ser han att felet är på väg att bli onormalt stort. Han reagerar därför med en kraftig styrsignal, som emellertid blir alltför stor. Felet byter tecken och antar ett stort negativt värde. Till slut får han tillbaka kontrollen över systemet. I diagram 5c har samma försök upprepats. Här har emellertid operatören vissa svårigheter i början. En jämförelse mellan diagram 4b och diagrammen 5b och c visar att det snabba bruset leder till något större fel än det långsamma.

I diagram 6 upptogs kurvor för ett kraftigt instabilt system. ( $K=10$ ). Felets storlek utan manuell styrning växte mycket snabbt och upptogs ej på skrivare.

Diagram 6 visar att operatören kan behålla kontrollen över systemet för samtliga tre insignaler trots den kraftiga instabiliteten. Det är intressant att jämföra diagrammen 4b och 6b. I båda fallen utgör det långsamma bruset insignal. I diagram 4b varierar felet ganska långsamt beroende på att systemet är trögt att styra ( $K=2$ ). I diagram 6b varierar felet betydligt snabbare, eftersom systemet är starkt instabilt ( $K=10$ ) och således ögonblickligen reagerar för styrsignalerna.

### 2.2.2 K varierar stegvis.

Se diagram 7a. Efter 15 sek ändras  $K$  från 1 till 10, och efter ytterligare 15 sek ändras  $K$  tillbaka till 1. Diagram 7b visar felets variation utan manuell styrning när ett steg lagts på ingången. Tidsintervallet med den kraftiga instabiliteten medför stora oscillationer, vilka emellertid kan styras ned elegant på manuell väg. (Se diagram 7c).

I diagram 8 har det långsamma bruset använts som insignal. Diagrammen 8b och c visar två styrningsförsök. I det första har operatören gjort en liten miss mellan 30 och 35 sek efter start. Det andra försöket ser bättre ut. Diagram 9 visar motsvarande kurvor med det snabba bruset som insignal. Det framgår att detta brus orsakar märkbart större svårigheter vid den manuella styrningen.

### 2.2.3 K varierar exponentiellt.

I diagram 10a varierar K exponentiellt mellan 1 och 2, och tidskonstanten är 10 sek. Systemet ligger alltså hela tiden i det stabila området. I diagrammen 10 b och c är insignalen ett steg. Det är ingen stor skillnad i felets variation utan resp. med manuell styrning. I diagram 11 är tidskonstanten minskad till 2 sek. I detta fall befinner sig systemet vid instabilitetsgränsen ( $K=2$ ) under längre tid, och följaktligen blir oscillationerna större i diagram 11b. I det första styrningsförsöket (diagram 11c) lyckas operatören hålla felet ganska nära nollinjen. I det andra (diagram 11d) har han däremot vissa besvär mellan 5 och 25 sek efter start.

I diagram 12a varierar K exponentiellt mellan 1 och 5 med tidskonstanten 10 sek. Se diagrammen 12b och c. Det vållar inga problem att hålla felet nere med manuell styrning och steg som insignal.

I diagram 13 har tidskonstanten minskats till 2 sek. Felet i diagram 13c blir lite större än i diagram 12c. I diagram 13c kan man också lägga märke till den tydliga minskningen i felets amplitud efter 40 sek beroende på att förstärkningsparametern just då sjunker från 5 till 1. I diagram 14 och 15 har långsamt resp. snabbt brus använts som insignal. Det snabba bruset leder till större fel i den manuella styrningen, vilket även konstaterats tidigare.

### 2.2.4 K varierar sinusformigt.

I diagram 16 varierar K sinusformigt mellan 1 och 3 med vinkelhastigheten 0,1 rad/s. Detta innebär att systemet är instabilt under den första perioden och stabilt under den andra. Diagram 16b visar felets variation utan styrning. Insignalen är ett steg. Som väntat

är amplituden växande under den första perioden och avtagande under den andra. Även med styrning blir felet större under den första perioden än under den andra. (Se diagram 16c!)

Därefter gjordes försök med en snabbare K-variation. I diagram 17 är vinkelhastigheten 0,3 rad/s. Vid den manuella styrningen hann man inte märka att förstärkningen varierade beroende på den korta periodtiden. Operatören anpassade sig i stället till ett medelvärde på förstärkningen. Som framgår av diagram 17c leder detta till ett hyggligt styrresultat. I diagram 18 har dels det långsamma och dels det snabba bruset använts som insignal. Man ser att felet inte kan minskas genom manuell styrning, när det snabba bruset är insignal.

Sedan undersöktes systemet när K varierade mellan 1 och 10. I diagram 19a är vinkelhastigheten 0,1 rad/s. Systemet är instabilt under större delen av perioden. I diagram 19b och c visas felets variation utan resp. med styrning, när ett steg lagts på ingången. Diagram 20a och b visar motsvarande kurvor med det långsamma resp. snabba bruset som insignal. Man konstaterar än en gång att systemet är lättast att styra med steg som insignal, och att det är svårast att styra med det snabba bruset som insignal.

3. Styrning med registrering av tidsintegralen av felets kvadrat.  
Uppkoppling B och C.

3.1 Beskrivning av försöket.

Uppkoppling B framgår av nedanstående figur. Systemet påverkas endast av signaler från styrspaken.

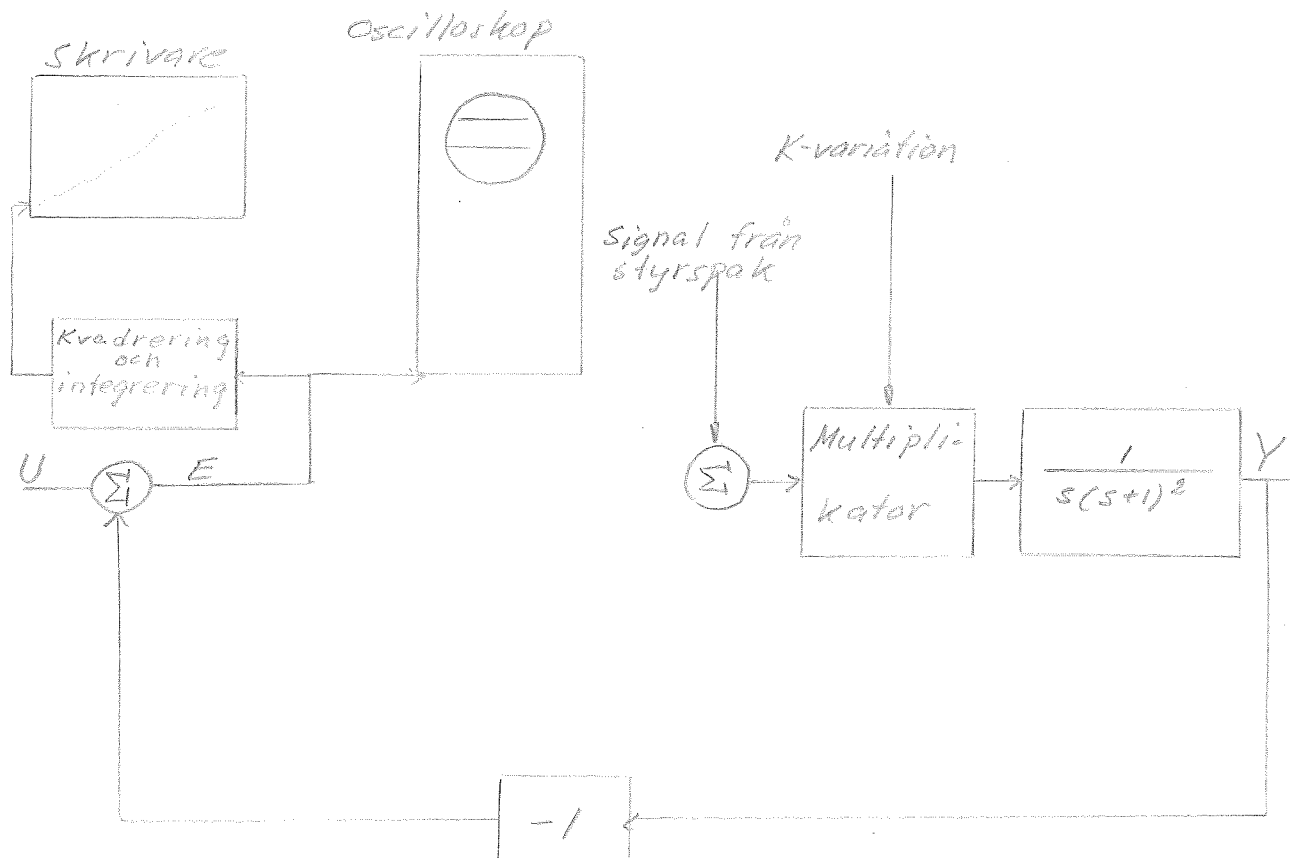


fig. 3.1.a

Uppkoppling B.

Genom att registrera tidsintegralen av felets kvadrat kan man lätt göra jämförelser mellan resultaten från de olika styrningsförsöken.

På nästa sida visas uppkoppling C. Här har insignalen satts lika med noll. Systemet påverkas i stället av en störning, som tänkes komma in framför den sista integratorn.

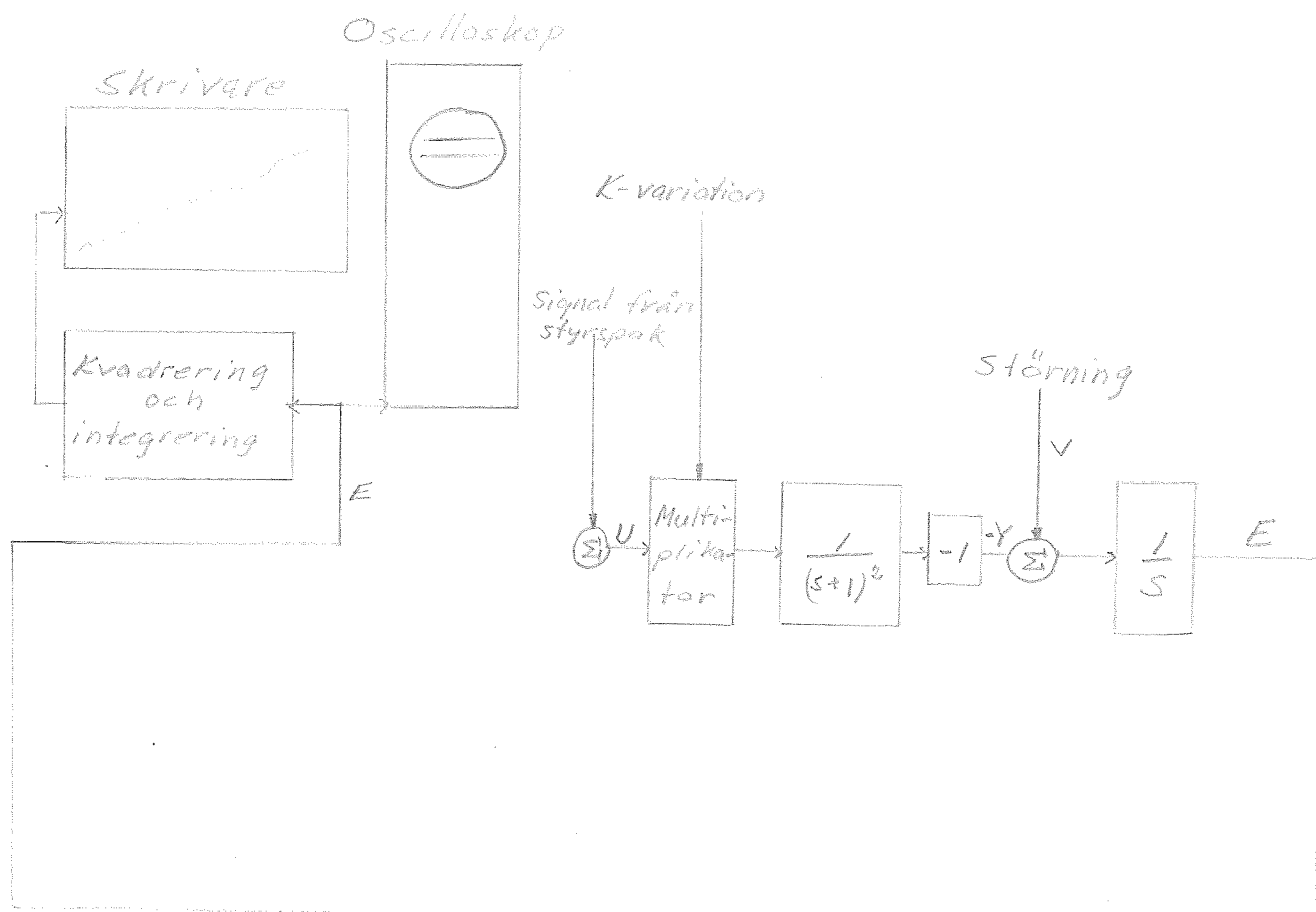


fig. 3.1.b  
Uppkoppling C.

Ur ovanstående figur fås

$$E(s) = \frac{1}{s} \left( V(s) - \frac{K}{(s+1)^2} U(s) \right) = \frac{1}{s} V(s) - \frac{K}{s(s+1)^2} U(s)$$

Som insignal i fig. 3.1.a och störning i fig. 3.1.b användes brus, vars utseende framgår av diagram 21a och b. Bruset filtrerades med samma filter som tidigare. Amplituden har ökats en faktor 10. I samtliga fall varierar förstärkningsparametern sinusformigt med vinkelhastigheten 0,1 rad/s. K-variationen i fallet  $1 \leq K \leq 3$  framgår av diagram 22a.

### 3.2 Styrning under kort tid.

#### Uppkoppling B.

Det vore intressant att veta hur resultaten beror av operatörens skicklighet. För att få en vägledande upplysning gjordes ett experiment, där en van och en ovan operatör (U. Borisson resp. R. Sogndal) fick genomföra ett styrningspass under samma omständigheter. På en skrivare registrerades

$$\int_{100}^{\infty} \frac{e^2}{dt} .$$

Resultaten framgår av 22b och 23. Efter 60 sek, dvs. ungefär en period i K-variationen, hade den vane operatören uppnått 29,5 volt och den ovane 51 volt. Den senare hade alltså drygt 70% större fel. Förstärkningskonstanten varierade mellan 1 och 3, och som insignal användes det långsamma bruset.

De fortsatta styrningsförsöken gjordes endast av U. Borisson. Resultaten framgår av diagrammen 24 - 27 och skall nedan presenteras i tabellform. Först skall ett par kommentarer göras. I diagram 24 ökar felet märkbart vid t=35 sek. I diagram 25 växer felet mycket kraftigt vid ungefär samma tidpunkt. Detta kan bero på att operatören har haft besvär, när förstärkningskonstanten har övergått från stabilt till instabilt område. Av diagram 22a framgår nämligen att denna övergång sker just efter ungefär 30 sek. Försöket i diagram 25 upprepades, och resultatet framgår av diagram 26. Här tycks emellertid operatören ha haft vissa initialsvårigheter.

Resultat:

Diagram	K-variation	$\omega_0$ (rad/s)	$\int_{100}^{60} \frac{e^2}{dt}$ (volt)
22b	$1 \leq K \leq 3$	1	29,5
24	$1 \leq K \leq 3$	3	35,5
26	$1 \leq K \leq 10$	1	46,0
27	$1 \leq K \leq 10$	3	47,5

Den stora förstärkningsvariationen ( $1 \leq K \leq 10$ ) medför märkbart större fel än den lilla. Vidare blir felet något större med det snabba bruset som insignal än med det långsamma.



### 3.3 Styrning under lång tid.

Uppkoppling B och C.

Samtliga föregående försök har gjorts under cirka 70 sek. Under denna tid hinner förstärkningsfaktorn variera ungefär en period om variationen är sinusformig och vinkelhastigheten är 0,1 rad/s. I diagrammen 28 - 30 har styrningen i stället utförts under 350 sek, vilket i ovanstående fall motsvarar drygt 5 perioder. Tidsintegralen av felets kvadrat växer ganska jämnt hela tiden, och någon periodisk variation kan alltså inte märkas.

Resultat:

Diagram	Uppkoppling	K-variation	$\omega_c$ (rad/s)	$\int_0^{350} \frac{e^2}{1000} dt$ (volt)
28	B	$1 \leq K \leq 3$	1	22,0
29	B	$1 \leq K \leq 10$	1	24,5
30a	C	$1 \leq K \leq 3$	1	13,5
30b	C	$1 \leq K \leq 10$	1	21,5

Felet blir alltså minst med uppkoppling C, i vilken bruset kommer in som en störning framför sista integratorn.

Med uppkoppling C gjordes en registrering av felets storlek, när systemet inte påverkades av någon styrning. Resultatet framgår av diagram 31. Felet växer mycket snabbt. En jämförelse med det styrda systemet ger följande resultat:

	Diagram	K-variation	$\int_0^{60} \frac{e^2}{1000} dt$ (volt)
Med styrning	30a	$1 \leq K \leq 3$	1,2
" "	30b	$1 \leq K \leq 10$	3,2
Utan styrning	31		215

I fallet  $1 \leq K \leq 10$ , dvs. det sämre fallet, blev resultatet med styrning ändå drygt 60 ggr bättre än det som erhöles utan någon styrning.

4. Sammanfattning.

Operatören kunde förhållandevis lätt anpassa sig efter en varierande förstärkningsparameter. Om variationen hade liten periodtid, kunde man ofta inte märka att förstärkningen överhuvudtaget varierade. Systemet var lättast att styra med steg som insignal. Därefter kom i ordning det långsamma och det snabba bruset. Det konstaterades vidare att systemet reagerade snabbare på styrsignalerna om det var instabilt, men detta förbättrade ändå inte styrresultatet.

### III. YOUNGS METOD.

#### 1. Allmän beskrivning.

Young har föreslagit en metod att bestämma parametrarna i en dynamisk process. Den förklaras kanske enklast genom ett lätt exempel. Betrakta ett första ordningens system:

$$a_0 y + a_1 \dot{y} - u = 0 \quad \dots(1)$$

där  $u$  och  $y$  är in- resp. utsignal.  $a_0$  och  $a_1$  antages vara konstanta eller variera långsamt jämfört med  $u$  och  $y$ . Välj nu godtyckliga värden på  $a_0$  och  $a_1$  och kalla dessa  $a_{0c}$  resp.  $a_{1c}$ . Om dessa värden insättes i ekv. (1) ger de upphov till ett visst fel. Värdena på  $a_{0c}$  och  $a_{1c}$  hade ju valts helt godtyckligt. Vi får nu ett samband av typen

$$a_{0c} y + a_{1c} \dot{y} - u = E \quad \dots(2)$$

där  $E$  är en funktion som beror på hur bra  $a_{0c}$  och  $a_0$  samt  $a_{1c}$  och  $a_1$  stämmer överens.  $E$  har värdet noll endast då  $a_{0c}$  och  $a_{1c}$  satisfierar ekv. (1).

I varje godtyckligt ögonblick kan  $u$ ,  $y$  och  $\dot{y}$  betraktas som konstanta. Uttrycket (2) kan då skrivas som ekvationen för en rät linje i  $a_{0c}$ - $a_{1c}$ -planet.

$$a_{1c} = -\frac{y}{\dot{y}} a_{0c} + \left( \frac{u}{\dot{y}} + \frac{E}{\dot{y}} \right) \quad \dots(3)$$

Om linjen inritas i ett koordinatsystem erhålles följande figur:

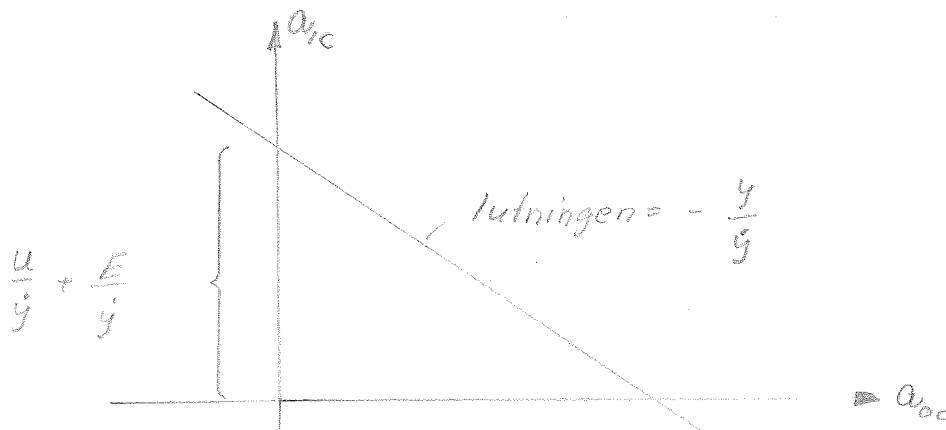


fig. 1.a

Den räta linjen  $a_{1c} = -\frac{y}{\dot{y}} a_{0c} + \left( \frac{u}{\dot{y}} + \frac{E}{\dot{y}} \right)$

När  $E$  varierar erhålles en serie räta linjer. Om man betraktar beloppet av  $E$ ,  $|E|$ , kan linjerna antas beskriva en dalliknande yta i  $a_{oc} - a_{1c} - |E|$  - rummet:

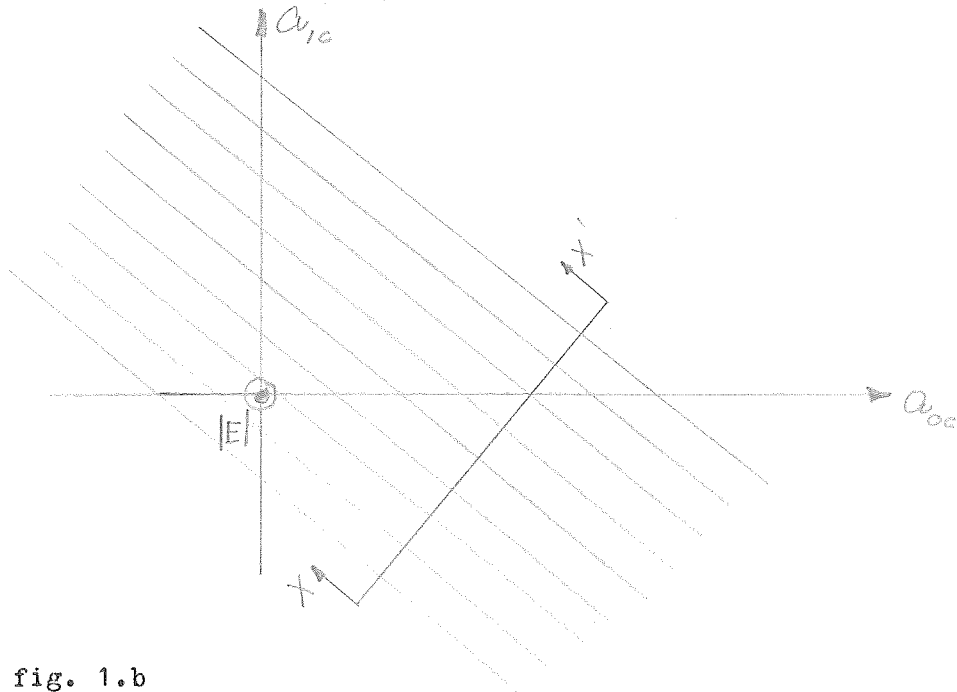


fig. 1.b

Den dalliknande ytan  $|E|$ .

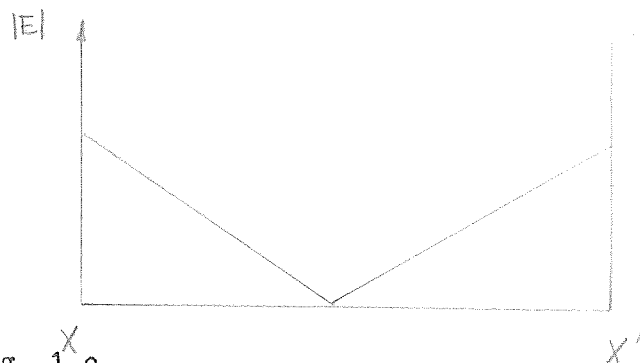


fig. 1.c

Snittet  $XX'$

Just på den linje som ligger i botten på dalytan är  $|E| = 0$ , och i varje ögonblick är det alltså ett oändligt antal värden på  $a_{oc}$  och  $a_{1c}$  som satisfierar (1). Vi söker nu det värdepar som gör  $|E| = 0$  i alla ögonblick.

Låt oss ta ett numeriskt exempel. Betrakta ett första ordningens system med tidskonstanten 1 sek. ( $G = 1/(1+s)$ ). Ekv. (2) ger (insignalen antages vara ett enhetssteg):

$$|a_{0c}y + a_{1c}\dot{y} - 1| = |E|.$$

$|E| = 0$  ger

$$a_{1c} = -\frac{y}{\dot{y}} a_{0c} + \frac{1}{\dot{y}} \quad \dots(4)$$

Utseendet av  $y$  och  $\dot{y}$  framgår av nedanstående figur.



fig. 1.d

Utseendet av  $y$  och  $\dot{y}$  då  $u$  är ett enhetssteg. ( $G = 1/(1+s)$ ).

Om  $y$  och  $\dot{y}$  avläses vid några olika tidpunkter och insättes i ekv. (4) erhålles ett linjeknippe:

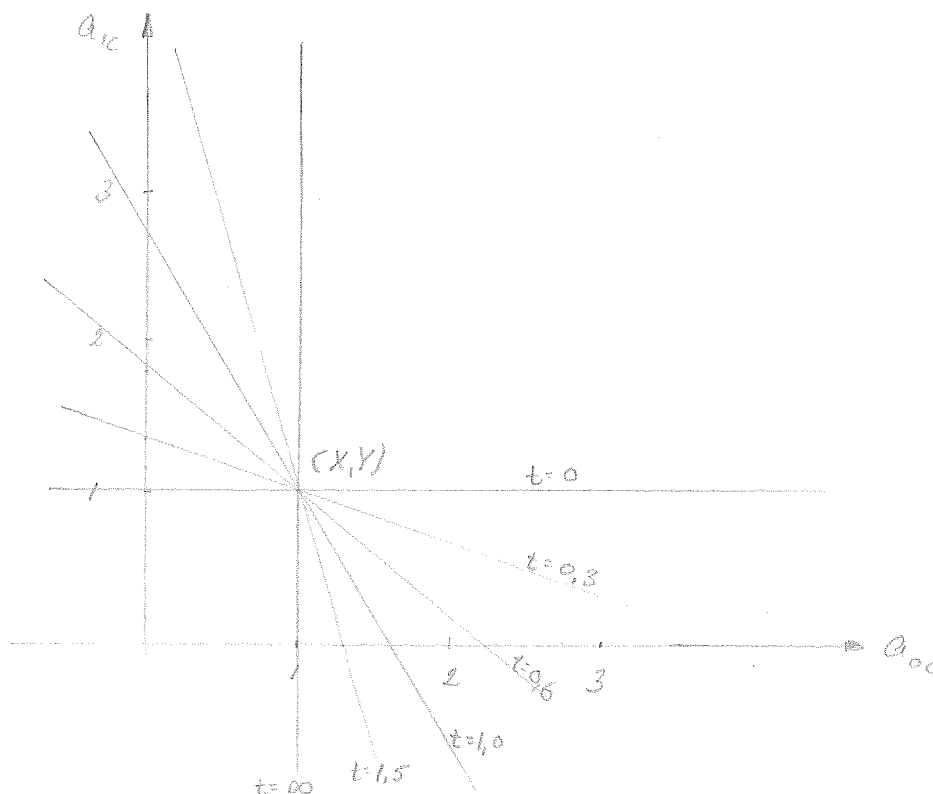


fig. 1.e Läget av linjen  $|E| = 0$  vid olika tidpunkter.

Varje linje representerar alltså läget av linjen  $|E|=0$  i  $a_{0c} - a_{1c}$ -planet i ett visst ögonblick. Av fig 1.e framgår att linjen  $|E|=0$  roterar kring en viss punkt  $(X,Y)$ . I detta fall är  $(X,Y) = (1,1)$ . Detta är den enda punkt som satisfierar ekvationen

$$a_{0c}y + a_{1c}\dot{y} - 1 = 0 \quad \dots(5)$$

vid alla tidpunkter. Ekv. (5) blir alltså

$$y + \dot{y} - 1 = 0.$$

Detta stämmer med den överföringsfunktion från vilken vi utgick,

$$G = \frac{1}{1+s}.$$

Allmänt kan man visa att för en godtycklig begränsad insignal kommer linjen  $|E|=0$  att rotera kring en speciell punkt,  $(X,Y)$ . Om insignalen ändras kommer rotationssättet att bli annorlunda men rotationspunkten påverkas ej. Vi har således funnit att den dalliknande ytan med linjen  $|E|=0$  i botten roterar kring en speciell punkt, ur vilken systemets parametrar kan utläsas.

Ovanstående resonemang gjordes för ett första ordningens system,

$$a_0 \cdot y + a_1 \cdot \dot{y} - u = 0$$

vilket också kan skrivas

$$\sum_{r=0}^1 a_r p_r = 0,$$

där  $p_r$  betecknar insignal, utsignal eller utsignalens derivata.  $a_2$  antages vara lika med  $-1$ . (Man kan också säga att man dividerar ekvationen med  $-a_2$ .) Man kan visa att det tidigare resonemanget går att generalisera, så att det även gäller för ekvationen

$$\sum_{r=0}^k a_r p_r = 0.$$

$p_r$  kan även betyda olika ordningars derivator samt kombinationer av olika termer. Koefficienten  $a_k$  är lika med  $-1$ . Man kan alltså bestämma de  $k$  koefficienterna

$$a_0, a_1, \dots, a_{k-1}$$

genom att undersöka

$$\left| \sum_{r=0}^k a_r p_r \right| = |E|$$

som utgör en yta i det  $k+1$  - dimensionella rummet

$$a_{0c} - a_{1c} - a_{2c} - \dots - a_{(k-1)c} = |E|.$$

Ett alternativ till att betrakta ytan  $|E|$  är att i stället undersöka ytan  $E^2$ . Då skulle t. ex fig 1.c motsvaras av följande figur:

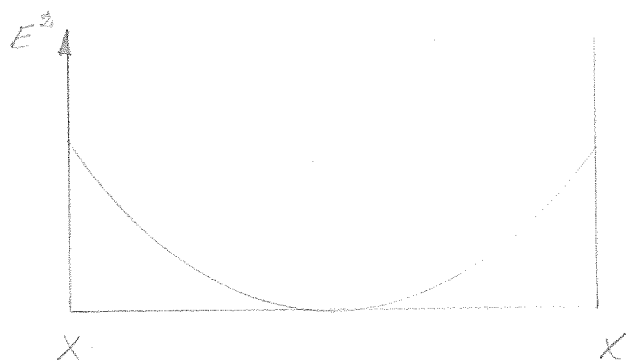


fig. 1.f  
Snittet  $XX'$  för ytan  $E^2$ .

Problemet är nu att hitta en metod som på ett enkelt sätt kan justera parametrarna i ekvationen

$$\left| \sum_{r=0}^k a_r p_r \right| = |E|$$

så att de erhåller värden  $a_r$ , vilka satisfierar ekvationen

$$\left| \sum_{r=0}^k a_r p_r \right| = 0 .$$

En bra metod är att i varje punkt på dalytan följa tangenten till den negativa gradienten av felfunktionen  $|E|$ . Man kan visa att följande differentialekvationer beskriver denna operation:

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{da_{0c}}{dt} = -K_0 \frac{\partial |E|}{\partial a_{0c}} \\ \frac{da_{1c}}{dt} = -K_0 \frac{\partial |E|}{\partial a_{1c}} \\ \vdots \\ \frac{da_{(k-1)c}}{dt} = -K_0 \frac{\partial |E|}{\partial a_{(k-1)c}} \end{array} \right.$$

$K_0$  är en positiv konstant, som bestämmer beräkningens hastighet.

Nedanstående villkor är oftast tillräckliga för konvergens.

1. Punkten  $(X, Y)$  skall vara stationär eller variera endast långsamt.
2. Konstanten  $K_0$  skall vara förhållandevis stor.
3. Insignalen måste visa tillräcklig variation.

2. Realisering på analogmaskin.

Ett första ordningens system användes för att verifiera metoden.

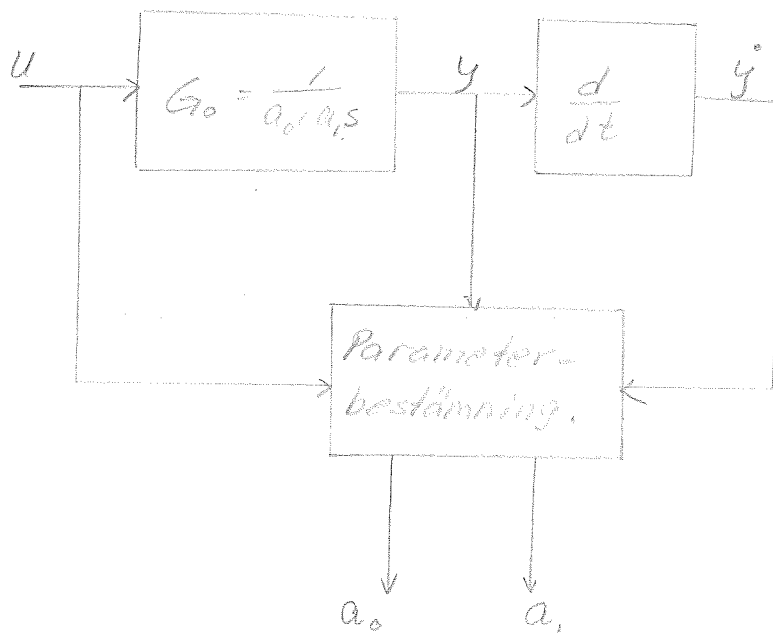


fig. 2.a

Skiss på Youngs metod.



Med felfunktionen  $E^2$  fås följande:

$$E^2 = ( a_{oc}y + a_{1c}\dot{y} - u )^2$$

$$\frac{da_{oc}}{dt} = -K_0 \frac{\partial E^2}{\partial a_{oc}} = -K_1 ( a_{oc}y^2 + a_{1c}y\dot{y} - yu ) \quad , \text{ där } K_1=2K_0.$$

$$\frac{da_{1c}}{dt} = -K_0 \frac{\partial E^2}{\partial a_{1c}} = -K_1 ( a_{oc}y\dot{y} + a_{1c}\dot{y}^2 - \dot{y}u ) \quad .$$

Dessa samband uppkopplades på analogmaskin. Den principiella uppkopplingen framgår av fig 2.b på nästa sida. Det verkliga kopplings-schemat visas i diagram 32. In- och utsignal passerar ett lågpasfilter. I detta bortfiltreras eventuella högfrekventa störningar. Genom att sedan låta signalerna passera ett medelvärdesbildande filter minskas känsligheten för snabba fluktuationer. Man undviker härigenom att de beräknade parametrarna oscillerar kring de riktiga värdena. Filtret medför emellertid att systemet blir långsammare. Man får därför gå en medelväg vid val av tidskonstant för filtret.

I diagrammen 33 - 35 har några enklare experiment gjorts. Värdena på  $a_0$  och  $a_1$  ändrades för hand genom vridning på potentiometrar. Tiden för denna manipulation var jämförelsevis kort (2 - 4 sek). I diagrammen har de korrekta parametervärdena markerats. Dessutom har insignalen och utsignalens derivata medtagits. Även när insignalen var ett steg (diagram 35) erhöles vettigt resultat.

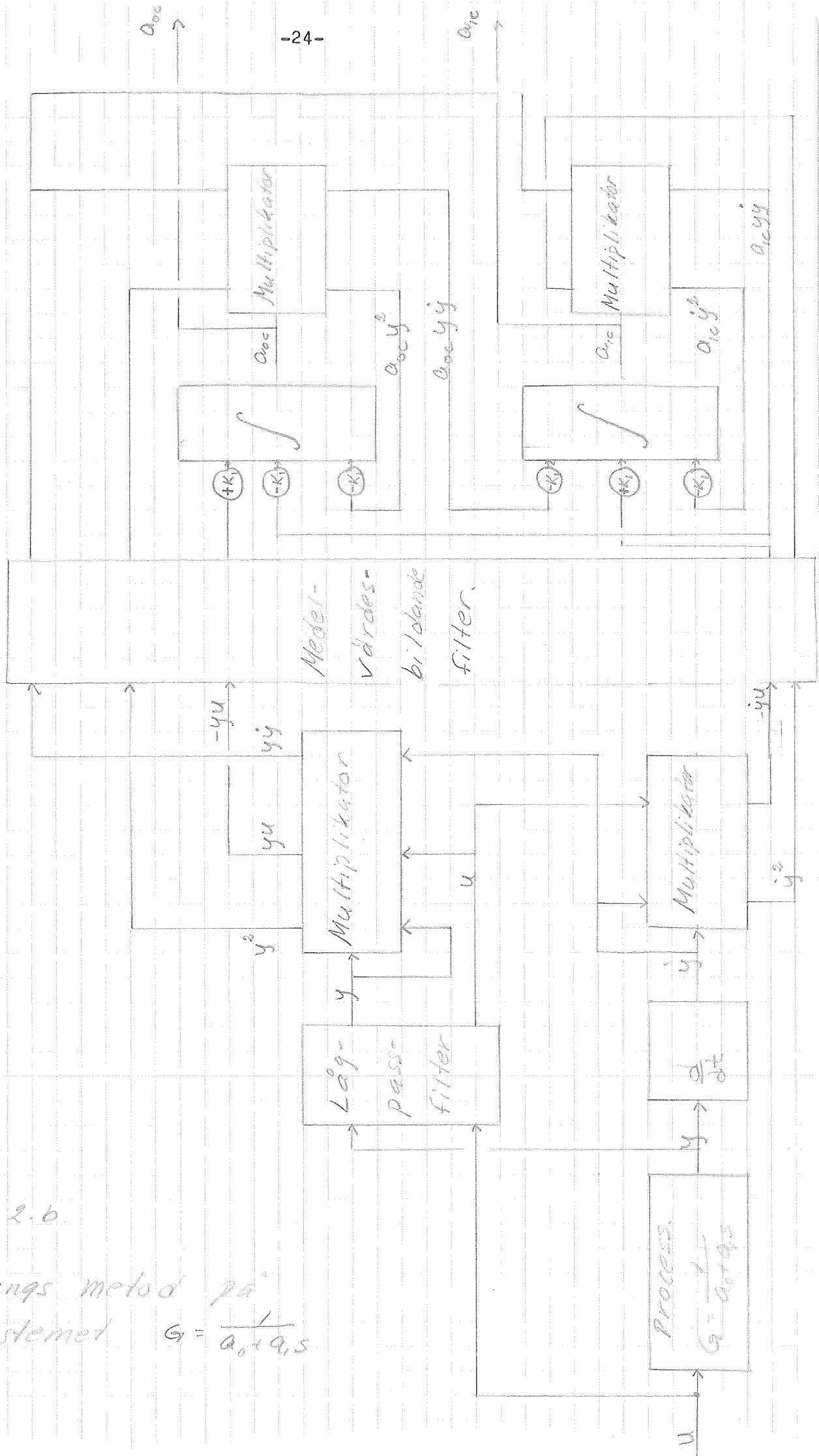


Fig 2.6

Youngs metod på systemet  $G = \frac{1}{a_0 \times a_1 s}$

3. Tillämpning i adaptivt system.

I kapitel II undersöktes systemet

$$G_o = \frac{K}{s(s+1)^2} ,$$

där K varierade. Vi vill nu eliminera denna variation i förstärkningsparametern och i stället hålla denna vid det konstanta värde som är förmånligast. Vi kan då med Youngs metod kontinuerligt bestämma värdet på K, och om man multiplicerar med 1/K så är variationen hos förstärkningsparametern upphävd. Vi antar att systemet kan uppdelas i delsystemen

$$\frac{K}{(s+1)^2} \quad \text{och} \quad \frac{1}{s} ,$$

och vi förutsätter att vi har tillgång till utsignalen från  $\frac{K}{(s+1)^2}$ .

Ett försök, som hade nedanstående uppkoppling, utfördes.

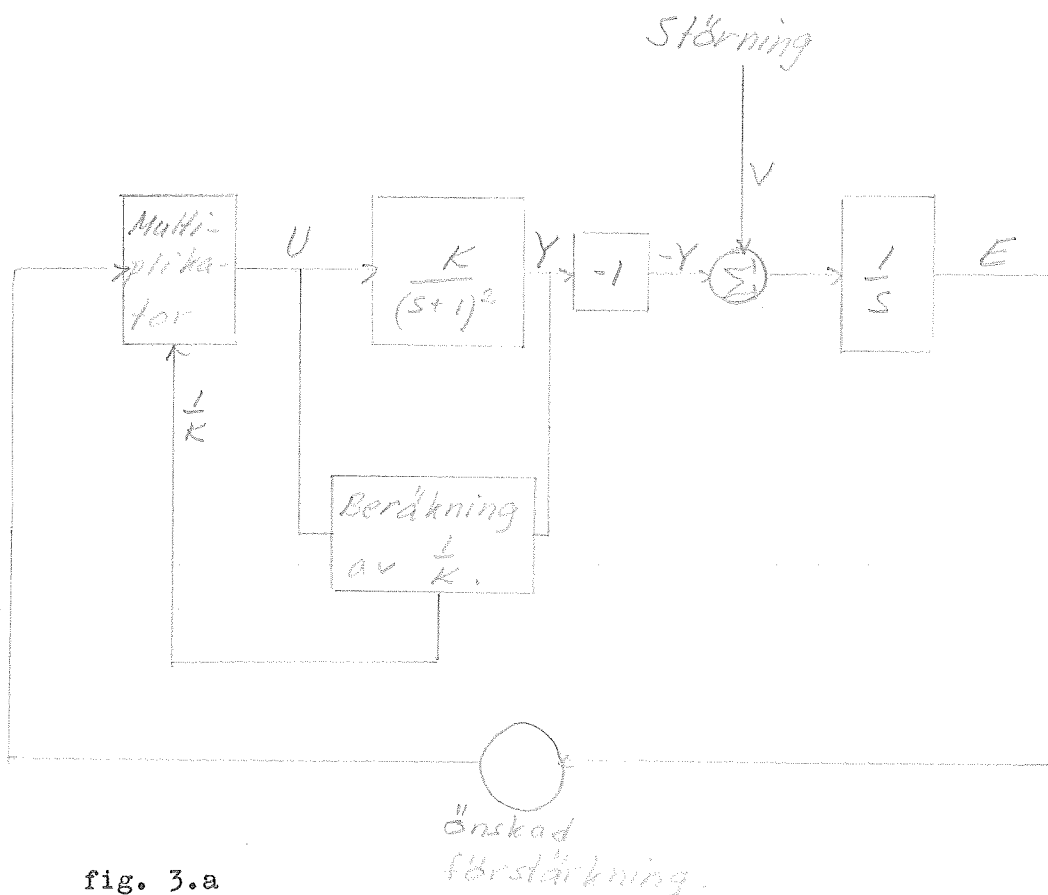


fig. 3.a

Youngs metod tillämpad i adaptivt system.

Om vitt brus användes som störning är det bästa värdet på förstärkningskonstanten  $2/3$ . Detta värde minimerar nämligen variansen hos E. (Variansen för E är proportionell mot

$$\frac{2+3K}{2K(2-K)}$$

vilket antar minimum för  $K=2/3$ .) Även i försöket i fig. 3.a användes värdet  $2/3$  på förstärkningskonstanten.

Betrakta nu systemet

$$\frac{Y}{U} = \frac{K}{(s+1)^2}$$

Omskrivning ger

$$\ddot{y} + 2\dot{y} + y - Ku = 0$$

$$\frac{1}{K}\ddot{y} + \frac{1}{K}2\dot{y} + \frac{1}{K}y - u = 0.$$

Inför den kvadratiske felfunktionen

$$E^2 = \left( \frac{1}{K}\ddot{y} + \frac{1}{K}2\dot{y} + \frac{1}{K}y - u \right)^2$$

Allmänt kan detta skrivas som

$$E^2 = \left( a_{2c}\ddot{y} + a_{1c}\dot{y} + a_{0c}y - u \right)^2$$

där  $a_{2c}=1/K$ ,  $a_{1c}=2/K$  och  $a_{0c}=1/K$ .

....(1)

För parametern  $a_{0c}$  fås då nedanstående differentialekvation:

$$\frac{da_{0c}}{dt} = -K_0 \frac{\partial E^2}{\partial a_{0c}} = -K_1 (a_{2c}\ddot{y} + a_{1c}\dot{y} + a_{0c}y^2 - yu)^2$$

Enligt (1) kan detta skrivas på följande sätt:

$$\frac{da_{0c}}{dt} = -K_1 ( a_{0c}\ddot{y} + 2a_{0c}\dot{y} + a_{0c}y^2 - yu )^2$$

där alltså  $a_{0c} = 1/K$ .

Fig. 3.b på nästa sida visar den principiella uppkopplingen av Youngs metod för detta fall, och det verkliga kopplingschemat framgår av diagram 36.

Först bestämdes lämpliga värden på integrationskonstanten  $K_1$  och tidskonstanten  $T_{av}$  i det medelvärdesbildande filtret. I diagrammen 37 - 39 antar  $K_1$  värdena 2, 20 och 200. Ännu större värden på  $K_1$  ledde till överbelastning i systemet.  $T_{av}$  hölls konstant hela tiden. Värdet på förstärkningsparametern  $K$  ändrades för hand med hjälp av en potentiometer. I diagrammen har följande storheter registrerats: insignal, utsignal, utsignalens 1:a och 2:a derivata samt  $1/K$ . Dessutom har de korrekta värdena på  $1/K$  markerats. Ett lämpligt värde på integrationskonstanten  $K_1$  tycks vara 20. I diagrammen 40a, b och c antar tidskonstanten  $T_{av}$  värdena 100, 50 och 10 sek, medan  $K_1$  hålles konstant på 20. Om  $T_{av}$  var mindre än 10 sek blev kurvan mycket ojäm. Med  $T_{av} = 10$  sek erhöles dock ett hyggligt resultat med snabba svar på förändringarna, och detta värde användes därför i fortsättningen.

Därefter undersöktes hur väl systemet kunde följa en sinusformig variation. Resultaten framgår av diagrammen 41 och 42. Följsamheten tycks vara bättre vid den lilla variationen på  $K$ . Till slut upptogs tidsintegralen av felets kvadrat. Eftersom systemet var känsligt för överbelastning kunde endast ganska små störningssignaler användas ( se diagram 44a ). Diagrammen 43a och b visar resultaten. Som jämförelse gjordes ett försök med manuell styrning av samma signal.

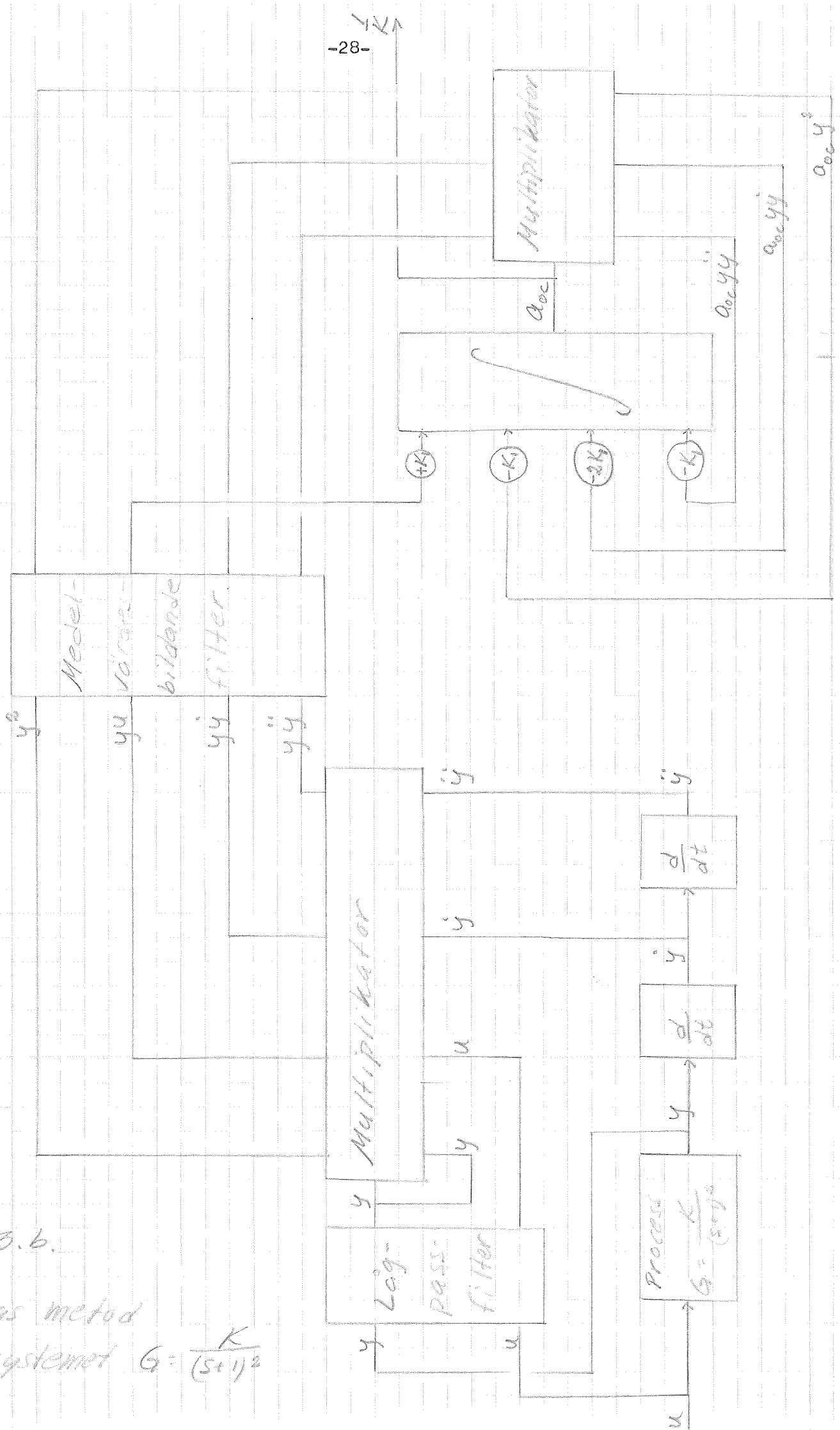
Resultat:

	Diagram	K-variation	$\int_0^{350} \frac{e^2}{1000} dt$ (volt)
Styrning med Youngs metod	43a	$1 \leq K \leq 3$	2,5
	43b	$1 \leq K \leq 10$	2,6
Manuell styrning	44b	$1 \leq K \leq 3$	0,7
	44c	$1 \leq K \leq 10$	1,0

I de två fallen gav den manuella styrningen ett resultat som var 3,6 resp. 2,6 ggr bättre.

Fig. 3.6.

Youngs metod  
 på systemet  $G = \frac{K}{(s+1)^2}$



#### 4. Sammanfattning.

Youngs metod visade sig fungera, men kvaliteten på de beräknade parametervärdena var ojämn. Tidvis hade den svårt att följa en sinusformig K-variation med vinkelhastigheten 0,1 rad/s. Det får räknas som en nackdel, att metoden endast är avsedd för långsamma parametervariationer.

IV. DIREKTA METODEN.

1. Allmän beskrivning.

Liksom tidigare betraktar vi delsystemet

$$\frac{Y}{U} = \frac{K}{(s+1)^2}$$

där K varierar. Det ligger nära till hands att direkt försöka beräkna K ur sambandet

$$K = \frac{s^2 Y + 2sY + Y}{U}$$

dvs.

$$K = \frac{\ddot{y} + 2\dot{y} + y}{u}$$

Man ser meddetsamma att det blir besvärligheter vid små insignaler. Vidare kan man förmoda att K-beräkningen kommer att innehålla ganska högfrekventa komponenter. K beräknas ju ur ögonblicksvärdena på insignalen, utsignalen och dess derivator, och dessa kan ju ha snabba förändringar.

För att undersöka hur metoden fungerade i praktiken gjordes nedanstående uppkoppling på analogmaskin:

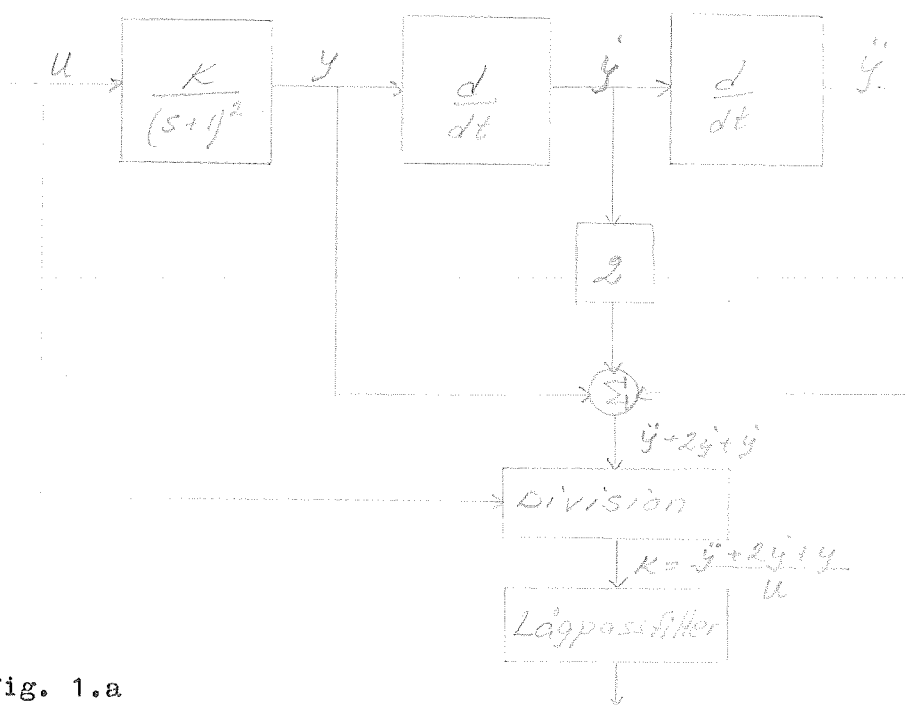


fig. 1.a

Schematisk uppkoppling av direkta metoden.



Insignalen varierades på ett sådant sätt att den aldrig blev noll. Dess utseende framgår av diagram 45a. Förstärkningskonstanten varierades manuellt med en potentiometer. Diagram 45b visar resultatet, när inget lågpassfilter användes. Som synes innehåller kurvan högfrekventa inslag, och dessa ingick ej i den verkliga K-variationen. Ett lågpassfilter av nedanstående typ användes i fortsättningen.

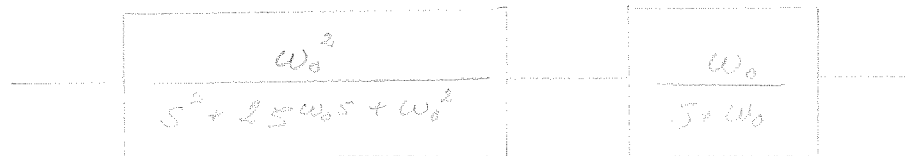


fig. 1.b  
Lågpassfilter.

$\zeta$  hade värdet 0,4. Kurvorna upptogs med  $\omega_c = 3, 1, 0,3$  och  $0,1$  rad/s. Se diagrammen 46a, b och 47a, b. Ju mindre värde man har på  $\omega_c$ , desto bättre blir filtreringen, men desto långsammare blir systemet. Vid de fortsatta undersökningarna användes värdet  $\omega_c = 0,3$  rad/s.

## 2. Tillämpning i adaptivt system.

Liksom i kapitel III bestämmer vi kontinuerligt värdet på den varierande förstärkningsparametern. Genom att multiplicera med  $1/K$  upphäves sedan K-variationen. Figuren på nästa sida visar försöksuppkopplingen.

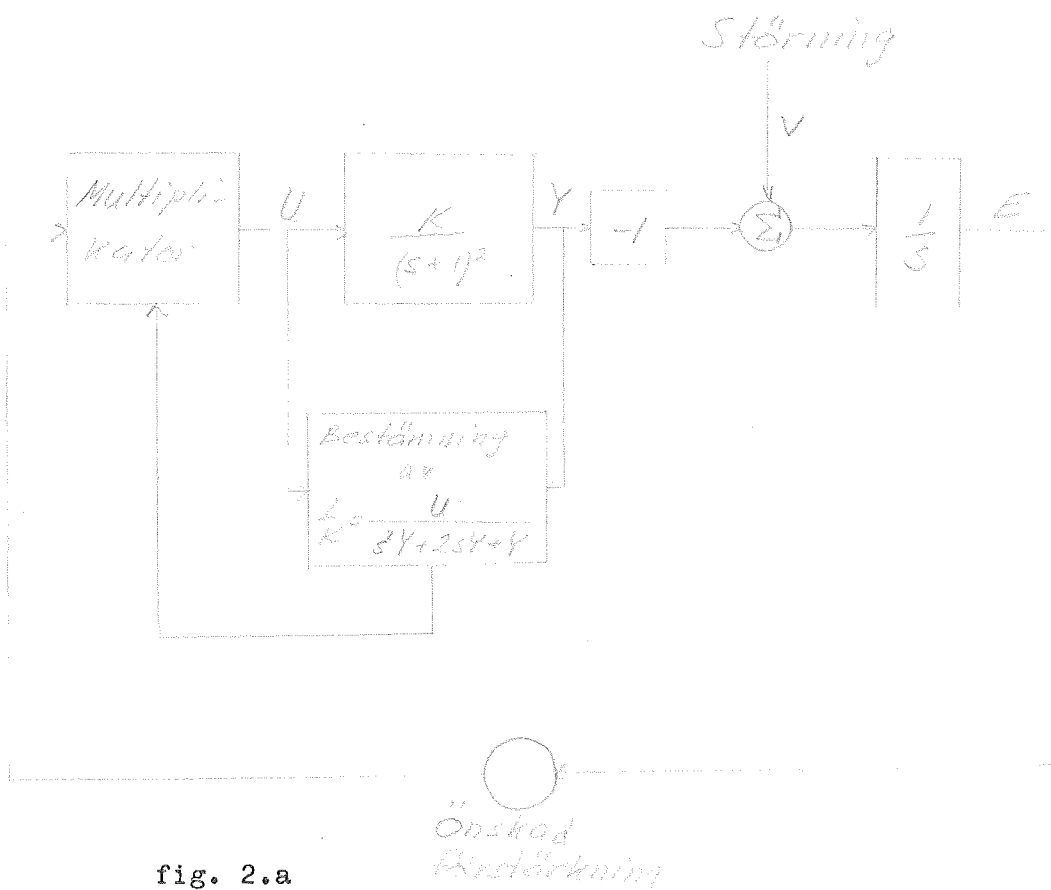


fig. 2.a

Direkta metoden tillämpad i adaptivt system.

Förstärkningskonstanten varierade sinusformigt mellan 1 och 3 med vinkelhastigheten 0,1 rad/s. (Se diagram 49a.) Det framgår av diagram 48 att  $1/K$  hade ett otillfredsställande insvängningsförlopp. Efter  $K$ -variationens första halvperiod (drygt 30 sek) hade emellertid beräkningen stabiliserats, och här blev resultatet förvånansvärt bra. Det störande insvängningsförloppet medförde ibland att systemet blev överbelastat. Därför modifierades uppkopplingen så, att beräkningen av  $1/K$  utnyttjades först fr.o.m. andra halvperiodens början. I det ögonblicket var  $K=2$  och således  $1/K = 0,5$ . Under den första halvperioden fick  $1/K$  anta det konstanta värdet 0,5. Ett relä såg till att den verkliga beräkningen av  $1/K$  inkopplades vid andra halvperiodens början. Diagram 49b visar utseendet av  $1/K$ .

I diagram 50 har tidsintegralen av felets kvadrat upptagits. Registreringen startades ej förrän den verkliga beräkningen av  $1/K$  hade kommit i gång. Diagram 51 visar motsvarande försök med manuell styrning.

Resultat:	Diagram	K-variation	$\int_0^{50} \frac{e^2}{1000} dt$ (volt)
Direkta metoden	50	$1 \leq K \leq 3$	199
Manuell styrning	51	$1 \leq K \leq 3$	7,8

Resultatet med den manuella styrningen blev alltså 25 ggr bättre. Observera att medelvärdet på störningssignalen vid dessa försök var 40 volt, medan det tidigare legat på 0 volt.

### 3. Sammanfattning.

Den sinusformiga K-variationen med vinkelhastigheten 0,1 rad/s kunde den direkta metoden följa ganska väl. Insignaler, som ligger i närheten av noll, ställer däremot till trassel. Det är också en nackdel att det beräknade K-värdet innehåller högfrekventa komponenter. När dessa bortfiltreras går en del av metodens snabbhet förlorad.

V. S O C ( Self - Organizing Control ) .

1. Allmän beskrivning.

Genom att styra ett system med SOC kan man minska inverkan av yttre högfrekventa störningar. SOC liknar till en del ett system med konventionell relästyrning (bang-bang system). Dessutom har man emellertid infört en PSV - enhet, som skall förklaras nedan. ( PSV = Probability State Variable). Man är inte huvudsakligen intresserad av en parameters ögonblickliga värde utan av dess sannolikhetsfördelning. Nedanstående figurer visar uppbyggnaden av SOC.

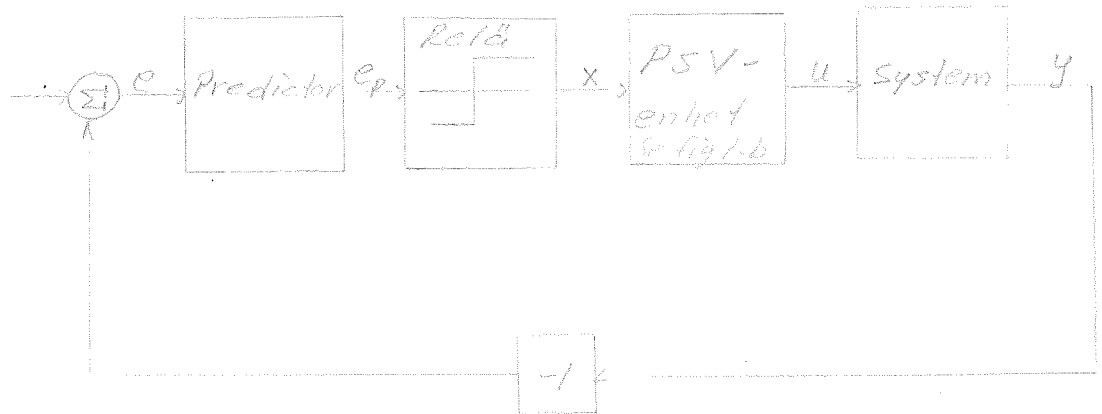


fig. 1.a

Principen för SOC.

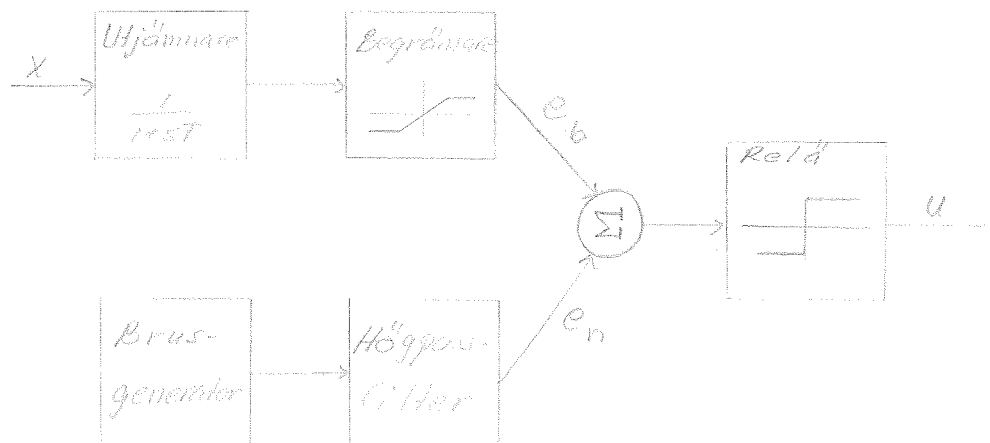


fig. 1.b

PSV - enheten.

Predictorn förutsäger felets variation. Dess överföringsfunktion kan vara av typen  $1 + as$ . PSV-enheten har två huvudsakliga uppgifter. Dels skall den åstadkomma en insignal till systemet, som är fri från högfrekventa komponenter härrörande från störningar, och dels skall den frambringa en "mjuk" omslagskaraktistik för reläet.

Utsignalen från PSV-enheten är en konstant signal med omväxlande positivt och negativt tecken. I ett godtyckligt ögonblick är sannolikheten för att utsignalen  $u$  är positiv beroende av storleken på dels utsignalen från begränsaren,  $e_b$ , och dels på det högfrekventa brusets,  $e_n$ . Summan av dessa måste vara positiv för att  $u$  skall bli positiv. Bruset skall vara normalfördelat med medelvärdet noll. Antag att  $e_b$  under en viss tid har ett konstant värde. Genom att ändra på brusets amplitud kan man variera sannolikheten för att  $u$  skall bli positiv eller negativ. Om  $e_b$  är 3 volt kan man härleda följande värden:

Brusets amplitud (rms) (volt)	Sannolikhet att $e_b$ och $u$ har samma tecken
0	1
2	0,93
4	0,80
6	0,70

Ju större brusets amplitud är, desto "mjukare" blir reläets omslagskaraktistik.

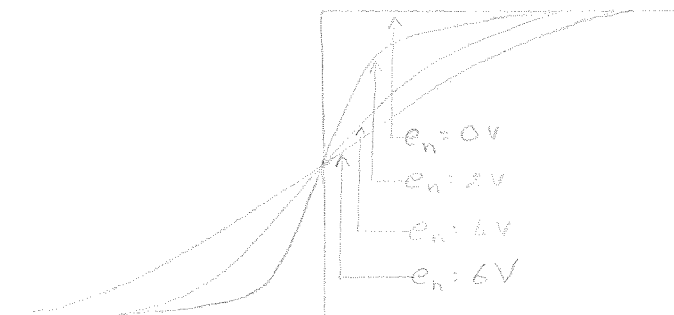


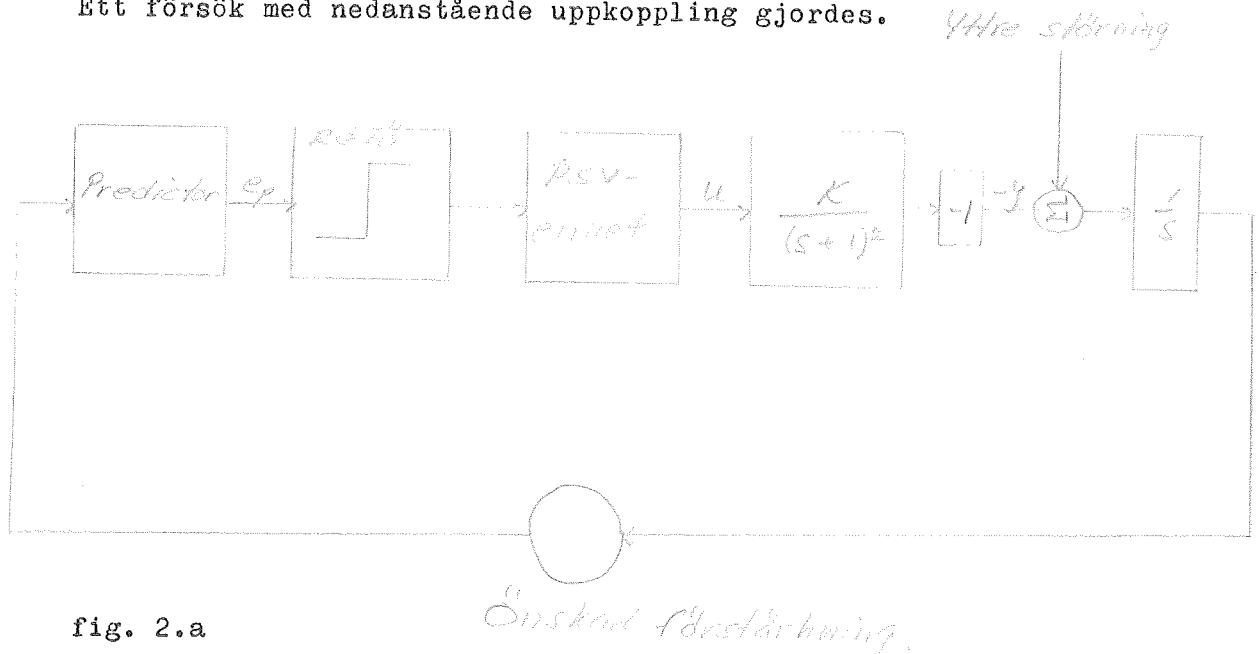
fig. 1.c

Hur reläets omslagskaraktistik beror av det högfrekventa brusets amplitud ( $e_n$ ).

Antag att insignalen till predictorn är påverkad av högfrekventa störningar. I PSV-enheten kommer de flesta av dessa störningar att elimineras, och insignalen till systemet ( $u$ ) är därför i det närmaste opåverkad av de högfrekventa störningarna.

2. Praktisk tillämpning.

Ett försök med nedanstående uppkoppling gjordes.



Uppkoppling av försök med SOC.

I diagram 52 visas utseendet av några signaler i systemet. Utsignalen från begränsaren låg hela tiden mellan +3 och -3 volt. Diagrammen 53a, b och 54a, b visar  $e_b + e_n$ , där  $e_n$  varierats. De angivna värdena på  $e_n$  utgör ett medelvärde av den maximala amplituden, vilket uppskattades med hjälp av ett oscilloskop. Man ser att reläets omslag blir mer utjämnat, när brusets amplitud ökar.

Som tidigare nämnts visar SOC sina fördelar främst vid högfrekventa störningar. Trots detta gjordes ett försök, där störningssignalen var densamma som använts i föregående undersökningar, dvs. brus med  $\omega_c = 1$  rad/s. Efter lite experimenterande valdes följande värden på de olika konstanterna m.m.

Predictorkonstanten  $a = 1$

Tidskonstanten i utjämnaren  $T = 2$  sek

Utsignalen från reläet framför PSV-enheten  $x = \pm 5$  volt

Utsignalen från begränsaren  $e_b$ :  $-3 \text{ volt} \leq e_b \leq 3 \text{ volt}$

Högfrekventa brusets  $e_n = 2$  volt

Utsignalen från PSV-enheten  $u = \pm 5$  volt vid  $1 \leq K \leq 3$

$u = \pm 2,5$  volt vid  $1 \leq K \leq 10$

Diagrammen 55 och 56 visar tidsintegralen av felets kvadrat samt några andra intressanta signaler. Förstärkningen varierar sinusformigt mellan 1 och 3 resp. 1 och 10. Dessutom gjordes en manuell styrning med samma störningssignal.

Resultat:

	Diagram	K-variation	$\int_a^{350} \frac{e^2}{1000} dt$ (volt)
Styrning med SOC.	55	$1 \leq K \leq 3$	250
	56	$1 \leq K \leq 10$	410
Manuell styrning	30a	$1 \leq K \leq 3$	13,5
	30b	$1 \leq K \leq 10$	21,5

I båda fallen ger den manuella styrningen ett fel som är ungefär 19 ggr mindre än det som erhålles med SOC.

### 3. Sammanfattning.

En välkänd metod att förbättra egenskaperna för ett system, som utnyttjar relästyrning, är att addera en högfrekvent signal till reläets insignal (dither). SOC är en vidareutveckling av detta. Man inför nämligen sannolikhetsteori i resonemanget. Genom att ändra den högfrekventa signalens amplitud kan man variera systemets känslighet för högfrekventa störningar.

VI. MINNEAPOLIS - HONEYWELLS METOD.

Av de hittills undersökta metoderna har den manuella styrningen visat sig ge de bästa resultaten. I sitt examensarbete har emellertid R. Sogndal, LTH, undersökt ett adaptivt system, som föreslagits av Minneapolis - Honeywell. Detta har gett resultat som kan jämföras med den manuella styrningens. Systemet grundar sig på relästyrning med "gain-changer". För en utförlig redogörelse hänvisas till ovan nämnda examensarbete.

Diagrammen 57 och 58b visar tidsintegralen av felets kvadrat vid styrning med Minneapolis-Honeywells metod. Undersökningen gäller samma system som tidigare, och förstärkningen varierar sinusformigt mellan 1 och 3 resp. 1 och 10. Som störningssignal har använts brus av samma typ som visas i diagram 21a. En jämförelse med manuell styrning ger följande resultat:

	Diagram	K-variation	$\int_0^{350} \frac{e^2}{1000} dt$ (volt)
Minneapolis- Honeywells metod	57 58b	$1 \leq K \leq 3$ $1 \leq K \leq 10$	22,3 17,8
Manuell styrning	30a 30b	$1 \leq K \leq 3$ $1 \leq K \leq 10$	13,5 21,5

Resultaten är alltså av samma storleksordning. Av samtliga undersökta adaptiva reglersystem ger alltså Minneapolis-Honeywells metod det bästa resultatet, och detta ligger i klass med vad som åstadkommes med manuell styrning.



REFERENSER.

Peter C. Young:

The determination of the parameters of a dynamic process.

(Artikel från The Radio and Electronic Engineer, vol. 29, Nr 6, juni, 1965)

Roger Barron:

Self - Organizing Control. (Artikel från Control Engineering, februari 1968.)

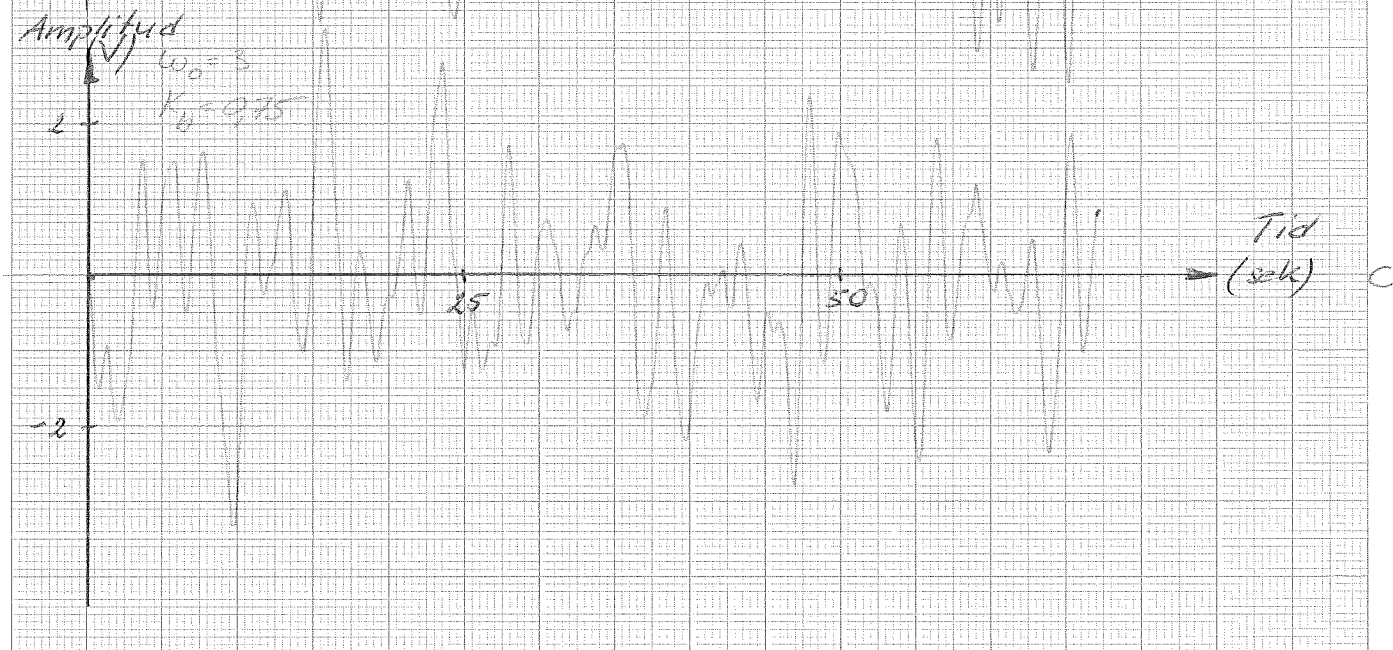
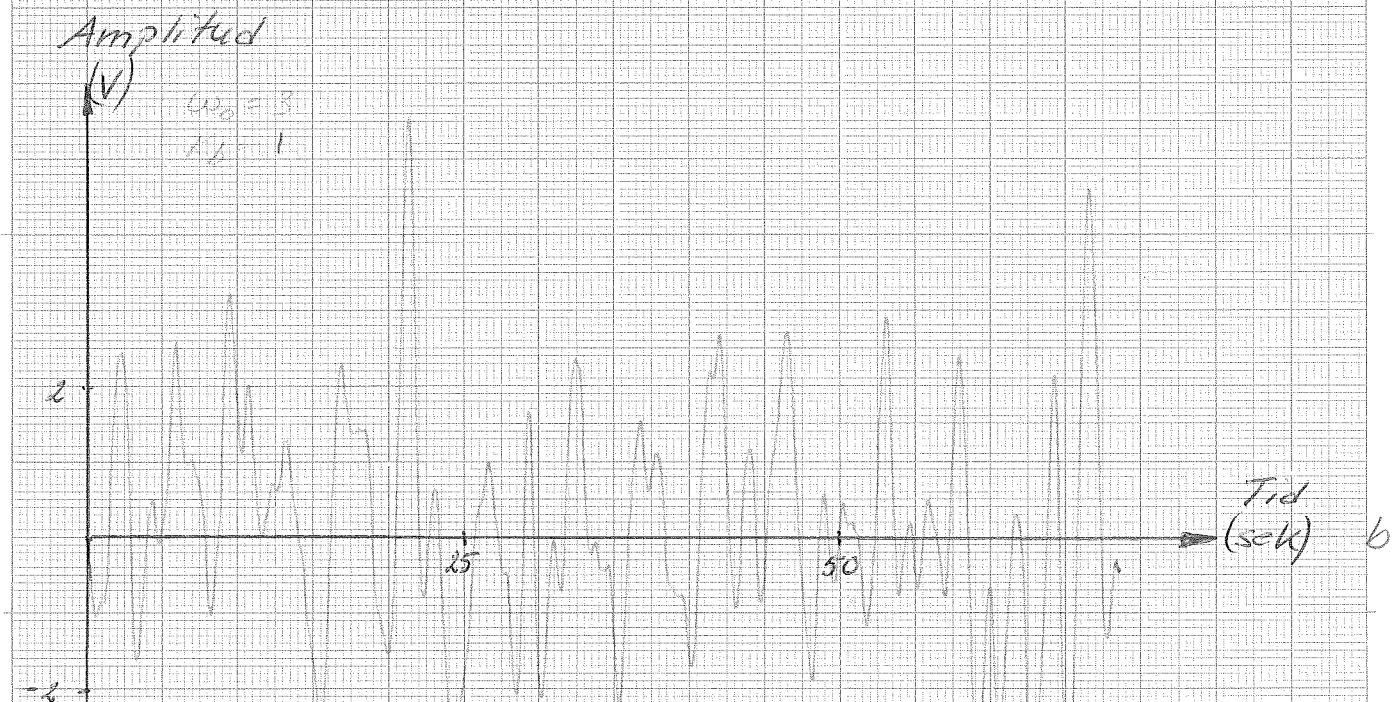
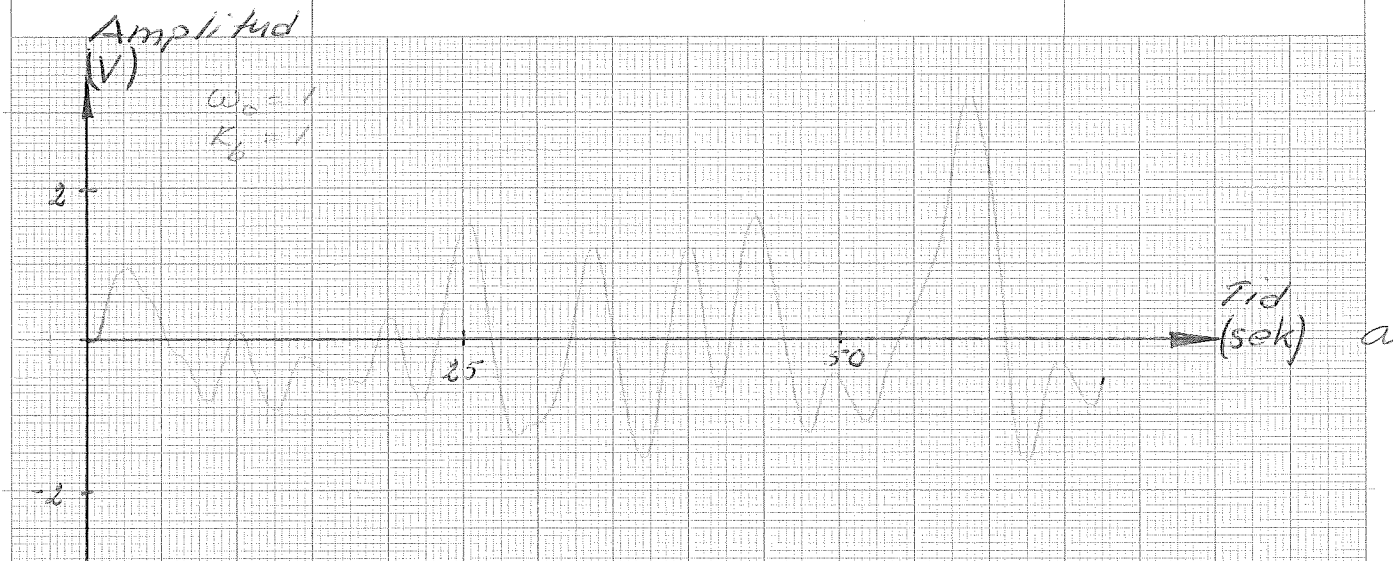
Roy Sogndal:

Examensarbete i Reglerteknik. ( LTH, 1968 ).

VII. DIAGRAM.

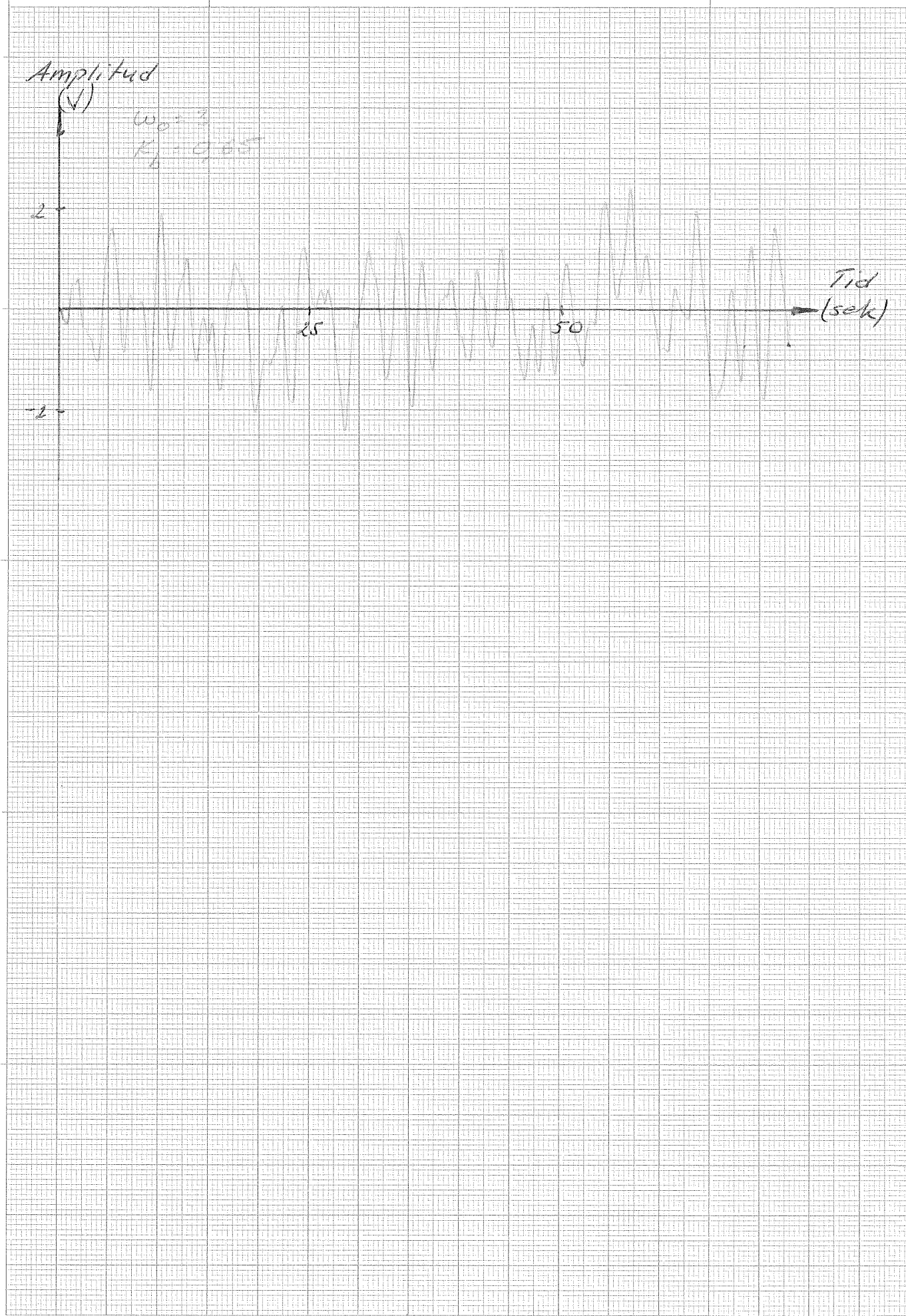
Undersökning av det  
filtrerade bruket.

Diagram 1 a  
b  
c



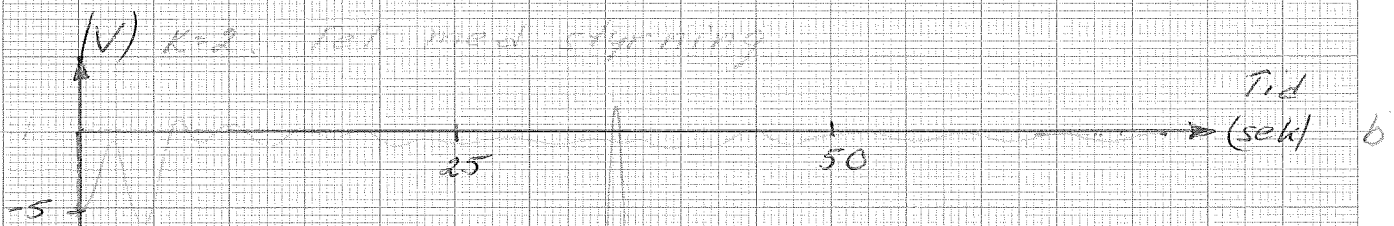
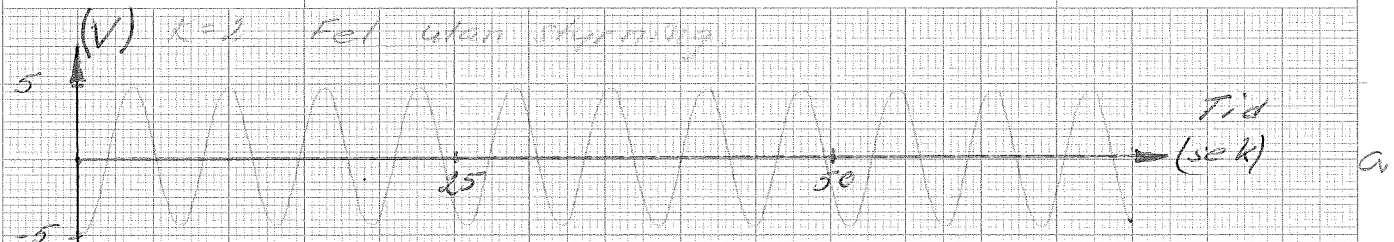
Undersökning av det  
filtrerades bruset

Diagram 2



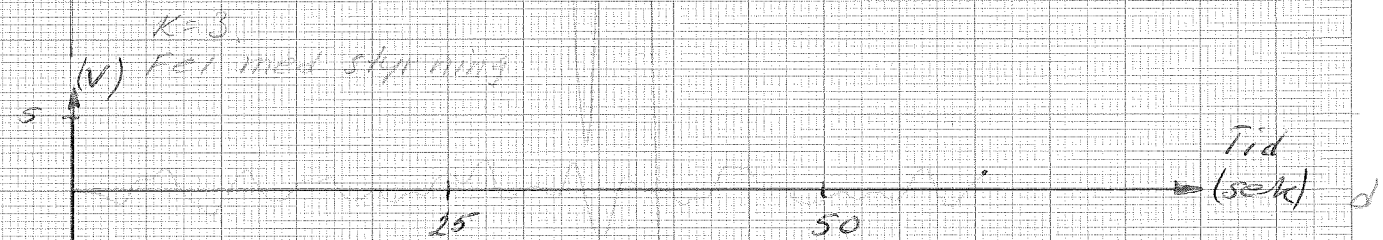
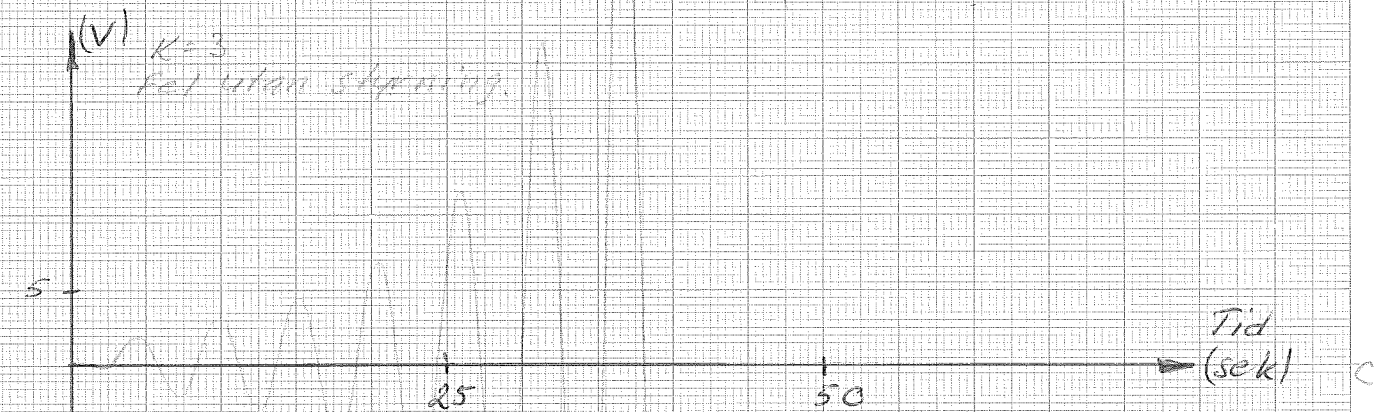
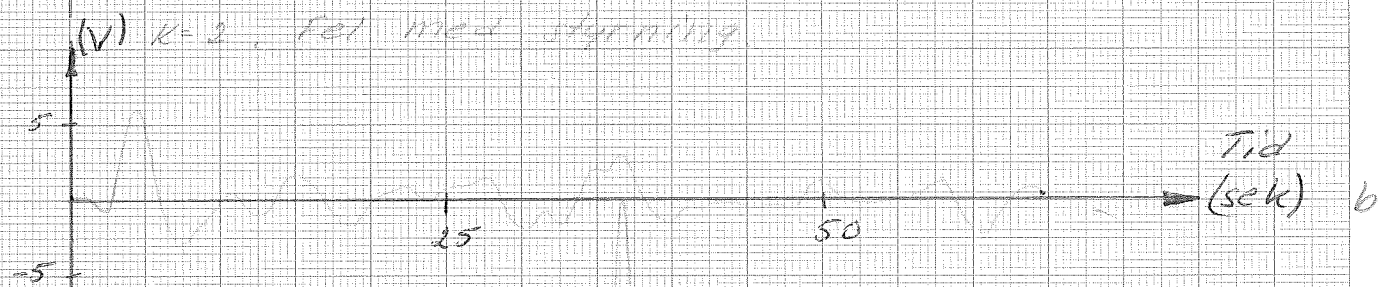
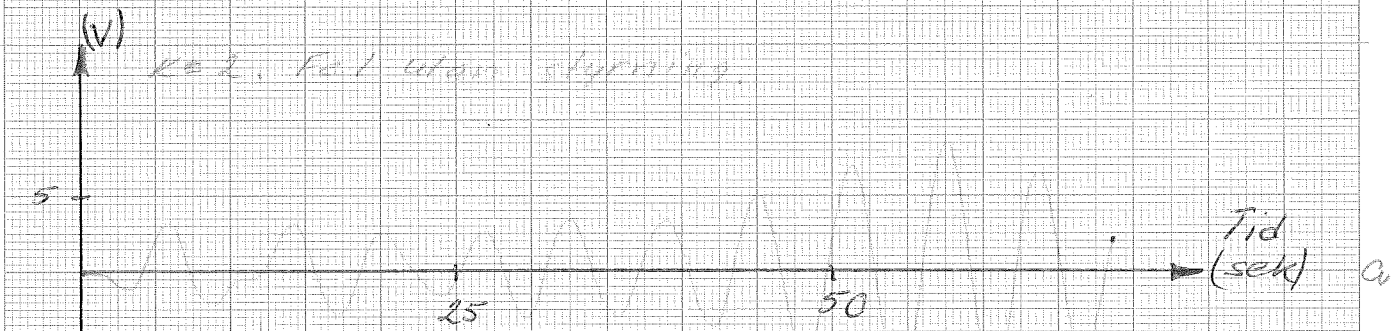
$K = \text{konstant}$   
 Insignal: steg 5 V

Diagram 3 a  
 b  
 c  
 d



$K = \text{konstant}$   
Insignal: Brus  $\omega_0 = 1 \text{ rad/s}$

Diagram 4 a  
b  
c  
d

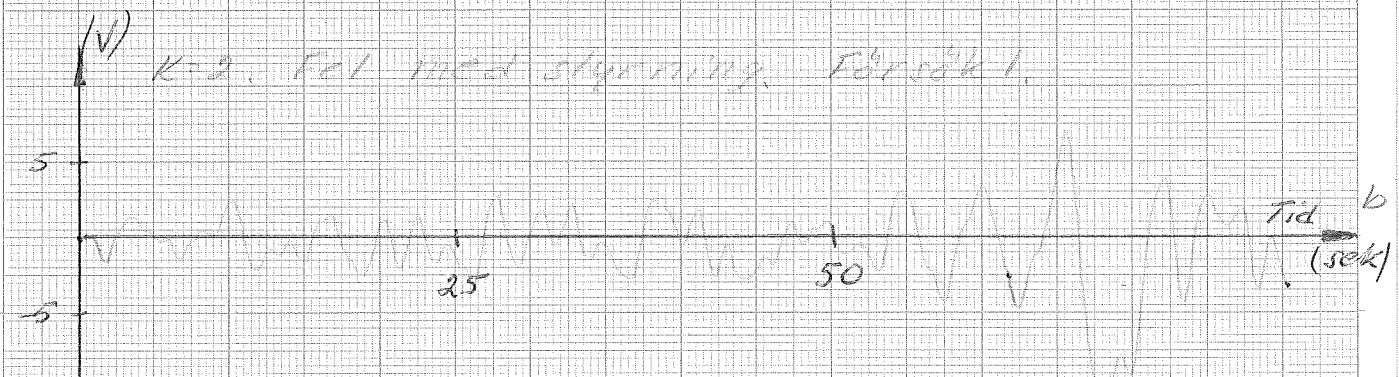
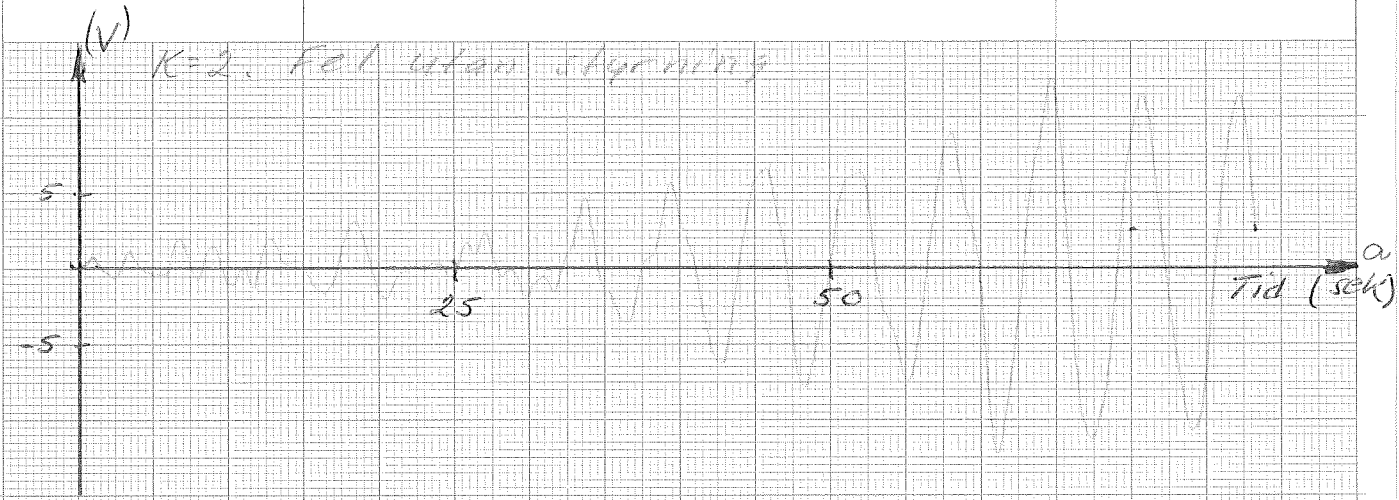


$K = \text{konstant}$   
Insignal: brus  $\omega_0 = 3 \text{ rad/s}$

Diagram 5a

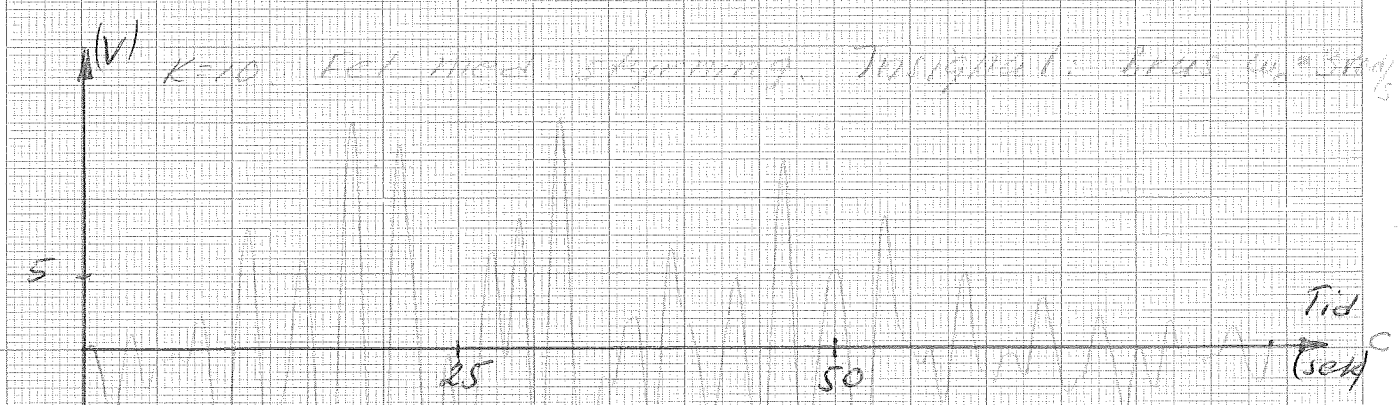
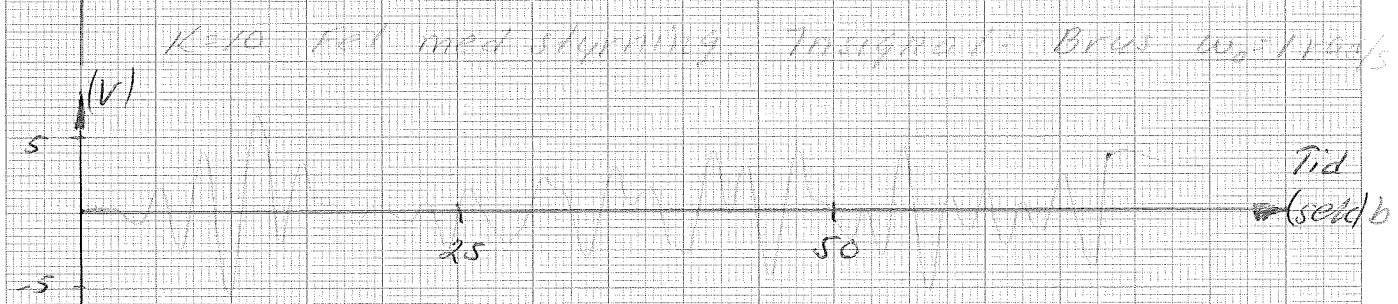
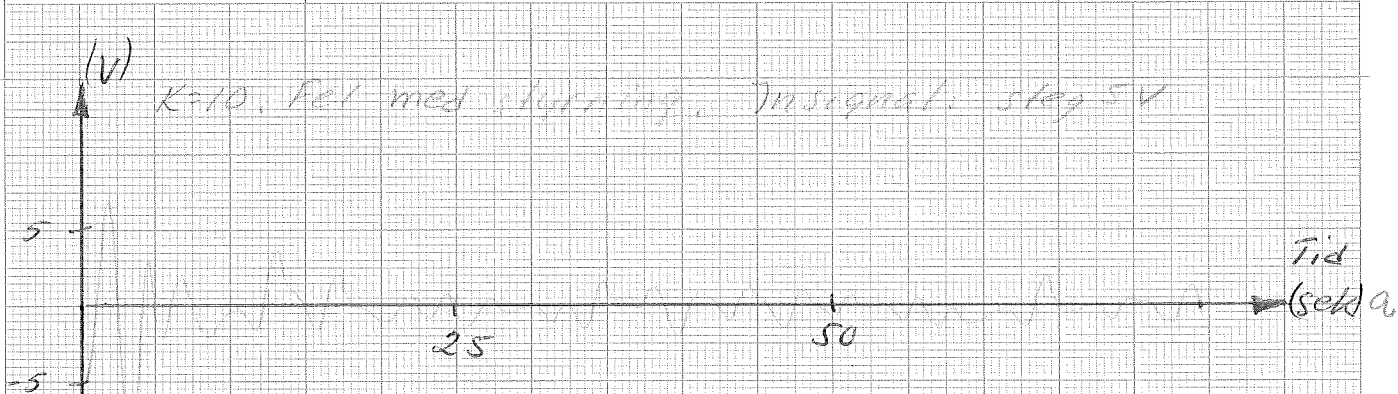
b

c



$K = \text{konstant}$

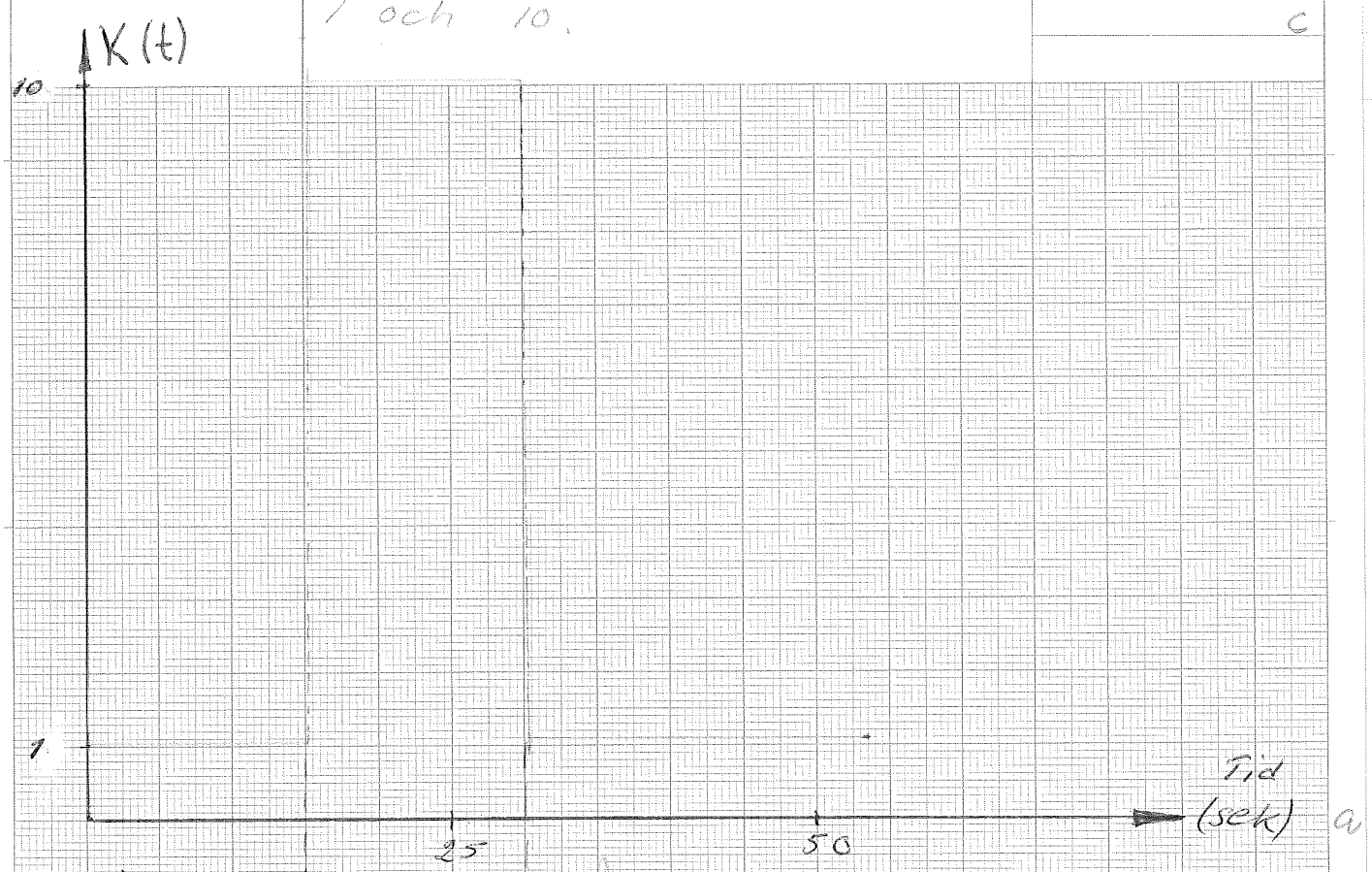
Diagram b a  
b  
c



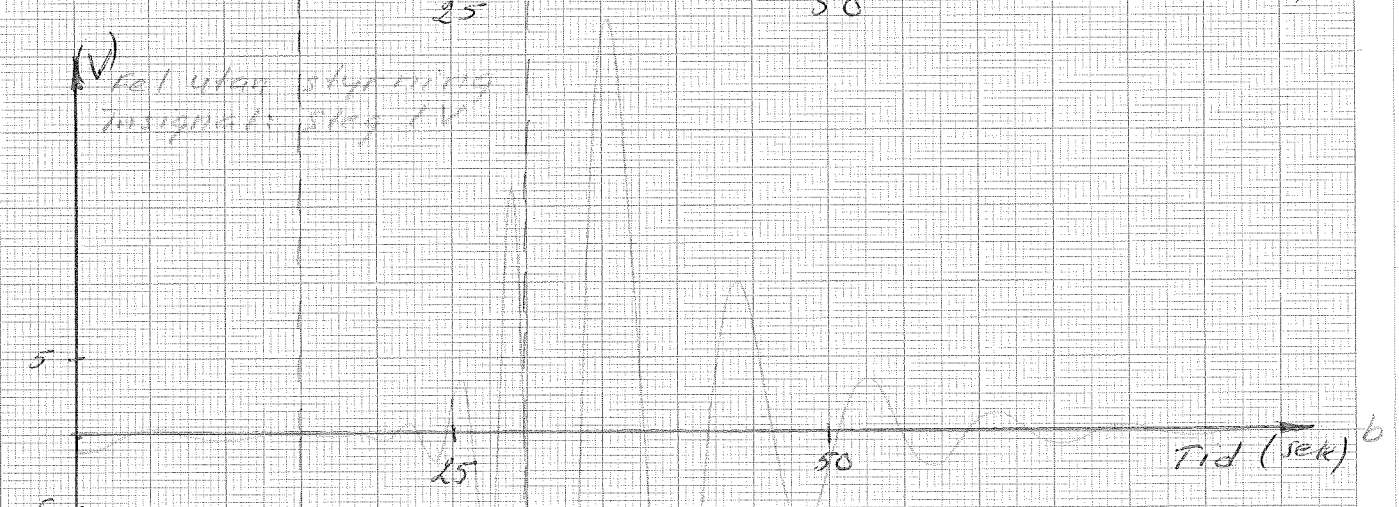


K varierar stegvis mellan  
1 och 10.

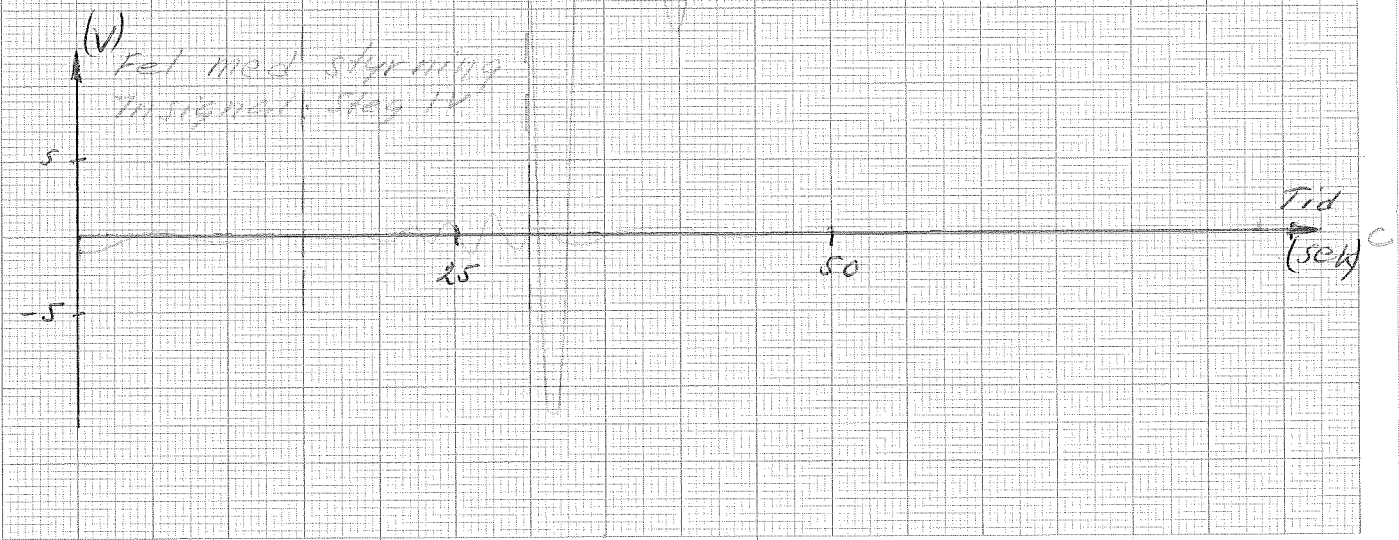
Diagram 7 a  
b  
c



(V) Fel utan styrning  
Insignalt: Steg 1V



(V) Fel med styrning  
Insignalt: Steg 1V



K varierar stegvis mellan

Diagram 8 a

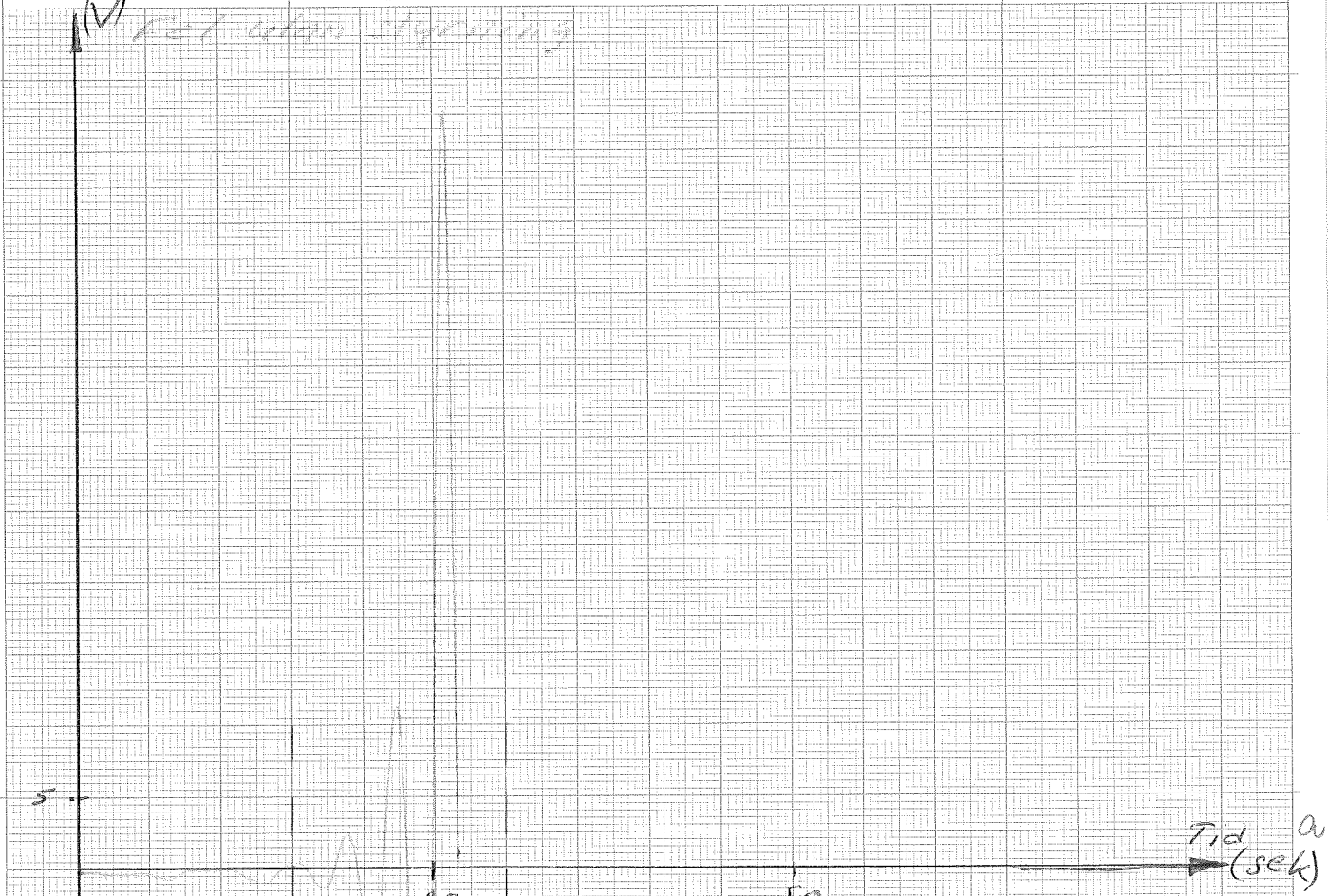
1 och 10.

b

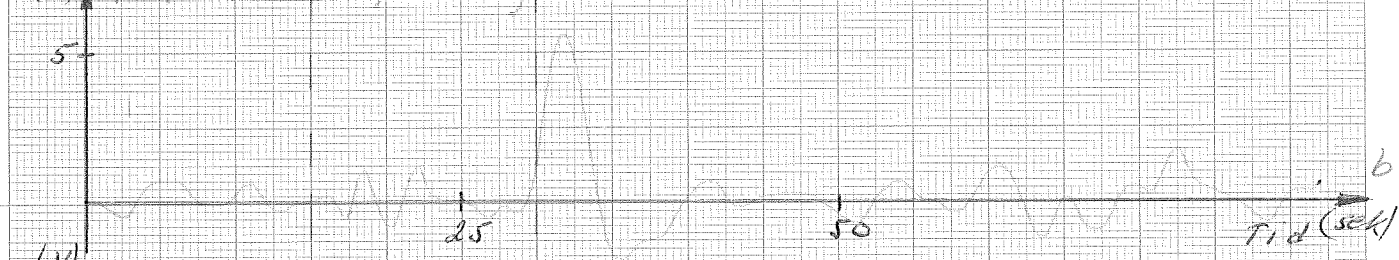
c

Insignal: Brus  $\omega_0 = 1 \text{ rad/s}$

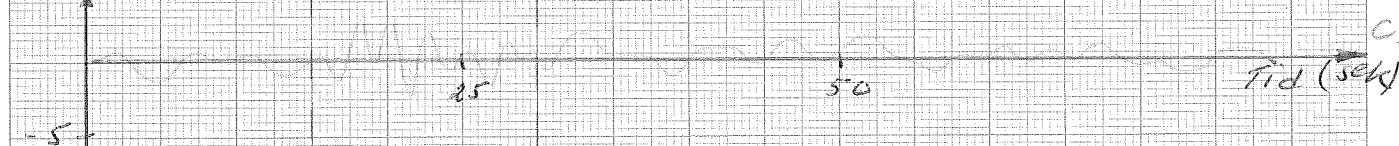
(V) Fel utan styrning



(V) Fel med styrning. Försök 1



(V) Fel med styrning. Försök 2.



K varierar stegvis mellan

1 och 10.

Insignal: Brus,  $\omega_0 = 3 \text{ rad/s}$ .

Diagram 9 a

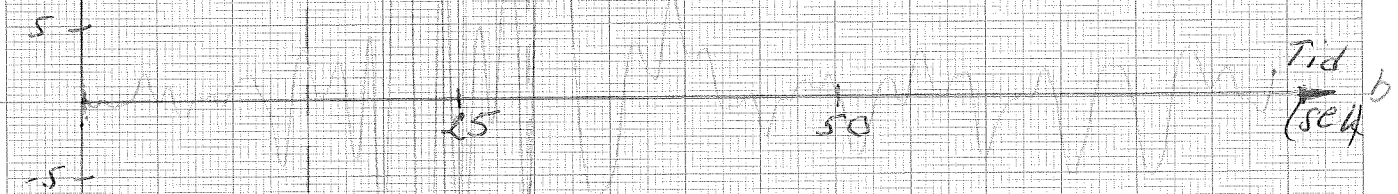
b

c

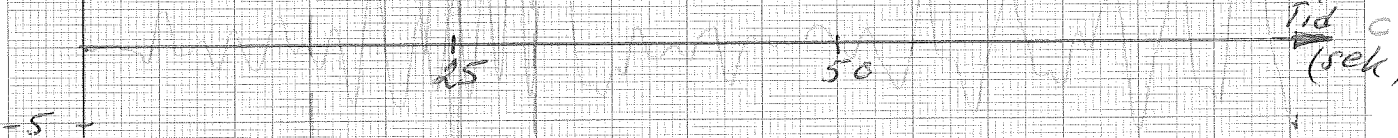
(V) Fel utan styrning



(V) Fel med styrning försök 1.

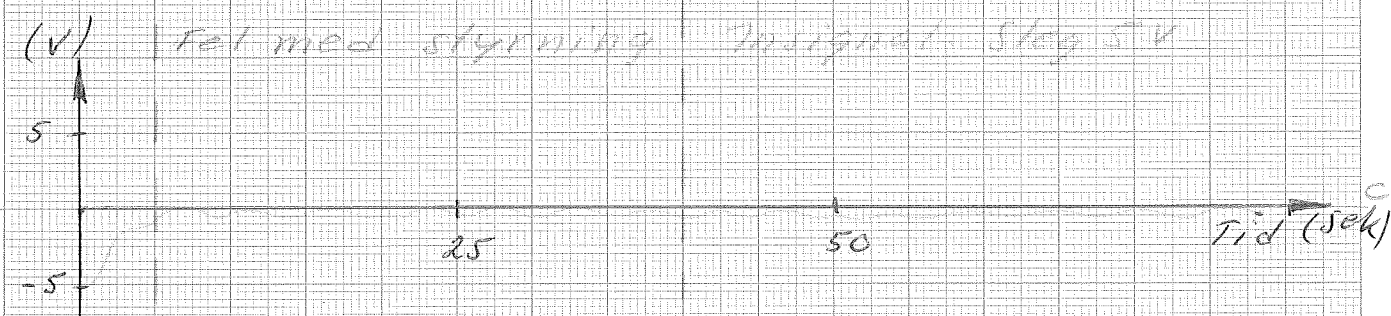


(V) Fel med styrning försök 2.



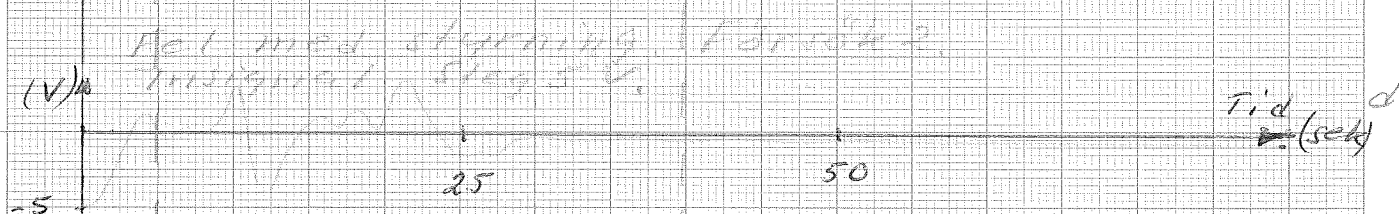
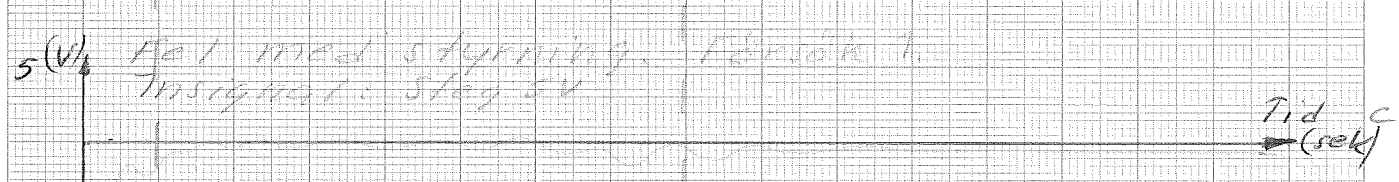
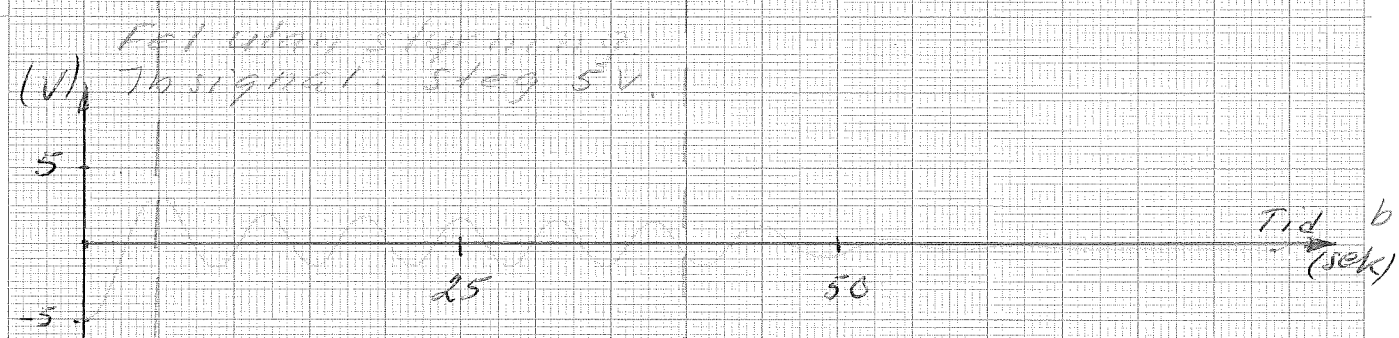
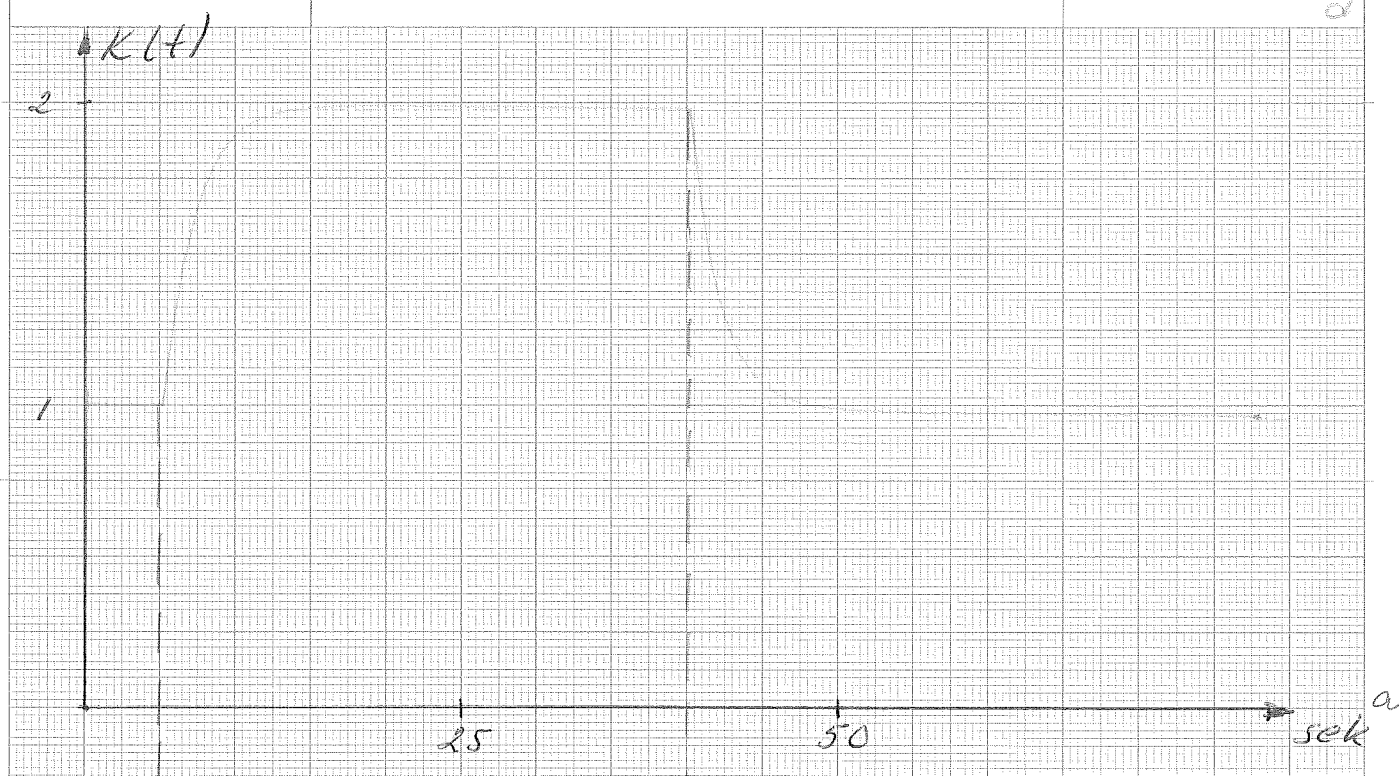
K varierar exponentiellt mellan 1 och 2. Tidskonst: 10 sek

Diagram 10 a  
b  
c



K varierar exponentiellt  
 mellan racha. Tidskonst = 2 sek

Diagram II a  
 b  
 c  
 d

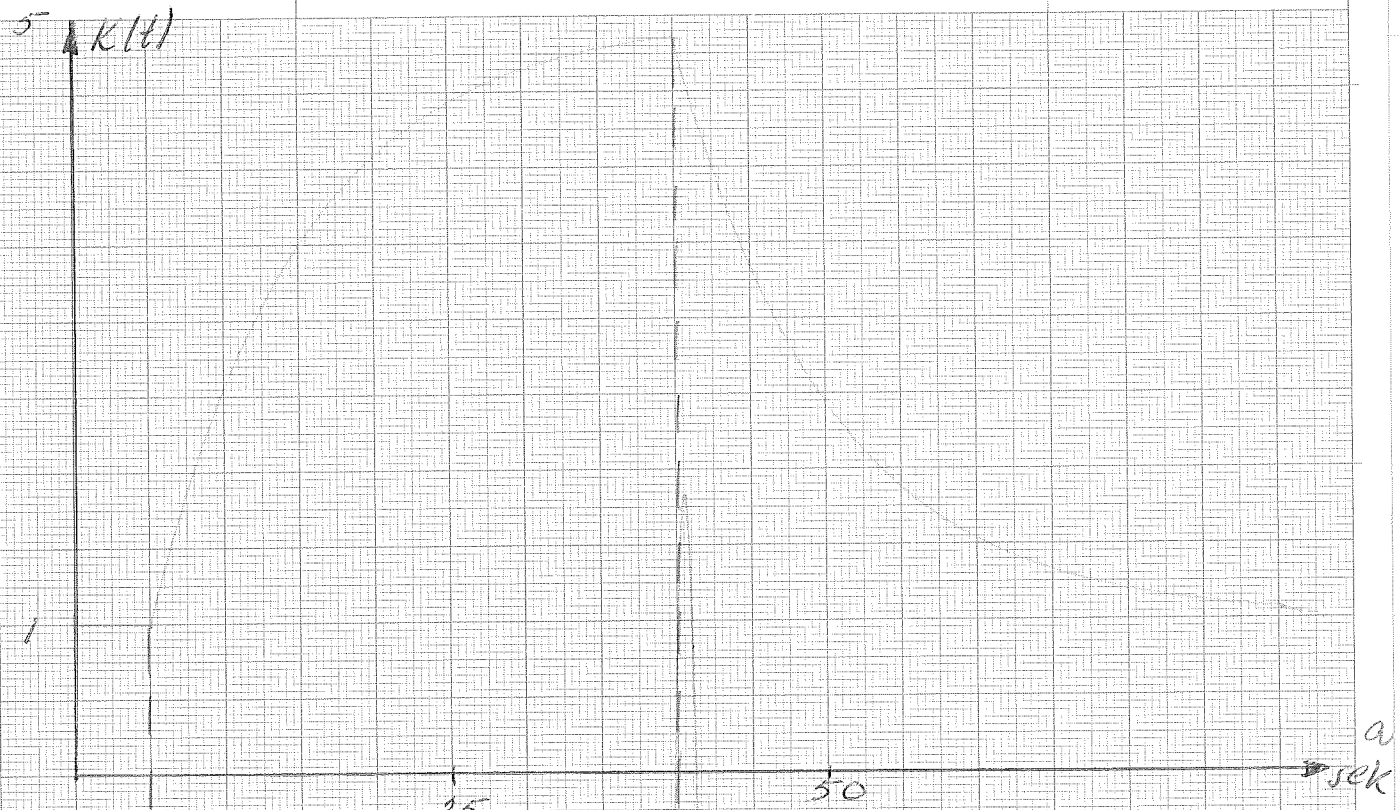


K varierar exponentiellt  
 mellan 1 och 5. Tidskonst. = 10 sek

Diagram 12 a

b

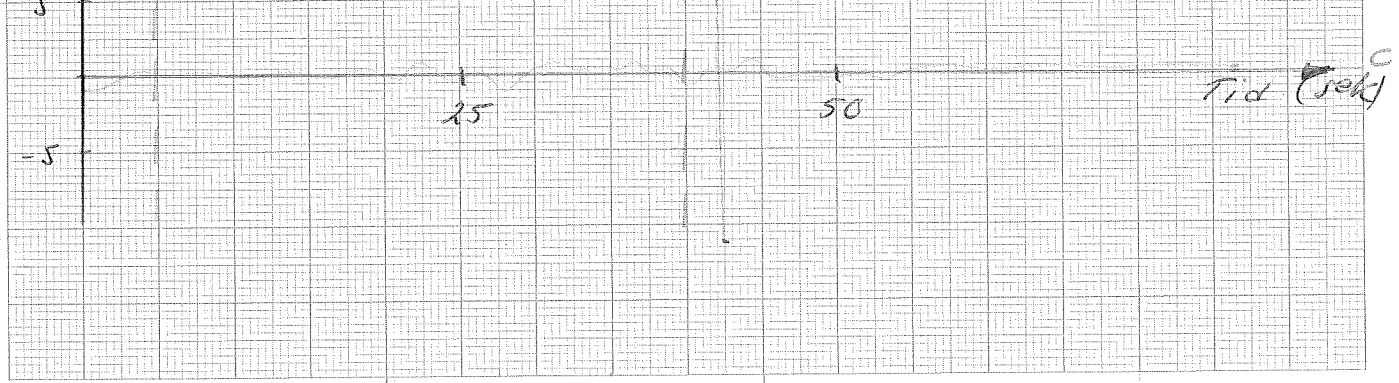
c



(V) Fel utan styrning  
 Integral: Steg 1 V



(V) Fel med styrning  
 Integral: Steg 1 V



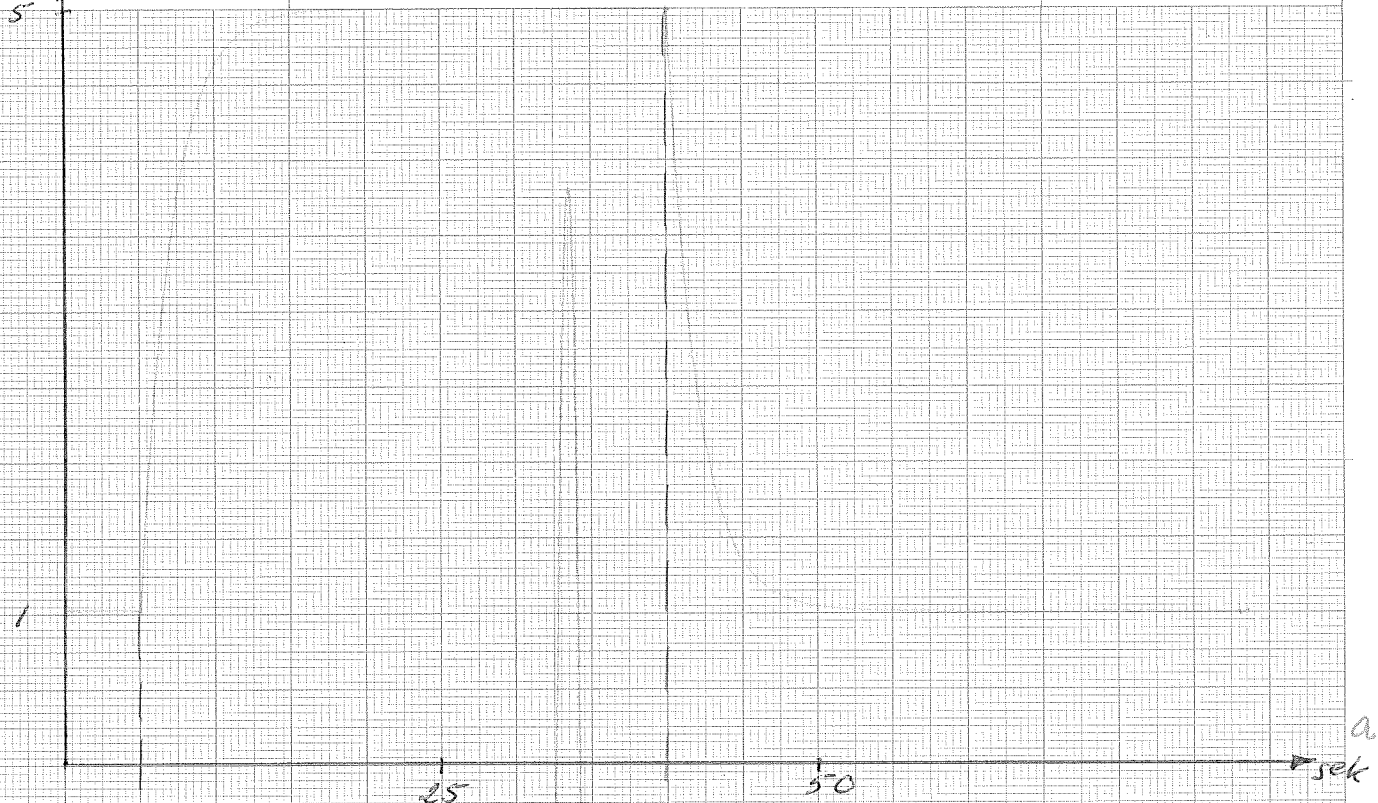
K varierar exponentiellt  
 mellan 1 och 5. Tidskonst: 2 sek

Diagram 13 a

b

c

$K(t)$



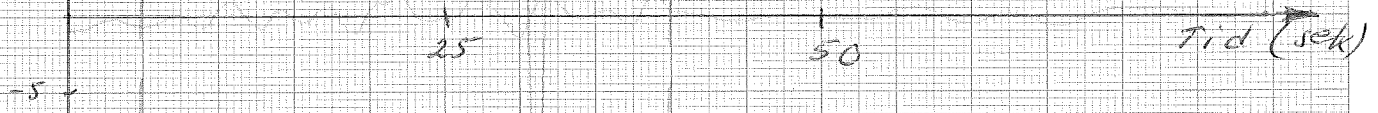
a

(V) Fel utan styrning  
 Tidsgren: 500 ms



b

(V) Fel med styrning  
 Tidsgren: 500 ms



c

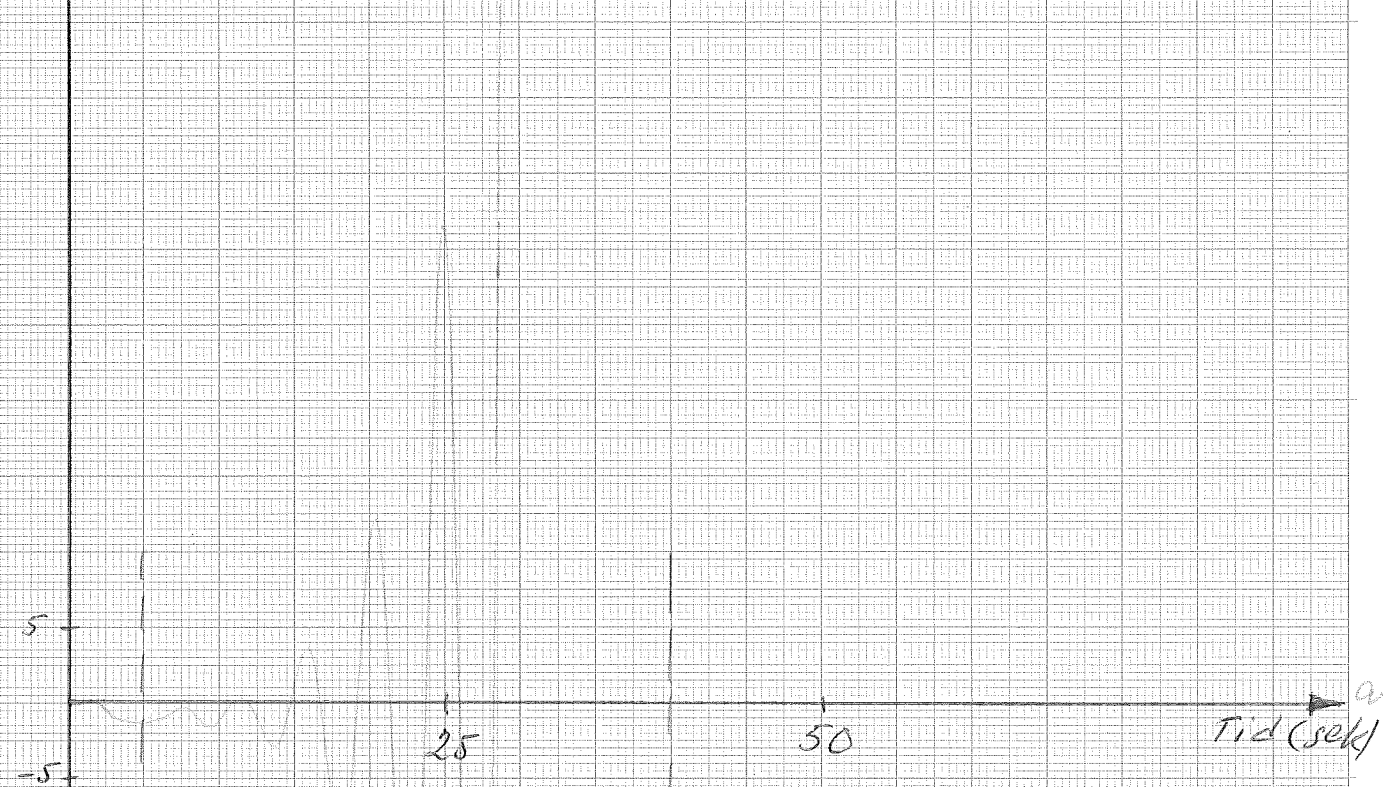


K varierar exponentiellt  
mellan 1 och 5. Tidskonst. = 2 sek

Diagram 14 a  
b

Insignal: Brus,  $\omega_0 = 1 \text{ rad/s}$

(V) Fel utan styrning.



(V) Fel med styrning

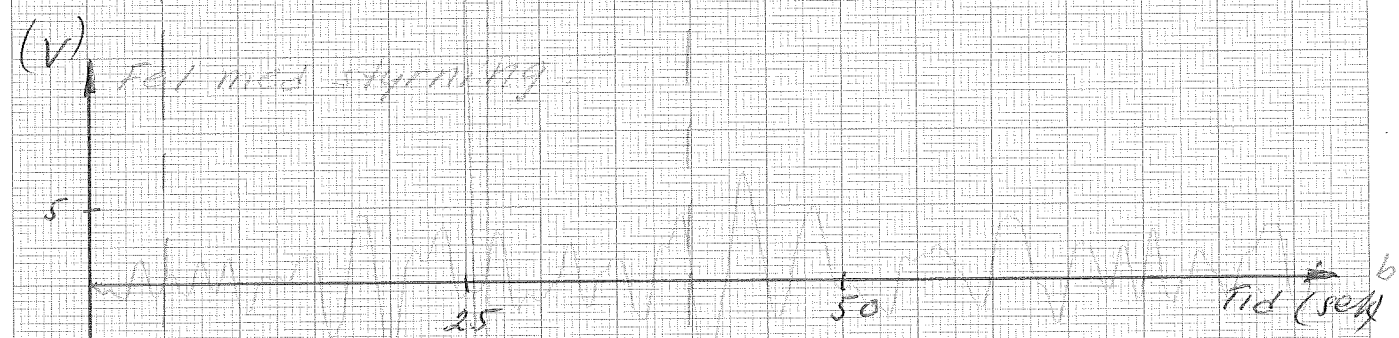
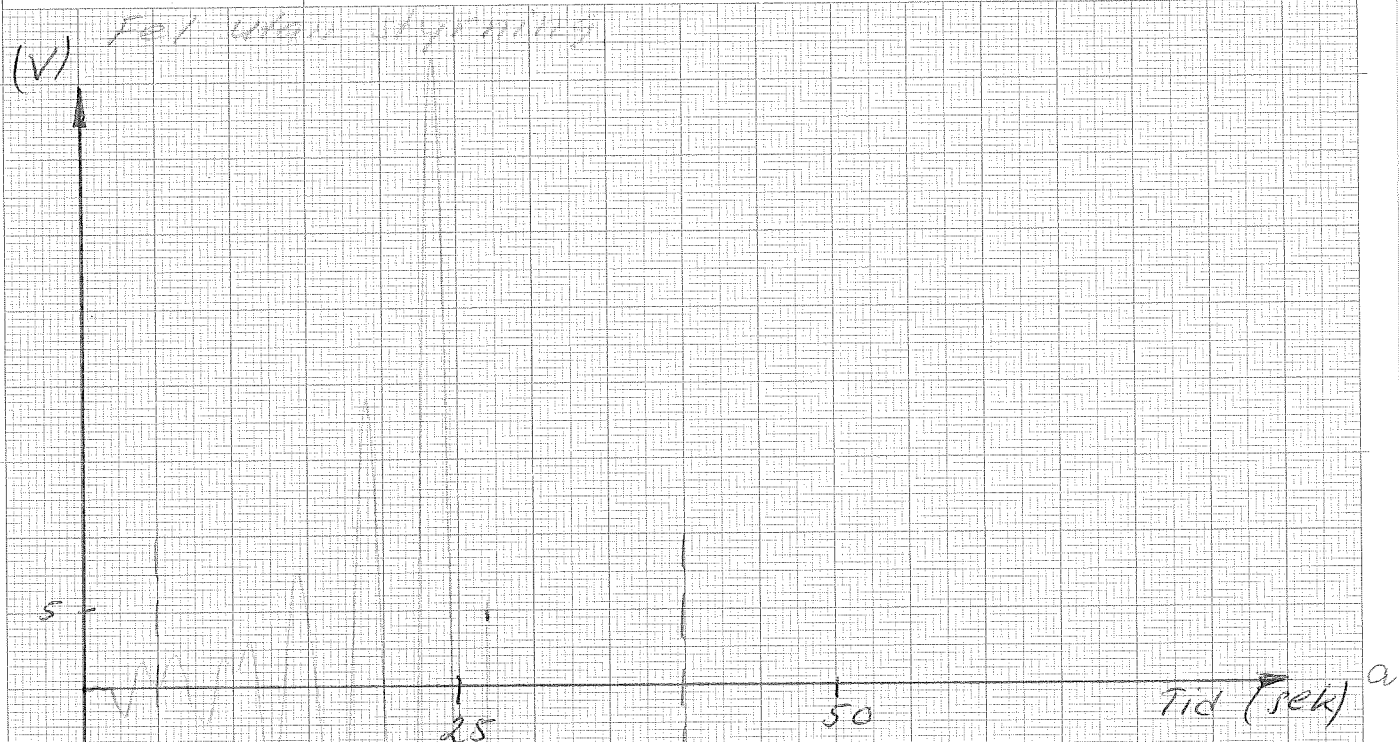




$K$  varierar exponentiellt  
mellan 1 och 5. Tidskonst. = 2 sek

Diagram 15 a  
b

Insignal: Brus,  $\omega_0 = 3 \text{ rad/s}$



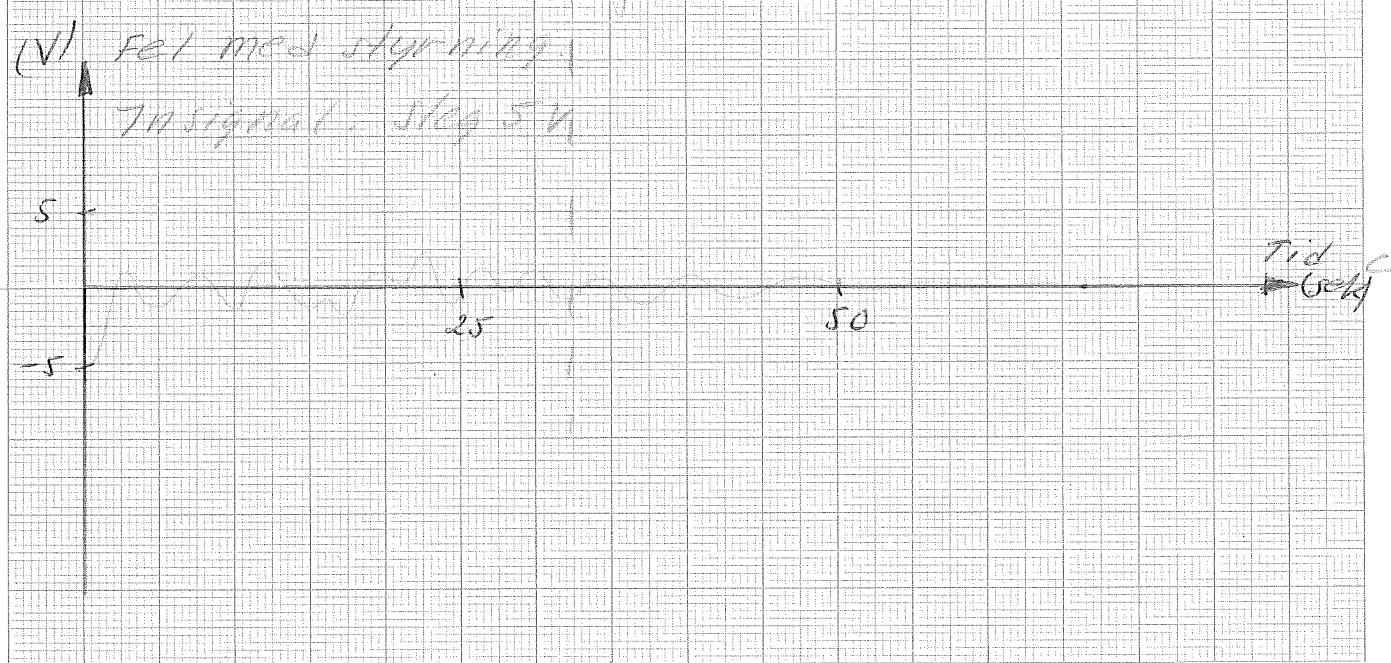
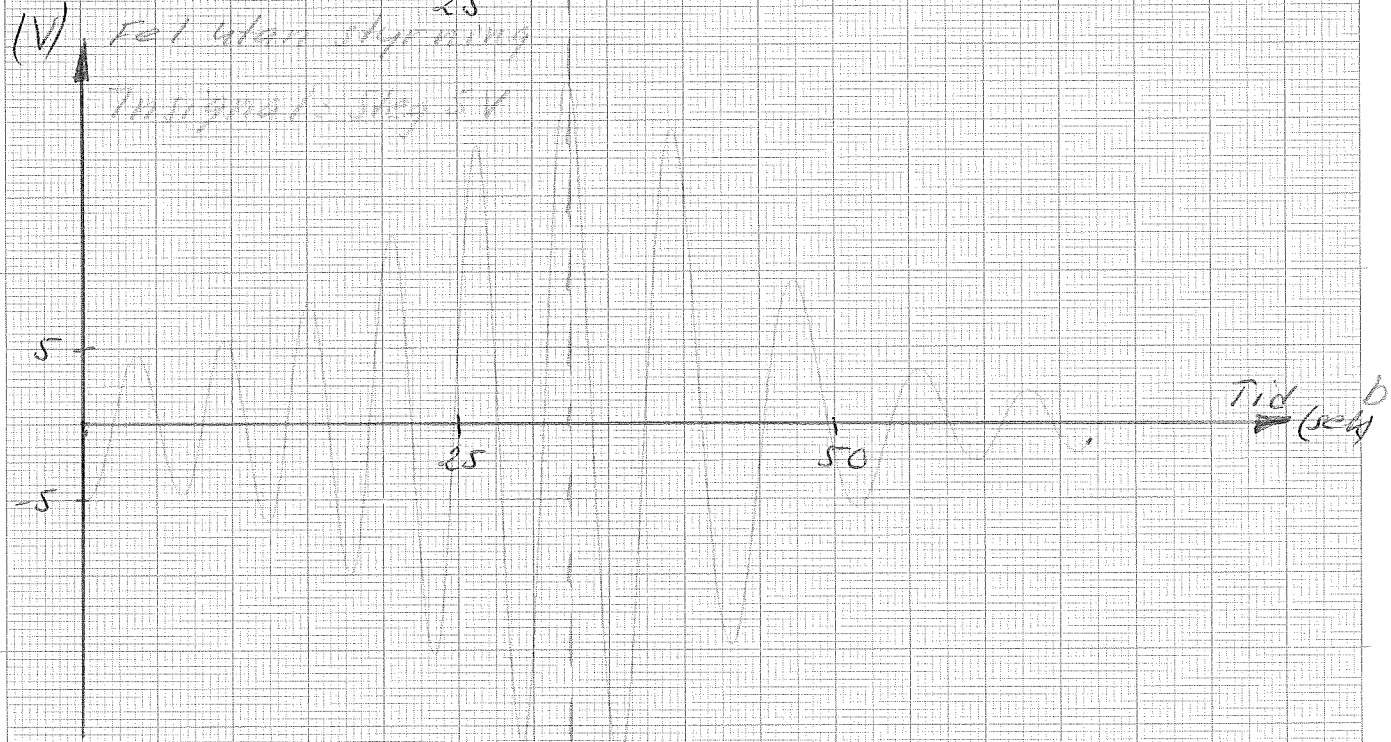
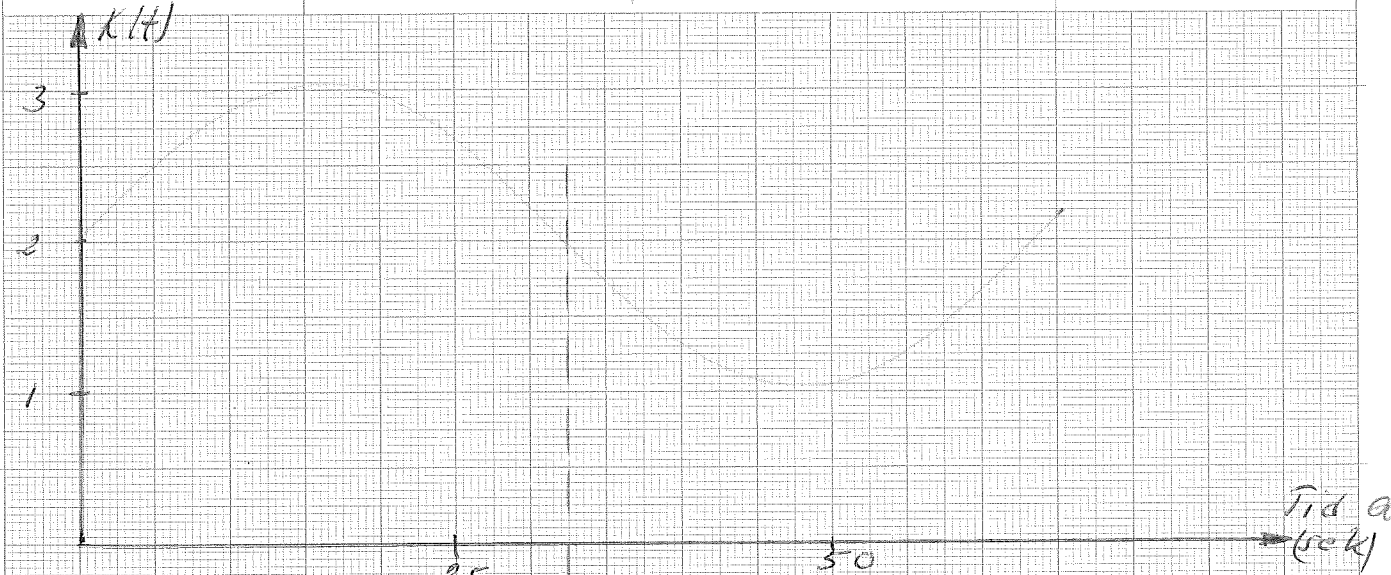
K varierar sinusformigt  
mellan 1 och 3.

Vinkelhast. = 0,1 rad/s.

Diagram 16 a

b

c

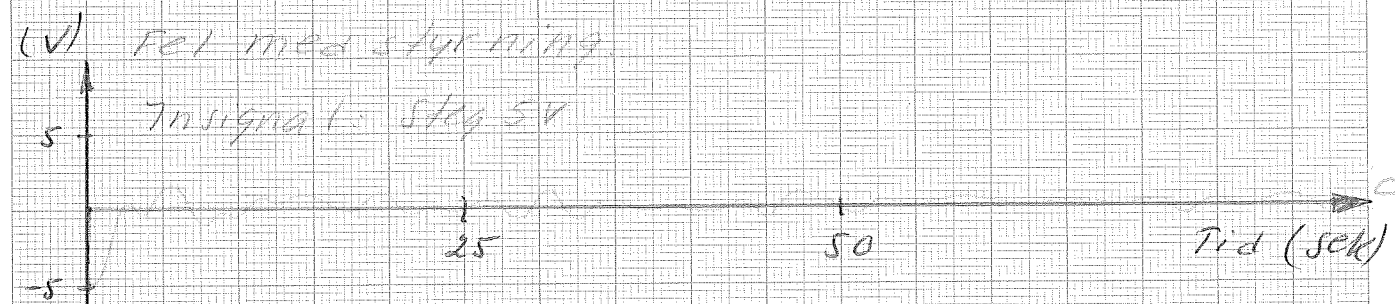
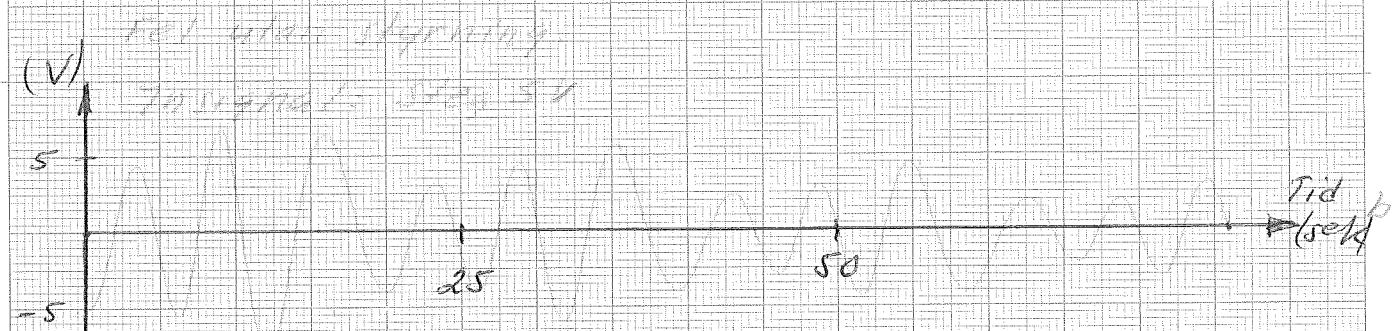
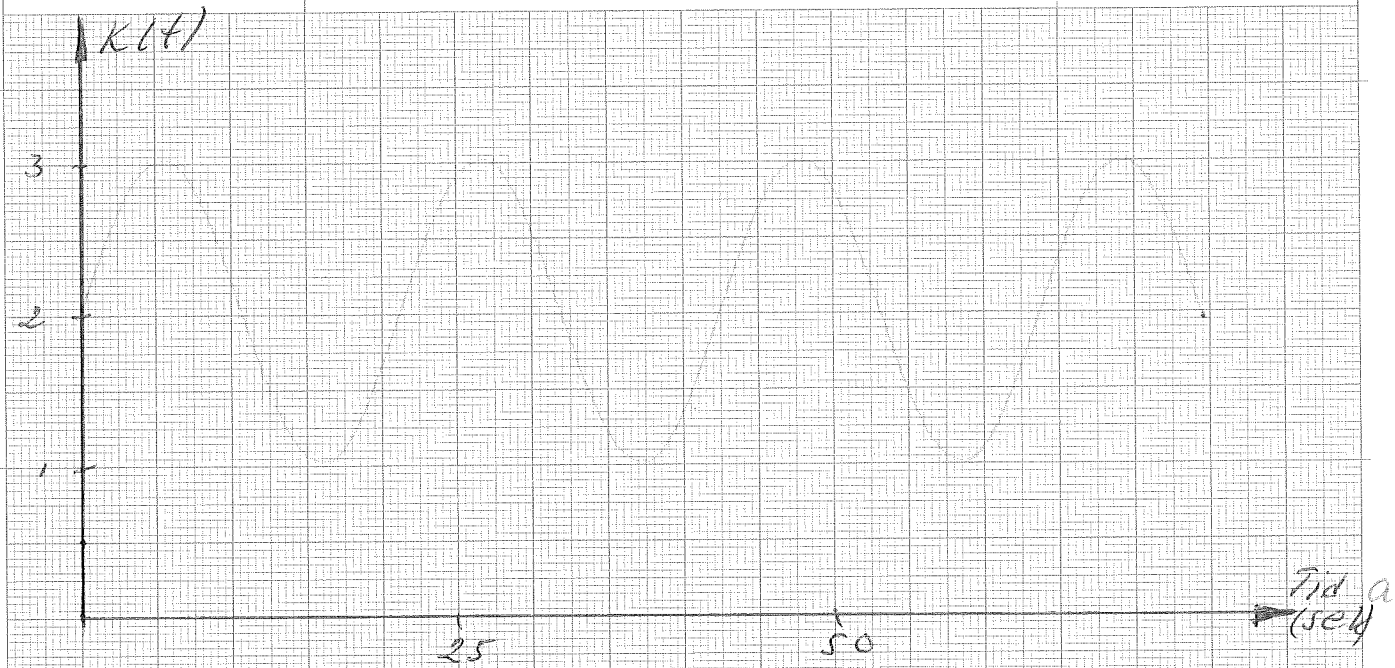


$K$  varierar sinusformigt  
 mellan 1 och 3.  
 Vinkelhast. = 0,3 rad/s.

Diagram 17 a

b

c



$x$  varierar sinusformigt  
 mellan 1 och 3.  
 Vinkelhast. =  $0,3 \text{ rad/s}$   
 Insignal: BRUS.

Diagram 18a

b

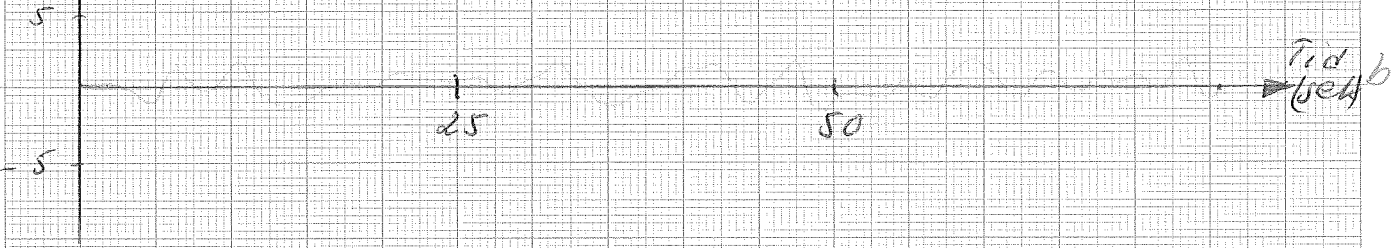
c

d

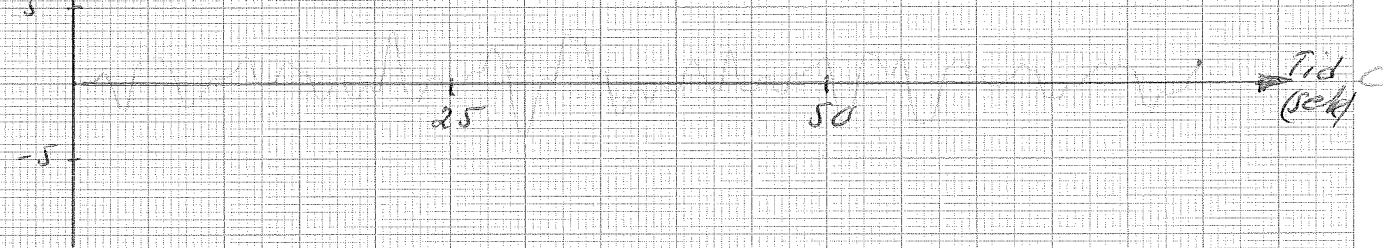
(V) Fel utan styrning  
 $\omega_0 = 1 \text{ rad/s}$



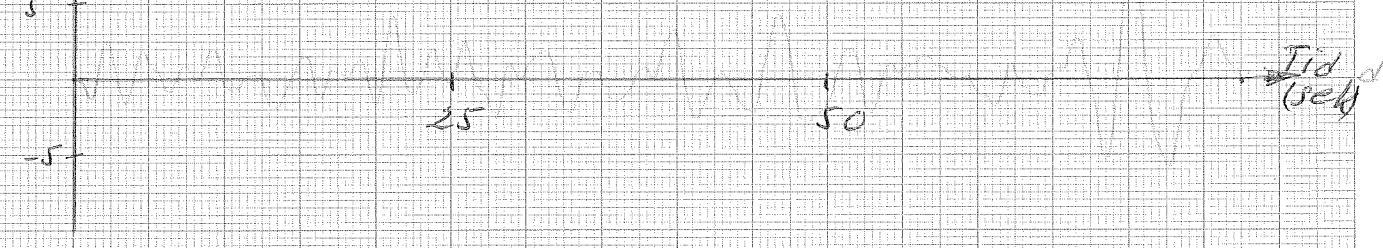
(V) Fel med styrning  
 $\omega_0 = 1 \text{ rad/s}$



(V) Fel utan styrning  
 $\omega_0 = 3 \text{ rad/s}$



(V) Fel med styrning  
 $\omega_0 = 3 \text{ rad/s}$

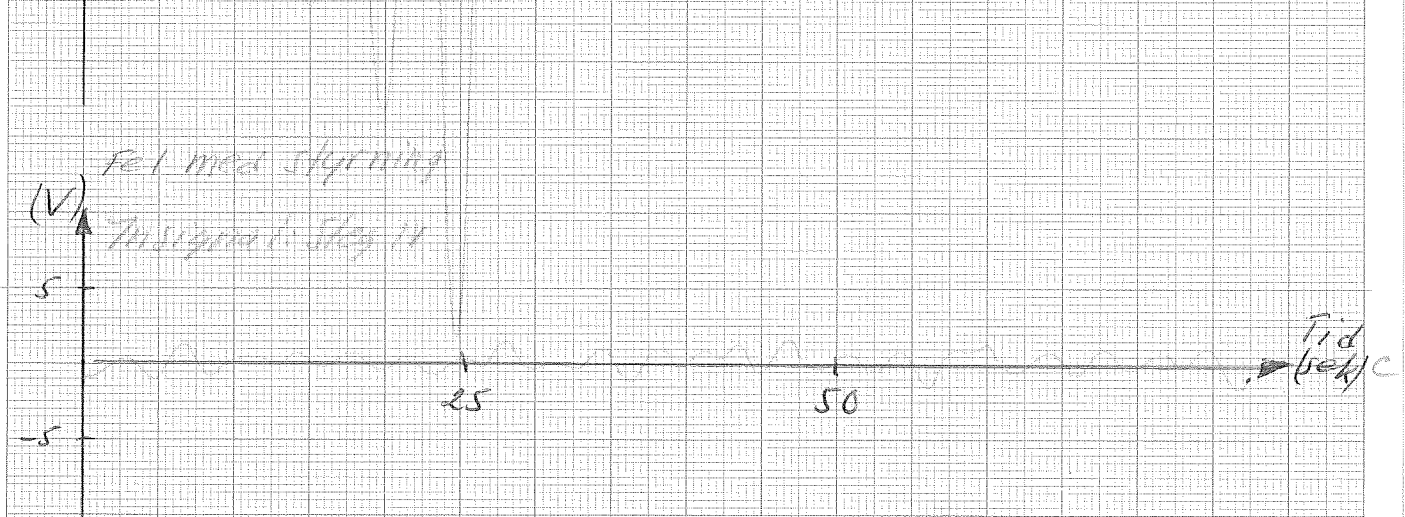
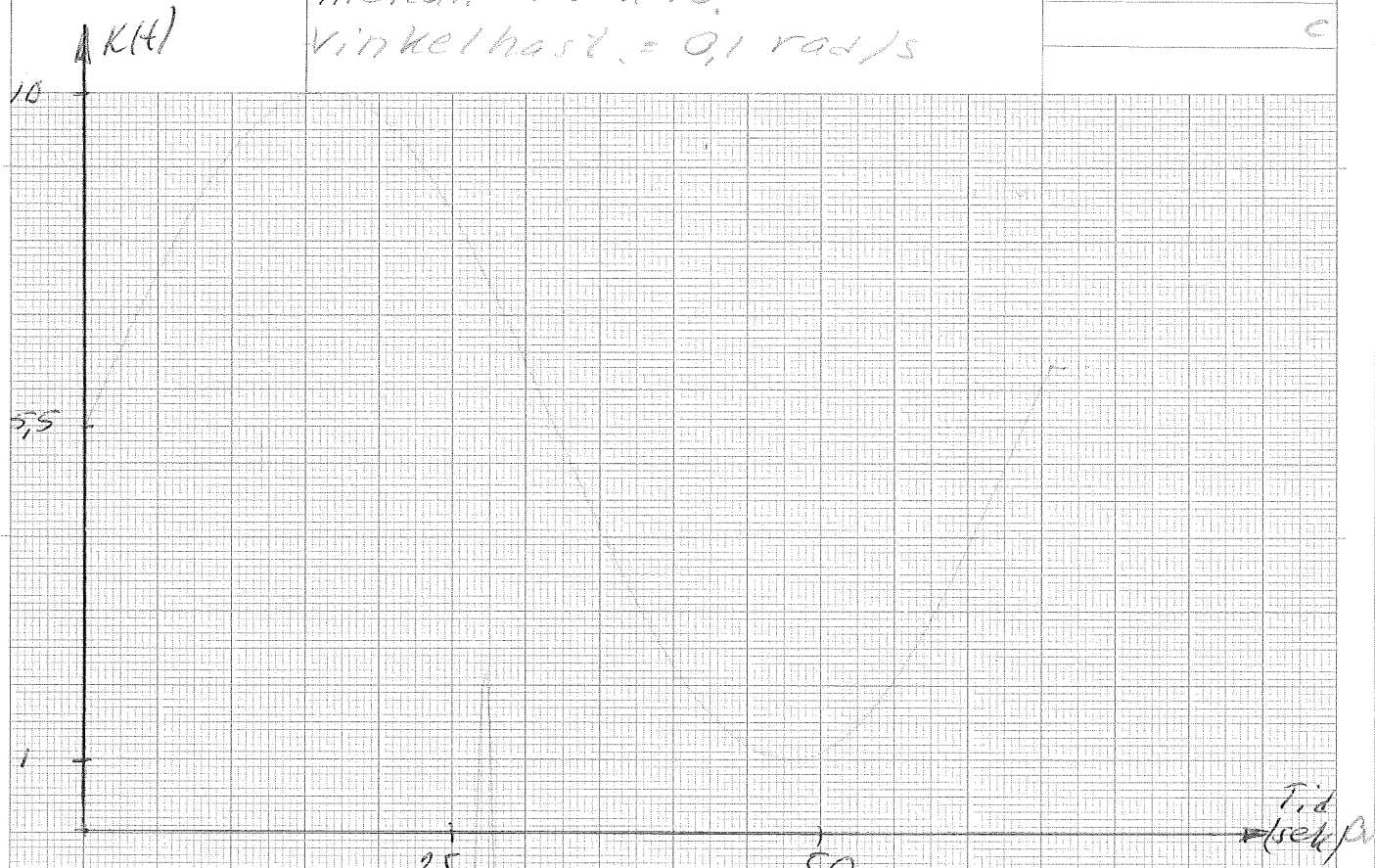


K varierar sinusformigt  
 mellan 1 och 10.  
 Vinkelhast = 0,1 rad/s

Diagram 19 a

b

c

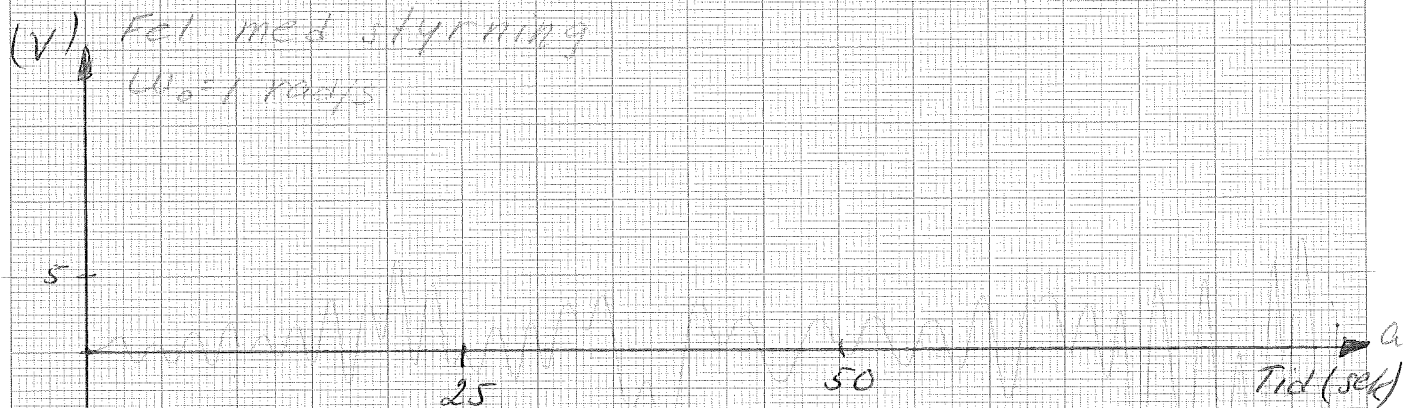


$K$  varierar sinus-formigt  
mellan 1 och 10.

Vinkelhast. =  $0,1 \text{ rad/s}$   
Insignal: brus.

Diagram 10a

b

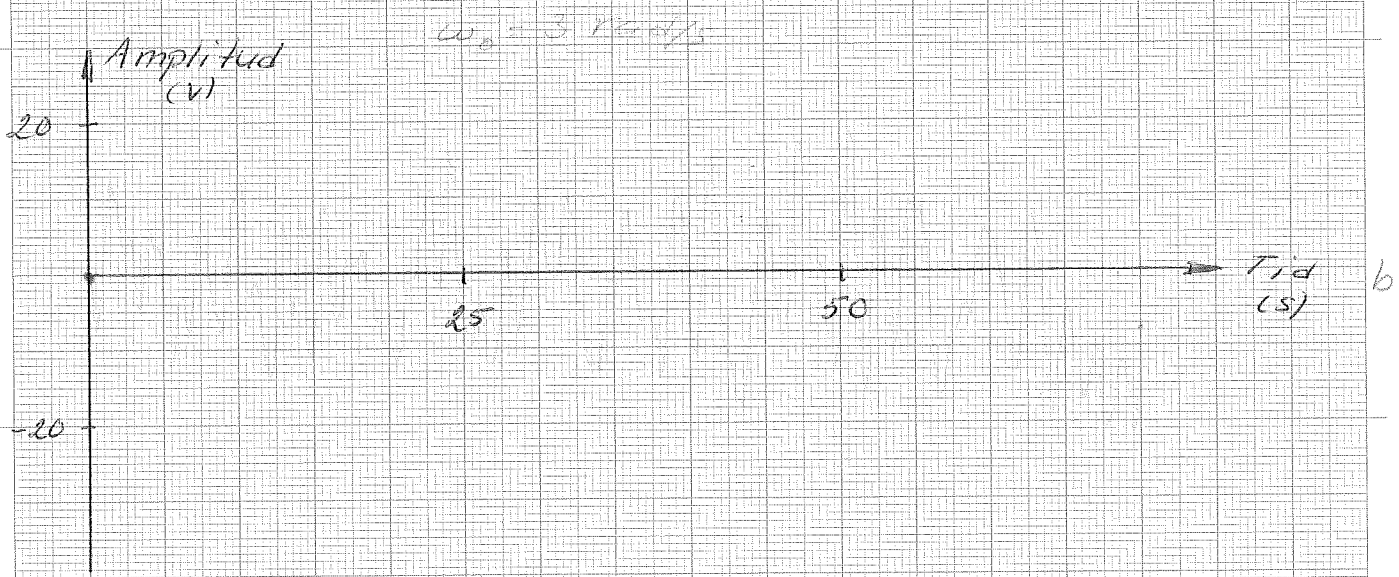


Insignaler:

Diagram 2/a

b

Brus:  $\omega_0 = 1 \text{ rad/s}$  resp.  $\omega_0 = 3 \text{ rad/s}$



Manuell styrning (U. Borisson)

Diagram 2.2 a

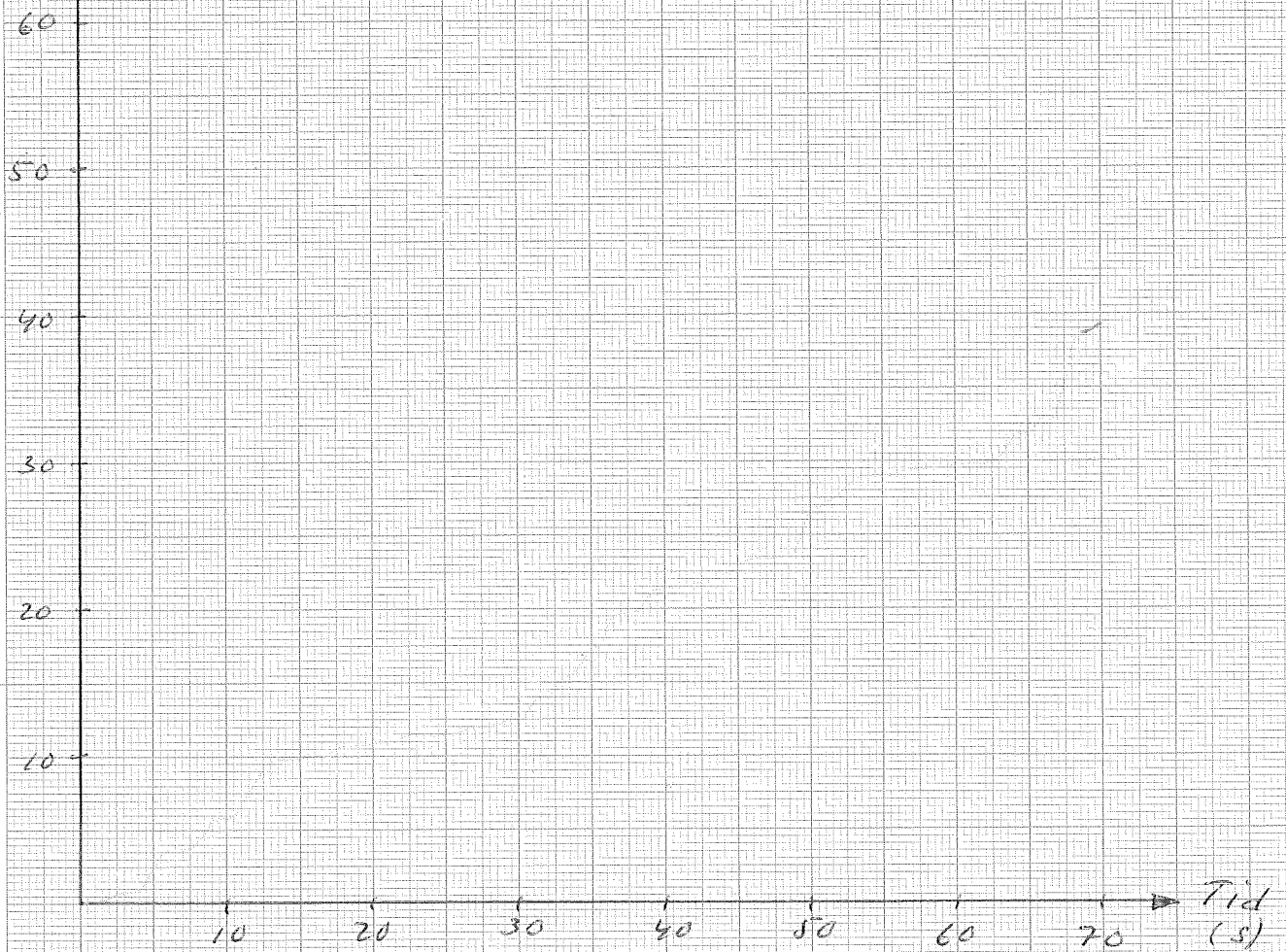
b

$1 \leq K \leq 3$ ,  $\omega_0 = 1 \text{ rad/s}$



$$\int \frac{e^2}{100} dt$$

(V)

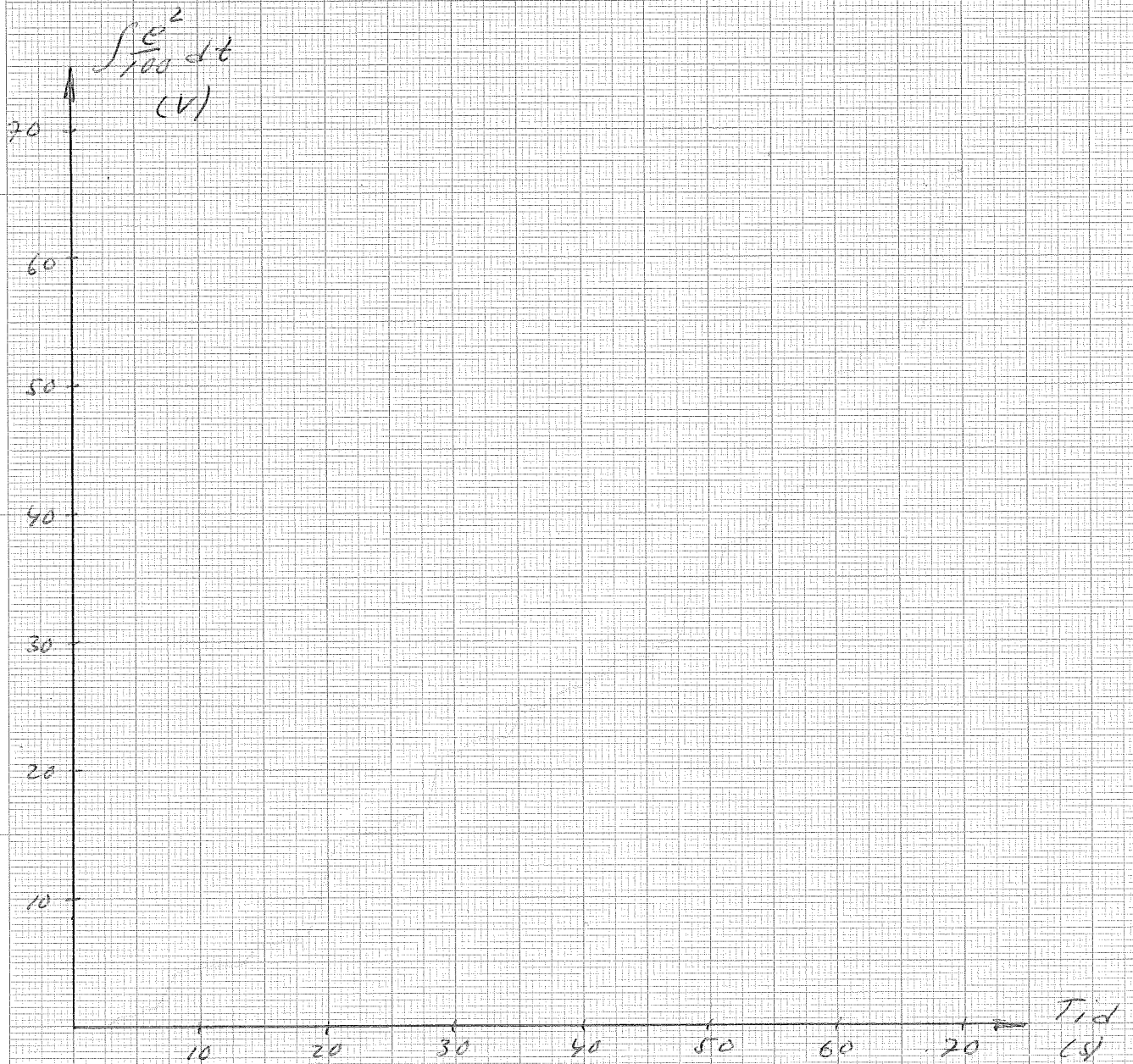




Manuell styrning (R. Sogndal)

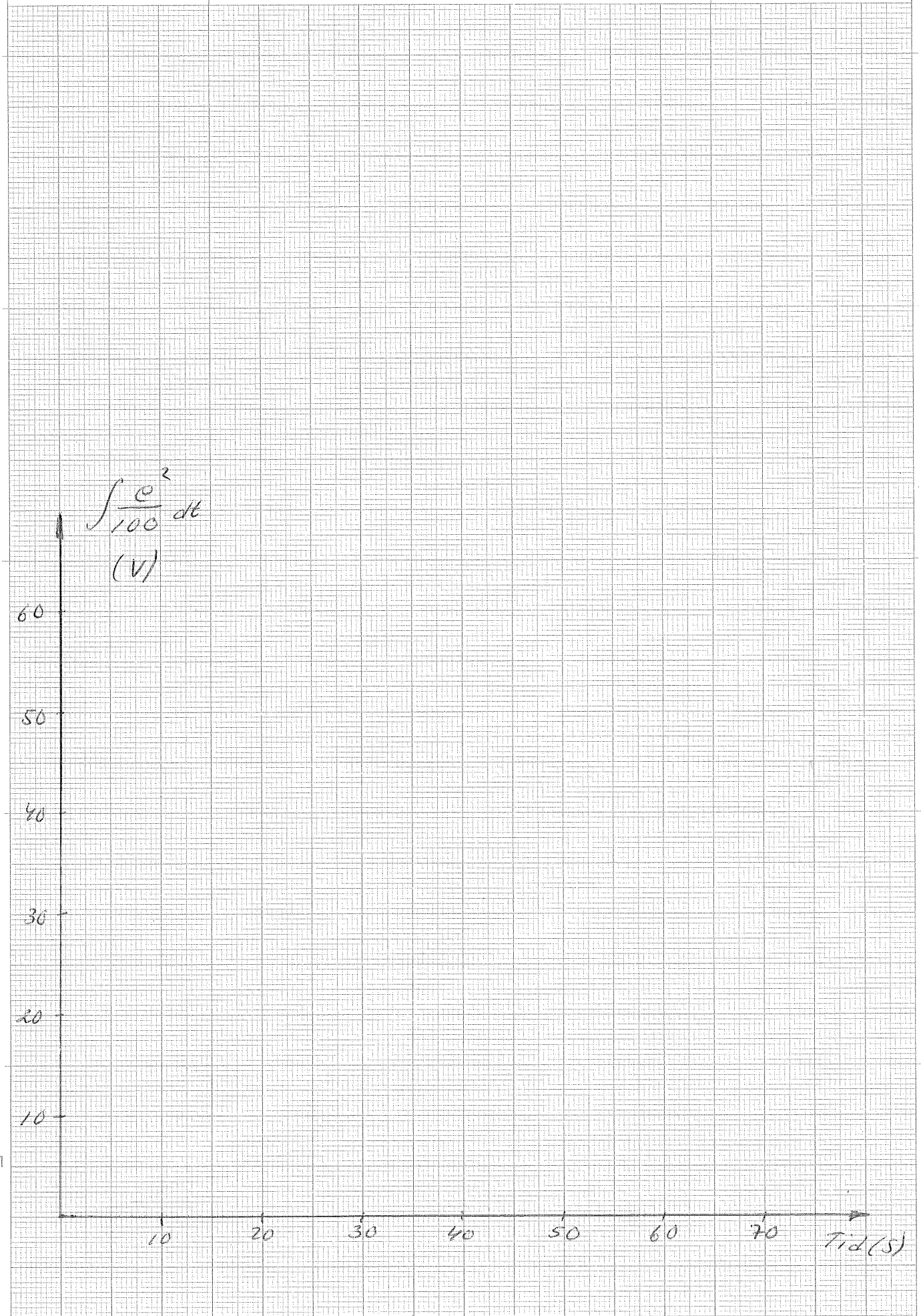
Dinamisk 23

$1 \text{ k} \ll 3$ ,  $\omega_0 = 1 \text{ rad/s}$



Manuell styrning  
(Fr. o.m. detta diagram styr endast U. Borissob)  
 $1 \leq K \leq 3$ ,  $\omega_0 = 3 \text{ rad/s}$

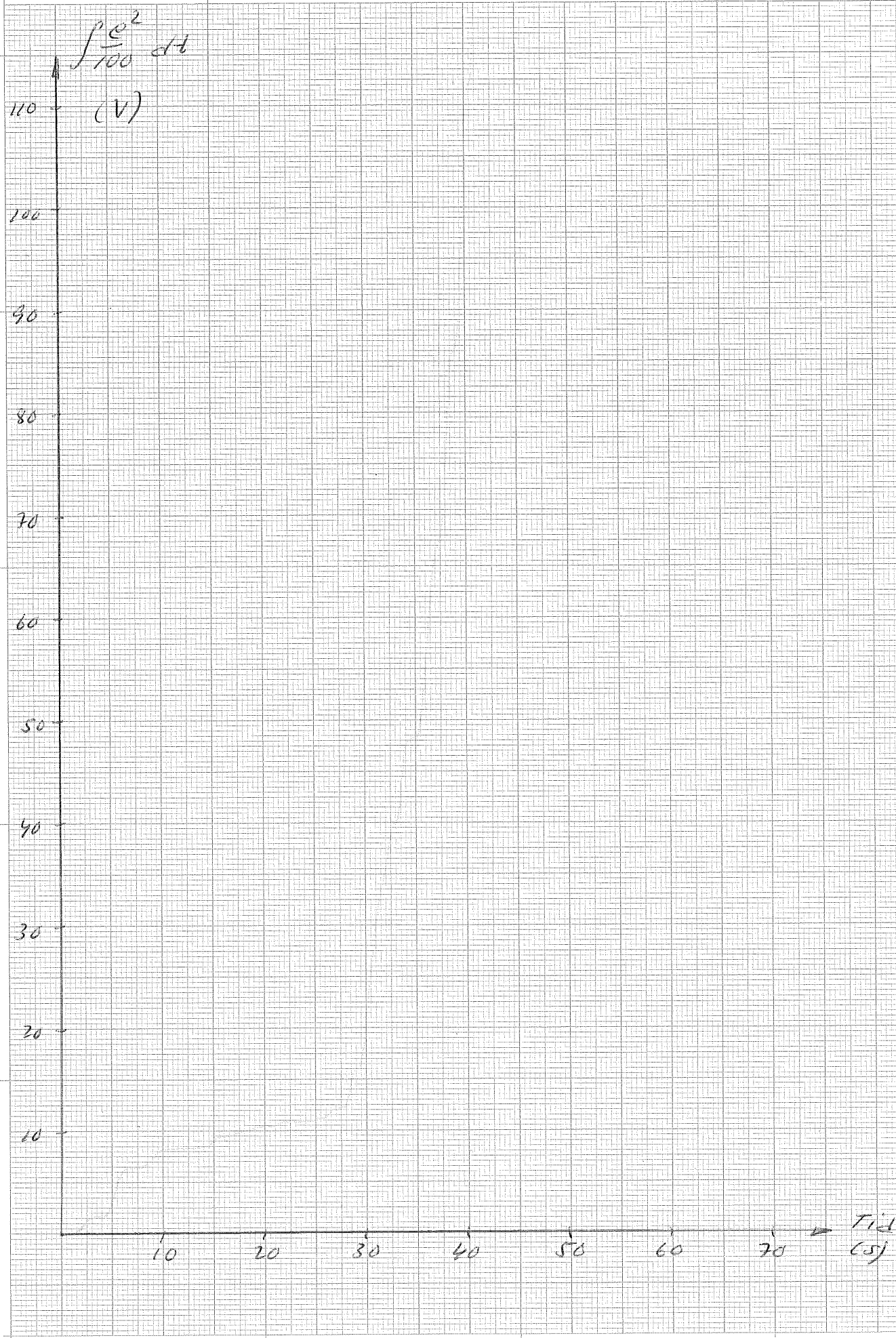
Diagram 24



Manuell styrning

$1 \leq K \leq 10$ ,  $\omega_0 = 1 \text{ rad/s}$

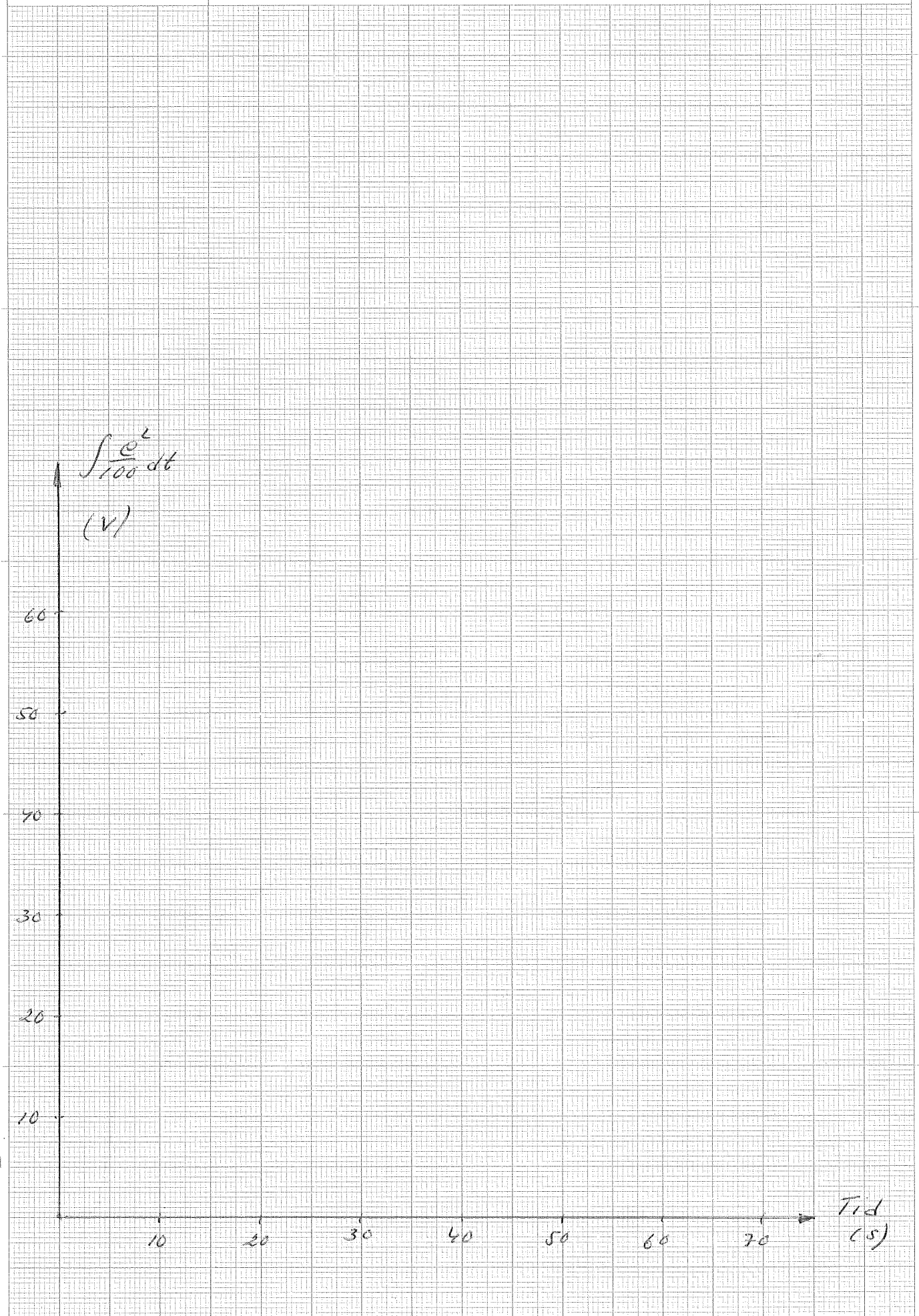
Diagram 25



Manuell styrning

Diagram 26

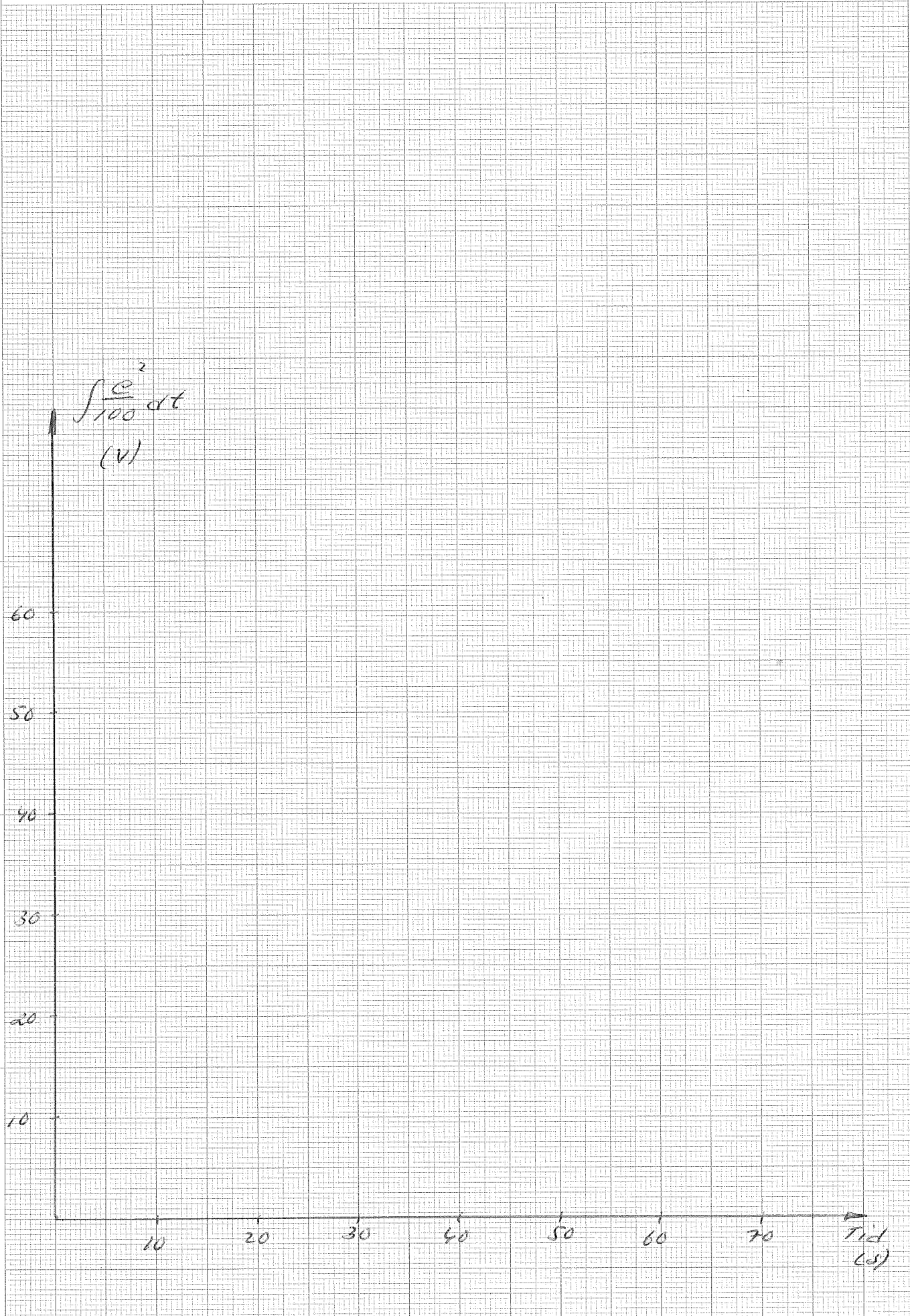
10K510,  $\omega_0 = 1 \text{ rad/s}$



Manuell styrning

Diagram 27

14K410,  $\omega_0 = 3 \text{ rad/s}$



514 A4  
SIS 73 25 01

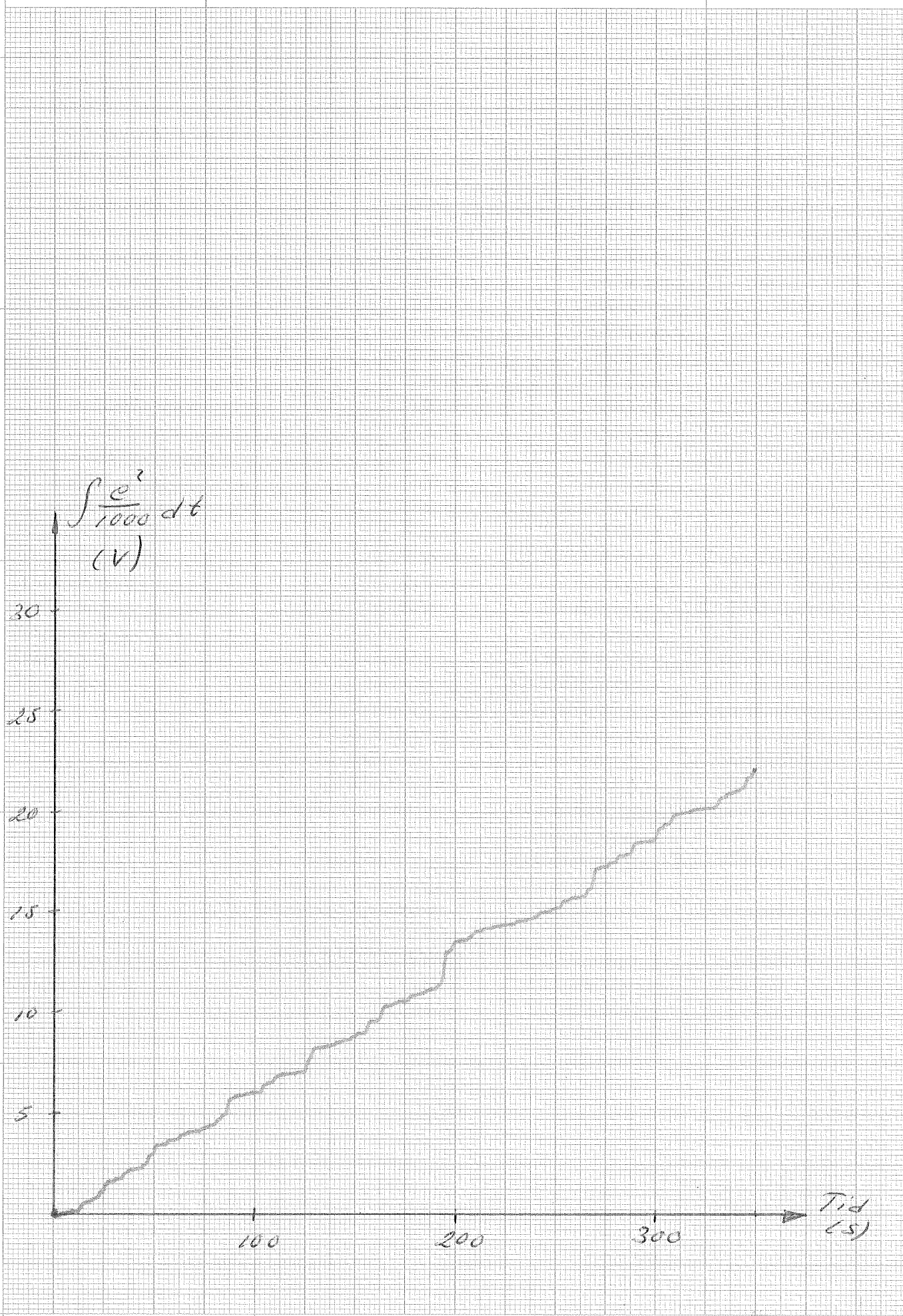


Nr 1624

Uppkoppling B  
(Brusingång)

Manuell styrning  
 $1 \leq K \leq 3 \quad \omega_0 = 1 \text{ rad/s}$

Diagram 28

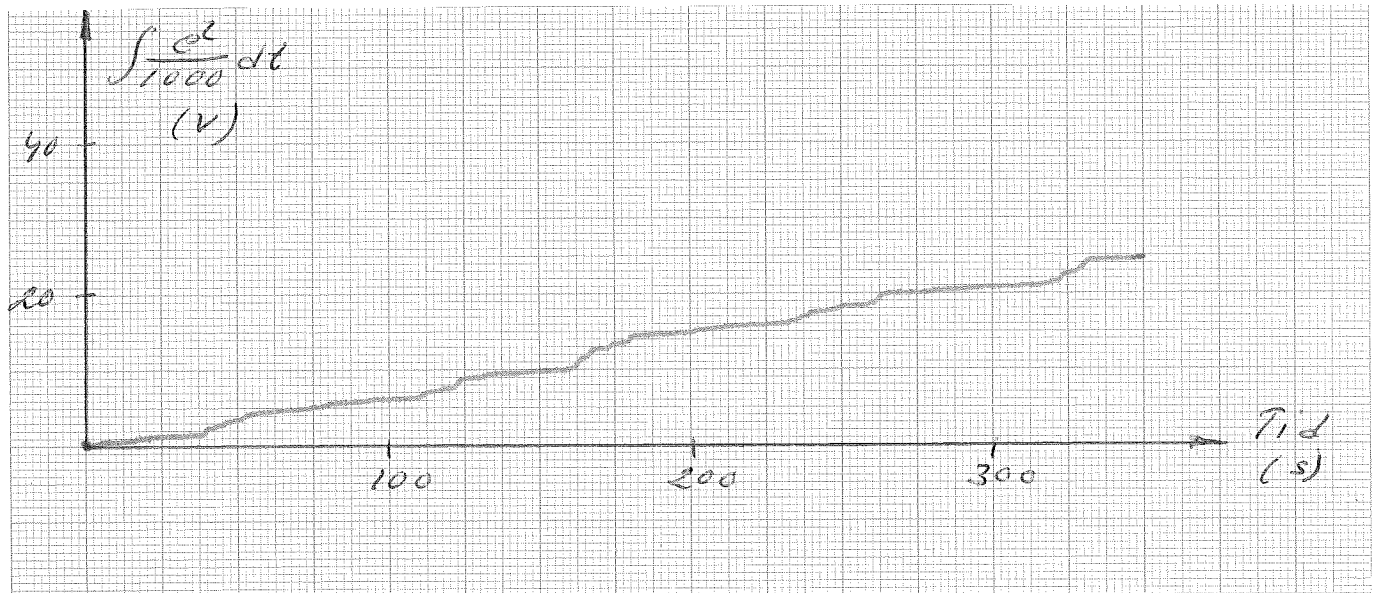


732501 - 514 A4 - 1 x 1 mm

## Manuell styrning

$$1 \leq K \leq 10 ; \omega_0 = 1 \text{ rad/s}$$

Uppkoppling B (Brusingång)

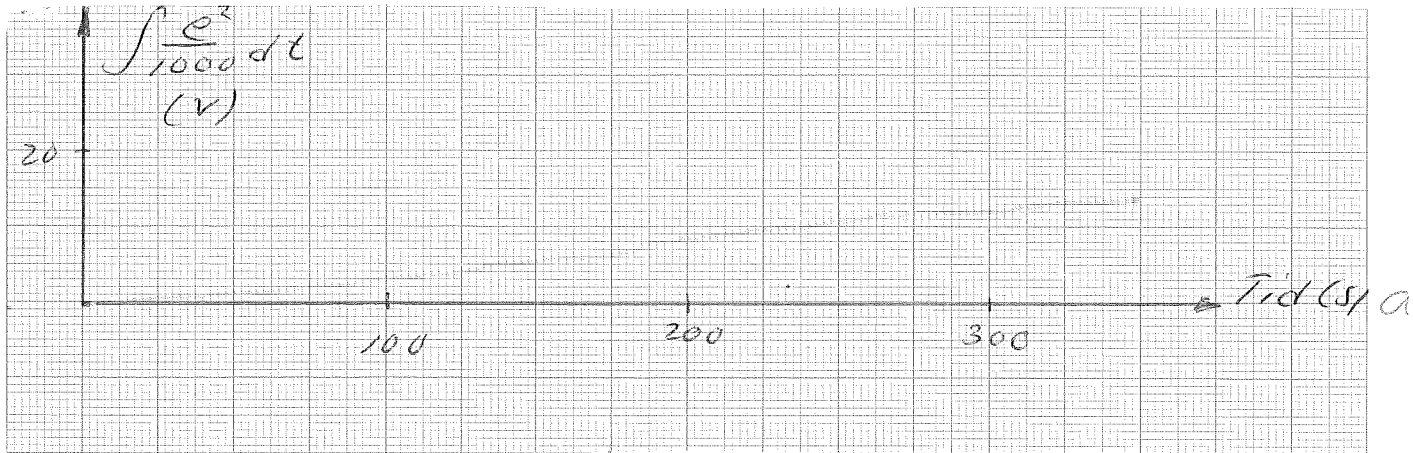


Manuell styrning

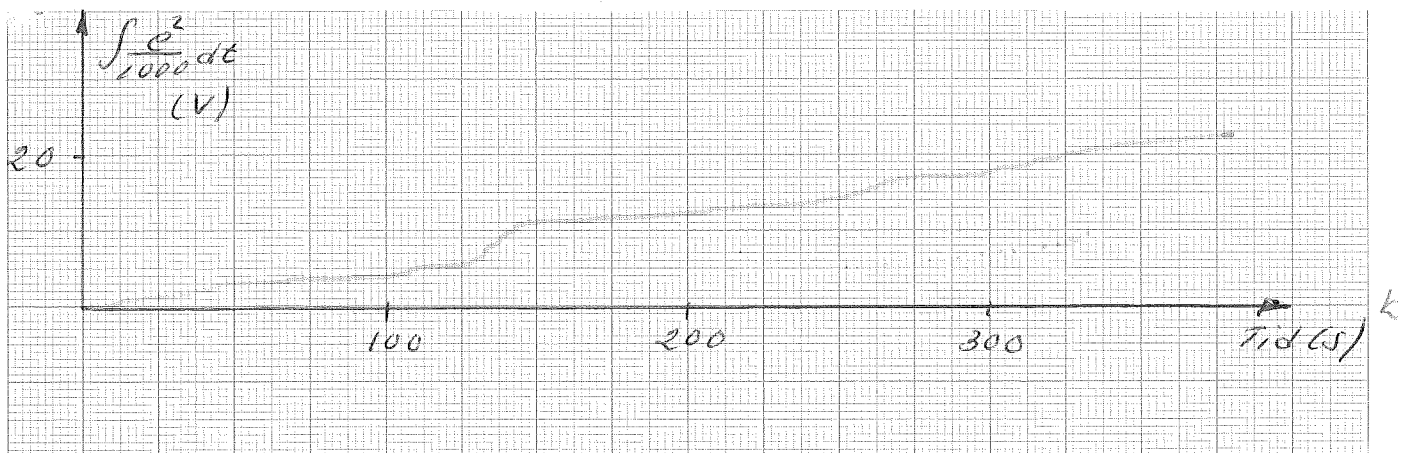
$$\omega_0 = 1 \text{ rad/s}$$

Uppkoppling C (Brusstörning)

a.  $1 \leq K \leq 3$



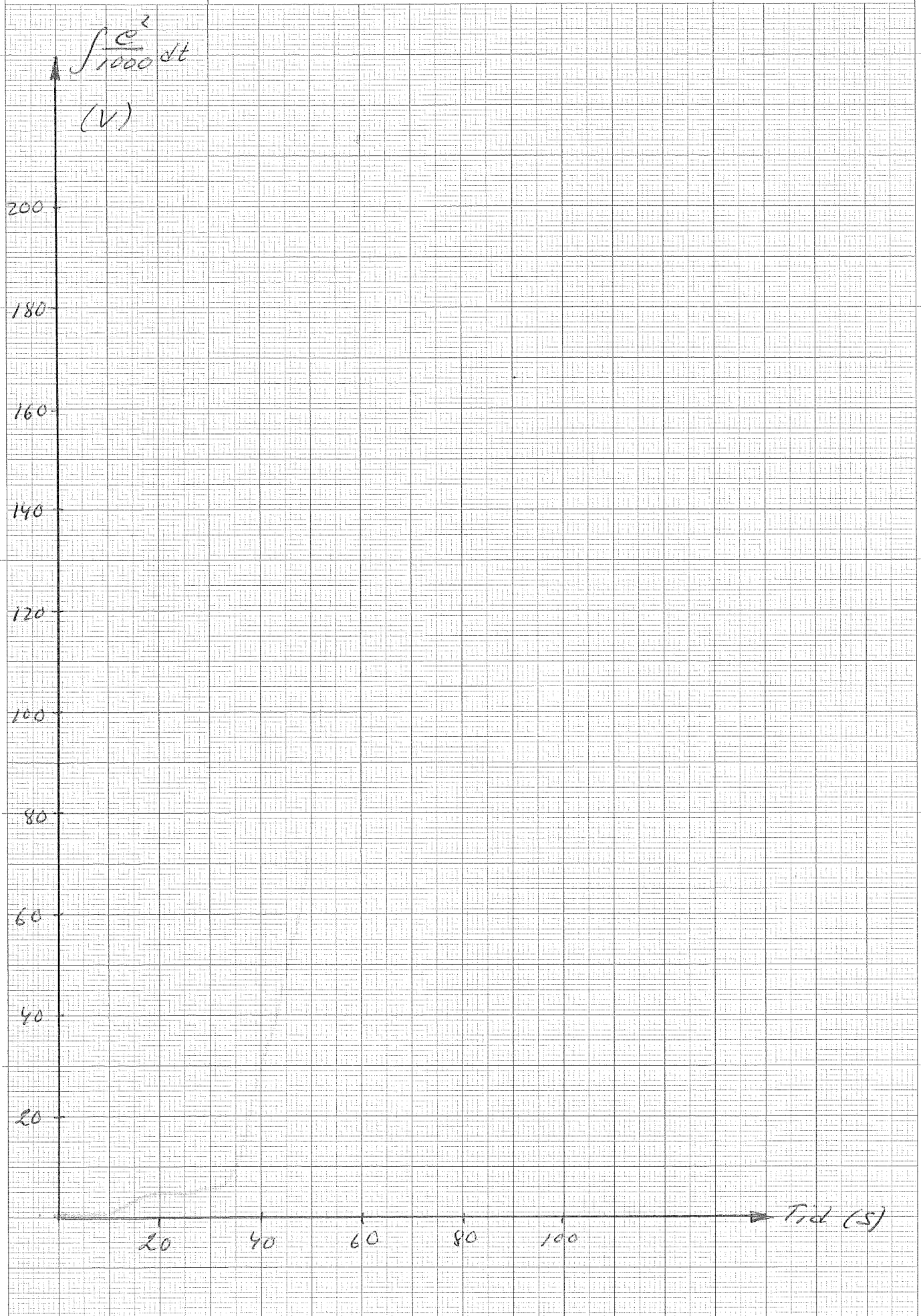
b.  $1 \leq K \leq 10$





Utan styrning  
Uppkoppling C (Brusstörning)  
 $\omega_0 = 1 \text{ rad/s}$

Diagram 31



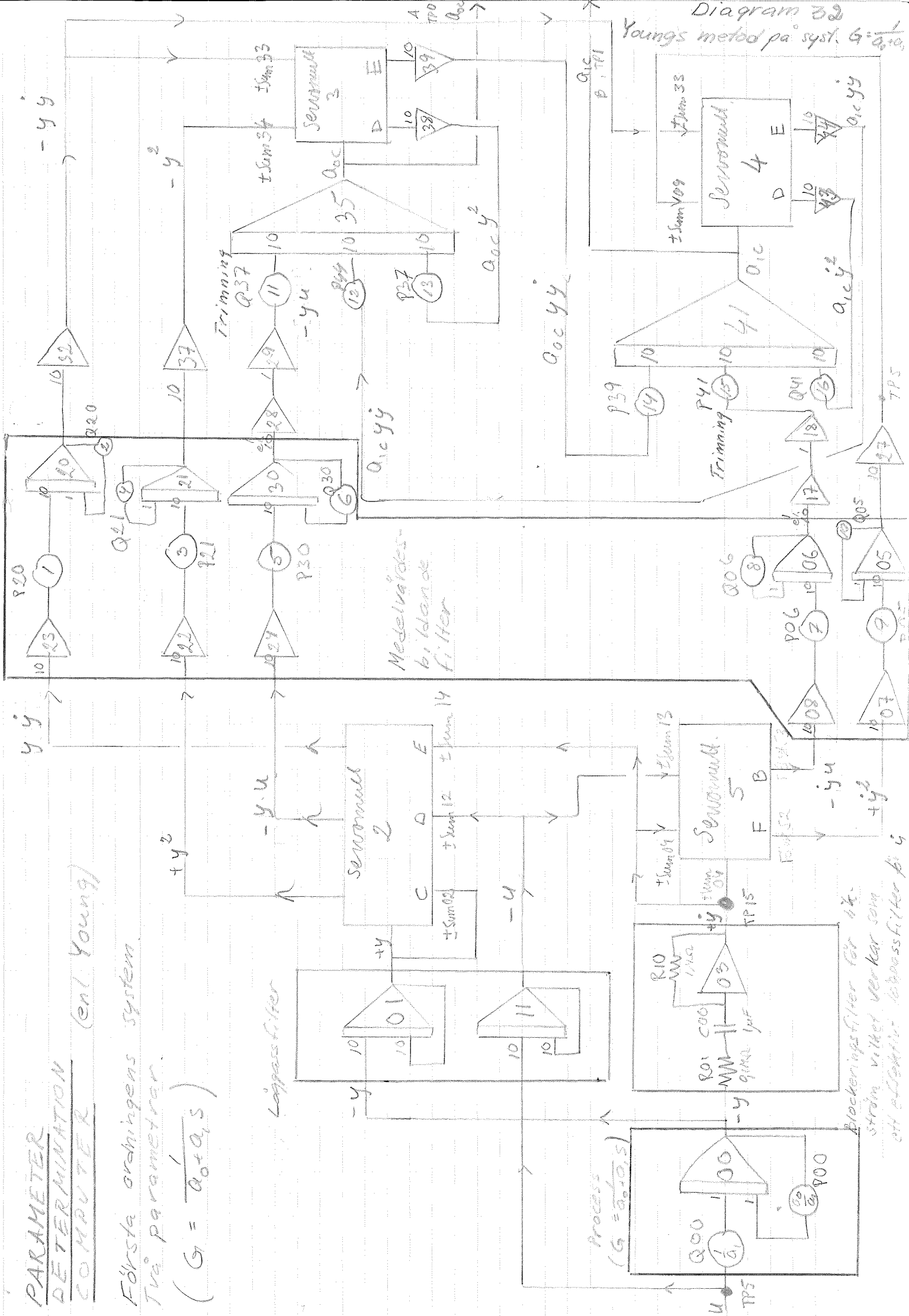
PARAMETER DETERMINATION COMPUTER

(enl. Young)

Första ordningens system

Två parametrar

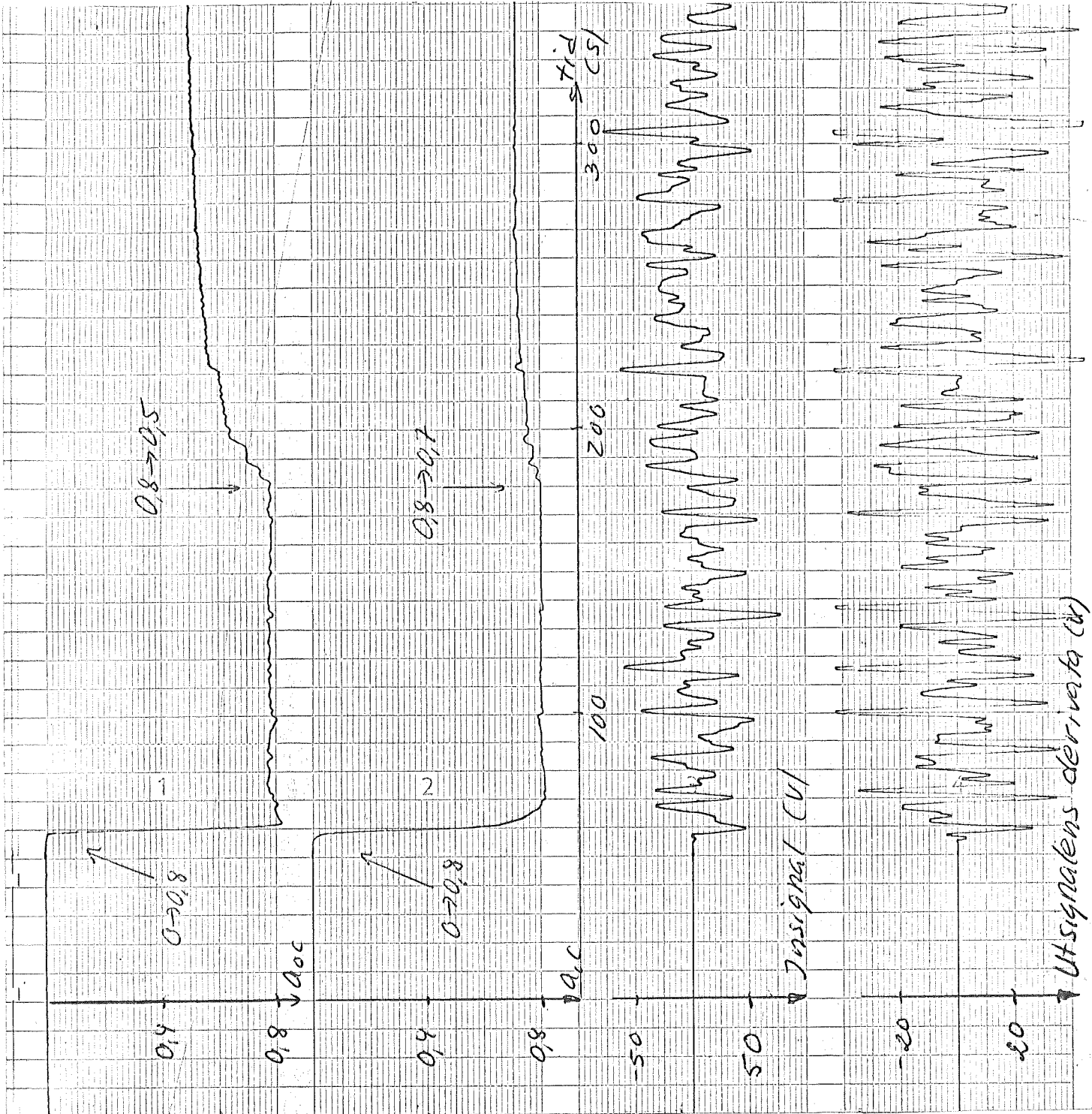
$$G = \frac{1}{a_0 + a_1 s}$$



Blockeringsfilter för likström vilket verkar som ett differentieringsfilter på G

Diagram 32 Youngs metod pa syst.  $G = \frac{1}{a_0 + a_1 s}$

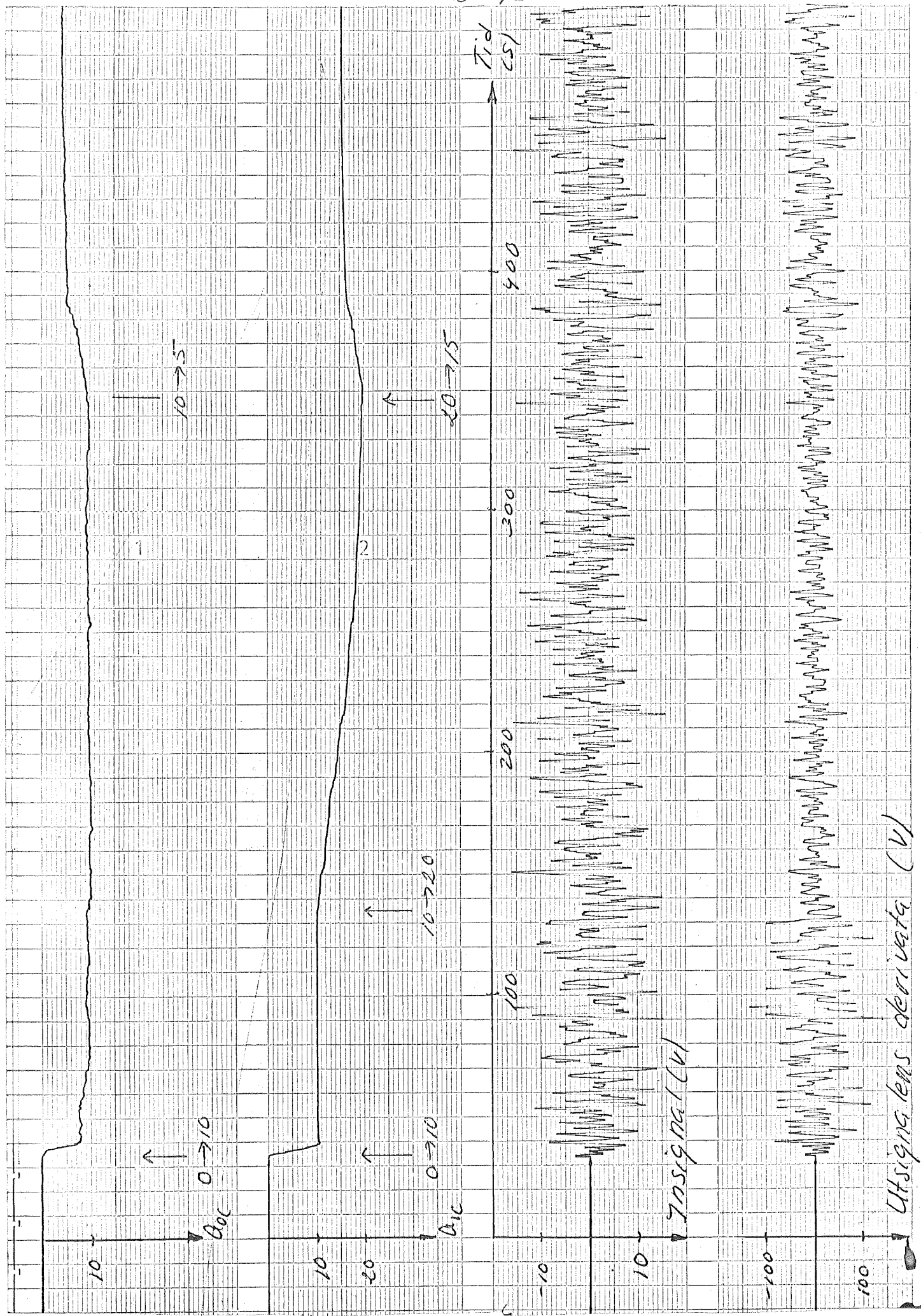
Youngs metod på systemet  $G = \frac{1}{a_0 + a_1 s}$



Brus med  $\omega_0 = 1 \text{ rad/s}$

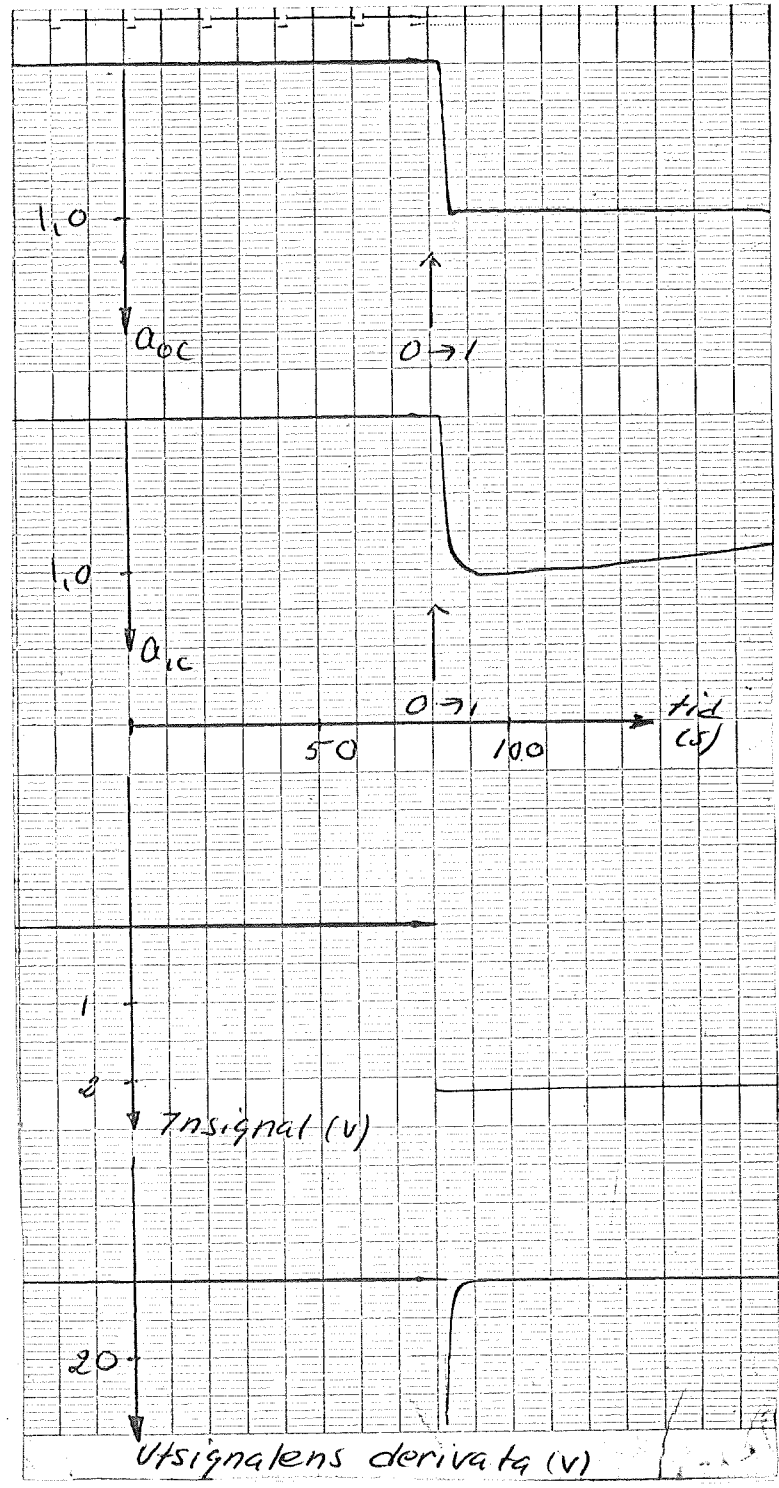
Youngs metod på systemet  $G = \frac{1}{a_0 + a_1 s}$

Diagram 34



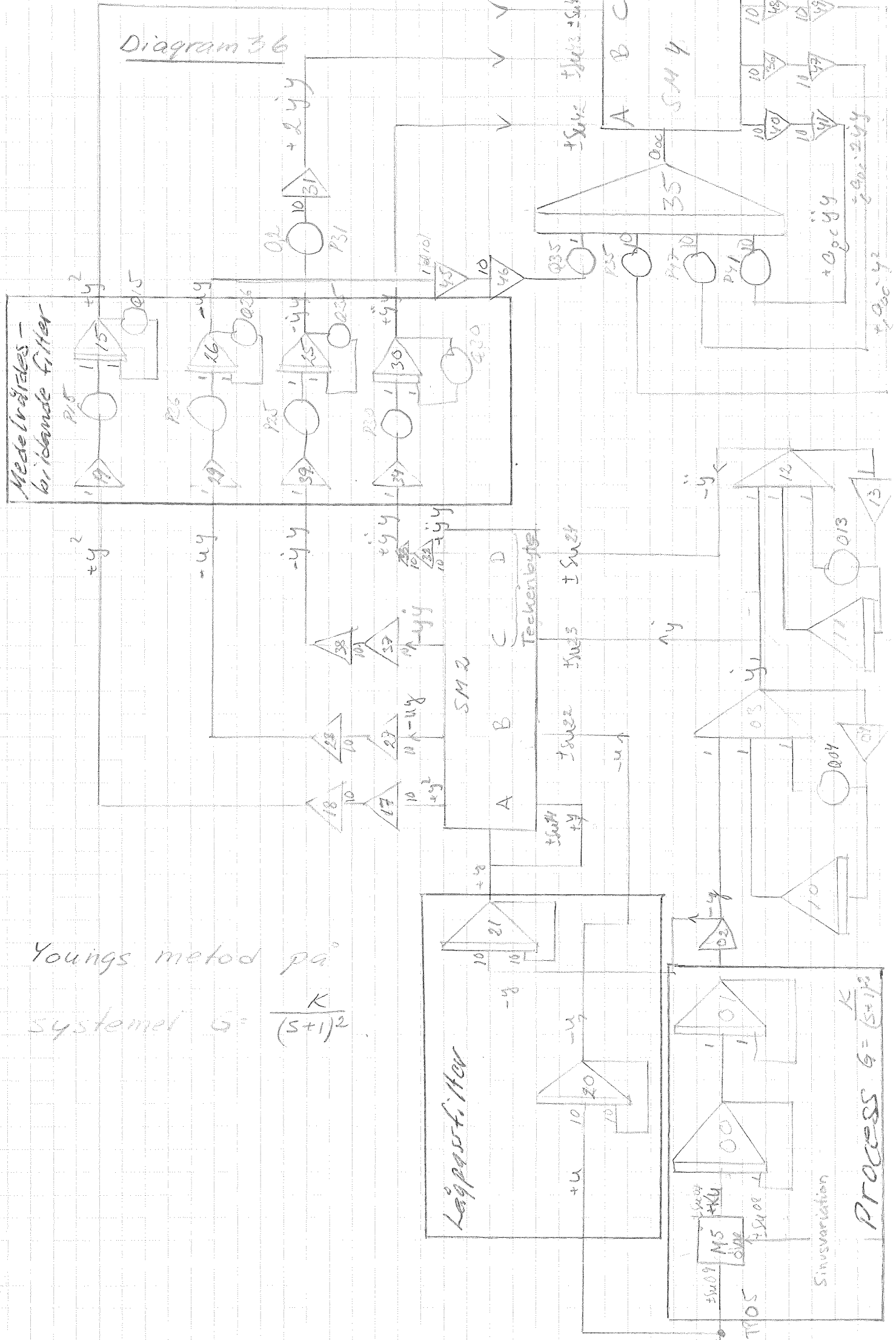
Brus med  $\omega_0 = 3 \text{ rad/s}$

Youngs metod på systemet  $G = \frac{1}{0.1 \cdot s}$



Youngs metod  $pa^0$   
 systemet  $G = \frac{K}{(s+1)^2}$

Diagram 36



Lagpartfilter

Teckenbyte

Medelvårdes-bridande filter

Process

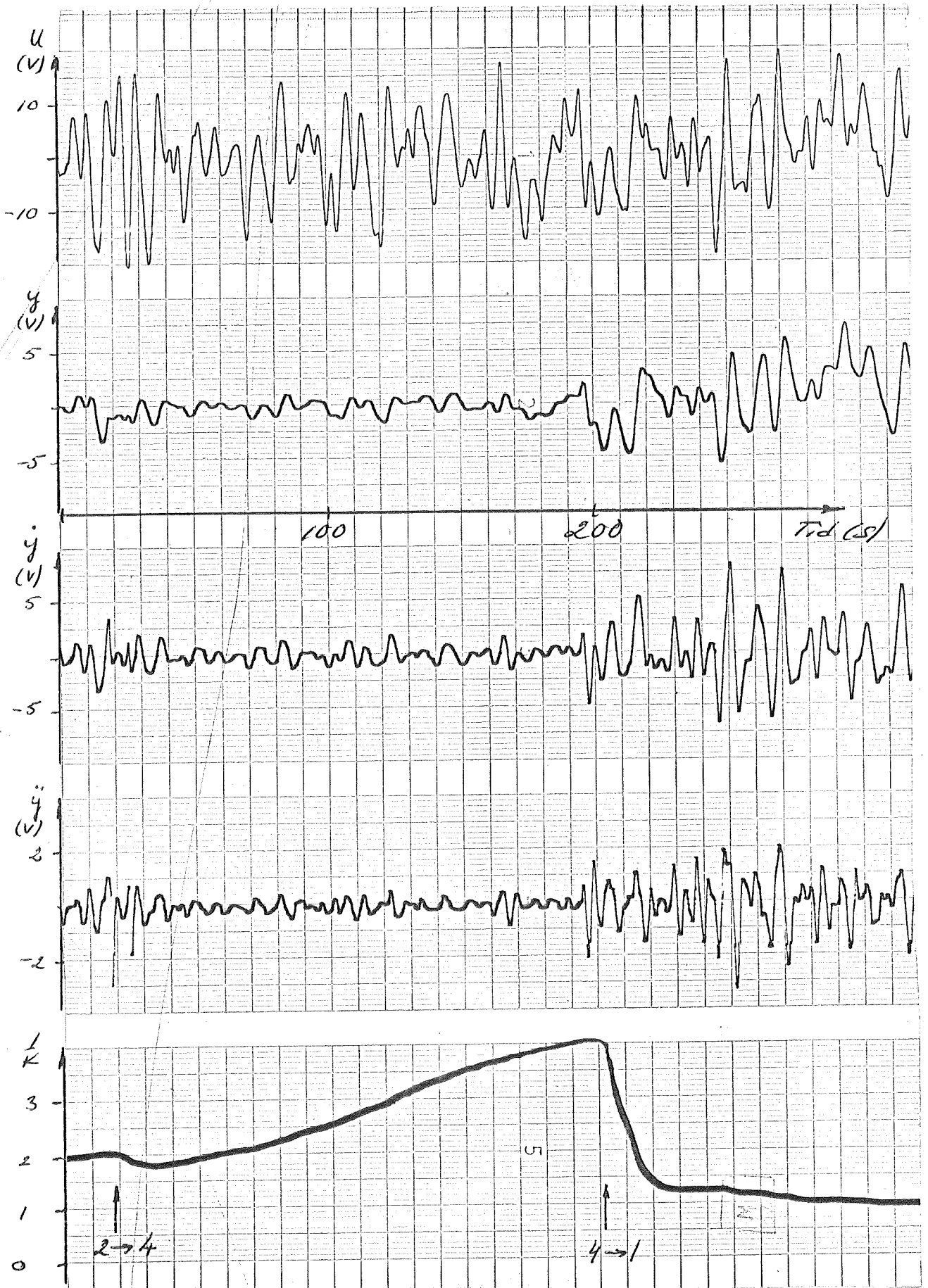
Sinusvariation

Process  $G = \frac{K}{(s+1)^2}$

Diagram 37

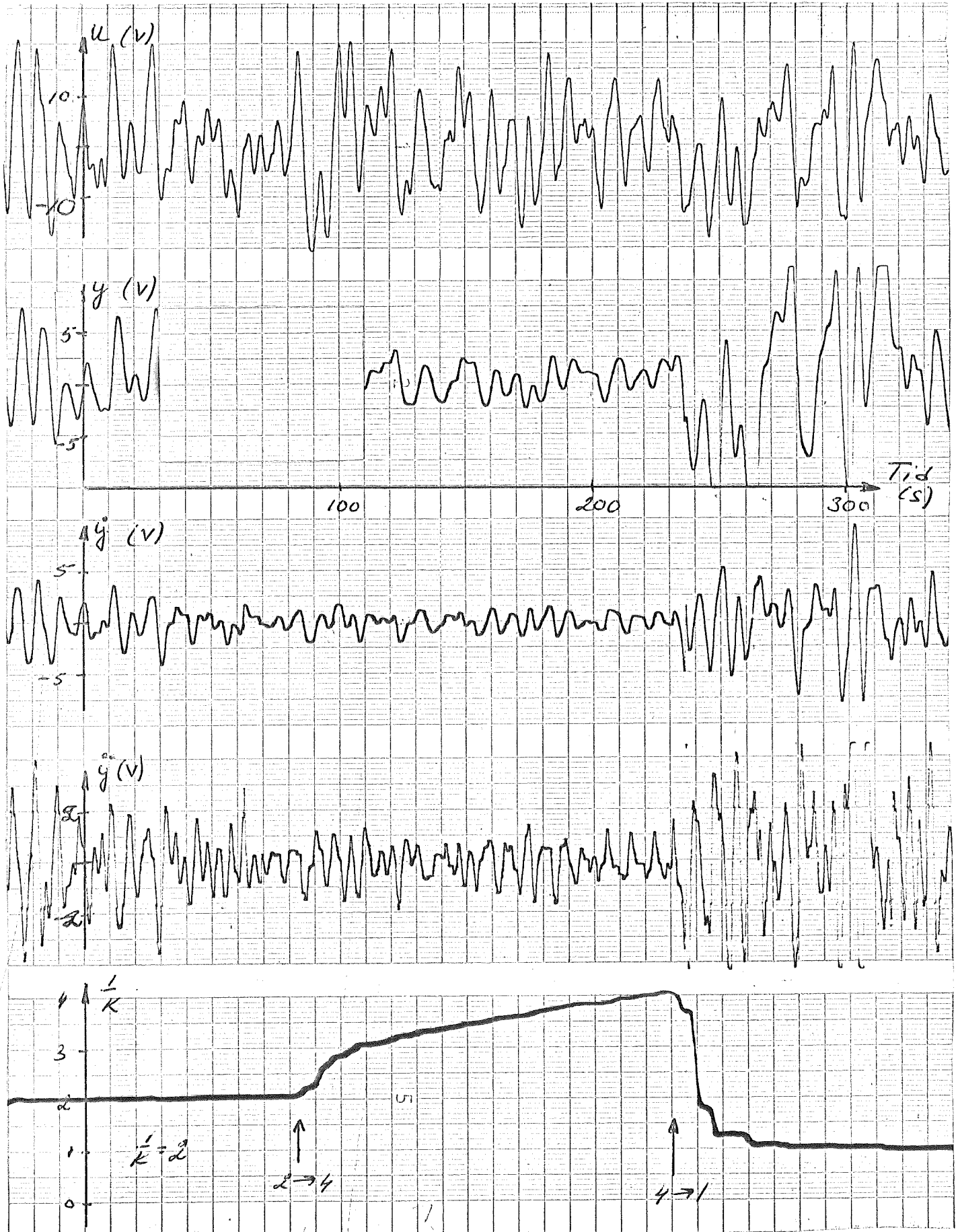
Youngs metod på systemet  $G = \frac{K}{(s+1)^2}$

Integrationskonstanten  $K_i = 2$



Youngs metod på systemet  $G = \frac{K}{(s+1)^2}$

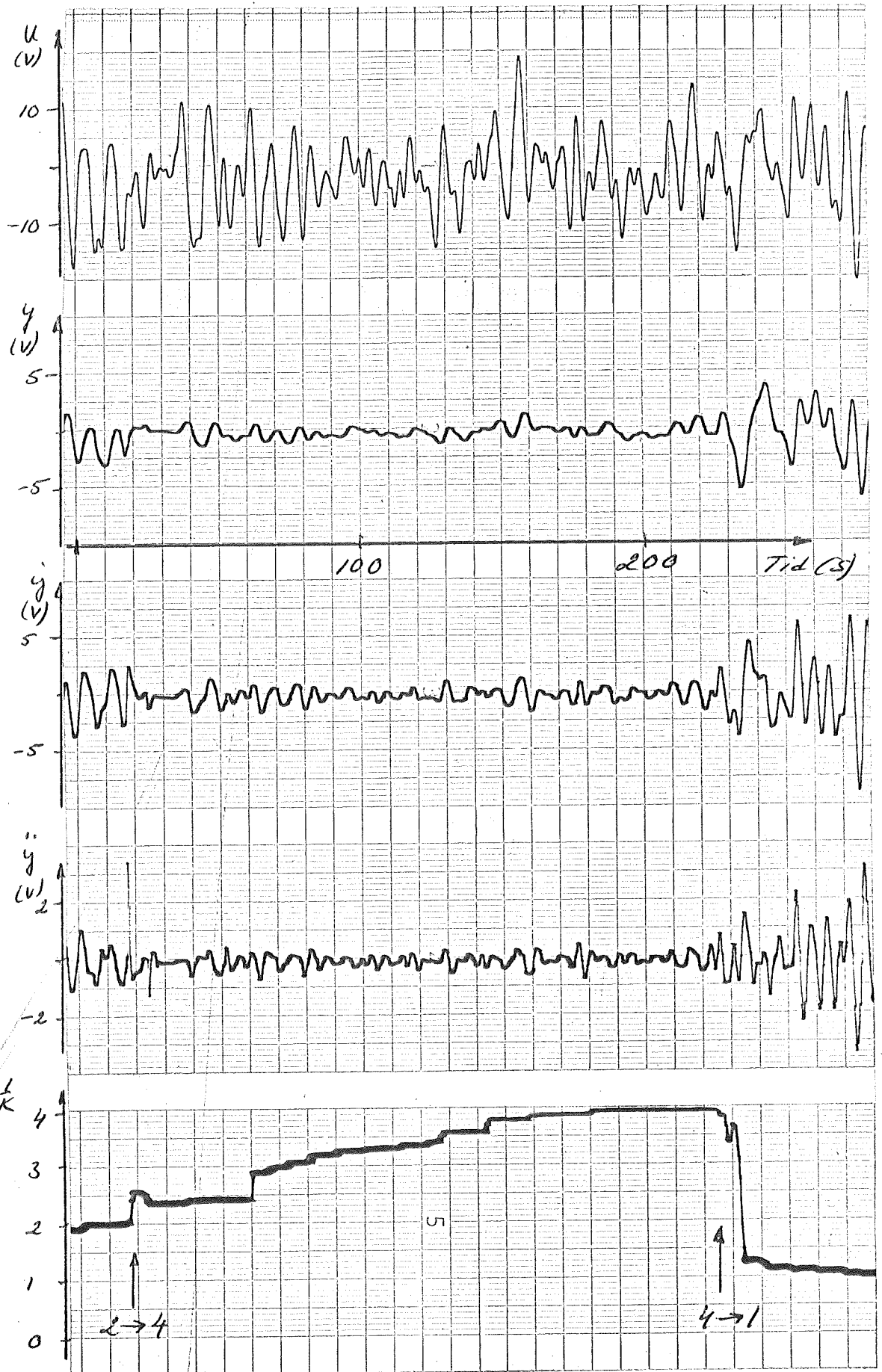
Integrationskonstanten  $K_i = 20$





Youngs metod på systemet  $G = \frac{K}{(s+1)^2}$

Integrationskonstanten  $K_I = 200$



Youngs metod på systemet  $G = \frac{K}{(s+1)^2}$   
 $K_1 = 20$  i samtliga fall

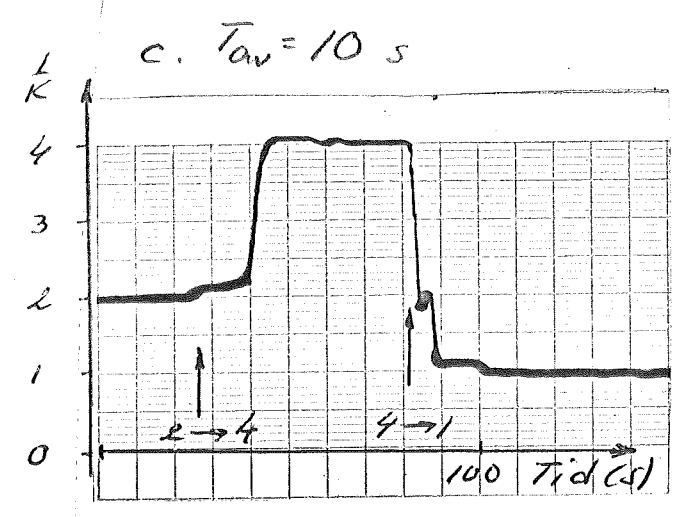
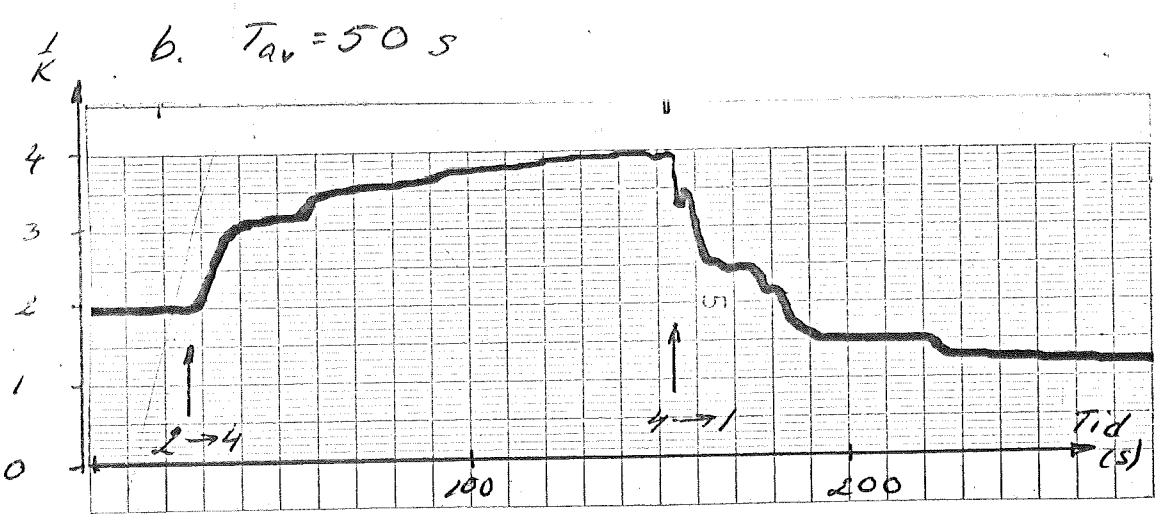
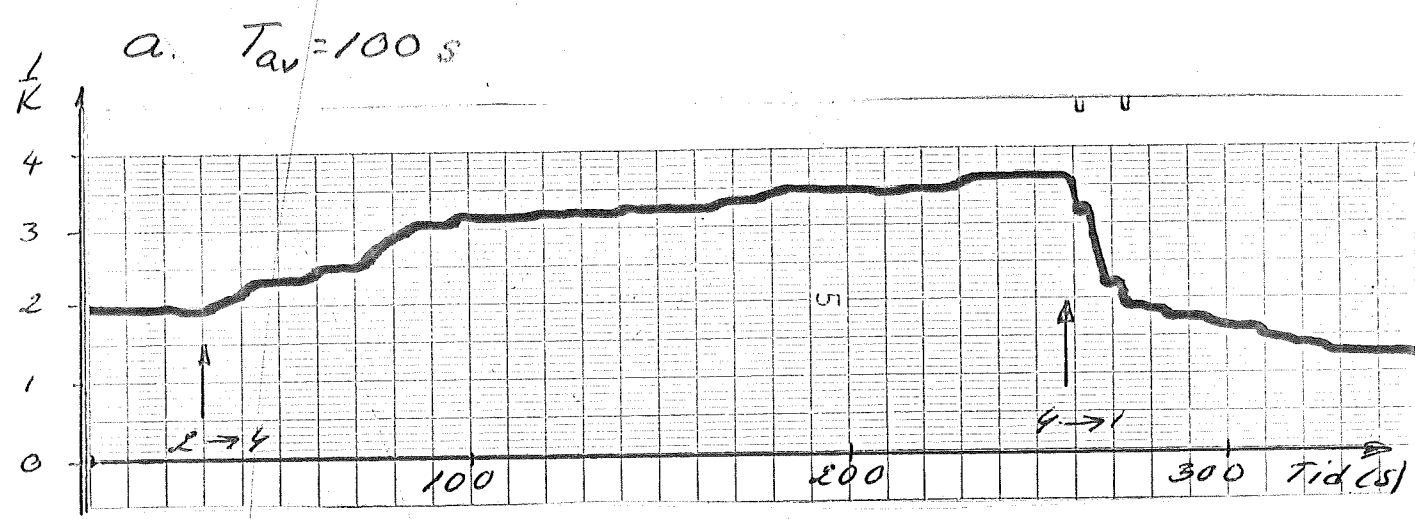


Diagram 41

Youngs metod på systemet  $G = \frac{K}{(s+1)^2}$

$1 \leq K \leq 3$ .



Diagram 42

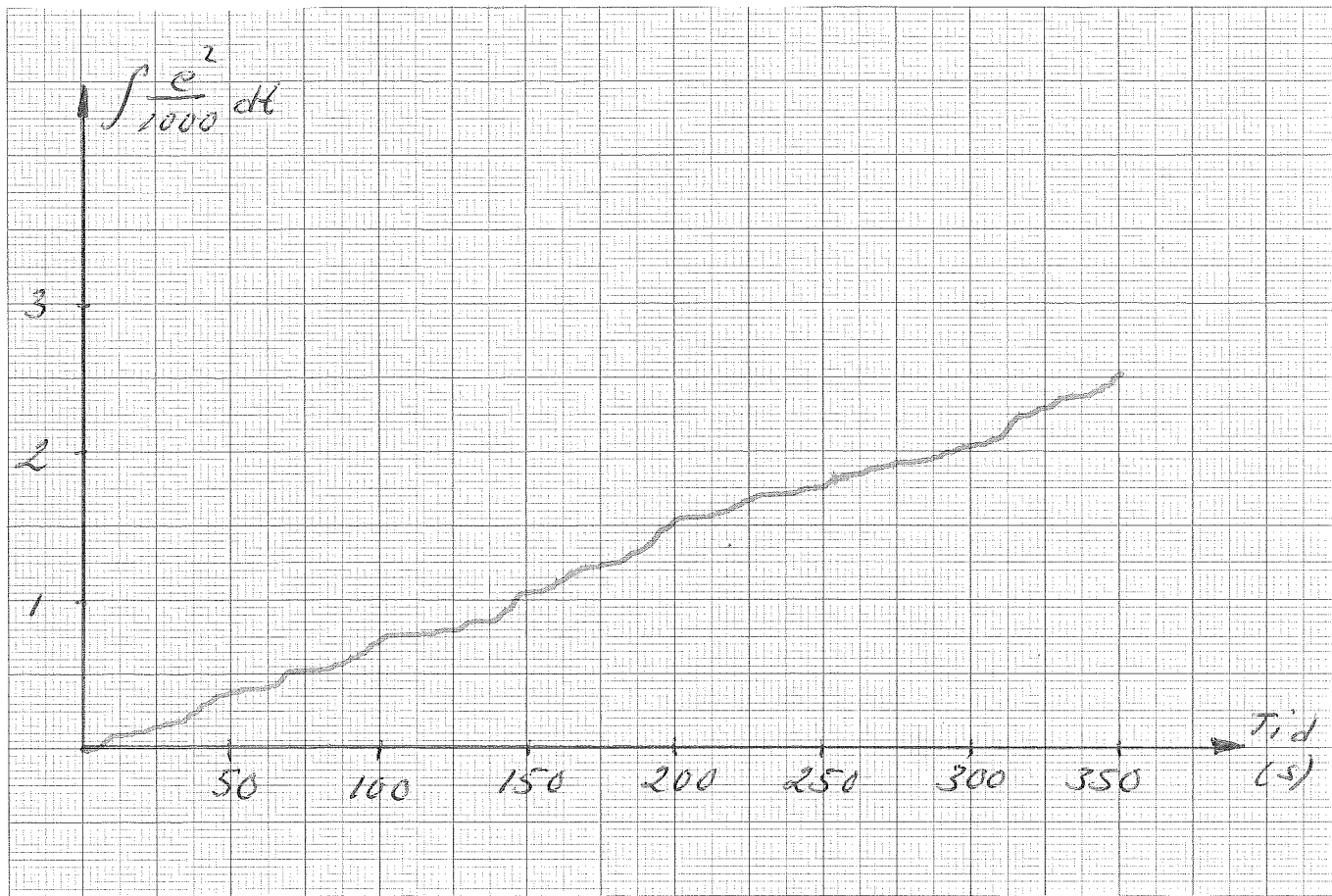
Youngs metod på systemet  $G = \frac{K}{(s+1)^2}$

$1 \leq K \leq 10$

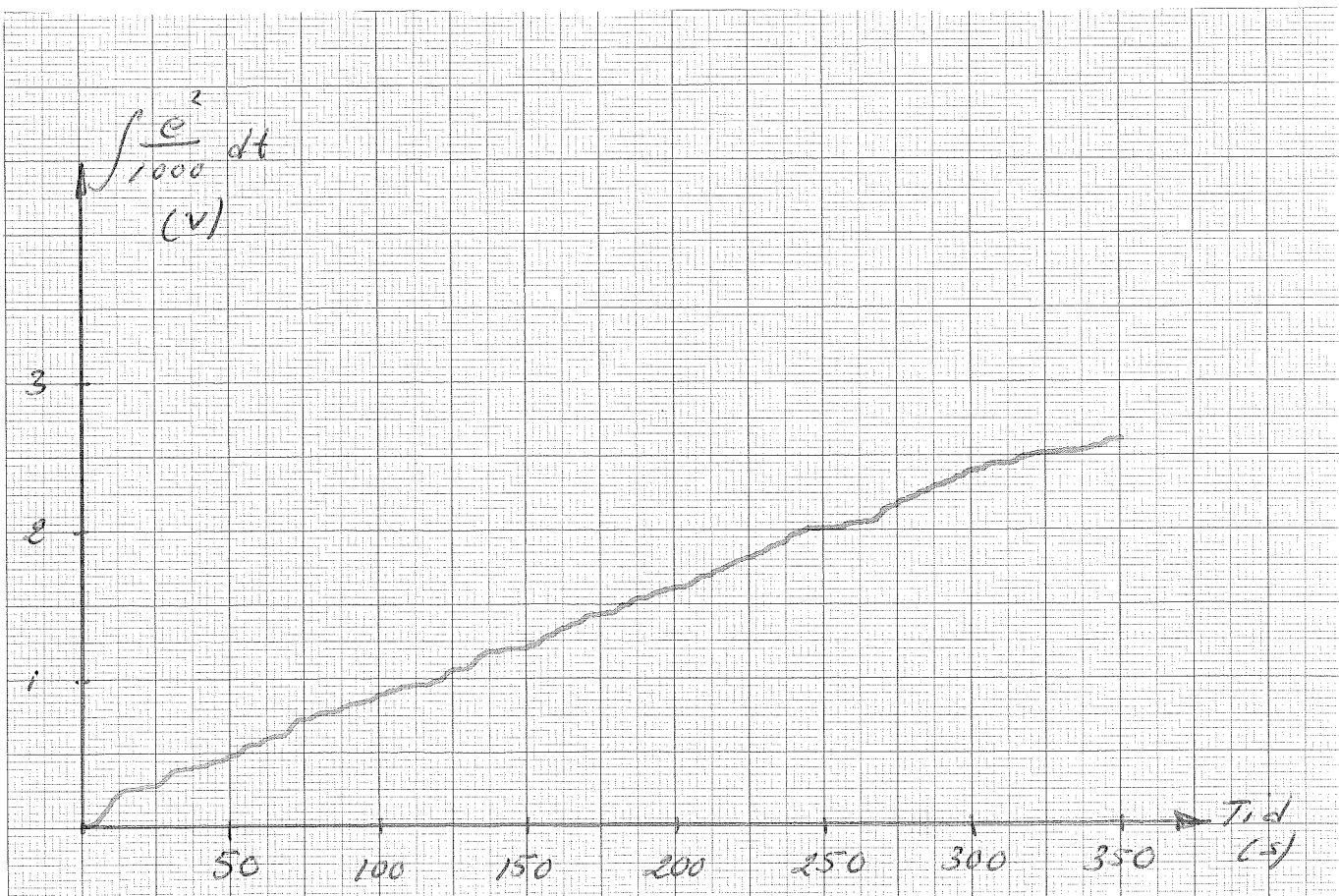


Styrning med Youngs metod.

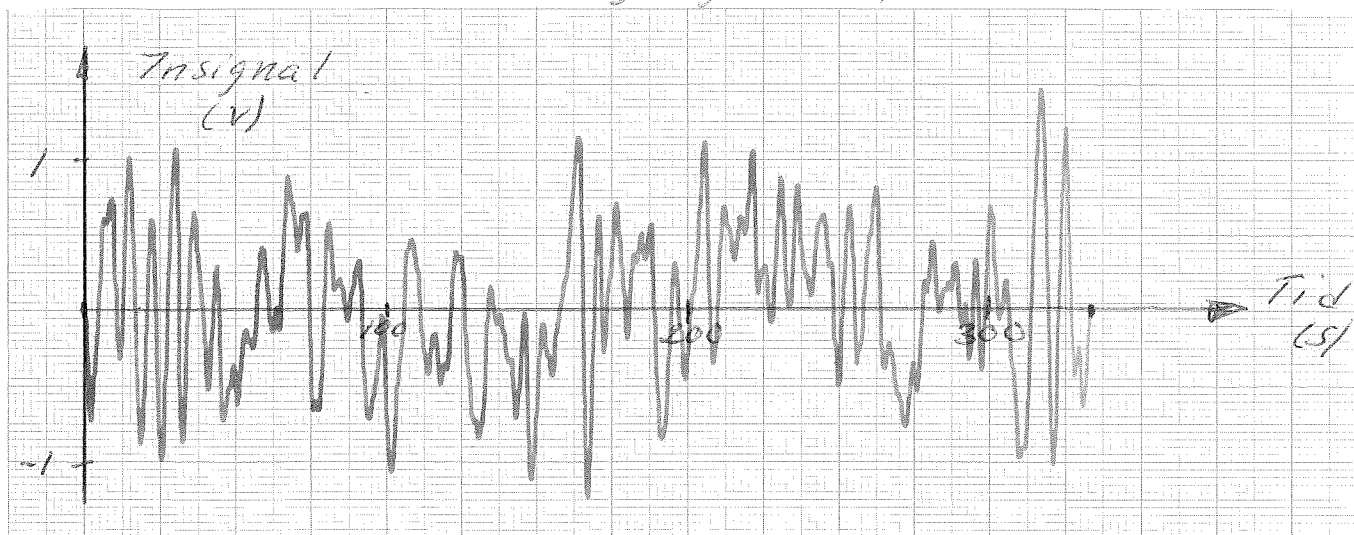
a.  $1 \leq K \leq 3$ .



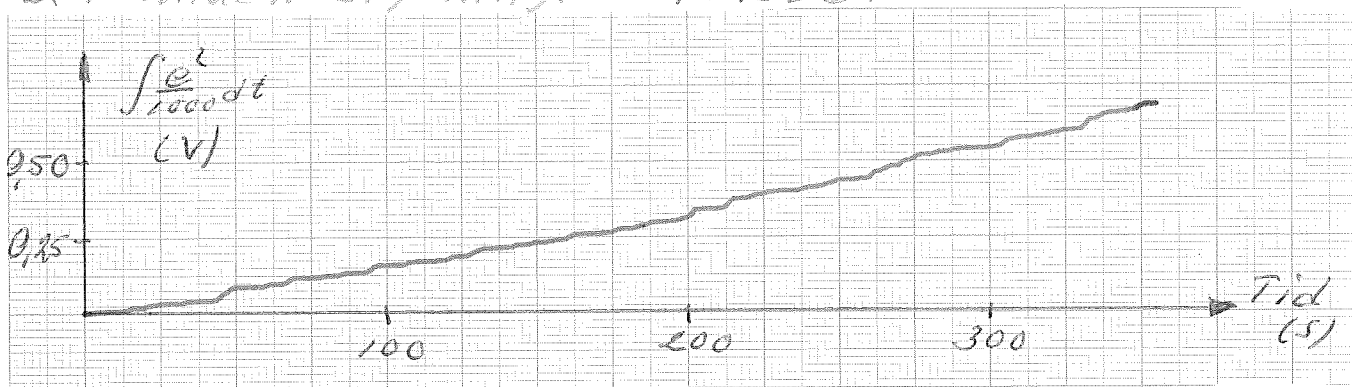
b.  $1 \leq K \leq 10$ .



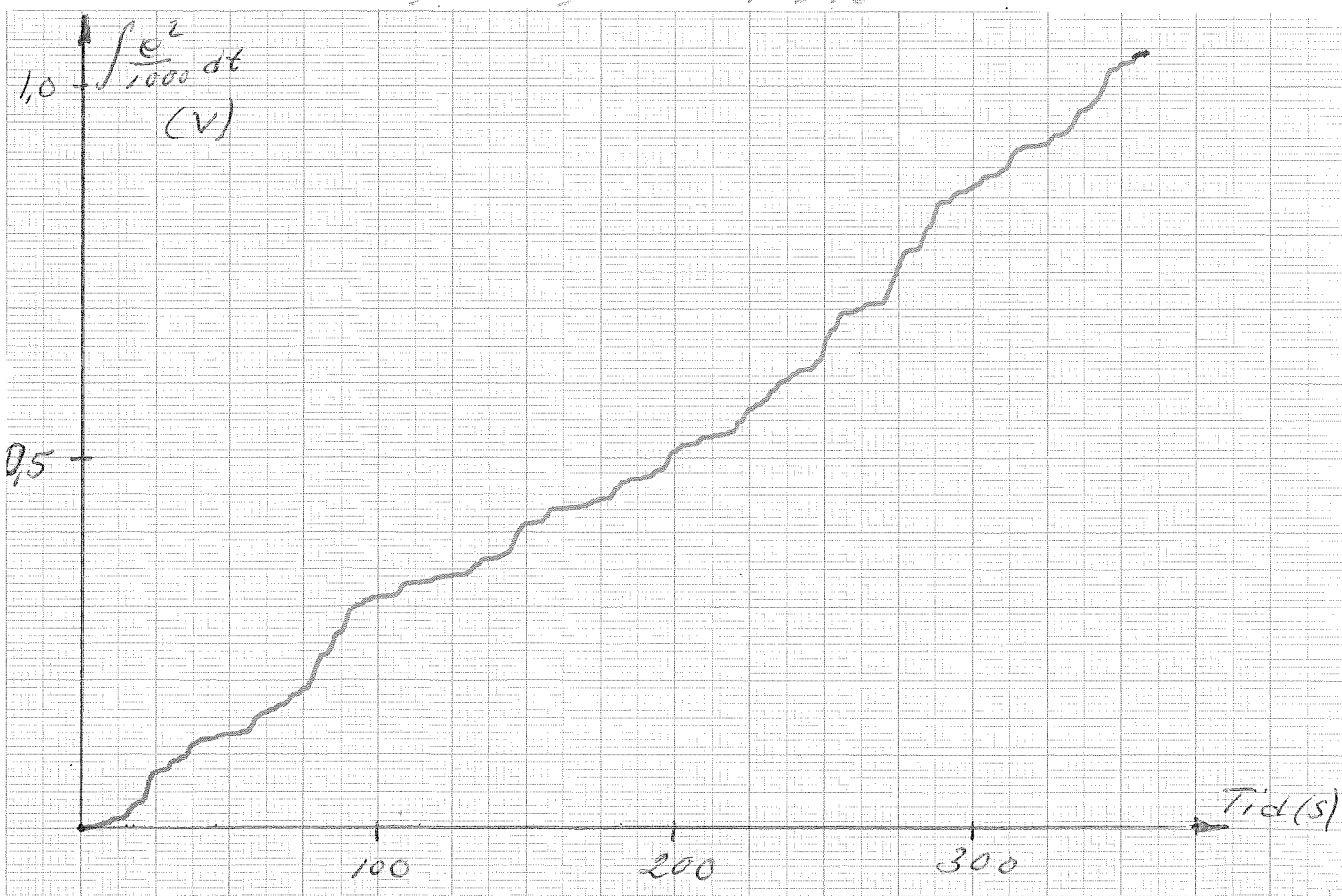
a. Den använda störningssignalen.



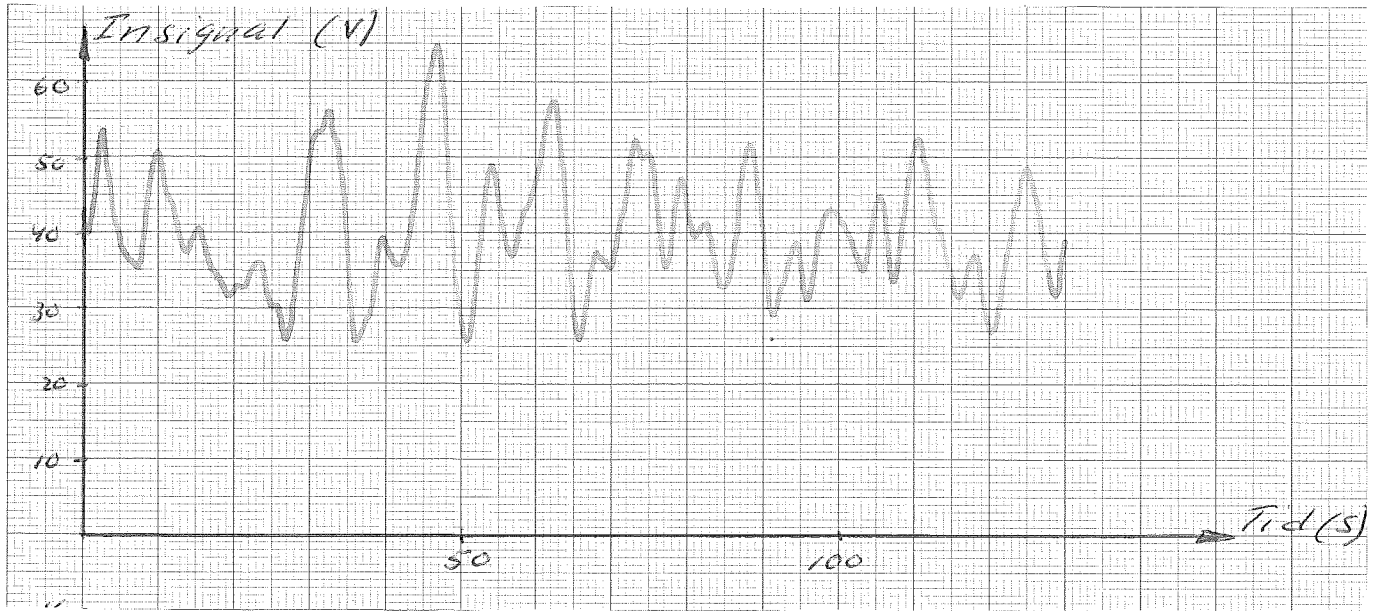
b. Manuell styrning.  $1 \leq K \leq 3$ .



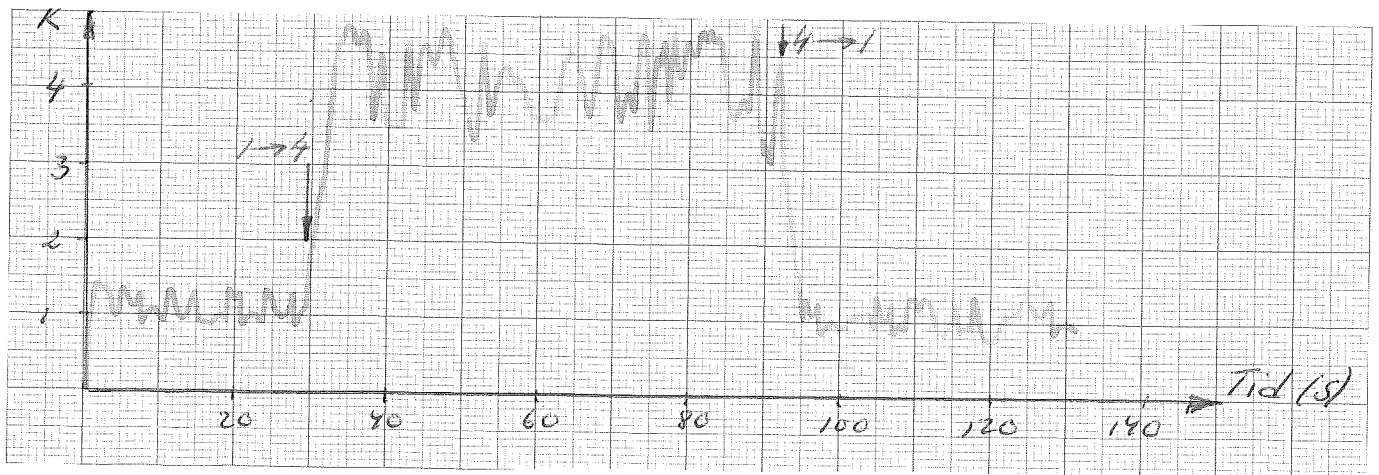
c. Manuell styrning.  $1 \leq K \leq 10$ .



a. Insignal.



b. K:s utseende utan filter.



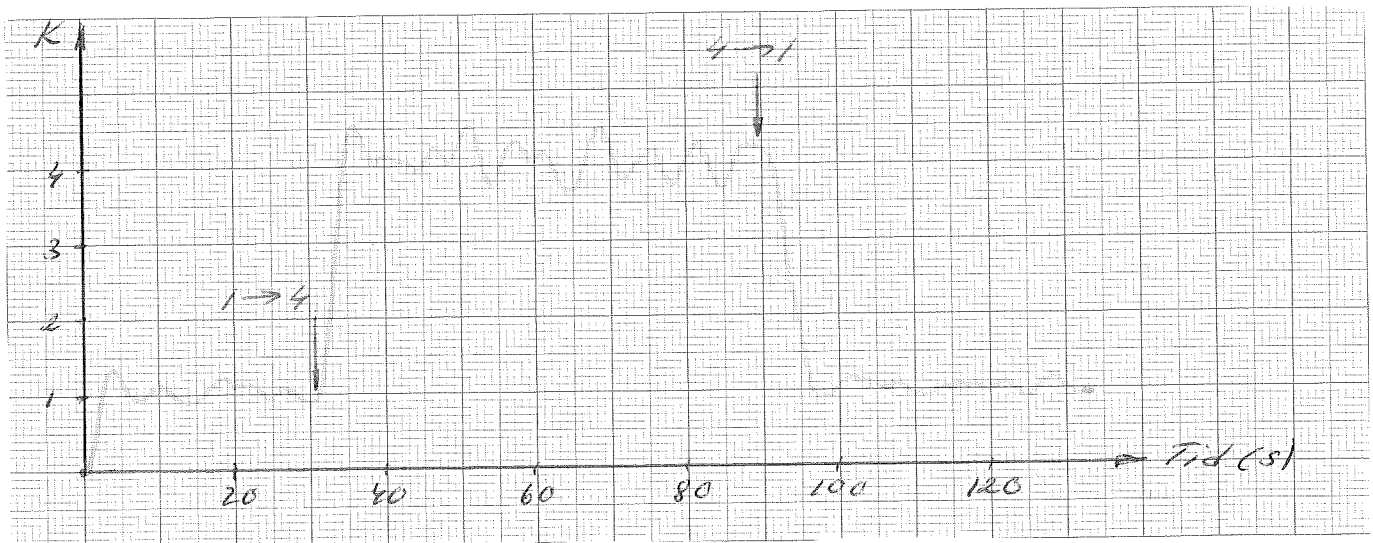
K:s utseende efter filtrering.

$\omega_0 =$  filtrets brytfrekvens.

a.  $\omega_0 = 3 \text{ rad/s}$

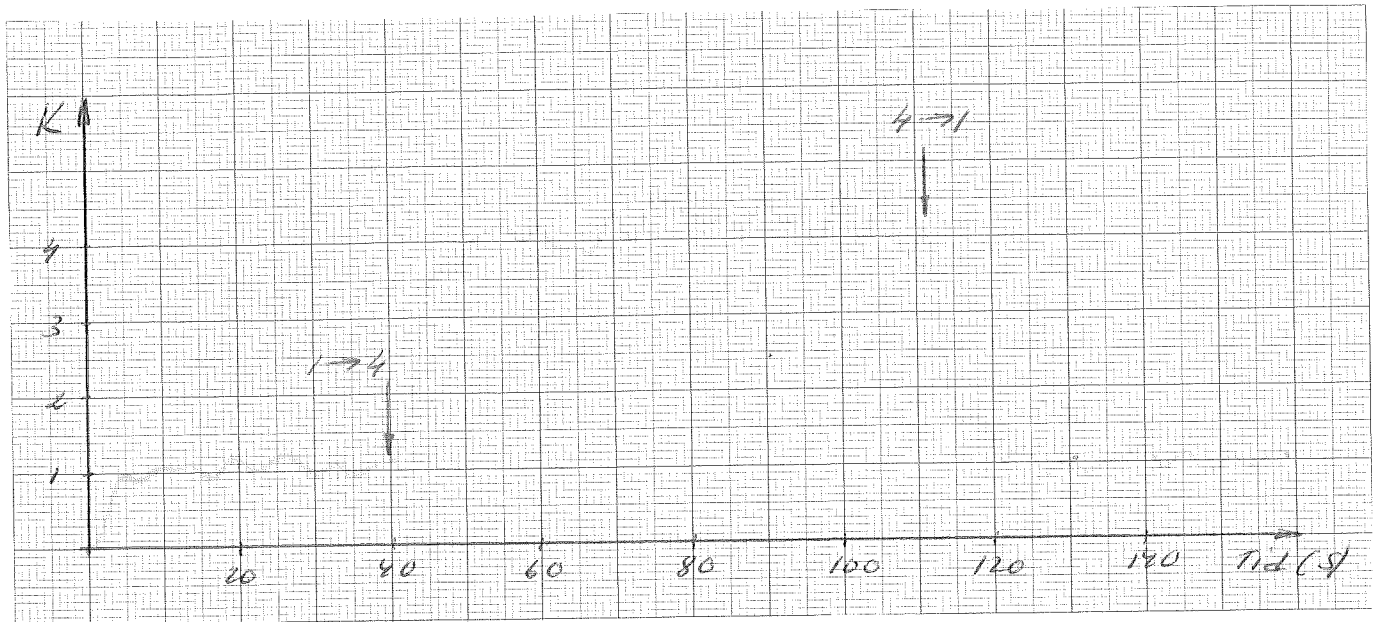


b.  $\omega_0 = 1 \text{ rad/s}$

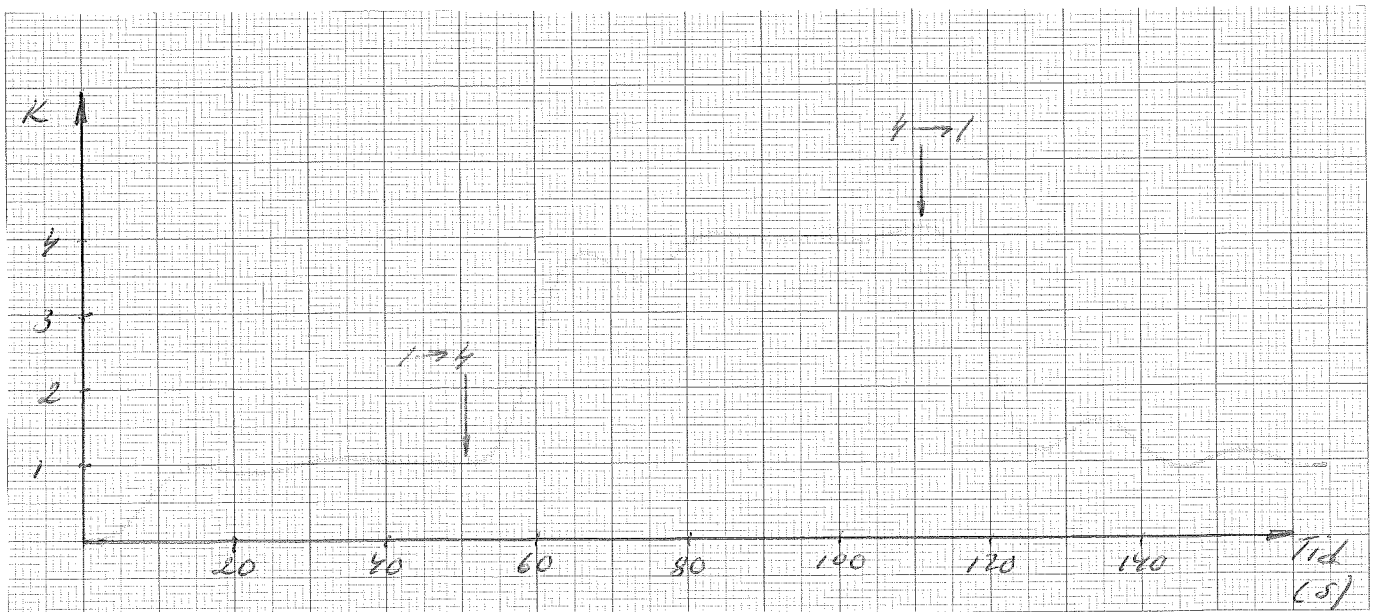




a.  $\omega_0 = 0,3 \text{ rad/s}$

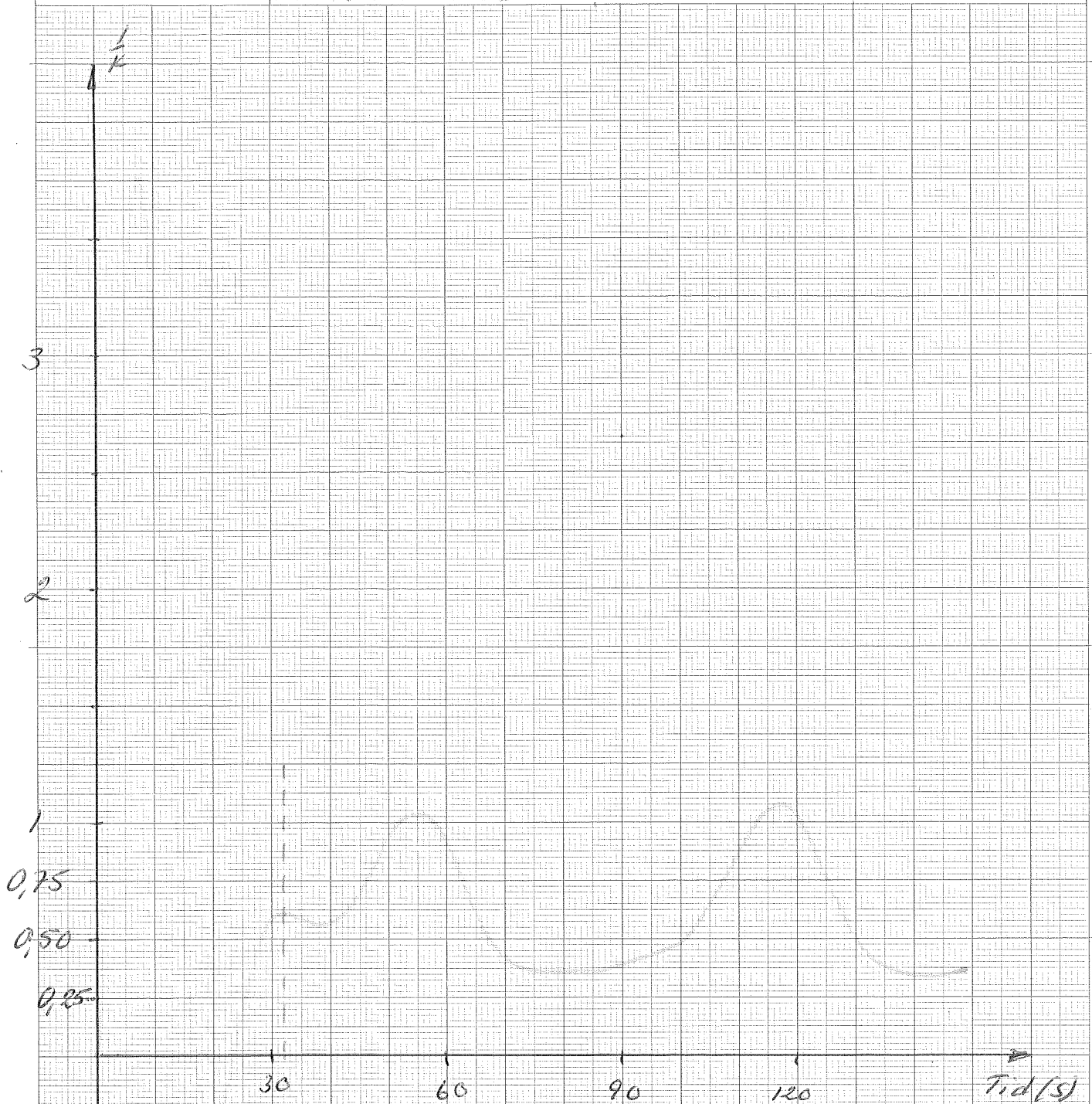


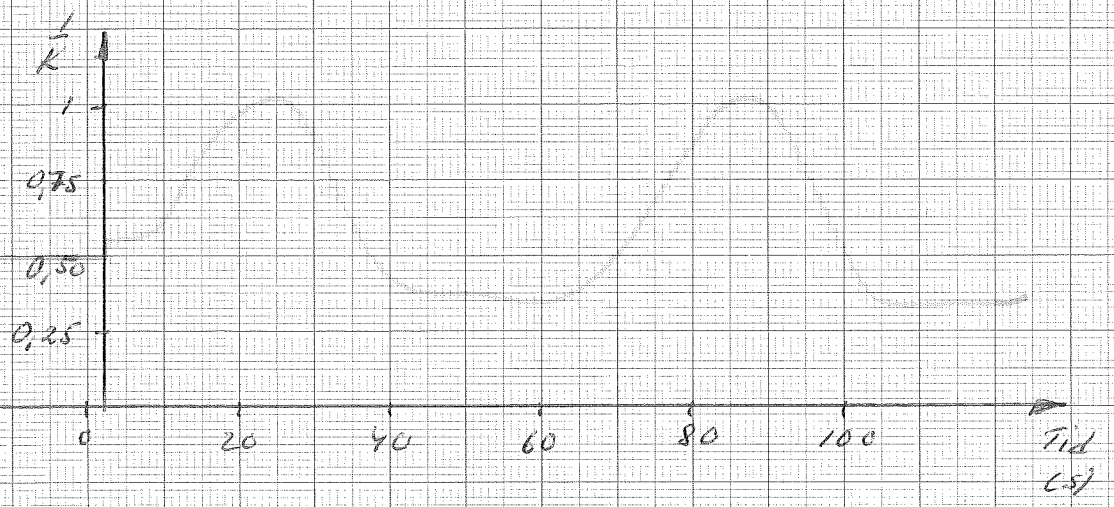
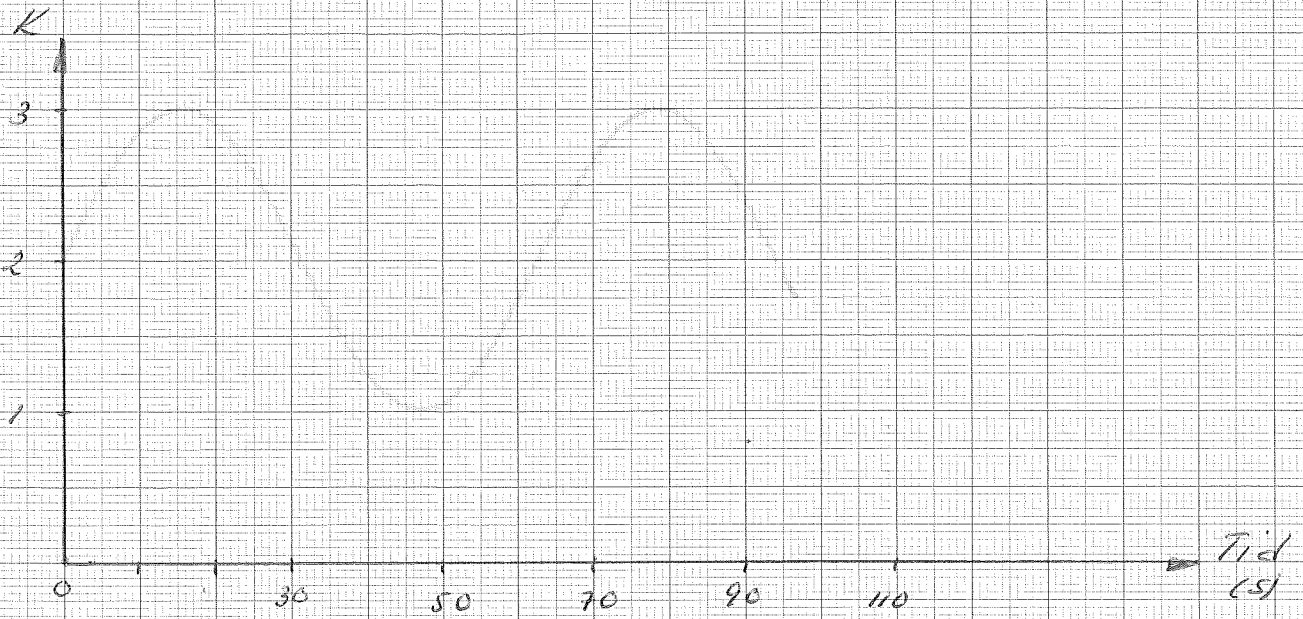
b.  $\omega_0 = 0,1 \text{ rad/s}$



Upptagning av  $\frac{1}{K}$   
då  $K$  varierar sinusformigt  
mellan 1 och 3

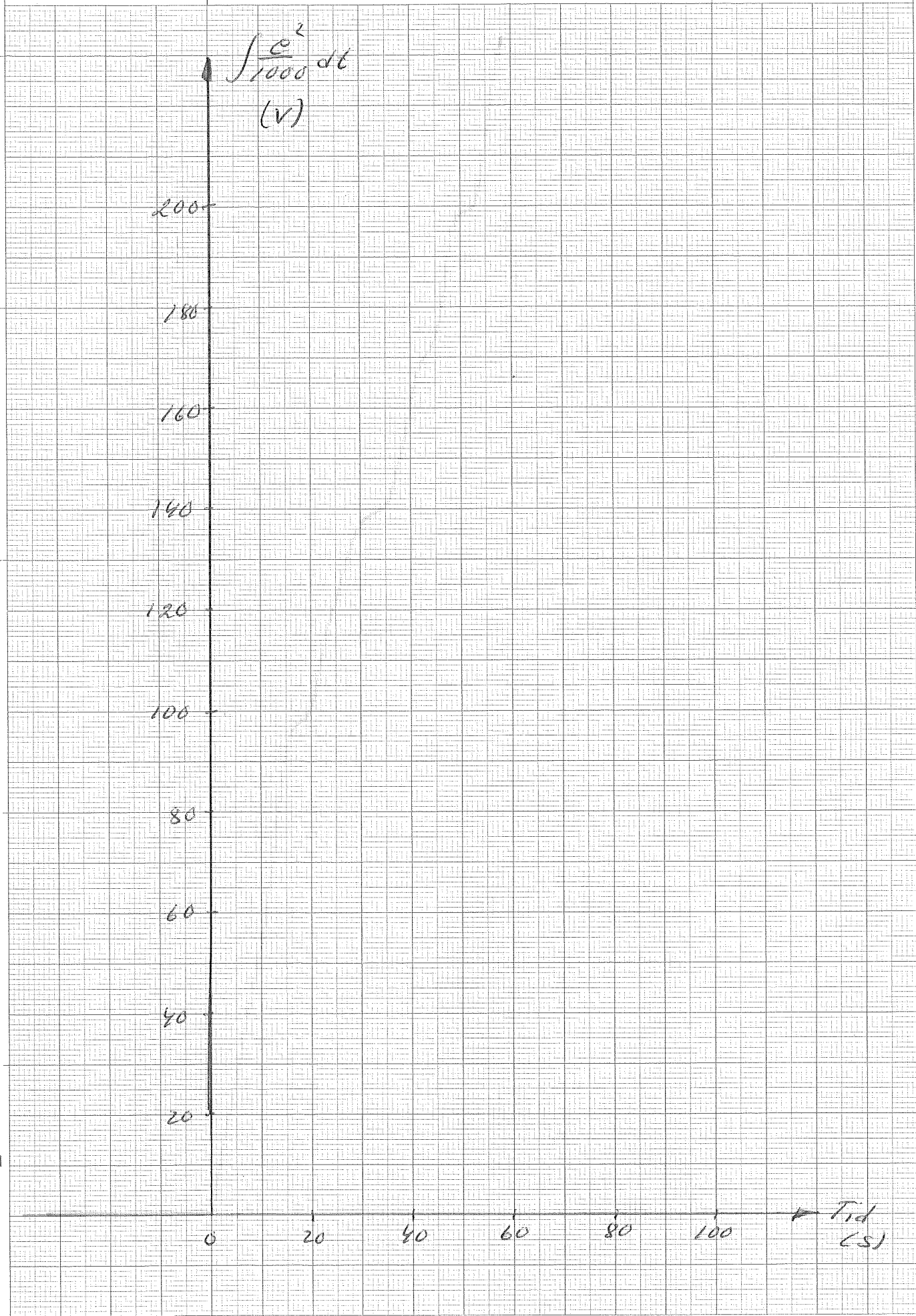
Diagram 48





Styrning med direkta metoden. 1EK43.

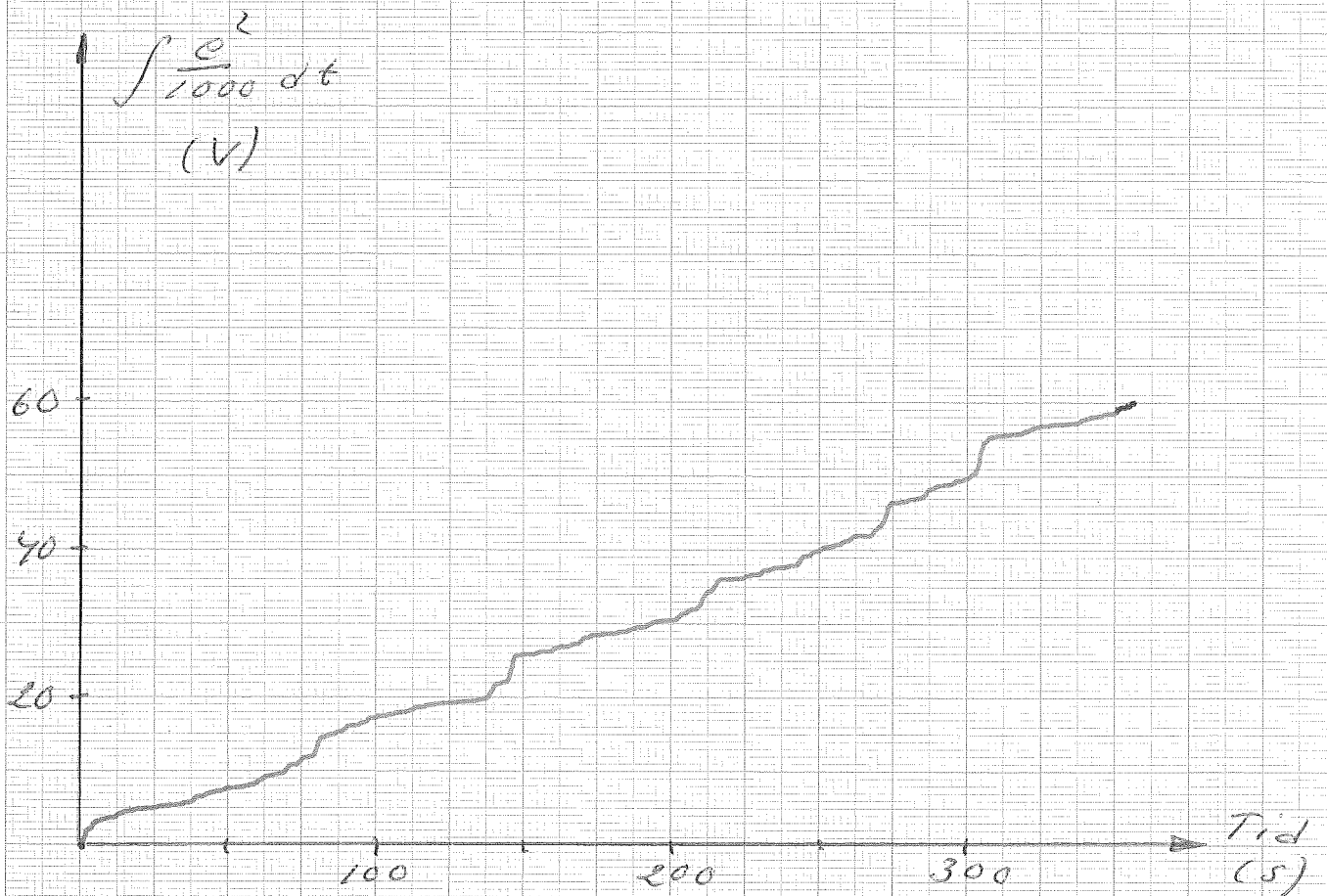
Diagram 50

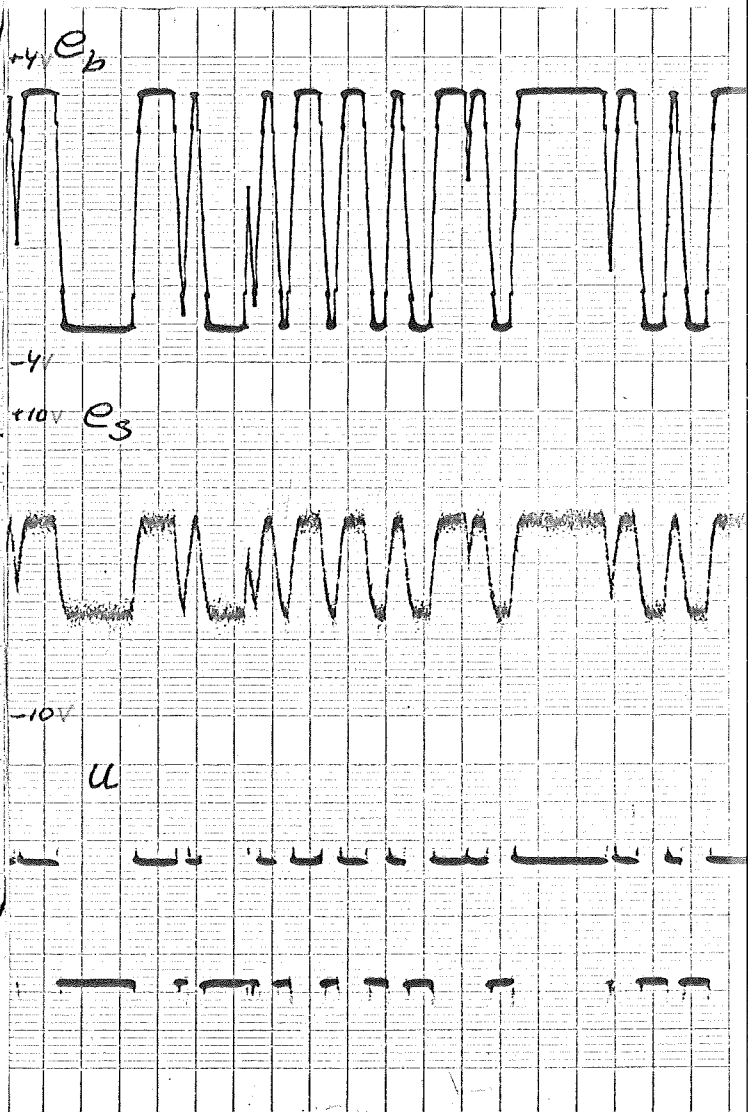
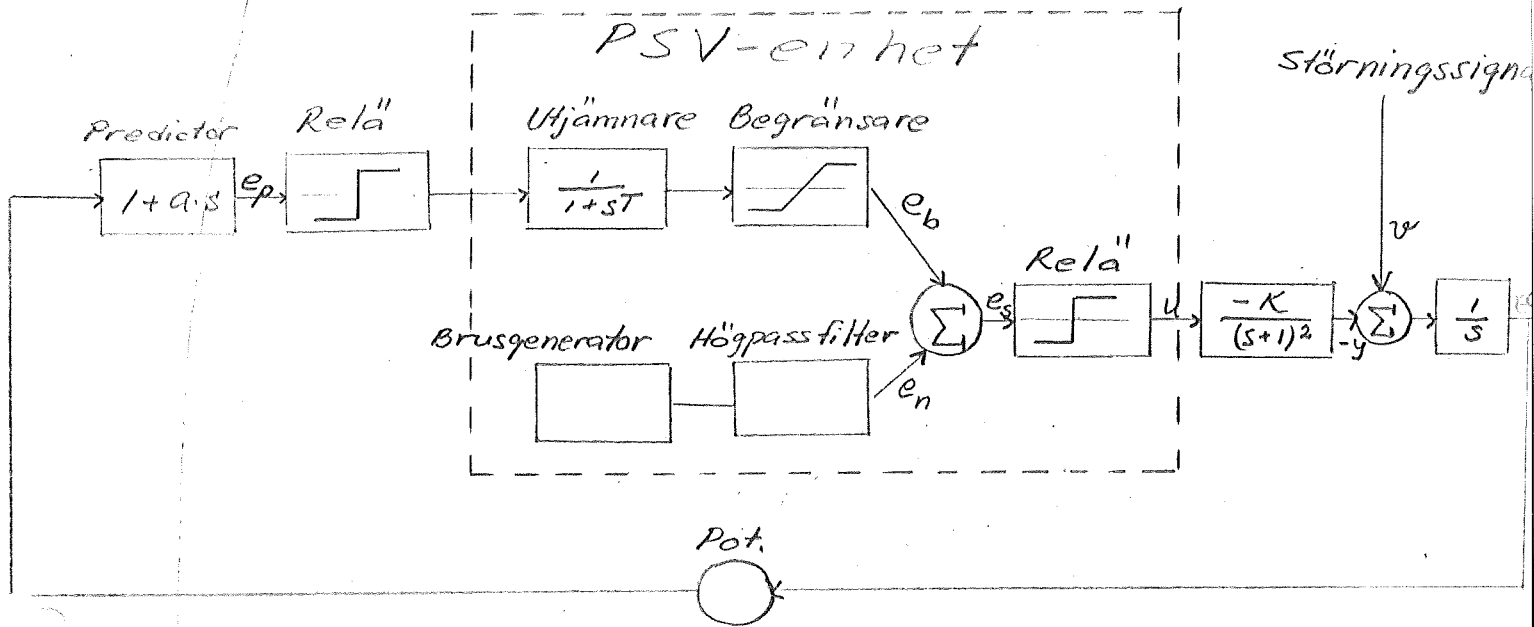


Manuell styrning

Diagram 51

14 KEB





$e_b$  = utsignal från begränsaren = 3V. Diagram 53 a

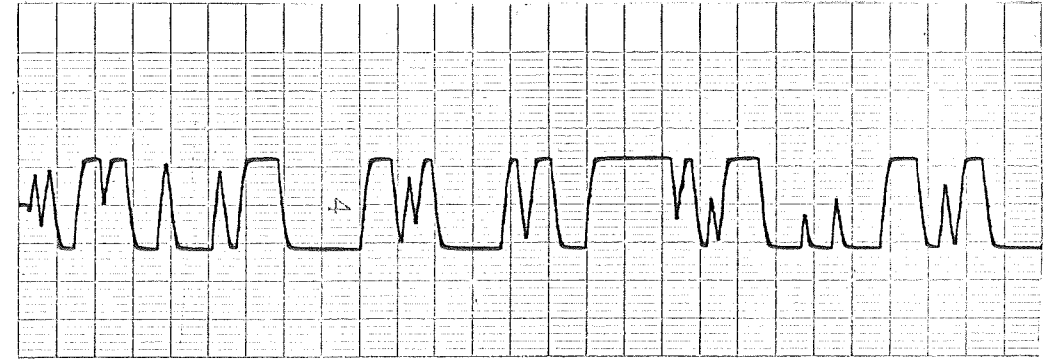
$e_n$  = " " högpåsfiltret

$u$  = " " reläet i PSV-enheten.

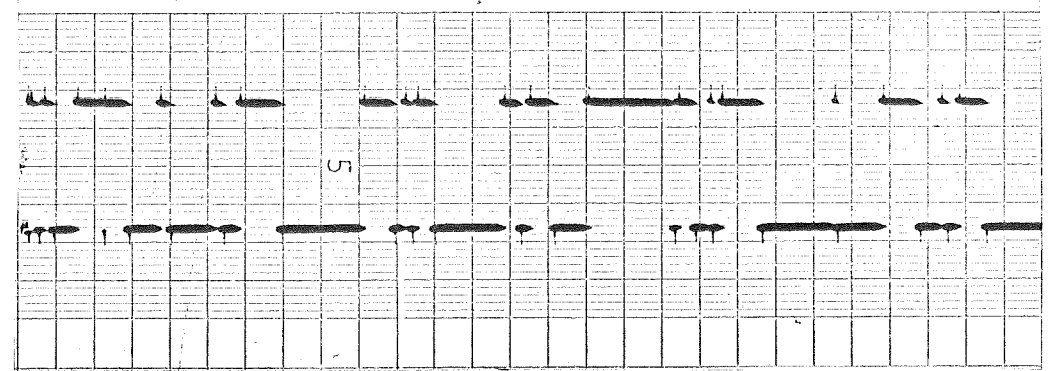
b

a.  $e_n = 0V$

$e_b + e_n$

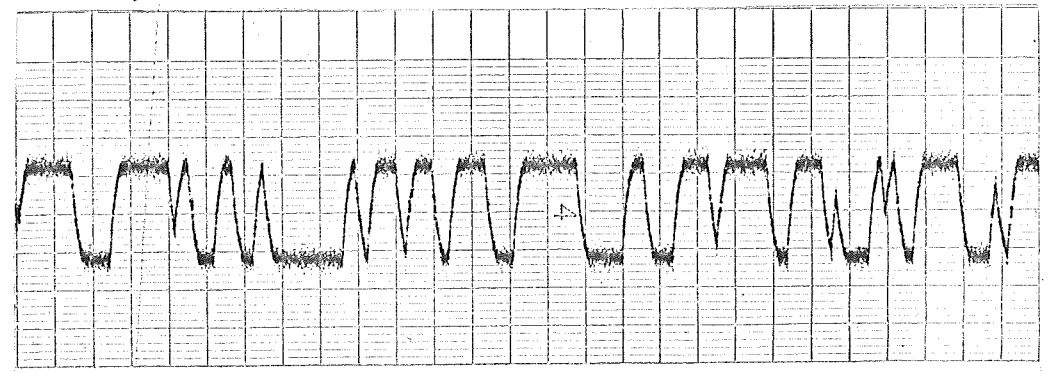


$u$

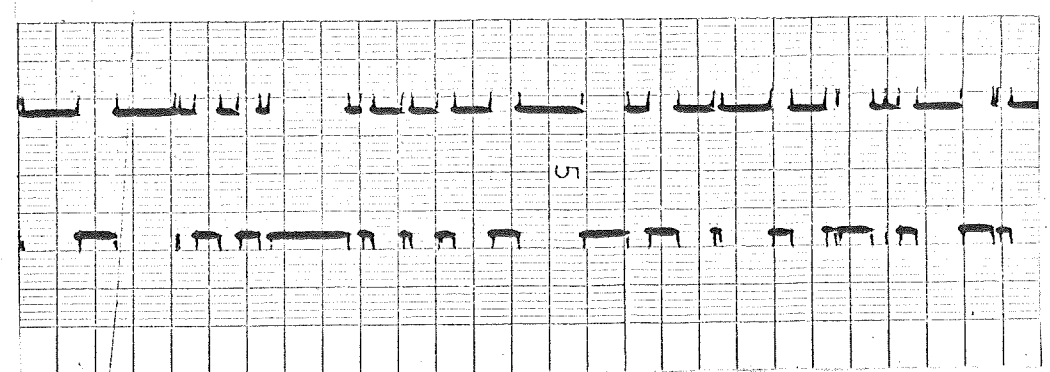


b.  $e_n = 2V$

$e_b + e_n$

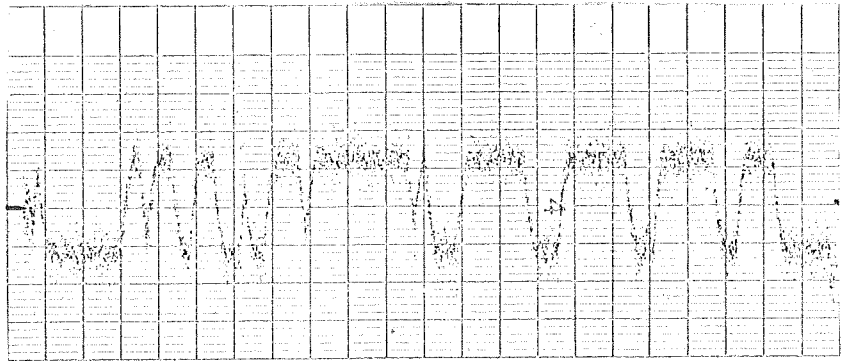


$u$



a.  $e_n = 4V$

$e_b + e_n$

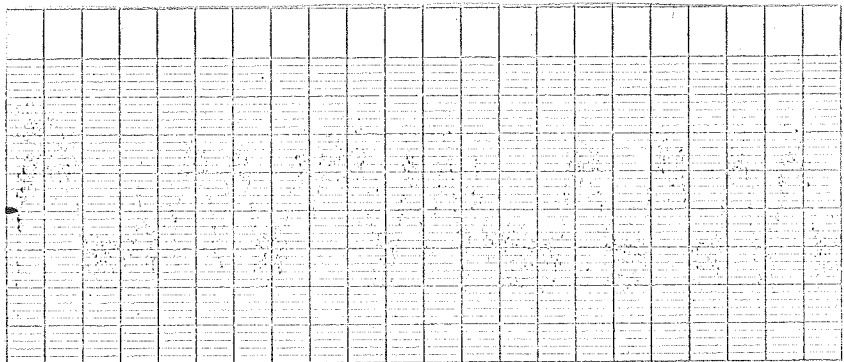


u

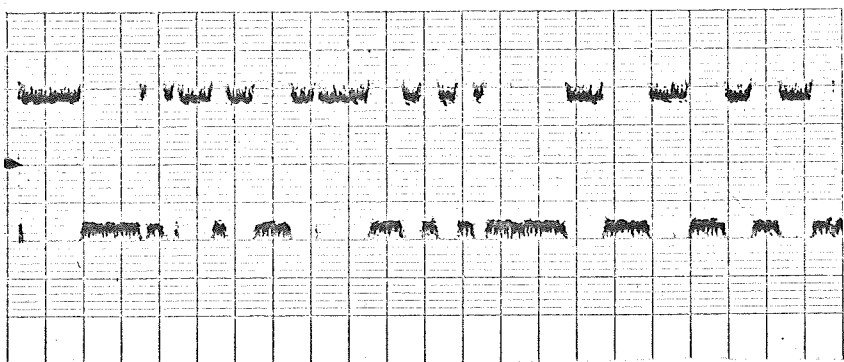


b.  $e_n = 6V$

$e_b + e_n$



u





Styrning med SOG  
1EK43.

Diagram 55

$\frac{1}{10} \int \frac{e^2}{1000} dt$   
(V)

60  
40  
20

100

200

300

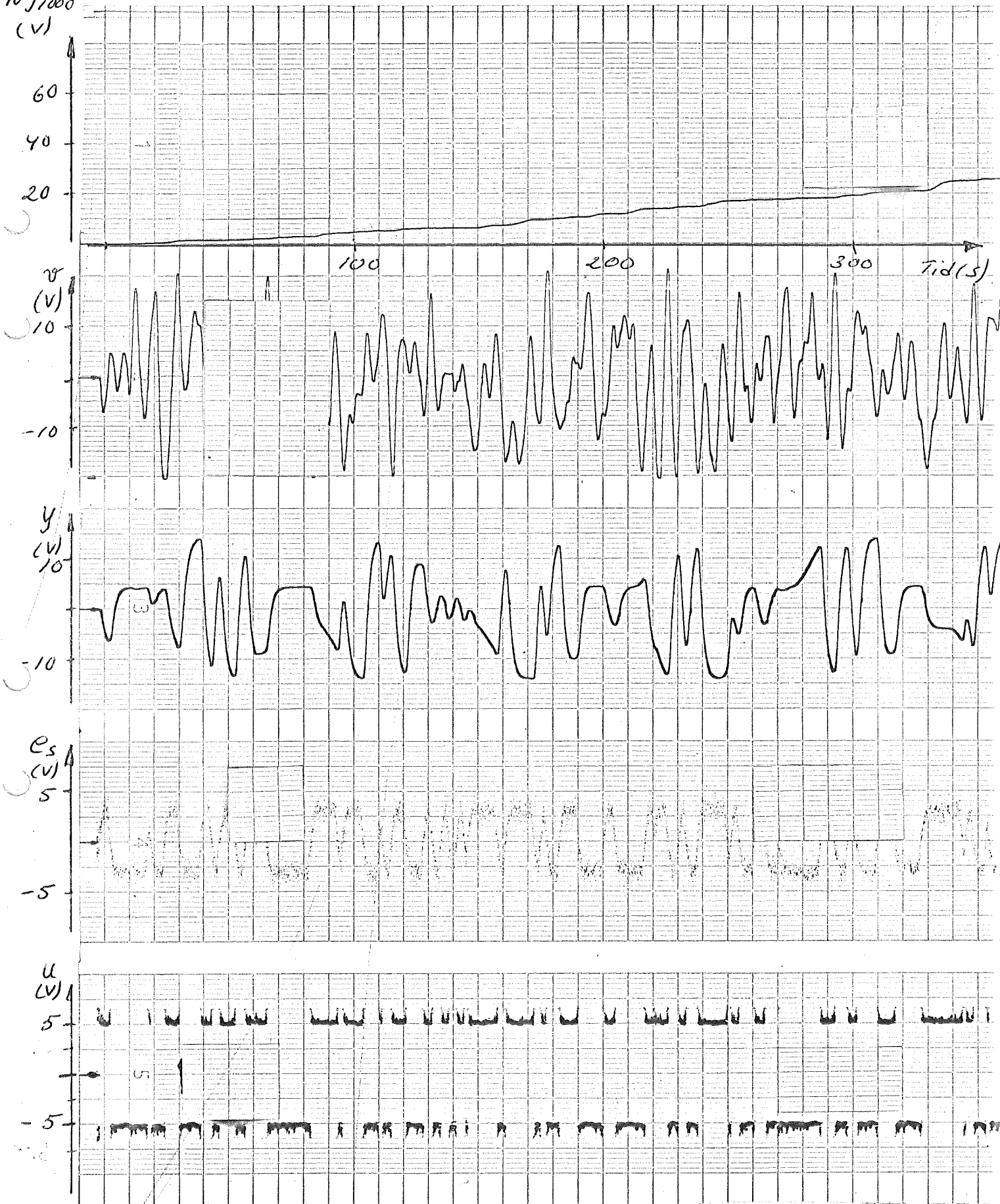
Tid (s)

8  
(V)  
10  
-10

y  
(V)  
10  
-10

e<sub>s</sub>  
(V)  
5  
-5

u  
(V)  
5  
-5

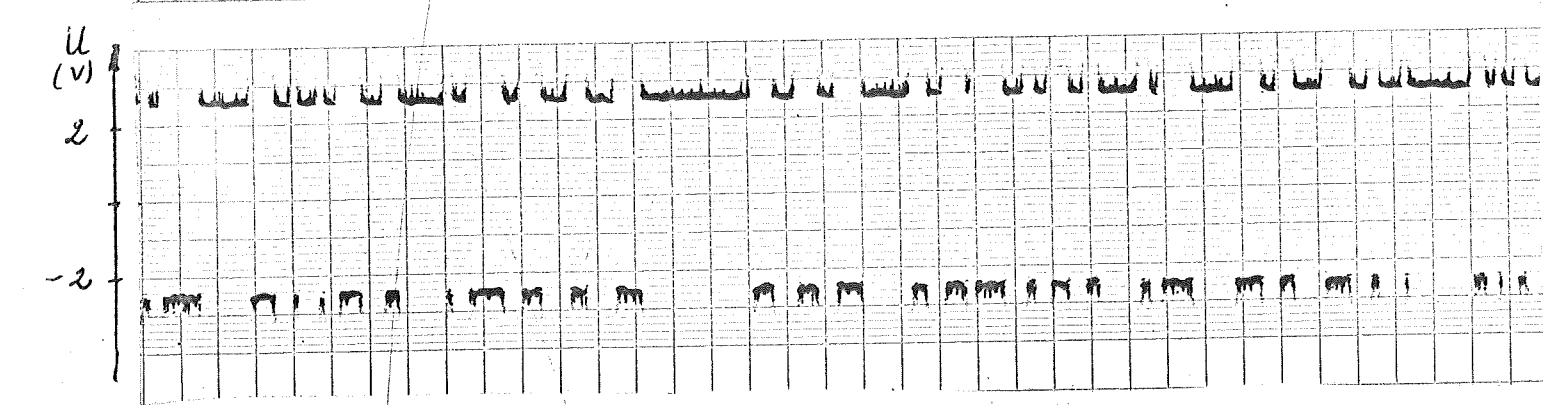
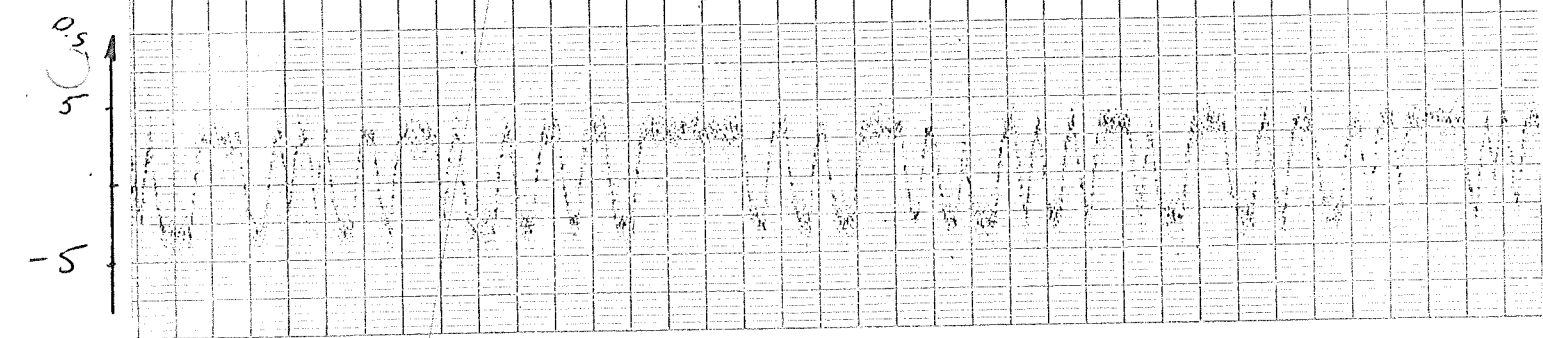
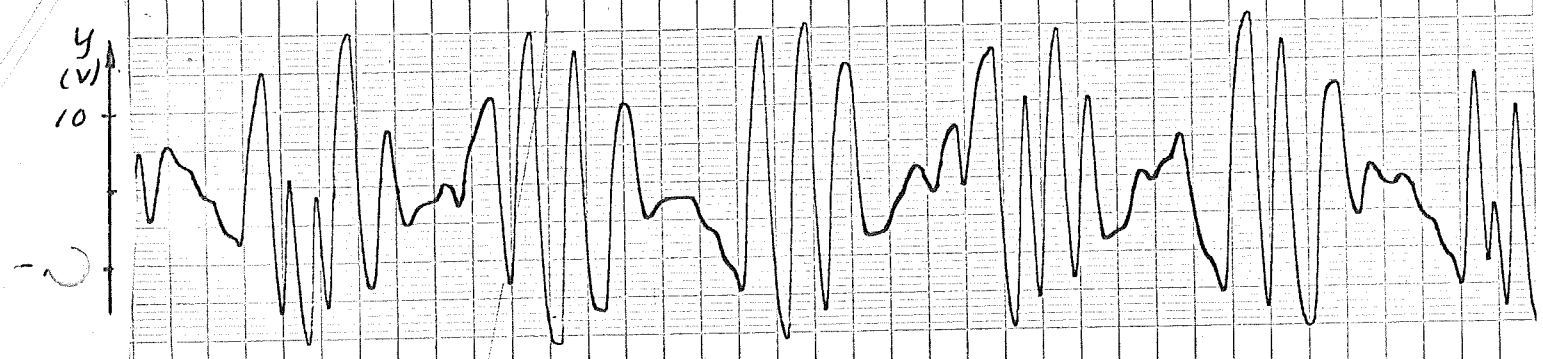
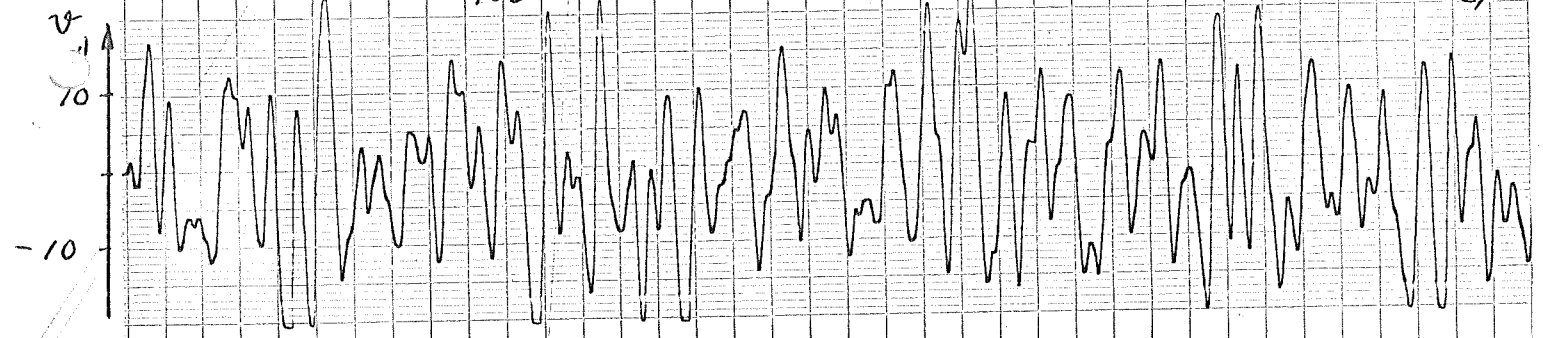
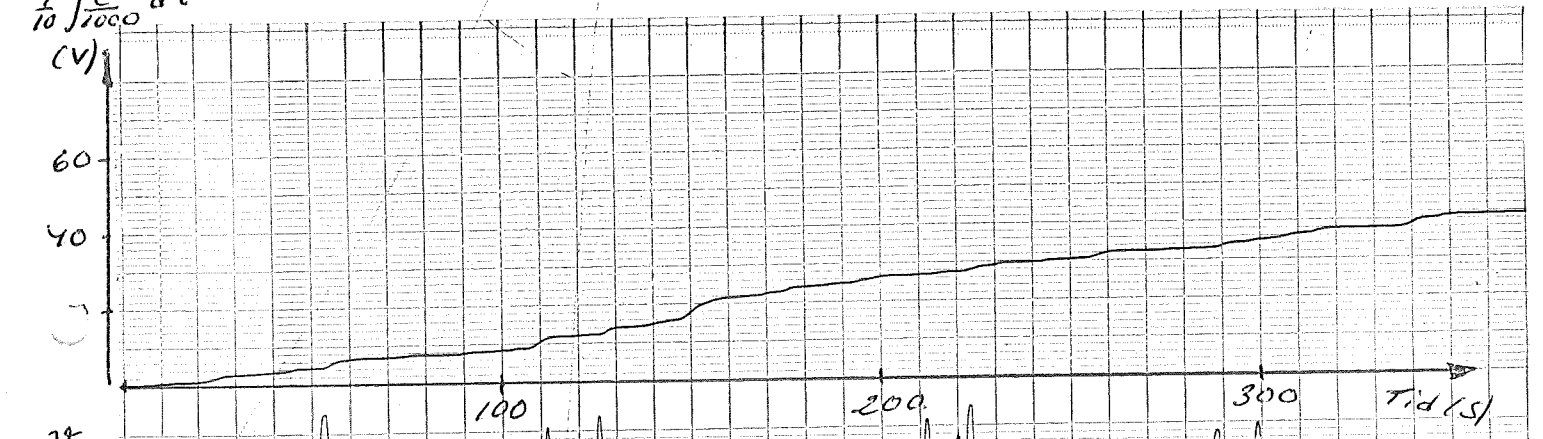


# Styrning med SOC

$$1 \leq K \leq 10$$

$$\frac{1}{10} \int_{1000}^2 dt$$

(V)



System med gain-changer Diagram 57  
Brusförning  $1 \leq k \leq 3$ ;  $\omega = 1$

$$\frac{1}{10} \int \frac{e^2}{100} dt$$

(V)

30

20

10

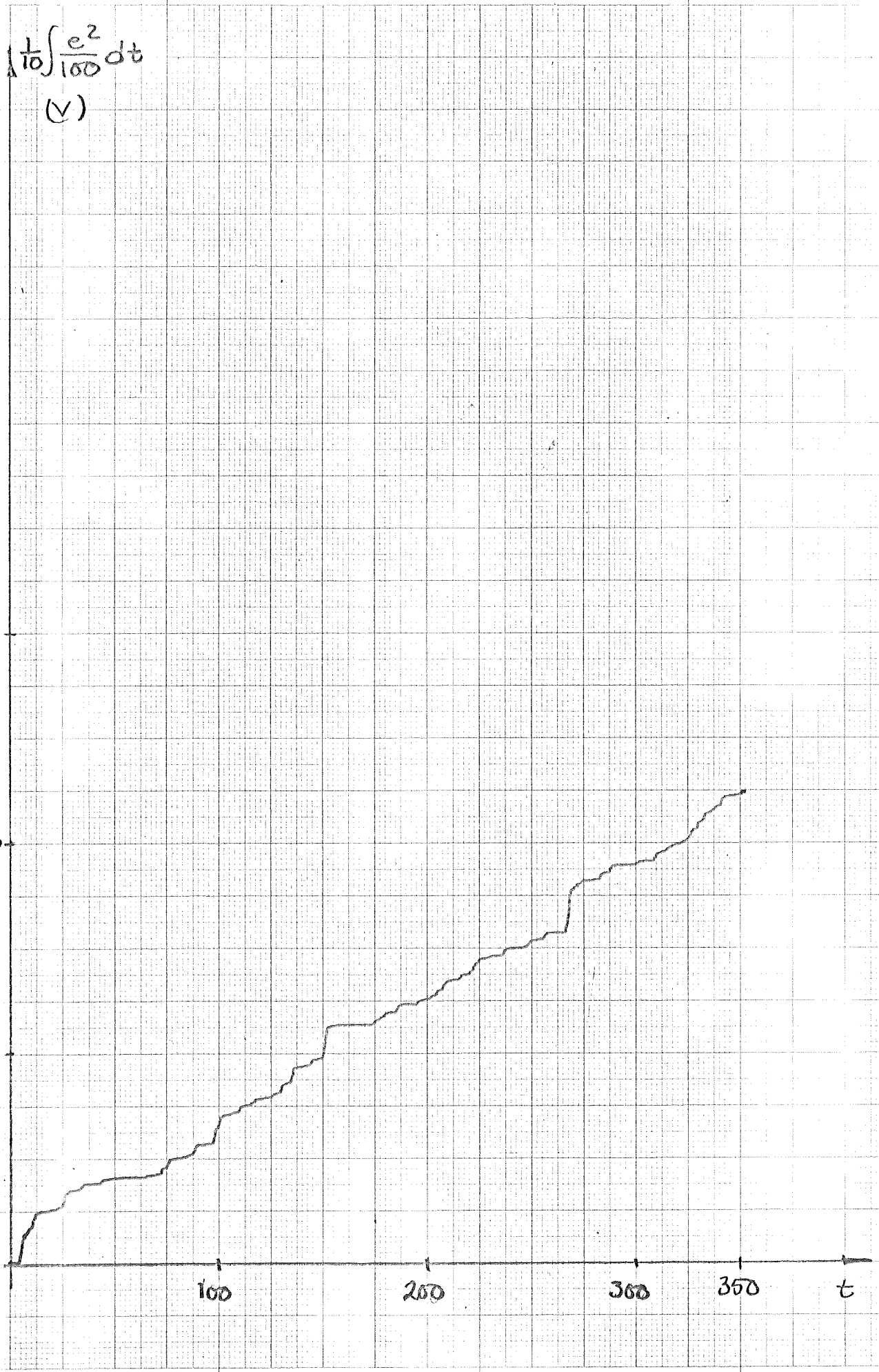
100

200

300

350

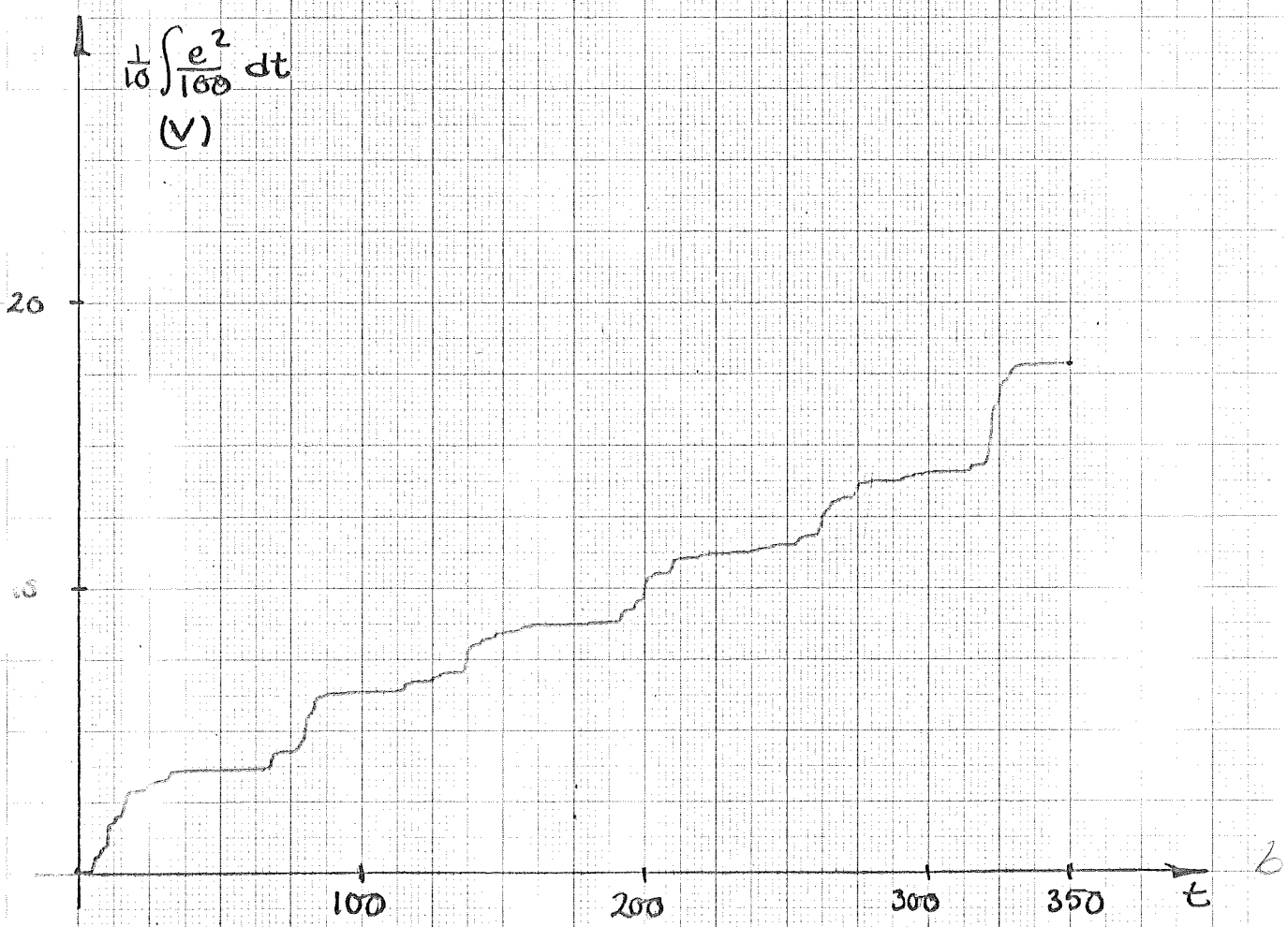
t



ISSUET

ISSUET

System med gain-changer Diagram 58  
 Brusstörning  $1 \leq K \leq 10; \omega = 1$



ESSELTE 4441