

UNDERSÖKNING AV DIREKTMATNINGEN I  
ETT ADAPTIVT MODELLREFERENSSYSTEM

Examensarbete i reglerteknik 1969

av

Björn Källrot

Arbetet på Saab skedde under handledning av Jan C. Andersson

Abstract.

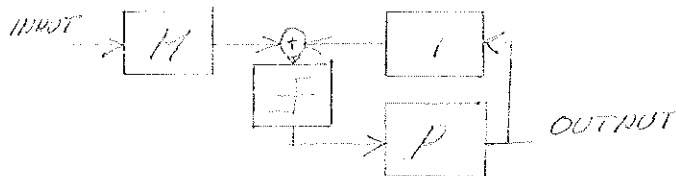
The process considered is a robot for which the transfer function  $P(s)$  is known except for the values of three varying parameters  $T$ ,  $\tau$  and  $\lambda$ .

$$P(s) = \frac{5 \cdot 10^4}{(1+Ts)(3+Ts) + \frac{\tau}{\lambda}}$$

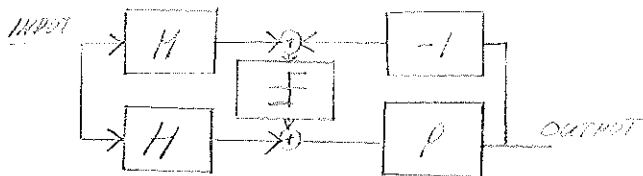
These change during the flight, due to the environment in a non-predictable way. The problem given was to form a control system where the airframe response to a given signal was independent of the actual parameter state. Furthermore it was requested that the response should be as close as possible to that of a given model  $M(s)$  fed with the same signal.

$$M(s) = \frac{1}{1+s+s^2}$$

One solution which has been elaborated builds on methods drawn up by Minneapolis-Honeywell. It consists of the model in cascade with the feed back process. As high gain as possible, without a disturbing instability, in the feed-back loop is provided by using a relay as amplifier. The high frequency limit cycle thus generated maintains an automatic gain control. The system error is approximately proportional to the inverted value of that gain which for stability reasons has got an upper limit.



Therefore this work concentrates on the possibility of adding an extra "direct" signal path for the system input signal to the process input.



The thought is that by keeping  $H(s)$  close enough to the transfer function  $\frac{M}{P}(s)$  this would provide a small system error independent of the loop gain. But the generation of  $\frac{M}{P}$  requires knowledge of the actual parameter values.

Parameter identification methods which require extra test signals are either disturbing the normal operation or need a too complex system to generate and evaluate the signals. The method described uses only the normal operating signals. As an approximation of  $P(s)$  it forms a kind of average of the amplification factor for the fre-

quences in the control signal. This is possible only because these factors do not vary much in the low frequency domain used. Put into practice the identification is done by rectifying the input and output signals of the process and dividing them. By multiplying this value with the model output the H-block output is produced.

The system with and that without the "direct" signal path were both simulated on an analogy computer. They were fed with signals in form of steps and sinusoidal signals to evaluate the system errors. At the error maximum of 2 c/s this was slightly smaller for the system with the extra signal path. The farther the frequency differed from this the closer the errors of the two systems tended to come closer to each other. Furthermore the "direct" fed system caused a major change in signal paths, which makes the chances better for the relay to maintain the limit cycle as the low frequency signal on its input will remain small. This change of the signal path remained, even if in a smaller degree, during relatively fast changes of the parameter values.

## INNEHÅLLSFÖRTECKNING.

kap.1. Problemställning	1
1.1. Introduktion	1
1.2. Krav på det styrda systemet	1
1. Krav på invariant uppförande	1
2. Krav på överföringsfunktionen	2
1.3. Metod för styrning	2
1.4. Möjlighet till förbättring genom införande av direktmatning	2
1. Kan signalväg förbi modellen förbättra styrresultatet?	2
2. Behovet av direktmatning beror av processen	3
kap.2. Processbeskrivning	5
2.1. Robotterminologi	5
2.1.1. Vinklar med vilka en robots bana genom luften beskrivs	5
2. Mekaniska och aerodynamiska data för roboten i denna undersökning	5
3. Robotens överföringsfunktion	6
4. Parametrarnas variationer	8
2.2. Styrning av roboten	9
1. Val av styrstrategi	9
2. Realisering av styrningen	11
3. Mätningar för återföringar	11
kap.3. Beskrivning av befintlig adaptiv regulator	12
3.1. Principen för Honeywells adaptiva system	12
1. Parametervariationernas verkningar inskränkes med återkoppling	12
2. Automatisk reglering av kretsförstärkningen	12
3.2. Modellval	14
1. Modellen som representant för ett fysikaliskt system	14
2. Kompromiss mellan bandbredd och brus känslighet	15
3.3. Den befintliga adaptiva regulatorn	15

kap.4. Undersökning av hur den adaptiva regulatorn förändras med införande av direktmatning samt de krav på information detta medför.	18
4.1. Direktmatningen i ett generellt modellreferenssystem	18
1. Principschema och systemfel för det ursprungliga adaptiva systemet.	18
2. Systemfelet som funktion av direktmatningen för det modifierade adaptiva systemet	18
4.2. Behovet av information om processen gäller endast styrfrekvenserna	19
4.3. Metoder för identifiering	20
1. Almäna inskränkningar i valet av identifiermetod	20
2. Testsignalen måste väljas så den ej stör robotens normala funktion	20
3. Parameterskattningarna bör ej vara beroende av robotens styrsignaler.	21
4. Den högfrekventa egensvängningen mindre lämpad som testsignal för parameterskattning	21
kap.5. Direktmatningens utförande	24
5.1. Identifiering genom division	24
1. Beskrivning av identifieringen	24
2. Förutsättningar för att metoden skall fungera	24
3. Vad den identifierade parametern representerar	25
5.2. Införande av direktmatning på befintlig adaptiv regulator utan att försämra dess egenskaper	26
kap.6. Simuleringar	27
6.1. Processidentifieringen	27
1. Översläng i början av parameterskattningen	27
2. Avvägning mellan snabbhet och insignalberoende	33
3. Identifikationsdelens egenskaper med hela systemet i funktion	33
6.2. Systemfelet i det direktmatade systemet	38
1. Systemfelet vid fasta parametervärden	38
2. Systemfelet då parametervärdena varierar	40
6.3. Förändringar i systemets beteende då identifieraren ersättes med en ideal sådan	44

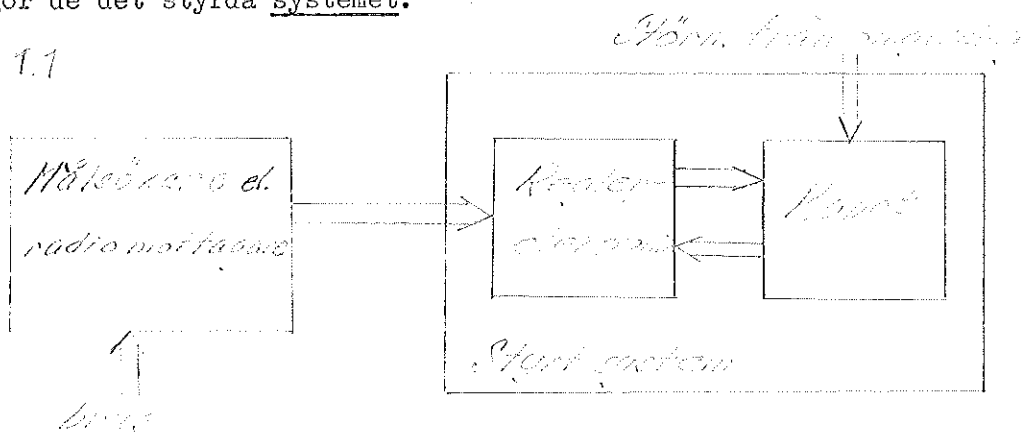
kap.7. Resultat	45
7.1. Bedömning av systemet	45
1. Systemfelets storlek	45
2. Direktmatningen ändrar signalvägarna	45
3. Identifieringens betydelse för systemets godhet	45
7.2. Förslag till vidare arbete	45
Analogmaskinschema	47
Litteraturförteckning	51

## 1. Problemställning

### 1.1. Introduktion

I en robot som styres via radio eller från en inbyggd målsökare förmedlas signalerna till roderservorna som elektriska spänningar, vilket ger möjlighet till behandling av styrsignalerna med konventionella elektroniska metoder. I fortsättningen kommer att hållas åtskillnad mellan roboten, som är en aerodynamisk process, och reglerutrustningen som är elektronisk och elektromekanisk. Tillsammans utgör de det styrda systemet.

Fig. 1.1



Då mätningar, beräkningar och därav betingade förändringar, för att minska omgivningens störande inverkan på systemet, göres inom systemet kan detta kallas adaptivt. Att systemet är av modellreferens-typ innebär att systemet styres så att utsignalen så nära som möjligt ansluter till den från en modell som ligger så i systemet att den matas med dess insignal. Signalerna vid sidan av modellen kallas för direktmatningen.

### 1.2. Krav på det styrda systemet.

#### 1.2.1. Invariant uppförande.

Av det adaptiva systemet krävs att det har lika dynamiska egenskaper i olika miljöer. Själva roboten har inte den egenskapen utan dess parametrar ändras med höjd och hastighet bland annat. Då de största parametervariationerna förekommer mellan olika skjuttilfällen och ej för en viss robot under dess enda bana finns det en möjlighet att med utrustning utanför roboten uppmäta lämpliga va-

riabler och med dem justera parametrarna i regulatorn. Detta har gjorts tidigare men då endast i förväg programmerade och därmed osäkra värden kan användas för justeringar i flykten är det adaptiva systemet i allmänhet bättre.

#### 1.2.2. Krav på överföringsfunktionen.

Då signalen till systemet kommer direkt från målsökare innehåller det högfrekvent brus. Behovet att systemet skall filtrera bort detta strider mot önskemålet om god följsamhet för snabbt föränderliga insignaler.

En avvägning av dessa krav kan uttryckas i en överföringsfunktion som beskriver hur ett "önskat" system skulle se ut. Då egenskaperna hos detta troligen inte sammanfaller med dem hos roboten vore det bra om systemöverföringsfunktionen kunde föreskrivas utan hänsyn till robotens data.

#### 1.3. Metod för styrning.

En metod som i viss mån kommer till rätta med problemen ovan är modellreferensmetoden som kommer att behandlas i kap.3. Parametervariationerna elimineras där genom att processen återkopplas med hög förstärkning i återkopplings slingan. För att erhålla den önskade överföringsfunktionen låter man denna representeras av en modell, som läggs i kaskad med den återkopplade processen.

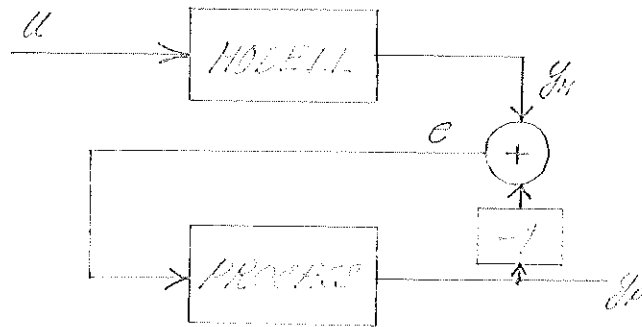
#### 1.4. Möjlighet till förbättring genom införande av direktmatning.

##### 1.4.1. Kan signalväg förbi modellen förbättra styrresultatet.

Modellreferensmetoden enligt ovan innebär att utsignalerna från modell  $y_M$  och process  $y_P$  jämföres, dvs. subtraheras, under det att modellen och processen styrs med systemstyrsignalen  $u$  respektive felsignalen  $e$  som erhölls vid jämförelsen.



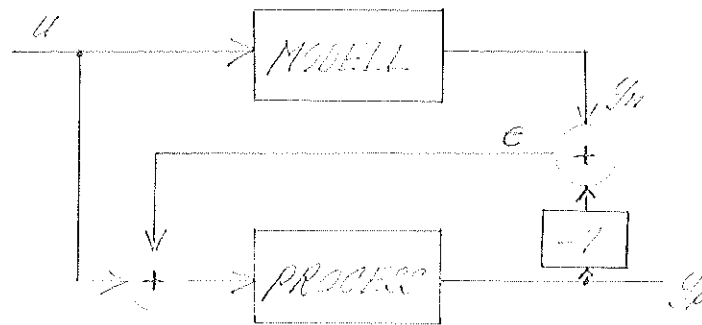
Fig. 1.2



Återkopplings slingan kommer i detta fall alltid att bära hela den signal som styr processen. Det är klart att för att  $e$  skall kunna hållas litet krävs en stor förstärkning i den slutna slingan.

Detta arbete avser undersöka hur systemets egenskaper förändras när en direkt signalväg till processen lägges vid sidan av modellen.

Fig. 1.3

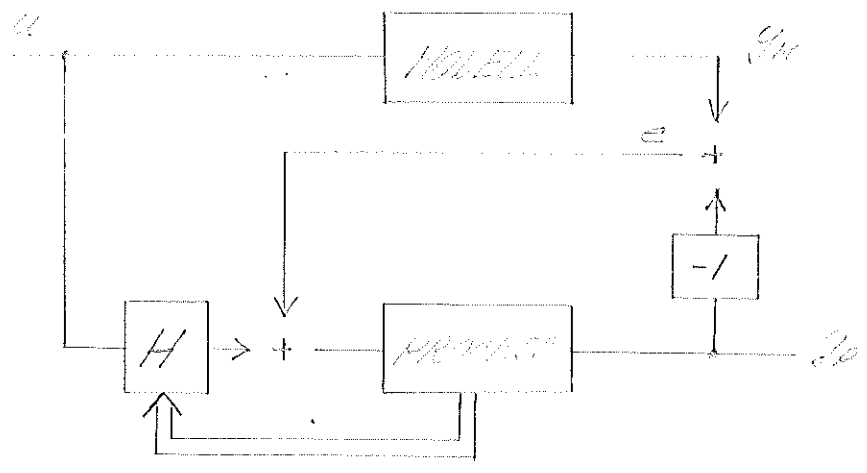


Införandet av en sådan direktmatningsväg innebär att felsignalens uppgift ändras något. I det tidigare systemet styr den helt processen, medan den nu korrigerar det fel som uppstår vid styrning med samma signal som styr modellen.

#### 1.4.2. Behovet av direktmatning beror av processen.

Det är klart att om modell och process fullständigt överensstämmer med varandra styres processen helt av direktmatningen och återkopplingen saknar all betydelse. Allt eftersom modell och process skiljer sig kommer signalvägen genom processen att öka i betydelse. Det syns finnas ett behov att anpassa direktmatnings slingan till processens utseende. I kap. 5 kommer en metod för identifiering av en parameter i processen att beskrivas, samt hur den kan användas att modifiera direktmatningen, vilken kommer att betecknas med  $H$ .

Fig. 1.4

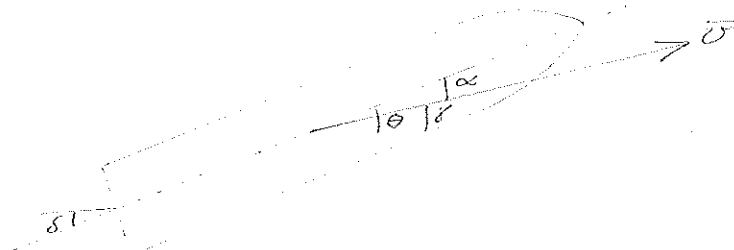


## 2. Processbeskrivning.

### 2.1. Robotterminologi (enl. ref 1.)

#### 2.1.1. Vinklar med vilka en robots bana genom luften beskrivs.

fig 2.1



$\Theta$  = attityd- eller tippvinkel

$\alpha$  = anfallsvinkel

$\gamma$  = banvinkel

$\delta$  = roderutslag

$\vec{v}$  = hastighetsvektor

Ur figuren fås likheten

$$\Theta = \alpha + \delta \quad (2.1.1.1.)$$

Anfallsvinkeln anses vanligen liten och hastighetsvektorn behandlas då som om den var riktad längs robotens axel. Robotens tväracceleration blir

$$y_{\ddot{p}}(\dot{t}) = v \cdot \delta' \quad (2.1.1.2.)$$

#### 2.1.2. Mekaniska och aerodynamiska data för roboten i denna undersökning.

$m$  = robotens massa = 150 kg

$v$  = robotens hastighet = 750 m/s (behandlas som en konstant)

$J$  = robotens tröghetsmoment =  $m \cdot l_j^2$  [kg·m<sup>2</sup>] där

$l_j$  = referenslängd för tröghetsmomentet = 0.8 m

$l_a$  = avstånd mellan tyngdpunkt och tryckcentrum, varierar från 0 m till 0.08 m (ungefärligt värde)

$l$  = robotens tvärsnittsdiаметer, referenslängd = 0.25 m

$S$  = robotens tvärsnittsytta, referensytta = 0.049 m<sup>2</sup>

$\lambda = l/a$  , varierar mellan 0 och 0,3

$C_{I\alpha}$  = koefficient för tvärkraften = 20

$C_{m\dot{\delta}}$  = 600,  $C_{m\dot{\delta}} = \frac{3000}{v}$  och  $C_{m\alpha} = \lambda \cdot C_{I\alpha}$  är koefficienter för tippmoment

$\rho$  = luftens täthet, varierar mellan 1,25 kg/m<sup>3</sup> och 0,13 kg/m<sup>3</sup>

$q$  = dynamiska trycket =  $\frac{\rho v^2}{2}$  [kg/m·s<sup>2</sup>]

### 2.1.3. Robotens överföringsfunktion.

Som processen betecknas den del av systemet som ligger mellan roderutslag och flygkroppens tväracceleration. Alltså det som fysikaliskt kan hänföras till robotens aerodynamik.

Tvärkraften på grund av luftens anblåsningsvinkel mot roboten blir

$$F_{\alpha} = C_{L\alpha} \cdot \rho \cdot g \cdot \alpha \quad (2.1.3.1.)$$

Tillsammans med ekv. (2.1.1.2.) bildas jämviktsekvationen

$$m \cdot \ddot{\delta} = C_{L\alpha} \cdot \rho \cdot g \cdot \alpha \quad (2.1.3.2.)$$

genom införande av en kvasikonstant T

$$T = \frac{m \cdot \delta}{C_{L\alpha} \cdot \rho \cdot g} \quad (2.1.3.3.)$$

kan ekv. (2.1.3.2.) skrivas

$$\alpha = T \ddot{\delta} \quad (2.1.3.2.1)$$

som tillsammans med ekv. (2.1.1.1.) ger

$$A = T \ddot{\delta} + \delta \quad (2.1.3.4.)$$

De aerodynamiska momenten som verkar på roboten är

$$M_{\delta} = C_{m\delta} \cdot g \cdot \rho \cdot l \cdot \delta \quad (2.1.3.5.)$$

$$M_{\dot{\delta}} = C_{m\dot{\delta}} \cdot g \cdot \rho \cdot l \cdot \frac{v \cdot \dot{\delta}}{v} \quad (2.1.3.6.)$$

$$M_{\alpha} = C_{m\alpha} \cdot g \cdot \rho \cdot l \cdot \alpha \quad (2.1.3.7.)$$

Momentjämvikt ger

$$J\ddot{\theta} + M\dot{\theta} + M_0 = M_0 \quad (2.1.3.8.)$$

Inför kvasikonstanten  $\tau$

$$\tau = \frac{J}{v \cdot l} \quad (2.1.3.9.)$$

Med parametervärdena insatta blir ekv. (2.1.3.8.)

$$T\ddot{\theta} + \frac{C_{ms}}{C_{Lx}} \left(\frac{l}{l_j}\right) \dot{\theta} + \frac{\lambda}{\tau} \theta = \frac{C_{ms}}{C_{Lx}} \frac{S(t)}{\tau} \quad (2.1.3.10.)$$

Ekv. (2.1.3.4.) deriveras med betraktande av  $T$  som konstant och sättes in i (2.1.3.8.) liksom (2.1.3.2.<sup>1</sup>)

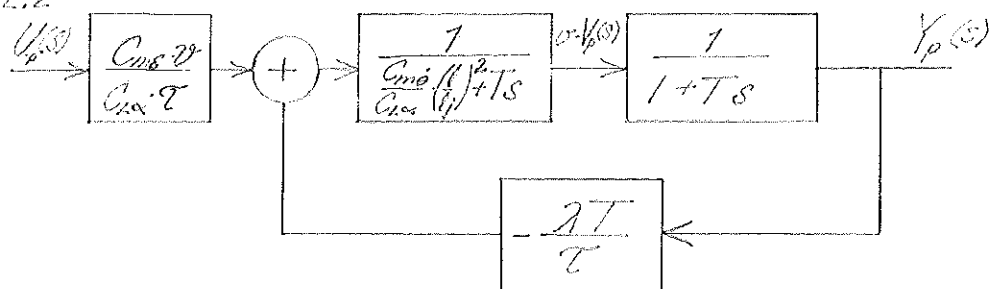
$$T^2 \ddot{\theta} + T \left(1 + \frac{C_{ms}}{C_{Lx}} \left(\frac{l}{l_j}\right)^2\right) \dot{\theta} + \left(\frac{C_{ms}}{C_{Lx}} \left(\frac{l}{l_j}\right)^2 + \frac{\lambda}{\tau} T\right) \theta = \frac{C_{ms}}{C_{Lx}} \frac{S(t)}{\tau} \quad (2.1.3.11.)$$

Med antagandet att  $T$ , och  $v$  är konstanta i tiden transformeras uttrycket till  $s$ -planet. Transformen av  $S(t)$  betecknas  $U_p(s)$  och den av  $v\dot{\theta}$  betecknas  $Y_p(s)$ .

$$P(s) = \frac{Y_p}{U_p} = \frac{\frac{C_{ms} \cdot v}{C_{Lx} \cdot \tau}}{T^2 s^2 + T \left(1 + \frac{C_{ms}}{C_{Lx}} \left(\frac{l}{l_j}\right)^2\right) s + \frac{C_{ms}}{C_{Lx}} \left(\frac{l}{l_j}\right)^2 + \frac{\lambda}{\tau} T} \quad (2.1.3.12.)$$

Blockschemat för processen blir

fig. 2.2



Med uträknade värden på konstanterna

$$\frac{C_{ms} \cdot v}{C_{Lx} \cdot \tau} \approx 5 \cdot 10^4$$

$$\frac{C_{ms}}{C_{Lx}} \left(\frac{l}{l_j}\right)^2 \approx 3$$

blir överföringsfunktionen

$$P(s) = \frac{5 \cdot 10^4}{(1 + T s)(3 + T s) + \frac{\lambda}{\tau} T} \quad (2.1.3.13)$$

Transformen för tippvinkelhastigheten  $\dot{\theta}$  betecknas  $V_p(s)$ . Enligt ekv. (2.1.3.4.) blir

$$\frac{Y_p(s)}{V_p(s)} = \frac{v}{1+Ts} \quad \text{eller} \quad \frac{Y_p(s)}{V_p'(s)} = \frac{1}{1+Ts} \quad (2.1.3.14)$$

#### 2.1.4. Parametrarnas variationer.

I robotens överföringsfunktion varierar parametrarna  $T$  och  $\frac{2}{c}$ , vilken senare ses som en enda parameter, oberoende av varandra. I avdelning 2.1.3. definierade vi  $T$

$$T = \frac{m \cdot v}{c_{ax} \cdot S \cdot g}$$

där det dynamiska trycket  $q$  approximativt är

$$q = \frac{\rho \cdot v^2}{2}$$

Ett riktigt värde på  $q$  kräver att det i formeln ingår mach-talet istället för hastigheten  $v$ .  $\rho$  betecknar luftens täthet. Med det dynamiska trycket insatt blir tidskonstanten  $T$

$$T = \frac{2m}{c_{ax} \cdot \rho \cdot v \cdot S}$$

De två parametrar som varierar här är i verkligheten  $\rho$  och  $v$ . Då varierar  $v$  så att den ökar så länge raketmotorn driver, men avtar då denna slocknat. För processen här har vi emellertid förutsatt att  $v$  är konstant 750 m/s. Detta innebär emellertid ingen avsevärd inskränkning vad gäller  $T$ , då ju hastighetsvariationerna kan överföras på variationer i luftens täthet om de ej är för stora. För den senare gäller nämligen ingen generell modell av samma typ som ovan. Luftens täthet avtar med höjden och dess tidsvariation för roboten beror helt av bannans utseende.

För begränsning av  $T$  krävs en övre höjdgräns för robotens arbetsområde. Väljes denna till 18 km blir minimum av lufttätheten ungefär  $0,13 \text{ kg/m}^3$ . Detta är en tiondel av tätheten vid markhöjd och  $T$  varierar en tiopotens. Med insatta värden från avsnitt 2.1.2. fås  $0,3s \leq T \leq 3s$ .

Då  $v$  har antagits konstant är den enda kvarvarande variabeln  $l$ . Den betecknar avståndet mellan tyngdpunkt och tryckcentrum och varierar mellan 0 m och 0,08 m. Värdena i 2.1.2. ger variationsområdet för  $\frac{A}{G}$

$$0 \text{ } \frac{A}{G} \leq \frac{A}{G} \leq 100 \text{ } \frac{A}{G}$$

Vid konstant hastighet bestäms ändringen i  $\frac{A}{G}$  huvudsakligen av tyngdpunktens förflyttning. Vid raketbanans begynnelse antar  $\frac{A}{G}$  ett litet värde, men det kommer sedan att öka, allteftersom bränslet förbrukas. Således kommer värdena under större delen av raketbanan att avsevärt skilja sig från noll.

## 2.2. Styrning av roboten.

### 2.2.1. Val av styrstrategi.

Den i detta arbete beskrivna metoden avser inte någon fullständig styrning av roboten, utan endast av en frihetsgrad, nämligen tväraccelerationen. Då roboten dessutom har en hastighet längs sin axel kan dess rörelse i detta problem betraktas som tvådimensionell. Robothastigheten kan ej påverkas utan är fastlagd genom raketmotorns dragkraft och luftens bromsande inverkan.

Roboten är avsedd att styras mot ett rörligt mål på ett sätt, sådant att den kommer att vara riktad mot en punkt framför målet. Detta göres på så sätt att man strävar att hålla syftbärningen under vilken roboten ser målet, dvs. målets bäring sett från roboten, konstant. Under gynnsamma omständigheter, som till exempel måttliga undanmanövrer hos målet och konstanta hastigheter hos mål och robot, kommer roboten att träffa målet efter att ha tillryggalagt en rätlinjig bana i luften. Riktas roboten istället direkt mot målet kommer den att tillryggalägga en så kallad hundkurva och en eventuell träff sker efter längre tid än i föregående fall.





artad även om roboten anfaller från olika håll. Då robot och mål be-  
 finner sig på mötande kurser krävs ju snabbare manövrer än då målet  
 förföljs bakifrån. Systemet styrs alltså med signalen  $u = d\dot{\varphi}$   
 där  $d$  betecknar avståndet mellan robot och mål.

### 2.2.2. Realisering av styrningen.

Roderutslaget  $\delta$  är satt som insignal på processen. Styrsignalen in-  
 på systemet behandlas i form av en analog spänning innan den kommer  
 fram till processen. Den måste alltså passera ett servo innan den kan  
 räknas som insignal. Den förvrängning som sker där måste naturligt-  
 vis medtas i systemberäkningarna. I systemet skall servot, vilket  
 kommer att motiveras i kap. 3.3.1., att vara av integrerande typ med  
 överföringsfunktionen  $A = 100/s(1+0.01s)$

### 2.2.3. Mätningar för återföringar.

För systemet kommer, som vi skall se i kap. 3.3.1., det att behövas  
 två återföringar. En för  $\ddot{y}$  vilken ju är direkt mätbar med en acce-  
 lerometer tvärs längdaxeln. Den andra är  $v\dot{\theta}$  som inte är fysikaliskt  
 direkt mätbar. En möjlighet är att mäta  $\theta$  med ett gyro, derivera det-  
 ta värde och multiplicera resultatet med det värde vi antagit för  $v$   
 som ju satts konstant.

### 3. Beskrivning av befintlig adaptiv regulator.

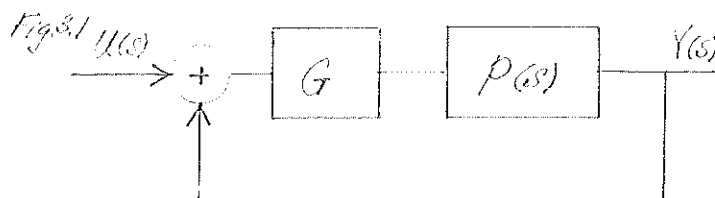
#### 3.1. Principen för Honeywells adaptiva system.

##### 3.1.1. Parametervariationernas verkningar inskränkes med återkoppling.

Processens överföringsfunktion betecknas  $P(s)$ . Som vi sett i kap.2 kommer vissa parametervariationer att påverka processen så att polerna i dess överföringsfunktion flyttar sig. Ett sätt att under vissa förutsättningar minska variationerna är att återföra utsignalen med negativt tecken till ingången. Den återkopplade processens överföringsfunktion betecknas  $P_c(s)$ .

$$P_c(s) = \frac{P(s)}{1+P(s)} \quad (3.1.1.1.)$$

För att en förändring i  $P(s)$  skall inverka måttligt på  $P_c(s)$  krävs att  $P_c(s) \approx 1$  i det aktuella frekvensområdet. Detta är fallet när  $|P(s)|$  är stor, jämfört med 1. Då inte  $P(s)$  alltid uppfyller detta krav kopplas en förstärkare  $G$  i serie med  $P(s)$  innan återkopplingen sker.



$$P_c(s) = \frac{GP(s)}{1+GP(s)} \quad (3.1.1.2.)$$

Om  $G$  väljes tillräckligt stor kan  $P_c(s)$  i princip fås att ligga hur nära 1 som helst.

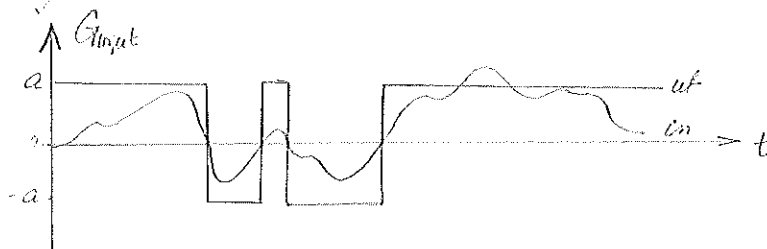
##### 3.1.2. Automatisk reglering av kretsförstärkningen.

I ovanstående resonemang har hänsyn ej tagits till stabiliteten. För att systemet överhuvudtaget skall fungera måste det vara stabilt.  $G$  bör alltså i varje ögonblick hållas så stort som det kan vara utan att systemet blir instabilt. Honeywell har utarbetat en metod att med ett relä automatiskt hålla förstärkningen så stor att den motsvarar en amplitudmarginal lika med 2.

Om en begränsare införes i  $G$  undvikes att signalerna växer sig för

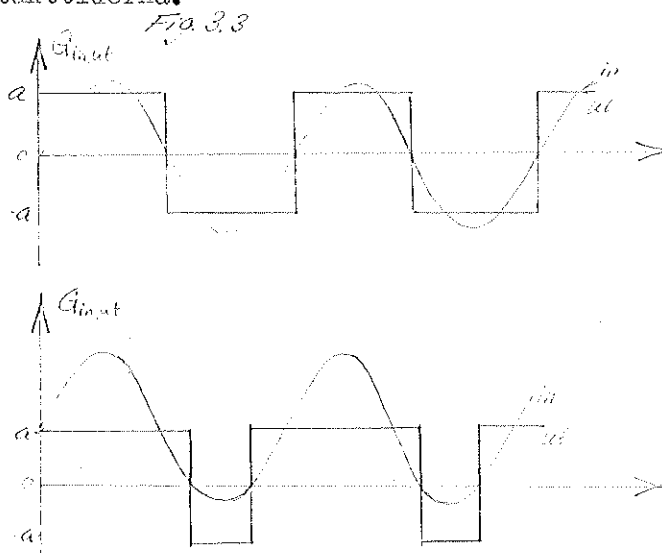
stora. Sedan kan förstärkningen ökas hur mycket som helst och  $G$  har blivit ett balanserat relä.

Fig. 3.2



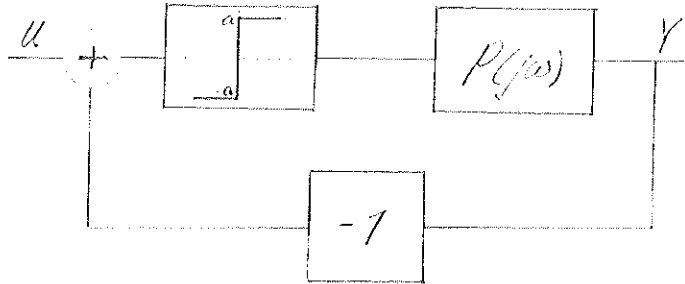
Ett sådant olinjärt element kan i den återkopplade kretsen ge upphov till en självsvängning. Finns en sådan kommer, som vi skall se, små långsamma signaler vid passage genom reläet att förstärkas med halva inversen av kretsförstärkningen i den linjära delen. Oberoende av variationer i processen kommer alltså reläet att reglera förstärkningen till hälften av den som, för stabilitet, är tillåten i motsvarande linjära system.

Antag att systemet befinner sig i självsvängning utan yttre signaler. Reläet kommer då att arbeta med lika kontakttider i bägge utslagsriktningarna och utsignalen saknar lägre frekvenser än egensvängningen. Om en likspänning adderas på ingången förskjuts kontakttiderna.



Nu kommer fyrkantvågen att bestå av den tidigare symmetriska delen, plus ett pulståg med en likspänningskomponent och i övrigt inga frekvenser mindre än egensvängningsfrekvensen. Om man bortser från komponenter med en frekvens större eller lika med egensvängningens går det alltså att definiera en reläförstärkning. Villkoret är att signalerna är långsamma nog att bredvid självsvängningen kunna betraktas som likspänningar och små nog att inte låsa reläet i ena ändläget.

Antag att den linjära delen,  $P$ , är av lågpasskaraktär, så att högre frekvenser än fundamentalkomponentens kan försummas samt att den "långsamma" signalen är konstant av storleken  $u_{in}$ . De linjära delarna har storleken  $P(s)$ . Egensvängningsfrekvensen är  $\frac{\omega_0}{2\pi} = \frac{1}{T}$  och reläets nivåer är  $\pm a$  volt.



Då grundtonen i utsignalen från reläet har amplituden  $4 \frac{a}{\pi}$  kommer densamma vid ingången till reläet att ha amplituden  $\frac{u_{in}}{\pi} a / |P(j\omega_0)|$ .  $u_{in}$  ger upphov till ett pulståg med  $\frac{\omega_0}{\pi}$  pulser per sekund. Pulserna har längden  $\frac{T}{2\pi} \arcsin\left(\frac{u_{in}}{\frac{u_{in}}{\pi} a / |P(j\omega_0)|}\right)$  och höjden  $2a$ .

Förstärkningen blir  $F_R = \frac{1}{u_{in}} 2 \frac{a}{\pi} \arcsin\left(\frac{u_{in}}{\frac{u_{in}}{\pi} a / |P(j\omega_0)|}\right)$

Om  $u_{in}$  är tillräckligt liten kan den approximeras till

$$F_R \approx \frac{1}{2 |P(j\omega_0)|}$$

Det öppna systemets överföringsfunktion för små, långsamma signaler blir

$$F_R \cdot P(j\omega) = \frac{P(j\omega)}{2 |P(j\omega_0)|}$$

Därigenom erhålles en automatisk kompensation för förstärkningsvariationerna i processen.

### 3.2. Modellval.

#### 3.2.1. Modellen som representant för ett fysikaliskt system.

När modell väljes för ett system med manuell styrning bör den väljas att överensstämmer med operatörens känsla för hur ett bra fysikaliskt system skall uppföra sig. Det kan vara lämpligt att använda samma modell för olika robotar, så att de kan styras på samma sätt.

### 3.2.2. Kompromiss mellan bandbredd och brus känslighet.

För stor träffsannolikhet bör roboten kunna följa även hastigt varierande signaler. En stor bandbredd är alltså önskvärd hos systemet. Det förekommer emellertid högfrekvent brus, bland annat radarglitter i målsökarsignaler. Modellvalet får alltså göras som en kompromiss mellan brusfiltreringsegenskaper och önskemål om ett snabbt system. Det är inte någon mening att göra modellen sådan att efterföljande system ej hinner med.

### 3.3. Den befintliga adaptiva regulatorn.

3.3.1. Den regulator av Honeywell-typ som detta arbete baseras på är dimensionerad av Andersson - Torin i ett examensarbete på Chalmers 1961.

Robotens överföringsfunktion från roderutslag till tväracceleration är enligt kap.2

$$P(s) = \frac{5 \cdot 10^{-4}}{(1.7s)(13.7s) + \frac{25}{s}}$$

Roderutslaget kan inte styras direkt med den elektriska signalen utan måste tas ut via ett servo. Man har valt ett med överföringsfunktionen från servospänningen  $u$  servo till roderutslaget lika med  $A$ .

$$A = \frac{100}{s(1+2.5s)} \quad (3.3.1.1.)$$

Ur den synpunkten att man ville hålla frekvensen för egensvängningen hög önskade man återkoppla servot.

$$A(s) = \frac{1}{s(1+2.5s)} \quad (3.3.1.2.)$$

Detta ger en mindre fasvridning än det rena servot. För egensvängning skall fasvridningen tillsammans med processen vara ett halvt varv och kommer att uppnås först vid en högre frekvens då servot är återkopplat.

Emellertid valde man det inte återkopplade servot då integrationen var nödvändig för att eliminera stationära fel. Egenfrekvensen hölls ändå hög med det filter som på Honeywell kallats för "switching logic"

och placerats omedelbart framför reläet. Det är fasavancerande och har alltså egenskapen att höja egensvängningsfrekvensen. Då denna ligger i ett frekvensområde ovanför de nyttiga signalerna är det möjligt att, genom lämpligt val av brytffrekvenser i högpassfiltret, låta de senare passera praktiskt taget utan fasvridning.

Förutom att man ville ha egensvängningen vid en hög frekvens önskade man att densamplitud på systemets utgång var så liten som möjligt. Därför återfördes egensvängningen från ett tippvinkelgyro. Tväraccelerationen kan ses som en lågpassfiltrering av denna signal och man kunde alltså sänka reläamplituden utan att därför egensvängningen på reläingången minskade med därav följande risk för överstyrning.

En ytterligare sänkning av reläamplituden kunde göras tack vare "switching logic"-enheten. Denna förstärker egensvängningen ungefär 18 gånger medan den nyttiga signalen i stort sett får passera oförändrad.

Med hög krets förstärkning i den slutna slingan, vilket reläförstärkaren var avsedd att ombesörja, domineras den återkopplade kretsens överföringsfunktion av en faktor med en pol vid återföringens nollställe.

Om förutom tippvinkelhastigheten också tväraccelerationen återföres kommer polen att flyttas så systemet blir snabbare.

Dimensioneringen blev en avvägningsfråga mellan stor återföring av tippvinkelhastighet för att hålla hög svängningsfrekvens med liten amplitud i utsignalen och/eller stort utstyrningsområde för reläet och mellan stor återföring av tväraccelerationen för att systemet skall förbli snabbt även för stora T.

Som kompromiss valde man att kompensera trögheten genom att införa en fasavancering i modellen när denna jämfördes med tippvinkelhastigheten samt att högpassfiltrera denna signal, då den hade sin betydelse endast för egensvängningen. Genom att sedan separat jämföra tväraccelerationen med motsvarande i modellen erhöll man en felsignal som stationärt är lika med noll.



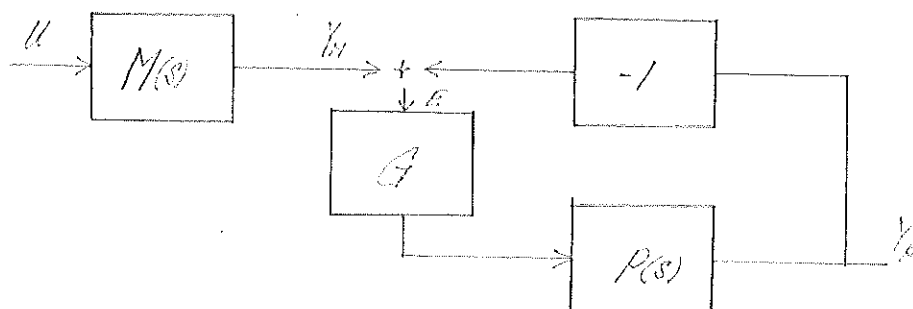
4. Undersökning av hur den adaptiva regulatorn förändras med införande av direktmatning samt de krav på information detta medför.

4.1. Direktmatningen i ett generellt modellreferenssystem.

4.1.1. Principschema och systemfel för det ursprungliga adaptiva systemet.

Om reglerelektroniken betecknas med  $G$  kan ett blockschema för det ursprungliga systemet tecknas

Fig. 4.1



Behandlas systemet som ett linjärt sådant blir överföringsfunktionen

$$\frac{Y_P}{U} = \frac{M \cdot G \cdot P}{1 + GP} \quad (4.1.1.1.)$$

och systemfelet

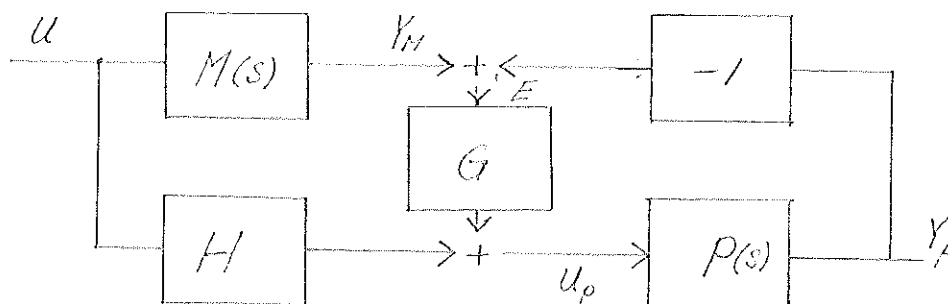
$$E = \frac{M}{1 + GP} \cdot U \quad (4.1.1.2.)$$

Som tidigare visats kommer alltså systemfelet att bli litet då  $GP$  hålles stort, varvid den totala överföringsfunktionen närmar sig  $M$ .

4.1.2. Systemfelet som funktion av direktmatningen för det modifierade adaptiva systemet.

Med införd direktmatning  $H$  blir systemets blockschema

Fig. 4.2





Detta system kan till skillnad mot det ursprungliga anses vara av modellreferenstyp, då en signal dels går till modellen dels till processen, varefter utsignalerna jämföres.

Den totala överföringsfunktionen blir

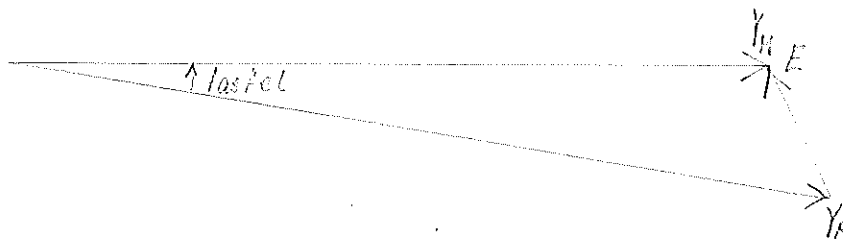
$$\frac{Y_p}{U} = \frac{M \cdot A + \frac{H}{P}}{G + D} \quad (4.1.2.1.)$$

Systemfelet blir nu

$$E = \frac{M}{1 + GP} \cdot (1 - \frac{H}{M}) \cdot U \quad (4.1.2.2.)$$

Detta antyder att det är möjligt att, oberoende av den mekanism som reglerar slingförstärkningen, justera H för en ytterligare minskning av systemfelet. För att ett bättre eller lika bra resultat som tidigare skall erhållas krävs att  $|\frac{H}{M}| \leq 1$ . Det är ett önskemål att skillnaden mellan olikhetens vänstra och högra led är så stor som möjligt. Systemfelets fas är av underordnad betydelse till skillnad mot fASFEL i systemet, vilka har stor betydelse för systemfelets absolutbelopp.

Fig. 4.3



4.2. Behovet av information om processen gäller endast styrfrekvenserna.

Det är klart att H önskas justerat så det nära ansluter till  $\frac{M}{P}$ . M är helt bestämt så vad som återstår är att på något lämpligt sätt skatta P.

Det bästa resultatet borde rimligen erhållas om de okända parametrarna  $\frac{\lambda}{G}$  och T exakt bestäms och med dem ett  $H = \frac{M}{P}$  syntetiseras. Det är emellertid onödigt att kräva fullständig överensstämmelse för alla frekvenser. Som vi såg tidigare (i kap. 3) valdes modellen bland annat med hänsyn till dess brusfiltreringsegenskaper. Styrsignalerna ansågs ligga vid så låga frekvenser att modellen kunde ges en brytfrekvens vid 1 rad/s för bortfiltrering av högfrekvent brus. Om nu modell och process visar stor överensstämmelse och därur syntetiseras ett värde  $H = 1$  kommer bruset att passera direkt in till den slutna kretsen.

Då reläet hela tiden håller krets förstärkningen hög, kommer den högfrekventa signalen att dämpas endast måttligt, då den passerar systemet. Detta skulle innebära en ökning av systemets bandbredd. En sådan kan vara önskvärd men bör inte sträckas ovanför det nyttiga frekvensområdet. Det är alltså inte önskvärt att få överensstämmelse mellan  $H$  och  $\frac{M}{P}$  längs hela frekvensaxeln.

#### 4.3. Metoder för identifiering.

##### 4.3.1. Allmänna inskränkningar för valet av identifiermetod.

Då identifieringen skall användas för processtyrning måste den ske i reell tid. Systemet skall rymmas inom roboten och måste därför vara lätt och utrymmessnålt. Då roboten kan anses förbrukad när den fullgjort sitt uppdrag blir det väsentligt att göra ett enkelt och därmed billigt system. Det kan alltså knappast bli fråga om att använda någon digital metod för identifieringen. Kravet på enkelhet medför också ett önskemål att informationen om processen direkt skall erhållas i en form som lämpar sig för syntes av direktmatningsöverföringen. Det är fallet för storheter som förstärkning, dämpning och tidskonstanter medan exempelvis stegsvar kräver ytterligare behandling.

##### 4.3.2. Felsignalen måste väljas så den ej stör robotens normala funktion.

För att mätningar skall kunna göras på processen krävs det att den påverkas av någon signal. Vid valet av denna måste hänsyn tagas så den inte stör processens normala funktion, då mätningarna måste försiggå parallellt med denna. Detta krav kan uppfyllas genom att testsignalerna ges liten amplitud eller att de förbägges till ett frekvensområde där de inte verkar störande. I vissa fall kan speciallösningar komma i fråga. Exempelvis kan man för roboten mäta vissa flygfallsberoende parametrar genom att studera dess rollegenskaper, i ett plan tvärs robotaxeln, medan styrningen göres i tiplad, i ett plan genom axeln. Mätningen behöver då inte få någon störande inverkan på uppgiften att styra roboten. Samma resultat kan erhållas om parametrarna härledes ur fysikaliska samband från grundstorheter som tryck, täthet o.dyl., vilka bestäms genom direkt uppmätning. Sådana lösningar skall inte behandlas här. Ett annat sätt att slippa addera störningar till de normala styrsignalerna är att helt undvika extra signaler. En nackdel med att göra parameterskattningen på den normala styrsignalen är att denna kan vara av mycket liten amplitud el-

ler helt saknas. Lyckligtvis är just vid de tillfällena behovet av en god parameterskattning måttligt.

Andra tänkbara mätsignaler är periodiska sådana, av sinus- eller annan form, icke periodiska av steg- eller impulstyp samt stokastiska signaler som olika typer av brus.

4.3.3. Parameterskattningarna bör ej vara beroende av robotens styrsignaler.

Vid val av metod att skatta processens parametrar måste hänsyn tas, inte bara till hur eventuella testsignaler stör processtyrningen, utan även till hur mätresultatet påverkas av de normala styrsignalerna.

En metod som är okänslig för störningar av de närvarande styrsignalerna är utvärdering av impulssvaret med korskorrelationsmetoden. Å andra sidan måste en störande signal adderas på processens ingång nämligen vitt brus av känd amplitud. Då bruset är okorrelerat med styrsignalen kan impulssvaret genom korskorrelationen mellan processens utgång och bruset. För beräkningen krävs emellertid en integration som sträcks över en lång, egentligen obegränsat lång tid. Detta gör att metoden inte lämpar sig för en process där parametervariationerna sker relativt snabbt.

4.3.4. Den högfrekventa egensvängningen mindre lämpad som testsignal för parameterskattning.

Då starka krav på ett enkelt system förligger vore det önskvärt att slippa belasta det med en särskild generator för testsignaler. Dessutom är det svårt att få fram sådana som ej inverkar störande på den övriga funktionen, så det ligger nära till hands att använda den egensvängning som redan finns i systemet. Dess frekvens ligger på 21 Hz. För att se vilken information som kan fås ur den sätter vi upp processens komplexa förstärkning för signalen.

$$P(j\omega) \approx \frac{5 \cdot 10^4}{3 + \frac{2T}{\epsilon} - 1.7 \cdot 10^4 T^2 + j \cdot 530T} \quad (4.3.4.1.)$$

Inom parametrarnas variationsområden gäller

Då den kvadratiska termen helt dominerar nämnarens realdel kan förstärkningen skrivas

$$P(j\omega) \approx \frac{5 \cdot 10^4}{-1.7 \cdot 10^4 T^2 + j \cdot 530T} \quad (4.3.4.1')$$

Alltså är det omöjligt att få fram ett värde på  $\frac{2}{T}$  vid den frekvensen. Däremot är den maximala fasvridningen  $\varphi_{\max}$  liten.

$$\varphi_{\max}(\omega) = \arctan\left(\frac{5 \cdot 10^4 T}{1.9 \cdot 10^4 T}\right) = 0.1$$

Imaginärdelen ger alltså ett tillskott i förstärkningens absolutbelopp som är mindre än 1 procent.

Alltså erhålles en direkt proportionalitet

$$T \sim |K(j\omega)|$$

Överföringen  $P(s)$  från roderutslag till tippvinkelhastighet ger möjlighet till direkt utvärdering av T.

$$P(s) = (1 + Ts) \cdot K(s)$$

$$P(j\omega) = 1 + j\omega T \cdot K(j\omega)$$

$$T \sim |P(j\omega)|$$

Dessutom har egensvängningen en högre nivå i tippvinkelhastighet än i tväracceleration, vilket underlättar eventuella beräkningar. Nu visar det sig att en syntetisering av  $Y = \frac{M}{P}$  med värdet på T men ej det på  $\frac{2}{T}$  ger dåligt resultat. Styrsignalerna ligger ju inom låga frekvenser, där  $2T^2 + 3$  antar värden i samma storleksordning som termen  $\frac{2}{T}$ , vilken har ett så stort variationsområde att värdet på P(S) för styrsignalerna kan anses helt obestämt. En syntetisering av Y kräver således kännedom om  $\frac{2}{T}$ . En mätning av  $\frac{2}{T}$  kan göras med acceptabel noggrannhet för en konstant spänning som insignal. Konstant - signal - förstärkningen i processen är

$$K(j\omega) = \frac{5 \cdot 10^4}{\frac{2T}{3}} \approx \frac{5 \cdot 10^4}{\frac{2T}{3}}$$

där approximationen gäller tillfredsställande om  $\frac{2T}{3}$  begränsas nedåt. Då en sådan testsignal ej kan accepteras är det av intresse att veta hur högt man kan gå i mätfrekvenserna utan att en identifiering av  $\frac{2T}{3}$  kräver användande av kunskaperna om T. Redan vid en så låg undre gräns för testsignalen som 10 rad/s antar  $\omega^2 T^2$  ett så stort värde att variationerna i T ej utan vidare kan elimineras vid mätning av  $\frac{2T}{3}$ .

Alltså måste vi försöka utnyttja den information vi har om T för att få en skattning på  $\frac{2T}{3}$ . Skrivs processens överföringsfunktion om på

formen

$$Y_p(s) \frac{\partial T}{\partial s} = U_p(s) \cdot 5 \cdot 10^4 - (1-Ts)(3+Ts) Y_p(s) \quad (4.3.4.3.)$$

inses att i princip kan  $\frac{\partial T}{\partial s}$  syntetiseras om T och  $\frac{\partial}{\partial s}$  varierar tillräckligt långsamt. Högra ledet skulle kunna realiseras och genom division med  $U_p$  ge  $\frac{\partial T}{\partial s}$ . Men detta skulle genom den dubbla derivationen som krävs, i praktiken leda till stora fel. Även om tidsfunktionen som motsvarar  $(1-Ts)Y_p(s)$  direkt uppmättes i tippvinkelhastigheten  $\dot{\theta}$  återstår en derivation. Genom en uppskattning av den inversa parametern  $\frac{\partial}{\partial T}$  skulle detta problem kunna förbigås.

$$\frac{\partial}{\partial T} = \frac{Y_p(s)}{U_p(s) \cdot 5 \cdot 10^4 - (1-Ts)(3+Ts) Y_p(s)} \quad (4.3.4.4.)$$

Denna skattning kräver emellertid av oss att vi i tidsdomänen kan syntetisera division av transformerade variabler. Då detta inte låter sig göras får vi återgå till ekv. (4.3.4.3.). Likheten kvarstår om signalerna på bägge sidor lågpasfiltreras.

$$\frac{Y_p(s)}{(3+Ts)} \cdot \frac{\partial T}{\partial s} = 5 \cdot 10^4 \frac{U_p(s)}{3+Ts} - (1-Ts) Y_p(s) \approx 5 \cdot 10^4 \frac{U_p(s)}{3+Ts} - V(s) \quad (4.3.4.5.)$$

Signalen i höger led är nu möjlig att syntetisera. Efter en division av denna med den filtrerade processutsignalen skulle  $\frac{\partial T}{\partial s}$  erhållas. Kraven är att  $\frac{\partial}{\partial s}$  och T verkligen är konstanta samt att identifieringen av T skett med tillräcklig noggrannhet. Extra åtgärder krävs antagligen i praktiken för att eliminera verkan av nämnarens nollgenomgång. Det är knappast möjligt att räkna med att denna alltid sker i exakt samma ögonblick som täljaren passerar noll.

Emellertid kan det synas onödigt att filtrera ut den högfrekventa signalen för separat syntetisering av T, då denna parameter ändå kommer att spela en liten roll vid låga frekvenser, det vill säga inom det område som styrningen sker.

## 5. Direktmatningens utförande.

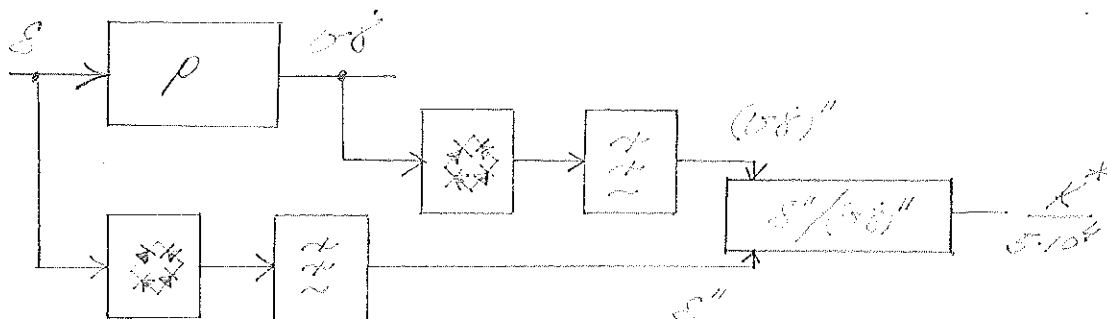
### 5.1. Identifiering genom division.

#### 5.1.1. Beskrivning.

Om den frekvensberoende delen av processen kan utelämnas vid syntetisering av direktmatningen  $H = \frac{M}{P}$  får denna lågpasskaraktär och kan därmed utöva den brusfiltrering som för den "normala" signalvägen ingick i modellens uppgifter. Istället för att göra skattningar av de parametrar  $\frac{M}{P}$  och  $T$  som finns i den fysikaliska beskrivningen av roboten har jag valt att ur mätningar på  $\delta$  och  $\delta\dot{\delta}$  beräkna en form av vägd förstärkningsfaktor där vägningen är beroende av den aktuella insignalen.

Spänningar som representerar roderutslag och tvärracceleration får var och en för sig passera genom en halvågslikriktare följt av ett filter varefter den förra spänningen divideras med den senare.

Fig 5.1



Det så erhållna värdet  $\frac{K^*}{5 \cdot 10^4}$  användes i direktmatningen som en representant för  $(P)^{-1}$ .  $H = M \cdot \frac{K^*}{5 \cdot 10^4}$

#### 5.1.2. Förutsättningar för att metoden skall fungera.

För att metoden skall fungera krävs en signal till processen. När signalnivån ligger så lågt att identifieringen möjliggöres passerar inte heller någon signal genom direktmatningen och dess storlek är utan betydelse. För att direktmatningen inte skall införa ett fel omedelbart efter ett signalbortfall kan en liten likspänning adderas till nämnaren i divisionskretsen. Den bör vara liten nog att kunna försummas vid normala styrsignaler, men då dessa försvinner skall den hålla ner värdet på  $K^*$  så att direktmatningens värde också hålles på låg nivå.

När styrsignalen åter antar normala värden kan parametrarna i processen ha ändrats och då är det lämpligare att för liten än för stor signal passerar direktmatningen. Det riktiga värdet på  $K^{**}$  återtas ju snabbt.

Ett annat krav för att ett vettigt värde på  $K^{**}$  skall erhållas är, som vi skall se i (5.1.3.), att rodersignalen på roboten är lågfrekvent. I den mån detsamma inte gäller för den signal som styr systemet filteras de snabba komponenterna bort i modellen, respektive i direktmatningens filter. Den högfrekventa egensvängningen förutsättes ha så låg nivå i  $S$  och  $\sigma^2$  att den inte påverkar värdet av  $K^{**}$ .

5.1.3. Vad den identifierade parametern representerar.

Att  $\frac{K^{**}}{5 \cdot 10^4}$  kan anses representera  $(P)^{-1}$  vid låga frekvenser ges en indikation om i

$$P(j\omega) = \frac{5 \cdot 10^4}{\frac{2T}{\tau} + 3} = \left( \frac{K^{**}}{5 \cdot 10^4} \right)^{-1}$$

Då styrsignalen är en konstant kommer  $\frac{K^{**}}{5 \cdot 10^4} M$  helt att överensstämma med det uppställda önskemålet för direktmatningen.

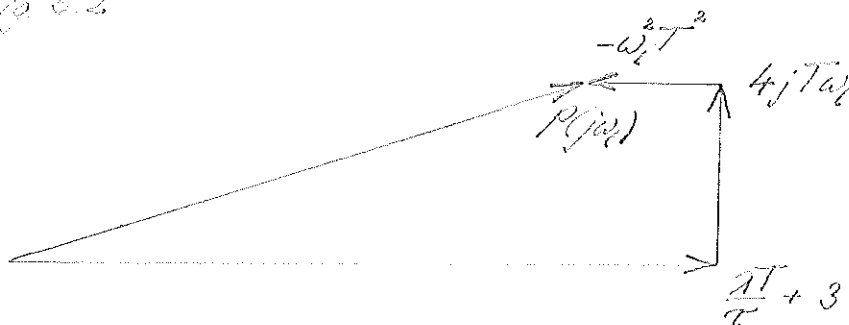
$$H = \frac{M}{P}$$

För en lågfrekvent insignal av sinusform och med vinkelhastigheten  $\omega$  är processens komplexa förstärkning

$$P(j\omega) = \frac{5 \cdot 10^4}{3 + \frac{2T}{\tau} - T^2 \omega^2 + j4T\omega}$$

Så länge  $3 + \frac{2T}{\tau} \gg T^2 \omega^2$  innebär  $\left( \frac{K^{**}}{5 \cdot 10^4} \right)^{-1}$  en hygglig approximation av processen. Signalen utsätts onekligen för en viss fasvridning som inte går att representera med den reella konstanten  $K^{**}$  men så länge olikheten ovan gäller är denna måttlig.

Fig. 5.2



$$\frac{5 \cdot 10^4}{K^{**}} = |P(j\omega)|$$

När mätningen ej sker på en ren sinussignal kan  $K^{**}$  anses vara ett vägt medelvärde av olika  $K^{**}(\omega_i)$ , vart och ett tillhörande en av de frekvenser som ingår i styrsignalen. För att metoden skall fungera krävs då att  $K^{**}(\omega)$  för givna  $\frac{A}{T}$  och  $T$  inte varierar alltför mycket inom det angivna frekvensområdet. Fasvariationen är visserligen direkt proportionell mot frekvensen, men den är i alla fall liten. I fråga om amplituden har dess kvadratiska och dess imaginära termer motsatt inverkan på förstärkningens absolutbelopp och kompenseras därför varandra till en viss del.

5.2. Införande av direktmatning på befintlig adaptiv regulator utan att försämra dess egenskaper.

För att kunna styra processen med direktmatningssignalen måste denna passera ett servo. Det servo som redan finns är av integrerande typ, vilket ej kan accepteras. Ej heller är det tänkbart att utrusta roboten med ett extra servo för enbart direktmatningssignalen. Det befintliga servot har överföringsfunktionen

$$A = \frac{100}{s(1+0.01s)}$$

om detta återkopplas med en etta ändras det till

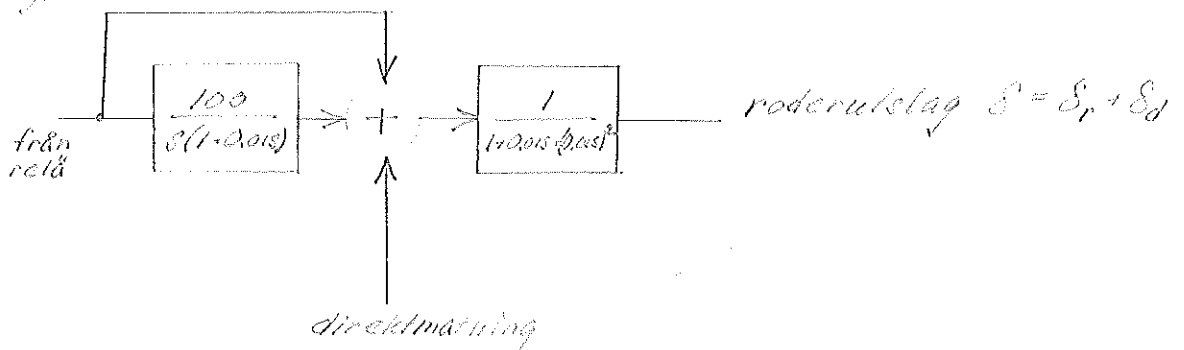
$$A_c = \frac{1}{1+0.01s+(0.01s)^2}$$

Det inverkar då inte längre menligt på den lågfrekventa direktkopplingsignalen, men för att inte ändra på egensvängningsfrekvensen i dens slutna Honeywell-loopen kopplas i kaskad före det återkopplade servot en länk med överföringen

$$B = 1 + A$$

Honeywell-loopens egenskaper blir då oförändrade.

Fig. 5.3



$S_d$  är den komponent i  $S$  som härrör från direktmatning.



## 6. Simuleringar.

### 6.1. Processidentifieringen.

#### 6.1.1. Översläng i början av parameterskattningen.

Absolutbeloppoperationerna i skattningen utfördes till att börja med av element bestående av en helvågslikriktare följt av ett andra ordningens glättningsfilter av typen

$$F_G(s) = \frac{1}{(1+2s)^2} \quad (6.1.1.1.)$$

Det är önskvärt att redan från början använda ett filter av högre ordning för att få klarlagt om identifierprincipen överhuvudtaget fungerar. Sedan kan eventuellt filtrets komplexitet minskas. Vid första försöket till parameterskattning används alltså en krets som dividerar det likriktade och glättade värdet på roteringsvinkeln  $\delta$  med det på likadant sätt behandlade värdet på tväraccelerationen  $\ddot{\delta}$  (fig. 5.1.) (1.). Värdet på den parameter som erhålles betecknas  $K^* \cdot 10^4$  då den är avsedd att motsvara inversa processförstärkning. Då  $\frac{\pi}{T}$  i allmänhet är stor jämfört med övriga storheter i processnämnaren representerar  $K^*$  i stort sett  $\frac{\pi}{T}$ . Denna identifierator provas med systemstyrsignalen  $u$ , dels i form av en sinusformad signal med frekvensen 1 Hz. *Diagram 1 och 2.* Det stationära värdet på  $K^*$  kan anses tillfredsställande. Däremot antar i början av identifieringen  $K^*$  ofta mycket höga värden. Storleken på denna översläng syns helt oberoende av det värde som  $K^*$  slutgiltigt antar. Däremot påverkar insignalen toppvärdet så att detta blir relativt litet då denna från början antar maximalt värde. Då den kraftiga överslängen beror på att signalen i nämnaren växer långsammare än den i täljaren lägges ett begynnelsevärde på den sista integratorn i filtret före ingången till nämnaren i divisionskretsen. På grund av filterkonstanten dör emellertid begynnelsevärdet ut för snabbt för att kunna trycka ned kvoten under den tid som överslängen varar. För att det skall dö ut långsammare delas filtret upp i två delar, en med  $K$  gånger och en med  $\frac{1}{K}$  gånger tidskonstanten hos det tidigare filtret. Det nya filtret får överföringsfunktionen

$$F_{GK} = \frac{1}{(1+\frac{2s}{K})(1+2KS)} \quad (6.1.1.2.)$$

Diagram 1. Värdet på  $K^*$  vid sinusformad styrsignal och med det förta utförandet av identifierare.  $\frac{27}{7} = 150$  28

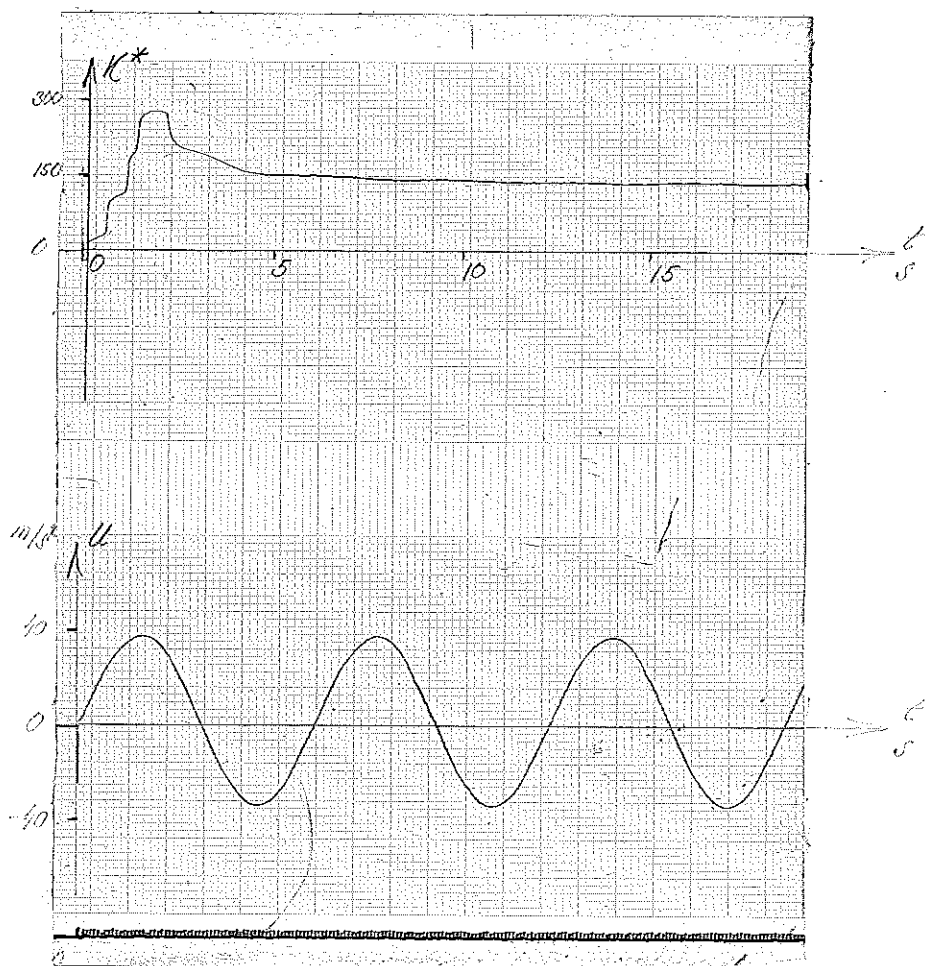
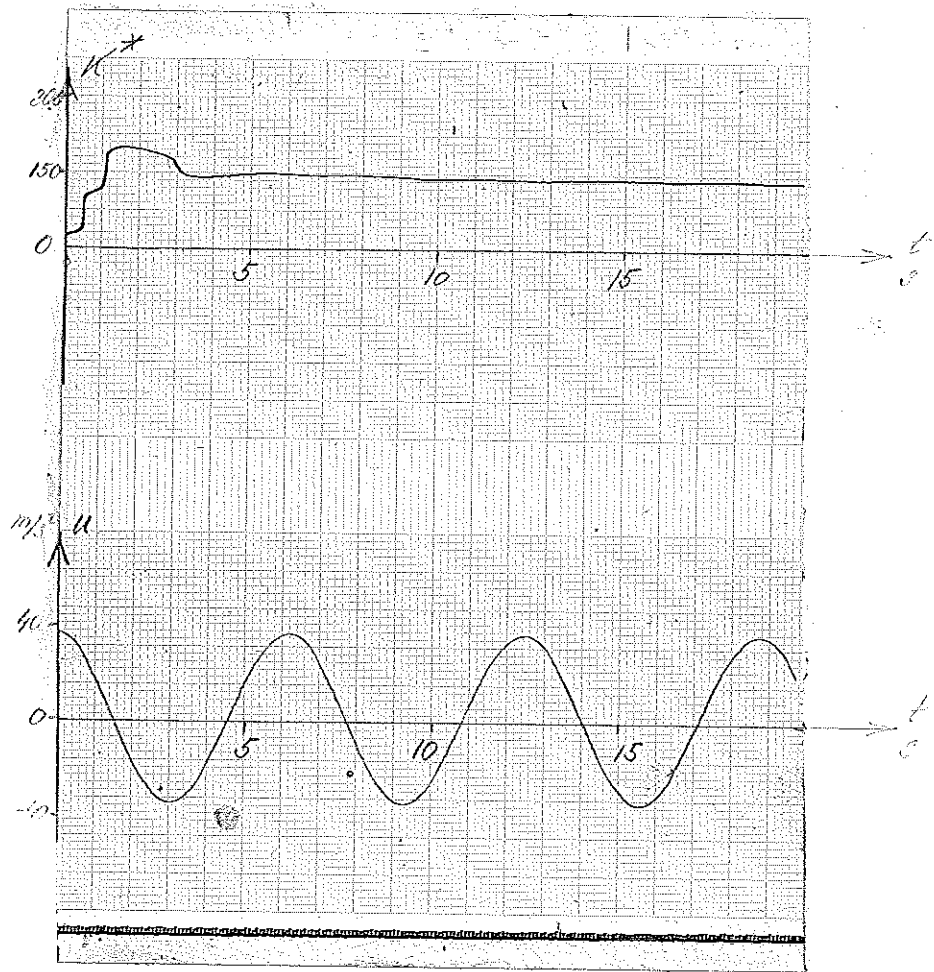
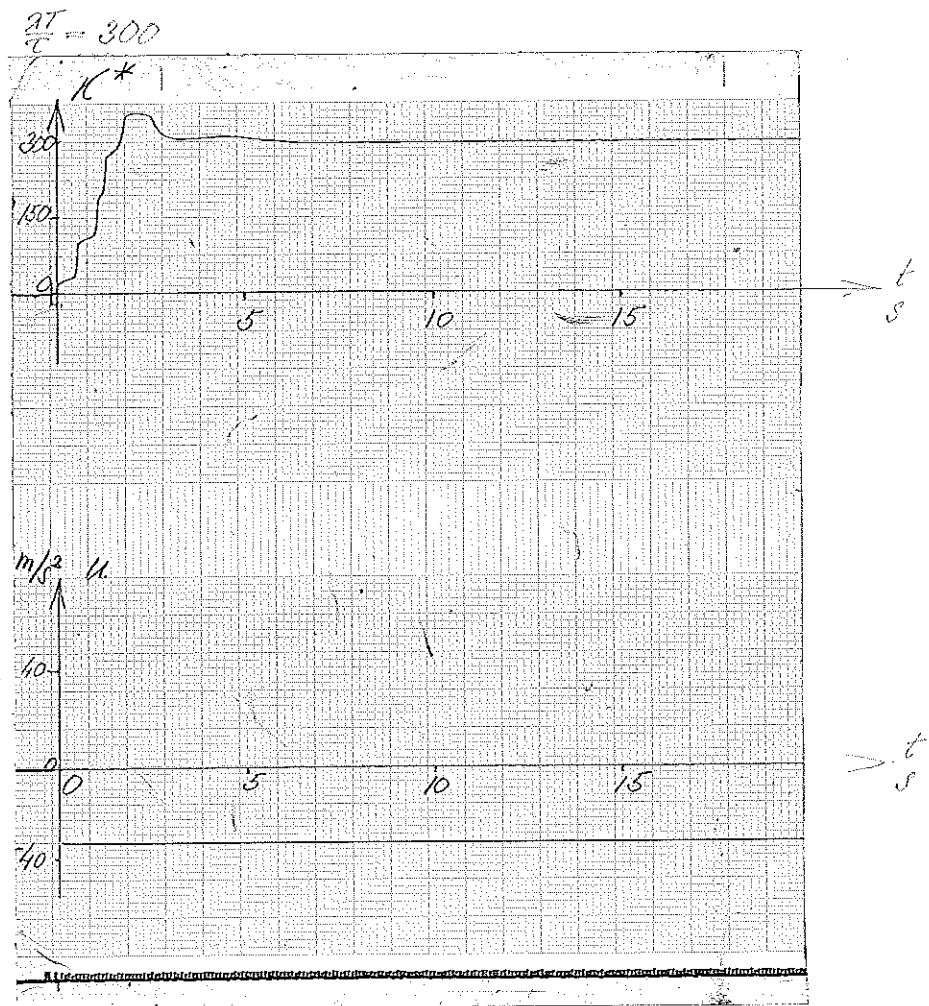
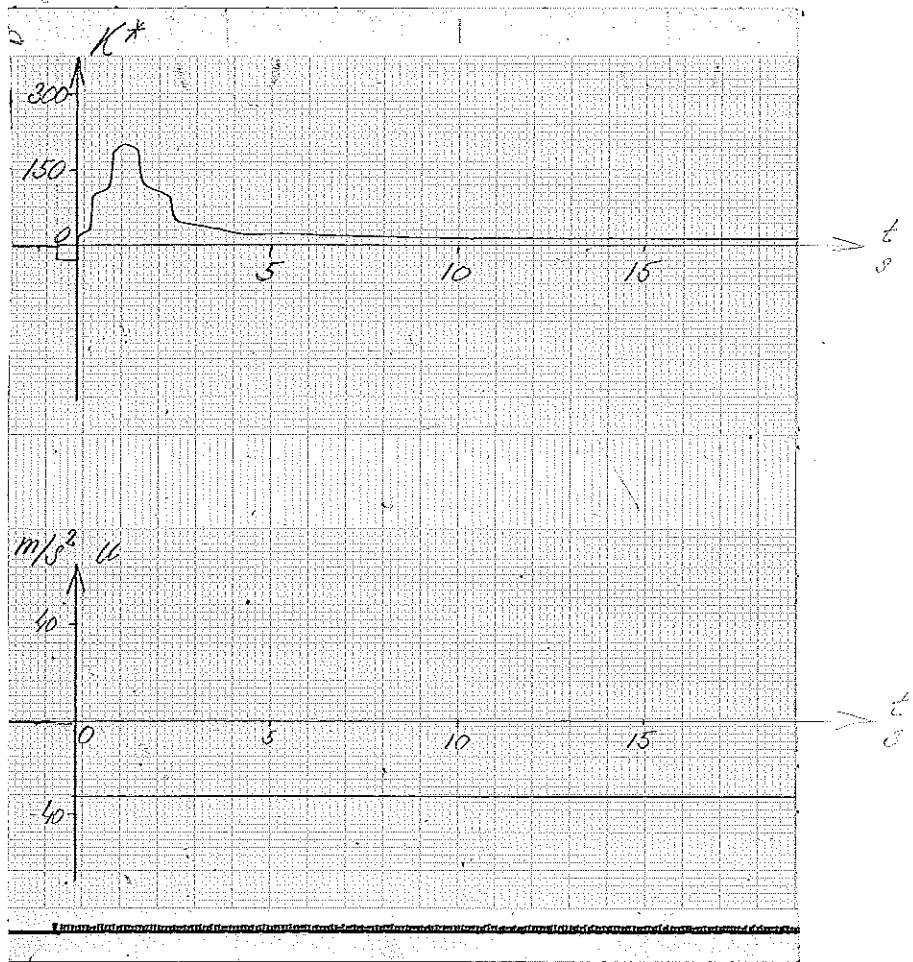
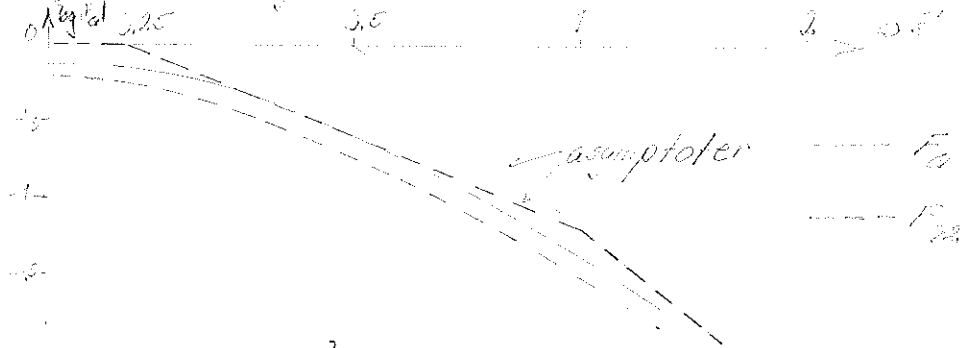


Diagram 2.  $K^*$  vid konstant skivkraft med det första utförandet av identifierare.



Genom att lägga filterdelen med den stora tidskonstanten sist kan begynnelsevärdet fås att dämpas  $K$  gånger långsammare än tidigare. Asymptotdiagrammet visar hur filtret ändras när det utförs med konstanten  $K = 2$ . *Fig. 6.1*



Dämpningen vid  $0.5 \text{ s}^{-1}$  blir nu 0.4 mot tidigare 0.5. Emellertid räcker denna förändring av tidskonstanten ej till för att överslängen skall försvinna. Ökas  $K$  till 5 kommer däremot dämpningen vid  $0.5 \text{ s}^{-1}$  att sjunka till 0.2. Det blir då så stor skillnad på täljaren och nämnaren att vissa frekvenser kan passera divisionskretsen och bli synliga i  $K^*$ . (*Diagram 3*) Jämför *Diagram 4* där filtren i täljare och nämnare är lika. Fluktuationer finns också där i de bägge signalerna in på divisionskretsen. Där kompenserar de varandra så  $K^*$  blir så gott som konstant. Ändras filtret i täljaren motsvarande har vi fått ett nytt system med filter som endast släpper igenom betydligt lägre frekvenser än de tidigare. Därför överges denna metod att bli kvitt överslängen för en som i stort sett eliminerar bidraget till täljaren från den högfrekventa egensvängningen. Detta räcker för att bli kvitt den obehagliga överslängen. Ett första ordningens filter med tidskonstanten  $0.1 \text{ s}$  dämpar egensvängningen mer än 10 gånger och släpper igenom den nyttiga signalen nästan oförändrad. Placeras ett sådant filter med överföringsfunktionen

$$F(s) = \frac{1}{1+0.1s} \quad (6.1.1.3.)$$

före likriktningen av den signal som representerar roderutslaget (*Figur 6.2*) försvinner överslängen i identifieraren och vi kan återgå till den tidigare kombinationen av dubbla symmetriska glättningfilter i täljare och nämnare.

*Fig. 6.2*

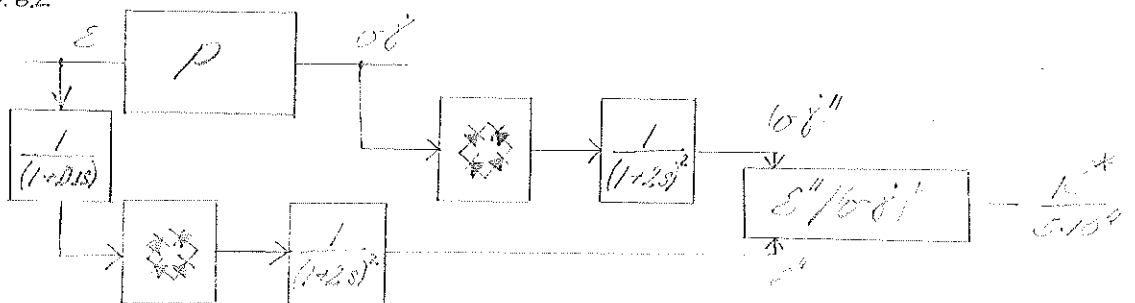


Diagram 8  
 $k^*$  samt  $\varepsilon$  och  
 $y_p$  efter likrikt-  
ning och lågpass-  
filtrering genom  
olika filter

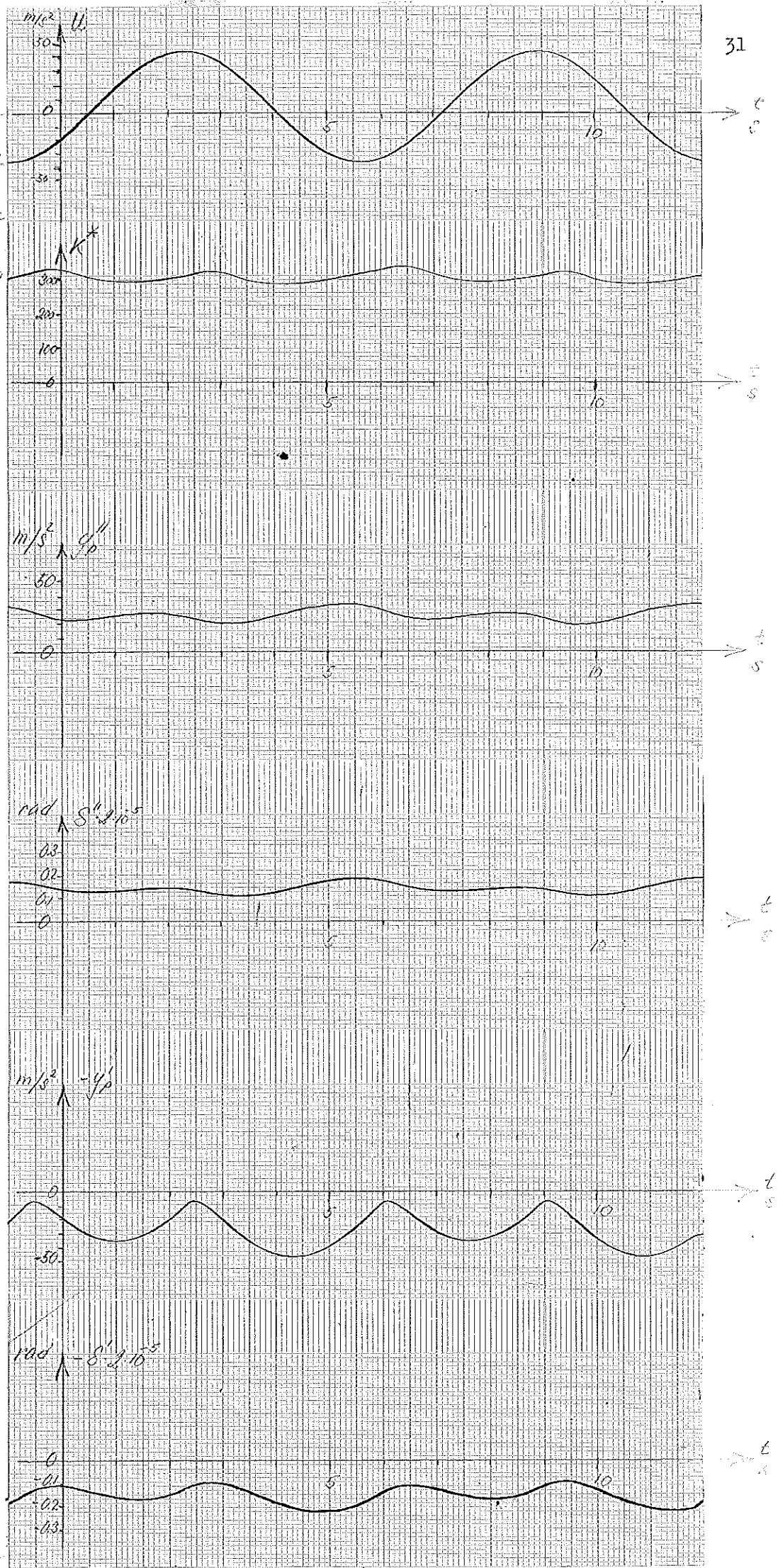
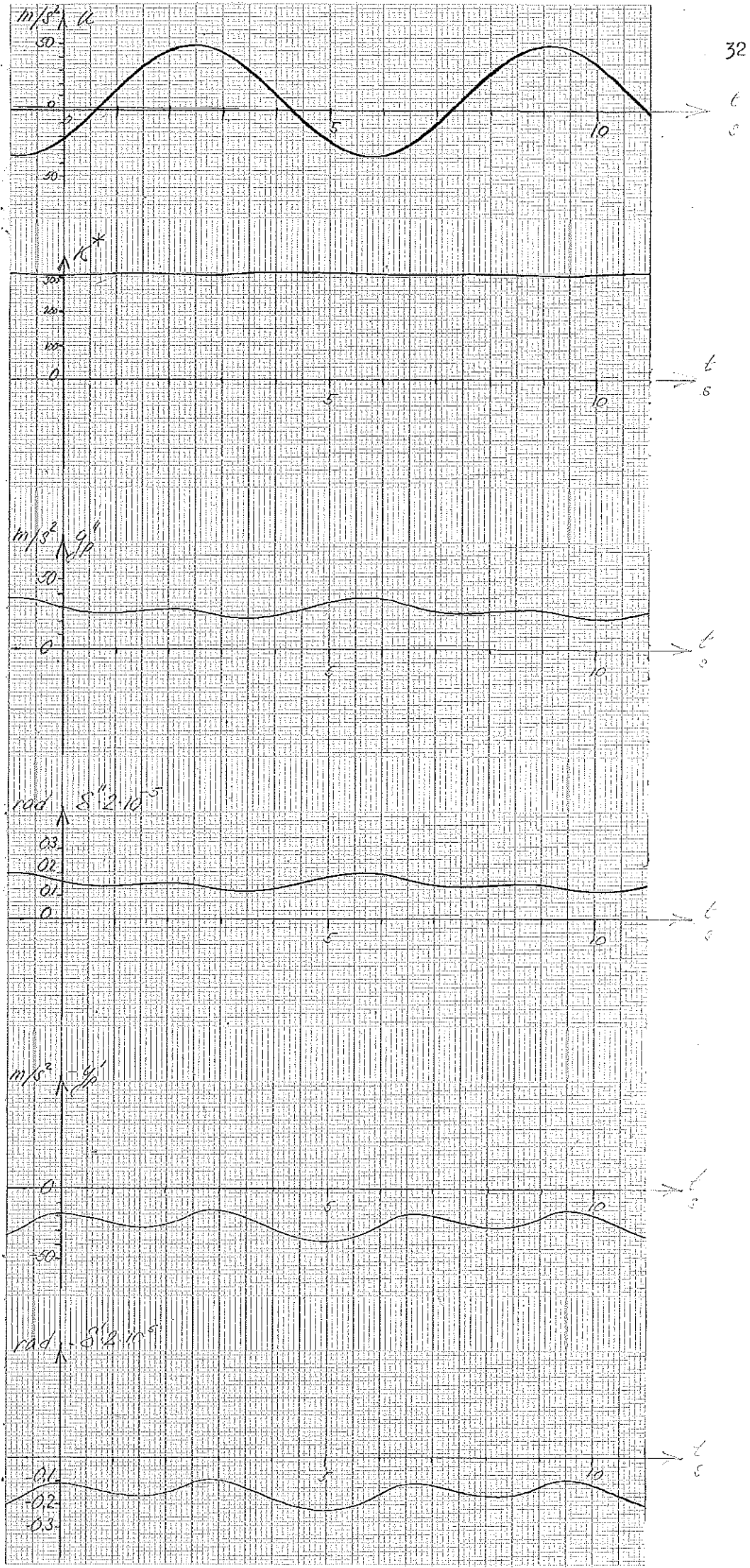


Diagram 4.  
 $K^*$  samt  $\epsilon$  och  
 $\gamma_p$  eller liknande  
 riktning och  
 löpansikt  
 rering genom  
 identiska bl-  
 len.



### 6.1.2. Avvägning mellan snabbhet och insignalberoende.

Glättningsfiltren efter likriktarna, vilka har till uppgift att filtrera fram den konstanta komponenten i de likriktade spänningarna har tyvärr den negativa inverkan att de nedsätter den hastighet med vilken skattningen  $K$  kan följa parametervariationerna. Antag att det ligger en konstant insignal på systemet. En variation av  $K$  kommer i huvudsak att kompenseras av den tidigare befintliga adaptiva mekanismen. I den mån detta sker kommer tväraccelerationen att hållas oförändrad medan förändringen i  $\frac{dK}{dt}$  helt återfinnes i roderutslaget. Denna förändring måste passera glättningsfiltret innan den kan ge utslag i parameterskattningen. Filtret före likriktaren har en brytfrekvens på  $\frac{2}{\pi}$  Hz och påverkar därför knappast inställningshastigheten, då glättningsfiltrets brytfrekvens ligger på  $\frac{1}{\pi}$  Hz. Det fall att den ursprungliga adaptiva mekanismen ej kompenserar för parameterförändringen blir helt analogt, bortsett från att förändringen i  $K^*$  istället kommer via tväraccelerationen. För att parameterförändringar snabbt skall ge utslag i identifieraren minskas tidskonstanten från 2 s till 0.4 s. Som synes i *Diagram 5* ger detta emellertid högst otillfredsställande fluktuationer i parameterskattningen  $K^*$  vid frekvensen  $\frac{1}{2\pi}$  Hz. Även vid så stora tidskonstanter som 1 s är fluktuationerna tydligt märkbara vid denna frekvens. Då variationer i  $K^*$  kommer att återföras direkt till processens ingång vore det mycket olyckligt att få en överlagrad lågfrekvent signal där. Därför behålles glättningsfiltren

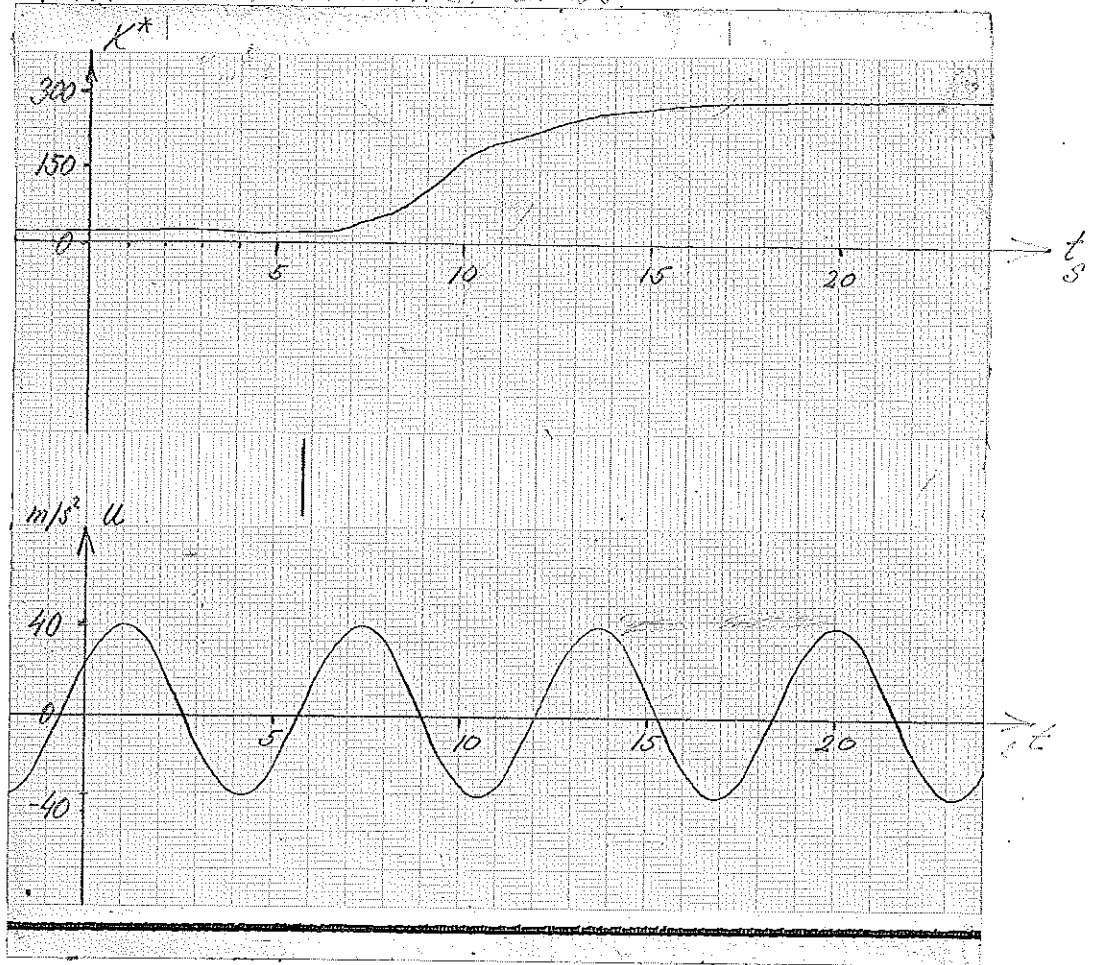
$$T_{0.4} = \frac{1}{(1-0.5)^2}$$

I *Diagram 5* ser vi tydligt hur filtrets tidskonstant påverkar tiden innan skattningen ställer in sig efter en stegförändring i  $\frac{dK}{dt}$ .

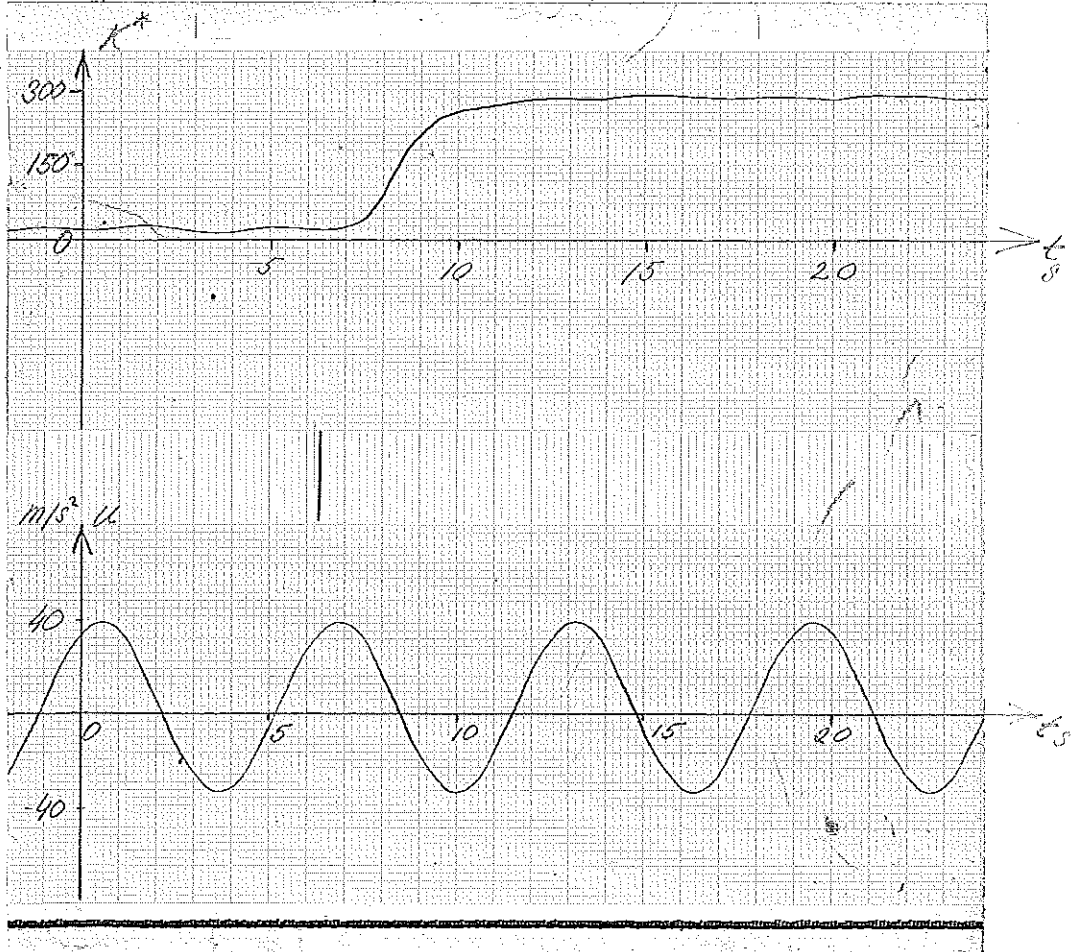
### 6.1.3. Identifikationsdelens egenskaper med hela systemet i funktion.

Då den återkoppling av identifikationsdelen som erhålles genom direktmatningen kan förändra identifikationen, bör denna studeras med direktmatningen i funktion. Den enda förändring som kunde märkas på identifikationen var dock att vissa *ansatser till små steg* i denna under själva uppbyggandet förstärktes. *Diagram 6.7* Det märktes endast just när en styrsignal precis lagts på processen. Det är klart att små steg som finns i  $K^*$  återföres dit. Genom direktmatningen hamnar de i  $\mathcal{E}$ . *Diagram 6.7* släpar efter  $\mathcal{E}$ . Därför kommer stegen, i den mån de passerar glätt-

Diagram E. Filterkonstantens inverkan på ställningens stigtid och fluktuationer hos  $K^*$  tidskonstanten i filteret är 8 s.



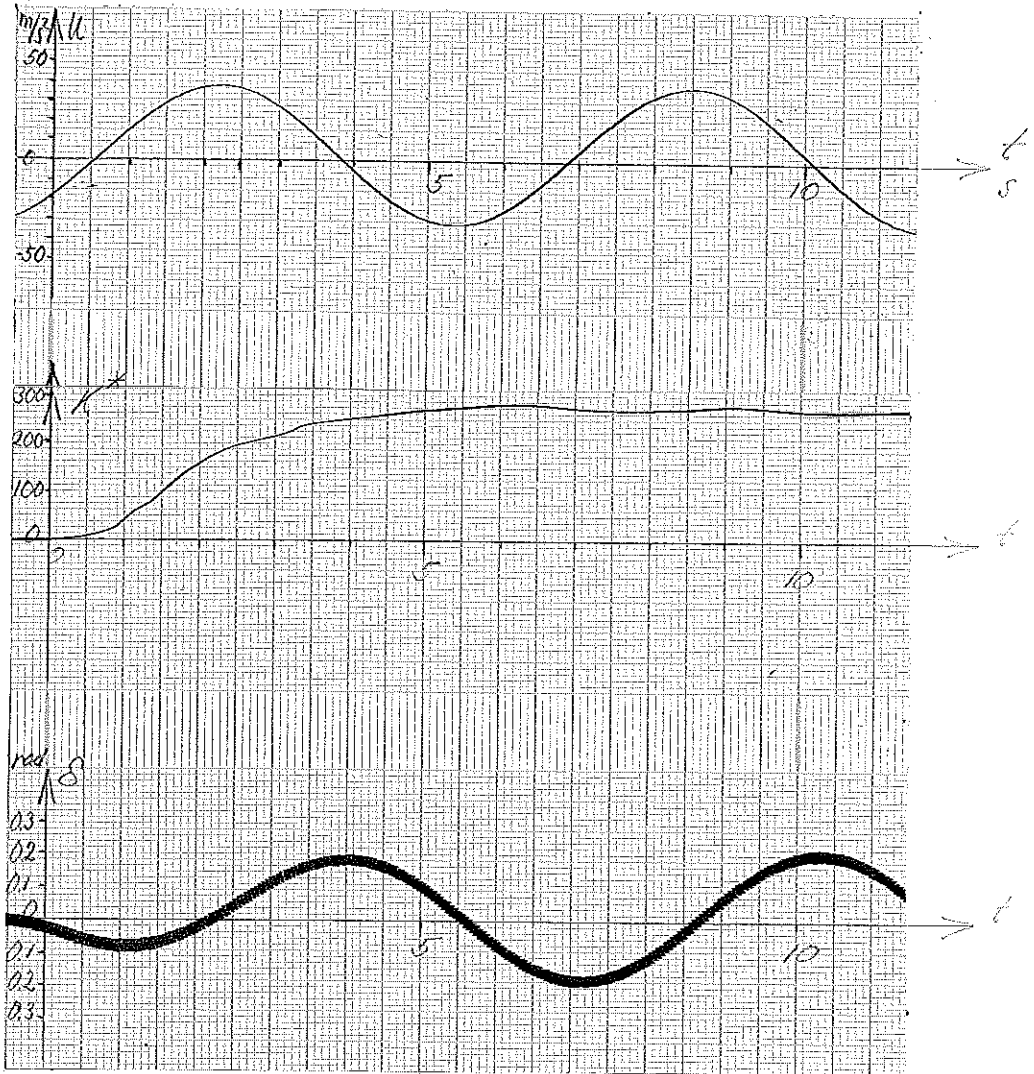
tidskonstanten i filteret är 1 s





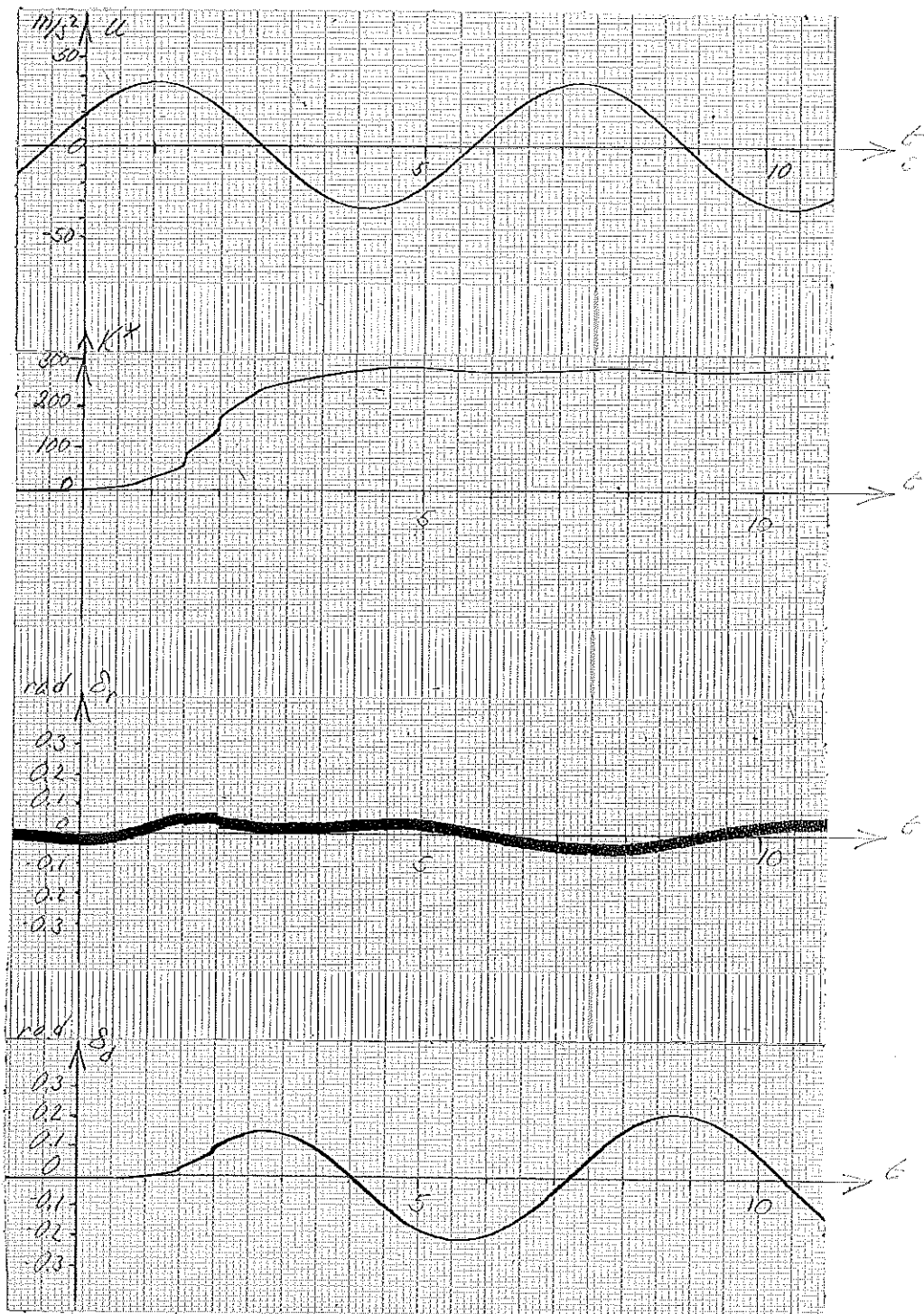
## Diagram 6

Identifikationsversuche mittels der Überkopplungen gemäß Antriebsstruktur unten.



## Diagram 7

Identificerens utvärdering på direkt-  
mätningens ingång



ningsfiltren, att ge utslag i  $K^*$ . Dessa dämpar sådana signaler så mycket att de ej verkar besvärande. Skattningen  $\frac{K^*}{5 \cdot 10^4}$  skall representera inversa parameterförstärkningen vid styrsignalens frekvens. För att valet av skattning skall kunna anses lyckat bör emellertid  $K^*$  uppvisa någorlunda lika värden för styrsignaler av olika frekvenser inom det tänkbara frekvensområdet. Som riktvärde för  $\frac{K^*}{5 \cdot 10^4}$  kan då t.ex. tas inversa processförstärkningen vid frekvensen noll dvs.  $\frac{2178}{5 \cdot 10^4}$  Ävruñ-. dat kan  $\frac{21}{\epsilon}$  tas som riktvärde för  $K^*$ .

Av skäl som angavs i 6.1.2. är det nog med att  $K^*$  inte innehåller överlagrade svängningar.

Vid stora värden på  $\frac{21}{\epsilon}$  följer  $K^*$  väl detta riktvärde. Vid  $\frac{21}{\epsilon} = 10^3, T=3$  varierar  $K^*$  från detta värde med mindre än 4 enheter i hela frekvensområdet från  $\omega = 0.5'$  till  $\omega = 10.5'$ . Den största överlagrade svängningen uppmättes vid  $\omega = 0.5'$  till en amplitud av 2 enheter. Vid  $\frac{21}{\epsilon} = 50, T=3$  var motsvarande variationsområde för  $K^*$  144 till 154. Den största överlagrade svängningen uppmättes vid samma frekvens som tidigare med samma amplitud. Vid lägre värden på  $\frac{21}{\epsilon}$  skiljer värdena för de olika frekvenserna på sig.

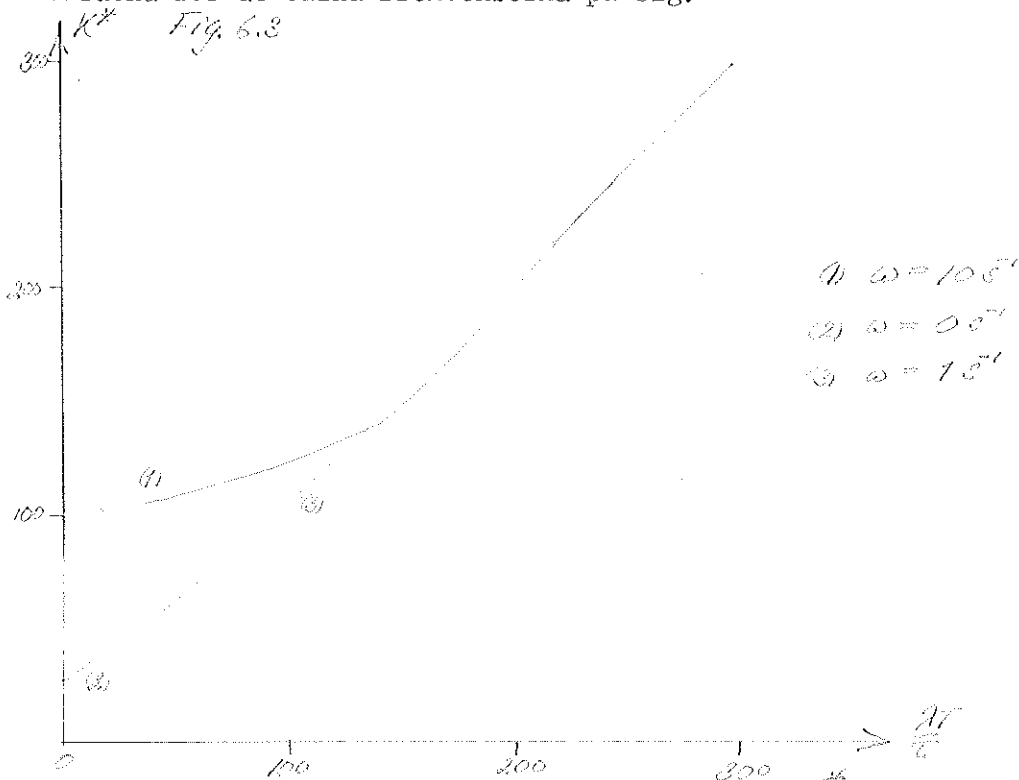


Fig. 6.3 ger en antydning om variationsområdet för  $K^*$ . För låga frekvenser ansluter  $K^*$ -värdena mycket nära till dem för  $\frac{21}{\epsilon}$ . Vid  $\omega = 0.5'$  uppmättes däremot för  $\frac{21}{\epsilon} = 0$  en maximal överlagrad svängning, med en amplitud på 0.25 gånger värdet för  $K^*$ . De största felen er-

hålles uppenbart för små värden på  $\frac{\lambda}{\tau}$  och  $K^*$ . Detta är positivt, ty det innebär att direktmatningen har sin minsta betydelse när felen är som störst. Om man enbart tar överensstämmelsen mellan  $\frac{\lambda}{\tau}$  och  $K^*$  som godhetskriterium för identifieraren verkar det vara mycket olämpligt med styrsignaler som innehåller högfrekventa komponenter. Det viktiga kravet på identifieraren är emellertid att den skall få direktmatningen att fungera väl.

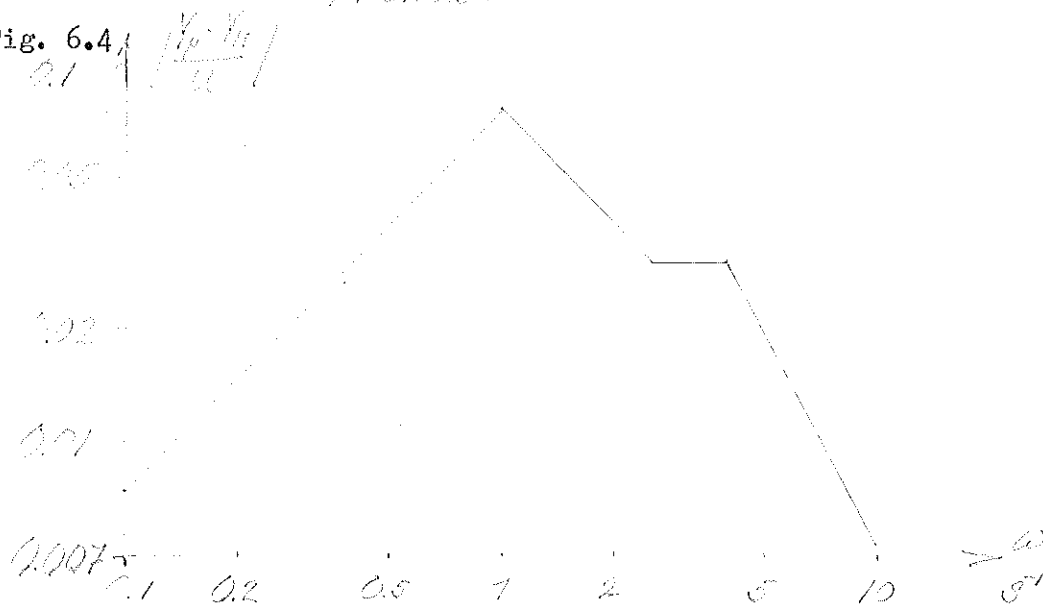
## 6.2. Systemfelet i det direktmatade systemet.

### 6.2.1. Systemfelet vid fasta parametervärden.

Systemfelet är i det ursprungliga adaptiva systemet en funktion av frekvensen enligt följande approximativa formel. (Se ref )

$$\frac{Y_n - Y_p}{U} = \left( 1 - \frac{1 + \frac{0.0510029}{1 + 0.0228} (1 + 1.5s)}{1 + \frac{0.0510029}{1 + 0.0228} (1 + 7s)} \right) \frac{1}{1 + 0.0228} \quad (6.2.1.1.)$$

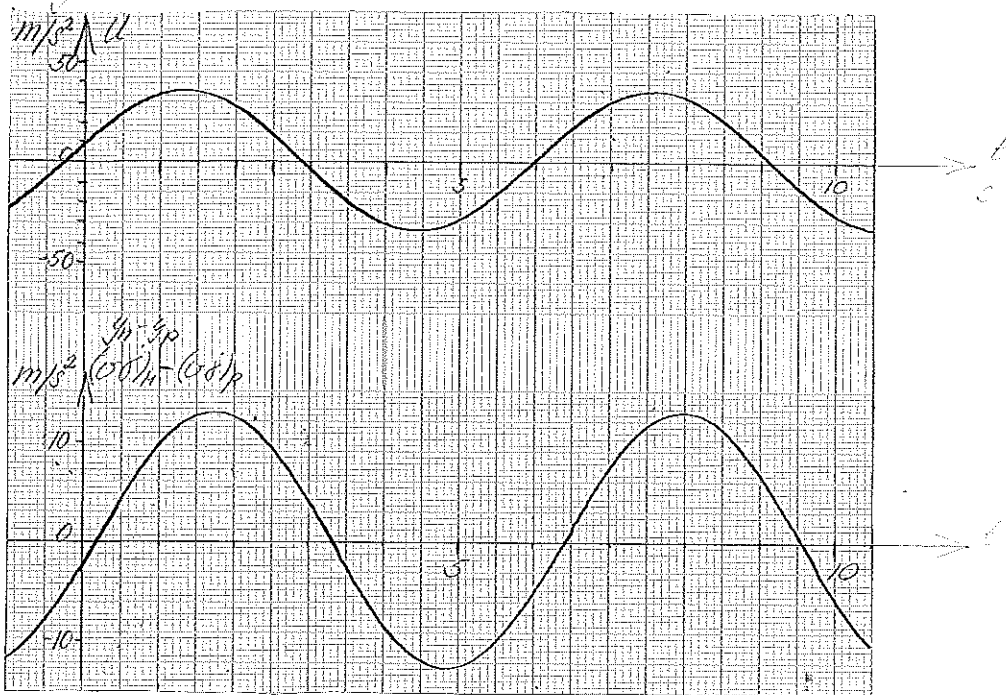
Fig. 6.4



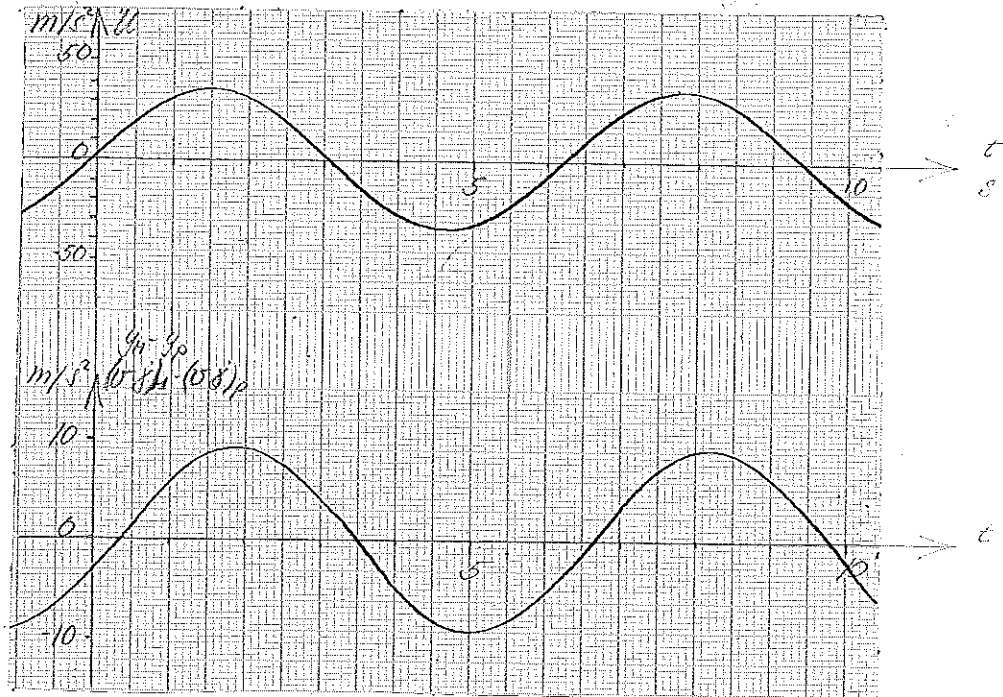
System felet har sitt maximum vid modellens brytfrekvens, som för detta system ligger vid  $\omega = 1 \text{ s}^{-1}$ . Vid den vinkelhastigheten har den största skillnaden kunnat iakttagas, mellan felen i systemen med respektive utan direktmatning. (Se diagram 8). Dämpningen av felet är, relativt insignalen, utan direktmatning 9.9 dB och med denna inkopplad 12.6 dB vid  $1 \text{ s}^{-1}$ . Med den "direkta" signalvägen blir alltså förbättringen i bästa fall en ytterligare dämpning av felet om 2.7 dB. Detta gäller i fall då reläet ej överstyres. Vid en överstyrning av detta kommer reläets småsignalförstärkning att

# Diagram 8

System total utan direktledning av  $1/5^4$



System total vid direktledning av  $1/5^4$



minska och därmed också kretsförstärkningen. Blir så fallet får felkurvan (fig. 6.4) en högre topp än annars. Detta riskeras inte så lätt vid direktmatning, då styrsignalen till större delen passerar vid sidan av reläet. För låga och höga frekvenser inverkar direktmatningen ej på systemet. Vid den lägsta vinkelhastighet som kunde erhållas med apparaturen, 0.3 radianer per sekund, var skillnaden mellan felen hos de bägge systemen så låg som 1.4 dB och vid 10 radianer per sekund var den ej uppmätbar.

#### 6.2.2. Systemfelet då parametervärdena varierar.

Parametrarna i processen varierades under försöken dels med switchar, dels med potentiometrar. Alla sådana förändringar skedde för hand. Till stegen som alstrades med switcharna finns ingen motsvarighet i verkligheten, då alla robotens parametrar ändras kontinuerligt. Stegen har emellertid interesse då det gäller att jämföra de bägge systemen med varandra. Det ursprungliga adaptiva systemet visade sig vara avsevärt snabbare att kompensera dessa parameterförändringar än identifieraren att registrera dem och direktmatninge fick sålunda ej någon på det omedelbara insvängningsförloppet efter förändringen. (Se diagram 9 och 10)

I en robot varierar  $T$ ,  $A$  och  $\sigma$  alltid kontinuerligt (kap. 2.1.3.) För att simulera sådana variationer gjordes körningar på analogmaskin där potentiometrar vreds för hand för att simulera parameterändringar. Önskemålet var att få dessa linjära, för jämförelses skull, men vid flera körningar av samma försök varierade resultatet alltid något. Parameter-skattningen blev kraftigt fördröjd i förhållande till börvärdet men ändå fick direktmatningen viss inverkan på processen. Dock inte på systemfelet, eftersom dessa försök gjordes med konstant insignal. Istället kom en viss omfördelning av signalvägarna inom systemet till stånd, så att en del av styrsignalen till rodret nu kom via direktmatningen istället för via reläet. Hur stor del av signalen som passerar reläet anges grovt av den relativa avvikelsen av  $K^*$  från dess börvärde. (Se diagram 11) De snabbaste parameterändringar som kunde göras med bibehållande av lineariteten var när  $\frac{37}{100}$  fick löpa genom hela variationsområdet från 0 till 300 på 3.5 sekunder. Då passerade under hela parameterändringen mindre än hälften av den maximala styrsignalen reläet medan resten kom via direktmatningen. När  $K^*$  stabiliserat sig vid sitt maximala värde minskade den del av signalen som kom från reläet och direktmatningen fick föra praktiskt taget hela rodersignalen.

Diagram 9 Förändringar i  $V_{10}$ ,  $K^*$ ,  $S_r$  och  $S_d$  i direktmatat system vid stegvis ökning av  $\lambda$ .  $T=2$ . För  $t < 0.35$  är  $\lambda=100$ ,  $0.35 < t < 8.55$  är  $\lambda=0$ ,  $8.55 < t$  är  $\lambda=100$ .

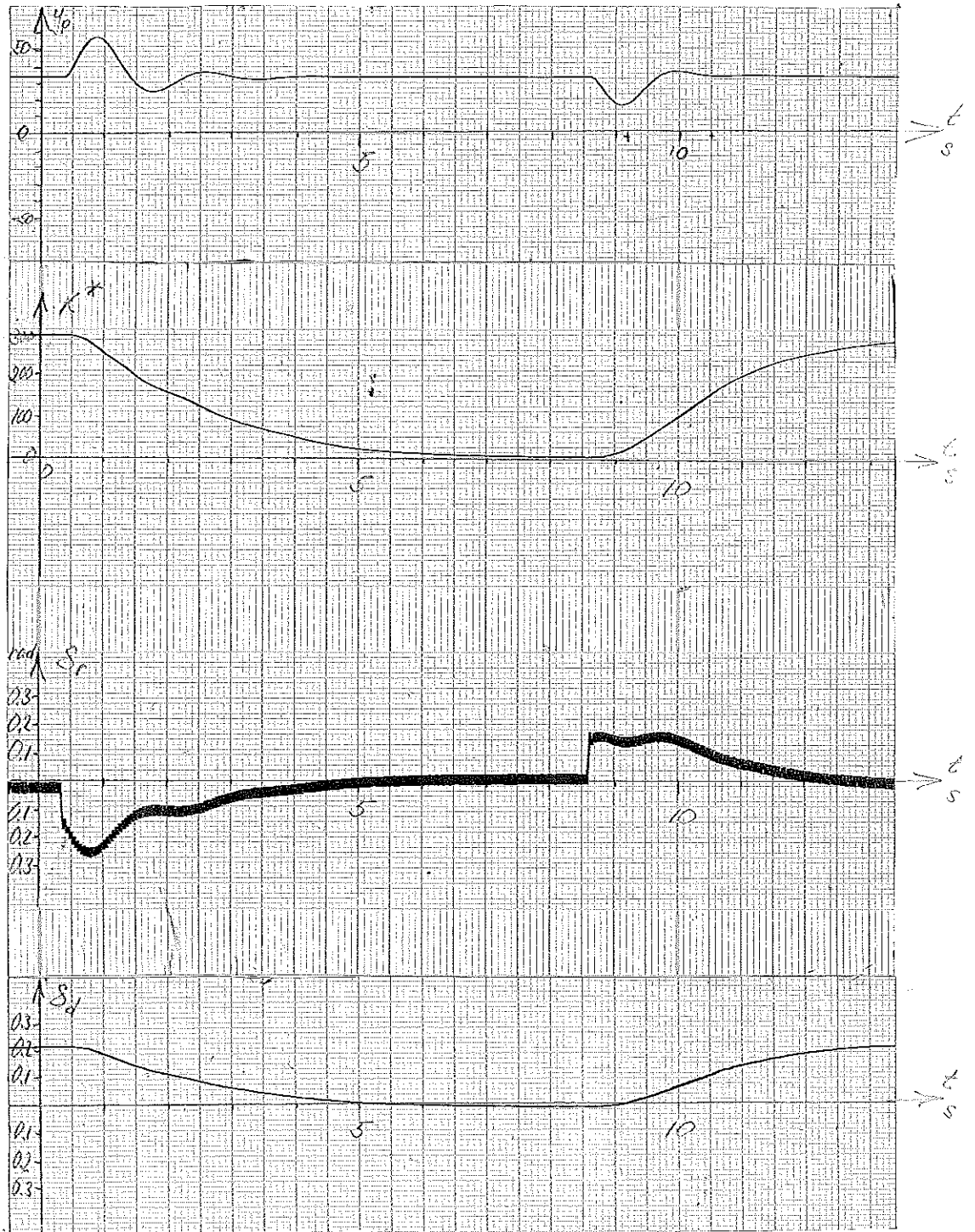


Diagram 10 Förförändringar i  $y$  och  $\dot{y}$  vid en ändring av systemet vid tagna övriga  $t = 3$ .

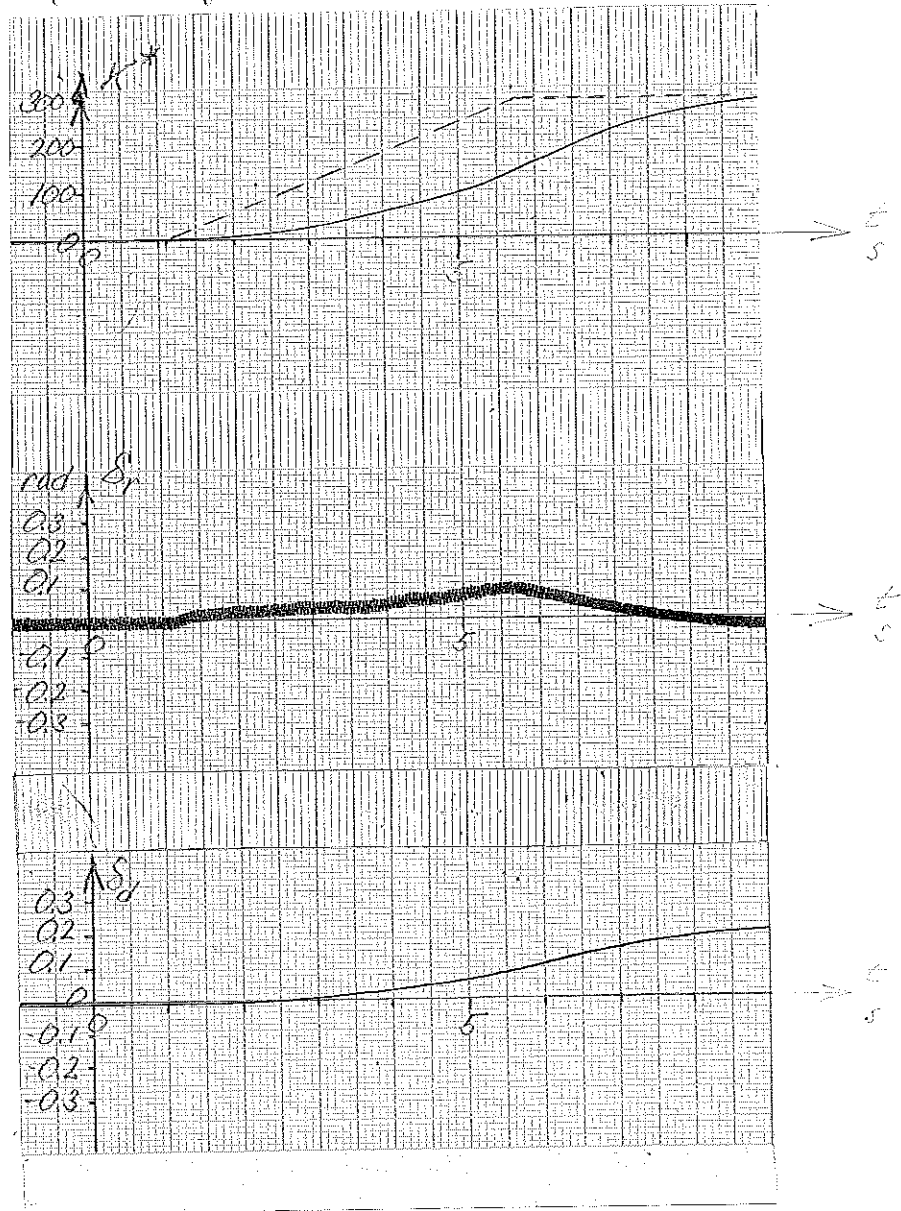
För  $t < 3$   $\dot{y} = 100$ ,  $0.10 < t < 8.15$ ,  $\dot{y} = 0$ ,  
 $8.15 < t$   $\dot{y} = 100$





Diagram II Parametervariationen  
och raderutslaget för direktmatat  
system vid rampöndring av  $\frac{\Delta T}{\tau}$ .

Streckade linjen visar börsvärdets för  $K^*$   
ungelärlig variation.



6.3 Förändringar i systemets beteende då identifieraren ersättes med en ideal sådan.

### 6.3.1. Systemfelet vid fasta parametervärden.

Det främsta problemet med parameterskattningen är eftersläpningen, som kan indelas i två typer. Den som gör sig gällande när  $K^*$  skall anta det värde som svarar mot processparametrarnas begynnelsevärde är mindre än den som framkommer då skattningen skall följa parametervariationer. (Se diagram 6 och 9) Nivån på de stora  $K$ -värdena kan anses acceptabel. (Kap. 6.1) Vid små värden på parametrarna antar emellertid skattningen ett större värde än önskvärt och i vissa fall blir dessutom en svängning överlagrad parameterskattningen. Med en mer avancerad behandling av de värden som uppmättes på processen skulle kunna fås en skattning som bättre svarar mot uppställda önskemål i kapitel 6.1. För att utröna betydelsen av felet i storlek hos  $K^*$ , samt av den överlagrade svängningen ersattes värdet från identifieraren med ett från en potentiometer. Denna inställdes innan körningen på värdet  $\frac{\lambda T}{v}$ . Vid stora värden på  $\frac{\lambda T}{v}$  förlopte försöket, bortsett från själva starten, på identiskt samma sätt som det där identifieringen skedde automatiskt. Skattningen antog ju då ett mycket exakt värde utan fluktuationer. Vid små värden på parametrarna kunde inte heller några förändringar iakttagas vid införandet av den "ideala" parameterskattningen. Direktmatningen hade då ju endast en liten betydelse.

## 7. Resultat.

### 7.1. Bedömning av systemet.

#### 7.1.1. Systemfelets storlek bedömningsgrund.

Som kriterium för bedömning av systemet sattes systemfelets storlek. Den förbättring som uppnåtts beträffande systemfelet (kap.6.2.1) är inte ensamt av den storleksordningen att den motiverar införandet av en så stor komplikation som direktmatningen innebär.

#### 7.1.2. Direktmatningen ändrar signalvägarna.

Ett visst problem i det ursprungliga systemet var risken för överstyrning av reläet. Sådan överstyrning resulterar i en sänkning av kretsförstärkningen med en därav följande ökning av systemfelet. Direktmatningen minskar emellertid risken för överstyrning, då den medger att likspänningskomponenten av signalen till rödret i huvudsak passerar vid sidan av reläet. Risken att råka ut för den betydligt allvarligare roderöverstyrningen påverkas inte alls av direktmatningen.

#### 7.1.3. Identifieringens betydelse för systemets godhet.

Den konstruktion för direktmatning som prövats har varit en enkel multiplikation. Det har under försöken framkommit att den enkla form av direktmatning som använts knappast skulle vara betjänt av att matas med en mera precis information än den som erhålles genom divisionskretsen. Däremot skulle en parameterskattning som snabbare följer förändringar kunna ytterligare minska risken för överstyrningar av reläet.

### 7.2. Förslag till vidare arbete.

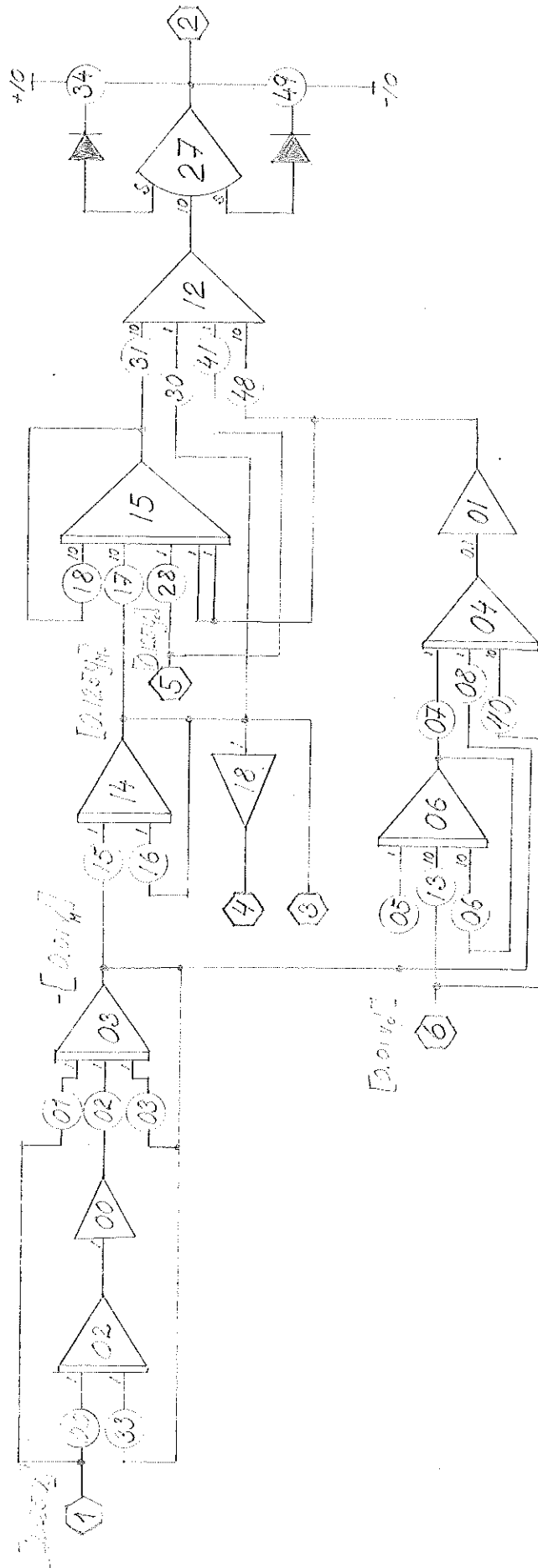
Den metod med direktmatning som prövats hade inte så mycket att ge på grund av systemets förmåga att eliminera störningar utifrån. En annan tänkbar metod att minska felet med hjälp av uppmätt värde på  $T$  blir uppenbar om man närmare betraktar uttrycket för systemfelet (Ekv. 6.2.1.1.)

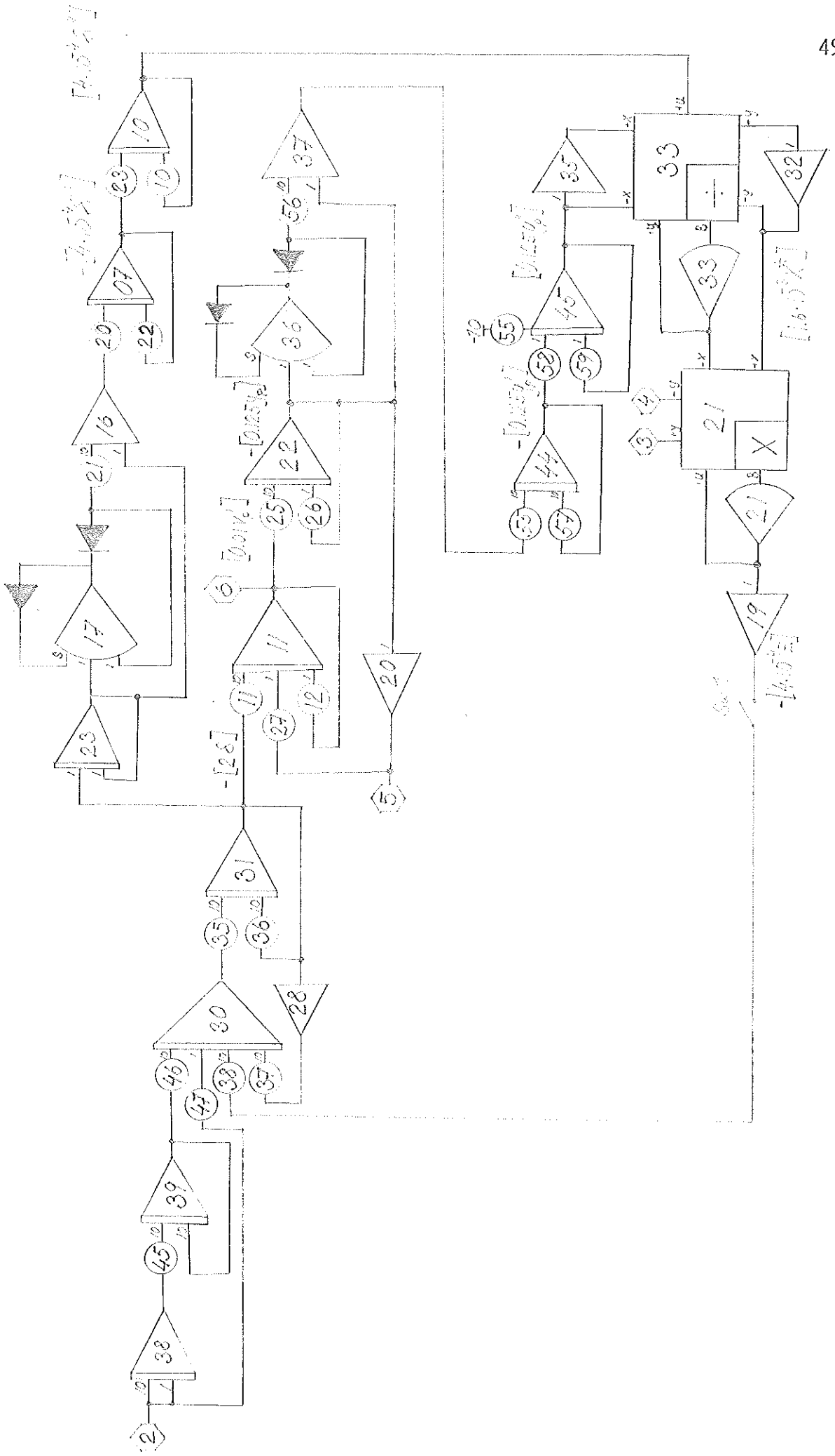
$$T_1 = 1.5$$

$$\frac{Y_H - Y_P}{u} = \frac{(T - T_1)s(0.05 + 0.02s)}{1 + 0.02s + (1 + Ts)(0.05 + 0.02s)} \quad (7.2.1)$$

$T_1$  är det värde som användes i fasavanceringen i modellen samt i lågpasfiltret efter denna. Om man istället för ett fastlagt värde på  $T_1$  skulle använda ett ur processen direkt uppmätt värde på  $T$  borde detta ge en minskning av felet för  $T$ -värden som skiljer sig från 1.5 .  $T$  är som visas i kapitel 4.3 Möjlig att bestämma ur den högfrekventa egensvängningen.







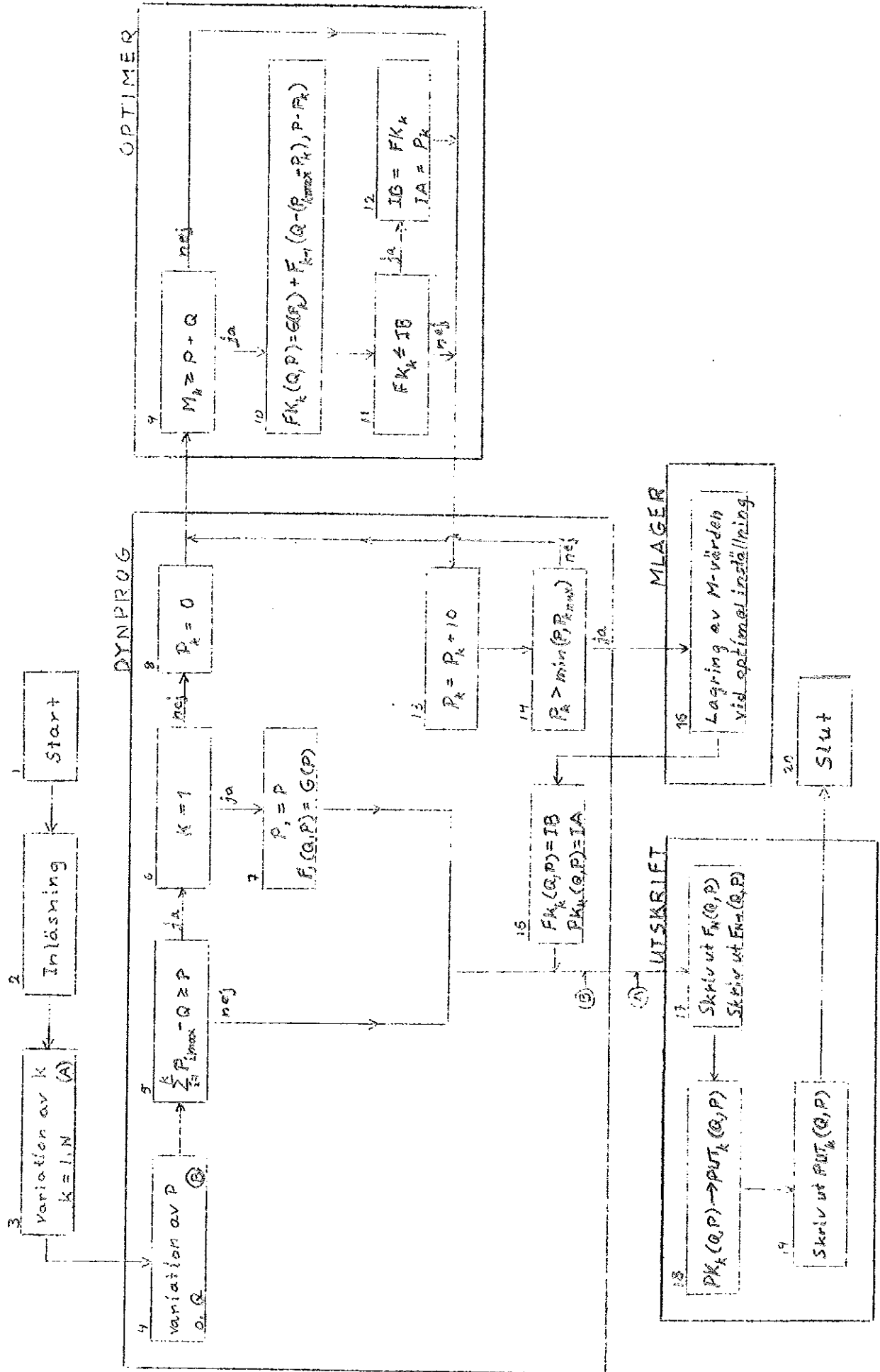
## Potentiometerlista.

Pot. nr	Värde	Pot. nr	Värde
00	1000	30	5000
01	0100	31	4800
02	0080	32	-
03	1000	33	1250
04	0395	34	2300
05	3125	35	9999
06	5000	36	9999
07	9500	37	9999
08	6250	38	1000
09	-	39	-
10	1000	40	6250
11	8332	41	5000
12	1000	42	1000
13	3125	43	-
14	-	44	-
15	8335	45	2000
16	0667	46	9999
17	1000	47	2000
18	9999	48	1000
19	8928	49	2300
20	9999	50	9999
21	2000	51	-
22	1000	52	-
23	1000	53	-
24	-	54	-
25	4175	55	1000
26	0333	56	2000
27	8000	57	1000
28	1000	58	1000
29	-		



Litteraturförteckning

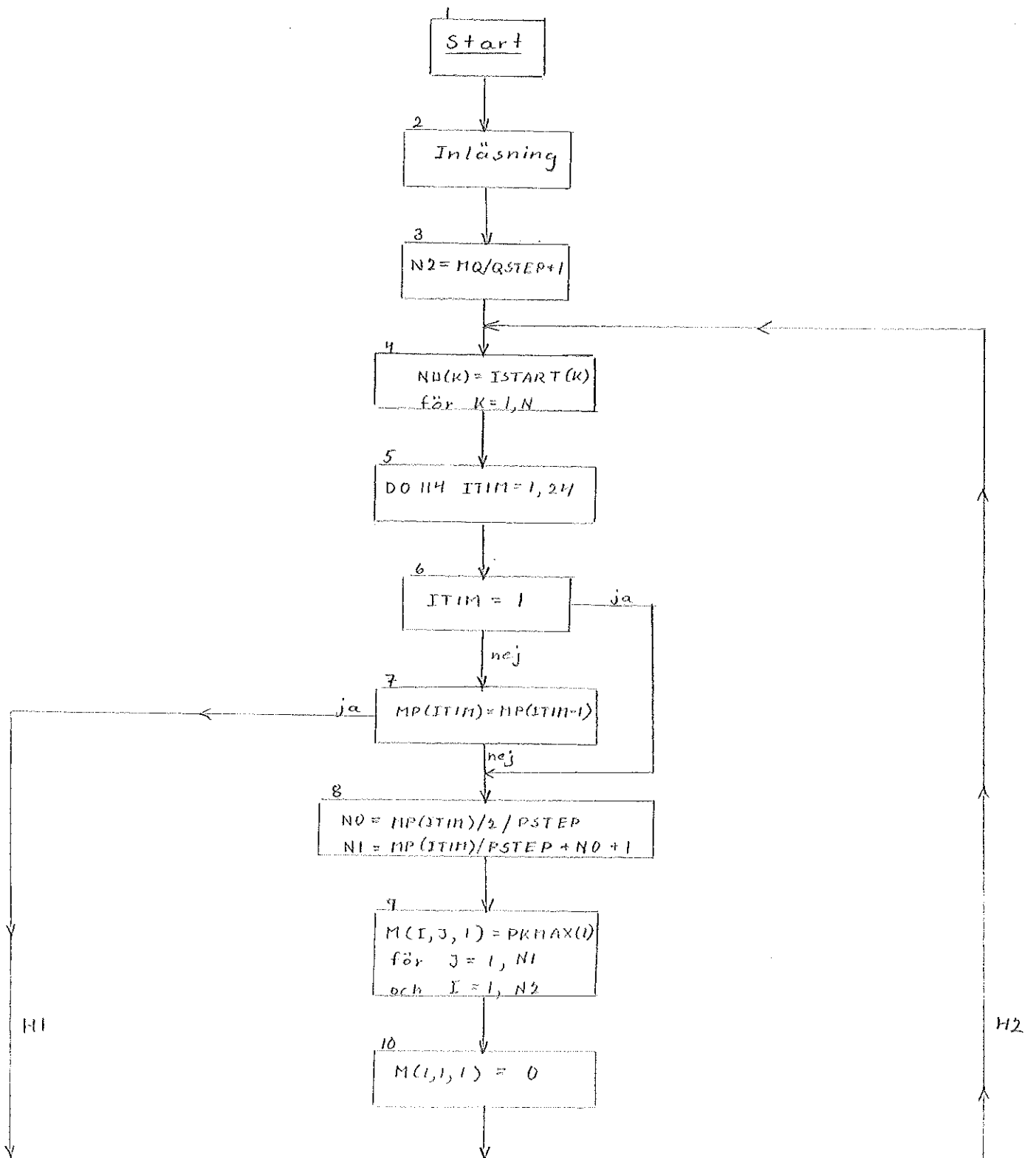
1. Andesson ,Torin: Dimensioneringsexempel på användningen av ett relä som automatisk parameterregulator. SAAB 1961
2. Blakelock: Automatic control of aircraft and missiles
3. Mishkin, Brown: Adaptive control systems
4. SAAB - SEDA - metodik
5. Stallard : IEEE transactions on automatic control. July 1966
6. WADC technical report 59-49

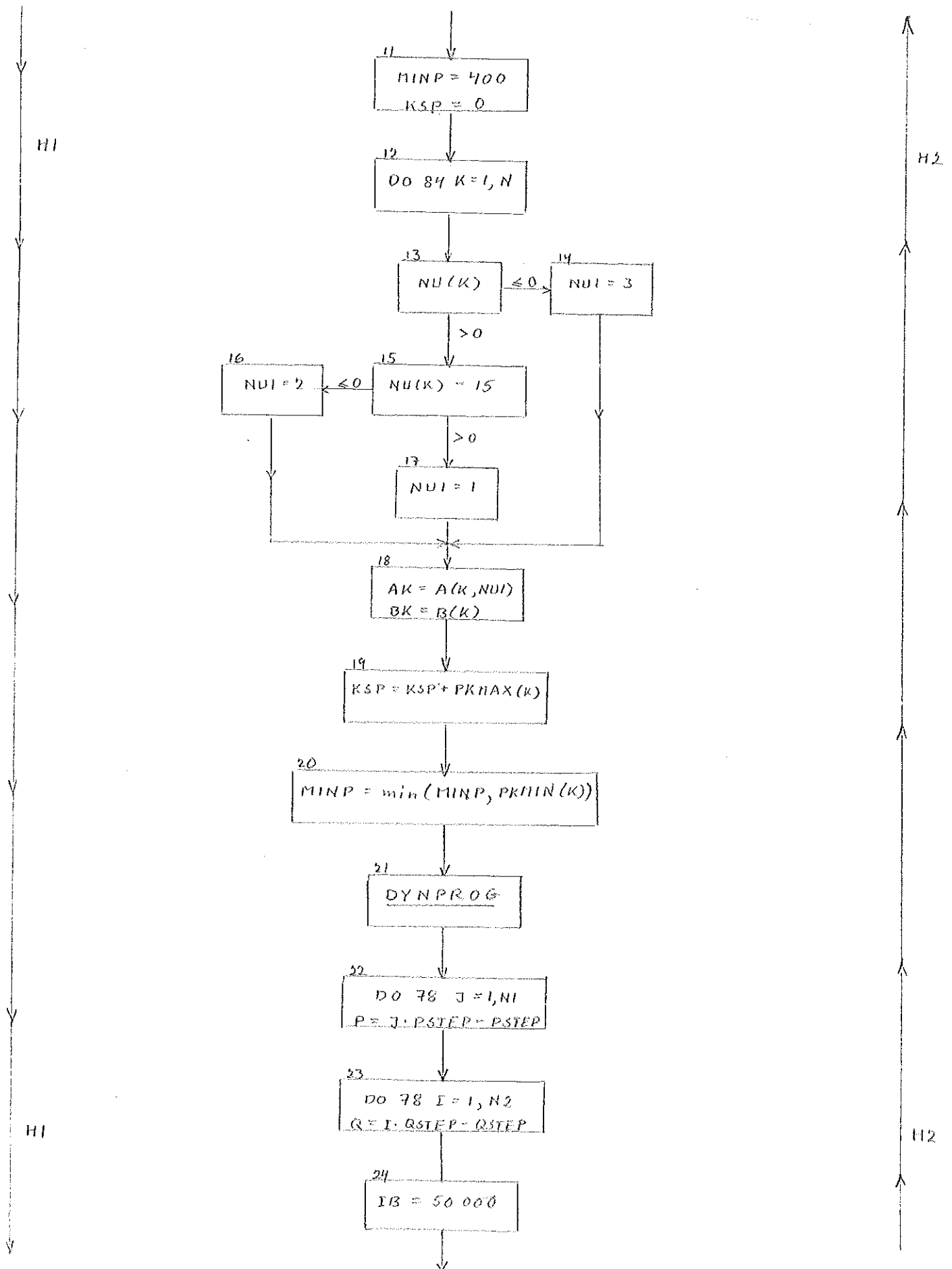


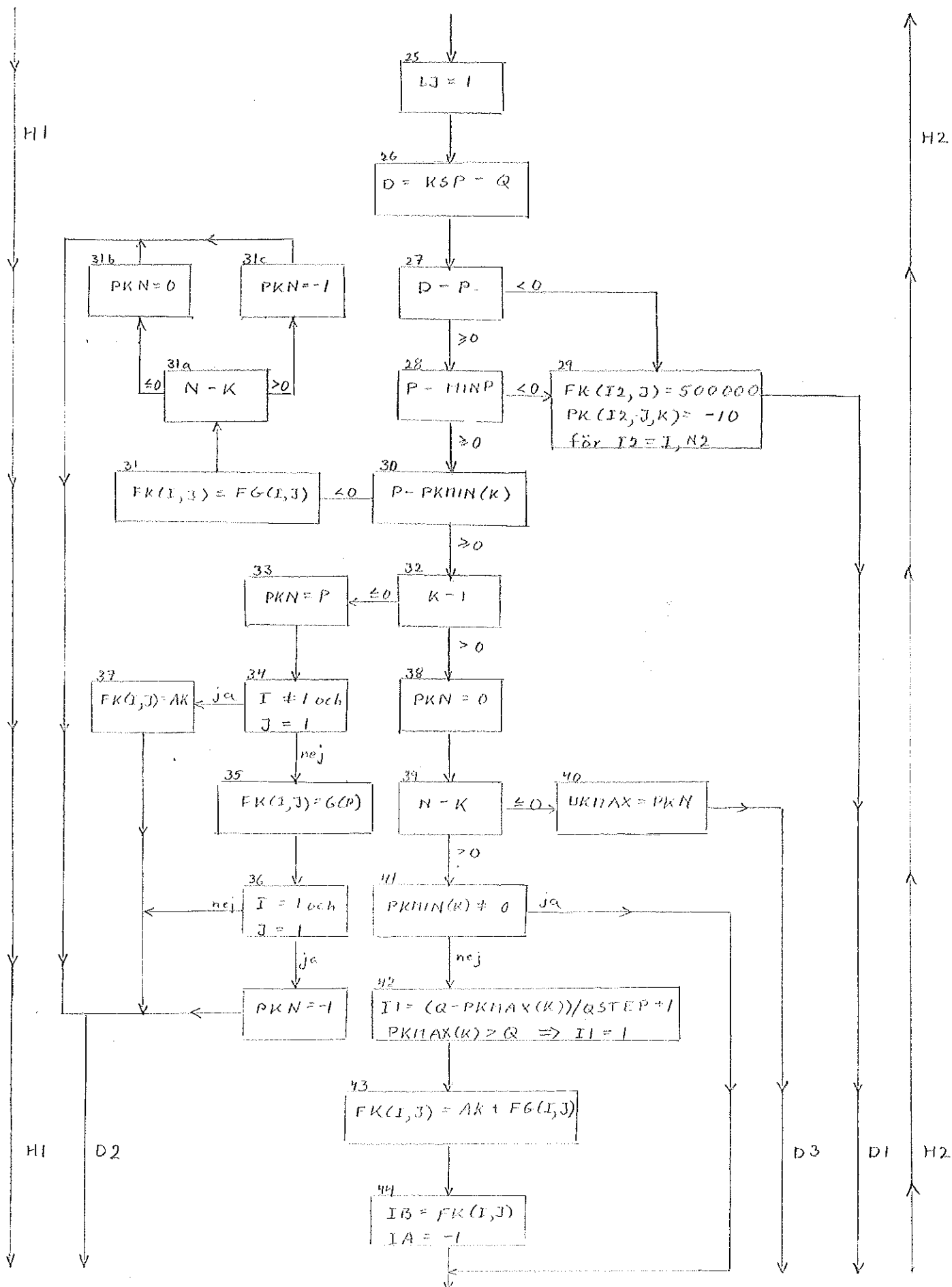
## APPENDIX 2

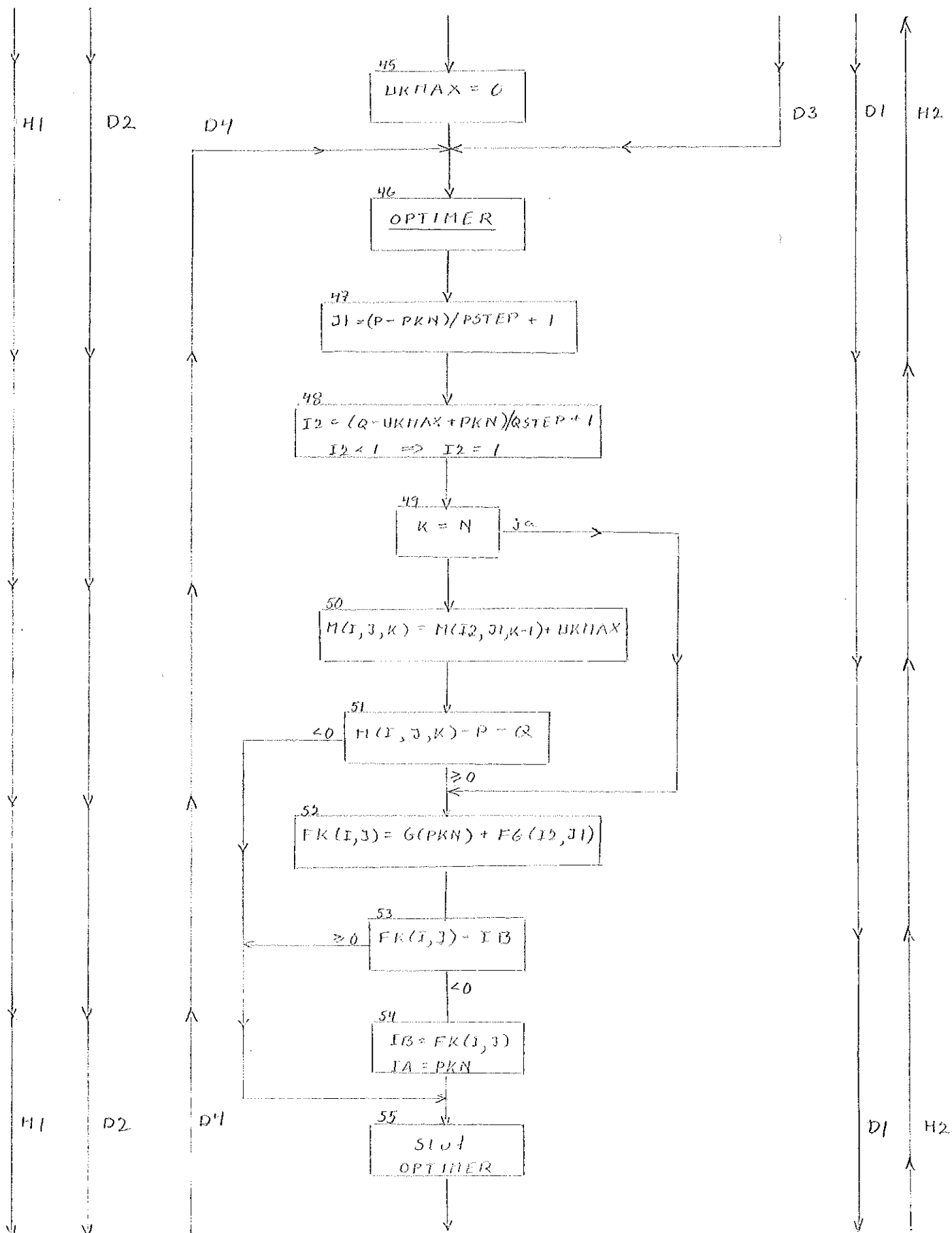
## Detaljerat flödesschema

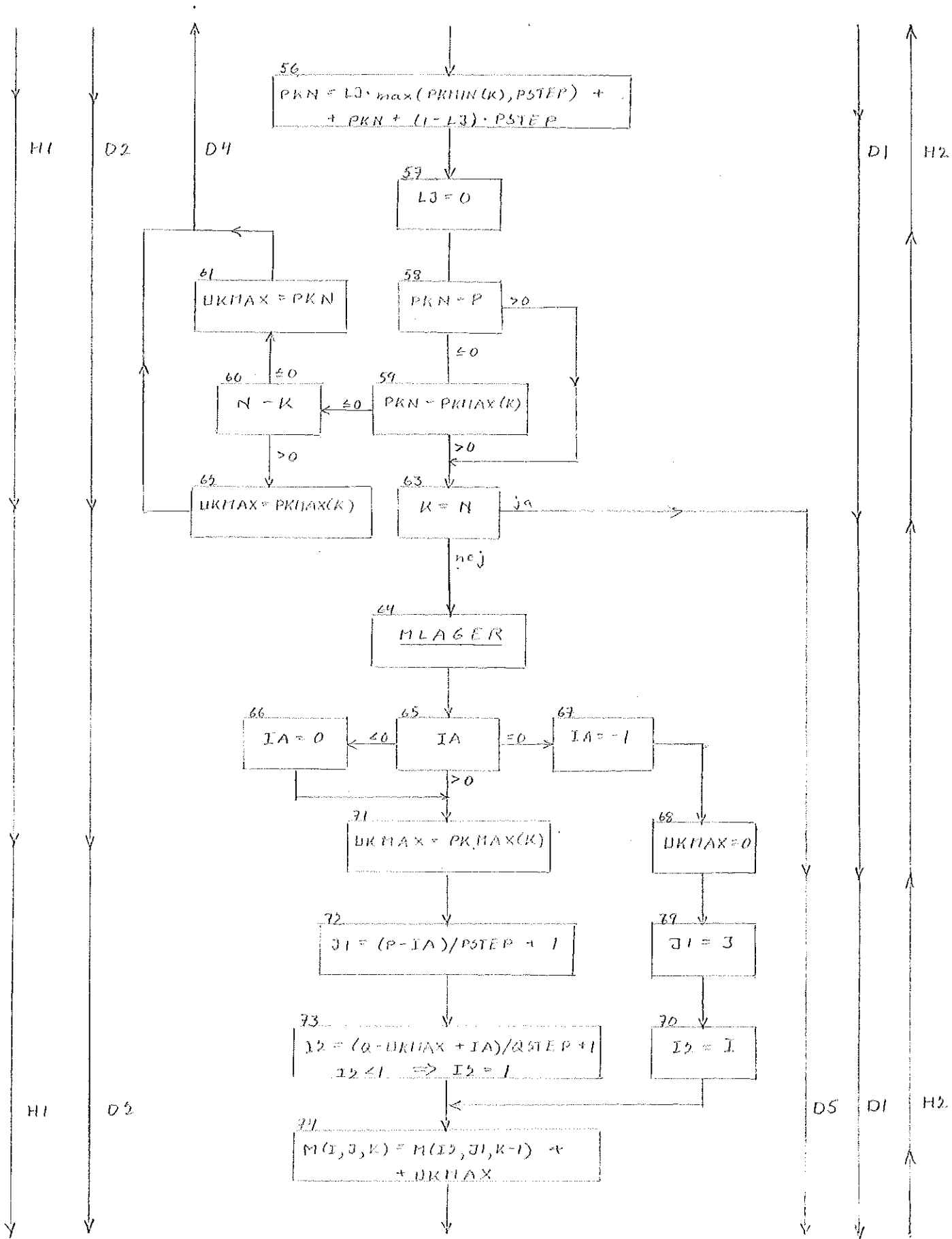
## Prognos-metoden

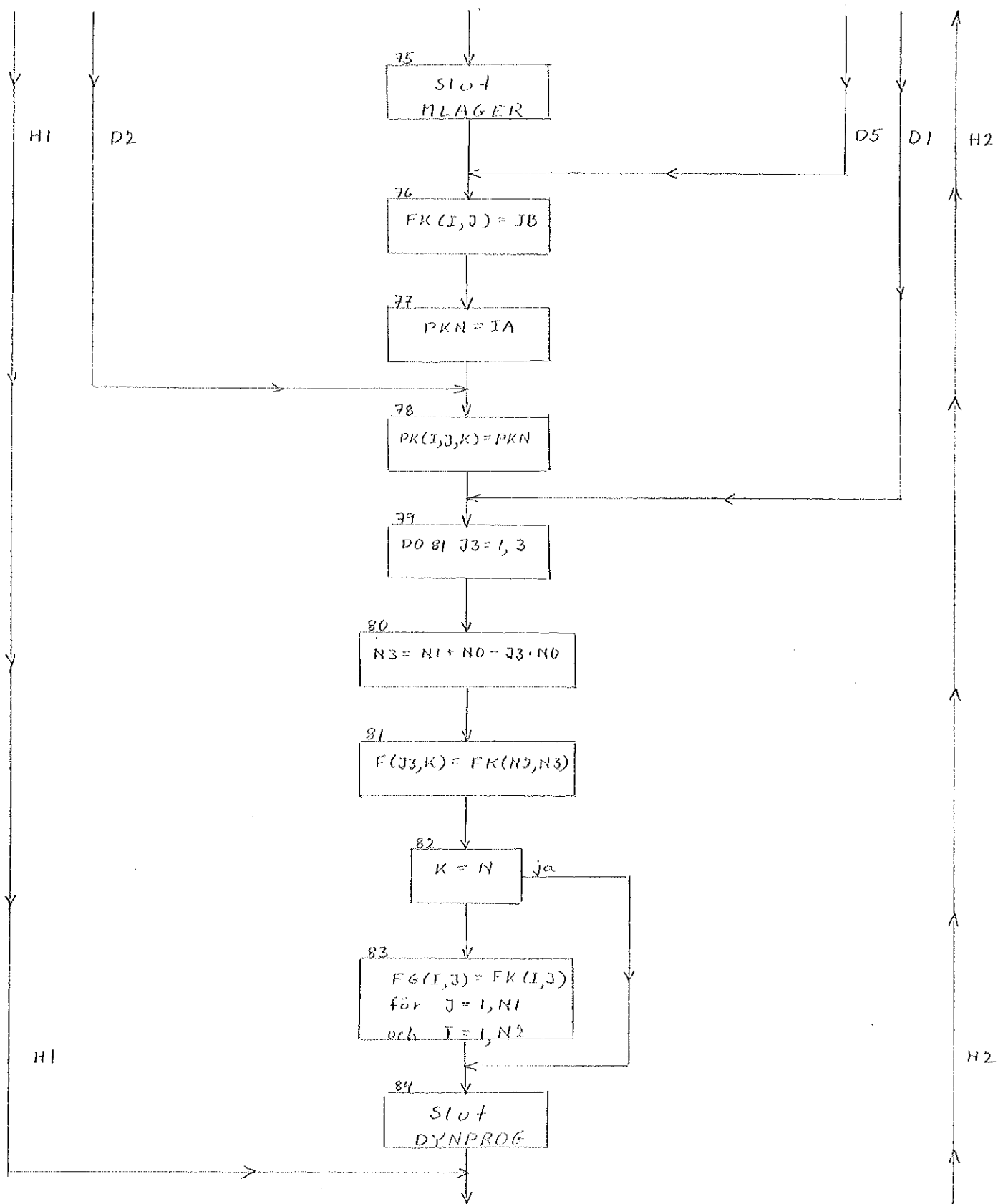




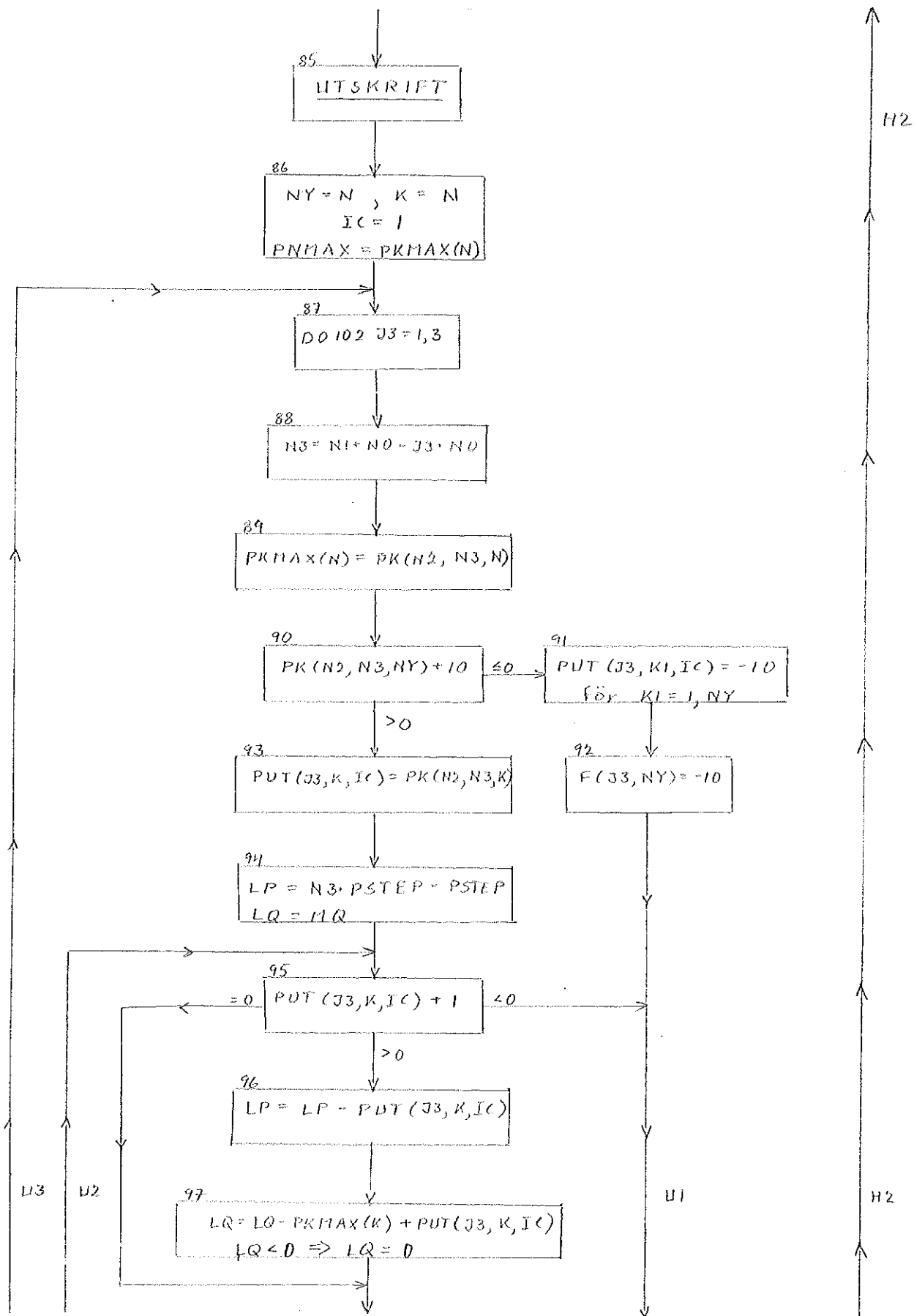


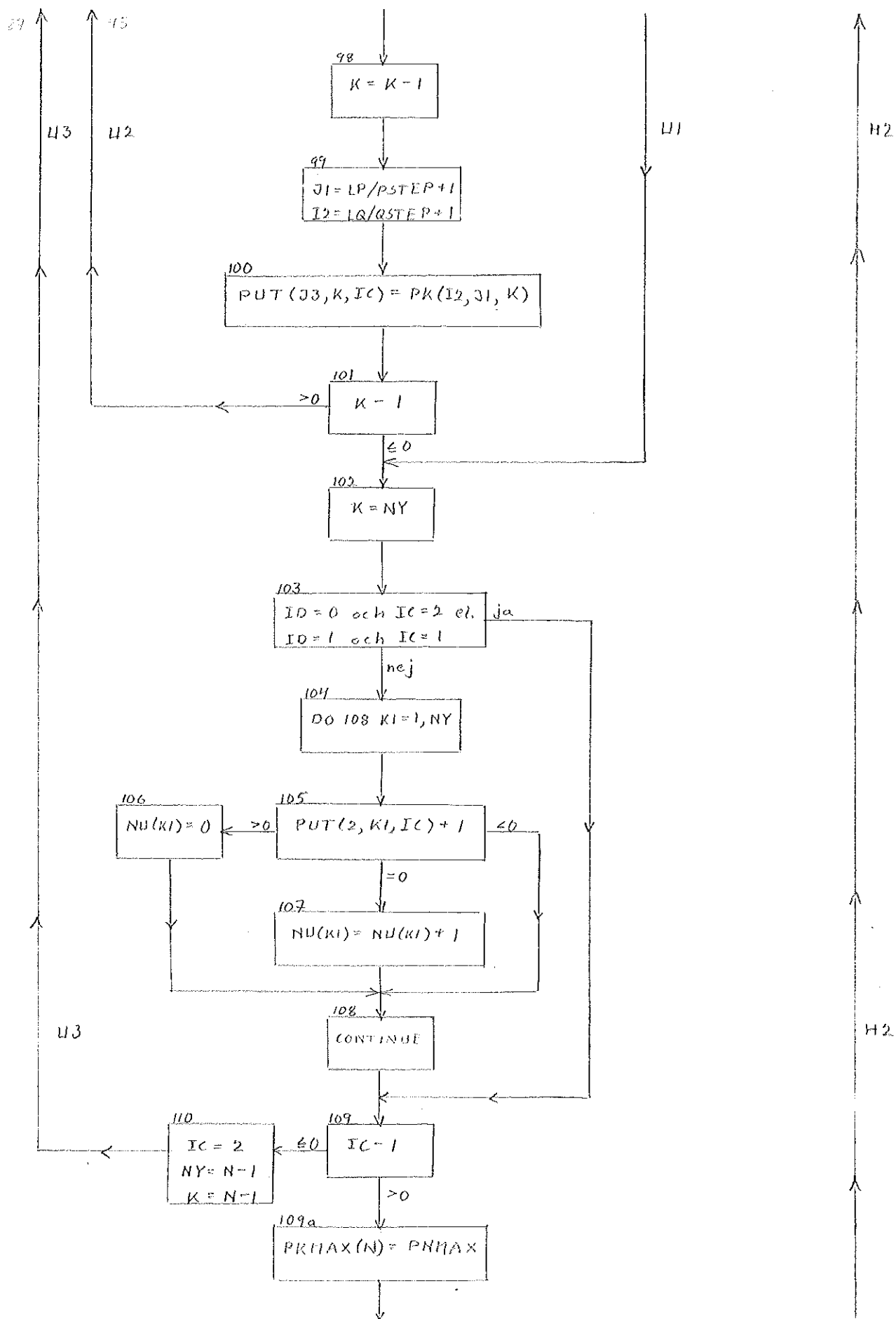


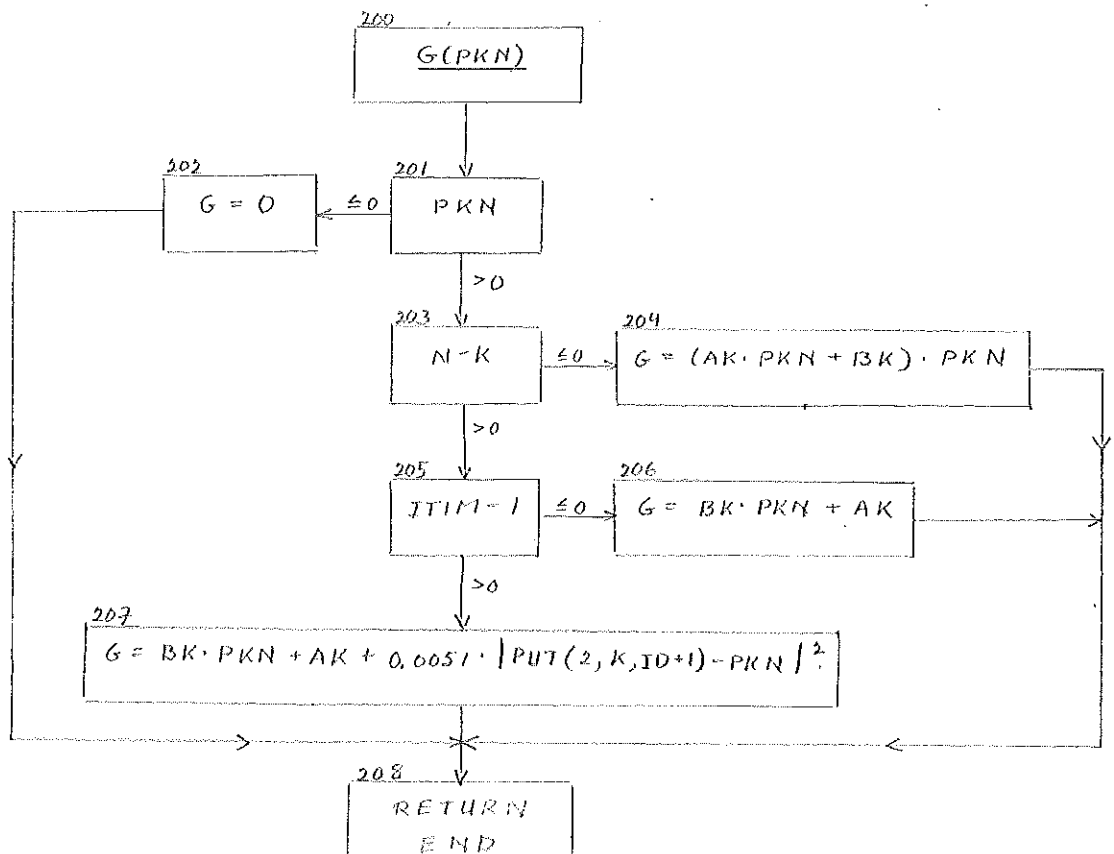
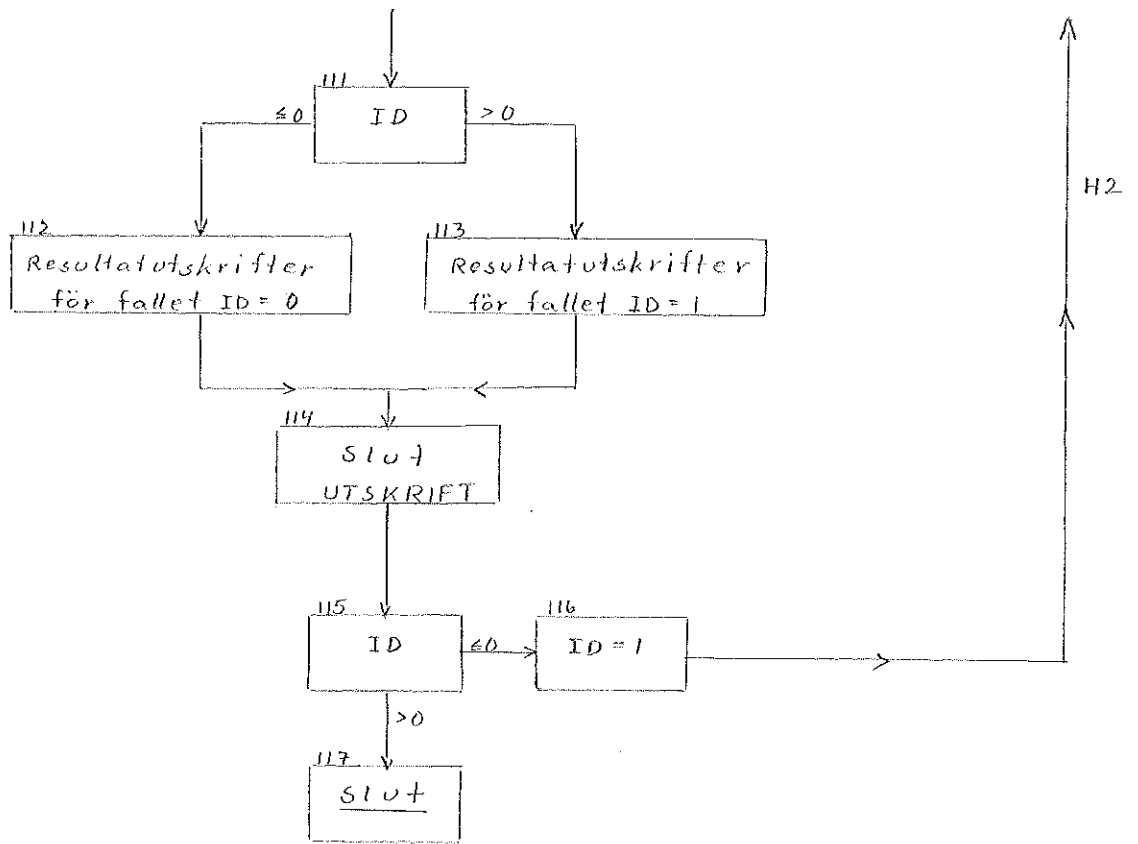












10/06-69

```

PROGRAM KLELFF
INTEGER P, Q, PSTEP, QSTEP, PMAX, QMAX, F, PKMAX, M, PK
DIMENSION A(10), B(10)
COMMON PSTEP, QSTEP, K, N, PKMAX(10), P, Q, AK, BK, N1, N2, IA, M(17,41,6),
F(17,41,6), PK(17,41,6), ID
READ(60,3) N, ID
3  FORMAT(2I10)
READ(60,5) PSTEP, QSTEP, PMAX, QMAX, KFORM, (PKMAX(I), A(I), B(I), I=1, N)
5  FORMAT(5I10/(I10,2F10.2))

C
C PROGRAMMET GÅLLER EN OPTIMERING AV EFFEKTFÖRDELNINGEN MELLAN
C ANGKRAFTVERK FÖR EN TIMMARSINTERVALL MED HJÄLP AV DYNPROG
C P ÄR DEN BEGÅRDA TOTALEFFEKTEN FRÅN INKÖPLADE VERK
C Q ÄR DEN BEGÅRDA RULLANDE RESERVEN
C
C PSTEP = STEGLENGD FÖR EFFEKTEN
C QSTEP = STEGLENGD FÖR RULLANDE RESERVEN
C PMAX = STORSTA TOTALEFFEKTEN
C QMAX = STORSTA RULLANDE RESERVEN
C N = MAX ANTAL VERK
C ( VERK NR N REPRERENTERAR UTIERAN INKÖPT EFFEKT )
C KFORM AVGÖR TYPER PÅ KOSTNADSEKNEN G, S INITIALVARDEN
C PKMAX(K) = MAXEFFEKT SOM KAN TAS P FRÅN VERK NR K
C A(K), B(K), KONSTANTER I DE OLIKA VERKENS KOSTNADSEKN G
C B(K) = RÖRLIG KOSTNAD FÖR VERK NR K
C A(K) = TIMKOSTNAD + VARNSTARTKOSTNAD FÖR VERK NR K DA KFORM = 1
C A(K) = TIMKOSTNAD FÖR VERK NR K DA KFORM = 2
C
C F(I, J, K) = MINSTA KOSTNAD I KR FÖR VISST P OCH Q MED K VERK UTNYTTJBARA
C
C N1 = PMAX/ PSTEP + 1
C N2 = QMAX/ QSTEP + 1
C
C N1 = ANTALET GÅNGER P SKA VARIERAS
C N2 = ANTALET GÅNGER Q SKA VARIERAS
C
C
C M(I, J, K) = TOTAL MAXEFFEKT TILLGÅGLIG DA K VERKÄR INKÖPLADE OCH
C EFFEKT P OCH RULLANDE RESERV Q SKA LEVERERAS
C
C LAGRING AV M FALT MED K = 1
C
C DO 10 J = 1, N1
C DO 10 I = 1, N2
10 M(I, J, 1) = PKMAX(1)
M(1, 1, 1) = 0
C
C K LOOPEN STARTAR
C
C KSP = 0
C DO 20 K = 1, N
IF(K, EQ, N, AND, ID, EQ, 1) GO TO 30
AK = A(K)
BK = B(K)
KSP = KSP + PKMAX(K)
20 CALL DYNPROG (KSP)
30 CALL UTSKRIFT(KFORM)
END

```

10/06-69

```

INTEGER FUNCTION G(PKN)
COMMON PSTEP,OSTEP,K,N,PKMAX(10),P,O,AK,BK
INTEGER PSTEP,OSTEP,PKMAX,P,O,PKN

```

C  
C  
C  
C

```

EXEKVERING AV KOSTNADSEKN
G(PKN) = KOSTNAD I KR ATT LEVERERA PKN MW MED AGGREGAT NR K

```

```

IF(PKN) 100, 100, 110
100 G = 0
GO TO 120
110 IF(M-K) 112,112,115
112 G = ( AK*FLOAT(PKN) + BK) *FLOAT(PKN)
GO TO 120
115 G = BK*FLOAT(PKN) + AK
120 CONTINUE
RETURN
END

```

12

10/06-69

```

SUBROUTINE DYNPROG ( KSP )
COMMON PSTEP,OSTEP,K,N,PKMAX(10),P,O,AK,BK,M1,N2,IA,M(17,41,6),
*F(17,41,6), PK(17,41,6)
INTEGER PSTEP,OSTEP,P,O,D,G,PKN,UKMAX,PKMAX,M,PK,F
INTEGER FK(20,45), FG(20,45)

```

C  
C  
C  
C  
C  
C  
C  
C  
C  
C  
C

```

P LOOPEN STARTAR
200 DO 287 J = 1, M1
P = J*PSTEP + PSTEP

```

```

O LOOPEN STARTAR
DO 285 I = 1, N2
O = I*OSTEP + OSTEP
IB = 50000
D = KSP - O

```

```

205 IF(D-P) 210,215,215

```

C  
C  
C

```

ICKEREALISERRARA P,O-KOMB LAGRAS I F(I,J,K) SOM -10

```

```

210 IN = I
DO 212 IP = IN, N2
FK(IP,J) = 500000
212 F(IP,J,K) = -10
GO TO 287

```

C  
C  
C

```

KONTROLL OM K=1 TY DA AR F(I,J,K)=G DIREKT

```

```

215 IF(K-1) 220, 220, 224
220 PKN=P
IF(I.NE.1.AND.J.EQ.1) GO TO 222
FK(I,J) = G(P)
IF(I.EQ.1.AND.J.EQ.1) PKN=-1
GO TO 280
222 FK(I,J) = AK
GO TO 280

```

```

224 PKN = 0
    IF(N-K) 225, 225, 230
225 UKMAX = PKN
    GO TO 245
C
C     TOMGANGSTEST
C
230 I1 = (0-PKMAX(K))/QSTEP + 1
    IF (I1.LT.1 ) I1=1
    FK(I,J) = INT(AK) + FG(I1,J)
    IB = FK(I,J)
    IA = -1
    UKMAX = 0
245 CALL OPTIMER (I,J,IB,PKN,FG,FK,UKMAX)
250 PKN = PKN + PSTEP
    IF(PKN = P) 255, 255, 263
C
C     OM PKN AR STORRE AN P GER DET INGET NYTT ATT OKA PKN
C
255 IF(N-K) 257,257,259
C
C     DA FIKTIVT VERK AR INKOPPLAT SKA 0 EJ PLACERAS DAR
C
257 UKMAX = PKN
    GO TO 245
259 IF(PKN=PKMAX(K)) 261,261,265
261 UKMAX = PKMAX(K)
    GO TO 245
263 IF(K.EQ.N) GO TO 275
265 CALL MLAGER(I,J)
275 FK(I,J) = IB
    PKN = IA
280 F(I,J,K) = FK(I,J)
285 PK(I,J,K) = PKN
287 CONTINUE
    IF(K.EQ.N) GO TO 295
    DO 290 J = 1, N1
    DO 290 I = 1, N2
290 FG(I,J) = FK(I,J)
295 CONTINUE
    RETURN
    END

```

10/06-69

```

SUBROUTINE OPTIMER(I,J,IR,PKN,FG,FK,UKMAX)
INTEGER FK(20,45), FG(20,45)
COMMON PSTEP,QSTEP,K,N,PKMAX(10),P,Q,AK,BK,N1,N2,IA,M(17,41,6)
INTEGER PSTEP,QSTEP,P,Q,G,PKN,UKMAX,PKMAX,M

```

```

C
C BERÄKNING AV MILKÄ P OCH Q SOM SKA PLACERAS PÅ K-1 VERK
C

```

```

300 J1 = (P-PKN)/PSTEP + 1
    I2 = (Q-UKMAX + PKN)/QSTEP + 1
    IF (I2.LT.1) I2 = 1
C
C OM K=NBEDÖVER INGET M-FALT LAGRAS
C
IF(K.EQ.N) GO TO 320
310 M(I,J,K) = M(I2,J1,K-1) + UKMAX
    IF(M(I,J,K) - P - Q) 330, 320, 320
320 FK(I,J) = 3(PKN) + FG(I2,J1)
    IF (FK(I,J) - IR) 325, 330, 330
325 IR = FK(I,J)
    IA = PKN
330 CONTINUE
    RETURN
    END

```

10/06-69

```

SUBROUTINE MLAGER(I,J)
COMMON PSTEP,QSTEP,K,N,PKMAX(10),P,Q,AK,BK,N1,N2,IA,M(17,41,6)
INTEGER PSTEP,QSTEP,P,UKMAX,PKMAX,M

```

```

C
C KOLL OM DET EV GÄLLER TONGÅNG SOM OPTIMAL LÖSNING
C

```

```

400 IF(IA+1) 410,410,405
405 IF (IA ) 420, 420, 415
410 IA = 0
415 UKMAX = PKMAX(K)
    J1 = (P-IA)/PSTEP + 1
    I2 = (Q-UKMAX+IA)/QSTEP+1
    IF(I2.LT.1) I2=1
    GO TO 425
420 IA=-1
    J1=P/PSTEP + 1
    UKMAX = 0
    I2 = Q/QSTEP + 1
425 M(I,J,K) = M(I2,J1,K-1) + UKMAX
    RETURN
    END

```

10/06-69

```

SUBROUTINE UTSKRIFT (KFORM)
COMMON PSTEP,OSTEP,K,N,PKMAX(10),P,Q,AK,RK,N1,N2,IA,M(17,41,6),
*F(17,41,6),PK(17,41,6),ID
INTEGER PSTEP,OSTEP,PKMAX,M,F,PK
INTEGER PUT(17,41,6)
EQUIVALENCE (M(1),PUT(1))
DIMENSION KP(45),KQ(20)

C
C   UTSKRIFT AV KOSTNADSFUNKTION
C
DO 500 J=1,N1
500  KP(J) = J*PSTEP-PSSTEP
DO 501 I=1,N2
501  KQ(I)=I*OSTEP-OSTEP
IF(ID.EQ.1) GO TO 509
  NY = N
502  GO TO(503,505),KFORM
503  MODE=1
  PRINT 504,MODE,(KQ(I),I=1,N2)
504  FORMAT(1H1,55X,4HFALL,12//27X,63HTARELL OVER KOSTNADER I KR DA INK
*OP AV EFFEKT UTIFRAN AR MOJLIG//36X,46HRORLIG KOSTNAD + TIMKOSTNAD
* + VARMSSTARTKOSTNAD///10X,6HQ (MW),1X,17I6/9X,1HP/7X,4H(MW))
  GO TO 507
505  MODE = 3
  PRINT 506, MODE,(KQ(I),I=1,N2)
506  FORMAT(1H1,55X,4HFALL,12//27X,63HTARELL OVER KOSTNADER I KR DA INK
*OP AV EFFEKT UTIFRAN AR MOJLIG//45X,27HRORLIG KOSTNAD + TIMKOSTNAD
*///10X,6HQ (MW),1X,17I6/9 X,1HP/7 X,4H(MW))
507  PRINT 508, (KP(J),(F(I,J,NY),I=1,N2),J=1,11)
  PRINT 508, (KP(J),(F(I,J,NY),I=1,N2),J=12,21)
  PRINT 508, (KP(J),(F(I,J,NY),I=1,N2),J=22,31)
  PRINT 508, (KP(J),(F(I,J,NY),I=1,N2),J=32,N1)
508  FORMAT(/(7 X,13,7X,17I6))
  IF(NY=N) 515,509,509
509  NY=N-1
  GO TO(510,512),KFORM
510  MODE=2
  PRINT511,MODE,(KQ(I),I=1,N2)
511  FORMAT(1H1,55X,4HFALL,12//26X,66HTARELL OVER KOSTNADER I KR DA INK
*OP AV EFFEKT UTIFRAN EJ AR MOJLIG//36X,46HRORLIG KOSTNAD + TIMKOST
*ANAD + VARMSSTARTKOSTNAD///10X,6HQ (MW),1X,17I6/9 X,1HP/7 X,4H(MW))
  GO TO 507
512  MODE=4
  PRINT 513,MODE,(KQ(I),I=1,N2)
513  FORMAT(1H1,55X,4HFALL,12//26X,66HTARELL OVER KOSTNADER I KR DA INK
*OP AV EFFEKT UTIFRAN EJ AR MOJLIG//45X,27HRORLIG KOSTNAD + TIMKOST
*ANAD///10X,6HQ (MW),1X,17I6/9 X,1HP/7 X,4H(MW))
  GO TO 507

C
C   ITERERING PAKAT FOR ATT FINNA FOR GIVEN DRIFTSITUATION HUR
C   EFFEKTERNA AR FORDELADE PA INKOPPLADE VERK
C
515  IF(ID.EQ.1) GO TO 588
  NY = N
  K = N
  IC = 0

```



19/06-69

```

520 DO 561 J=1,N1
      DO 561 I=1,N2
        IF(N,50,K) PKMAX(K) = PK(I,J,K)
        IF(F(I,J,K) + 10) 522,522,525
522 DO 523 K1=1,NY
523 PUT(I,J,K1) = -10
      GO TO 561
525 PUT(I,J,K) = PK(I,J,K)
      LP = J*PSTEP - PSTEP
      LQ = I*QSTEP - QSTEP
C
C   ITERATION RAKAT STARTAR FOR REALISERBARA FALL
C
530 IF(PUT(I,J,K) + 1) 522,540,535
535 LP = LP - PUT(I,J,K)
      LQ = LQ - PKMAX(K) + PUT(I,J,K)
      IF(LQ.LT.0) LQ = 0
540 K = K+1
      J1 = LP/PSTEP + 1
      I2 = LQ/QSTEP + 1
      PUT(I,J,K) = PK(I2,J1,K)
560 IF(K-1) 561,561,530
561 K = NY
      PUT(1,1,1) = -1
562 GO TO (564,570),KFORM
564 IF(IC) 566,566,568
566 MODE = 1
      GO TO 576
568 MODE = 2
      GO TO 576
570 IF(IC) 572,572,574
572 MODE = 3
      GO TO 576
574 MODE = 4
576 N3 = N-1
      DO 581 K1 = 1,N3
        PRINT 578,MODE,K1,(K0(I),I=1,N2)
578 FORMAT(1H1,35X,44HFORDDELNING AV EFFEKTEN I MW PA VERKEN I/FALL,I2/
  *//54X,7HVERK NR,I2////10X,6H0 (MW),1X,17I6/9 X,1HP/7 X,4H(MW))
        PRINT 580,(KP(J),(PUT(I,J,K1),I=1,N2),J=1,11)
        PRINT 580,(KP(J),(PUT(I,J,K1),I=1,N2),J=12,21)
        PRINT 580,(KP(J),(PUT(I,J,K1),I=1,N2),J=22,31)
        PRINT 580,(KP(J),(PUT(I,J,K1),I=1,N2),J=32,N1)
580 FORMAT (/7 X,13,7X,17I6))
581 CONTINUE
      IF(IC) 582,582,590
582 PRINT 584,MODE,K,(K0(I),I=1,N2)
584 FORMAT(1H1,35X,44HFORDDELNING AV EFFEKTEN I MW PA VERKEN I FALL,I2/
  *//44X,7HVERK NR,I2,20H ( = INKOPT EFFEKT )////10X,6H0 (MW),1X,17I6/
  *//9 X,1HP/7 X,4H(MW))
        PRINT 580,(KP(J),(PUT(I,J,K1),I=1,N2),J=1,11)
        PRINT 580,(KP(J),(PUT(I,J,K1),I=1,N2),J=12,21)
        PRINT 580,(KP(J),(PUT(I,J,K1),I=1,N2),J=22,31)
        PRINT 580,(KP(J),(PUT(I,J,K1),I=1,N2),J=32,N1)
588 IC = N - 1
      K = IC
      NY = N-1
      GO TO 520
590 RETURN
      END

```

```

PROGRAM KLELEF
INTEGER P, Q, PSTEP, QSTEP, F, PKMIN, PKMAX, M, PK
DIMENSION A(10,5), B(10), NL(10)
COMMON PSTEP, QSTEP, K, N, PKMAX(10), P, G, AK, BK, N1, N2, IA, M(17,41,6),
*F(6), PK(17,41,6), PKMIN(10)
READ(60,3) N, L, MP, MG
3  FORMAT(2I10)
   READ(60,5) PSTEP, QSTEP, (PKMIN(I), PKMAX(I), NU(I), B(I), I=1, N)
5  FORMAT(2I10/(3I10, F10, 2))
   READ(60,6) ((A(I,J), I=1, N), J=1, L)
6  FORMAT(6F10, 2)
   N1 = MP/PSSTEP * 1
   N2 = MQ/QSTEP * 1

C
C   N1 = ANTALET GANGER P SKA VARIERAS
C   N2 = ANTALET GANGER Q SKA VARIERAS
C
C
C   M(I,J,K) = TOTAL MAXEFFEKT TILLGÅNGLIG IA K VERKAR INKOPPLADE OCH
C   EFFEKT P OCH RULLANDE RESERV Q SKA LEVERERAS
C
C   LAGRING AV M FALT MED K = 1
C
DO 10 J = 1, N1
DO 10 I = 1, N2
10  M(I,J,1) = PKMAX(1)
   M(1,1,1) = 0

C
C   K LOOPEN STARTAR
C
MINP = 400
KSP = 0
DO 20 K = 1, N
NU1 = NU(K) + 3
AK = A(K, NU1)
BK = B(K)
KSP = KSP + PKMAX(K)
MINP = MIN0 ( MINP, PKMIN(K) )
20  CALL DYNPROG (KSP, MINP)
30  CALL UTSKRIFT(MP, MQ)
END

```

```

220 PKN=P
    IF(I,NE,1,AND,J,EQ,1) GO TO 222
    FK(I,J) = G(P)
    IF(I,EQ,1,AND,J,EQ,1) PKN=1
    GO TO 285
222 FK(I,J) = AK
    GO TO 285
224 PKN = 0
    IF(N=K) 225, 225, 230
225 UKMAX = PKN
    GO TO 245
230 IF ( PKMIN(K),NE,0 ) GO TO 240

```

C  
C  
C

TOMGANGSTEST

```

    I1 = (Q-PKMAX(K))/ GSTEP * 1
    IF (I1.LT,1 ) I1=1
    FK(I,J) = INT(AK) * FG(I1,J)
    IB = FK(I,J)
    IA = 1
240 UKMAX = 0
245 CALL OPTIMER (I,J,IB,PKN,FG,FK,UKMAX)
250 PKN = LJ*MAX0(PKMIN(K),PSTEP) * PKN*(1-LJ)*PSTEP
    LJ = 0

```

C  
C  
C

OM PKN AR STORRE AN P GER DET INGET NYTT ATT OKA PKN

```

    IF(PKN = P) 259, 259, 263
259 IF(PKN=PKMAX(K)) 260,260,263
260 IF(N=K) 261,261,262

```

C  
C  
C

DA FIKTIVT VERK AR INKOPPLAT SKA Q EJ PLACERAS DAR

```

261 UKMAX = PKN
    GO TO 245
262 UKMAX = PKMAX(K)
    GO TO 245
263 IF(K,EQ,N) GO TO 275
265 CALL MLAGER(I,J)
275 FK(I,J) = IB
    PKN = IA
285 PK(I,J,K) = PKN
287 CONTINUE
    F(K) = FK(N2,N1)
    IF(K,EQ,N) GO TO 295
    DO 290 J = 1, N1
    DO 290 I = 1, N2
290 FG(I,J) = FK(I,J)
295 CONTINUE
    RETURN
    END

```

```

SUBROUTINE OPTIMER(I,J,IB,PKN,FG,FK,UKMAX)
INTEGER FK(20,45), FG(20,45)
COMMON PSTEP,QSTEP,K,N,PKMAX(10),P,C,AK,BK,N1,N2,IA,M(17,41,6)
INTEGER PSTEP,QSTEP,P,Q,G,PKN,UKMAX,PKMAX,M

```

C  
C  
C

BERÄKNING AV VILKA P-ICQ-IG SOM SKA PLACERAS PÅ K=1 VERK

```

300 J1 = (P=PKN)/PSTEP + 1
    I2 = (Q=UKMAX + PKN)/QSTEP + 1
    IF (I2,LT,1) I2 = 1

```

C  
C  
C

OM K=NBEHOVER INGET M=FAKT LAGRAS

```

IF(K,EO,N) GO TO 320
310 M(I,J,K) = M(I2,J1,K=1) + UKMAX
    IF(M(I,J,K) = P=Q) 330, 320, 320
320 FK(I,J) = G(PKN) + FG(I2,J1)
    IF (FK(I,J) = IB) 325, 330, 330
325 IB = FK(I,J)
    IA = PKN
330 CONTINUE
    RETURN
    END

```

```

SUBROUTINE MLAGER(I,J,K)
COMMON PSTEP,QSTEP,K,N,PKMAX(10),P,C,AK,BK,N1,N2,IA,M(17,41,6)
INTEGER PSTEP,QSTEP,P,Q,UKMAX,PKMAX,M

```

C  
C  
C

KOLL OM DET EV GALLER TCMGANG SOM OPTIMAL LÖSNING

```

400 IF(IA=1) 410,410,405
405 IF (IA ) 420, 420, 415
410 IA = 0
415 UKMAX = PKMAX(K)
    J1 = (P=IA)/PSTEP + 1
    I2 = (Q=UKMAX+IA)/QSTEP+1
    IF(I2,LT,1) I2=1
    GO TO 425
420 IA=1
    J1 = J
    UKMAX = 0
    I2 = I
425 M(I,J,K) = M(I2,J1,K=1) + UKMAX
    RETURN
    END

```

12/06-69

```

SUBROUTINE UTSKRIFT ( MP, M0,      NU, ITIM)
COMMON PSTEP,OSTEP,K,N,PKMAX(10),P,Q,AK,BK,N1,N2,IA,M(17,61,6),
*F(3,10), PK(17,61,6), PKMIN(10),N0,IO,PUT(3,10,2)
INTEGER PSTEP,OSTEP,PKMAX,F,PK,P,Q,PUT,PNMAX
DIMENSION IK(6),NU(10),MP(24)

```

```

C
C   UTSKRIFT AV KOSTNADER OCH FÖRDELNINGEN PÅ VERKEN I TVÅ FALL
C

```

```

DO 502 I = 1,N
502 IK(I) = I

```

```

C
C   ITERERING BAKÅT FÖR ATT FINNA FÖR GIVEN DRIFTSITUATION HUR
C   EFFEKTERNA ÄR FÖRDELADE PÅ INKÖPLADE VERK
C

```

```

PNMAX = PKMAX(N)
515 NY = N
K = N
IC = 1
520 DO 561 J3 = 1,3
N3 = N1 + N0 - J3*N0
PKMAX(N) = PK(N0,N3,N)
IF(PK(N0,N3,NY) + 10) 522,522,525
522 DO 523 K4 = 1,NY
523 PUT(J3,K4,IC) = -10
F(J3,NY) = -10
GO TO 561
525 PUT(J3,K ,IC) = PK(N0,N3,K)
LP = N3*PSTEP = PSTEP
LQ = M0

```

```

C
C   ITERATION BAKÅT STARTAR FÖR REALISERBARA FALL
C

```

```

527 IF( PUT(J3,K,IC) + 1) 561,540,530
530 LP = LP-PUT(J3,K,IC)
LQ = LQ-PKMAX(K) + PUT(J3,K,IC)
IF(LQ.LT.0) LQ = 0
540 K = K-1
J1 = LP/PSTEP + 1
I2 = LQ/OSTEP + 1
PUT(J3,K,IC) = PK(I2,J1,K)
560 IF(K-1) 561,561,527
561 K = NY
IF(IO.EQ.0.AND.IC.EQ.2.OR.ID.EQ.1.AND.IC.EQ.1) GO TO 576
562 DO 575 K1 = 1,NY
IF(PUT(2,K1,IC) + 1) 575,572,570
570 NU(K1) = 0
GO TO 575
572 NU(K1) = NU(K1) + 1
575 CONTINUE
576 IF(IC-1) 577,577,580
577 IC = 2
NY = N-1
K = NY
GO TO 520
580 PKMAX(N) = PNMAX
IF(ITIM.EQ.1.OR.ITIM.EQ.9.OR.ITIM.EQ.17) GO TO 582

```

12/06-69

```

      IF(10) 585,585,503
582 IF(10) 583,583,504
583 PRINT 584,M0,(IK(I),I=1,6),(IK(I),I=1,5)
584 FORMAT(1H1,20X,66HVARJE TIMPROGNOS AR RYGGD PA ATT INKOP AV EFFEKT
  * UTIFRAN AR MOJLIG//50X,10HRULLANDE RESERV M0=,14,34 MW////44X,20H
  * INKOP UTIFRAN MOJLIG,23X,23HINKOP UTIFRAN EJ MOJLIG/// 7X,5HTIDEN,
  * 6X,6HEFFEKT,8X,7HKOSTNAD,17X,4HVERK,20X,7HKOSTNAD,14X,4HVERK/ 8X,3
  * HTIM,7X,6HMP(MW),8X,6HKR/TIM,6I6,6X,6HKR/TIM,5I6)
      PRINT 500
585 DO 588 J3 = 1,3
      N3 = N1 + N0 - J3*N0
      LP = N3*PSTEP - PSTEP
      IF(J3.NE.2) GO TO 587
      PRINT 586,ITIM,LP,F(J3,6),(PUT(J3,I,1),I=1,6),F(J3,5),(PUT(J3,I,2)
  * ,I=1,5)
586 FORMAT (8X,12,4X,4HMP =,14,10X,16,1X,6I6,5X,16,1X,5I6)
      GO TO 588
587 PRINT 589,LP,F(J3,6),(PUT(J3,I,1),I=1,6),F(J3,5),(PUT(J3,I,2),I=1,
  * 5)
588 CONTINUE
589 FORMAT(18X,14,10X,16,1X,6I6,5X,16,1X,5I6)
      PRINT 500
590 FORMAT(1H )
      GO TO 508
591 PRINT 502,M0,(IK(I),I=1,5),(IK(I),I=1,6)
592 FORMAT(1H1,20X,60HVARJE TIMPROGNOS AR RYGGD PA ATT INKOP AV EFFEKT
  * UTIFRAN EJ AR MOJLIG//50X,10HRULLANDE RESERV M0=,14,34 MW////30X,
  * 23HINKOP UTIFRAN EJ MOJLIG,23X,204INKOP UTIFRAN MOJLIG/// 7X,5HTID
  * EN,6X,6HEFFEKT,8X,7HKOSTNAD,14X,4HVERK,17X,7HKOSTNAD,17X,4HVERK/ 8
  * X,3HTIM,7X,6HMP(MW),8X,6HKR/TIM,5I6,6X,6HKR/TIM,6I6)
      PRINT 500
593 DO 595 J3 = 1,3
      N3 = N1 + N0 - J3*N0
      LP = N3*PSTEP - PSTEP
      IF(J3.NE.2) GO TO 594
      PRINT 597,ITIM,LP,F(J3,5),(PUT(J3,I,2),I=1,5),F(J3,6),(PUT(J3,I,1)
  * ,I=1,6)
      GO TO 595
594 PRINT 596,LP,F(J3,5),(PUT(J3,I,2),I=1,5),F(J3,6),(PUT(J3,I,1),I=1,
  * 6)
595 CONTINUE
596 FORMAT(18X,14,10X,16,1X,5I6,5X,16,1X,6I6)
      PRINT 500
597 FORMAT(8X,12,4X,4HMP =,14,10X,16,1X,5I6,5X,16,1X,6I6)
598 RETURN
      END

```

```

INTEGER FUNCTION G(PKN)
COMMON PSTEP,QSTEP,K,N,PKMAX(10),P,G,AK,BK
INTEGER PSTEP,QSTEP,PKMAX,P,Q,PKN

```

```

C
C
C   EXECVERING AV KOSTNADSFKN
C   G(PKN) = KOSTNAD I KR ATT LEVERERA FKN MW MED AGGREGAT NR K
C
      IF(PKN) 100, 100, 110
100  G = 0
      GO TO 120
110  IF(N=K) 112,112,115
112  G = ( AK*FLOAT(PKN) + BK) *FLOAT(PKN)
      GO TO 120
115  G = BK*FLOAT(PKN) + AK
120  CONTINUE
      RETURN
      END

```

```

SUBROUTINE DYNPROG ( KSF,MINP)
COMMON PSTEP,QSTEP,K,N,PKMAX(10),P,G,AK,BK,N1,N2,IA,M(17,41,6),
*F(6),PK(17,41,6),PKMIN(10)
INTEGER PSTEP,QSTEP,P,Q,D,G,PKN,UKMAX,PKMAX,M,PK,F,PKMIN
INTEGER FK(20,45),FG(20,45)

```

```

C
C
C   P LOOPEN STARTAR
C
200  DO 287 J = 1,N1
      P = J*PSTEP = PSTEP
C
C   Q LOOPEN STARTAR
C
      DO 285 I = 1, N2
        Q = I*QSTEP = QSTEP
        IB = 50000
        LJ = 1
        D = KSP = Q
205  IF(D=P) 210,207,207
207  IF(P=MINP) 210,212,212
C
C   ICKEREALISERBARA P,G=KOMB LAGRAS I F(I,J,K) SOM =10
C
210  IN = !
      DO 211 I2 = IN, N2
        FK(I2,J) = 500000
211  PK(I2,J,K) = =10
      GO TO 287
212  IF ( P=PKMIN(K)) 213,218,218
213  FK(I,J) = FG(I,J)
      IF(N=K) 214,214,215
214  PKN = 0
      GO TO 285
215  PKN = =1
      GO TO 285
C
C   KONTROLL OM K=1 TY DA AR F(I,J,K)=G DIREKT
C
218  IF(K=1) 220, 220, 224

```

12/06-69

```

PROGRAM KLEFF
INTEGER P, Q, PSTEP, QSTEP, F, PKMIN, PKMAX, M, PK, PUT
DIMENSION A(10,5), B(10), ISTART(10), MP(24), NU(10)
COMMON PSTEP, QSTEP, K, N, PKMAX(10), P, Q, AK, BK, N1, N2, IA, M(17,61,6),
F(3,10), PK(17,61,6), PKMIN(10), N0, ID, PUT(3,10,2), ITIM
READ(60,3) N, L, ID, MQ, (MP(I), I=1, 24)
3  FORMAT(3I10/I10/(12I5))
  READ(60,5) PSTEP, QSTEP, (PKMIN(I), PKMAX(I), ISTART(I), B(I), I=1, N)
5  FORMAT(2I10/( 3I10, F10.2))
  READ (60,6) (( A(I,J), I=1, N) , J=1, L)
6  FORMAT (6F10.2)
  N2 = MQ/QSTEP + 1
7  DO 8 K = 1, N
8  NU(K) = ISTART(K)
  DO 30 ITIM = 1, 24
  IF(ITIM.EQ.2) GO TO 9
  IF(MP(ITIM).EQ.MP(ITIM-1)) GO TO 30
9  N0 = MP(ITIM)/20*10/PSTEP
  N1 = MP(ITIM)/PSTEP + N0 + 1
C
C  N1 = ANTALET GANGER P SKA VARIERAS
C  N2 = ANTALET GANGER Q SKA VARIERAS
C
C  M(I,J,K) = TOTAL MAXEFFEKT TILLGANGSLIG DA K VERKAR INKOPPLADE OCH
C  EFFEKT P OCH PULLANDE RESERV Q SKA LEVERERAS
C
C  LAGRING AV M FALT MED K = 1
C
  DO 10 J = 1, N1
  DO 10 I = 1, N2
10  M(I,J,1) = PKMAX(1)
  M(1,1,1) = 0
C
C  K LOOPEN STARTAR
C
  MINP = 400
  KSP = 0
  DO 20 K = 1, N
  IF(NU(K)) 11,11,12
11  NU1 = 3
  GO TO 15
12  IF(NU(K) = 15) 13,13,1
13  NU1 = 2
  GO TO 15
14  NU1 = 1
15  AK = A(K,NU1)
  BK = B(K)
  KSP = KSP + PKMAX(K)
  MINP = MIN0 ( MINP, PKMIN(K) )
20  CALL DYNPROG (KSP, MINP)
30  CALL UTSKRIFT(MP, MQ, NU, ITIM)
  IF(ID) 35, 35, 40
35  ID = 1
  GO TO 7
40  CONTINUE
  END

```



12/06-69

```

INTEGER FUNCTION G(PKN)
COMMON PSTEP,QSTEP,K,N,PKMAX(10),P,Q,AK,BK,N1,N2,IA,M(17,61,6),
*F(3,10),PK(17,61,6),PKMIN(10),N0,IO,PUT(3,10,2),ITIM
INTEGER PSTEP,QSTEP,PKMAX,P,Q,PKN,PUT

```

```

C
C   EXEKVERING AV KOSTNADSEKKN
C   G(PKN) = KOSTNAD I KR ATT LEVERERA PKN MW MED AGGREGAT NR K
C
  IF(PKN) 100, 100, 110
100 G = 0
   GO TO 120
110 IF(N-K) 112,112,115
112 G = ( AK*FLOAT(PKN) + BK) *FLOAT(PKN)
   GO TO 120
115 G = BK*FLOAT(PKN) + AK+ (1-IOIM(1,ITIM-1))*0.0051*(FLOAT(IABS(PUT(
  *2,K,IO+1)-PKN))))**2
120 CONTINUE
   RETURN
   END

```

12/06-69

```

SUBROUTINE NYMPROG ( KSP,MINP)
COMMON PSTEP,QSTEP,K,N,PKMAX(10),P,Q,AK,BK,N1,N2,IA,M(17,61,6),
*F(3,10),PK(17,61,6),PKMIN(10),N0
INTEGER PSTEP,QSTEP,P,Q,D,G,PKN,PKMAX,PKMAX,M,PK,F,PKMIN
INTEGER FK(20,61),FG(20,61)

```

```

C
C   P LOOPEN STARTAR
C
  DO 287 J = 1,N1
    P = J*PSTEP - PSTEP
C
C   Q LOOPEN STARTAR
C
    DO 285 I = 1, N2
      Q = I*QSTEP - QSTEP
      IR = 50000
      LJ = 1
      D = KSP - Q
285 IF(D-P) 210,207,207
207 IF(P-MINP) 210,212,212
C
C   ICKEREALISERRARA P,Q-KOMB LAGRAS I F(I,J,K) SOM -10
C
210 IN = I
   DO 211 IP = IN, N2
     FK(IP,J) = 500000
211 PK(IP,J,K) = -10
     GO TO 287
212 IF ( P=PKMIN(K)) 213,218,218
213 FK(I,J) = FG(I,J)
     IF(N=K) 214,214,215
214 PKN = 0
     GO TO 285
215 PKN = -1
     GO TO 285

```

12/06-69

10

```

C
C   KONTROLL OM K=1 TY DA AR F(I,J,K)=G DIREKT
C
218 IF(K-1) 220, 220, 224
220 PKN=P
    IF(I.NE.1.AND.J.EQ.1) GO TO 222
    FK(I,J) = G(P)
    IF(I.EQ.1.AND.J.EQ.1) PKN=-1
    GO TO 285
222 FK(I,J) = AK
    GO TO 285
224 PKN = 0
    IF(N-K) 225, 225, 230
225 UKMAX = PKN
    GO TO 245
230 IF ( PKMIN(K).NE.0 ) GO TO 240
C
C   TOMGANGSTEST
C
    I1 = (0-PKMAX(K))/ OSTEP + 1
    IF (I1.LT.1 ) I1=1
    FK(I,J) = INT(AK) + FG(I1,J)
    IR = FK(I,J)
    IA = -1
240 UKMAX = 0
245 CALL OPTIMER (I,J,IR,PKN,FG,FK,UKMAX)
250 PKN = LJ*MAX0(PKMIN(K),OSTEP) + PKN+(1-LJ)*OSTEP
    LJ = 0
C
C   OM PKN AR STORRE AN P GER DET INGET NYTT ATT OKA PKN
C
    IF(PKN = P) 250, 250, 263
250 IF(PKN-PKMAX(K)) 260,260,263
260 IF(N-K) 261,261,262
C
C   DA FIKTIVT VERK AR INKOPPLAT SKA O EJ PLACERAS DAR
C
261 UKMAX = PKN
    GO TO 245
262 UKMAX = PKMAX(K)
    GO TO 245
263 IF(K.EQ.N) GO TO 275
265 CALL MLAGER(I,J)
275 FK(I,J) = IR
    PKN = IA
285 PK(I,J,K) =PKN
287 CONTINUE
    DO 288 J3 = 1,3
    N3 = N1 + N0 - J3*N0
288 F(J3,K) = FK(N0,N3)
    IF(K.EQ.N) GO TO 295
    DO 290 J = 1, N1
    DO 290 I = 1, N2
290 FG(I,J) = FK(I,J)
295 CONTINUE
    RETURN
    END

```

12/06-69

```

SUBROUTINE OPTIMER(I,J,IB,PKN,FG,FK,UKMAX)
INTEGER FK(20,61), FG(20,61)
COMMON PSTEP,OSTEP,K,N,PKMAX(10),P,Q,AK,BK,N1,N2,IA,M(17,61,6)
INTEGER PSTEP,OSTEP,P, ,G,PKN,UKMAX,PKMAX,M

```

```

C
C BERÄKNING AV VILKA P OCH Q SOM SKA PLACERAS PÅ K-1 VERK
C

```

```

300 J1 = (P-PKN)/ PSTEP + 1
    I2 = (Q-UKMAX + PKN)/ OSTEP + 1
    IF (I2.LT.1) I2 = 1
C
C OM K=MBREHÖVER INGET M-FALT LAGRAS
C
    IF(K.EQ.N) GO TO 320
310 M(I,J,K) = M(I2,J1,K-1) + UKMAX
    IF(M(I,J,K) - P -Q) 330, 320, 320
320 FK(I,J) = G(PKN) + FG(I2,J1)
    IF ( FK(I,J) - IB) 325, 330, 330
325 IB = FK(J,J)
    IA = PKN
330 CONTINUE
    RETURN
    END

```

12/06-69

```

SUBROUTINE MLAGER (I,J)
COMMON PSTEP,OSTEP,K,N,PKMAX(10),P,Q,AK,BK,N1,N2,IA,M(17,61,6)
INTEGER PSTEP,OSTEP,P,Q,UKMAX,PKMAX,M

```

```

C
C KOLL OM DET EV GALLER TONGÅNG SOM OPTIMAL LÖSNING
C

```

```

400 IF(IA+1) 410,410,405
405 IF (IA ) 420, 420, 415
410 IA = 0
415 UKMAX = PKMAX(K)
    J1 = (P-IA)/PSTEP + 1
    I2 = (Q-UKMAX+IA)/OSTEP+1
    IF(I2.LT.1) I2=1
    GO TO 425
420 IA=-1
    J1 = J
    UKMAX = 0
    I2 = I
425 M(I,J,K) = M(I2,J1,K-1) + UKMAX
    RETURN
    END

```

```

SUBROUTINE UTSKRIFT ( MF, MQ)
COMMON PSTEP, QSTEP, K, N, PKMAX(10), P, G, AK, BK, N1, N2, IA, M(17,41,6),
*F(6), PK(17,41,6)
INTEGER PSTEP, QSTEP, PKMAX, F, PK, P, Q, PNMAX
INTEGER PUT(6)
DIMENSION IK(6)

C
C   UTSKRIFT AV KOSTNADER OCH FORDELNINGEN PA VERKEN I TVA FALL
C
DO 502 I = 1, N
502 IK(I) = I
503 MODE = 1
PRINT 504, MODE, MP, MQ, F(N)
504 FORMAT(1H1,55X,4HFALL, I2//34X,49HKOSTNAD I KR DA INKOP AV EFFEKT U
*TI FRAN AR MOJLIG//45X,7HFOR MP=, I4,2X,7HOCH MQ=, I4//53X,18)

C
C   ITERERING BAKAT FOR ATT FINNA FOR GIVEN DRIFTSITUATION HUR
C   EFFEKTERNA AR FORDELADE PA INKOPPLADE VERK
C
PNMAX = PKMAX(N)
515 NY = N
K = N
IC = 0
PKMAX(N) = PK(N2, N1, N)
520 IF (PK(N2, N1, NY)+10) 584,584,525
525 PUT(K) = PK(N2, N1, K)
LP = MP
LQ = MQ

C
C   ITERATION BAKAT STARTAR FOR REALISERBARA FALL
C
527 IF( PUT(K) + 1 ) 584,540,530
530 LP = LP+PUT(K)
LQ = LQ+PKMAX(K) + PUT(K)
540 K = K+1
J1 = LP/PSTEP + 1
J2 = LQ/QSTEP + 1
PUT(K) = PK(J2, J1, K)
560 IF(K=1) 561,561,527
561 K = NY
564 IF(IC) 566,566,590
566 MODE = 1
GO TO 576
576 PRINT 578, MODE, (IK(I), I=1, NY), (PUT(I), I=1, NY)
578 FORMAT(///(35X,4HFORDELNING AV EFFEKTEN I MW PA VERKEN I FALL, I2/
*/ 37X,7HVERK NR, 6I6//63X,6I6))
NY = N-1
MODE = 2
PRINT 579, MODE, MP, MQ, F(NY)
579 FORMAT (////(55X,4HFALL, I2//33X,52HKOSTNAD I KR DA INKOP AV EFFEKT
*UTIFRAN EJ AR MOJLIG//45X,7HFOR MP=, I4,2X,7HOCH MQ=, I4//53X,18))
GO TO 586
584 PRINT 585, MODE
585 FORMAT (///(46X,4HFALL, I2,17H AR OREALISERBART))
586 IF(IC) 588,588,595
588 IC = N-1
K = IC
GO TO 520
590 PRINT 592, MODE, (IK(I), I=1, NY), (PUT(I), I=1, NY)
592 FORMAT (///(35X,4HFORDELNING AV EFFEKTEN I MW PA VERKEN I FALL, I2
*//37X,7HVERK NR, 5I6//63X,5I6))
595 RETURN
END

```

VARJE TIMPROGNOS AR BYGGD PA ATT INKOP AV EFFEKT UTIFRAN AR MOJLIG

RULLANDE RESERV MQ= 20 MW

INKOP UTIFRAN MOJLIG

INKOP UTIFRAN EJ MOJLIG

TIDEN TIM	EFFEKT MP(MW)	KOSTNAD KR/TIM	VERK						KOSTNAD KR/TIM	VERK				
			1	2	3	4	5	6		1	2	3	4	5
1	430	13220	30	70	50	70	160	50	-10	-10	-10	-10	-10	-10
	MP = 290	6447	-1	-1	50	70	160	10	7201	30	-1	30	70	160
	150	2382	-1	-1	-1	0	150	0	2382	-1	-1	-1	0	150
2	480	14730	-1	50	70	70	160	130	-10	-10	-10	-10	-10	-10
	MP = 320	6232	-1	-1	50	70	160	40	7680	-1	30	60	70	160
	160	2507	-1	-1	-1	0	160	0	2507	-1	-1	-1	0	160
3	510	16725	-1	50	70	70	160	160	-10	-10	-10	-10	-10	-10
	MP = 340	7182	-1	-1	50	70	160	60	8002	-1	40	70	70	160
	170	2674	-1	-1	-1	10	160	0	2674	-1	-1	-1	10	160
4	540	18900	-1	50	70	70	160	190	-10	-10	-10	-10	-10	-10
	MP = 360	8212	-1	-1	50	70	160	80	10049	30	30	70	70	160
	180	2817	-1	-1	-1	20	160	0	2817	-1	-1	-1	20	160
5	570	21109	30	50	70	70	160	190	-10	-10	-10	-10	-10	-10
	MP = 380	9322	-1	-1	50	70	160	100	10374	30	50	70	70	160
	190	2962	-1	-1	-1	30	160	0	2962	-1	-1	-1	30	160
6	430	11805	-1	50	70	70	160	80	-10	-10	-10	-10	-10	-10
	MP = 290	4957	-1	-1	50	70	160	10	6461	10	-1	50	70	160
	150	2382	-1	-1	-1	0	150	0	2382	-1	-1	-1	0	150
7	450	12915	-1	50	70	70	160	100	-10	-10	-10	-10	-10	-10
	MP = 300	5362	-1	-1	50	70	160	20	6619	10	-1	60	70	160
	150	2382	-1	-1	-1	0	150	0	2382	-1	-1	-1	0	150
8	460	13500	-1	50	70	70	160	110	-10	-10	-10	-10	-10	-10
	MP = 310	5787	-1	-1	50	70	160	30	6779	20	-1	60	70	160
	160	2507	-1	-1	-1	0	160	0	2507	-1	-1	-1	0	160

VARJE TIMPROGNOS AR BYGGD PA ATT INKOP AV EFFEKT UTIFRAN AR MOJLIG

RULLANDE RESERV MQ= 20 MW

TIDEN TIM	EFFEKT MP(MW)	KOSTNAD KR/TIM	INKOP UTIFRAN MOJLIG						INKOP UTIFRAN EJ MOJLIG					
			1	2	VERK			6	KOSTNAD KR/TIM	1	2	VERK		
9	MP = 460 310 160	13500	-1	50	70	70	160	110	-10	-10	-10	-10	-10	-10
		5787	-1	-1	50	70	160	30	6779	20	-1	60	70	160
		2507	-1	-1	-1	0	160	0	2507	-1	-1	-1	0	160
10	MP = 420 280 140	11280	-1	50	70	70	160	70	-10	-10	-10	-10	-10	-10
		4572	-1	-1	50	70	160	0	4572	-1	-1	50	70	160
		2082	-1	-1	-1	-1	140	0	2082	-1	-1	-1	-1	140
11	MP = 330 220 110	6697	-1	-1	50	70	160	50	7840	-1	30	70	70	160
		3633	-1	-1	0	60	160	0	3633	-1	-1	0	60	160
		1717	-1	-1	-1	-1	110	0	1717	-1	-1	-1	-1	110
12	MP = 250 170 90	4100	-1	-1	20	70	160	0	4100	-1	-1	20	70	160
		2668	-1	-1	-1	10	160	0	2668	-1	-1	-1	10	160
		1479	-1	-1	-1	-1	90	0	1479	-1	-1	-1	-1	90
13	MP = 280 190 100	6093	-1	-1	50	70	160	0	6093	-1	-1	50	70	160
		2956	-1	-1	-1	30	160	0	2956	-1	-1	-1	30	160
		1598	-1	-1	-1	-1	100	0	1598	-1	-1	-1	-1	100
14	MP = 270 180 90	5864	-1	-1	-1	50	160	60	5920	-1	-1	40	70	160
		2805	-1	-1	-1	20	160	0	2805	-1	-1	-1	20	160
		1479	-1	-1	-1	-1	90	0	1479	-1	-1	-1	-1	90
15	MP = 270 180 90	5864	-1	-1	-1	50	160	60	5920	-1	-1	40	70	160
		2805	-1	-1	-1	20	160	0	2805	-1	-1	-1	20	160
		1479	-1	-1	-1	-1	90	0	1479	-1	-1	-1	-1	90
16	MP = 160 110 60	2507	-1	-1	-1	0	160	0	2507	-1	-1	-1	0	160
		1717	-1	-1	-1	-1	110	0	1717	-1	-1	-1	-1	110
		1131	-1	-1	-1	-1	60	0	1131	-1	-1	-1	-1	60

VARJE TIMPROGNOS AR BYGGD PA ATT INKOP AV EFFEKT UTIFRAN AR MOJLIG

RULLANDE RESERV MQ= 20 MW

TIDEN TIM	EFFEKT MP (MW)	KOSTNAD KR/TIM	INKOP UTIFRAN MOJLIG						INKOP UTIFRAN EJ MOJLIG					
			1	2	VERK			6	KOSTNAD KR/TIM	1	2	VERK		
17	70	1213	-1	-1	-1	-1	70	0	1213	-1	-1	-1	-1	70
	50	973	-1	-1	-1	-1	50	0	973	-1	-1	-1	-1	50
	30	737	-1	-1	-1	-1	30	0	737	-1	-1	-1	-1	30
18	0	1317	-1	-1	-1	0	-1	0	1317	-1	-1	-1	0	-1
	0	1317	-1	-1	-1	0	-1	0	1317	-1	-1	-1	0	-1
	0	1317	-1	-1	-1	0	-1	0	1317	-1	-1	-1	0	-1
19	0	177	-1	-1	-1	0	-1	0	177	-1	-1	-1	0	-1
	0	177	-1	-1	-1	0	-1	0	177	-1	-1	-1	0	-1
	0	177	-1	-1	-1	0	-1	0	177	-1	-1	-1	0	-1
20	0	177	-1	-1	-1	0	-1	0	177	-1	-1	-1	0	-1
	0	177	-1	-1	-1	0	-1	0	177	-1	-1	-1	0	-1
	0	177	-1	-1	-1	0	-1	0	177	-1	-1	-1	0	-1
21	0	177	-1	-1	-1	0	-1	0	177	-1	-1	-1	0	-1
	0	177	-1	-1	-1	0	-1	0	177	-1	-1	-1	0	-1
	0	177	-1	-1	-1	0	-1	0	177	-1	-1	-1	0	-1
22	0	177	-1	-1	-1	0	-1	0	177	-1	-1	-1	0	-1
	0	177	-1	-1	-1	0	-1	0	177	-1	-1	-1	0	-1
	0	177	-1	-1	-1	0	-1	0	177	-1	-1	-1	0	-1
23	130	4154	-1	-1	50	70	-1	10	4222	-1	-1	-1	-1	130
	90	2594	-1	-1	-1	50	-1	40	3284	-1	-1	20	70	-1
	50	934	-1	-1	-1	50	-1	0	934	-1	-1	-1	50	-1
24	300	9179	-1	-1	50	70	160	20	10435	30	-1	40	70	160
	200	5415	-1	-1	-1	40	160	0	5415	-1	-1	-1	40	160
	100	3047	-1	-1	-1	50	-1	50	3422	-1	-1	30	70	-1

VARJE TIMPROGNOS AR BYGGD PA ATT INKOP AV EFFEKT UTIFRAN EJ AR MOJLIG

RULLANDE RESERV MQ= 20 MW

INKOP UTIFRAN EJ MOJLIG

INKOP UTIFRAN MOJLIG

TIDEN TIM	EFFEKT MP(MW)	KOSTNAD KR/TIM	VERK					KOSTNAD KR/TIM	VERK					
			1	2	3	4	5		1	2	3	4	5	6
17	MP = 70	1213	-1	-1	-1	-1	70	1213	-1	-1	-1	-1	70	0
	50	973	-1	-1	-1	-1	50	973	-1	-1	-1	-1	50	0
	30	737	-1	-1	-1	-1	30	737	-1	-1	-1	-1	30	0
18	MP = 0	981	0	-1	-1	-1	-1	981	0	-1	-1	-1	-1	0
	0	981	0	-1	-1	-1	-1	981	0	-1	-1	-1	-1	0
	0	981	0	-1	-1	-1	-1	981	0	-1	-1	-1	-1	0
19	MP = 0	131	0	-1	-1	-1	-1	131	0	-1	-1	-1	-1	0
	0	131	0	-1	-1	-1	-1	131	0	-1	-1	-1	-1	0
	0	131	0	-1	-1	-1	-1	131	0	-1	-1	-1	-1	0
20	MP = 0	131	0	-1	-1	-1	-1	131	0	-1	-1	-1	-1	0
	0	131	0	-1	-1	-1	-1	131	0	-1	-1	-1	-1	0
	0	131	0	-1	-1	-1	-1	131	0	-1	-1	-1	-1	0
21	MP = 0	131	0	-1	-1	-1	-1	131	0	-1	-1	-1	-1	0
	0	131	0	-1	-1	-1	-1	131	0	-1	-1	-1	-1	0
	0	131	0	-1	-1	-1	-1	131	0	-1	-1	-1	-1	0
22	MP = 0	131	0	-1	-1	-1	-1	131	0	-1	-1	-1	-1	0
	0	131	0	-1	-1	-1	-1	131	0	-1	-1	-1	-1	0
	0	131	0	-1	-1	-1	-1	131	0	-1	-1	-1	-1	0
23	MP = 130	4222	-1	-1	-1	-1	130	4222	-1	-1	-1	-1	130	0
	90	3677	-1	-1	-1	-1	90	3059	10	-1	-1	70	-1	10
	50	2075	-1	-1	-1	50	-1	1949	10	-1	-1	-1	-1	40
24	MP = 300	8560	30	40	-1	70	160	8054	-1	50	-1	70	160	20
	200	4275	-1	-1	-1	40	160	4275	-1	-1	-1	40	160	0
	100	1580	-1	-1	-1	-1	100	1580	-1	-1	-1	-1	100	0



VARJE TIMPROGNOS AR BYGGD PA ATT INKOP AV EFFEKT UTIFRAN EJ AR MOJLIG

RULLANDE RESERV MQ= 20 MW

INKOP UTIFRAN EJ MOJLIG

INKOP UTIFRAN MOJLIG

TIDEN TIM	EFFEKT MP (MW)	KOSTNAD KR/TIM	VERK					KOSTNAD KR/TIM	VERK					
			1	2	3	4	5		1	2	3	4	5	6
1	430	-10	-10	-10	-10	-10	-10	13220	30	70	50	70	160	50
	MP = 290	7201	30	-1	30	70	160	6447	-1	-1	50	70	160	10
	150	2382	-1	-1	-1	0	150	2382	-1	-1	-1	0	150	0
2	480	-10	-10	-10	-10	-10	-10	13526	30	50	70	70	160	100
	MP = 320	7684	-1	30	60	70	160	5564	30	-1	50	70	160	10
	160	2461	0	-1	-1	-1	160	2461	0	-1	-1	-1	160	0
3	510	-10	-10	-10	-10	-10	-10	13936	30	50	70	70	160	130
	MP = 340	5752	-1	40	70	70	160	5752	-1	40	70	70	160	0
	170	2674	-1	-1	-1	10	160	2674	-1	-1	-1	10	160	0
4	540	-10	-10	-10	-10	-10	-10	15929	30	50	70	70	160	160
	MP = 360	7049	10	50	70	70	160	6295	-1	50	70	70	160	10
	180	2817	-1	-1	-1	20	160	2817	-1	-1	-1	20	160	0
5	570	-10	-10	-10	-10	-10	-10	17250	20	60	70	70	160	190
	MP = 380	6515	20	60	70	70	160	6515	20	60	70	70	160	0
	190	2962	-1	-1	-1	30	160	2962	-1	-1	-1	30	160	0
6	430	-10	-10	-10	-10	-10	-10	8640	30	60	60	70	160	50
	MP = 290	4861	10	50	-1	70	160	4861	10	50	-1	70	160	0
	150	2336	0	-1	-1	-1	150	2336	0	-1	-1	-1	150	0
7	450	-10	-10	-10	-10	-10	-10	11137	30	70	50	70	160	70
	MP = 300	5019	20	50	-1	70	160	5019	20	50	-1	70	160	0
	150	2336	0	-1	-1	-1	150	2336	0	-1	-1	-1	150	0
8	460	-10	-10	-10	-10	-10	-10	11660	30	70	50	70	160	80
	MP = 310	5177	30	50	-1	70	160	5177	30	50	-1	70	160	0
	160	2461	0	-1	-1	-1	160	2461	0	-1	-1	-1	160	0

VARJE TIMPROGNOS AR BYGGD PA ATT INKOP AV EFFEKT UTIFRAN EJ AR MOJLIG

RULLANDE RESERV MQ= 20 MW

INKOP UTIFRAN EJ MOJLIG

INKOP UTIFRAN MOJLIG

TIDEN TIM	EFFEKT MP(MW)	KOSTNAD KR/TIM	VERK					KOSTNAD KR/TIM	VERK					
			1	2	3	4	5		1	2	3	4	5	6
9	460	-10	-10	-10	-10	-10	-10	11660	30	70	50	70	160	80
	MP = 310	5177	30	50	-1	70	160	5177	30	50	-1	70	160	0
	160	2461	0	-1	-1	-1	160	2461	0	-1	-1	-1	160	0
10	420	-10	-10	-10	-10	-10	-10	9680	30	70	50	70	160	40
	MP = 280	4572	-1	50	-1	70	160	4572	-1	50	-1	70	160	0
	140	2082	-1	-1	-1	-1	140	2082	-1	-1	-1	-1	140	0
11	330	7090	-1	70	30	70	160	6697	-1	50	-1	70	160	50
	MP = 220	3633	-1	0	-1	60	160	3633	-1	0	-1	60	160	0
	110	1717	-1	-1	-1	-1	110	1717	-1	-1	-1	-1	110	0
12	250	4100	-1	20	-1	70	160	4100	-1	20	-1	70	160	0
	MP = 170	2668	-1	-1	-1	10	160	2668	-1	-1	-1	10	160	0
	90	1479	-1	-1	-1	-1	90	1479	-1	-1	-1	-1	90	0
13	280	6093	-1	50	-1	70	160	6093	-1	50	-1	70	160	0
	MP = 190	2956	-1	-1	-1	30	160	2956	-1	-1	-1	30	160	0
	100	1598	-1	-1	-1	-1	100	1598	-1	-1	-1	-1	100	0
14	270	5920	-1	40	-1	70	160	5864	-1	-1	-1	50	160	60
	MP = 180	2805	-1	-1	-1	20	160	2805	-1	-1	-1	20	160	0
	90	1479	-1	-1	-1	-1	90	1479	-1	-1	-1	-1	90	0
15	270	5920	-1	40	-1	70	160	5864	-1	-1	-1	50	160	60
	MP = 180	2805	-1	-1	-1	20	160	2805	-1	-1	-1	20	160	0
	90	1479	-1	-1	-1	-1	90	1479	-1	-1	-1	-1	90	0
16	160	2507	-1	-1	-1	0	160	2507	-1	-1	-1	0	160	0
	MP = 110	1717	-1	-1	-1	-1	110	1717	-1	-1	-1	-1	110	0
	60	1131	-1	-1	-1	-1	60	1131	-1	-1	-1	-1	60	0

VARJE TIMPROGNOS AR BYGGD PA ATT INKOP AV EFFEKT UTIFRAN EJ AR MOJLIG

RULLANDE RESERV MQ= 50 MW

INKOP UTIFRAN EJ MOJLIG

INKOP UTIFRAN MOJLIG

TIDEN TIM	EFFEKT MP(MW)	KOSTNAD KR/TIM	VERK					KOSTNAD KR/TIM	VERK					
			1	2	3	4	5		1	2	3	4	5	6
17	70	1237	-1	-1	-1	-1	70	1237	-1	-1	-1	-1	70	0
	50	1006	-1	-1	-1	-1	50	1006	-1	-1	-1	-1	50	0
	30	778	-1	-1	-1	-1	30	778	-1	-1	-1	-1	30	0
18	0	1317	-1	-1	-1	0	-1	1317	-1	-1	-1	0	-1	0
	0	1317	-1	-1	-1	0	-1	1317	-1	-1	-1	0	-1	0
	0	1317	-1	-1	-1	0	-1	1317	-1	-1	-1	0	-1	0
19	0	177	-1	-1	-1	0	-1	177	-1	-1	-1	0	-1	0
	0	177	-1	-1	-1	0	-1	177	-1	-1	-1	0	-1	0
	0	177	-1	-1	-1	0	-1	177	-1	-1	-1	0	-1	0
20	0	177	-1	-1	-1	0	-1	177	-1	-1	-1	0	-1	0
	0	177	-1	-1	-1	0	-1	177	-1	-1	-1	0	-1	0
	0	177	-1	-1	-1	0	-1	177	-1	-1	-1	0	-1	0
21	0	177	-1	-1	-1	0	-1	177	-1	-1	-1	0	-1	0
	0	177	-1	-1	-1	0	-1	177	-1	-1	-1	0	-1	0
	0	177	-1	-1	-1	0	-1	177	-1	-1	-1	0	-1	0
22	0	177	-1	-1	-1	0	-1	177	-1	-1	-1	0	-1	0
	0	177	-1	-1	-1	0	-1	177	-1	-1	-1	0	-1	0
	0	177	-1	-1	-1	0	-1	177	-1	-1	-1	0	-1	0
23	160	4819	-1	-1	-1	0	160	4819	-1	-1	-1	0	160	0
	110	3947	-1	-1	-1	-1	110	3947	-1	-1	-1	-1	110	0
	60	3278	-1	-1	-1	-1	60	2137	-1	-1	-1	20	-1	40
24	280	9726	30	20	-1	70	160	8709	-1	-1	-1	20	160	100
	190	5841	0	-1	-1	30	160	4344	-1	-1	-1	20	160	10
	100	1580	-1	-1	-1	-1	100	1580	-1	-1	-1	-1	100	0

VARJE TIMPROGNOS AR BYGGD PA ATT INKOP AV EFFEKT UTIFRAN AR MOJLIG

RULLANDE RESERV MQ= 50 MW

TIDEN TIM	EFFEKT MP(MW)	KOSTNAD KR/TIM	INKOP UTIFRAN MOJLIG						INKOP UTIFRAN EJ MOJLIG					
			1	2	VERK			6	KOSTNAD KR/TIM	1	2	VERK		
1	420	13636	30	70	20	70	160	70	-10	-10	-10	-10	-10	-10
	MP = 280	6498	0	-1	-1	50	160	70	6943	30	20	-1	70	160
	140	2211	0	-1	-1	-1	140	0	2211	0	-1	-1	-1	140
2	450	15298	30	50	40	70	160	100	-10	-10	-10	-10	-10	-10
	MP = 300	7568	0	-1	-1	50	160	90	9614	-1	40	30	70	160
	150	2382	-1	-1	-1	0	150	0	2382	-1	-1	-1	0	150
3	450	15298	30	50	40	70	160	100	-10	-10	-10	-10	-10	-10
	MP = 300	7568	0	-1	-1	50	160	90	9614	-1	40	30	70	160
	150	2382	-1	-1	-1	0	150	0	2382	-1	-1	-1	0	150
4	450	15298	30	50	40	70	160	100	-10	-10	-10	-10	-10	-10
	MP = 300	7568	0	-1	-1	50	160	90	9614	-1	40	30	70	160
	150	2382	-1	-1	-1	0	150	0	2382	-1	-1	-1	0	150
5	450	15298	30	50	40	70	160	100	-10	-10	-10	-10	-10	-10
	MP = 300	7568	0	-1	-1	50	160	90	9614	-1	40	30	70	160
	150	2382	-1	-1	-1	0	150	0	2382	-1	-1	-1	0	150
6	300	7568	0	-1	-1	50	160	90	9614	-1	40	30	70	160
	MP = 200	3234	0	-1	-1	40	160	0	3234	0	-1	-1	40	160
	100	1598	-1	-1	-1	-1	100	0	1598	-1	-1	-1	-1	100
7	240	4598	0	-1	-1	50	160	30	6184	-1	10	-1	70	160
	MP = 160	2507	-1	-1	-1	0	160	0	2507	-1	-1	-1	0	160
	80	1362	-1	-1	-1	-1	80	0	1362	-1	-1	-1	-1	80
8	240	5417	-1	-1	-1	20	160	60	6204	-1	10	-1	70	160
	MP = 160	2507	-1	-1	-1	0	160	0	2507	-1	-1	-1	0	160
	80	1362	-1	-1	-1	-1	80	0	1362	-1	-1	-1	-1	80

VARJE TIMPROGNOS AR BYGGD PA ATT INKOP AV EFFEKT UTIFRAN EJ AR MOJLIG

RULLANDE RESERV MQ= 50 MW

INKOP UTIFRAN EJ MOJLIG

INKOP UTIFRAN MOJLIG

TIDEN TIM	EFFEKT MP (MW)	KOSTNAD KR/TIM	VERK					KOSTNAD KR/TIM	VERK					
			1	2	3	4	5		1	2	3	4	5	6
9	240	5454	-1	10	-1	70	160	5417	-1	-1	-1	20	160	60
	MP = 160	2507	-1	-1	-1	0	160	2507	-1	-1	-1	0	160	0
	80	1362	-1	-1	-1	-1	80	1362	-1	-1	-1	-1	80	0
10	240	5454	-1	10	-1	70	160	5417	-1	-1	-1	20	160	60
	MP = 160	2507	-1	-1	-1	0	160	2507	-1	-1	-1	0	160	0
	80	1362	-1	-1	-1	-1	80	1362	-1	-1	-1	-1	80	0
11	240	5454	-1	10	-1	70	160	5417	-1	-1	-1	20	160	60
	MP = 160	2507	-1	-1	-1	0	160	2507	-1	-1	-1	0	160	0
	80	1362	-1	-1	-1	-1	80	1362	-1	-1	-1	-1	80	0
12	240	5454	-1	10	-1	70	160	5417	-1	-1	-1	20	160	60
	MP = 160	2507	-1	-1	-1	0	160	2507	-1	-1	-1	0	160	0
	80	1362	-1	-1	-1	-1	80	1362	-1	-1	-1	-1	80	0
13	240	5454	-1	10	-1	70	160	5417	-1	-1	-1	20	160	60
	MP = 160	2507	-1	-1	-1	0	160	2507	-1	-1	-1	0	160	0
	80	1362	-1	-1	-1	-1	80	1362	-1	-1	-1	-1	80	0
14	240	5454	-1	10	-1	70	160	5417	-1	-1	-1	20	160	60
	MP = 160	2507	-1	-1	-1	0	160	2507	-1	-1	-1	0	160	0
	80	1362	-1	-1	-1	-1	80	1362	-1	-1	-1	-1	80	0
15	240	5454	-1	10	-1	70	160	5417	-1	-1	-1	20	160	60
	MP = 160	2507	-1	-1	-1	0	160	2507	-1	-1	-1	0	160	0
	80	1362	-1	-1	-1	-1	80	1362	-1	-1	-1	-1	80	0
16	220	5141	-1	-1	0	60	160	4467	-1	-1	-1	20	160	40
	MP = 150	2382	-1	-1	-1	0	150	2382	-1	-1	-1	0	150	0
	80	1362	-1	-1	-1	-1	80	1362	-1	-1	-1	-1	80	0

VARJE TIMPROGNOS AR BYGGD PA ATT INKOP AV EFFEKT UTIFRAN AR MOJLIG

RULLANDE RESERV MQ= 50 MW

INKOP UTIFRAN MOJLIG

INKOP UTIFRAN EJ MOJLIG

TIDEN TIM	EFFEKT MP(MW)	KOSTNAD KR/TIM	VERK						KOSTNAD KR/TIM	VERK				
			1	2	3	4	5	6		1	2	3	4	5
9	240	5417	-1	-1	-1	20	160	60	6204	-1	10	-1	70	160
	MP = 160	2507	-1	-1	-1	0	160	0	2507	-1	-1	-1	0	160
	80	1362	-1	-1	-1	-1	80	0	1362	-1	-1	-1	-1	80
10	240	5417	-1	-1	-1	20	160	60	6204	-1	10	-1	70	160
	MP = 160	2507	-1	-1	-1	0	160	0	2507	-1	-1	-1	0	160
	80	1362	-1	-1	-1	-1	80	0	1362	-1	-1	-1	-1	80
11	240	5417	-1	-1	-1	20	160	60	6204	-1	10	-1	70	160
	MP = 160	2507	-1	-1	-1	0	160	0	2507	-1	-1	-1	0	160
	80	1362	-1	-1	-1	-1	80	0	1362	-1	-1	-1	-1	80
12	240	5417	-1	-1	-1	20	160	60	6204	-1	10	-1	70	160
	MP = 160	2507	-1	-1	-1	0	160	0	2507	-1	-1	-1	0	160
	80	1362	-1	-1	-1	-1	80	0	1362	-1	-1	-1	-1	80
13	240	5417	-1	-1	-1	20	160	60	6204	-1	10	-1	70	160
	MP = 160	2507	-1	-1	-1	0	160	0	2507	-1	-1	-1	0	160
	80	1362	-1	-1	-1	-1	80	0	1362	-1	-1	-1	-1	80
14	240	5417	-1	-1	-1	20	160	60	6204	-1	10	-1	70	160
	MP = 160	2507	-1	-1	-1	0	160	0	2507	-1	-1	-1	0	160
	80	1362	-1	-1	-1	-1	80	0	1362	-1	-1	-1	-1	80
15	240	5417	-1	-1	-1	20	160	60	6204	-1	10	-1	70	160
	MP = 160	2507	-1	-1	-1	0	160	0	2507	-1	-1	-1	0	160
	80	1362	-1	-1	-1	-1	80	0	1362	-1	-1	-1	-1	80
16	220	4467	-1	-1	-1	20	160	40	5891	-1	-1	0	60	160
	MP = 150	2382	-1	-1	-1	0	150	0	2382	-1	-1	-1	0	150
	80	1362	-1	-1	-1	-1	80	0	1362	-1	-1	-1	-1	80

VARJE TIMPROGNOS AR BYGGD PA ATT INKOP AV EFFEKT UTIFRAN EJ AR MOJLIG

RULLANDE RESERV MQ= 50 MW

INKOP UTIFRAN EJ MOJLIG

INKOP UTIFRAN MOJLIG

TIDEN TIM	EFFEKT MP(MW)	KOSTNAD KR/TIM	VERK					KOSTNAD KR/TIM	VERK					
			1	2	3	4	5		1	2	3	4	5	6
1	420	-10	-10	-10	-10	-10	-10	13636	30	70	20	70	160	70
	HP = 280	6943	30	20	-1	70	160	6498	0	-1	-1	50	160	70
	140	2211	0	-1	-1	-1	140	2211	0	-1	-1	-1	140	0
2	450	-10	-10	-10	-10	-10	-10	13043	30	60	30	70	160	100
	HP = 300	7366	-1	50	20	70	160	5493	30	20	-1	70	160	20
	150	2382	-1	-1	-1	0	150	2382	-1	-1	-1	0	150	0
3	450	-10	-10	-10	-10	-10	-10	11645	30	60	30	70	160	100
	HP = 300	5120	-1	60	10	70	160	5120	-1	60	10	70	160	0
	150	2382	-1	-1	-1	0	150	2382	-1	-1	-1	0	150	0
4	450	-10	-10	-10	-10	-10	-10	11645	30	60	30	70	160	100
	HP = 300	5120	-1	60	10	70	160	5120	-1	60	10	70	160	0
	150	2382	-1	-1	-1	0	150	2382	-1	-1	-1	0	150	0
5	450	-10	-10	-10	-10	-10	-10	11645	30	60	30	70	160	100
	HP = 300	5120	-1	60	10	70	160	5120	-1	60	10	70	160	0
	150	2382	-1	-1	-1	0	150	2382	-1	-1	-1	0	150	0
6	300	5120	-1	70	0	70	160	5120	-1	70	0	70	160	0
	HP = 200	3339	-1	-1	0	40	160	3339	-1	-1	0	40	160	0
	100	1598	-1	-1	-1	-1	100	1598	-1	-1	-1	-1	100	0
7	240	3944	-1	-1	10	70	160	3944	-1	-1	10	70	160	0
	HP = 160	2507	-1	-1	-1	0	160	2507	-1	-1	-1	0	160	0
	80	1362	-1	-1	-1	-1	80	1362	-1	-1	-1	-1	80	0
8	240	5454	-1	10	-1	70	160	5417	-1	-1	-1	20	160	60
	HP = 160	2507	-1	-1	-1	0	160	2507	-1	-1	-1	0	160	0
	80	1362	-1	-1	-1	-1	80	1362	-1	-1	-1	-1	80	0

VARJE TIMPROGNOS AR BYGGD PA ATT INKOP AV EFFEKT UTIFRAN AR MOJLIG

RULLANDE RESERV MQ= 50 MW

TIDEN TIM	EFFEKT MP(MW)	KOSTNAD KR/TIM	INKOP UTIFRAN MOJLIG						INKOP UTIFRAN EJ MOJLIG					
			1	2	VERK			6	KOSTNAD KR/TIM	1	2	VERK		
17	70	1237	-1	-1	-1	-1	70	0	1237	-1	-1	-1	-1	70
	50	1006	-1	-1	-1	-1	50	0	1006	-1	-1	-1	-1	50
	30	778	-1	-1	-1	-1	30	0	778	-1	-1	-1	-1	30
18	0	1317	-1	-1	-1	0	-1	0	1317	-1	-1	-1	0	-1
	0	1317	-1	-1	-1	0	-1	0	1317	-1	-1	-1	0	-1
	0	1317	-1	-1	-1	0	-1	0	1317	-1	-1	-1	0	-1
19	0	177	-1	-1	-1	0	-1	0	177	-1	-1	-1	0	-1
	0	177	-1	-1	-1	0	-1	0	177	-1	-1	-1	0	-1
	0	177	-1	-1	-1	0	-1	0	177	-1	-1	-1	0	-1
20	0	177	-1	-1	-1	0	-1	0	177	-1	-1	-1	0	-1
	0	177	-1	-1	-1	0	-1	0	177	-1	-1	-1	0	-1
	0	177	-1	-1	-1	0	-1	0	177	-1	-1	-1	0	-1
21	0	177	-1	-1	-1	0	-1	0	177	-1	-1	-1	0	-1
	0	177	-1	-1	-1	0	-1	0	177	-1	-1	-1	0	-1
	0	177	-1	-1	-1	0	-1	0	177	-1	-1	-1	0	-1
22	0	177	-1	-1	-1	0	-1	0	177	-1	-1	-1	0	-1
	0	177	-1	-1	-1	0	-1	0	177	-1	-1	-1	0	-1
	0	177	-1	-1	-1	0	-1	0	177	-1	-1	-1	0	-1
23	160	4819	-1	-1	-1	0	160	0	4819	-1	-1	-1	0	160
	110	3947	-1	-1	-1	-1	110	0	3947	-1	-1	-1	-1	110
	60	2137	-1	-1	-1	20	-1	40	3278	-1	-1	-1	-1	60
24	280	8709	-1	-1	-1	20	160	100	9726	30	20	-1	70	160
	190	4344	-1	-1	-1	20	160	10	5841	0	-1	-1	30	160
	100	1580	-1	-1	-1	-1	100	0	1580	-1	-1	-1	-1	100