

# **DIGITAL REGLERING AV BRÄNNPORTAL**

ANDERS BLOM  
FREDDY TENGVALL

Institutionen för Reglerteknik  
Lunds Tekniska Högskola  
Juli 1978

## DIGITAL REGLERING AV BRÄNNPORTAL

Föreliggande rapport är ett examensarbete utfört vid Institutionen för Reglerteknik, Lunds Tekniska Högskola, under sommaren 1978. Arbetet har utförts för Kockums Computer Systems AB i Malmö.

av Anders Blom  
Freddy Tengvall

Ansvariga handledare: Gustaf Olsson  
Tord Novén

Inst. för Reglerteknik  
Kockums Computer Systems AB

## ABSTRACT

Current regulator to the cutting machine at Kockums Computer Systems AB is impaired by a too big control error. The purpose has been to reduce this error a factor of 10. An interface to the cutting machine has also been developed. This is intended for use in a future system based on a LSI-11 computer and a REMA-bus.

The results of the control tests prove that the position error can be reduced by feed forward to the desired value. The modified regulator can without problems replace the original version. A test of the interface shows that the communication between interface and computer satisfies the requirements. An arrangement for test of interface and synchro has been constructed.

## SAMMANFATTNING

Nuvarande regulator till brännportalen vid Kockums Computer Systems AB ger ett alltför stort reglerfel. Uppgiften har varit att reducera detta fel en faktor 10. Dessutom har ett interface till brännportalen konstruerats. Det är avsett att ingå i ett framtida system uppbyggt kring en LSI-11 dator och en REMA-buss.

Resultaten av regleringen visar att positionsfelet kan reduceras med hjälp av framkoppling till det önskade värdet. Den modifierade regulatorn kan utan några större problem direkt ersätta den ursprungliga versionen. Den kontrolltest av interfacet som har gjorts visar att kommunikationen till och från datorn fungerar. En anordning för kontroll av interface och synkro har konstruerats.

## DIGITAL REGLERING AV BRÄNNPORTAL

Sammanfattning

Innehållsförteckning

1. INLEDNING	1
2. BESKRIVNING AV BRÄNNPORTALEN	2
2.1 Brännportalens fysik	2
2.2 Brännportalens dynamik	3
2.3 Mätgivare och ställdon	5
3. REGLERUPPGIFT	6
3.1 Reglersystemets allmänna uppbyggnad	6
3.2 Krav på regleringen	7
3.3 PI-reglering	8
3.4 PI-reglering med framkoppling	9
4. SIMULERINGAR	11
4.1 Inledande analys	11
4.2 Simuleringar utförda m.h.a. SIMNON	12
4.3 Regulatorstest i brännportalssimulator	14
4.4 Resultat	15
5. KONSTRUKTION AV INTERFACE	16
5.1 Uppgift	16
5.2 Beskrivning av A/D -och S/D - omvandlare	17
5.3 Funktion	20
5.4 Funktionstest	21

6. TESTKÖRNING VID VERKLIG BRÄNNPORTAL	
6.1 Framkopplingens inverkan på systemet	22
A. APPENDIX	
A.1 Beskrivning av brännportal	23
A.2 SIMNON-simuleringar	25
A.3 Interface	30
A.4 Resultat från brännportalssimulator	42
A.5 Resultat från verklig brännportal	48
A.6 Referenser	52

## 1. INLEDNING

Vid Kockums Computer Systems AB finns en brännportal av typ KEBE Telorex II, avsedd för bränning av skrov- detaljer vid fartygskonstruktion.

Denna brännportal styrs för närvarande av en minidator KS 500 (Kongsberg).

Då nuvarande regulator, som används för positionering och styrning har ett alltför stort positionsfel, har uppgiften varit att reducera detta. Eftersom en alltför komplex regulator kan innebära att samplingsintervallet ökas, måste regulatorn uppfylla kraven på begränsad exekveringstid och effektiv reglering.

Med anledning av att den nuvarande minidatorn skall ersättas med en mikrodator LSI-11, har uppgiften också varit att konstruera ett interface till denna.

Interfacets funktion är att verka som en buffert mellan datorn och de mätgivare och ställdon som är anslutna till brännportalen. Avsikten är dels att digitala signaler från datorn skall analogomvandlas och styra servomotorer och dels att omvandla analoga signaler från ett synkro till ett digitalt värde.

## 2. BESKRIVNING AV BRÄNNPORTALEN

I avsnitt 2.1 ges en allmän beskrivning av brännportalen bl. a. fysisk storlek, vikt, operatörspanel etc. Portalens dynamiska beteende diskuteras i 2.2. Mätgivare och ställdon tas upp i avsnitt 2.3.

### 2.1 Brännportalens fysik

Den brännportal som används visas i Appendix A.1 figur 1. Portalen kan i princip beskrivas som en x-y skrivare. Maximal arbetsbredd i x-led och y-led är 30 m resp. 15 m. Maskinen förflyttas i x-led på en räls och i y-led förflyttas två brännhuvud längs en tvärbalk. Portalens vikt är ca 15 000 kg.

Portalen drives av två likströmsmotorer, en i vardera portalsidan. Genom att dessa är förbundna med ett lokalt servo krävs endast en styrsignal för positionering av portalen i x-led.

Tvärbalken i y-led är försedd med två brännhuvud varav ett styrs. Parkeringsläget för huvudena är vid operatörplattformen. Brännhuvudena är utrustade med brännaraggregat för skärning av plåten.

Brännportalen är konstruerad för bränning med variabel fog, vilket innebär att lutningen av brännhuvudena kan varieras.

Operatörspanelen till portalen innehåller en bildskärm och ett tangentbord samt olika manöverorgan för styrning av maskinen. Panelen är placerad på en plattform som är fixerad på brännportalen.

Portalen är en KEBE Telorex II.



## 2.2 Brännportalens dynamik

För den aktuella brännportalen gäller, se [2]sid 11-13, att dess dynamik beskrivs att ett minimumfas system med följande överföringsfunktion

$$G(s) = \frac{K}{s(1 + sT)}$$

där K är en proportionalitetskonstant och T tidskonstanten. Insignal och utsignal till systemet är en hastighet resp. ett läge.

I G(s) ingår det totala systemets dynamik såsom motor, servo, analoga regulatorer, tröghet hos portalen samt mätgivare och ställdon.

Tidskonstanten T hos systemet är 0.15 sek. Systemet kan beskrivas med differentialekvationer

$$\frac{dx_1}{dt} = x_2 \quad (1)$$

$$\frac{dx_2}{dt} = -1/T x_2 + K/T Y_{ref} \quad (2)$$

$$y(t) = x_1 \quad (3)$$

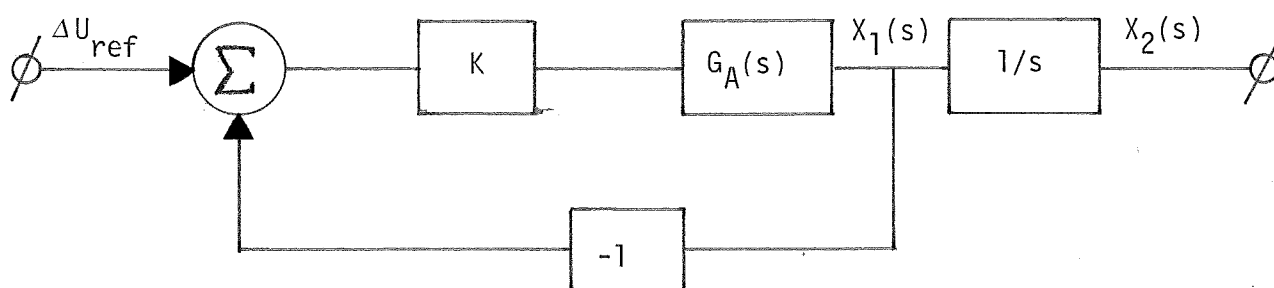
där  $Y_{ref}$  är referensvärdet. Om man väljer tillståndsvariablerna  $x_1$  och  $x_2$  så att

$$\frac{dx_1}{dt} = -1/T \cdot (1 + K)x_1 + K/T Y_{ref} \quad (4)$$

$$\frac{dx_2}{dt} = x_1 \quad (5)$$

$$y(t) = x_2 \quad (6)$$

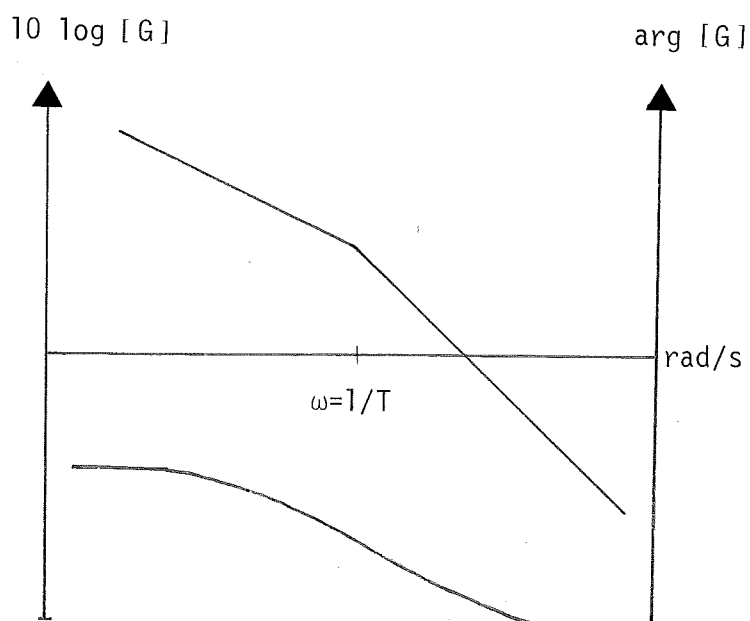
kan man representera portalen med en intern hastighets-  
återkoppling och en integrator. Se figur 2.1.



Figur 2.1. Blockschema över brännportalen representerad enligt ekv. 4,5 och 6.

$$G_A(s) = \frac{1}{1 + sT}$$

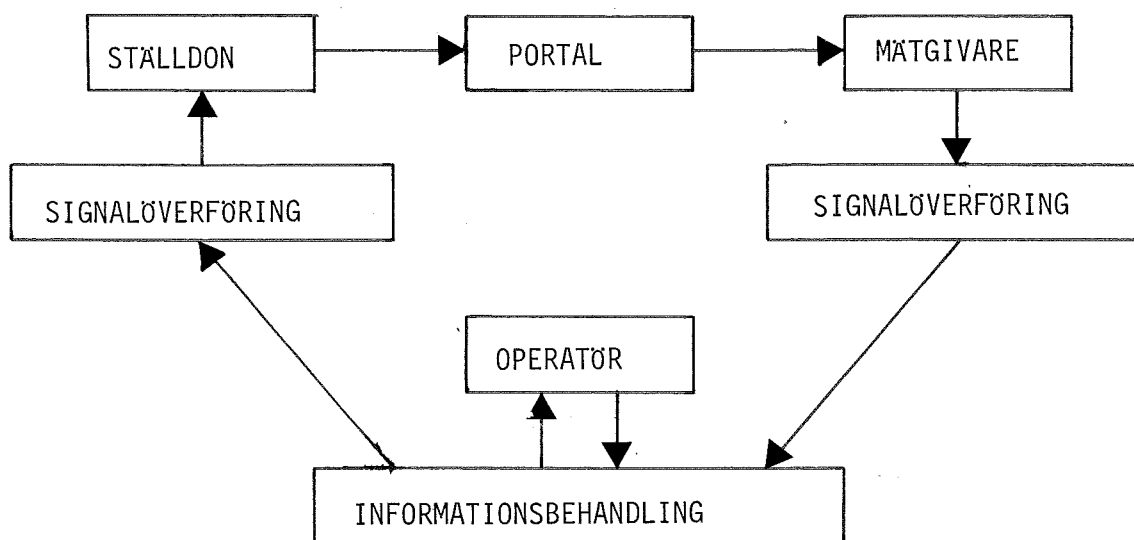
Bodediagram för det öppna systemet  $G(s)$  visas i figur 2.2.  $K=10$ ,  $T = 0.15$  s



Figur 2.2. Bodediagram för  $G(s) = \frac{K}{s(1 + sT)}$

### 2.3 Mätgivare och ställdon

Betrakta blockschemat i figur 2.3. Mätgivarna presenterar analoga eller digitala signaler, som representerar värden av fysiska storheter.



Figur 2.3. Blockschemat över processreglersystemet.

Mätinformationen presenteras i datorn i digital form. Datorn kommunicerar med portalen via sina S/D och D/A omvandlare. För mer detaljerad information angående dessa se avsnitt 5.2.

### 3. REGLERUPPGIFT

I detta kapitel diskuteras reglersystemet ingående. Först ges en allmän beskrivning av reglersystemets uppbyggnad.

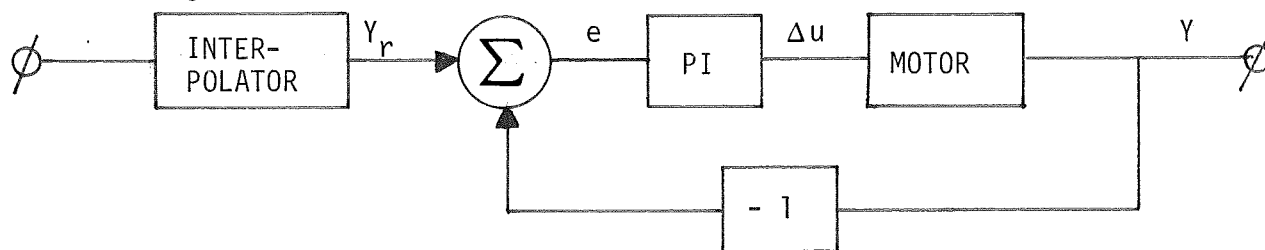
Reglerkraven definieras i avsnitt 3.2.

PI-reglering beskrivs i 3.3. Kapitlet avslutas med en analys av PI-reglering kombinerad med framkoppling.

#### 3.1 Reglersystemets allmänna uppbyggnad

Blockschemat i figur 3.1 visar hur nuvarande reglersystem är uppbyggt.

Konturbeskrivning



Figur 3.1. Blockschemat över reglersystemets uppbyggnad.

Regleringen av brännportalen sker m.h.a. en digital proportionell och integrerande regulator. Som referensvärde  $Y_r$  anges en position och som utsignal  $Y$  den av maskinen uppnådda positionen.

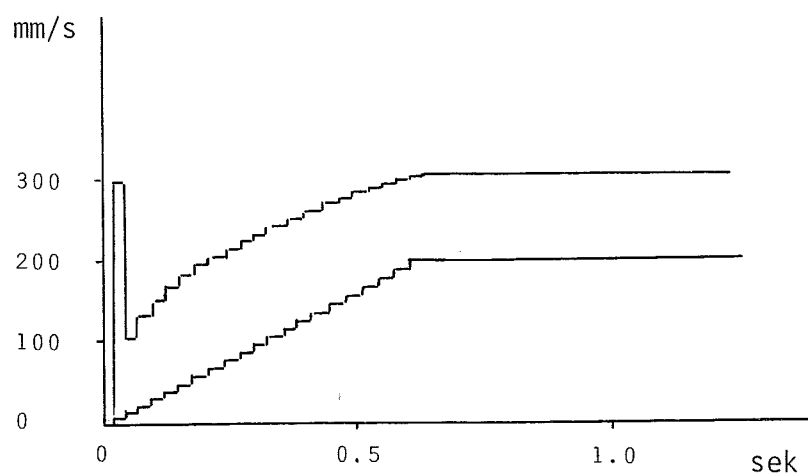
Vid varje sampel beräknar interpolatorn en aktuell referensposition  $Y_r$ .

Då man är intresserad av att bränna en viss kontur t.ex. en cirkel, läses denna konturbeskrivning från t.ex. en hållremsa. Interpolatorn beräknar sedan med hjälp av denna information succesiva referenspositioner  $Y_r$ .

### 3.2 Krav på regleringen

Avsikten med regleringen är att systemet skall reproducera en given insignal så bra som möjligt.

En teoretisk studie visar att man kan erhålla ett nästan idealt regelsystem. I det praktiska fallet finner man att det uppstår problem, t.ex. accelerationen och retardationen måste begränsas för att inte överbelasta och förstöra servon och motorn. Figur 3.2 visar hur signaler till motorn måste begränsas.



Figur. 3.2. Styrsignalerna till motorn måste begränsas, dels absolutvärdet och dels derivatan.

Dessutom förekommer yttre störningar på systemet i form av ojämnheter i rälsen, slitage hos mätgivare och ställdon etc.

Med nuvarande PI-reglering erhåller man ett positionsfel i storleksordningen 25 mm då maskinen körs med maximal hastighet 200 mm/s. Detta fel skall minskas till ung. 1-2 mm dvs en faktor 15, för att uppfylla kraven av en acceptabel regulator. Regulatorn måste även uppfylla kraven på begränsad exekverings-tid och effektiv reglering.

### 3.3 PI-reglering

Då regleringen sker m.h.a. dator finns PI-algoritmen implementerad digitalt. Regulatorn är programvarumässig och är skriven i program-språket FORTRAN.

I ett tidsdiskret system representeras PI-algoritmen på följande form, se [1] sid 116,

$$u_n = K \left\{ e_n + \frac{\Delta t}{T_i} \sum e_k \right\} \quad (1)$$

I vårt fall sker digital PI-reglering enligt  $\Delta$ -modell

$$\begin{aligned} \Delta u_n &= u_n - u_{n-1} = \\ &= K \left\{ e_n + \frac{\Delta t}{T_i} \sum e_k \right\} - K \left\{ e_{n-1} + \frac{\Delta t}{T_i} \sum e_k \right\} = \\ &= K \left\{ \Delta e_n + \frac{\Delta t}{T_i} e_n \right\} \end{aligned} \quad (2)$$

Då  $u_n$  och  $u_{n-1}$  är en position vid tidpunkten  $t=n$  resp.  $t=n-1$  definieras  $\Delta u_n$  som positionsändring per sampelintervall, dvs hastigheten vid tidpunkten  $t=n$ .

Den absoluta hastigheten  $\Delta u_n$  utgör styrsignal till maskinen (motorn).

### 3.4 PI-reglering med framkoppling

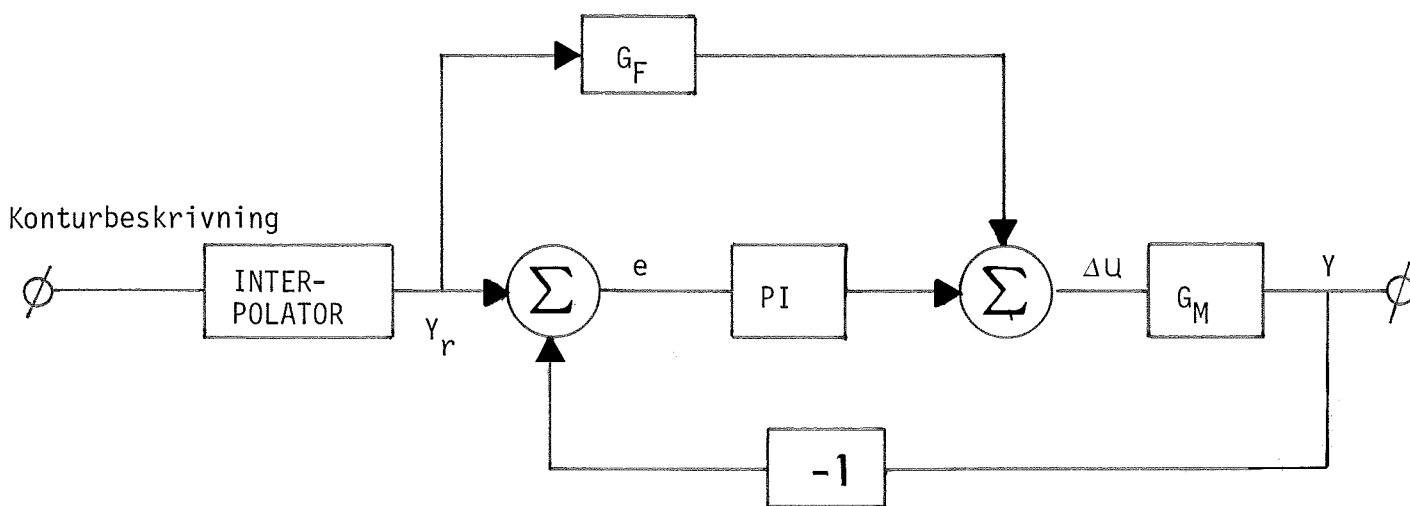
Då en PI-regulator av typ (2) i avsnitt 3.3 används, erhålls ett stationärt positionsfel. Se avsnitt 3.2.

För att kompensera detta reglerfel kompletteras regulatorn med framkoppling.

Vid bränning av en given kontur ändras börvärdet till regulatorn vid varje sampelintervall. Detta innebär att en konventionell regulator med återkoppling har svårigheter att eliminera börvärdesändringen.

Genom att mäta ändringen innan den givit upphov till ett reglerfel kan störningens inverkan på systemet reduceras. Dess stora fördel är att snabba variationer kan elimineras därigenom att kompensationsåtgärder vidtas innan verkan av störningen visat sig i avvikelser i utsignalen, se [3] sid 214.

I figur 3.3 visas en regulatorstruktur som medger en kombination av framkoppling och återkoppling.



Figur 3.3. Regulatorstruktur som kombinerar framkoppling och återkoppling.

Låt  $e = Y_r - Y$  Ur figur 3.3 fås

$$Y = G_M ( G_R e + G_F Y_r )$$

där  $G_M$  är maskinens överföringsfunktion

$G_R$  är PI-regulatorns -"-

$G_F$  är framkopplingens -"-

Kombination av ovanstående ekvationer ger

$$Y_r - e = G_M G_R e + G_M G_F Y_r$$

$$\text{dvs. } ( G_M G_R + 1 ) e = ( 1 - G_M G_F ) Y_r$$

$$\text{och } e(s) = \frac{1 - G_M(s) G_F(s)}{1 + G_M(s) G_R(s)} Y_r(s) \quad (1)$$

$e(s)$  = reglerfelets laplacetransform

$Y_r(s)$  = referensvärdets -"-

Av ekv. (1) framgår att reglerfelet kan elimineras endast om  $G_M(s) G_F(s) = 1$  dvs.  $G_F(s)$  utgör inversen till  $G_M(s)$ .

För att  $e = 0$  krävs alltså en exakt modell av brännportalen.

$$\text{Då } G_M(s) = \frac{K}{s(1 + sT)} \quad \text{erhålls } G_F(s) = \frac{s(1 + sT)}{K} =$$

$$= C_1 s + C_2 s^2 \quad \text{där } C_1 \text{ och } C_2 \text{ är konstanter.}$$

Optimala värden för  $C_1$  och  $C_2$  blir alltså  $1/K$  resp.  $T/K$ .

En jämförelse med figurer och diagram mellan PI-reglering med och utan framkoppling finns i kapitlet Simuleringar.



## 4. SIMULERINGAR

Kapitlet behandlar olika simuleringar av brännportalen. I avsnitt 4.1 görs en analys av regulatorn. Simuleringar har utförts i SIMNON och vid en brännportalssimulator. Dessa beskrivs i 4.2 resp. 4.3. Slutresultaten från simuleringarna redovisas i avsnitt 4.4.

### 4.1 Inledande analys

Då brännportalen arbetar kontinuerligt och PI-regulatorn tidsdiskret måste samma förhållande gälla vid simuleringen.

Den modell av brännportalen som används är  $G(s) = \frac{K}{s(1 + sT)}$

Den tidsdiskreta versionen av PI-regulatorn på  $\Delta$ -modell är enligt avsnitt 3.3 ekv. 2

$$\Delta u(t) = K \left\{ \Delta e(t) + \frac{\Delta t}{T_i} e(t) \right\} \quad (1)$$

Eftersom det är av intresse att enkelt kunna göra jämförelser mellan PI-reglering med och utan framkoppling, kompletteras (1) med följande dynamiska framkoppling

$$A \left\{ Y_r(t) - Y_r(t-1) \right\} + B \left\{ Y_r(t) - 2 Y_r(t-1) + Y_r(t-2) \right\}$$

Den nya versionen av regulatorn får följande utseende

$$\begin{aligned} \Delta u(t) = & A \left\{ Y_r(t) - Y_r(t-1) \right\} + B \left\{ Y_r(t) - 2 Y_r(t-1) + Y_r(t-2) \right\} + \\ & + K \left\{ e(t) - e(t-1) \right\} + \frac{K \Delta t}{T_i} e(t) \quad (2) \end{aligned}$$

Av ekvation (2) framgår att genom att variera parametrarna A och B kan förlopp med och utan framkoppling enkelt studeras. Då A=B=0 saknas framkopplingen i regleringen.

Genom att välja ett optimalt A - värde och därefter ett B - värde kan en effektiv reglering erhållas.

## 4.2 Simuleringar utförda m.h.a. SIMNON

För att kunna använda SIMNON som ett simuleringshjälpmedel krävs det att modellerna är representerade enligt ekv.(3) nedan.

Betrakta ekv. (2) i avsnitt 4.1. Ekvationen skall representeras på följande tillståndsform

$$\begin{aligned}x(t+1) &= \Phi x(t) + \Gamma u(t) \\ y(t) &= C x(t) + D u(t)\end{aligned}\quad (3)$$

Inför tillstånd

$$x_1(t) = e(t-1)$$

$$x_2(t) = Y_r(t-1)$$

$$x_3(t) = Y_r(t-2) \quad \text{vilket ger att}$$

$$x_1(t+1) = e(t)$$

$$x_2(t+1) = Y_r(t)$$

$$x_3(t+1) = Y_r(t-1) = x_2(t)$$

$$\begin{aligned}y(t) &= -K e(t-1) - (A + 2B) Y_r(t-1) + B Y_r(t-2) + \\ &\quad + (A + B) Y_r(t) + \left(K + \frac{K \Delta t}{T_i}\right) e(t)\end{aligned}$$

Matriserna för  $\Phi$ ,  $\Gamma$ ,  $C$  och  $D$  blir alltså

$$\Phi = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \end{pmatrix} \quad \Gamma = \begin{pmatrix} 0 & 1 \\ 1 & 0 \\ 0 & 0 \end{pmatrix}$$

$$C = \left\{ \begin{array}{l} -K \\ -(A + 2B) \\ B \end{array} \right\} \qquad D = \left\{ \begin{array}{l} (A + B) \\ (K + \frac{K \Delta t}{T_i}) \end{array} \right\}$$

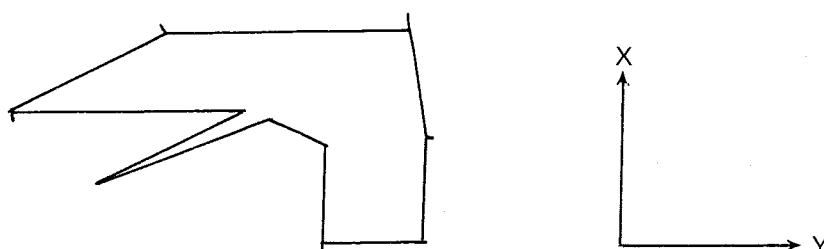
Följande simuleringar har utförts m.h.a. SIMNON och är en jämförelse mellan med och utan framkoppling. Simuleringsdiagrammen återfinns tillsammans med programlistorna i Appendix A.2. Se [4].

- figur 1 visar in-utsignalsamband då  $A = 0$   $B = 0$   
 $insignal(Y_r) = t^2$  ;  $t \geq 0$   $A = 0.133$   $B = 0$   
 $A = 0.133$   $B = 1$
  
- figur 2 visar in-utsignalsamband då  $A = 0$   $B = 0$   
 $insignal(Y_r) = t$  ;  $t \geq 0$   $A = 0.133$   $B = 0$
  
- figur 3 visar positionsfelet (e) då  $A = 0$   $B = 0$   
 $insignal(Y_r) = t$  ;  $t \geq 0$   $A = 0.133$   $B = 0$
  
- figur 4 visar det interna stegsvaret i motorn då motorn är representerad enligt ekv. (4), (5) och (6) i avsnitt 2.2.

### 4.3 Regulatortest i brännportalssimulator

Vid KCS AB i Malmö finns en brännportalssimulator i anslutning till den verkliga brännportalen. De resultat som erhållits i samband med simuleringar i SIMNON har kontrollerats i denna simulator. Den modifierade versionen av den ursprungliga regulatorn återfinns i Appendix A.4.

Vid simuleringen har den testkontur, se figur 4.1 nedan, som finns implementerad i simuleringssystemet, använts som referenskontur.



Figur 4.1 Testkonturen som använts vid simuleringförsöken.

Vid simuleringen har inverkan av A och B parametrarna relativt den ursprungliga regulatorn studerats. Följande simuleringresultat finns dokumenterade i Appendix A.4.

- figur 1 visar referenskonturen
- figur 2 visar positionen i x-led som funktion av tiden
- figur 3 visar hastigheten i x-led som funktion av tiden
- figur 4 visar positionsfelet i x-led som funktion av tiden då  $A = 0.1725$  ,  $B = 0.195$  (optimal framkoppling) relativt då  $A = 0$  och  $B = 0$  (nuvarande regulator). Regulatorbyte har skett vid tidpunkten  $t = 150$  s

- figur 5 visar positionsfelet som funktion av hastigheten då  $A = 0$  ,  $B = 0$  och då  $A = 0.1725$  och  $B = 0.195$
- figur 6 visar positionsfelet som funktion av hastigheten då  $A = 0$  ,  $B = 0$  och då  $A = 0.1725$  och  $B = 0$

#### 4.4 Resultat

SIMNON-simuleringarna och simuleringarna vid brännportalen visade sig stämma väl överens. Av resultaten framgår att med framkoppling kan positionsfelet reduceras betydligt. Med framkopplingstermerna A och B lika med 0.1725 resp. 0.195 blir felet av storleksordningen 1/10 mm.

Då brännportalens noggrannhet vid skärning av plåt är av storleksordningen 1 mm, kan framkopplingstermerna minskas något.

Eftersom framkopplingen påverkar portalen direkt kan systemet bli känsligt för yttre störningar. Med  $B=0$  erhålls ett positionsfel ung. 2 mm , dvs. fullt tillräckligt för att uppfylla kraven. Detta medför att systemets stabilitet förbättras och dess känslighet för yttre störningar reduceras.

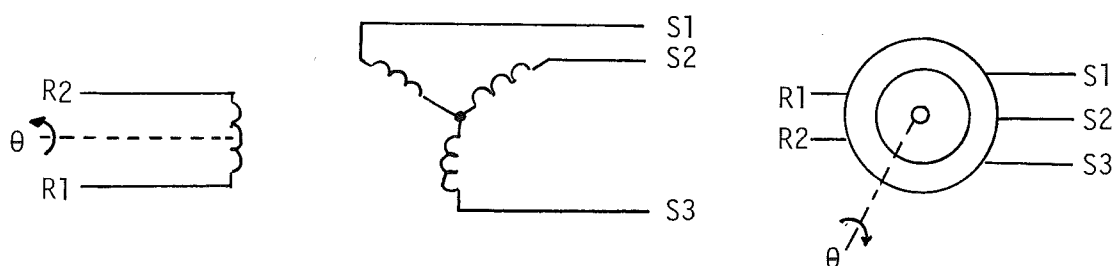
## 5. KONSTRUKTION AV INTERFACE

Ett interface för kommunikation mellan brännportalen och dator (LSI-11), via en s.k. REMA-buss har konstruerats, byggts och testats. I avsnitt 5.1 redogörs för dess uppgift. Avsnitt 5.2 och 5.3 beskriver de ingående komponenterna och deras funktion. Avsnitt 5.4 slutligen, behandlar metoderna vid funktionstesten.

### 5.1 Uppgift

Brännportalens rörelse i x-led och y-led styrs av två likströmsmotorer. Dess position bestäms av två synkron. På ett kretskort av dubbelt Europa-format finns två D/A-omvandlare för styrning av motorerna, samt två S/D-omvandlare för omvandling av signalerna från de båda synkrona. På samma kretskort finns dessutom en logikdel, som kontrollerar kortplatsadressen, D/A -och S/D-omvandlarna m.m. Se avsnitt 5.3.

Ett synkro är en roterande transformator med primärlindningen på rotorn och sekundärlindningen i statorn. Se fig. 5.1.



Figur 5.1. Principskiss på ett synkro.

Vid rotation kommer rotor -och statorlindningarnas relativa läge att ändras och utsignalen från statorlindningen varierar som sinus för vinkeln mellan dem. Genom att använda tre lindningar och endast betrakta förhållandet mellan de tre

utsignalerna, kommer spännings -eller frekvensvariationer hos referenssignalen inte att påverka resultatet.

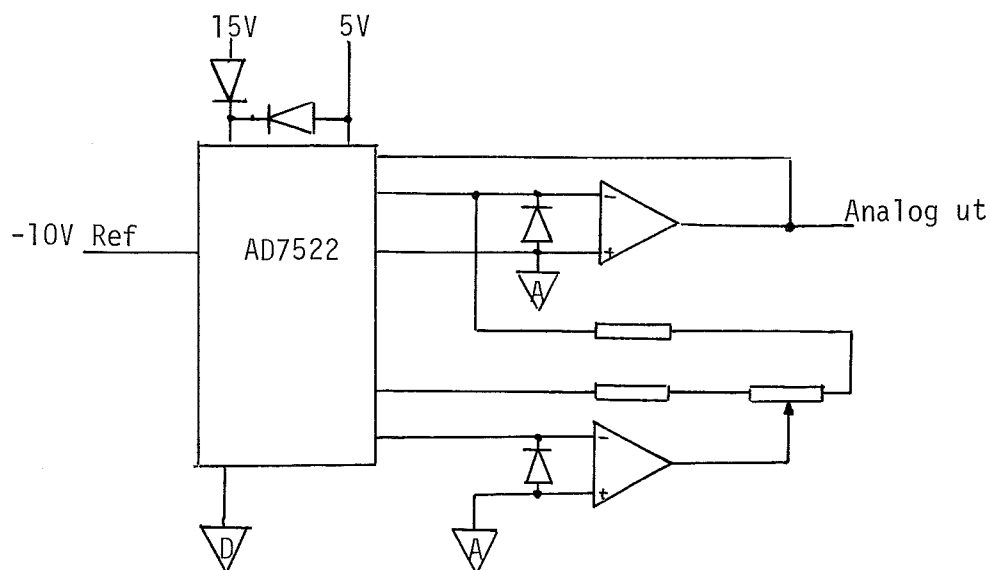
Eftersom ett synkro endast ger en vinkel mellan 0 och 360 grader, vilket motsvarar 100 mm i x -eller y-led på brännportalen, sker en programvarumässig kontroll av antalet varv.

Ovan beskrivna kretskort utgör interface mot REMA-bussen, som är ett buss-system framtaget av Kockums. Systemet är uppbyggt runt en buss som består av data, adress och kontrollsignaler. Bussen består av 64 ledare, uppdelade i:

- 16 data-ledare
- 16 adress-ledare
- 4 +5V matningar
- 4 0V matningar
- 2 +12V matningar
- 2 -12V matningar
- 8 kontrollsignaler
- 4 rack enable signaler
- 5 kortplatsadress

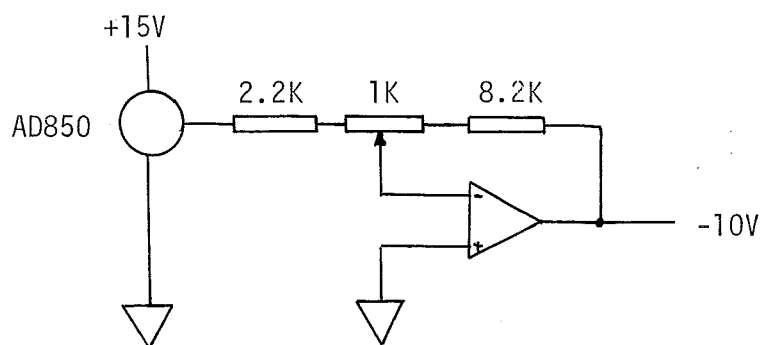
## 5.2 Beskrivning av D/A -och S/D-omvandlarna

D/A-omvandlarna (AD7522, Analog Devices,[5]), har 10 bitars upplösning. De är monolitiska och utförda i CMOS-teknik. AD7522 är multiplicerande, vilket innebär att den analoga utspänningen är produkten av det digitala ordet och en referensspänning. Den innehåller register, till vilket det digitala ordet på ingångarna laddas parallellt. AD7522 måste dessutom kompletteras med två operationsförstärkare för att erhålla utspänningen. Se fig. 5.2.



Figur 5.2. D/A-omvandlare med tillhörande operationsförstärkare.

Med en referensspänning på  $-10V$  kommer utspänningen att variera mellan  $-10V$  och  $+10V$ , vilket medför att upplösningen blir  $0.02V$ . Referensspänningen erhålles genom att en  $2.5V$  referens (AD850) förstärks 4 gånger i en inverterande förstärkare. Se fig. 5.3.

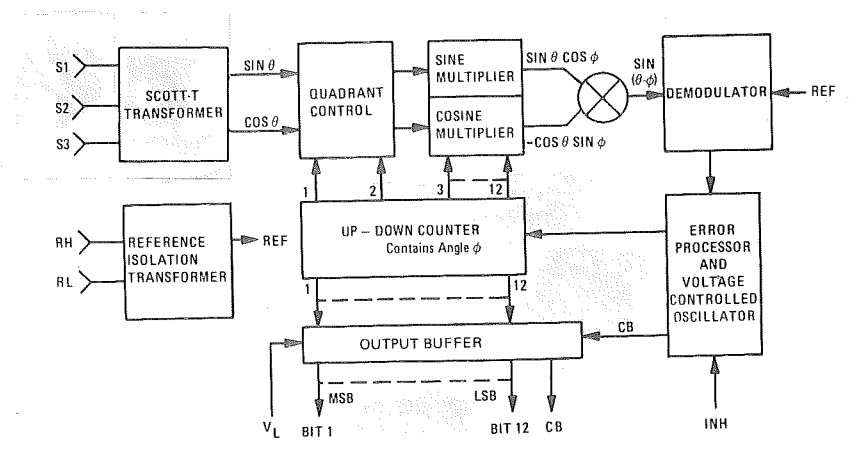


Figur 5.3. Koppling för att erhålla  $-10V$  referensspänning.

S/D-omvandlarna (SD552A, Natel) omvandlar tre signaler från ett synkro till en 14 bitars digital vinkel. Upplösningen blir  $0.02$  grader vilket motsvarar  $0.006$  mm i x -eller y-led på brännportalen. Omvandlarna är utförda i CMOS-teknik och är TTL-kompatibla.



De tre signalerna från ett synkro är på formen  $\sin\theta\cos\omega t$ ,  $\sin(\theta+120^\circ)\cos\omega t$  och  $\sin(\theta+240^\circ)\cos\omega t$ , där  $\theta$  är uppmätta vinkeln och  $\omega$  svarar mot bärfrekvensen (400Hz). Dessa omvandlas i en Scott-T-Transformer till två signaler,  $\sin\theta\cos\omega t$  och  $\cos\theta\cos\omega t$ . Se fig 5.4.



Figur 5.4. Blockdiagram på en S/D-omvandlare.

Bärfrekvensen,  $\cos\omega t$ , bortses ifrån tills vidare. SD552A innehåller en upp-ner räknare, vars värde svarar mot en vinkel  $\phi$ . Efter en sinus- och en cosinus-multiplikation erhålles  $\sin\theta\cos\phi$  och  $-\cos\theta\sin\phi$  som adderas. Resultatet  $\sin(\theta-\phi)$  påförs en demodulator. Utsignalen från demodulatorn, en likspänning som är proportionell mot  $\sin(\theta-\phi)$ , integreras och får därefter styra frekvensen på en spänningsstyrd oscillator. Denna ger i sin tur klockpulser till upp-ner räknaren, som också kan kallas integrator. Integration sker alltså i två steg. Detta medför att omvandlaren ger rätt värde utan eftersläpning vid konstant hastighet. Fel uppträder endast vid acceleration och retardation.

Enda logiska ingången, INH (inhibit), låser (INH=0) eller frigör (INH=1) upp-ner räknaren. En vinkeländring på ingången medför att den digitala vinkeln ändras. Under denna tid,  $2\pi\omega$ , ignoreras en inhibitsignal.

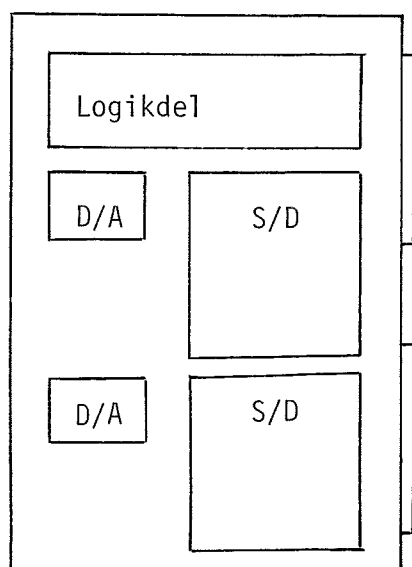
### 5.3 Funktion

Kretskortet (se fig. 5.5) består av två utdelar, två indelar och en logikdel. Utdelarna består av två D/A-omvandlare och indelarna av två S/D-omvandlare, beskrivna i avsnitt 5.2.

Logikdelen (se Appendix A.3) är uppbyggd av TTL-LS kretsar och består av adressavkodare, logik för att avgöra om data begärts (DIN) eller om data skall lämnas (DOUT) samt logik som avgör vilken av de två A/D-omvandlarna resp. två S/D-omvandlarna som begärts. Dessutom skall en svarssignal (REPLY) generas om kortet adresserats och DIN eller DOUT mottagits.

Adressavkodaren och mottagen DIN eller DOUT genererar, om adressen överensstämmer med kortplatsen, inhibit till en S/D-omvandlare eller loadsignal till en D/A-omvandlare. REPLY har fördröjts 2 $\mu$ s för att uppfylla tidskraven vid S/D-omvandlingen.

Layout och komponentförteckning återfinns i Appendix A.3.



Figur 5.5. Blockens placering på kretskortet.

#### 5.4 Funktionstest

Interfacet har färdigställts och därefter provats tillsammans med dator (LSI-11) och REMA-bussen. Olika assemblerprogram för test av D/A -och S/D-omvandlarna samt logikdelen har skrivits.

Ett regulatorprogram (se Appendix A.3), där en motor styrs av D/A-omvandlaren och motorn i sin tur driver ett synkro, visar att kommunikationen mellan interface och dator fungerar.

Dessutom har ett program som genererar en sågtandsspänning på en D/A-omvandlare skrivits. Därvid har även referensspänningens inverkan på utsignalen kunnat studeras.

I Appendix A.3 återfinns även flödesschemor och resultat vid test av S/D-omvandlarna. Diagrammen visar att max rotationshastighet för synkrot är ungefär 8.5 varv/s. Denna begränsning bestäms av max räknehastighet för S/D-omvandlarens upp-ner-räknare.

## 6. TESTKÖRNING VID VERKLIG BRÄNNPORTAL

Kapitlet innehåller resultat från körning på brännportal KEBE Telorex II. Sambandet mellan regulatorparametrar och reglerfelet återfinnes i Appendix A.5.

### 6.1 Framkopplingens inverkan på systemet

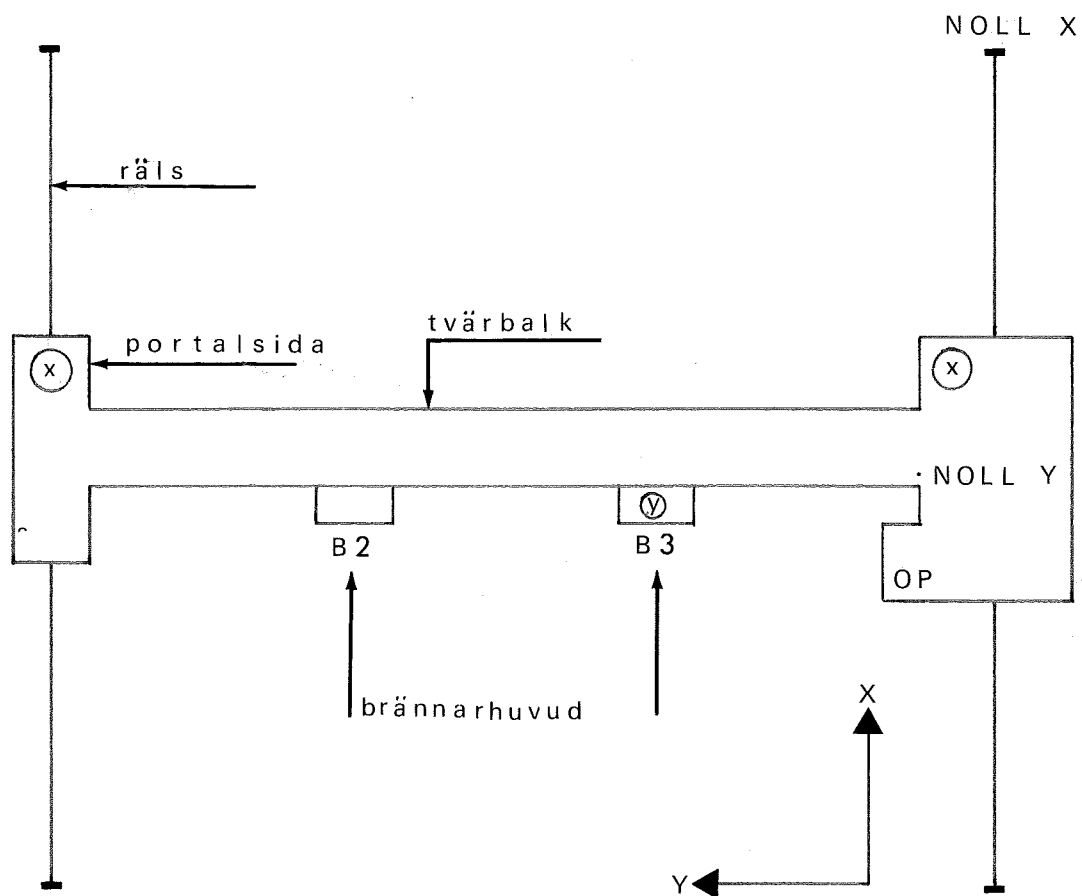
Den modifierade versionen av regulatorn har utan större problem ersatt den ursprungliga. Den ökade exekverings-tiden för den modifierade regulatorn orsakar inga problem inom det begränsade samplingsintervallet.

Framkopplingen medför att styrningen av brännportalen blir styvare jämfört med ursprunglig regulator. Positionsfelet kan reduceras från 18 mm till ca 0.5 mm vid max hastighet. Vid acceleration och retardation uppstår spikar i positionsfel av storleksordning 1 mm. Körningen visar att framkopplingen är effektiv vid reglering i både x -och y-led. En olinjäritet i form av glapp i sidodistanserna vid brännarhuvudena kunde också förbättras med hjälp av framkoppling.

Sammankoppling av båda brännarhuvudena påverkade inte systemets reglerprestanda.

## Appendix A.1 Beskrivning av brännportal

Figur 1. Principskiss.



Figur 1. Översiktsbild över brännportal.

## Appendix A.2 SIMNON-simulering

Figur 1. In-utsignalsamband. Insignal  $(Y_r)=t^2$ .

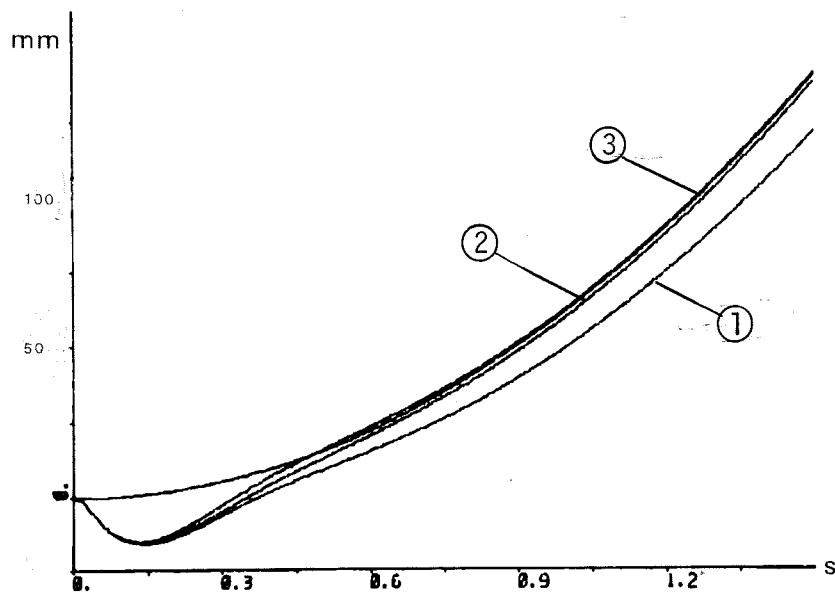
Figur 2. In-utsignalsamband. Insignal  $(Y_r)=t$ .

Figur 3. Positionsfel. Insignal  $(Y_r)=t$ .

Figur 4. Interna stegsvaret i motorn.

Figur 5. Programlista över regulatorn.

Figur 6. Programlister.



Figur 1. In-utsignalsamband för olika A och B värden då insignalen

$$Y_r = t^2.$$

①

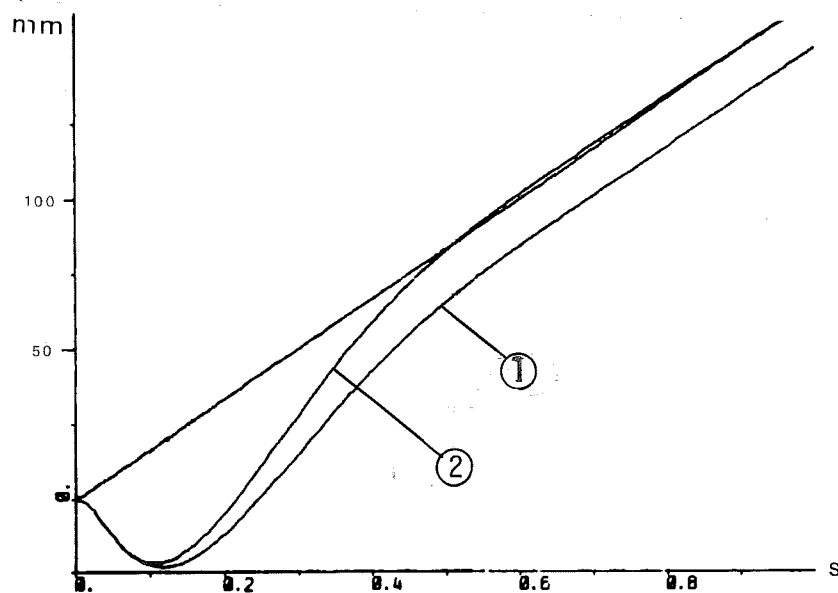
A=0 B=0

②

A=0.133 B=0

③

A=0.133 B=1



Figur 2. In-utsignalsamband för olika A och B värden då insignalen

$$Y_r = t.$$

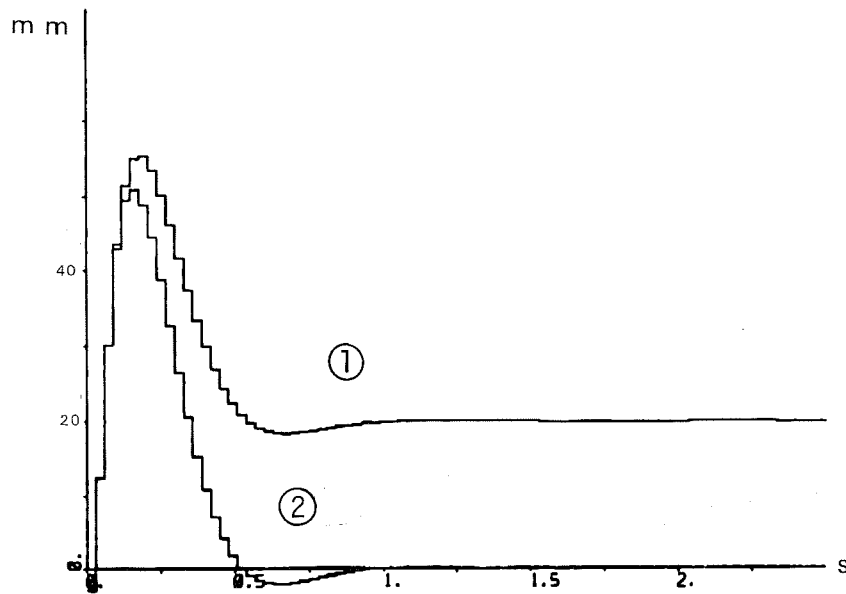
①

A=0 B=0

②

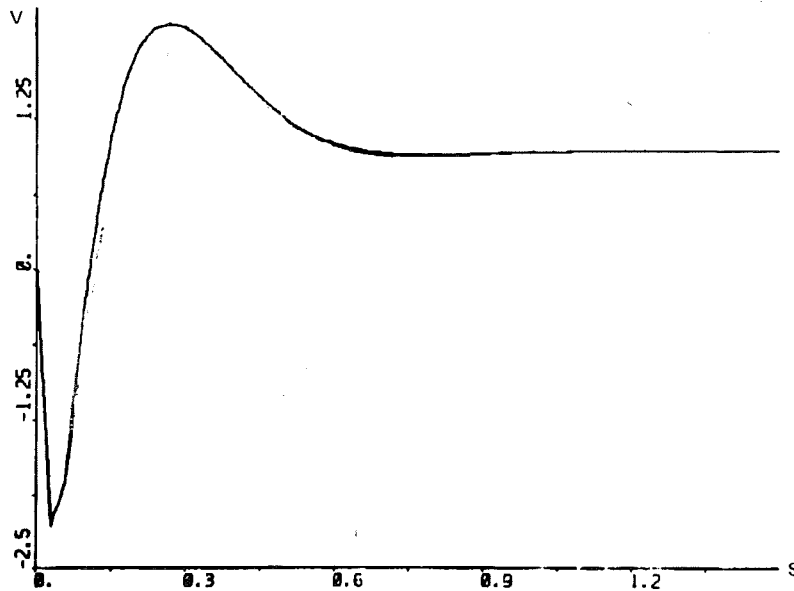
A=0.133 B=0





Figur 3. Postionsfelet för olika A-och B-värden då insignalen

$Y_r = t.$       ①      A=0      B=0  
                          ②      A=0.133      B=0



Figur 4. Det interna stegsvaret i motorn.

## DISCRETE SYSTEM PIF

```
"THIRD ORDER DISCRETE SYSTEM
"AUTHOR FREDDY TENGVALL
"      ANDERS BLOM
"PIF IS A REGULATOR (PI AND FEED FORWARD)
"THE OUTPUT IS THE DIFFERENCE OF U(T) AND U(T-1)
"MAXIMUM ABSOLUTE OUTPUT FROM REG IS 1.000
"MAXIMUM ABSOLUTE DERIVATE OF OUTPUT FROM REG IS 0.047
```

```
INPUT YR YY
OUTPUT U LIM
TIME T
STATE X1 X2 X3 X4
NEW NX1 NX2 NX3 NX4
TSAMP TS
```

```
OUTPUT
E=YR-YY
"COMPUTED OUTPUT FROM REGULATOR (DU)
DU=-G*X1-(A+2*B)*X2+B*X3+(A+B)*YR+(G+G/TI)*E
```

```
"CHECK ABSOLUTE OUTPUT (DU) FROM REGULATOR
DU1=MAX(DU,UMIN)
DU2=MIN(DU1,UMAX)
```

```
"CHECK LIMITS OF ACCELERATION OR RETARDATION
DDU=DU2-X4
DDU1=MAX(DDU,DMIN)
DDU2=MIN(DDU1,DMAX)
```

```
"OUTPUT FROM REGULATOR (LIMITED)
ULIM=X4+DDU2
```

```
DYNAMICS
NX1=E
NX2=YR
NX3=X2
NX4=ULIM
TS=T+DT
```

```
A:0      "PROPORTIONAL FEED FORWARD FACTOR
B:0      "DERIVATING FEED FORWARD FACTOR
DT:0.03  "SAMPLE INTERVAL
G:0.1    "PROPORTIONAL FACTOR IN PI-REG
TI:2.5   "INTEGRATING FACTOR IN PI-REG
UMAX:1
UMIN:-1
DMAX:0.047
DMIN:-0.047
```

```
END
```

Figur 5. Programlista över regulatorn som använts vid SIMNON-simuleringen.

```

CONTINUOUS SYSTEM MOTOR
INPUT U
OUTPUT Y
STATE X1 X2
DER DX1 DX2

OUTPUT
Y=X2          "X2 IS THE ABSOLUTE POSITION

DYNAMICS
DX1=-(1+K)/T*X1+K/T*U
DX2=X1

T:-0.015
K:-1.1

END

```

#### CONNECTING SYSTEM MAP

```

"CONNECTING SYSTEM FOR PIF AND MOTOR
"GENERATES INPUTS
"AUTHOR ANDERS BLOM
"      FREDDY TENGVALL

```

```

TIME T
UA=IF T<0 THEN 0 ELSE L*T*T
UB=IF T<0 THEN 0 ELSE C*T-D
UR=IF STEP>0 THEN UA ELSE UB

```

```

YR[PIF]=UR
U[KMOT]=ULIM[PIF]
YY[PIF]=Y[KMOT]

```

```

STEP:1
C:1
L:1
D:0

```

```

END

```

```

MACRO INT B1 B2
"SAETT C TILL 1.250*B1
"SAETT D TILL 0.625*B1*B1
PAR L:0.625
PAR STEP:1
SIMU 0 B1
PAR STEP:-1
SIMU B1 B2 -CONT
END

```

Figur 6. Programlistor som använts vid SIMNON-simuleringen.

### Appendix A.3 Interface

Figur 1. Detaljritning, logikdel.

Figur 2. Detaljritning, A/D -och S/D-omvandlare.

Figur 3. Beteckningar.

Figur 4. Tidsdiagram för logikdel.

Figur 5. Layout.

Figur 6. Komponentförteckning.

Figur 7. Testprogram.

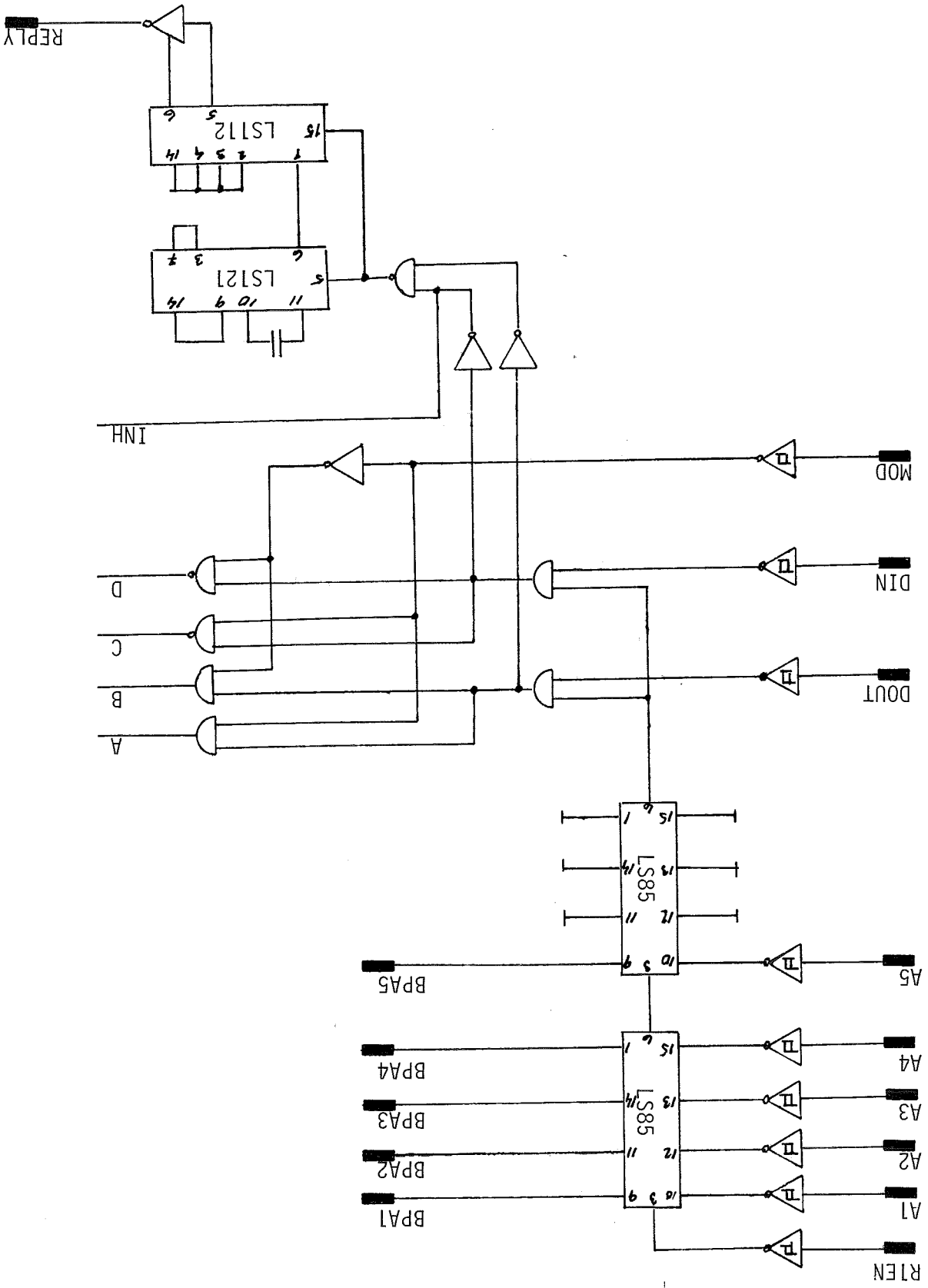
Figur 8. Flödesschema för test av S/D-omvandlare.

Figur 9. Flödesschema för test av S/D-omvandlare.

Figur 10. Testresultat för S/D-omvandlare.

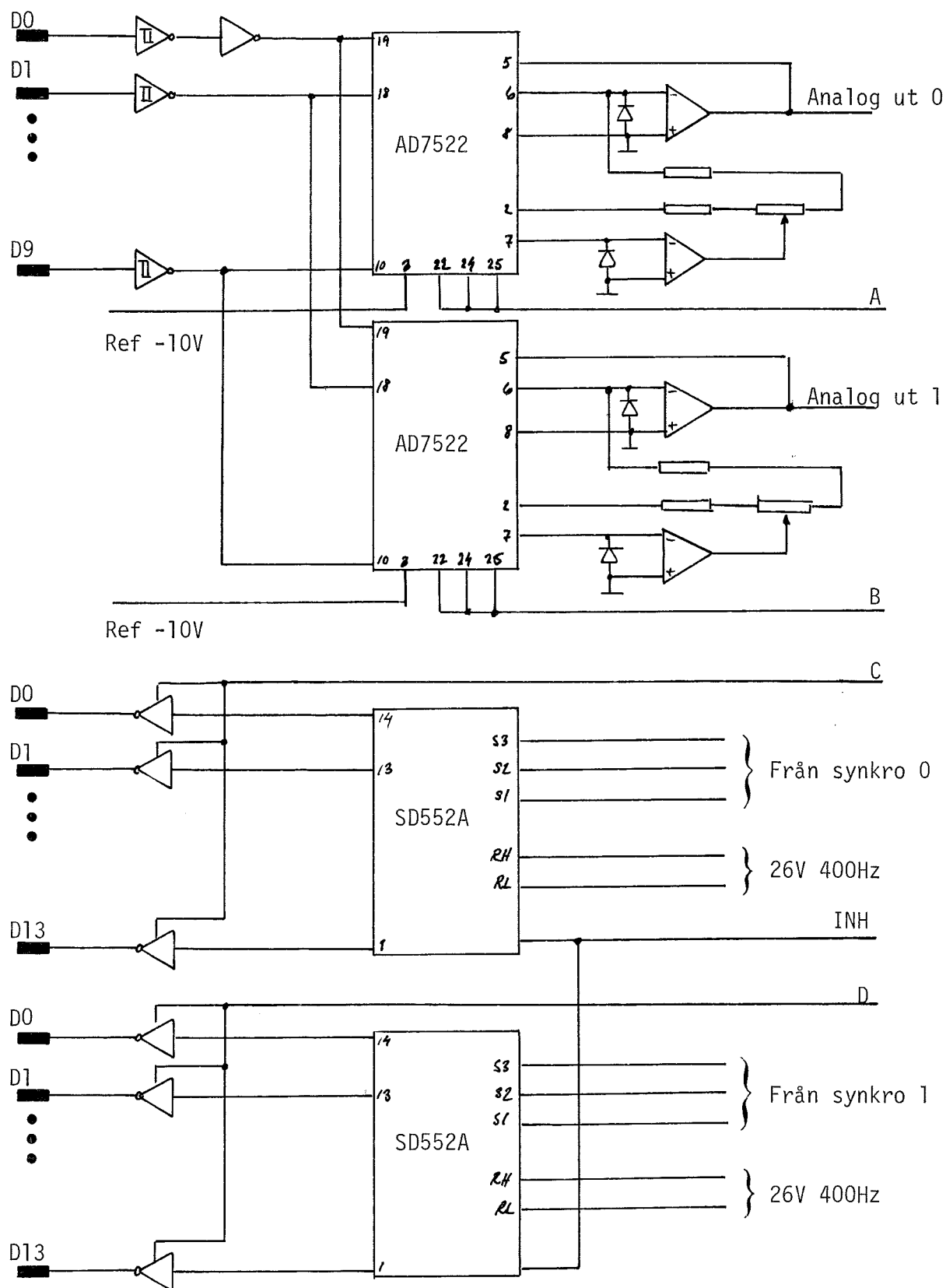
Figur 11. Testresultat för S/D-omvandlare.

Figur 12. Anslutningar till processutgång från kretskortet.



Figur 1. Detaljritning, logikdel.

Beteckningarna förklaras i figur 3.



Figur 2. Detaljritning, A/D -och S/D-omvandlare.  
Beteckningarna förklaras i figur 3.

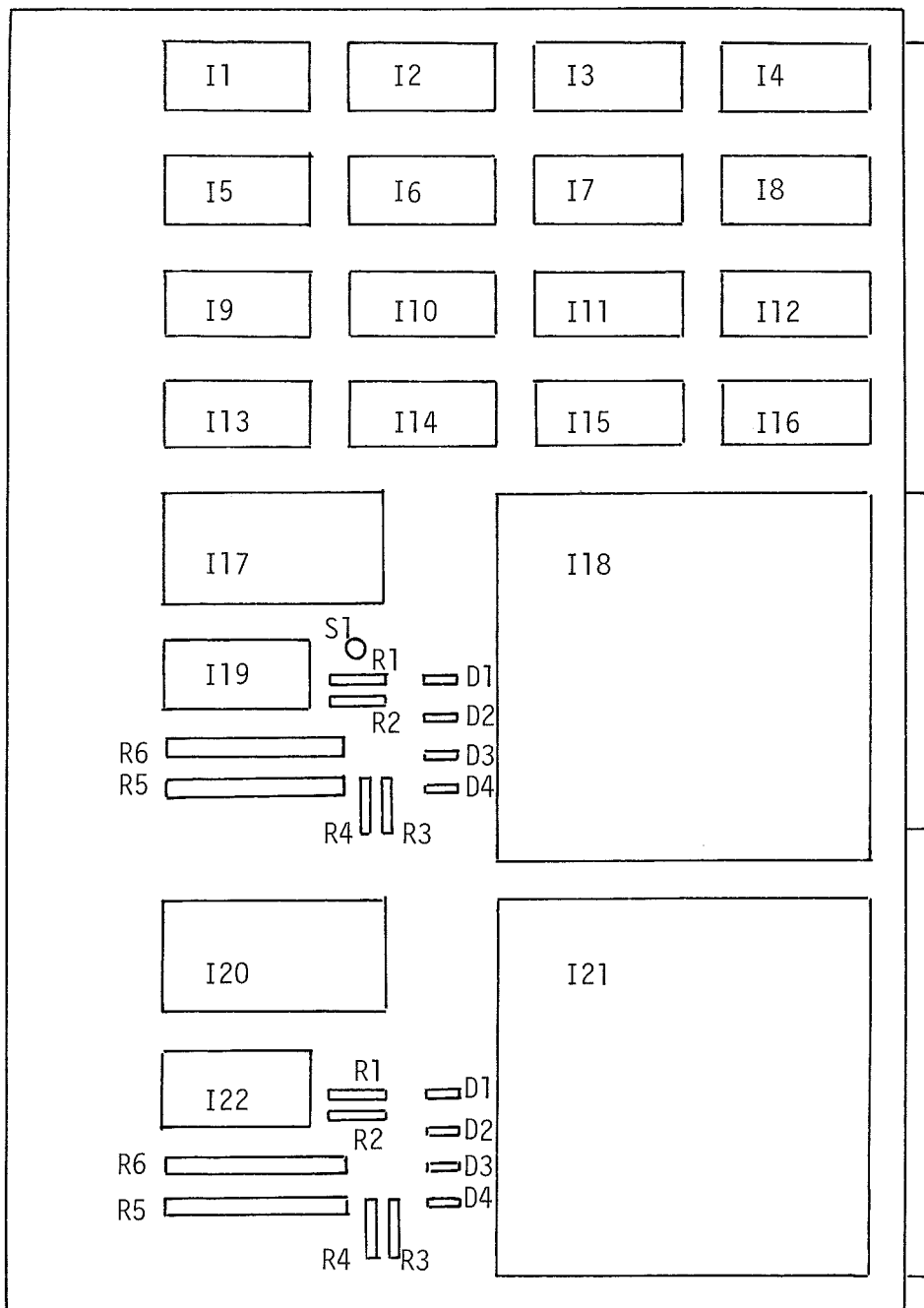
## REMA-bussen:

- RIEN - RACK-ENABLE signal används för att adressera ett av bussens rack.
- A0-A15 - Adressbitar.
- DOUT - DATA OUT är en order till den enhet som känner igen adressen att läsa data från bussen.
- DIN - DATA IN är en order till den enhet som känner igen adressen att ge data till bussen.
- MOD - Mod bestämmer vilken av D/A -resp. S/D-omvandlarna som avses.
- REPLY - REPLY genereras av den enhet som känner igen adressen och mottager DATA IN eller DATA OUT.
- BPA - Kortplatsadress i racken.
- DO-D15 Databitar.

## Interface:

- A - Laddar registret i D/A-omvandlare 0.
- B - Laddar registret i D/A-omvandlare 1.
- C - Läger innehållet hos S/D-omvandlare 0 på bussen.
- D - Läger innehållet hos S/D-omvandlare 1 på bussen.
- INH - Inhibit låser upp-ner räknaren i S/D-omvandlarna.

Figur 3. Beteckningar.

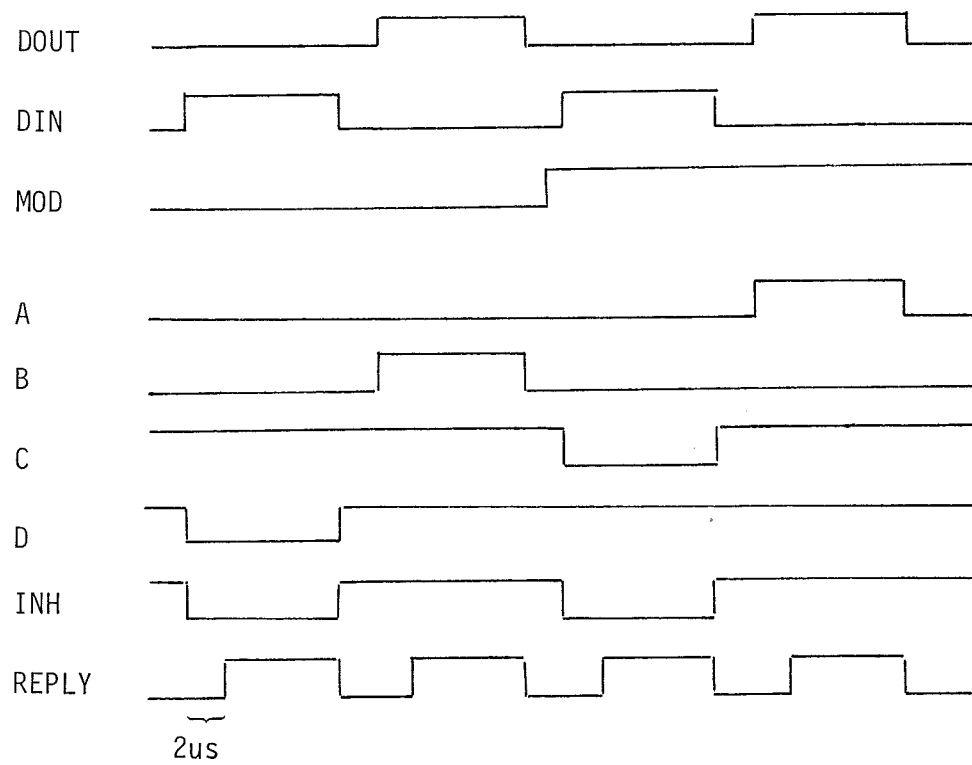


Figur 5. Layout. Beteckningarna förklaras i figur 6.



I2, I6, I3, I7, I11, I15	74LS368	
I1	74LS112	
I4, I8, I12, I16	74LS14	
I10, I14	74LS85	
I5	74LS00	
I9	74LS08	
I13	74LS121	
I17, I20	AD7522	A/D-omvandlare
I18, I21	SD552A	S/D-omvandlare
I19, I22	2 $\mu$ A1458	Operationsförstärkare
S1	AD850	Spänningsreferens
R1, R2	4.7 K	Resistor
R3	2.2 K	Resistor
R4	8.2 K	Resistor
R5	1 K	Trimpotentiometer
R6	500	Trimpotentiometer
D1, D2, D3, D4	1N4148	Diod

Figur 6. Komponentförteckning.



Figur 4. Tidsdiagram för logikdelen.

```

1      :
2      :
3      :
4      :
5      :
6      :
7      :
8      :
9      :
10     :
11     :
12     :
13     :
14     :
15     :
16     :
17     :
18     :
19     :
20     :
21     :
22     :
23     :
24     :
25     :
26     :
27     000000 :
28     000000 :
29     001000 :
30     :
31     :
32     :
33     001000 013703 164132 START: MOV @#164132,R3 ;HAEMTA VINKEL FRAN S/D(0) TILL R3
34     001004 020367 000166 CMP R3,H1 ;
35     001010 100413 BMI 3$ ;HOPPA OM R3-H1<0
36     001012 020367 000162 CMP R3,H2 ;
37     001016 100010 BPL 3$ ;HOPPA OM R3-H2>0
38     :
39     :
40     :
41     001020 020457 000150 2$: CMP R4,V2 ;HOPPA OM R4-V2>0
42     001024 100022 BPL 7$ ;
43     001026 020457 000140 CMP R4,V1 ;
44     001032 100417 BMI 7$ ;HOPPA OM R4-V1<0
45     001034 005202 4$: INC R2 ;SYNCHROT HAR ROTERAT
46     : ;ETT VARV MEDURS
47     001036 000415 BR 7$ ;HOPPA VIDARE
48     :
49     :
50     001040 020367 000130 3$: CMP R3,V2 ;KONTROLLERA ATT VINKELN LIGGER
51     001044 100012 BPL 7$ ;MELLAN V1 OCH V2
52     001046 020367 000120 CMP R3,V1 ;HOPPA OM R3>V2
53     001052 100457 BMI 7$ ;HOPPA OM R3<V1
54     : ;VINKELN R3 LIGGER MELLAN
55     : ;V1 OCH V2
56     : ;KONTROLLERA ATT R4 LIGGER
57     001054 020457 000110 4$: CMP R4,H1 ;MELLAN H1 OCH H2

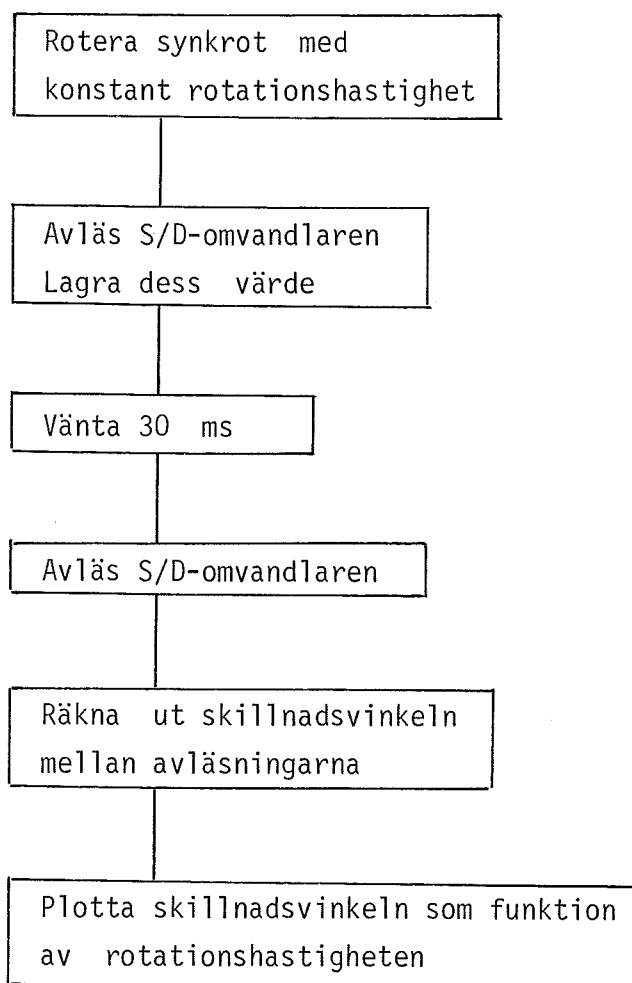
```

```

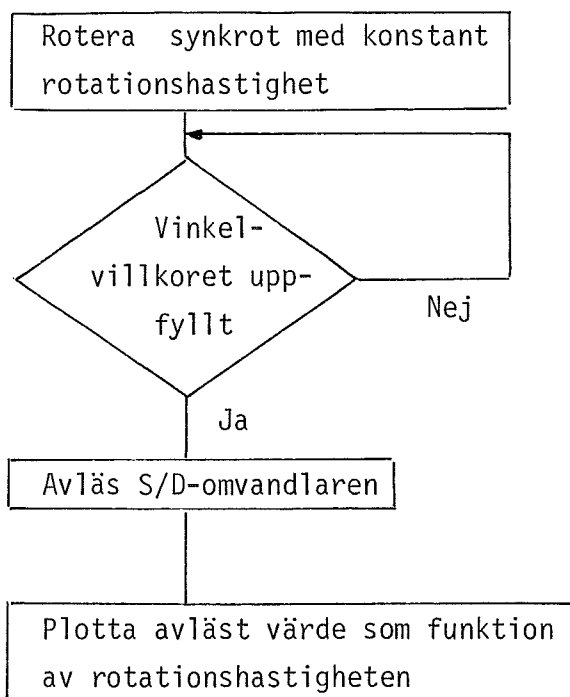
58     001060 100404 BMI 7$ ;HOPPA OM R4-H1<0
59     001062 020467 000112 CMP R4,H2 ;
60     001066 100001 BPL 7$ ;HOPPA OM R4-H2>0
61     001070 005302 5$: DEC R2 ;SYNCHROT HAR ROTERAT
62     : ;ETT VARV MOTURS
63     001072 020200 7$: CMP R2,R0 ;KONTROLLERA ANT. VARV
64     001074 001416 BR 8$ ;HOPPA OM R2=R0
65     :
66     :
67     001076 020002 CMP R0,R2 ;BERAENKA OLIKA STYR-
68     001100 100004 BPL 11$ ;SIGNALER TILL MOTORN
69     : ;HOPPA OM R0-R2<0
70     : ;DVS. ANTALET AKTUELLA
71     001102 016737 000074 164132 MOV POS,@#164132 ;(VARV) BOERVAERDET
72     : ;STAELL UT +10V
73     001110 000403 BR 12$ ;TILL D/A(1)
74     :
75     001112 016737 000066 164132 11$: MOV NEG,@#164132 ;
76     : ;STAELL UT -10V
77     001120 010304 12$: MOV R3,R4 ;TILL D/A(1)
78     001122 013737 164132 164032 MOV @#164132,@#164032 ;SPARA VINKELN I R4
79     : ;STUDERA
80     001130 000773 BR START ;VINKELN
81     : ;HOPPA TILL START
82     001132 013737 164132 164032 8$: MOV @#164132,@#164032 ;STUDERA
83     001140 010167 000042 MOV R1,HELP ;
84     : ;VINKELN
85     001144 100367 000036 SUB R3,HELP ;BERAENKA VINKELFELET
86     001150 016703 000032 MOV HELP,R3 ;BOER KLART FOER MULTIPLIKATION
87     001154 070327 000002 MUL #2,R3 ;PROPORTIONALITETSKONST. K
88     001160 010337 164132 MOV R3,@#164132 ;STAELL UT TILL D/A(1)
89     : ;TILL D/A(1)
90     :
91     001164 013703 164132 MOV @#164132,R3 ;HAEMTA VINKEL FRAN S/D(1)
92     001170 000760 BR 8$ ;
93     001172 177770 V1: .WORD 177770 ;VAENSTER GRAENS
94     001174 177777 V2: .WORD 177777 ;
95     001176 000000 H1: .WORD 0 ;HOEGGER GRAENS
96     001200 000007 H2: .WORD 000007 ;
97     001202 100000 POS: .WORD 100000 ;
98     001204 077777 NEG: .WORD 077777 ;
99     001206 000000 HELP: .WORD 0 ;
100    :
101    :
102    001000 .END START

```

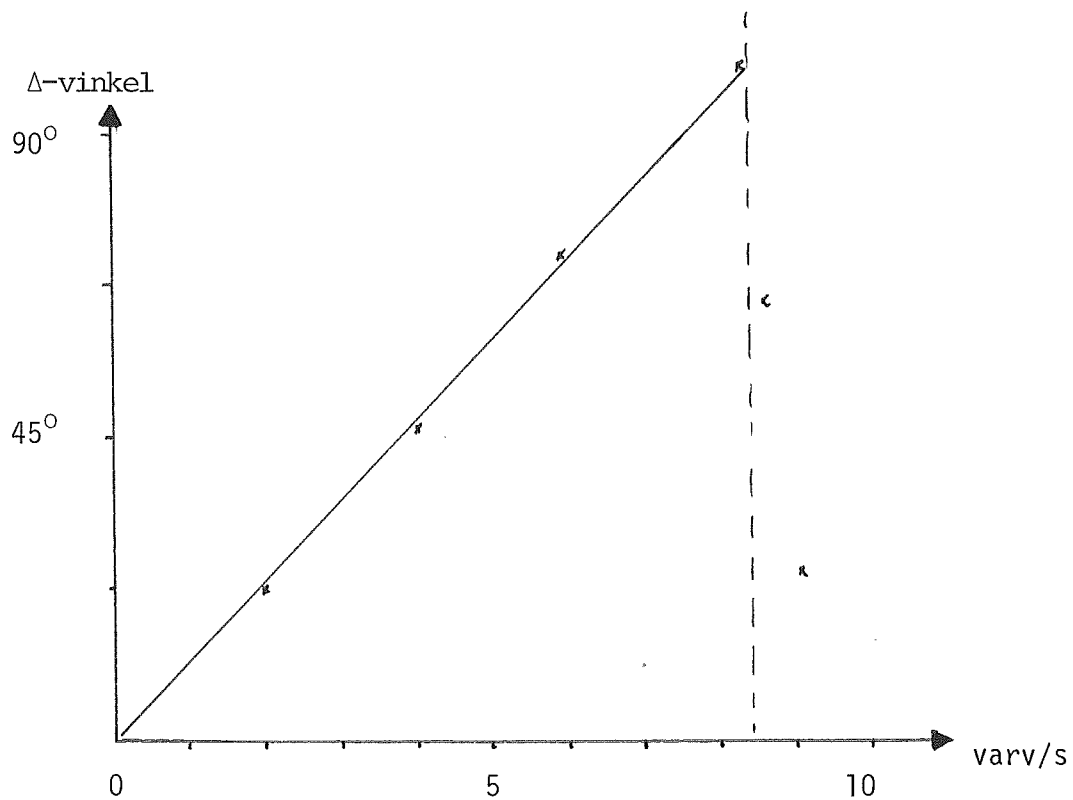
Figur 7. Testprogram för kontroll av interface och synkro.



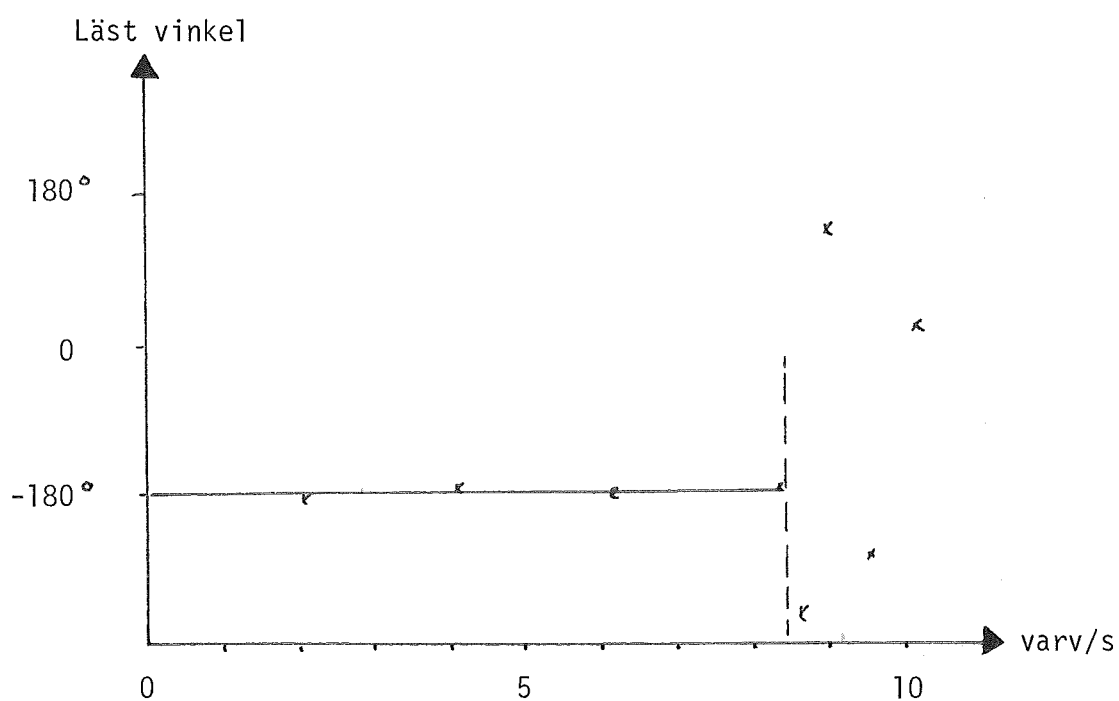
Figur 8. Flödesschema för test av S/D-omvandlaren.



Figur 9. Flödesschema för test av S/D-omvandlaren.  
En optisk givare på synkrot avgör om vinkelvillkoret är uppfyllt.



Figur 10. Skillnadsvinkeln som funktion av rotationshastigheten vid körning av testprogram enl. flödesschema i figur 8.



Figur 11. Äläst vinkel som funktion av rotationshastigheten vid körning av testprogram enl. flödesschema i figur 9.

c  
8 S1  
10 S2 Y-led  
12 S3  
14 400 Hz referens  
16 400 Hz referens  
18 Analog ut X-led  
20 Analog ut Y-led  
22 S1  
24 S2 X-led  
26 S3  
28 +15 V  
30 -15 V  
32 Analog jord

Figur 12. Anslutningar till processutgången från kretskortet.

#### Appendix A.4 Resultat från brännportalssimulator

Figur 1. Referenskonturen.

Figur 2. Positionen i x-led som funktion av tiden.

Figur 3. Hastigheten i x-led som funktion av tiden.

Figur 4. Positionsfelet i x-led som funktion av tiden.

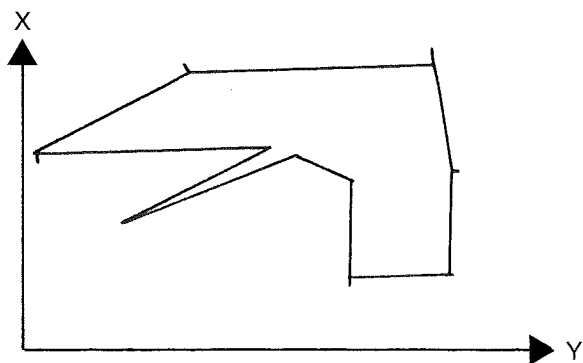
Figur 5. Positionsfelet som funktion av hastigheten.  $A=0.1725, B=0.195$ .

Figur 6. Positionsfelet som funktion av hastigheten.  $A=0.1725, B=0$ .

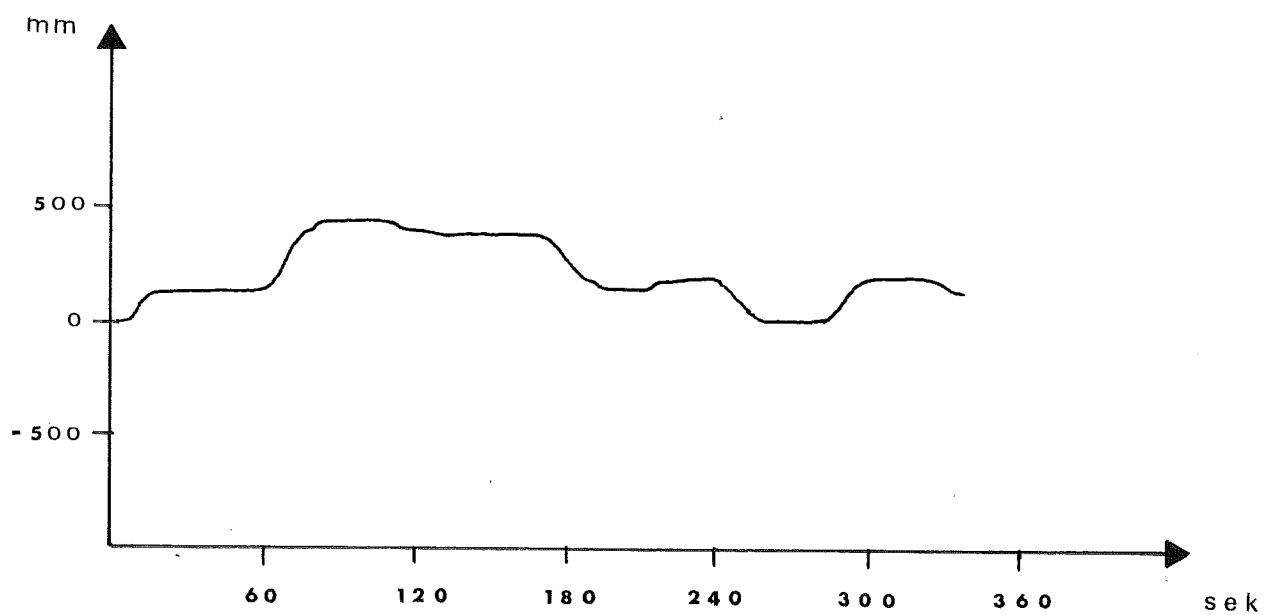
Figur 7. Programlista över nuvarande regulator.

Figur 8. Programlista över modifierad regulator.

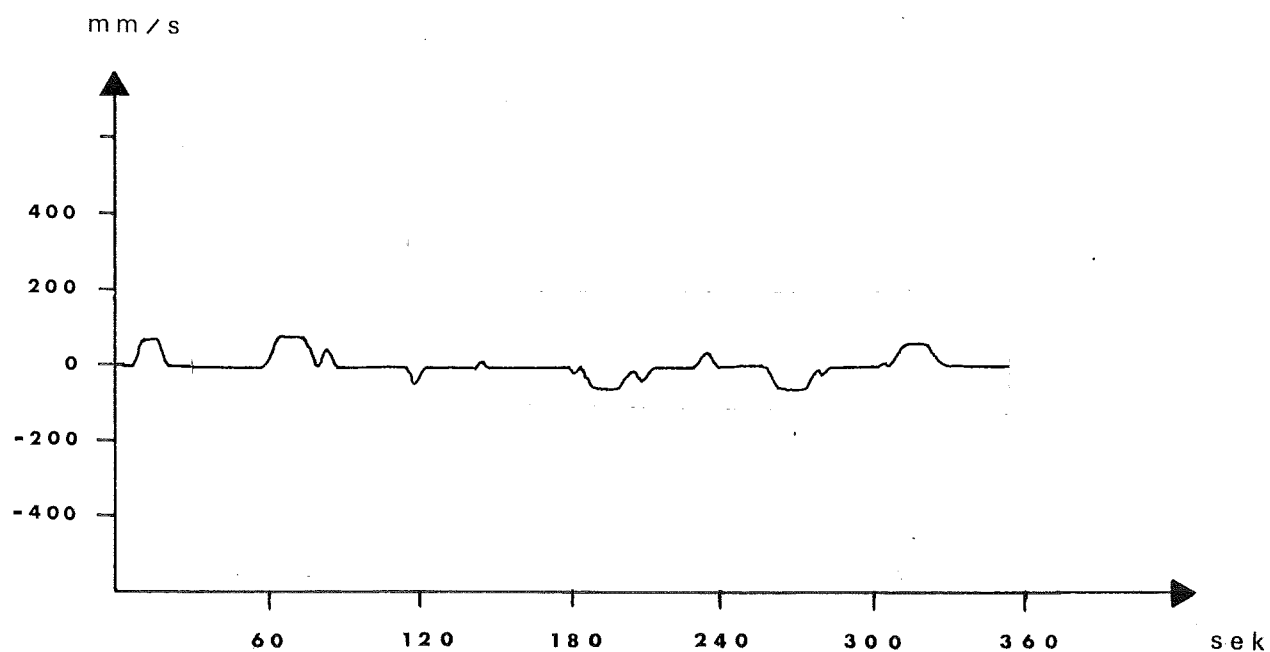




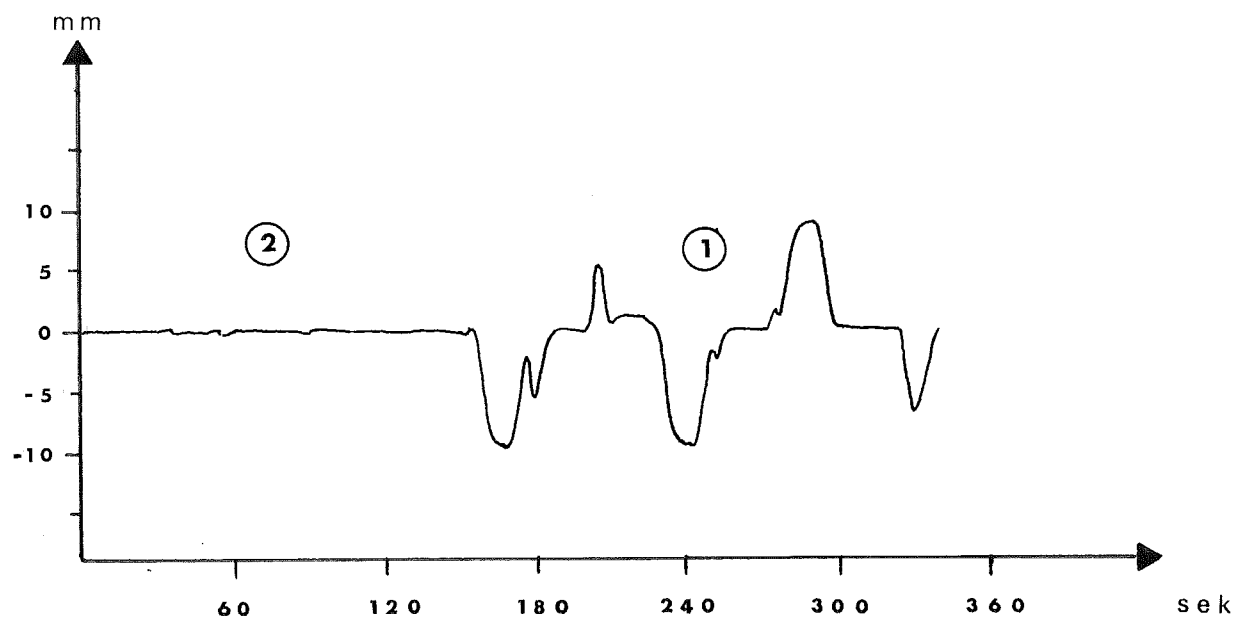
Figur 1. Referenskonturen som använts vid simuleringen.



Figur 2. Positionen i x-led som funktion av tiden.



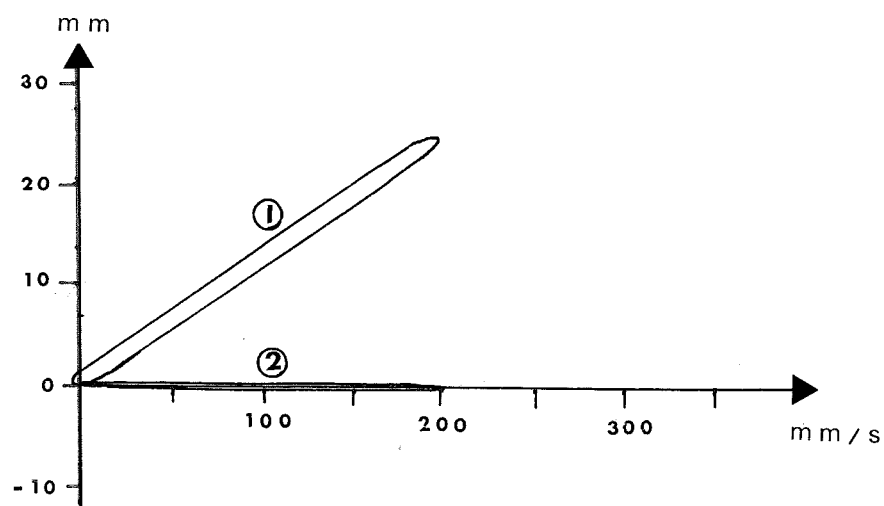
Figur 3. Hastigheten som funktion av tiden.



Figur 4. Positionsfelet i x-led som funktion av tiden då

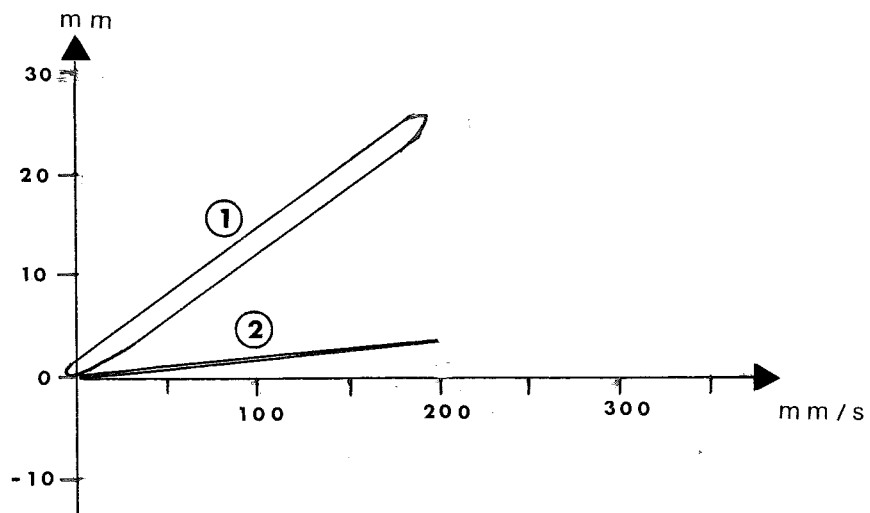
- |   |              |             |                        |
|---|--------------|-------------|------------------------|
| ① | $A = 0$      | $B = 0$     | (nuvarande regulator)  |
| ② | $A = 0.1725$ | $B = 0.195$ | (modifierad regulator) |

Regulatorbyte har ägt rum vid  $t = 150$  s.



Figur 5. Positionsfelet som funktion av hastigheten då

- |   |              |             |
|---|--------------|-------------|
| ① | $A = 0$      | $B = 0$     |
| ② | $A = 0.1725$ | $B = 0.195$ |



Figur 6. Positionsfelet som funktion av hastigheten då

- |   |              |         |
|---|--------------|---------|
| ① | $A = 0$      | $B = 0$ |
| ② | $A = 0.1725$ | $B = 0$ |

```
•
•
C      CALCULATE SERVO OUTPUT FROM THE PI-REGULATOR
C
      VEL=CP*DPE+CI*PE
C
C      CONSIDER THE LIMIT
C
      IF(ABS(VEL).LT.SOMAX) GO TO 300
      VEL=SIGN(SOMAX,VEL)
C
C      RECALCULATE ERROR AND DIFFERENCE ERROR IN POSITION
C      DEPENDING ON THE LIMIT
C
      PE=(VEL+CP*EPOS)*CPI
      DPE=PE-EPOS
300    EPOS=PE
      DEPOS=DPE
C
•
•
```

Figur 7. Programlista över nuvarande regulator.

```
•
•
C      CALCULATE SERVO OUTPUT FROM THE PI-REGULATOR
C
      VEL=CP*DPE+CI*PE+(A+B)*RPOS-(A+2.0*B)*ORPOS+B*OORPOS
C
C      CONSIDER THE LIMIT
C
      IF(ABS(VEL).LT.SOMAX) GO TO 300
      VEL=SIGN(SOMAX,VEL)
C
C      RECALCULATE ERROR AND DIFFERENCE ERROR IN POSITION
C      DEPENDING ON THE LIMIT
C
      PE=(VEL+CP*EPOS)*CPI
      DPE=PE-EPOS
300    EPOS=PE
      DEPOS=DPE
C
C      SAVE OLD VALUES OF REACHABLE POSITION
      OORPOS=ORPOS
      ORPOS=RPOS
C
•
•
```

Figur 8. Programlista över modifierad regulator.

Appendix A.5 Resultat från verklig brännportal.

Figur 1. Hastigheten, styrsignalen och positionsfelet i x-led.  $A=B=0$ .

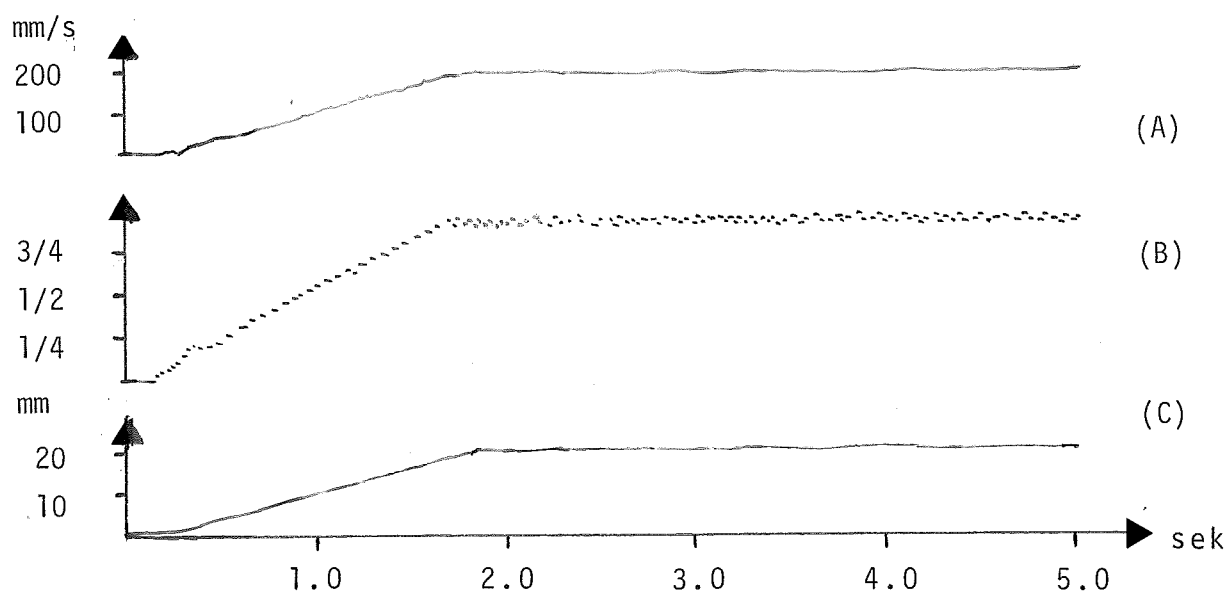
Figur 2. Hastigheten, styrsignalen och positionsfelet i x-led.  $A=0.0925, B=0.3$ .

Figur 3. Positionsfel i x-led då  $A=0.0925, B=0$ .

Figur 4. Positionsfel i x-led då  $A=0.0925, B=0.3$ .

Figur 5. Positionsfel i x-led minus positionsfel i y-led vid optimala parametervärden.

Figur 6. Optimalt A-värde vid framkopplingen som funktion av CIX.

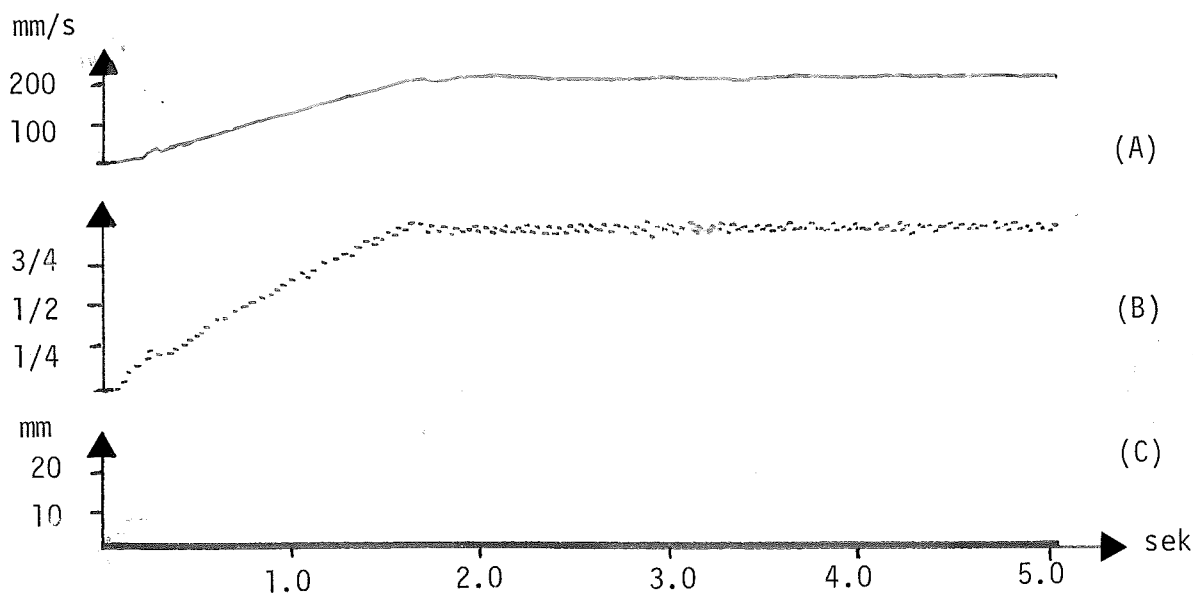


Figur 1. Hastighet för drivmotor i x-led (Kurva A).

Styrsignal till motor (Kurva B).

Positionsfel då  $A=B=0$  i x-led (Kurva C).

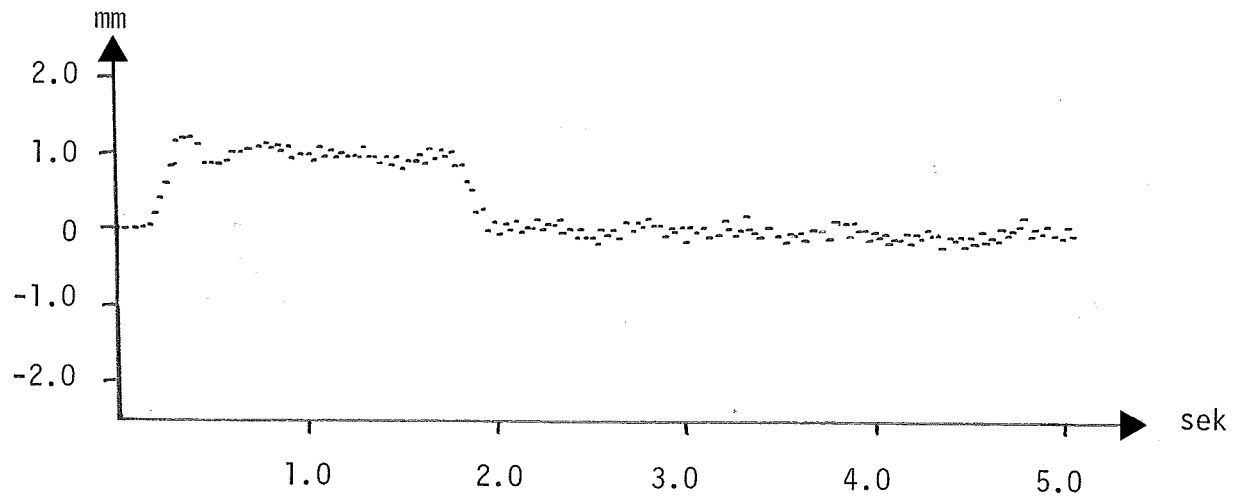
Vid samtliga körningar i detta appendix är regulatorparametrarna CPX och CIX 0.1 resp. 0.03 då annat ej anges. Referensvärdet är detsamma i samtliga fall.



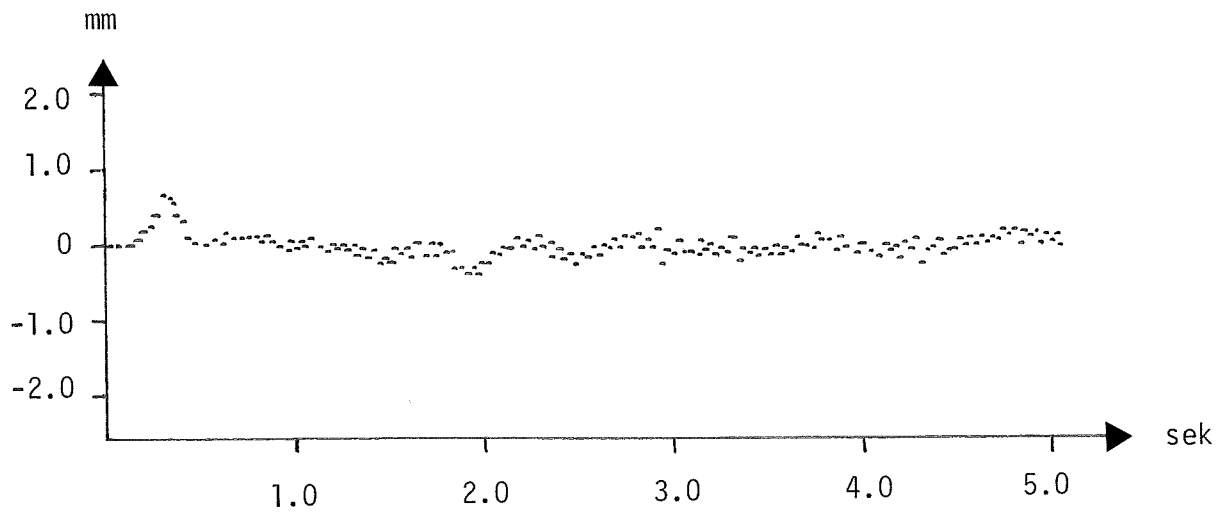
Figur 2. Hastighet på drivmotor i x-led (Kurva A).

Styrsignal till motor (Kurva B).

Positionsfel då  $A=0.0925, B=0.3$  i x-led (Kurva C).

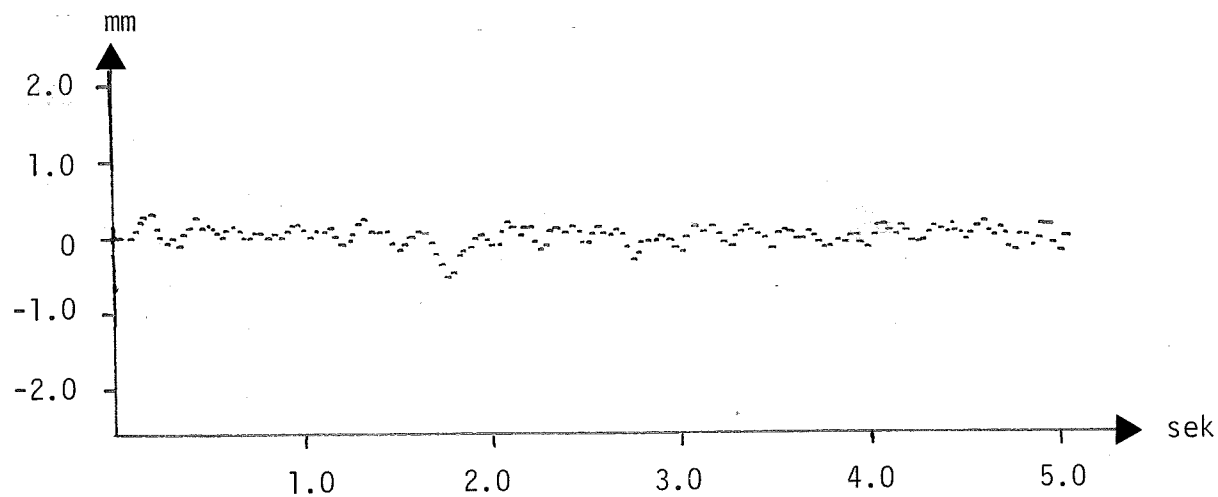


Figur 3. Positionsfel i x-led då  $A=0.0925, B=0$ .



Figur 4. Positionsfel i x-led då  $A=0.0925, B=0.3$ .

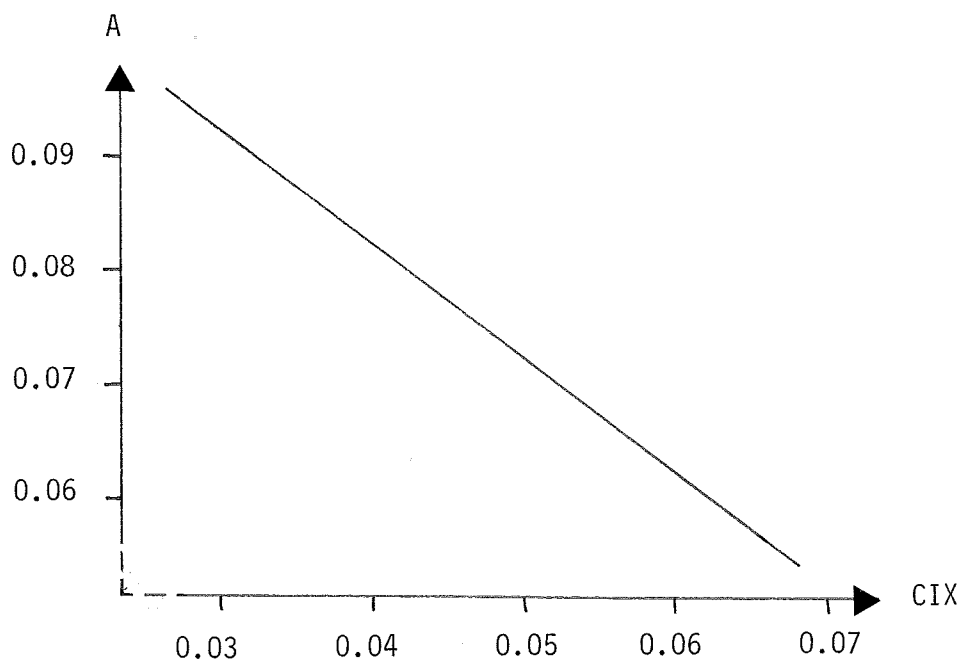




Figur 5. Positionsfel i x-led minus positionsfel i y-led då följande värden gäller:

I x-led:  $A=0.0925, B=0.3$  och  $CPX=0.1, CIX=0.03$

I y-led:  $A=0.095, B=0.05$  och  $CPY=0.018, CIY=0.0305$



Figur 6. Optimalt A-värde vid framkopplingen som funktion av integralkonstanten CIX.

## Appendix A.6 Referenser

- |                                       |                             |
|---------------------------------------|-----------------------------|
| [1] Datorn som systemkomponent        | J. Wieslander               |
| [2] Simulering av märk- o brännportal | Ch. Nordström               |
| [3] Reglerteori                       | K-J. Aström                 |
| [4] SIMNON User.s Manual              | H. Elmqvist                 |
| [5] Analog devices                    | Conversion products catalog |
| [6] LSI-11 Micro computer handbook    | Digital Equipment           |