

CODEN: LUTFD2/(TFRT-5211)/1-050/(1978)

ANALYS AV REGLERSYSTEMET TILL EN  
CIGARETTMASKIN

BERTIL NILSSON  
KATARINA TILLBERG

Institutionen för Reglerteknik  
Lunds Tekniska Högskola  
Juni 1978

TILLHÖR REFERENSBIBLIOTEKET

UTLANAS EJ

Dokumentutgivare  
04T0 Lund Institute of Technology

Handläggare  
06T0 Jan Holst

Författare  
08T0 Bertil Nilsson  
Katarina Tillberg

Dokumentnamn  
04T4 Report LUTFD2/TFRT-5211)/1-50/(1978)

Utgivningsdatum  
06T4 June 1978

Dokumentbeteckning  
04T4

Ärendebeteckning  
06T6

10T4

Dokumenttitel och undertitel  
18T0

Analys av reglersystemet till en cigarettmaskin.  
(Analysis of the control system for a cigarette machine)

Referat (sammandrag)  
26T0

A central problem when producing cigarettes is the weightvariations of the cigarettes. This report presents an analysis of a cigarettemachine with attaching regulation system. When analysing, we have especially been interested in factors that affect, and the possibility of minimizing, the standard deviation of the cigarettes.

Referat skrivet av  
42T0 Authors

Förslag till ytterligare nyckelord  
44T0

Klassifikationssystem och -klass(er)  
50T0

Indextermer (ange källa)  
52T0

Omfång  
56T0 50

Övriga bibliografiska uppgifter  
56T2

Språk  
58T0 Swedish

Sekretessuppgifter  
60T0

ISSN  
60T4

ISBN  
60T6

Dokumentet kan erhållas från  
62T0 Department of Automatic Control  
Lund Institute of Technology  
Box 725, S-220 07 Lund 7, Sweden

Mottagarrens uppgifter  
62T4

Pris  
66T0

Blankett LU 11:25 1976-07

ANALYS AV REGLERSYSTEMET  
TILL EN CIGARETTMASKIN

Examensarbete utfört av:

Bertil Nilsson

Katarina Tillberg

Handledare: Jan Holst

Institutionen för Reglerteknik  
vid Lunds Tekniska Högskola

Lund Juni 1978

## SAMMANFATTNING

Ett centralt problem vid tillverkning av cigaretter är viktvariationen hos cigaretterna. Denna rapport presenterar en analys av en cigarettmaskin med tillhörande reglersystem. Vid analysen har vi framför allt varit intresserade av faktorer som påverkar standardavvikelsen hos cigaretterna, och möjligheten att minimera denna.

## ABSTRACT

A central problem when producing cigarettes is the weightvariations of the cigarettes. This report presents an analysis of a cigarettemachine with attaching regulation system. When analysing, we have especially been interested in factors that affect, and the possibility of minimizing, the standarddeviation of the cigarettes.

## INNEHÅLLSFÖRTECKNING

1. Inledning.	1
2. Fysikalisk beskrivning av cigarettmaskinen.	3
3. Beskrivning av reglersystemets komponenter.	5
4. Modell av processen.	9
5. Mätningar och resultat.	14
5.1 Framkopplingen.	17
5.2 Återkopplingen.	24
5.3 Servosystemet.	32
6. Sammanfattning.	43
7. Referenser.	46

## 1. INLEDNING

Vid Svenska Tobaks AB:s cigarettfabrik i Malmö byggde man för några år sedan ut reglerutrustningen till några cigarettmaskiner med en automatisk kontrollutrustning.

Systemet man bestämt sig för är av märket AccuRay, tillhörande det amerikanska bolaget Industrial Nucleonics Corp. AccuRay levererar kontrollutrustning till många olika processindustrier t.ex. pappers-, plast-, textil-, tobaksindustrin m.fl.

AccuRayssystemet till cigarettindustrin är ett flexibelt system och kan byggas ut i flera steg. I sin mest utbyggda form har man en stor central dator som dels kontrollerar vikten vid enskilda cigarettmaskiner, dels styr beredning och packning och har möjlighet till dokumentation av tillverkning och försäljning.

På STA har man idag AccuRay-system 1700, som är ett helt analogt system. System 1700 har tre primära funktioner.

- a/ Att mäta och styra vikten hos de tillverkade cigaretterna genom en återkoppling.
- b/ Att räkna ut och presentera cigaretternas vikt-karakteristik.
- c/ Att ge utkastsignal för cigaretter som ej följer givna kvalitetsnormer.

Ett centralt problem vid tillverkning av cigaretter är viktvariationer hos cigaretterna. För liten vikt på cigaretterna ger tobaksutfall och kortare brinntid och för stor vikt gör det svårt att suga igenom. På grund av variationer i densitet och fuktighet på ingående tobak kommer cigaretternas vikt att variera.

Reglersystemet på cigarettmaskinerna hos STA består av två system. Dels av en framkoppling tillhörande själva

maskinen som är av märket Decoufle och dels av AccuRay-systemets återkoppling. Interfacet mellan AccuRay-systemet och Decouflesystemet tillverkas av L.N. Industies. Framkopplingen är till för att ta hand om snabba variationer i tobaken och återkopplingen för att ta hand om långsamma variationer och därmed hålla vikten konstant vid riktvikten.

Processen är snabb, c:a 4000 ct/min, vilket medför svårigheter med framkopplingen och ställer stora krav på mekaniska delar.

Om man bygger ut reglersystemet med dator har man möjlighet att ändra riktvikten vid förändrad standardavvikelse och medelvikt hos de producerade cigaretterna med stora tobaksbesparingar som följd. Det är då viktigt att standardavvikelsen är låg och speciellt att medelvikten håller sig konstant för maximal besparing.

När vi började med examensarbetet var standardavvikelsen relativ hög på en del av maskinerna. För att undersöka reglersystemet och se vad den höga standardavvikelsen beror på har vi gjort en del mätningar och parametrarjusteringar som redovisas i redogörelsen. Vi ställer oss tvivlande till en del saker i reglersystemet och har förslag till förbättringar som redovisas i ett sammanfattande kapitel.

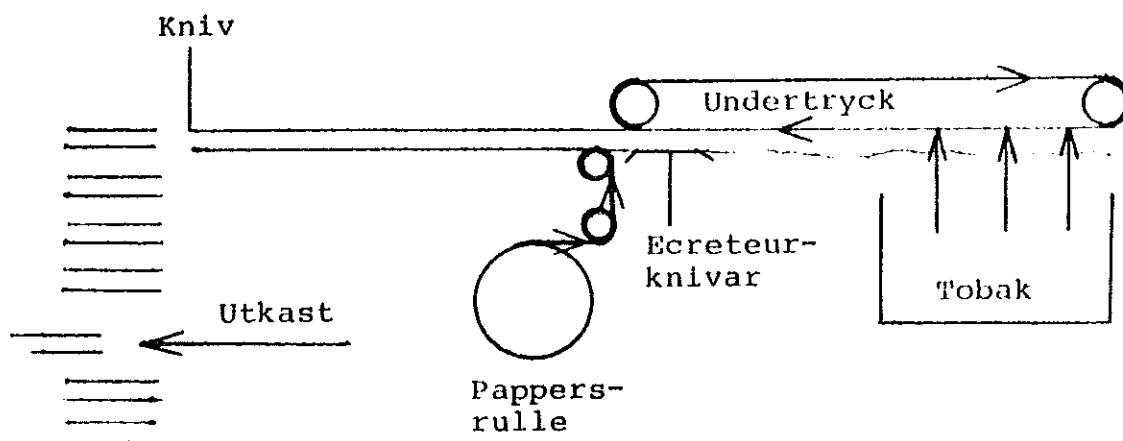


## 2. FYSIKALISK BESKRIVNING AV CIGARETTMASKINEN

Vid den tillverkning som vi har studerat, används cigarettmaskiner av märket L.O.G., tillverkad av Decouflé.

I figur 2.1 visas en cigarettmaskin i princip. Tobak som har matats in till maskinen, suggs upp mot ett permeabelt band, med hjälp av ett kraftigt undertryck. Bandet rör sig med konstant hastighet. Tobaken bildar på så sätt en sträng. Den löper fram i en sk tobakskanal, som har ett rektangulärt tvärsnitt och vars sidor begränsas av mäsingsräls.

Tobakssträngen passerar sedan, fortfarande vid undertryck, två roterade skivor, de sk écreteurknivarna, som skär bort överflödigt tobak ( 25 - 35 % ). Denna tobak går i retur till inmatningen. Sedan sätts papper på undertill vid normalt tryck. Papperet viks runt tobakssträngen och limmas. Den så bildade cigarettsträngen skärs därefter i bitar.



FIGUR 2.1 PRINCIPSKISS ÖVER CIGARETTMASKINEN



Då tobaken har sugits upp mot bandet i toppen på tobakskanalen, mäts dess densitet strax innan knivarna ( avstånd knivar - mätning = 24 cm ), genom att luft suges genom strängen. Variationerna i tryckfall som olikheter i täthet ger upphov till, ger via mätinstrument en differentiell elektrisk signal som representerar densitetsvariationen. Den erhållna signalen går till den linjära servomotor, som reglerar écreteurknivarnas position i höjddled. Knivarnas läge återkopplas till servomotorn. Denna framkoppling från tryckmätningen är avsedd att ta hand om snabba densitetsändringar.

När papperet har satts på tobakssträngen och den har blivit en cigarettsträng, mäts dess densitet igen. Denna gång får radioaktiv strålning passera strängen, och variationerna i absorption över denna transformeras till en differentiell elektrisk signal.

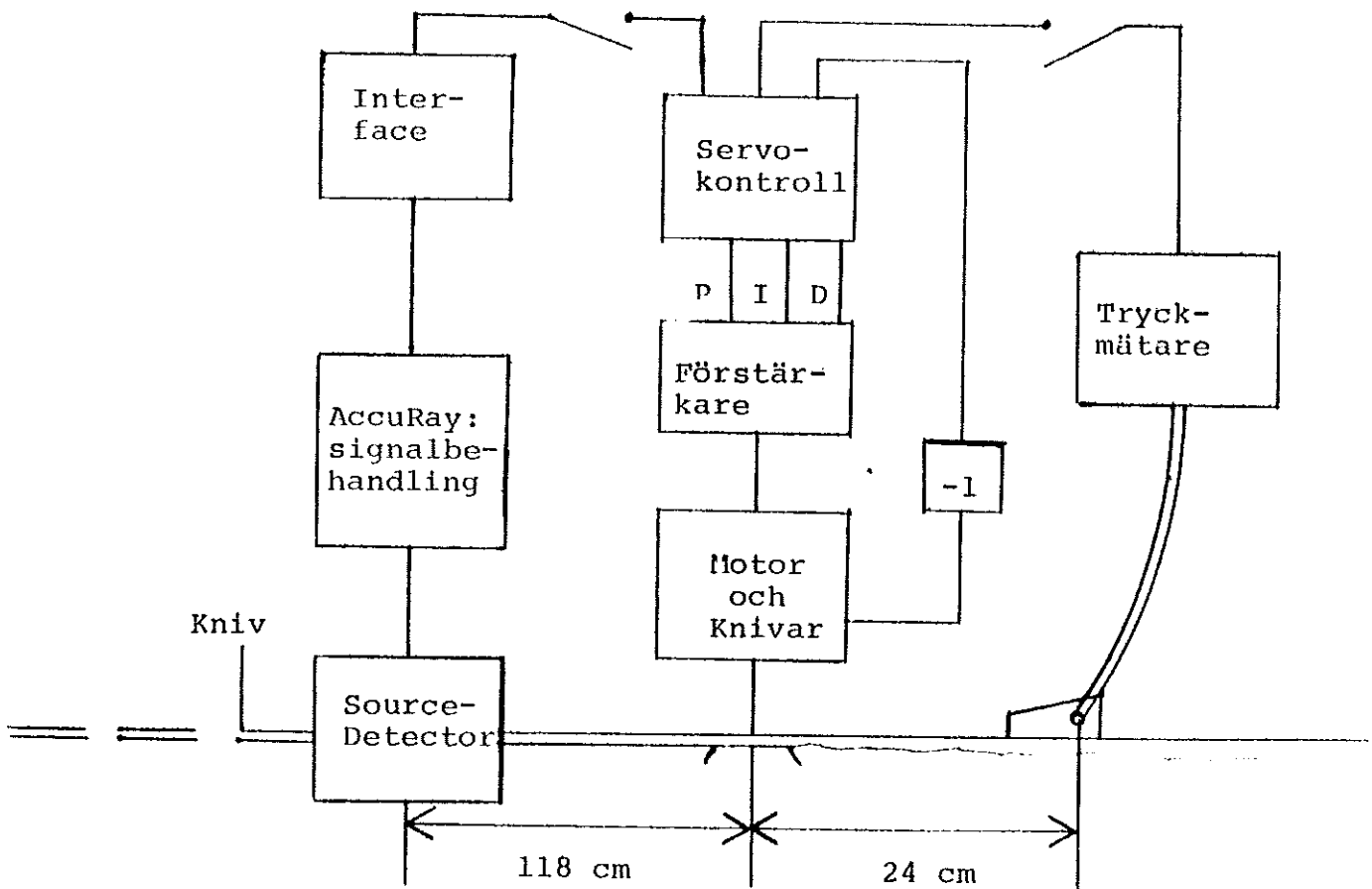
Denna signal, som alltså är ett mått på täthetsvariationen går, efter behandling, också till servomotorn. Den på detta sätt erhållna återkopplingen är avsedd att ta hand om långsamma täthetsvariationer.

Den radioaktiva mätningen ger alltså en snabbt varierande elektrisk signal, som representerar cigarettsträngens täthetsvariationer i längdriktningen. Signalen används även till annat än reglering. I AccuRay-enheten används den till diverse beräkningar. Bland annat kan man på galvanometer följa variationerna i vikt och standardavvikelse, graderade i mg. Dessa fluktuationer representerar då ett medelvärde, eftersom galvanometrarna pga sin tröghet är långsamma jämfört med variationernas snabbhet ( 1 ct = 15 ms ).

Vid maskinen finns slutligen en utkastenhetsenhet. Oberoende av mätsignalerna i systemet sällar den ut cigaretter av dålig kvalitet. Men man har också möjlighet att styra utkasten från AccuRay. Med färdiga kretskort väljs vad som skall ge utkast. Signalen från AccuRay synkroniseras så att en tryckluftspuls fås på avsedd cigarett.

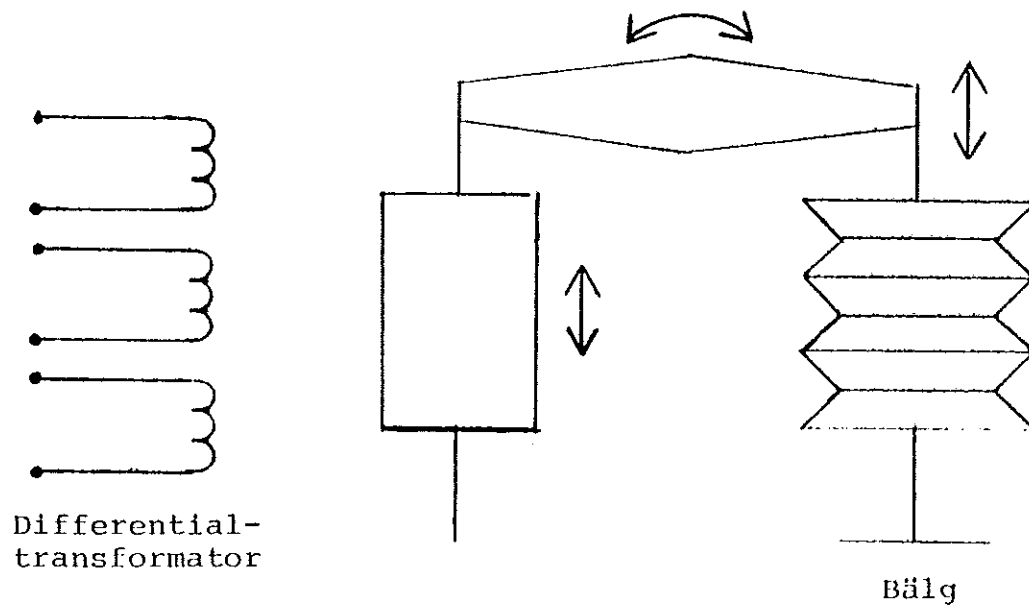
### 3. BESKRIVNING AV REGLERSYSTEMETS KOMPONENTER

För processen som beskrivs i föregående avsnitt kan man göra nedanstående blockschema, fig. 3.1. Vissa av signalerna kan följas på en galvanometer som sitter på manöverpanelen till maskinen. Signalen man skall titta på väljs med två omkopplare.



FIGUR 3.1 BLOCKSCHEMA ÖVER REGLERSYSTEMETS KOMPONENTER

Tryckmätaren i figuren ovan är ansluten till ett munstycke, som sitter ovanpå tobakskanalen. En luftström sugs genom strängen, och de uppkomna tryckvariationerna går via en plastslang till en bälg, se fig. 3.2.

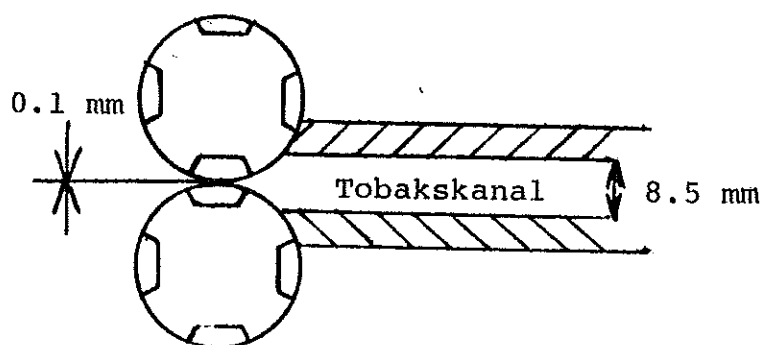


FIGUR 3.2 PRINCIPSKISS ÖVER TRYCKMÄTAREN

Mätbälgens längdvariationer avkänns med en differentialtransformator. Signalen från denna demoduleras och förstärks och går till servokontrollen. Cigaretternas rikt-vikt, dvs önskad medelvikt, ställs mekaniskt in så att man får en signal som varierar kring noll.

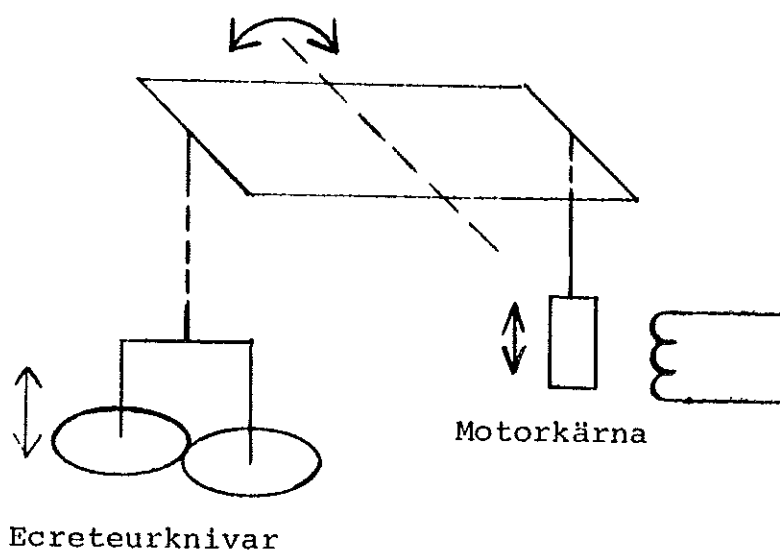
Servokontrollen består av diskreta elektriska komponenter. De tre insignalerna från tryckmätaren, knivlåget respektive AccuRay summeras. Signalen går in på en regulator som ger tre ut signaler; proportionell, integral respektive derivataterm. Ut signalernas storleksordning kan varieras med potentiometrar. Summering av dem sker i förstärkaren till motorn.

Ecreteurknivarna utgörs av två skivor, ca 8 cm i diameter. Se fig. 3.3. På jämna avstånd runt periferin finns fördjupningar med inbördes avstånd som svarar mot en cigarett (1 ct = 6.4 cm). Man vill ha cigaretterna litet tjockare i ändarna, så att tobak inte faller ut och så att anslutningen vid filtret blir god. Cigaretterna får därmed sk dense-ends. För att dessa skall hamna på rätt ställe är skivorna synkroniserade med den kniv som skär upp strängen i bitar.



FIGUR 3.3 ECRETEURKNIVARNAS GEOMETRI

Ecreteurknivarnas läge regleras av en linjär servomotor. Se fig. 3.4. När motorns kärna förflyttas rör sig knivarna. Utslagets storlek bestäms av var man lägger rotationsaxeln i det plan som förbinder motorn med knivarna.



FIGUR 3.4 SCHEMATISK FIGUR ÖVER MOTORNS FÖRBINDELSE MED KNIVARNA

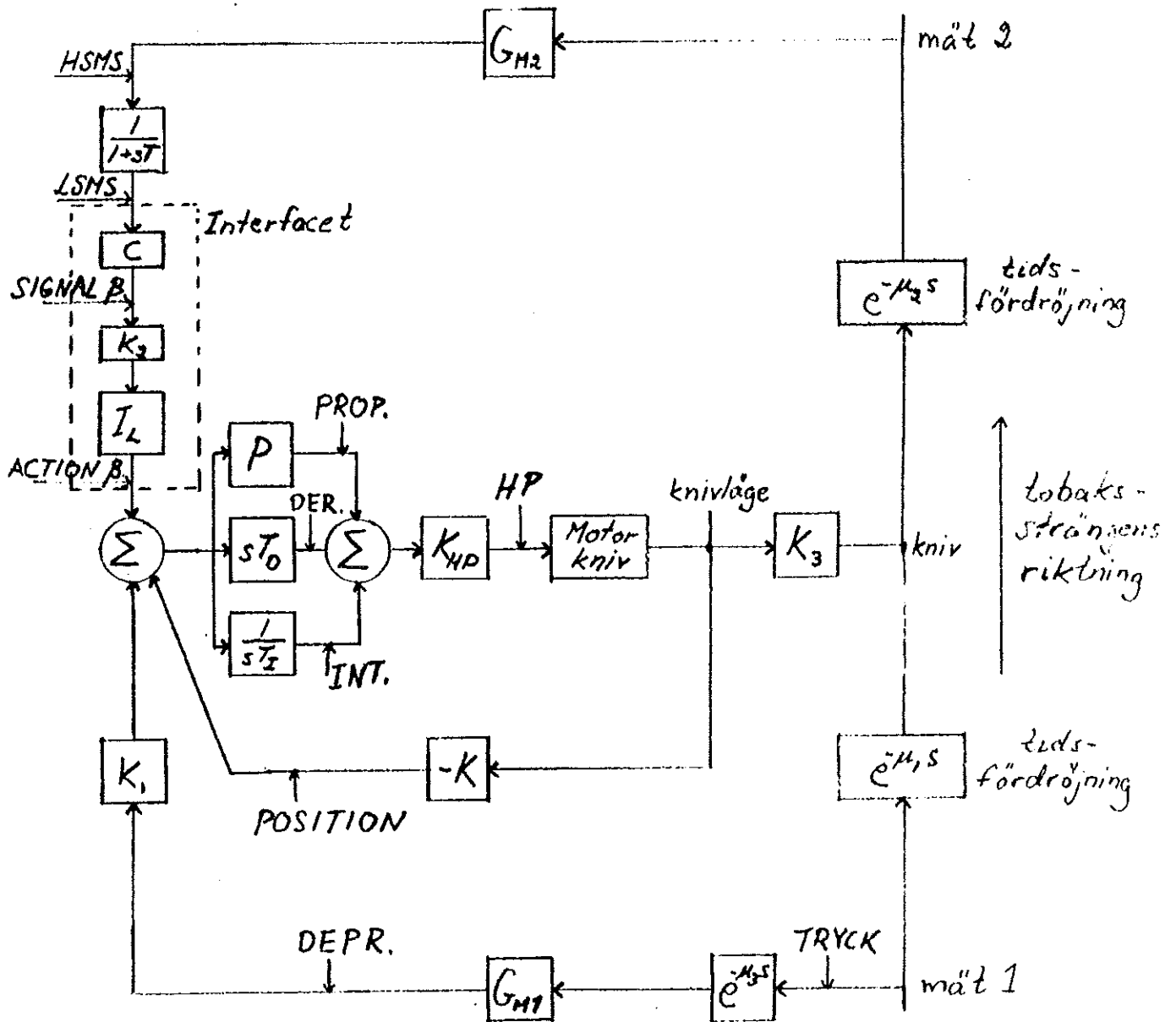
I Source - Detector enheten i figuren finns ett radioaktivt preparat på ena sidan om strängen och en detektor på den andra. Då cigarettsträngen passerar, absorberas en del av strålningen, och resten ger upphov till jonisation i en jonisationskammare. Den svaga ström som erhålls går över ett högresistivt motstånd och ger därmed upphov till en spänningsvariation, som förstärks i en elektrometer.

Signalen går sedan till AccuRay - enheten, där den adderas till en spänning som ställs in med en potentiometer, och kalibreras så att man får 20 mV per mg's avvikelse från riktvikten. Detta ger en snabb signal, där de enskilda cigaretternas viktprofil representeras. Signalen får sedan passera ett lågpasfilter, så att dense-end-karaktären jämnas ut.

Denna långsamma signal går till ett speciellt interface, som förstärker och integrerar den, innan den går till servokontrollen.

## 4. MODELL AV PROCESSEN

Med hjälp av manualer och blockscheman från Decoufle och AccuRay har vi satt upp nedanstående blockschema, med överföringsfunktionerna för de olika delarna i systemet. All referensinställning görs vid mätkällan och finns ej med i modellen.



Figur 4.1 Blockscheman för processen.

Beteckningar i figur 4.1 förklaras nedan. I kapitel 5 redovisas och kommenteras mätningarna varvid signalnamnen som är utsatta i figuren användes.

### Beskrivningar av blockschemat.

#### 1. Inre loopen.

##### PID-regulatorn:

PID-regulatorn är konstruerad så att man även deriverar på reglerfelet. Ofta brukar man i en PID-regulator endast derivera på den lägesåterkopplade signalen för att undvika att en stegändring på referensvärdet skall ge stora utsignaler ( Åström sid. 210 ). Eftersom referensvärdet ( återkoppling+framkoppling ) i detta fall ej har några riktiga stegändringar leder detta troligen ej till några svårigheter.

##### K<sub>HP</sub>:

K<sub>HP</sub> är en förstärkning av den summerade signalen från PID:en, anpassad till motorn.

##### Motor-kniv:

Överföringsfunktionen för blocket motor-kniv.

##### Knivläge:

Lägesåterkopplingen av knivläget sker genom en differentialtransformator som känner motorkärnans läge. Förstärkningen K är variabel, men ändras normalt inte utan storleken på denna får styra inställningen på K<sub>1</sub> och K<sub>2</sub> så att storleksordningen på de tre summerade signalerna är lika.

##### K<sub>3</sub>:

Löprännan för tobaken är 8,5 mm bred. Tobaken till en normalcigarett ( Prince ) väger 824 mg. Normaldiametern  $d=7.95$  mm och längden  $l=64$  mm. Densiteten för en normalcigarett blir då



$$\rho_0 = \frac{0.824 \cdot 4}{\pi \cdot 7.95^2 \cdot 64} \frac{\text{g}}{\text{mm}^3} = 0.260 \text{ g/cm}$$

Normalhöjden för knivarna blir

$$h_0 = \frac{\pi \cdot d^2}{4 \cdot b} = \frac{\pi \cdot 7.95^2}{4 \cdot 8.5} = 5.84 \text{ mm}$$

En höjning eller sänkning av tätheten innan knivarna medför att knivarna måste höjas eller sänkas för att cigaretterna skall få normal täthet efter knivarna. Ett visst läge på knivarna svarar mot en viss täthet på tobaken in. Speciellt svarar  $h_0$  mot  $\rho_0$  in till knivarna.

För att komma åt hur stor ändring vi måste göra på knivarnas höjd vid ändrad täthet kallar vi ändringen av tätheten för  $\Delta\rho$ . En ökning av tätheten medför att mer tobak måste skäras bort, alltså en höjning av knivarna och därför minskad höjd.

Vi får följande ekvation, där vänsterledet är massan efter knivarna innan pappret kommer på och högerledet är massan för en normalcigarette.

$$b \cdot (h_0 - \Delta h) \cdot (\rho_0 + \Delta\rho) = \frac{\pi \cdot d^2}{4} \cdot \rho_0$$

$$(h_0 - \Delta h) \cdot (\rho_0 + \Delta\rho) = \frac{\pi \cdot d^2}{4 \cdot b} \cdot \rho_0 = h_0 \cdot \rho_0$$

$$h_0 \cdot \rho_0 + h_0 \Delta\rho - \rho_0 \Delta h - \Delta h \Delta\rho = h_0 \rho_0$$

Vi försummar termen  $\Delta h \Delta\rho$

$$\rho_0 \Delta h = h_0 \Delta\rho$$

$$\Delta h = h_0 \cdot \frac{\Delta\rho}{\rho_0} = R \cdot \Delta\rho$$

Vi får  $\Delta h = R \cdot \Delta \rho$

$$R = \frac{h_0}{\rho_0} = \frac{0.584 \text{ cm}}{0.26 \text{ g/cm}^3} = 2.25 \frac{\text{cm}^4}{\text{g}}$$

t.ex. om  $\Delta \rho = 0.01 \text{ g/cm}^3$  får vi

$$\Delta h = 2.25 \frac{\text{cm}^4}{\text{g}} \cdot 0.01 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3} = 0.225 \text{ mm}$$

$$h = h_0 - \Delta h = 5.84 - 0.225 = 5.62 \text{ mm}$$

En viss ändring på knivarnas höjd betyder att vi har en bestämd ändring på tätheten för tobaken in till knivarna.

$$K_3 = \frac{1}{R} = 0.44 \text{ g/cm}^4.$$

## 2. Framkopplingen.

$$\underline{e^{-\mu_1 s}}:$$

Från mitten av tryckmätcellen till knivarna är ca 24 cm vilket medför i tid  $\frac{24 \cdot 60}{4000 \cdot 6.4} = 56 \text{ ms}$ .

$$\mu_1 = 56 \text{ ms}$$

$$\underline{e^{-\mu_3 s}}:$$

Man får en viss tidsfördröjning innan tryckändringen märks i differentialtransformatorn på grund av transporten genom plastslangen till bälgen och trögheten i bälgen. Detta motsvaras av  $e^{-\mu_3 s}$  i blockschemat.

$$\underline{G_{M1}}:$$

I differentialtransformatorn omvandlas längdändringen i bälgen, på grund av tryckändringen, till en motsvarande elektrisk signal.  $G_{M1}$  ansätter vi till en konstant.

$$\underline{K_1}:$$

$K_1$  kan varieras på frontpanelen (R.C.T). Denna potentiometer ställs in utan återkopplingen tills medelvikten ligger rätt och standardavvikelsen är så låg som

möjligt.

### 3. Långtidstermen.

$e^{-\mu_2 s}$ :

Från knivarna till  $\beta$ -mätaren är ca. 118 cm, i tid

$$118 \cdot \frac{60}{4000 \cdot 6.4} = 277 \text{ ms.}$$

$$\mu_2 = 277 \text{ ms.}$$

$G_{M2}$ :

$G_{M2}$  är en konstant. Enligt AccuRaymanualen motsvarar 1 mg avvikelse från riktvärdet en spänning på 20 mV.

Man kan tala om vikt här eftersom man har konstant volym på cigaretterna vid  $\beta$ -mätaren.

$$G_{M2} = 20 \text{ mV/mg.}$$

Filter:

Signalen från  $\beta$ -mätaren innehåller dense-endsignaler som har en frekvens på ungefär 67 Hz. För att undertrycka dessa har man ett filter med en brytfrekvens på ungefär 33 Hz. Tidskonstanten, T, i överföringsfunktionen  $\frac{1}{1 + sT}$  blir då 0.005 s.

C:

På ingången till interfacet finns en op-förstärkare som har ungefär förstärkningen 1. LSMS och signal- $\beta$  är alltså ungefär samma signal.

$K_2$ :

$K_2$  ställs in på frontpanelen (R.L.T).

$I_L$ :

Återkopplingen skall svara på långtidsstörningar i systemet. Därför har en integrator inkopplats innan summationen för att göra signalen från  $\beta$ -mätaren långsammare. Transportsträckan kniv- $\beta$ -mätaren rör sig om ungefär 300 ms, så att högre frekvenser än 3 Hz finns ingen anledning att ha med i långtidstermen.

## 5. MÄTNINGAR

I föregående kapitel har vi redovisat de modeller av systemet som vi har kommit fram till. De bygger på manualer, kopplingsscheman o dyl, och mätningar. Vi har även diskuterat med personer som är väl förtrogna med hur cigarettmaskinerna arbetar.

Då vi förelades detta examensarbete, var tanken att man på något sätt skulle kunna uttala sig om värdet av att ansluta systemet till en dator, där man utnyttjar AccuRay-systemets beräkningsmöjligheter. Men då det inte fanns någon ingående studie av själva grundsystemet, ansåg vi att det måste undersökas först.

Vi började därför med att undersöka signalerna på maskinen i arbete. För detta använde vi ett flertal vanliga mätinstrument, framför allt oscilloskop. Stor nytta har vi haft av en snabbskrivare, som registrerar signalerna på fotografiskt papper med en maximal pappershastighet av 1 meter per sekund.

För att få ytterligare information om systemet har vi även mätt på stillastående maskin, men med matningsspänningar tillslagna. Med funktionsgenerator har vi skickat in signaler av olika form, frekvens och amplitud.

Det har visat sig att tobaksdamm kommer in i mätbälgen, och man överväger att sätta in ett filter för att förhindra detta. För att kunna mäta filtrets påverkan på systemet, har man nära munstycket satt in en piezoelektrisk tryckgivare i plastslangen. Denna signal har vi också mätt på, och vi har kallat den tryck .

För att få ännu utförligare information och en mer ingående analys av systemet, har vi slutligen registrerat signalerna på en databandspelare för behandling på dator. Dessa har filtrerats, A/D - omvandlats och samplats. Samplingen tillgick så att vi spelade av bandet med 1/16 av inspelningshastigheten. Datorns minsta samplingsintervall är 20 ms, vilket i vårt fall resulterade i ett intervall på  $20 \text{ ms}/16 = 1.25 \text{ ms}$ . På varje signal har vi gjort 1000 samplingsar, och alltså fått en datavektor med 1000 värden.

Tyvärr hade bandspelaren endast två dc-kanaler. Därför har vi analyserat signalerna två och två, och inte alla samtidigt.

Eftersom det fotografiska papperet ger dåliga kopior, har vi använt samplingsarna ritade i figurer som illustrationer. Vi har emellertid jämfört dessa kurvor och kontrollerat att samplingskurvorna överensstämmer med snabb-skrivarkurvorna.

Vid databehandlingen har vi använt ett program för identifiering av system och analys av data, IDPAC, som finns vid Institutionen för Reglerteknik i Lund. Med det programmet kan man göra en mängd beräkningar. En ingående beskrivning finns i IDPAC - Users Guide av J. Wieslander (1976). Vi har framför allt använt oss av möjligheten att beräkna:

- 1/ Korskorrelationen mellan två datavektorer
- 2/ Autospektrum på en datavektor
- 3/ Överföringsfunktionen mellan två datavektorer

I systemet förekommer signaler som bör likna varandra, eventuellt med en viss fördröjning. För att undersöka hur det verkligen förhåller sig har vi använt korskorrelationen. Med den får man ett mått på överensstämmelsen mellan signalerna, och i vilken tidpunkt den är störst, dvs tidsfördröjningen.

I reglerstrukturen är signalerna avsedda att ligga inom vissa frekvensområden. För att få en uppfattning om frekvensinnehållet i signalerna, har vi beräknat deras autospektrum. Detta ger ett mått på effektinnehållet som funktion av frekvensen i signalerna.

I den reglertekniska modellen har vi velat undersöka vissa överföringsfunktioner mer ingående än vad konventionella mätningar medger. Ett sätt att göra detta är med Maximum-Likelihood identifiering på ett insignal-utsignal system. I IDPAC kan man utföra sådana beräkningar, och man kan rita systemets förstärkning i kvadrat inom ett visst frekvensområde.

I det här sammanhanget kan det vara värt att nämna något om störningar. När vi på olika sätt har mätt signalerna, har det uppträtt störningar, trots att vi på L.O.G.-maskinen har använt systemets jordpunkt. Dessa störningar ingår alltså i regleringen, men de har genomgående en lite amplitud i förhållande till signalamplituden. Därför har vi ansett deras inverkan vara försumbar.

Signalen tryck, däremot, som ju inte ingår i regleringen, har en annan jordpunkt. Den piezoelektriska tryckgivaren får sin spänningsförsörjning från ett särskilt aggregat. På signalen har vi fått störningar av relativt stor amplitud och med en tydlig frekvens av 50 Hz, dvs nätfrekvensen.

## 5.1 FRAMKOPPLINGEN

Fig. 5.1.1 visar framkopplingssignalen deppressure tillsammans med den signal som kallas tryck. I figuren syns tidsförloppet under 1000 samples, dvs 1.25 sek, vilket motsvarar drygt 80 cigaretter ( 1 ct = 15 ms = 12 samples ). Som synes rör det sig inte om så värst snabba variationer vad gäller deppressuresignalen. Man kan inte vänta sig att systemet skall kunna reglera på variationer inom en ct's längd.

Fig. 5.1.2 visar frekvensinnehållet i deppressuresignalen. Man ser tydligt att signalen är relativt långsam ( brytfrekvensen ca 5 Hz ). Mellan 5 och 10 Hz går effektförstärkningen ner ungefär en faktor 15 ( 10 ct motsvarar 6.67 Hz ), och högre frekvenser blir av ännu mindre betydelse.

Fig 5.1.3 visar frekvensinnehållet i trycksignalen. I stort sett liknar det fig. 5.1.2, men i 5.1.3 finns en topp vid 50 Hz, vilken härrör från elektriska störningar.

Fig. 5.1.4 visar åter igen deppressure och tryck. Här syns tydligt störningarna med frekvensen 50 Hz på trycksignalen. I figuren syns också trycksignalen i en annan form. Vi har tagit bort likspänningsnivån, och förstärkt och filtrerat signalen, så att man bättre ser att tryck och deppressure visar samma sak, fast med en viss fördröjning.

För att få en uppfattning om tidsfördröjningen i slangen och bälgen, har vi beräknat korskorrelationen mellan tryck och deppressure. Fig. 5.1.5 visar korskorrelationen för dessa två signaler. Den ger en uppskattning av fördröjningen till ca 40 ms, vilket överensstämmer med fig. 5.1.1, som också ger ca 40 ms.

Fig. 5.1.6 visar tryck tillsammans med position, dvs knivläget. Då avståndet tryckmätning - knivar är ca 24 cm, vilket motsvarar 55 - 60 ms, borde knivarna reagera på



trycksignalen efter den tiden, för det är ju viktigt att de reglerar på 'rätt' ställe. Fig. 5.1.7, som visar korskorrelationen mellan tryck och position, pekar på att så är fallet, om man inte avser att reglera på småvariationer inom en cigaretts längd. I figuren syns hur störningarna i trycksignalen påverkar korskorrelationens utseende, dvs att den får en 'störning' med samma frekvens. Motsvarande korskorrelation med den filterade trycksignalen ger i princip samma resultat som fig. 5.1.7, men utan dessa störningar.

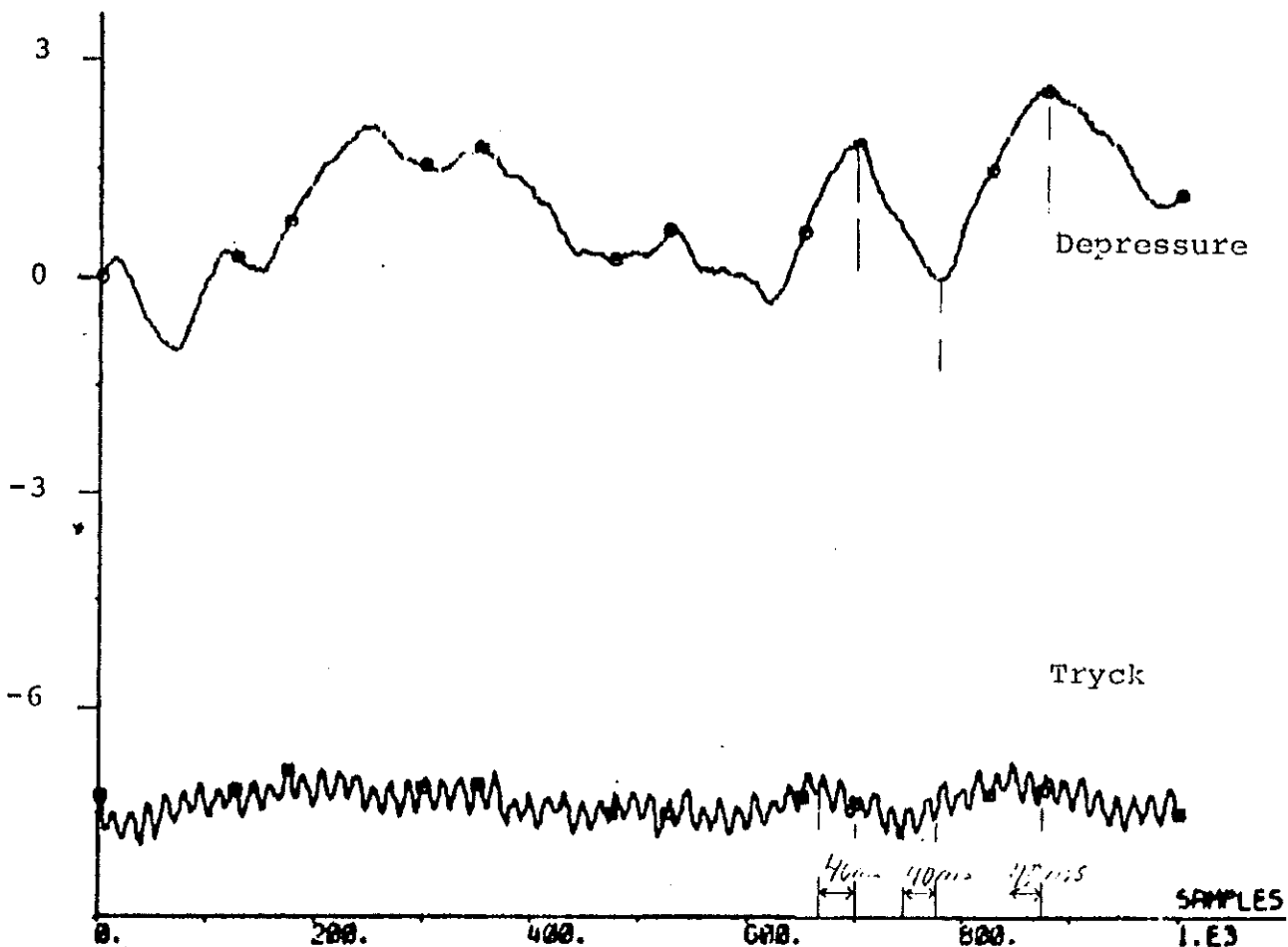
Det är svårt att avgöra vad depressuresignalen verkligen representerar, eftersom vi inte kan mäta ingående variationer i tobaken. Då tryckluft suges genom strängen, är höjden över vilken tryckfallet sker inte konstant. Detta kan då ge signalvariationer som inte härrör från densitetsvariationer. Fig. 5.,.,8 visar deppressure tillsammans med mätsignalen i återkopplingskretsen - LSMS. Här har vi stängt av all reglering, men ej mätning, dvs écreteurknivarna står stilla i sitt mittläge. Ur figuren är det svårt att utläsa tidsfördröjningen mellan signalerna. Avståndet knivar -  $\beta$ -mätare är ca 118 cm, dvs i tid ca 280 ms. Eftersom tryckmätningen ligger innan knivarna och  $\beta$ -signalen fördröjs något, kan man räkna med en total fördröjning runt 300 ms, dvs 240 samples.

Vad man tydligt kan se är hur mätningarna skiljer sig i snabbhet och noggrannhet, fastän det är samma sak de avses mäta. Depressuresignalen är integrerad, eftersom mätmunstycket är ungefär lika långt som en cigarett. Integreringen sker med en varierande konstant, eftersom munstycket inte är jämnhögt, se fig. 3.1. I LSMS-signalen finns rester av dense-end karaktären, trots filtrering.

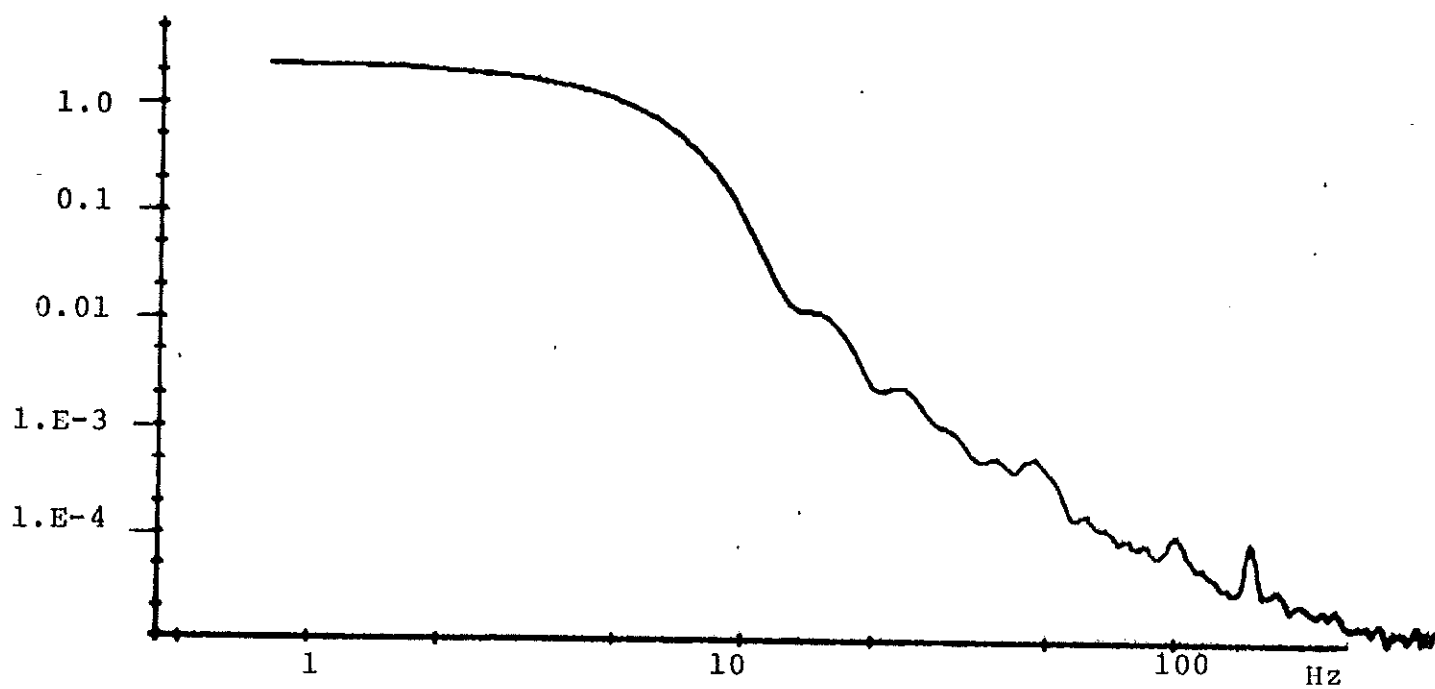
Fig. 5.1.9 visar korskorrelationen mellan deppressure och LSMS i ovan nämnda fall då knivläget är fixt. Om likheten mellan deppressure och LSMS är stor, väntar man sig en rejäl topp i figuren vid ca  $300/1.25$  samples = ca 240 samples.

Men i figuren finns ingen sådan topp. De som finns är för små för att man skall kunna säga att en ordentlig korrelation föreligger ( jämför med tidigare figurer på korskorrelation, där man fått toppar som ligger en bit över 0.5 ). En möjlig slutsats är att depressuresignalen inte med någon större noggrannhet mäter det den skall mäta.

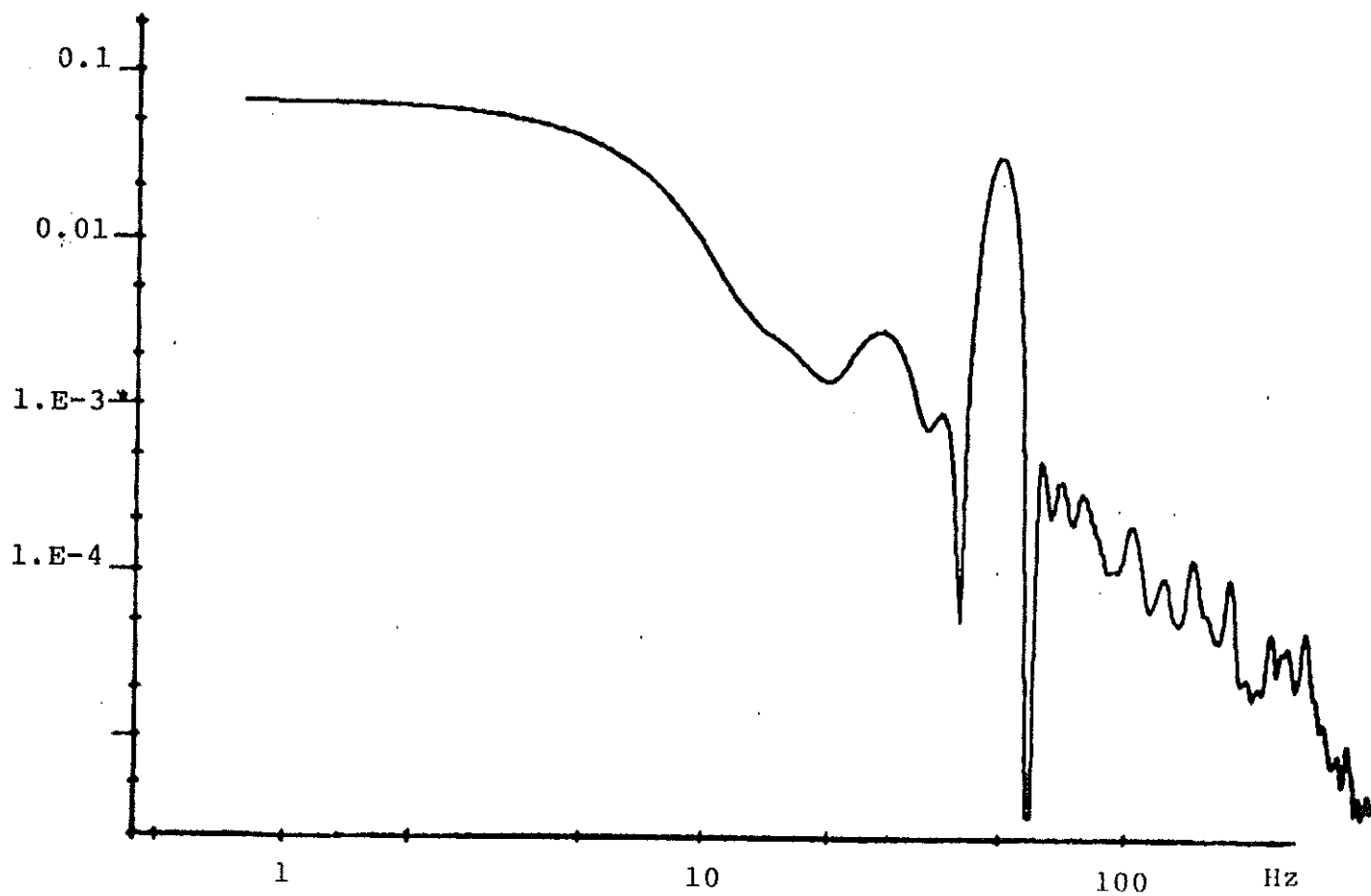
Om man stänger av framkopplingen enliten stund, kan man inte märka någon skillnad på mätinstrumenten på AccuRay. Med tanke på vilken betydelse framkopplingen avses ha, är detta resultat oväntat. Å andra sidan stöder det misstanken om depressuresignalens låga noggrannhet.



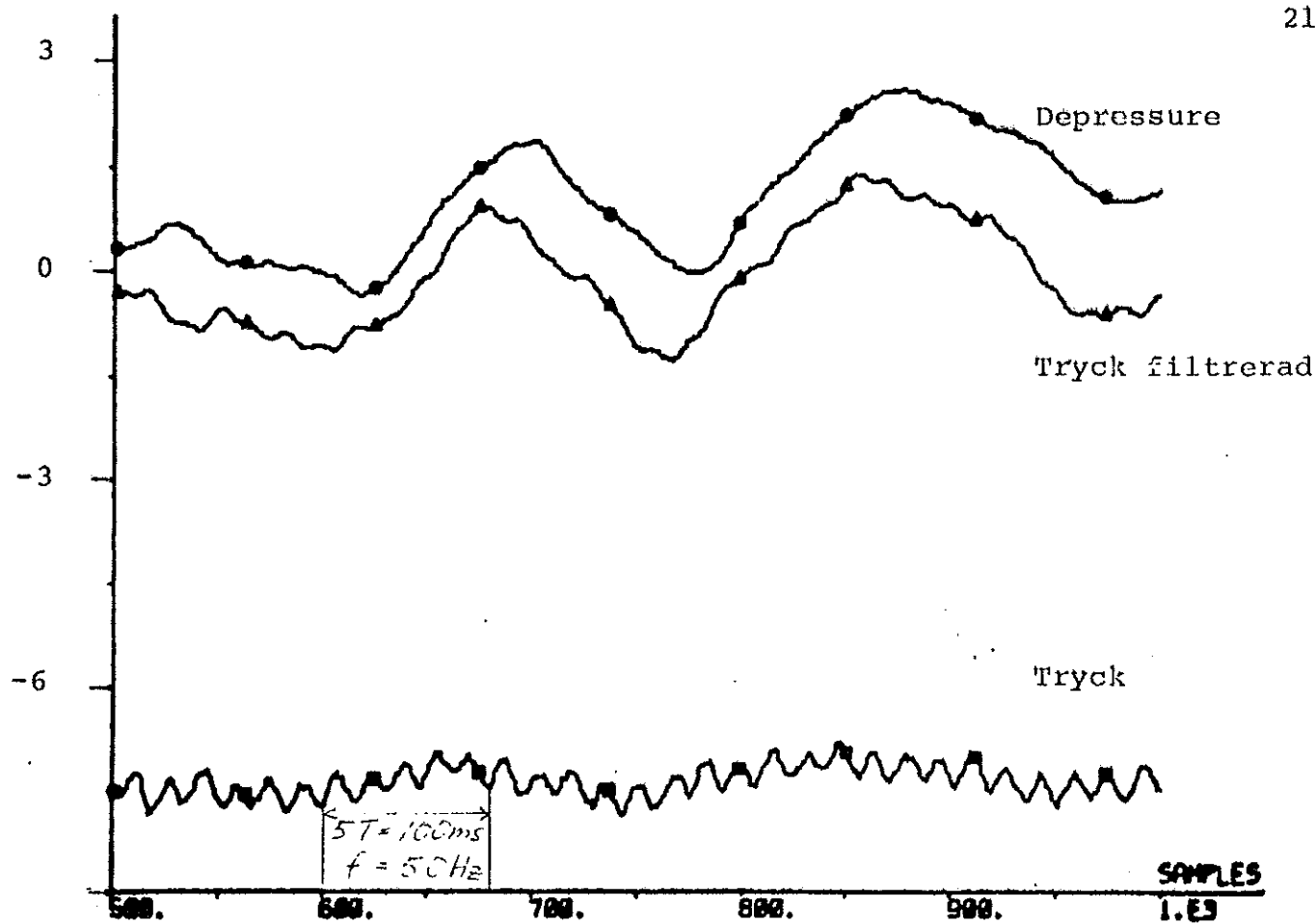
Figur 5.1.1 Tryck och Depressure.



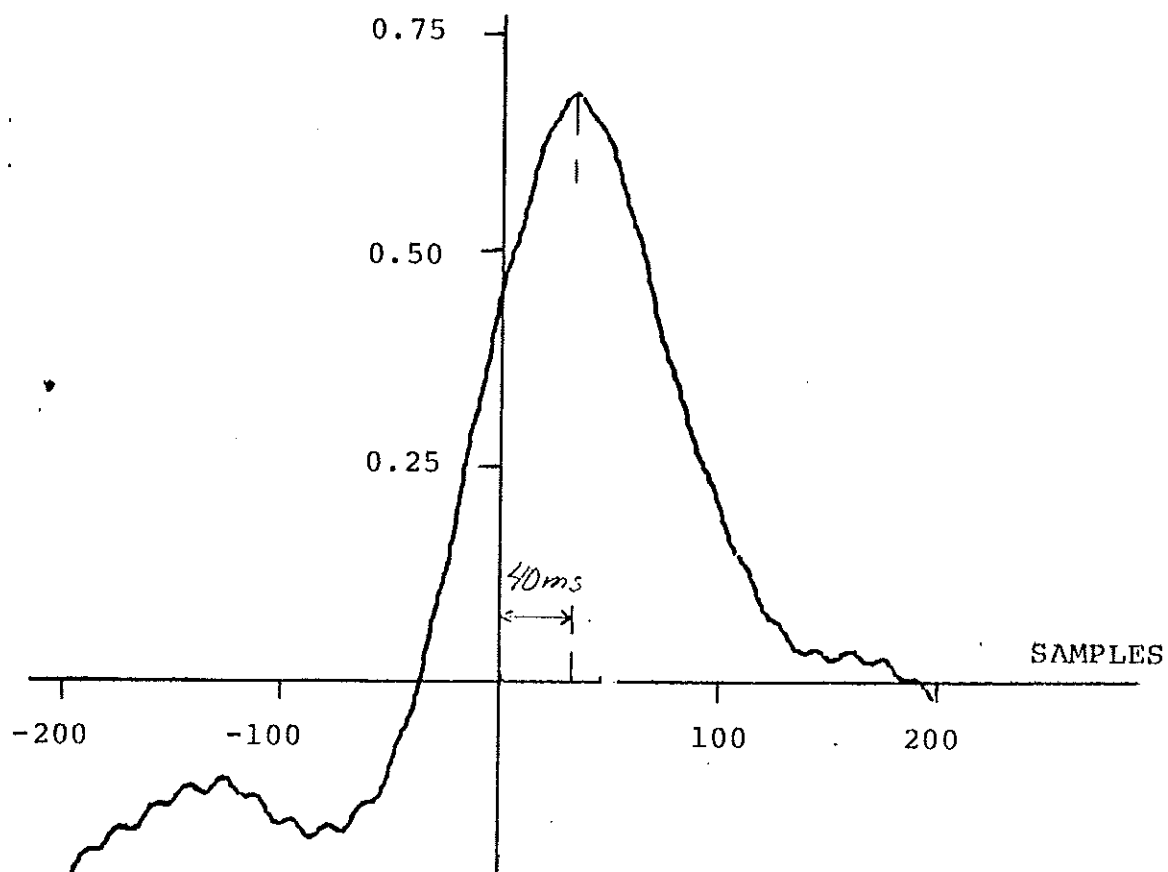
Figur 5.1.2 Autospektrum på Depressure.



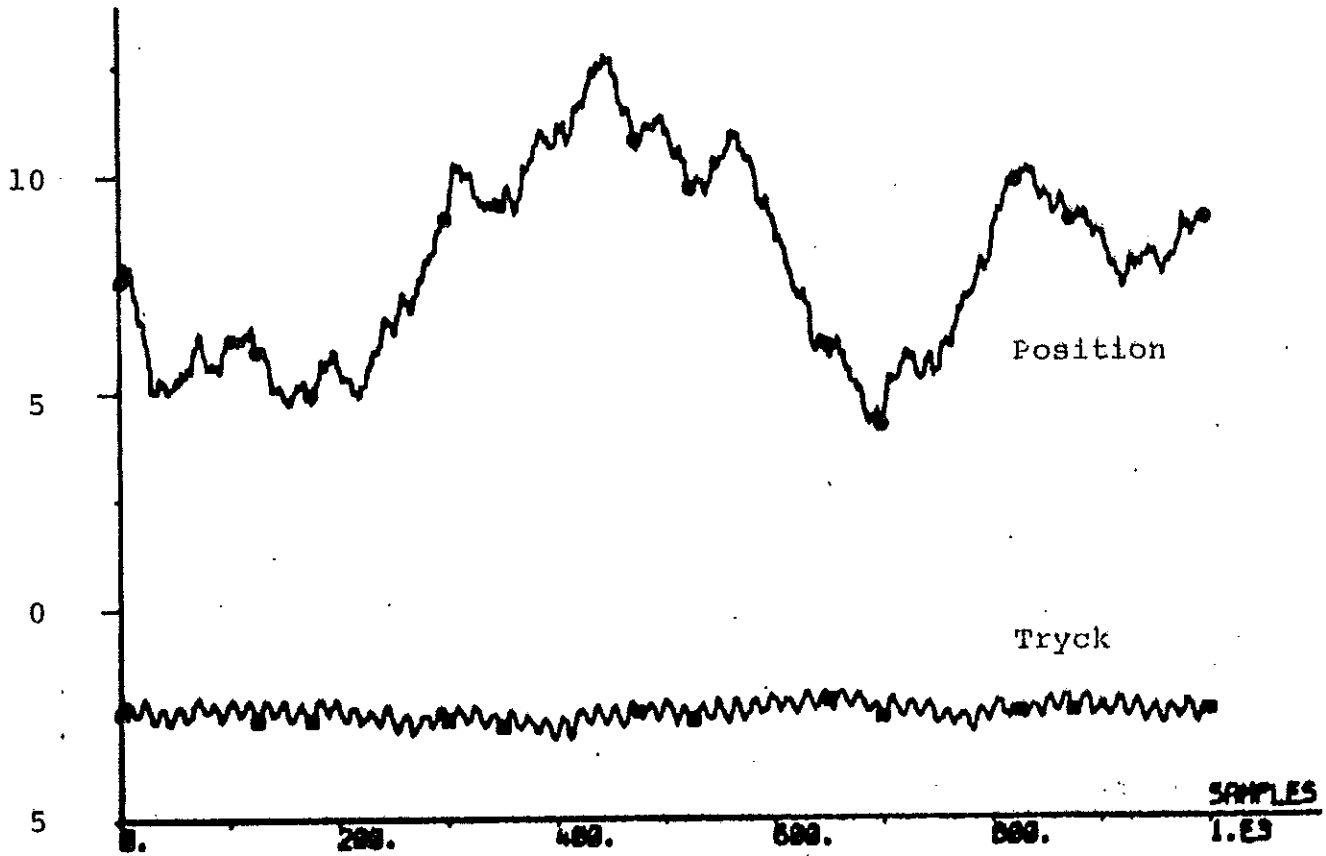
Figur 5.1.3 Autospektrum på Tryck.



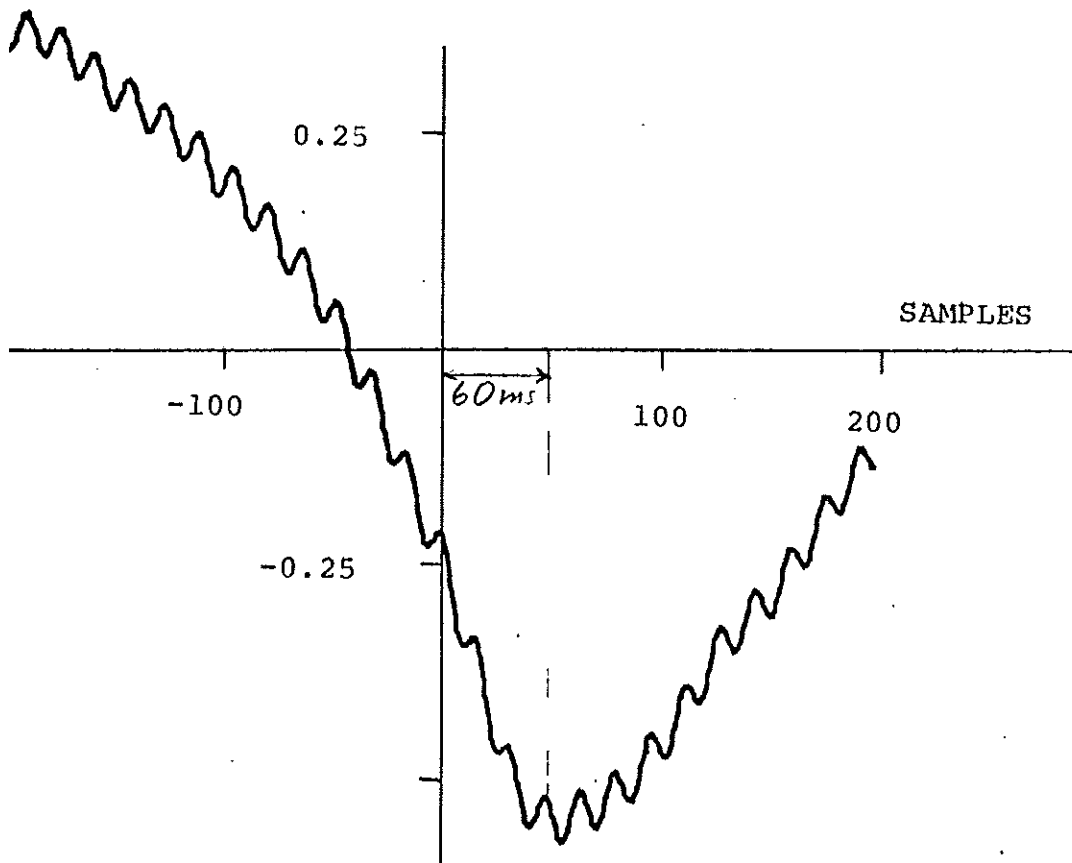
Figur 5.1.4 Tryck och Depressure samt Tryck filtrerad.



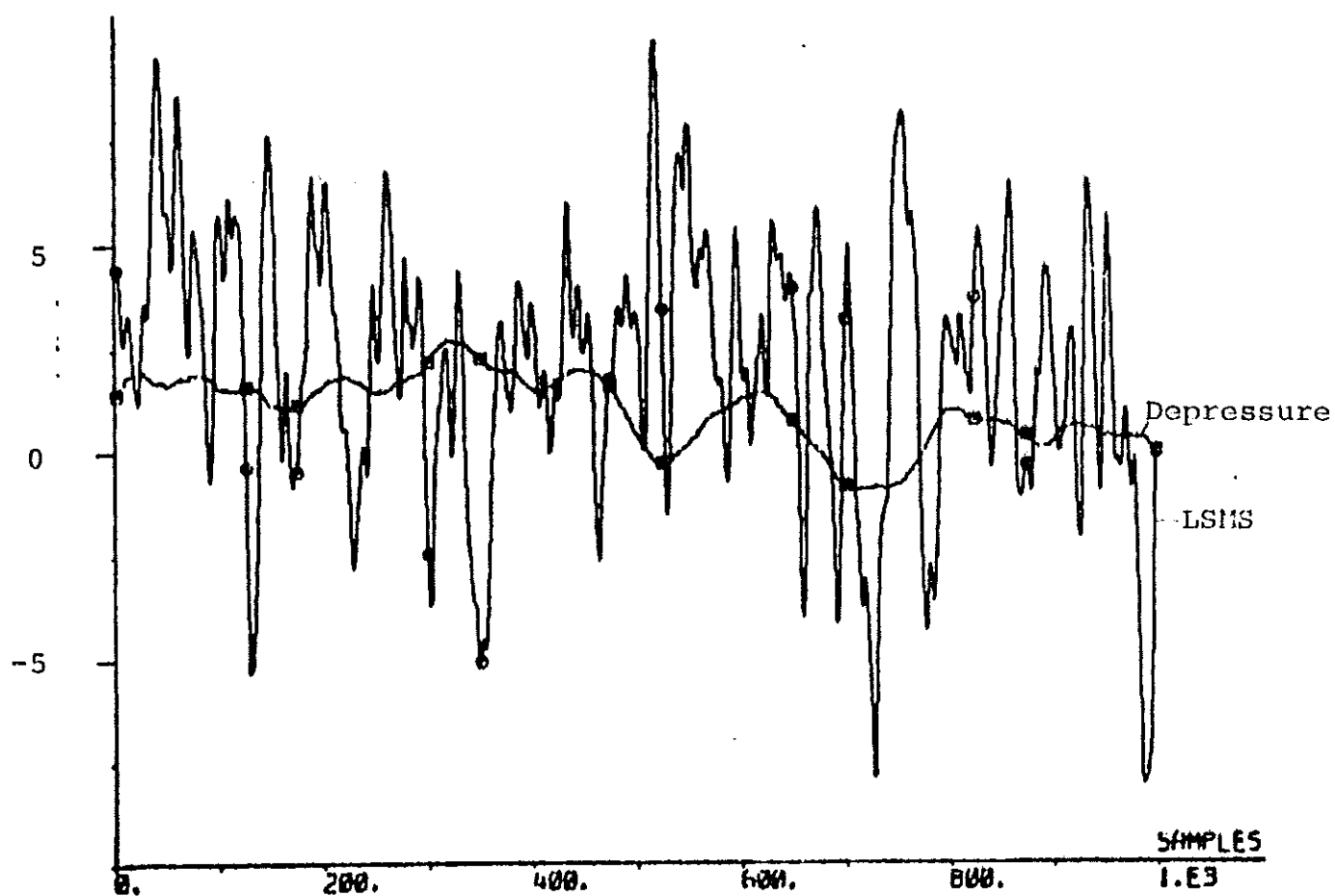
Figur 5.1.5 Korskorrelationen mellan Tryck och Depressure.



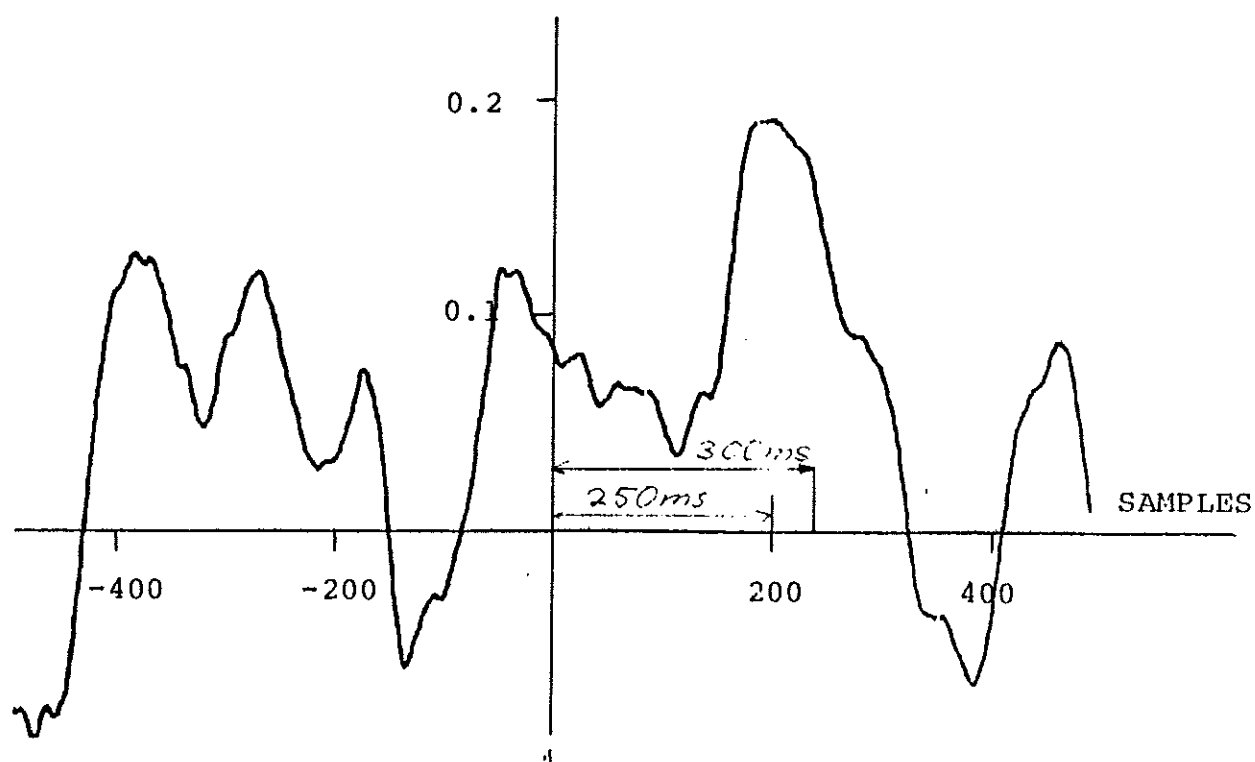
Figur 5.1.6 Tryck och Position.



Figur 5.1.7 Korskorrelationen mellan Tryck och Position.



Figur 5.1.8 Depressure och LSMS med fixt knivläge.



Figur 5.1.9 Korskorrelationen mellan Depressure och LSMS med fixt knivläge.

## 5.2 ÅTERKOPPLINGEN

Fig. 5.2.1 visar de snabba mätsignalen i återkopplingskretsen - HSMS, och samma signal efter lågpasfiltret - LSMS. Här syns hur signalen varierar kring noll och den tydliga dense-end karaktären, som även syns på LSMS, trots filtrering.

Av figuren framgår det vilken detaljerad mätning HSMS, till skillnad från depressure ger. Med HSMS kan man följa variationen inom en cigaretts längd. Den kan alltså användas för klassifikation av cigaretterna. Själva mätmetoden är betydligt mer exakt än den i framkopplingen.

Fig. 5.2.2 visar korskorrelationen mellan HSMS och LSMS. Här fås en smal, hög topp och ungefär noll för övrigt. Detta är ett exempel på en tydlig korrelation.

Fig. 5.2.3 visar frekvensinnehållet i HSMS och LSMS. Brytfrekvensen ligger här vid ca 25 Hz. Man ser i figuren hur LSMS bryter ner snabbare än HSMS efter 25 Hz, och därmed hur toppen vid 67 Hz ( dense-end frekvensen ), som är dominant i HSMS undertrycks i LSMS, som sig bör.

Fig. 5.2.4 visar som i figur 5.1.8 depressure och LSMS, fast här med all reglering inkopplad som vanligt. Motsvarande korskorrelation visas i fig. 5.2.5. Här finns pss som i fig. 5.1.9 värden skilda från noll, men utan statistisk signifikans. Här, däremot, väntar man sig ingen topp i figuren, eftersom regleringen är inkopplad.

Fig. 5.2.6 visar autospektrum på LSMS, utan och med all reglering inkopplad. Brytfrekvensen med reglering är något lägre än utan. Dessutom minskar effektförstärkningen vid reglering med en faktor ca 3 gånger större än utan reglering.



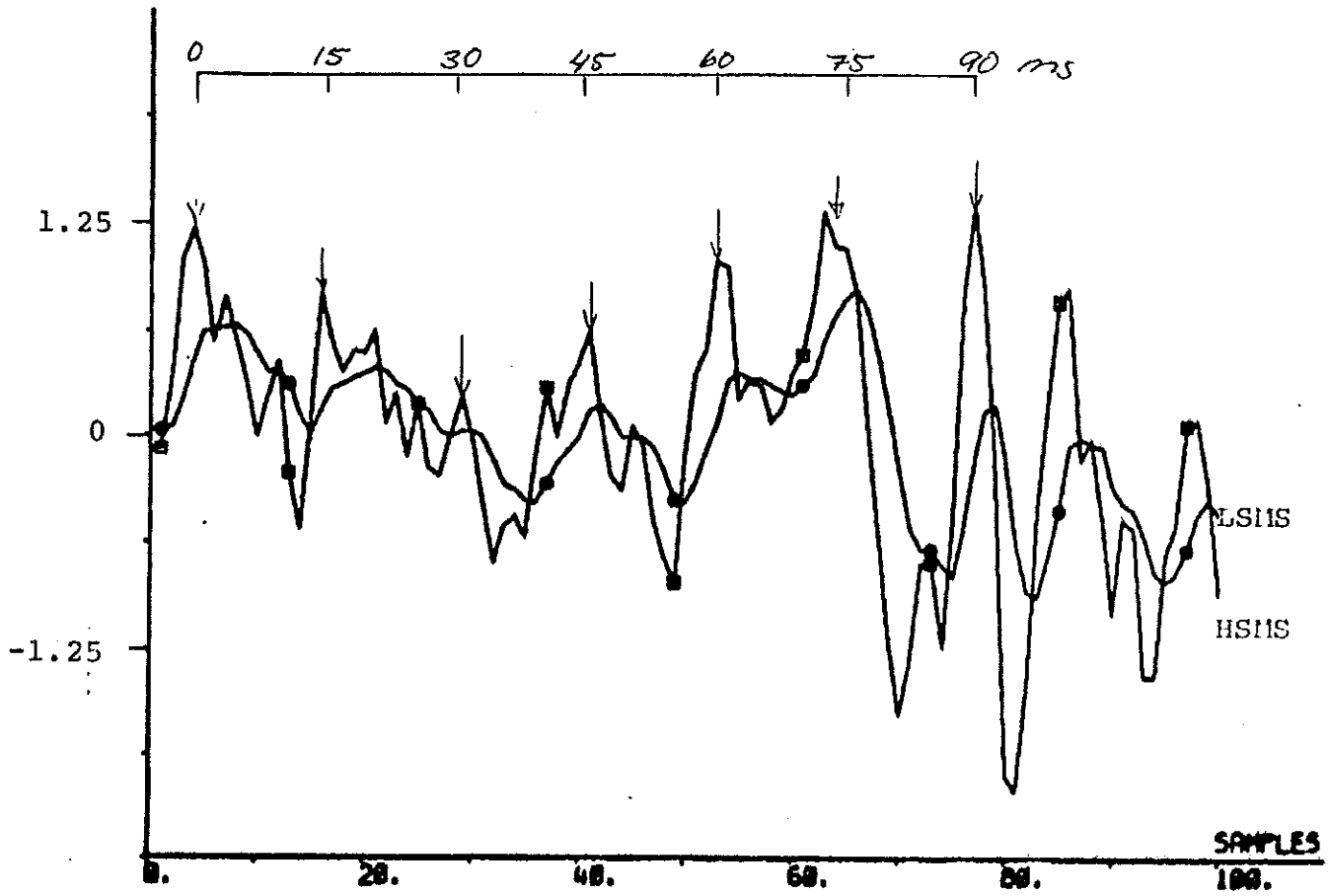
Fig. 5.2.7 visar signal  $\beta$  och action  $\beta$ , dvs före och efter integreringen i interfacet. Av LSMS, som är en relativt snabb signal, har man fått en långsam signal. Meningen är att denna skall representera de långsamma nivåändringarna i tobakstätheten, och på så sätt utgöra en korrektion av börvärdet i framkopplingen. Men om man studerar fig. 5.2.8 syns det att depressure och action  $\beta$  är ungefär lika snabba. Depressure är emellertid i storleksordning ca 10 gånger större än action  $\beta$ , vilket gör att de snabbaste variationerna i action  $\beta$  inte påverkar regleringen nämnvärt.

Fig. 5.2.9 visar interfacets överföringsfunktion i kvadrat. Här syns tydligt att det är en integral det rör sig om ( lutning  $-2$  ). Toppen vid 150 Hz kan man bortse ifrån vad gäller själva överföringsfunktionen. Eftersom action  $\beta$  innehåller störningar som inte finns i signal  $\beta$  får man en resonanstopp vid aktuell frekvens för att förklara dessa störningar. Samma frekvens ger en topp i fig. 5.2.8.

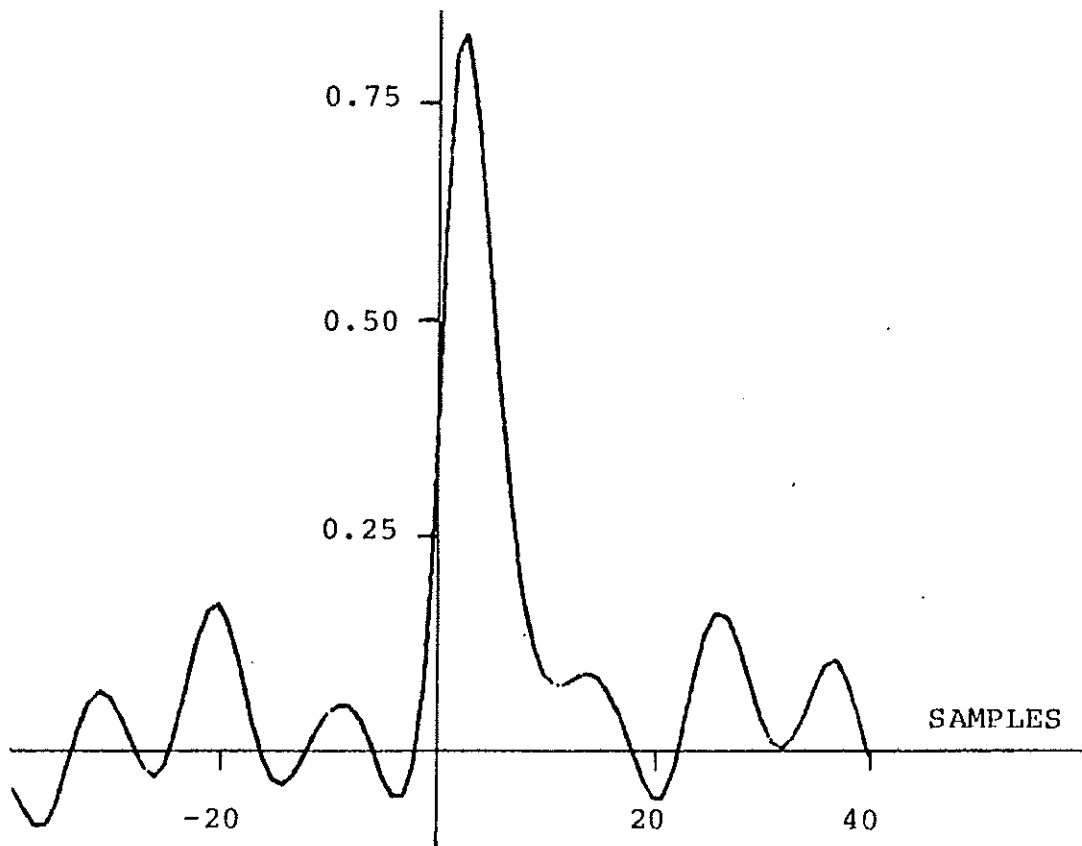
Fig. 5.2.10 visar action  $\beta$  och position då vi har stängt av framkopplingen ( RCT ). Här följer de varandra påtagligt ( den ena signalen är inverterad ). Position påverkas mycket av action  $\beta$ .

Fig. 5.2.11 visar korskorrelationen mellan action  $\beta$  och position utan framkoppling. Den höga och breda toppen visar hur action  $\beta$  påverkar nivån på position över en längre tid.

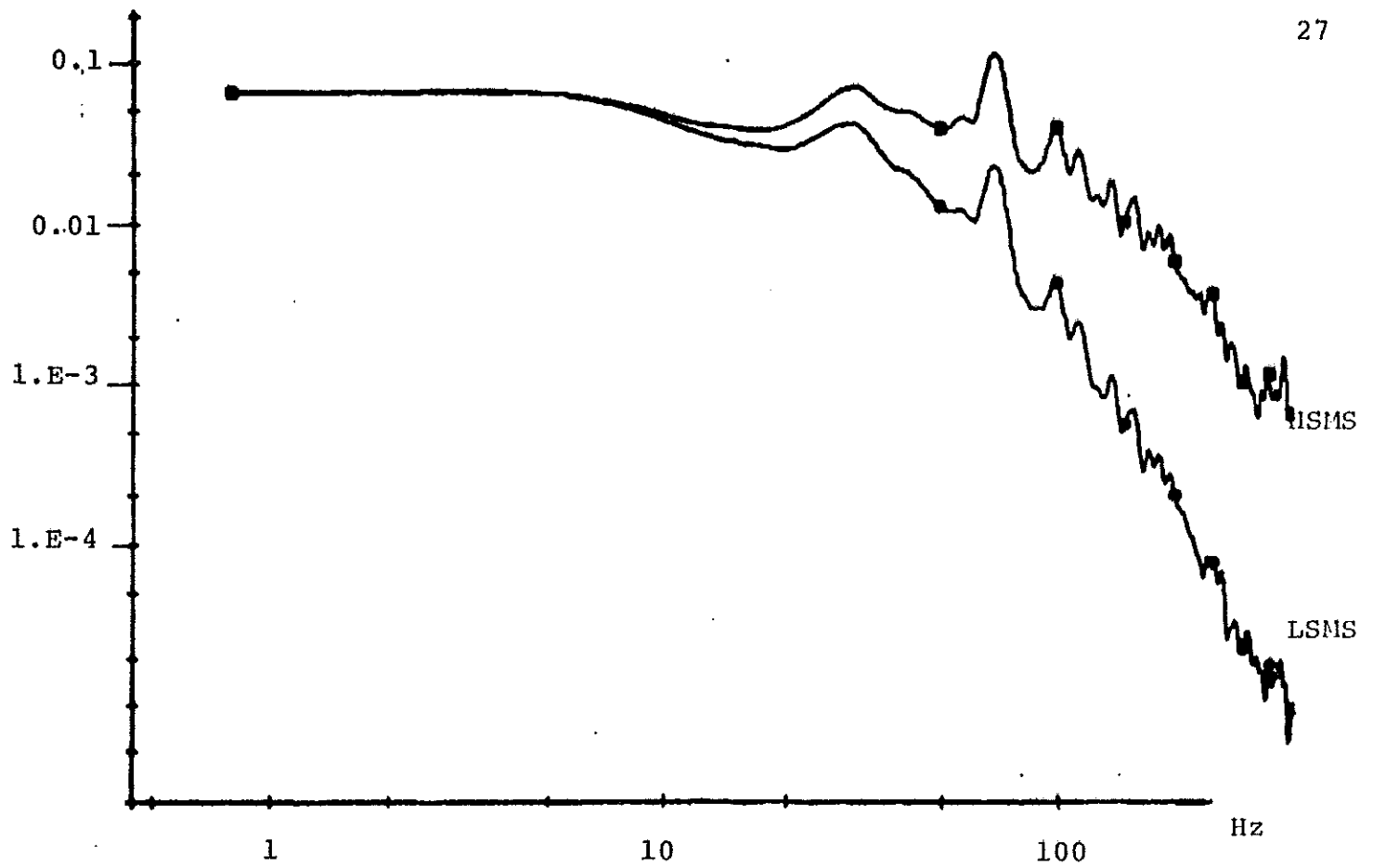
Om man stänger av återkopplingen, visar det sig att man lätt får en medelviktstörning på visarinstrumentet på AccuRay-enheten. Med återkoppling däremot, får man en korrigerande för långvariga täthetsvariationer, och även för felaktig grundinställning av knivarna och bälgsignalen.



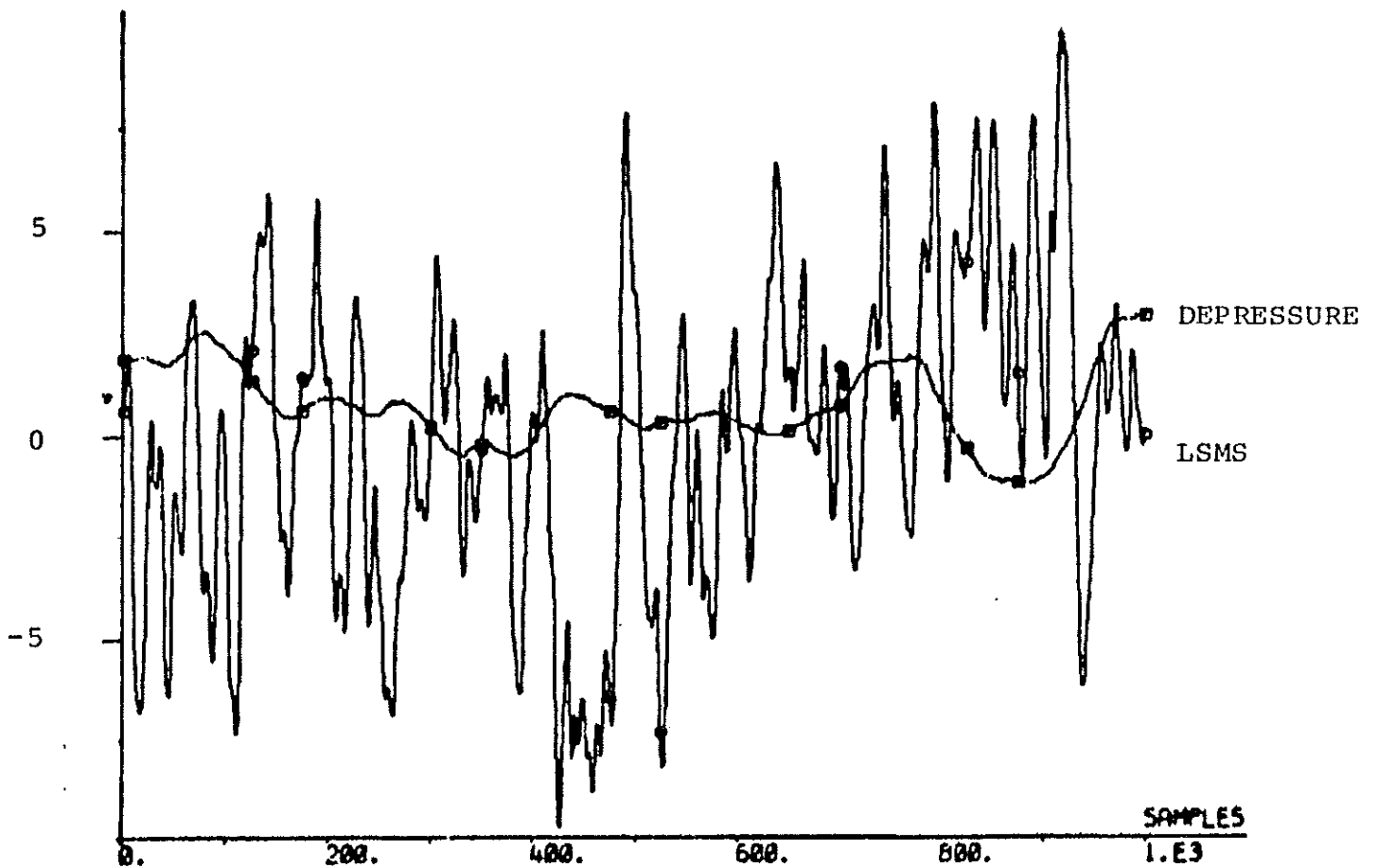
Figur 5.2.1 HSMS och LSMS.



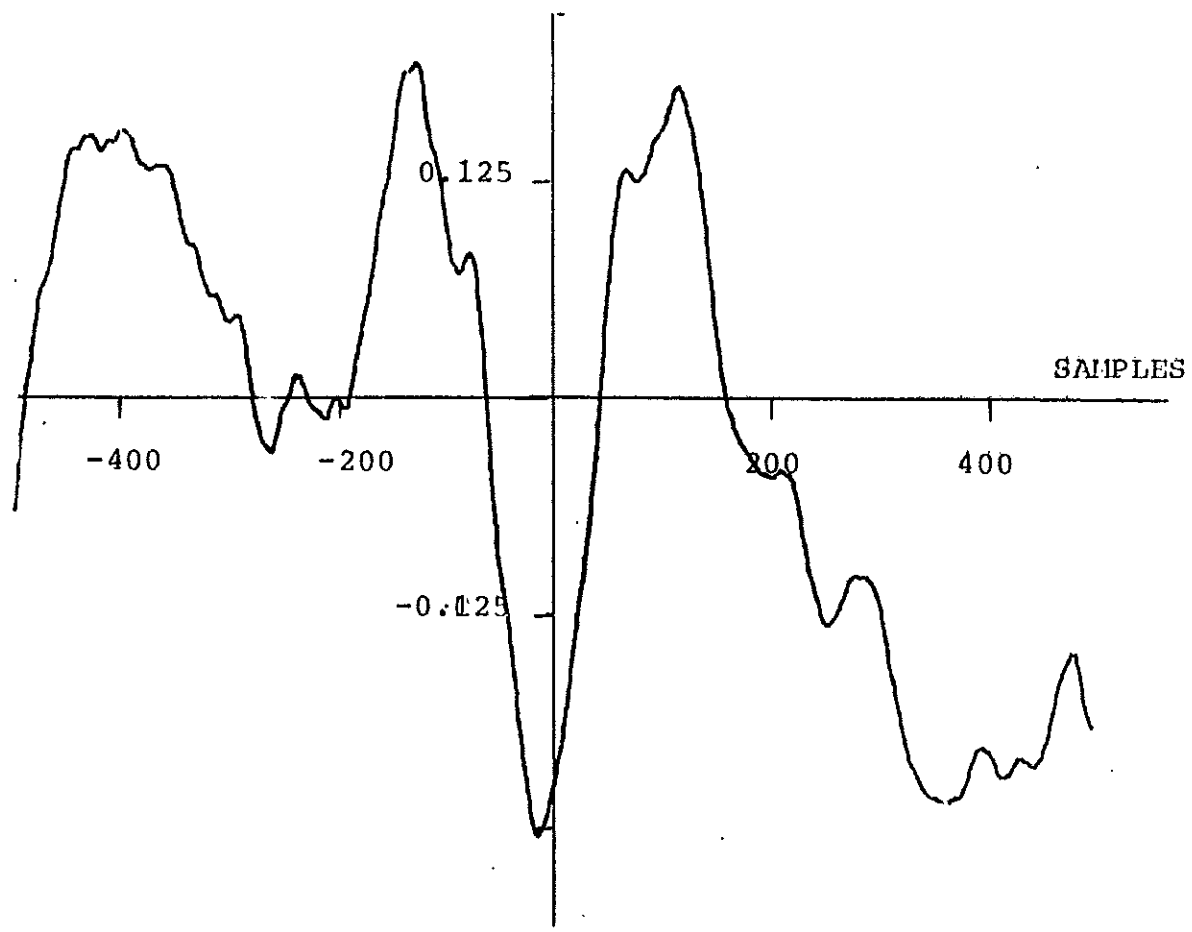
Figur 5.2.2 Korskorrelationen mellan HSMS och LSMS.



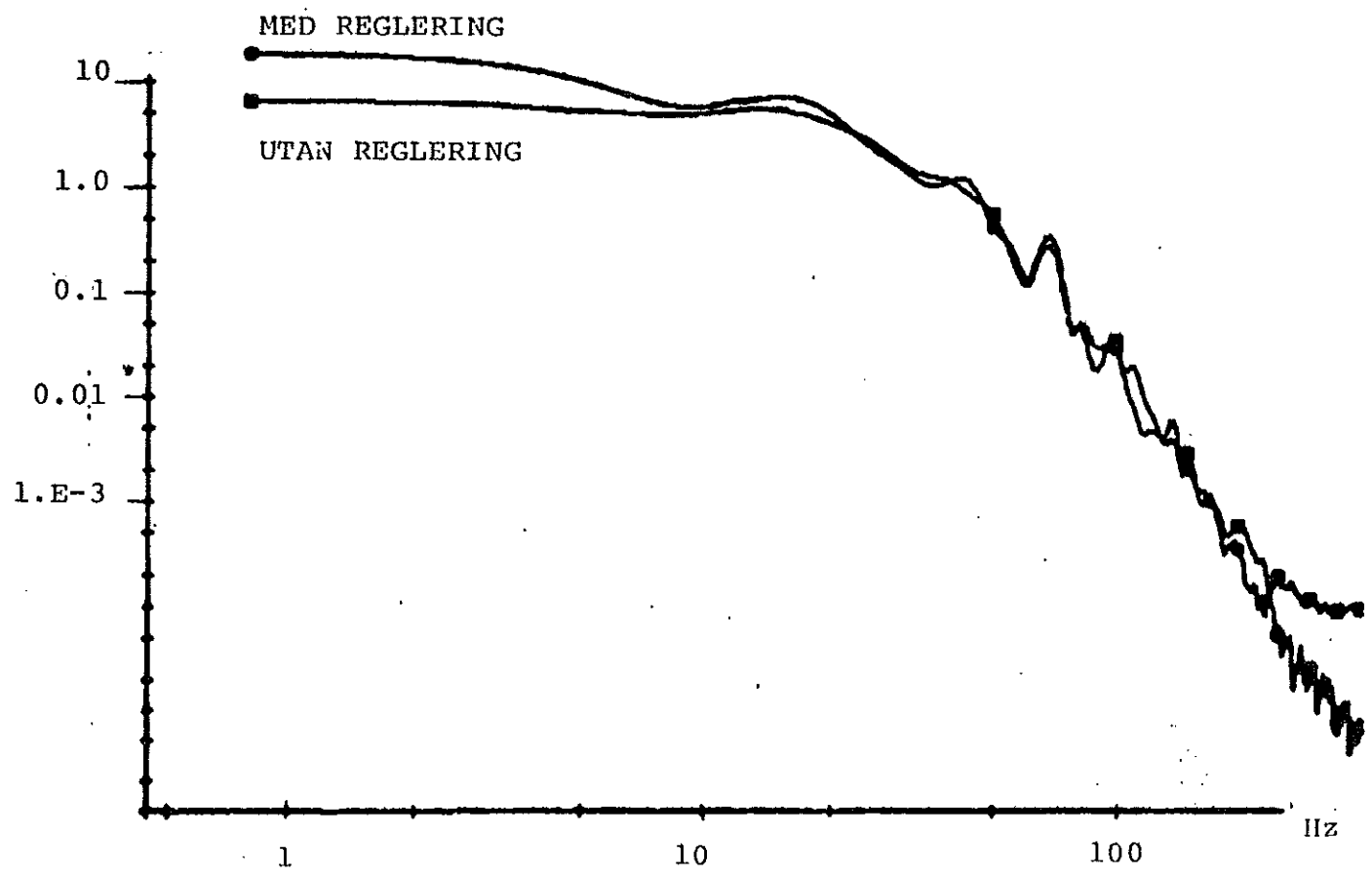
Figur 5.2.3 Autospektrum på HSMS och LSMS.



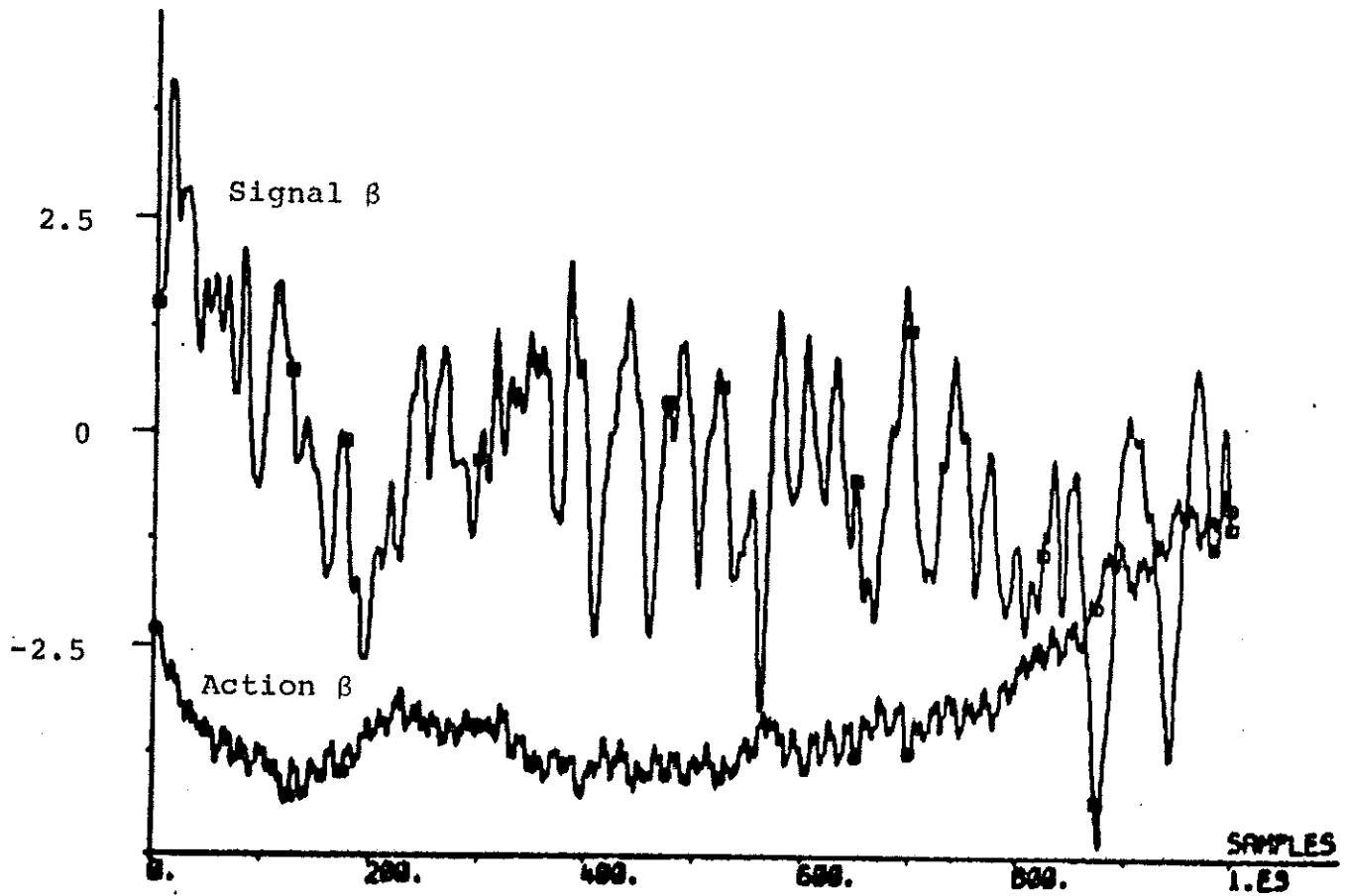
Figur 5.2.4 Depressure och LSMS med all reglering inkopplad.



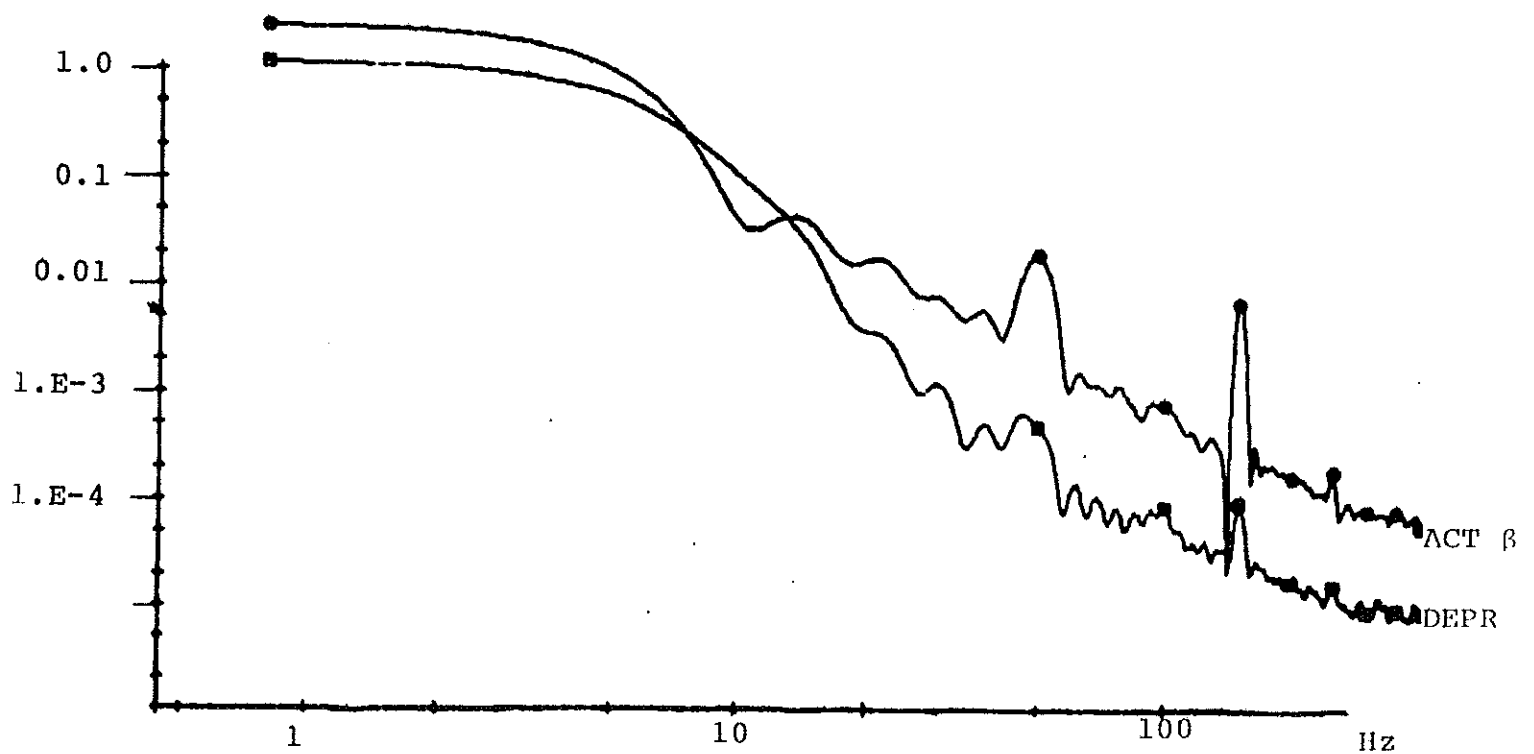
Figur 5.2.5 Korskorrelationen mellan Depressure och LSMS.



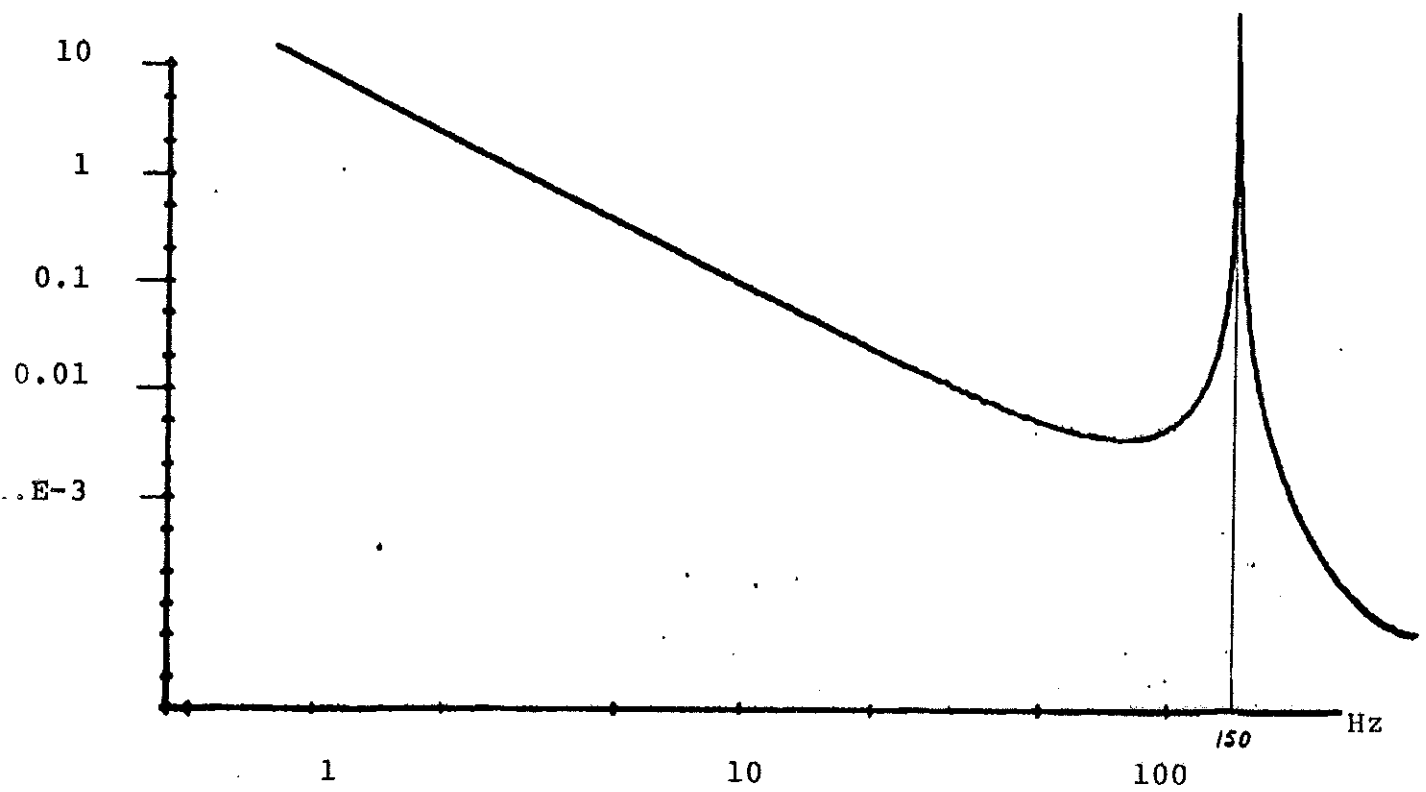
Figur 5.2.6 Autospektrum på LSMS utan/med reglering.



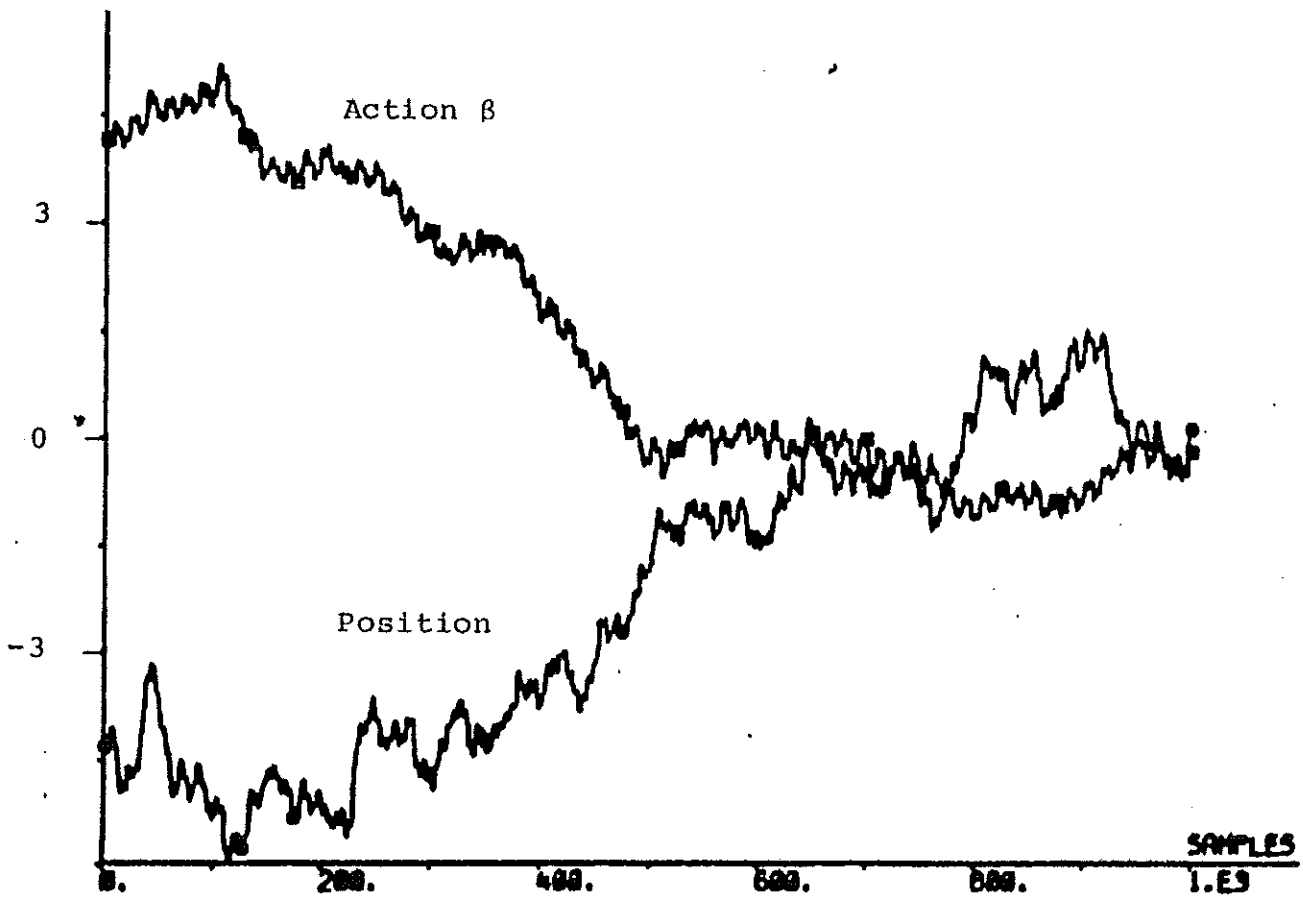
Figur 5.2.7 Signal  $\beta$  och Action  $\beta$  .



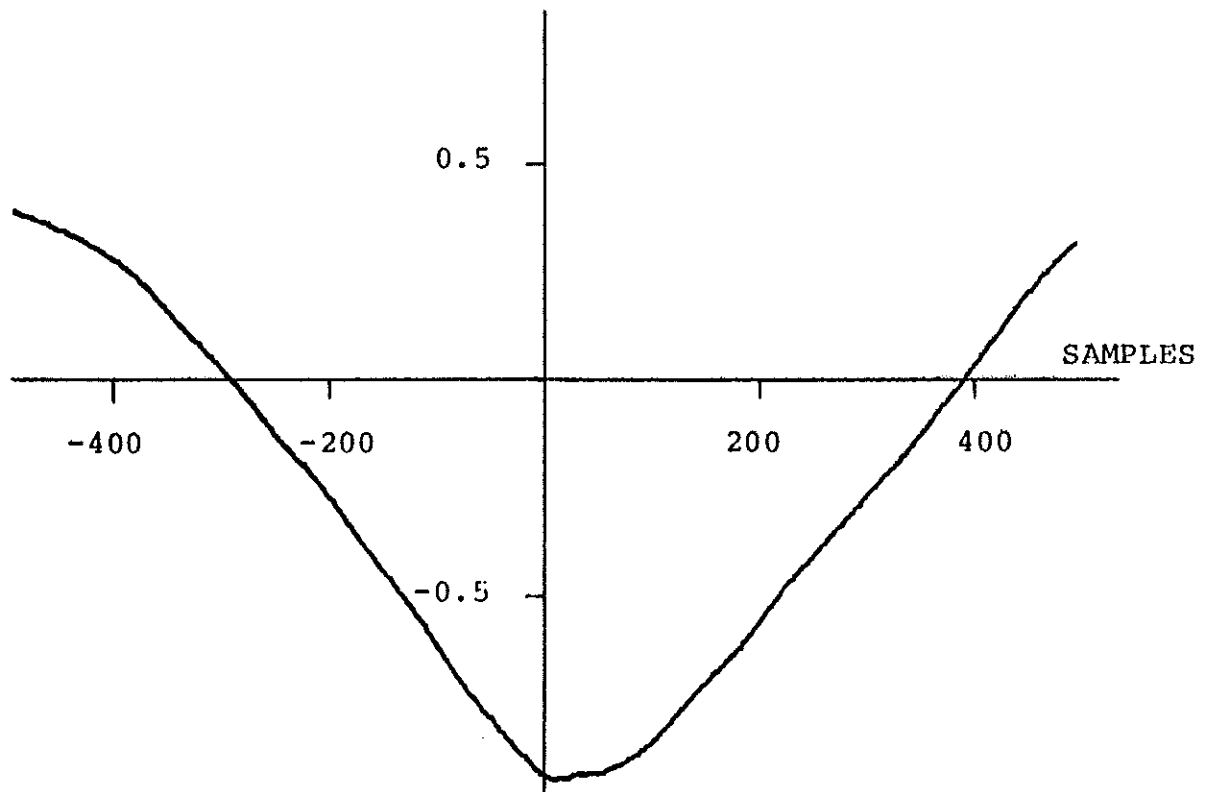
Figur 5.2.8 Autospektrum på Depressure och Action  $\beta$ .



Figur 5.2.9 Interfacets förstärkning i kvadrat. 3:e ordn. syst.



Figur 5.2.10 Action  $\beta$  och Position utan framkoppling.



Figur 5.2.11 Korskorrelationen mellan Action  $\beta$  och Position utan framkoppling.



### 5.3 SERVOSYSTEMET

#### PID-regulatorn:

Den proportionella delen på PID-regulatorn är konstruerad så att man kan variera förstärkningen mellan 4.8 och 9.2. På en befintlig maskin ( A41 ) fick vi förstärkningen till ungefär 5.0.

För att komma åt parametrarna på PID-regulatorns olika delar skickade vi med en signalgenerator in signaler med olika frekvens och mätte förstärkningen. Vi fick fram ett Bodediagram enligt figur 5.3.1.

Parametrarna blir.

$$P = 5.0$$

$$T_D = 0.080 \text{ s}$$

$$T_I = 0.006 \text{ s}$$

Som vi ser i Bodediagrammet är derivatatermen begränsad och vi har alltså en viss filterverkan på derivatatermen.

För att undersöka hur parametrarna på korten var inställda skickade vi med signalgeneratorn in stegfunktioner på framkopplingens ingång när maskinen stod stilla ( ingen signal från framkopplingen eller återkopplingen ). Vi tog upp stegfunktionen och positionssignalen ( knivens läge ) på snabbskrivare.

Om man tittar på stegsvaren visar det sig att man först får en snabb uppgång vid pulskanten. Stigtiden rör sig om 20 ms. Höjden på svaret varierar vid uppgång och nedgång av knivarna, där höjden är mindre då knivarna skall gå upp. På grund av friktion i motorn stannar knivarna på detta läge. Efter 0.2-0.7 s, beroende på integraldelens inställning, har integraldelen blivit så stor att den förmår ge knivarna ytterligare en skjuts. Höjden växer därifrån nästan linjärt till en nivå 3-6 ggr högre än det första snabba svaret.

När vi bytte det befintliga kortet mot ett nytt kort visade det sig att parametrarna var olika inställda. Speciellt visade det sig att integraldelen var nedskruvad till minimum på det nya kortet.

Ett stegsvar på det gamla kortet, figur 5.3.2, och ett på det nya, figur 5.3.3, visar att det gamla kortet nästan inte har något direkt svar alls. Detta måste medföra att regleringen blir nästan okänslig för snabba förändringar och den stora höjden efter integralens inverkan gör att vid långsamma förändringar påverkas knivarna mycket.

Vid inspelning till datorbehandling har den proportionella signalen fått representera signalen på PID-regulatorns ingång. Vi får alltså signalen innan PID-regulatorn förstärkt ungefär 5 ggr. I figur 5.3.4 ses proportionaldelen och integraldelen. Vid samplingen var integraldelen så stor att den inte kunde köras genom samlingsfiltret som hade en förstärkning på 10 ggr. Då integraldelen enligt snabbskrivarbilder varierar relativt långsamt får vi emellertid ej med någon vinkningseffekt på grund av samplingen. På bilden har vi tagit bort integraldelens nivå, filtrerat och förstärkt den samplade signalen så att proportionaldelen och integraldelen har samma förstärkning.

I figur 5.3.5 ses derivatadelen tillsammans med proportionaldelen över 100 samplingar = 125 ms. Eftersom derivatadelen enligt figur 5.3.1 har en viss filtereffekt är inte derivatatermen noll under hela de intervall där proportionaldelen är plan.

#### HP och motor:

I figur 5.3.6 finns proportionaltermen och HP-signalen redovisade under 1.25 s. HP är spegelvänd mot proportionaltermen och innehåller snabbare komponenter p.g.a. derivatatermen.

Motorns svar på HP-signalen kan ses i figur 5.3.7, där positionssignalen dels finns i samma förstärkning som HP-signalen och dels med borttagen nivå och förstärkt ytterligare 5 ggr.

Jämför man HP och position ser man att position ligger ungefär 33 samplingar = 41 ms efter HP-signalen. Samma tid får man om man tar upp ett korskorrelationsdiagram. Se figur 5.3.8.

För att få fram en överföringsfunktion för motorn har vi gjort en identifikation enligt Maximum-Likelihood-metoden ( Idpac Wieslander Lund 1976 ). Förstärkningen i kvadrat för 2:a och 5:e ordningens system finns i figur 5.3.9 och 5.3.10.

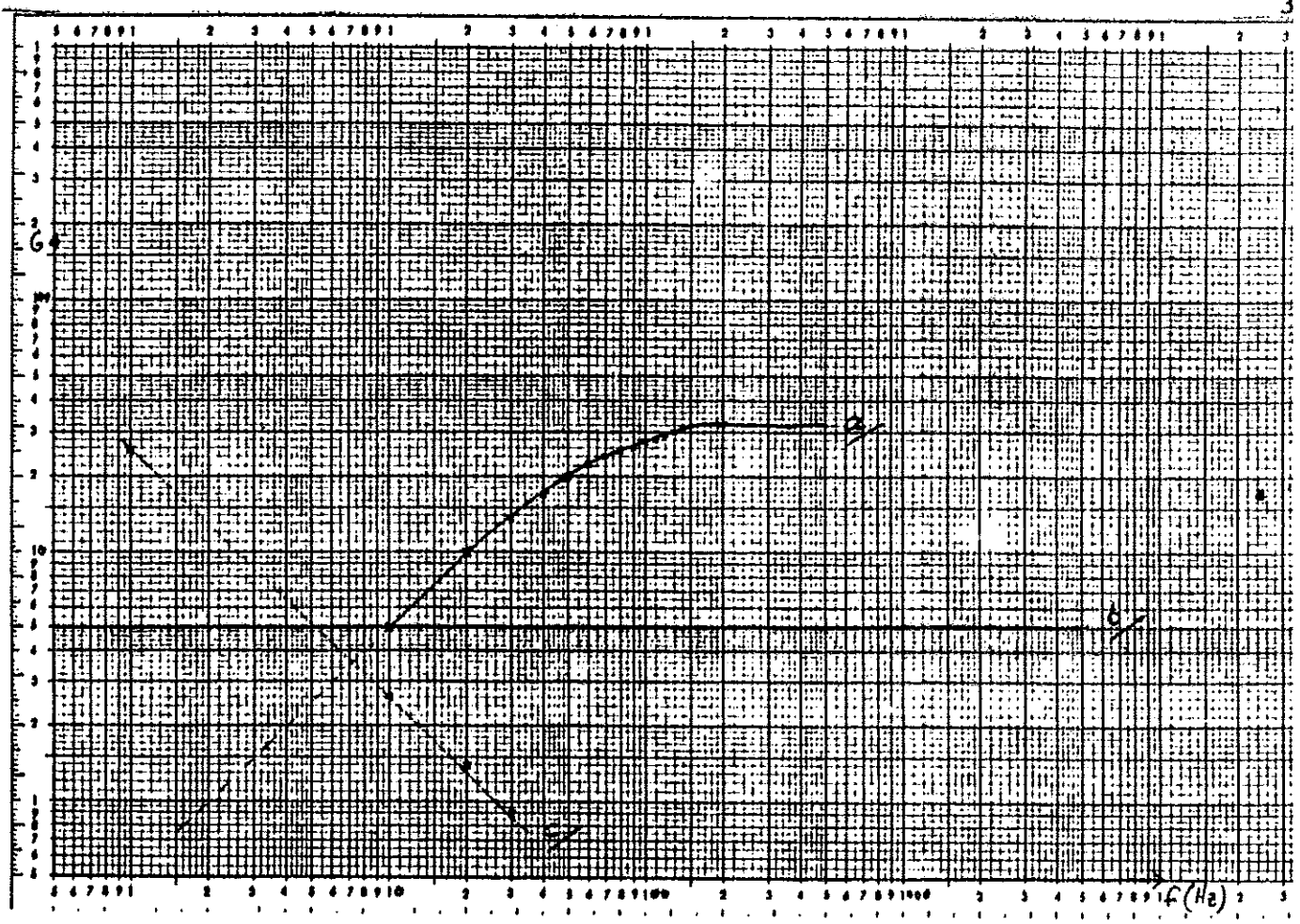
Tydligen uppför sig motorn sig som en ren integrator vid de intressanta frekvenserna. Intressant är också uppgången vid ungefär 150 Hz för 5:e ordningen vilket tydligen 2:a ordningen ej kan modellera.

Om man tittar på en frekvensanalys av positionssignalen får man ett spektra enligt figur 5.3.11. Även här finns en topp vid 150 Hz. Troligen får man toppen i den identifierade överföringsfunktionen på grund av dessa komponenter i positionssignalen.

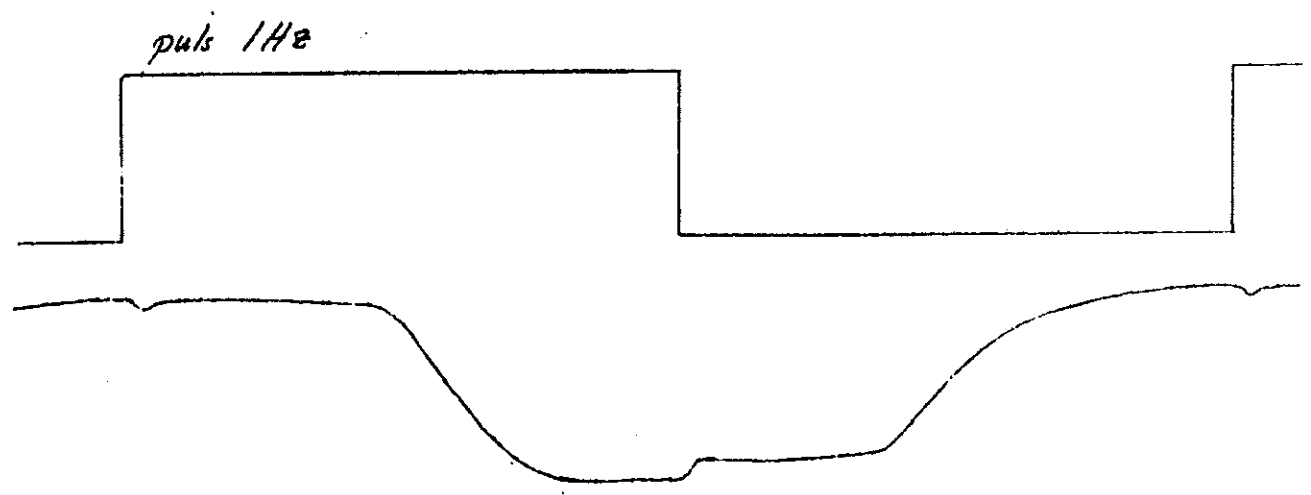
Jämför man frekvensspektrat för HP-signalen, figur 5.3.12 med positionssignalens frekvensspektra ser vi att positionssignalen går ner betydligt tidigare. Redan vid 8 Hz har spektrat gått ner 10 ggr. Detta måste medföra att reglersignalsvariationer för kortare avstånd än 7-8 cigaretters längd ej påverkar knivarna i nämdvärd grad.

Friktionen i motorn kan även ses i stegsvarsanalys av motorn, där vi har plockat bort PID-kortet och alltså brutet återkopplingsloopen. Se figur 5.3.13

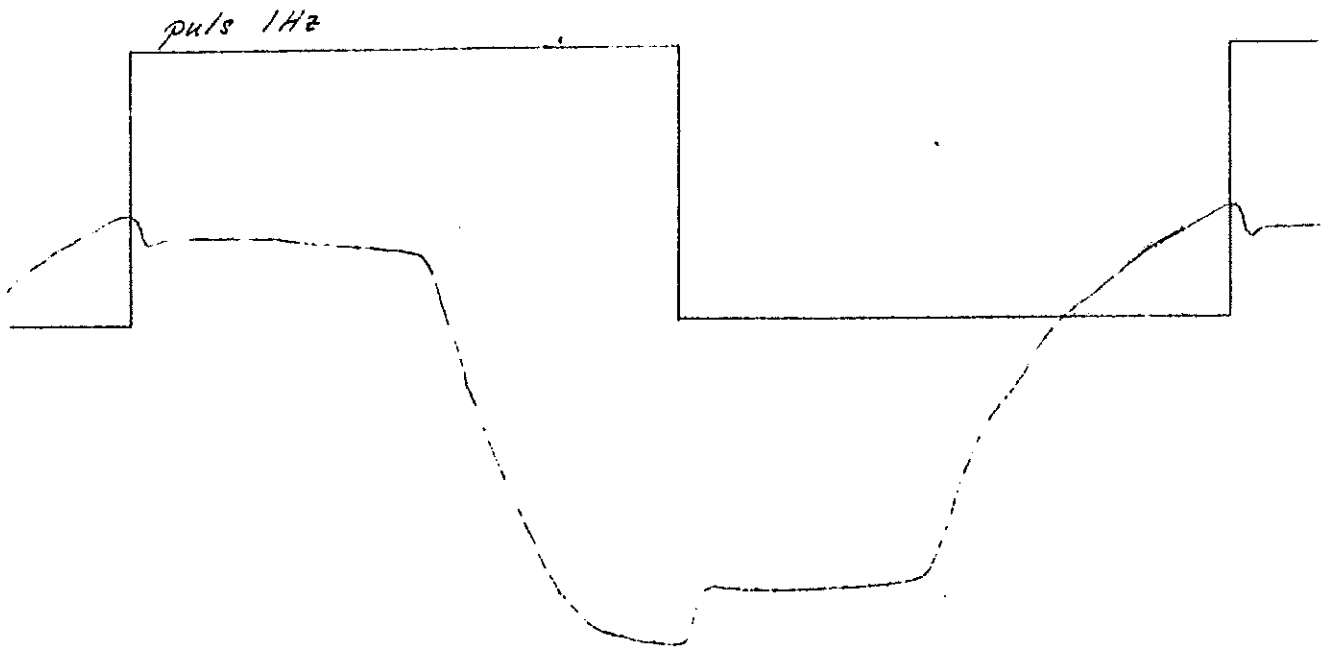
och 5.3.14. Även här får man en snabb uppgång och en stigtid på ungefär 15 ms, enligt figur 5.3.14. I figur 5.3.13 ser man att knivarna når rätt läge fortare om knivarna är på nedgång, vilket vi även såg med återkopplingsloopen. Figur 5.3.2 och 5.3.3.



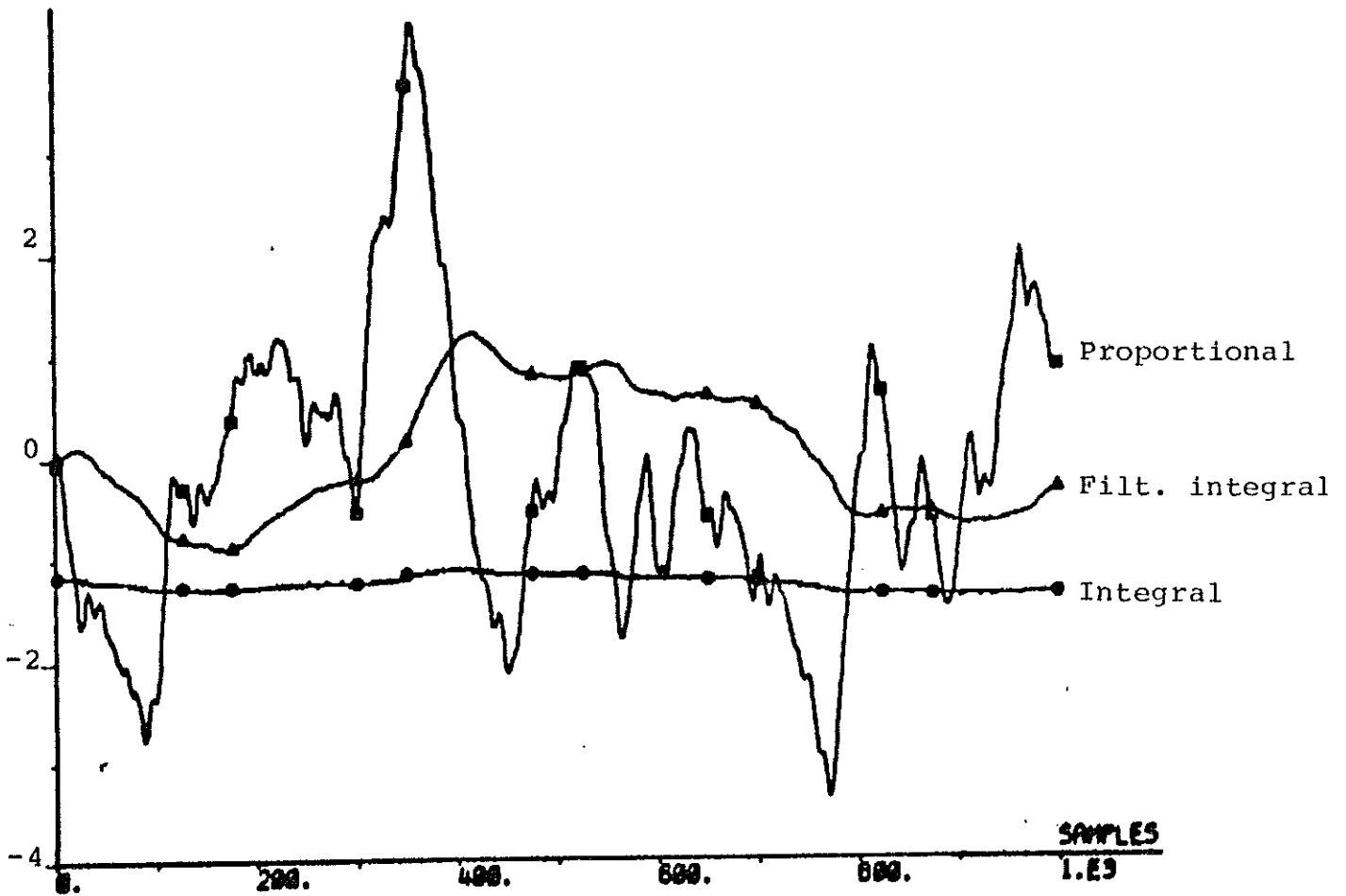
Figur 5.3.1 Bodediagram för PID-kortet på A41.



Figur 5.3.2 Stegsvär för befintligt kort i A41.



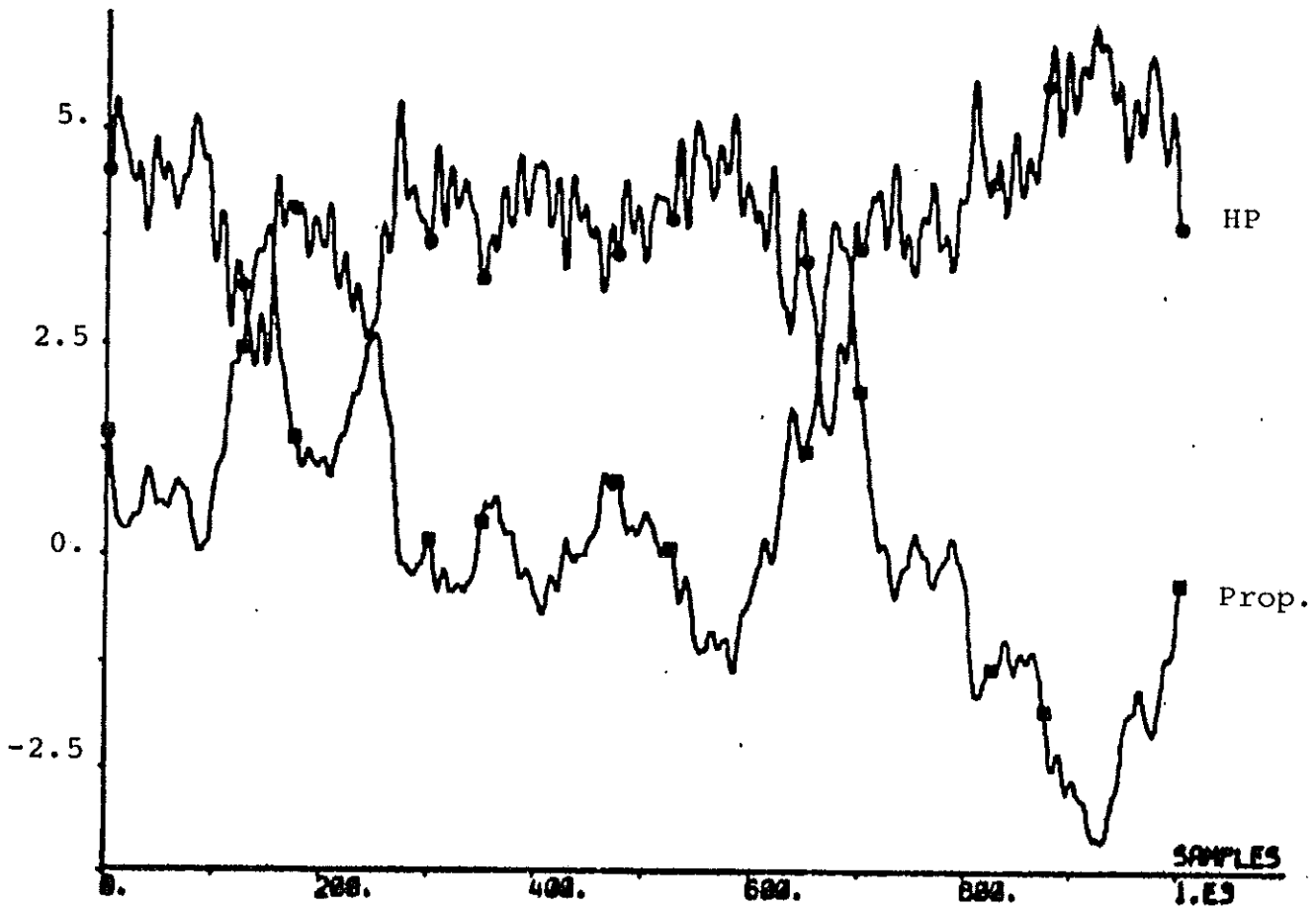
Figur 5.3.3 Stegsvär på ett nytt kort.



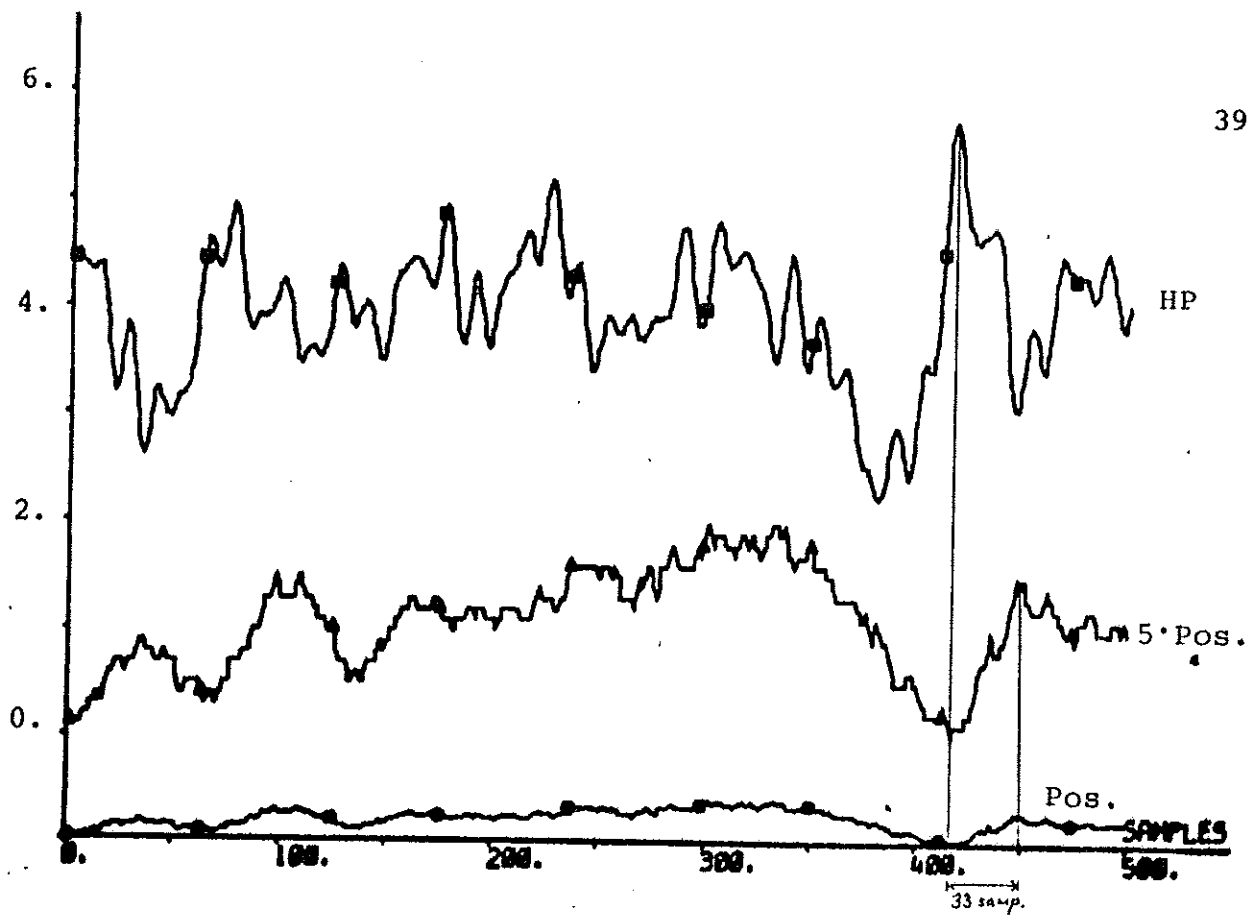
Figur 5.3.4 Proportionaldel och integraldel. Integraldelen filtrerad och förstärkt 10 ggr.



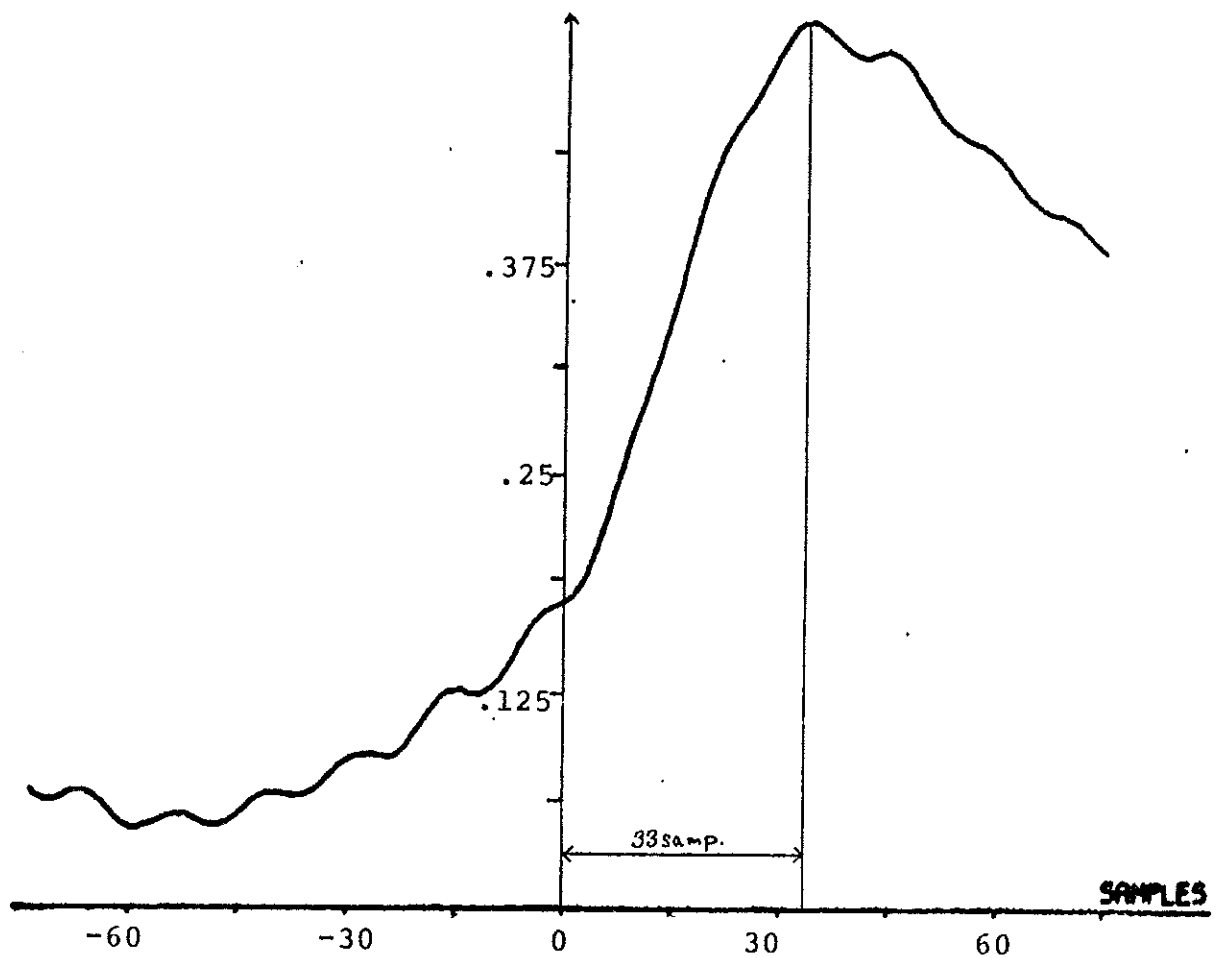
Figur 5.3.5 Proportionaldel och derivatadel.



Figur 5.3.6 Proportionaldelen och HP-signalen.

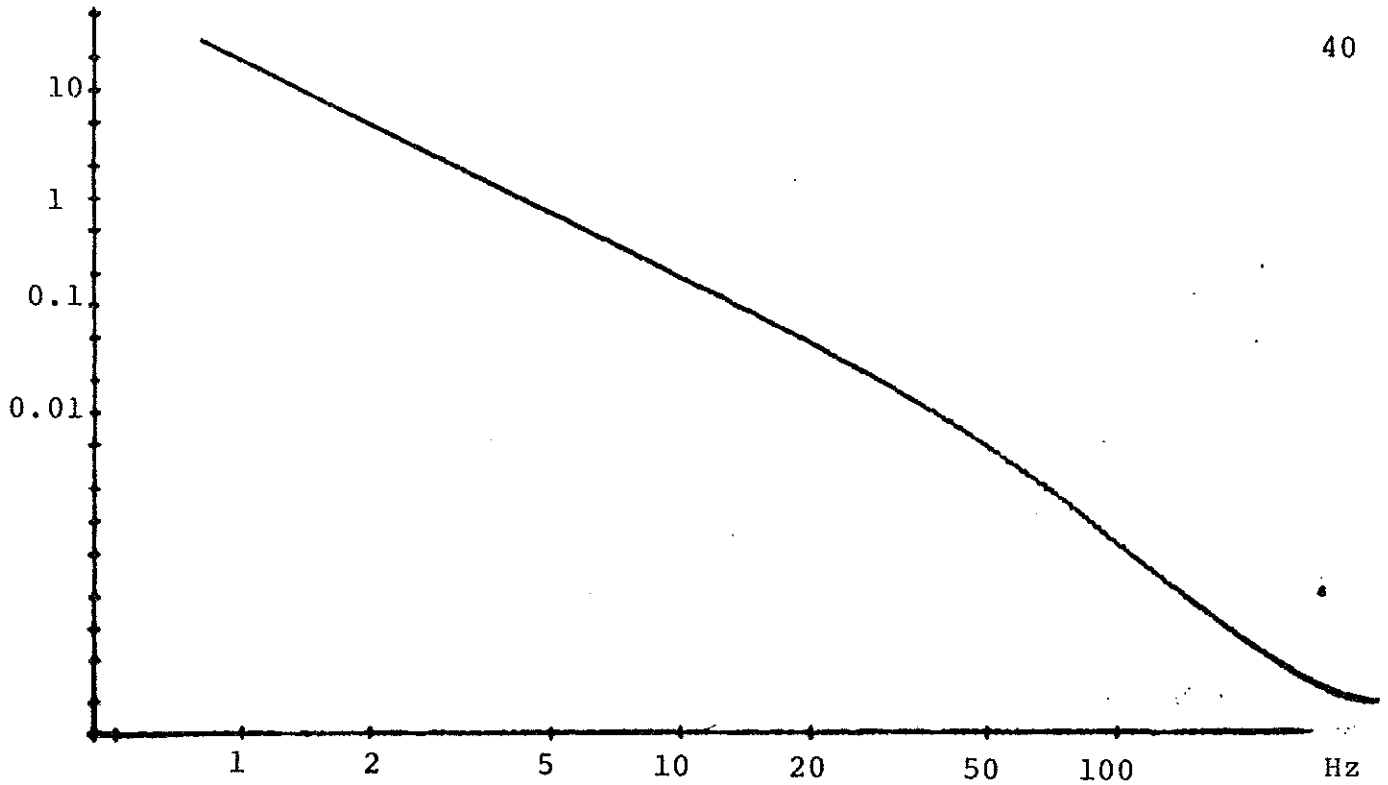


Figur 5.3.7 HP-signalen och position. Positionssignalen med bortagen nivå och förstärkt 5 ggr.

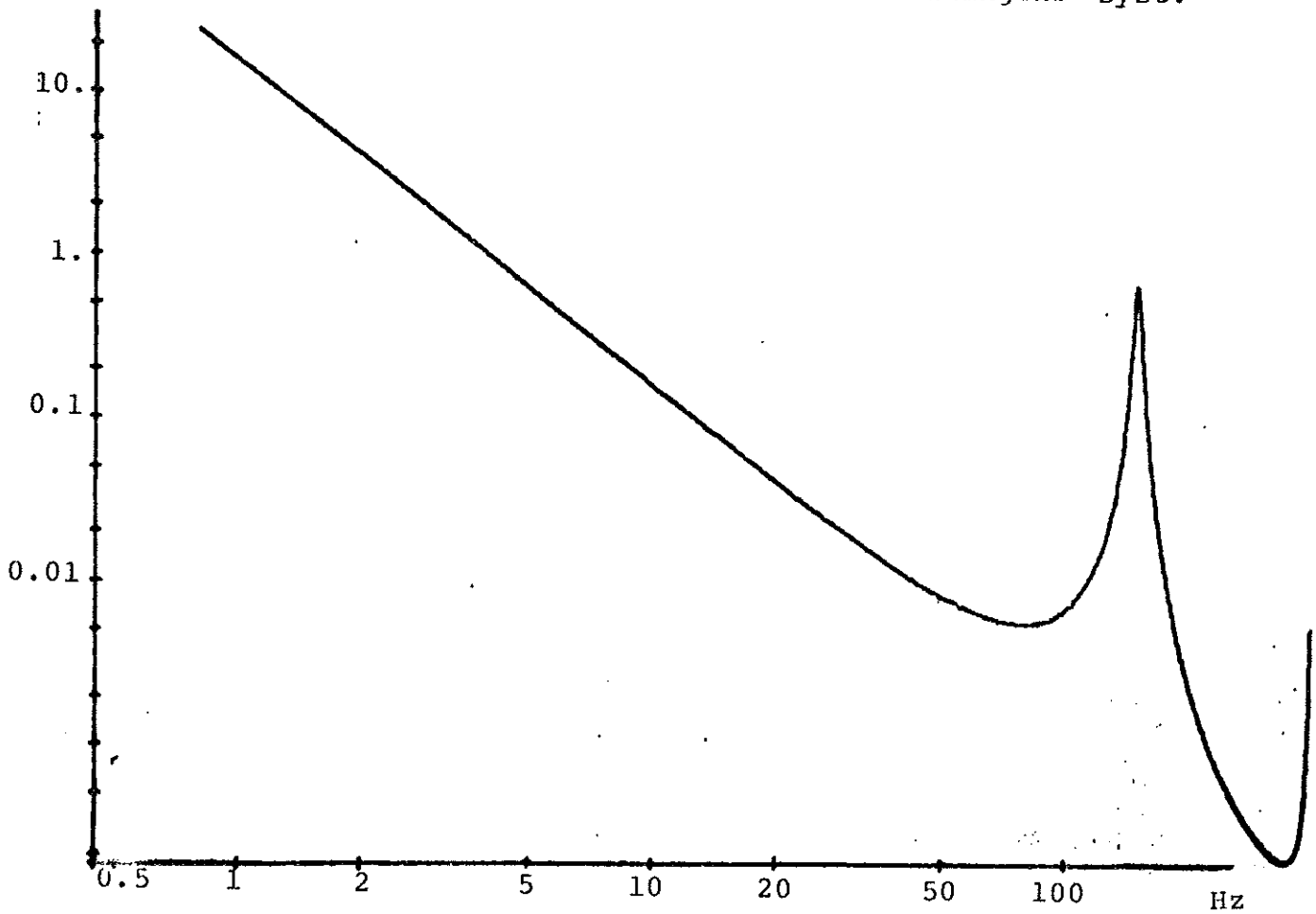


Figur 5.3.8 Korskorrelation mellan HP och position.

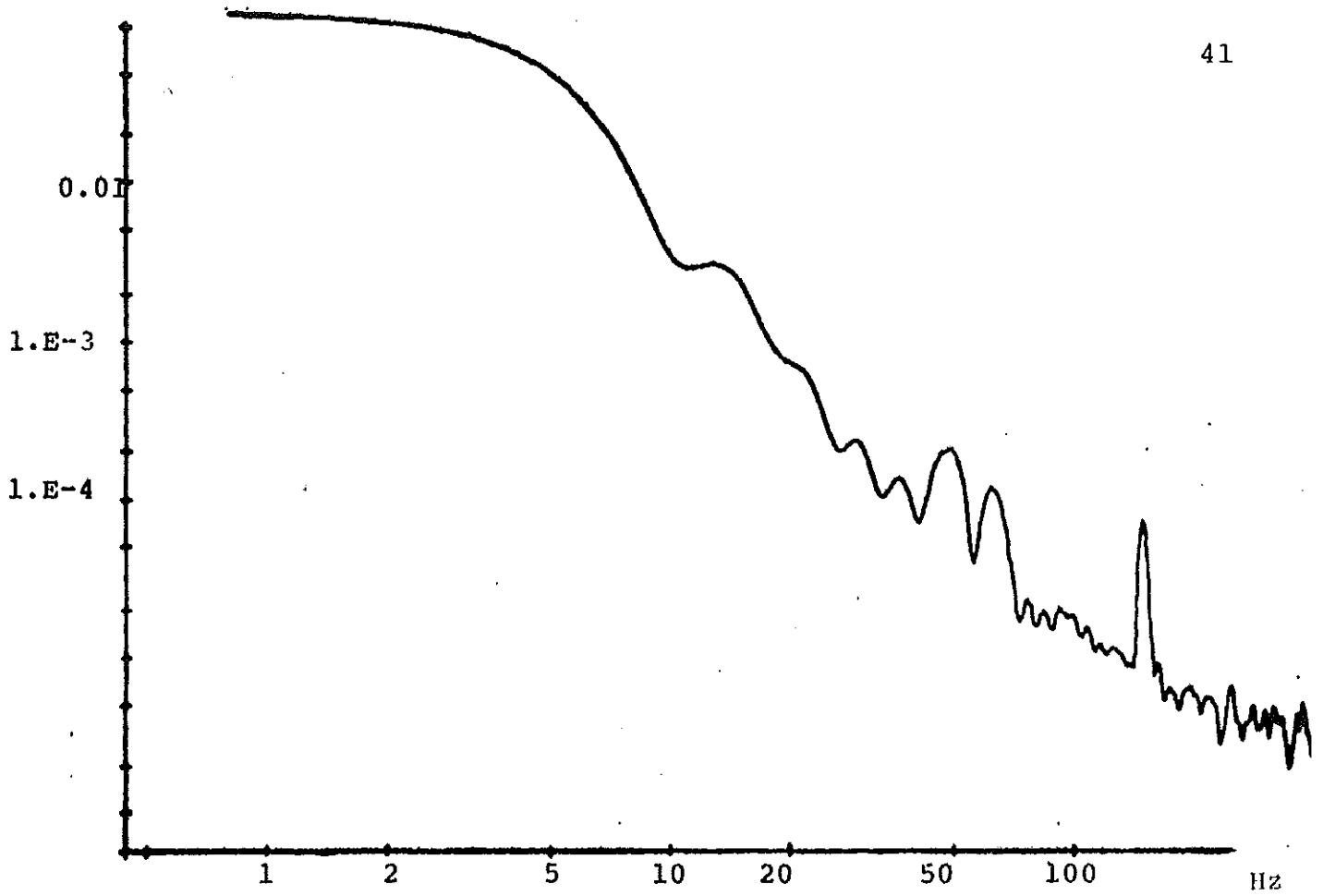




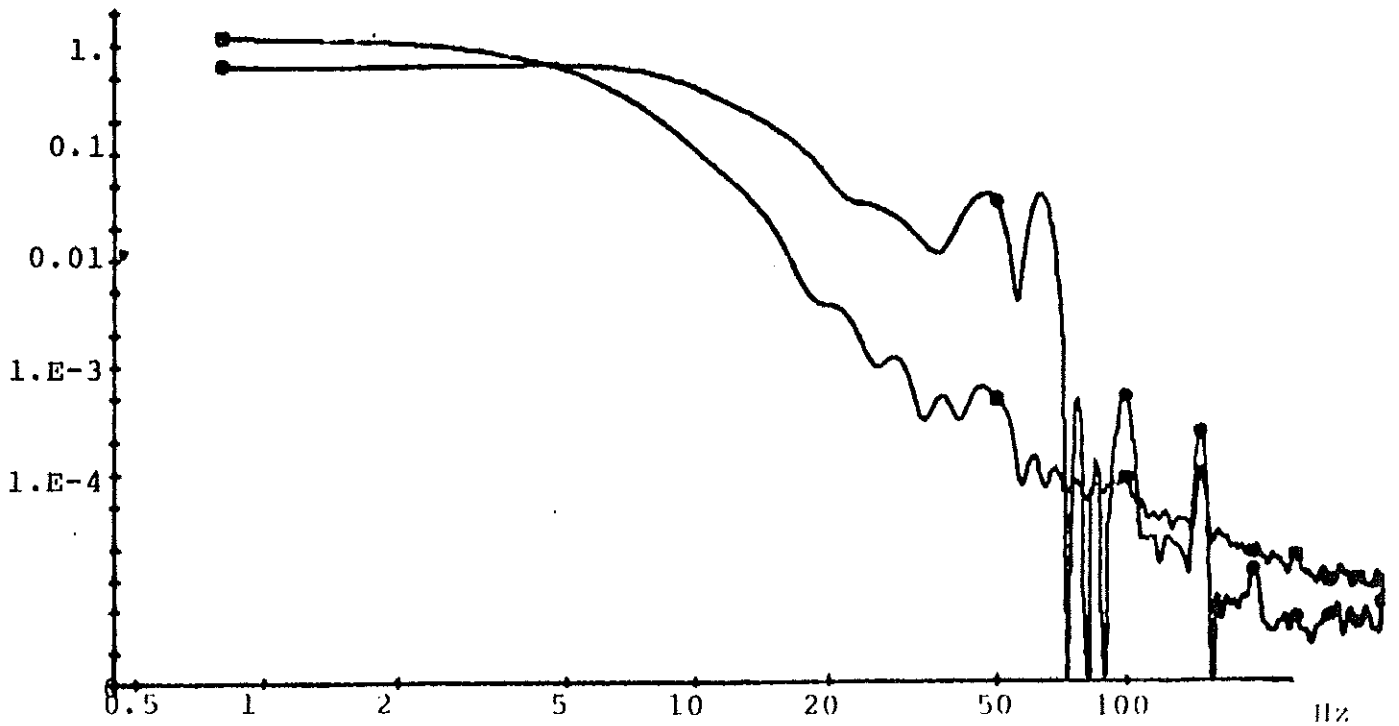
Figur 5.3.9 Förstärkningen i kvadrat för motorn som funktion av frekvensen. 2:a ordningens syst.



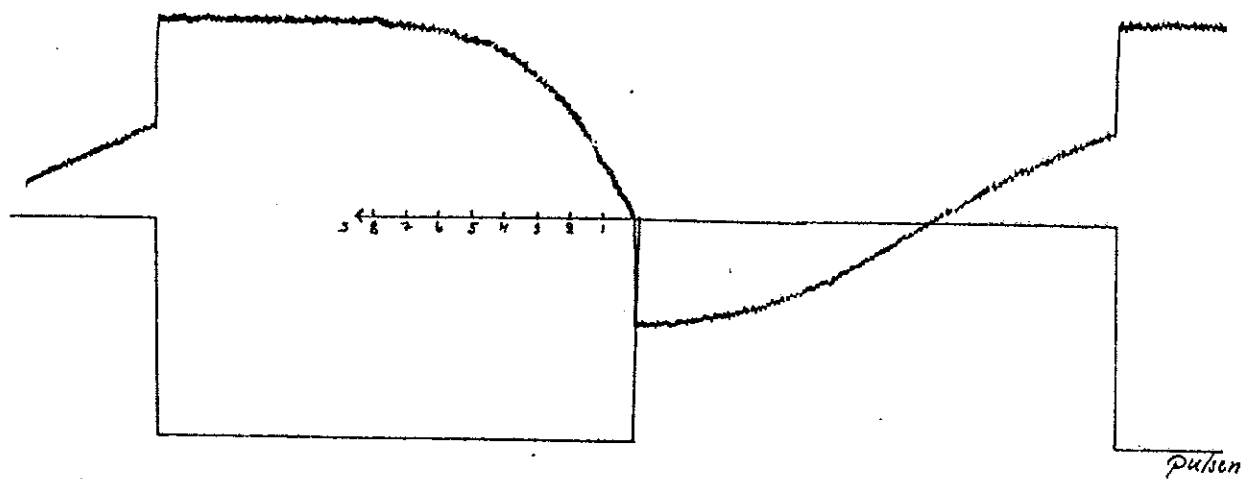
Figur 5.3.10 Förstärkningen i kvadrat för motorn som funktion av frekvensen. 5:e ordningens system.



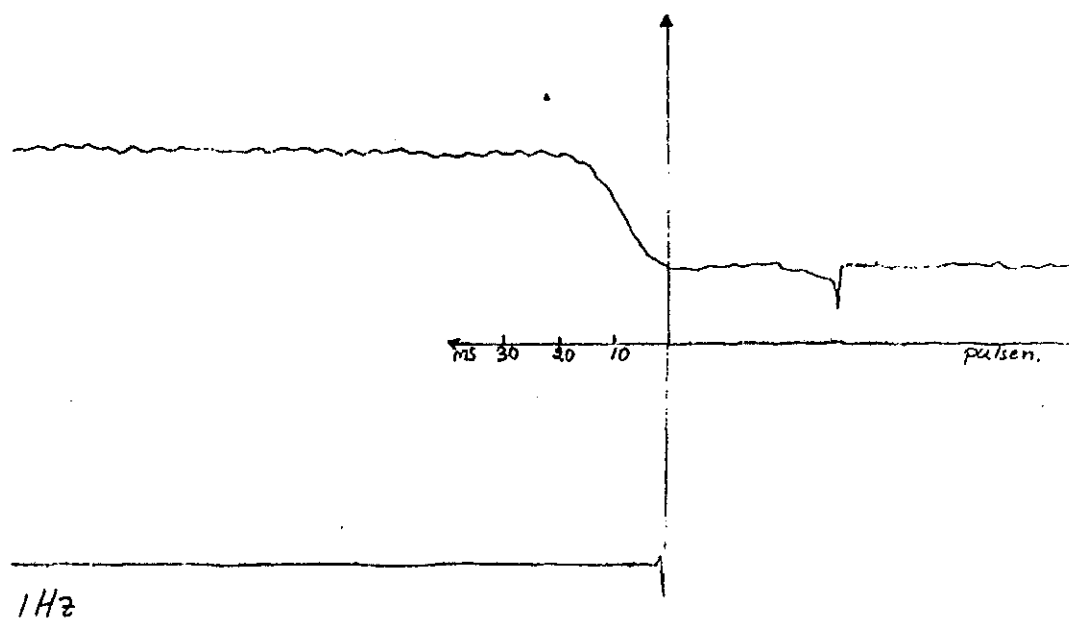
Figur 5.3.11 Autospektrum för positionssignalen



Figur 5.3.12 Autospektrum för deppressure och HP-signalen.



Figur 5.3.13 Stegsvär på motorn med bruten loop.  
Långsam pappershastighet.



Figur 5.3.14 Stegsvär på motorn med bruten loop.  
Snabb pappershastighet.

## 6. SAMMANFATTNING

### Framkopplingen:

Tryckmätcellen mäter tryckfallet över tobakssträngen. För att få ett korrekt mått på tätheten för tobaken skulle det fodras att tobaken under mätcellen hade konstant höjd. Att den inte har det kan man iaktaga i det lilla fönstret innan knivarna. Den varierande höjden gör att vi får en störd signal av tätheten, ty en stor höjd på tobaken ger ett stort tryckfall och därmed registreras en hög täthet. Samtidigt är det ej troligt att en stor höjd på tobaken skulle ge större täthet.

Att mätcellen inte mäter samma sak som  $\beta$ -mätaren såg vi i kapitel 5.1, där vi ej fann någon korskorrelation mellan de två olika signalerna med knivarna ställda.

Enligt frekvensspektrat på tryck ( figur 5.1.3 ) och deppressure ( figur 5.1.2 ) är framkopplingsignalen mycket långsam. Redan efter ca. 8 Hz har effektinnehållet gått ner 10 ggr. Långsamheten i signalen måste bero på mätcellens längd, ty tryckgivaren, som är en piezoelektrisk kristall, registrerar snabbare tryckändringar. Den kraftiga integreringen som längden på mätcellen ger, gör att framkopplingen inte kan ta hand om de snabba variationer som det avses den skall ta hand om.

En underlighet med systemet är att mätcellen i återkopplingen, i detta fall  $\beta$ -mätaren kan registrera snabba förändringar ( se frekvensspektra på HSMS figur 5.2.3 ), medan mätcellen i framkopplingen, som bör vara den snabbare, ej kan registrera snabbare förändringar än 7-8 Hz och därmed ungefär 10 cigaretters avstånd.

Vi har under vissa tider stängt av framkopplingen utan att kunna registrera några förändringar på standard-

avvikelsen, vilket visar osäkerheten med framkopplingen.

Det är även viktigt vid framkopplingen att tidsfördröjningen av signalen motsvarar tobakens transporttid till knivarna. Som vi har sett i kapitel 5.1 stämmer tiden någorlunda men om ett filter sätts in i kanalen för att tobaksdammet ej skall nå bälgen kan ytterligare tid tillkomma och göra signalen ännu mer osäker.

Sammanfattningsvis ser vi att framkopplingssignalen har så många osäkra faktorer att den är mer eller mindre meningslös. Man borde under en längre tid stänga av framkopplingen och iaktaga standardavvikelsen. Samtidigt skulle man försöka finna en bättre inställning av återkopplingen.

#### Återkopplingen:

Att återkopplingen fungerar tillfredsställande kan man se om man kopplar av den när knivarna har dålig grundinställning. Man får då en snabb drift av medelvikten bort från riktvikten.

Som vi har sett i frekvensspektrat på action- $\beta$  ( figur 5.2.8 ) innehåller den relativt stora amplituder även för frekvenser större än 3 Hz. 3 Hz motsvarar transporttiden från knivarna till  $\beta$ -mätaren, så signaler med större frekvens än 3 Hz borde undertryckas mer.

Vi skulle vilja att återkopplingen användes mera utan att riskera instabiliteter. Ett förslag skulle vara att koppla in även en PID i återkopplingsslingan för att delvis kunna upphäva fasförskjutningen på grund av tidsfördröjningen.

#### Servosystemet:

En annan begränsning för snabbheten av systemet är den kraftiga integreringen i motorn. Detta såg vi vid jämförelse av frekvensspektrat för HP- och positions-

signalen ( figur 5.3.12 och 5.3.11 ). För att kunna reglera på snabbare signaler än 7-8 Hz behövs, om framkopplingen behålls, dels framkopplingssignalen snabbas upp och dels måste motorn snabbas upp.

Vi har under ett par tillfälle varierat parametrarna på PID-regulatorn när maskinen varit igång. Inga förändringar av standardavvikelsen eller tendenser till instabiliteter har då märkts. Detta kan bero på att inställningarna på PID-korten är begränsat till ett litet intervall, men kan även bero på att man kanske inte utnyttjar regleringen så mycket som den skulle kunna klara av.

En sak vi diskuterat mycket är integraltermen i den inre loopen. Eftersom vi även har en integralterm i återkopplingen får vi ej något bestående fel vid riktvärdesändringar, och därmed skulle integraltermen i inre loopen ej göra någon nytta. Kanske skulle man kunna ta bort integraltermen och därmed bli av med en del av den negativa fasförskjutningen som uppträder i återkopplingsloopen.

#### Slutsatser:

Reglersystemet har visat sig ha många brister, kanske på grund av att tre bolag är inblandade och att det inte finns någon mer ingående analys av hur systemen arbetar ihop.

Vårt förslag är att framkopplingen toges bort, då det har visat sig att systemet ej klarar av snabbare förändringar. Man skulle då behöva ändra inställningarna till återkopplingen för att kompensera de negativa fasförskjutningarna. Återkopplingen skulle då, med eventuella förändringar i reglerstrukturen, kunna arbeta bättre utan störningar från framkopplingen.

## 7. REFERENSER

Åström, K.J.: Reglerteori, Almqvist & Wiksell, 2:a uppl.,  
Uppsala 1976

Wieslander, J.: IDPAC - Users Guide, TFRT-3009,  
Institutionen för Reglerteknik, 1976

AccuRay-manualen

Decouflé L.O.G. Installation Rev. D March 1977